

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**

# **ТРУДЫ**

**СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО  
ОРДЕНА ДРУЖБЫ НАРОДОВ  
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА  
(ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА)**

**ВЫПУСК ЧЕТЫРНАДЦАТЫЙ**

**(Часть I)**

ВЛАДИКАВКАЗ 2007

ISBN 5-901585-02-X

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

*М. И. Алкацев, И. Д. Алборов, В. И. Голик, В. О. Гроппен,  
А. Г. Дедегкаев, К. С. Дзагоев, В. М. Каиров, Г. С. Касаев,  
Е. Н. Козырев (председатель), Н. П. Максимов, Т. А. Позднякова,  
Р. Б. Темиряев, А. М. Цалиев*

Редактор: *Николайченкова Н. Е.*

Компьютерный набор  
и верстка: *Куликова М. П., Цищук Т. С.*

© Издательство “Терек”, СКГМИ (ГТУ).

---

Подписано в печать 19.04.07 Формат 70x108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсет № 2.

Объем 25,2 усл. п.л.

Тираж 200 экз. Заказ № 146

Отпечатано в подразделении оперативной полиграфии СКГМИ (ГТУ).

362021. Владикавказ, ул. Николаева, 44.

УДК 539.125.523

Доц. ГРИГОРОВИЧ Г.А., доц. СТЕПАНОВА С.В.

**ПОСТРОЕНИЕ РАЗНОСТНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ  
УРАВНЕНИЙ ВОЛЬТЕРРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
КУБИЧЕСКИХ СПЛАЙНОВ**

*Изложен способ построения разностной схемы решения интегрального уравнения Вольтерра, получаемой аппроксимацией искомых функций кубическими сплайнами. Уравнения рассматриваемого типа встречаются в многоскоростной теории переноса нейтронов в бесконечных однородных средах, состоящих из одноизотопного упругого замедлителя.*

1. Метод моментов решения задач переноса гамма-квантов сводится к решению интегральных уравнений вида [1]:

$$y(\lambda) = \int_{\lambda-2}^{\lambda} G(\lambda; \lambda') y(\lambda') d\lambda' + f(\lambda), \quad (1)$$

где  $G(\lambda; \lambda')$  и  $f(\lambda)$  – заданные функции. Функция  $f(\lambda)$  непрерывна и ограничена вместе со всеми производными всех порядков всюду на полупрямой  $\lambda \geq a$ , за исключением точек  $\lambda_i = a + 2i, i = 1, 2, \dots$ , в точке  $\lambda = \lambda_i$  она непрерывна до производной  $(i - 1)$ -го порядка, в то время, как ее  $i$ -я производная в этой точке имеет конечный разрыв. Функция  $G(\lambda; \lambda')$  определена, непрерывна и имеет непрерывные частные производные всех порядков в полосе  $\lambda - 2 \leq \lambda' \leq \lambda, \lambda \geq a$ .

Решение уравнения (1) ищется в классе кусочно-непрерывных функций, определенных на заданном интервале  $[a; b]$ , при дополнительном условии

$$y(\lambda) = 0, \quad \lambda < a. \quad (2)$$

2. Поставленная задача имеет единственное решение. Это следует из того, что уравнение (1) при дополнительном условии (2) эквивалентно уравнению Вольтерра второго рода с кусочно-непрерывным ядром  $\bar{G}(\lambda; \lambda')$ , определенным в полосе  $\lambda - 2 \leq \lambda' \leq \lambda, \lambda \geq a$  и связанным с заданным ядром  $G(\lambda; \lambda')$  соотношением

$$\bar{G}(\lambda; \lambda') = \begin{cases} G(\lambda; \lambda'), & \lambda - 2 \leq \lambda' \leq \lambda, \\ 0, & \lambda' < \lambda - 2. \end{cases} \quad (3)$$

Принимая во внимание свойства функций  $f(\lambda)$  и  $G(\lambda; \lambda')$ , можно показать, что решение  $y(\lambda)$  уравнения (1) имеет производные любого порядка всюду за исключением точек  $\lambda_i = a + 2i$ ,  $i = 1, 2, \dots$ , в точке  $\lambda = \lambda_i$  функция имеет непрерывные производные до  $(i - 2)$ -го порядка, в то время, как ее  $(i - 1)$ -ая производная имеет конечный разрыв. Таким образом, в точке  $\lambda = a + 2$  разрывно само решение  $y(\lambda)$ . При  $\lambda = a + 4$  решение непрерывно, но разрывна его производная; в точке  $\lambda = a + 6$  решение непрерывно вместе со своей производной, но разрывна его вторая производная и т.д.

В дальнейшем нам понадобятся величины разрывов функции  $y(\lambda)$  в точке  $\lambda_1 = a + 2$  и ее первой производной в точках  $\lambda_1 = a + 2$  и  $\lambda_2 = a + 4$ . Чтобы найти величину разрыва решения уравнения (1) в точке  $\lambda_1 = a + 2$ , запишем его при значениях  $\lambda = \lambda_1 + \Delta\lambda$  и  $\lambda = \lambda_1 - \Delta\lambda$ , где  $\Delta\lambda$  – бесконечно малая положительная величина. Тогда будем иметь

$$y(\lambda_1 + \Delta\lambda) = \int_{\lambda_1 + \Delta\lambda - 2}^{\lambda_1 + \Delta\lambda} G(\lambda_1 + \Delta\lambda; \lambda') y(\lambda') d\lambda' + f(\lambda_1 + \Delta\lambda), \quad (4)$$

$$y(\lambda_1 - \Delta\lambda) = \int_a^{\lambda_1 - \Delta\lambda} G(\lambda_1 - \Delta\lambda; \lambda') y(\lambda') d\lambda' + f(\lambda_1 - \Delta\lambda). \quad (5)$$

Вычитая из первого уравнения второе и принимая во внимание непрерывность ядра  $G(\lambda; \lambda')$ , получим

$$y(\lambda_1 + \Delta\lambda) - y(\lambda_1 - \Delta\lambda) = f(\lambda_1 + \Delta\lambda) - f(\lambda_1 - \Delta\lambda) + O(\Delta\lambda), \quad (6)$$

где  $O(\Delta\lambda)$  – бесконечно малая порядка  $\Delta\lambda$ .

Переходя в последнем равенстве к пределу при  $\Delta\lambda \rightarrow 0$ , находим:

$$y(\lambda_1 + 0) - y(\lambda_1 - 0) = f(\lambda_1 + 0) - f(\lambda_1 - 0). \quad (7)$$

Найдем теперь величины разрывов производной  $y'(\lambda)$ . Дифференцируя уравнение (1) по  $\lambda$ , получим

$$y'(\lambda) = f'(\lambda) + G(\lambda; \lambda) y(\lambda) - G(\lambda; \lambda - 2) y(\lambda - 2) + \int_{\lambda - 2}^{\lambda} G'(\lambda; \lambda') y(\lambda') d\lambda'. \quad (8)$$

Здесь и в дальнейшем  $G'(\lambda; \lambda')$  означает производную ядра  $G(\lambda; \lambda')$  по первому аргументу  $\lambda$ . Полагая в уравнении (8)  $\lambda$  равным сначала  $\lambda_i + \Delta\lambda$ , а затем  $\lambda_i - \Delta\lambda$ ,  $i = 1, 2$  будем иметь:

$$y'(\lambda_i + \Delta\lambda) = f'(\lambda_i + \Delta\lambda) + G(\lambda_i + \Delta\lambda; \lambda_i + \Delta\lambda) y(\lambda_i + \Delta\lambda) - G(\lambda_i + \Delta\lambda; \lambda_i + \Delta\lambda - 2) y(\lambda_i + \Delta\lambda - 2) + \int_{\lambda_i + \Delta\lambda - 2}^{\lambda_i + \Delta\lambda} G'(\lambda_i + \Delta\lambda; \lambda') y(\lambda') d\lambda'; \quad (9)$$



$$y'(\lambda_i - \Delta\lambda) = f'(\lambda_i - \Delta\lambda) + G(\lambda_i - \Delta\lambda; \lambda_i - \Delta\lambda)y(\lambda_i - \Delta\lambda) - \\ - G(\lambda_i - \Delta\lambda; \lambda_i - \Delta\lambda - 2)y(\lambda_i - \Delta\lambda - 2) + \int_{\lambda_i - \Delta\lambda - 2}^{\lambda_i - \Delta\lambda} G'(\lambda_i - \Delta\lambda; \lambda')y(\lambda')d\lambda'. \quad (10)$$

Вычитая второе из полученных уравнений из первого и принимая во внимание  $G'(\lambda; \lambda')$ , переходя в последнем равенстве к пределу при  $\Delta\lambda \rightarrow 0$ , получим

$$y'(\lambda_i + 0) - y'(\lambda_i - 0) = f'(\lambda_i + 0) - f'(\lambda_i - 0) + \\ + G(\lambda_i; \lambda_i)(y(\lambda_i + 0) - y(\lambda_i - 0)) - G(\lambda_i; \lambda_i - 2)(y(\lambda_{i-1} + 0) - y(\lambda_{i-1} - 0)). \quad (11)$$

Отсюда при  $i = 1$  находим

$$y'(\lambda_1 + 0) - y'(\lambda_1 - 0) = f'(\lambda_1 + 0) - f'(\lambda_1 - 0) + \\ + G(\lambda_1; \lambda_1)(y(\lambda_1 + 0) - y(\lambda_1 - 0)) + G(\lambda_1; \lambda_0)y(\lambda_0), \quad (12)$$

так как  $y(\lambda_0 - 0) = 0$ , а  $y(\lambda_0) = y(\lambda_0 + 0)$ .

При  $i = 2$  из (11) получаем

$$y'(\lambda_2 + 0) - y'(\lambda_2 - 0) = f'(\lambda_2 + 0) - f'(\lambda_2 - 0) - \\ - G(\lambda_2; \lambda_2)(y(\lambda_2 + 0) - y(\lambda_2 - 0)), \quad (13)$$

так как решение  $y(\lambda)$  непрерывно при  $\lambda = \lambda_2$ . Во всех остальных точках, включая точки вида  $\lambda = a + 2i$ ,  $i \geq 3$ , функция  $y(\lambda)$  и ее производная  $y'(\lambda)$  непрерывны.

3. Для построения разностной схемы отложим на оси  $\lambda$  равномерную сетку узлов  $\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_I$ , полагая, как и выше,  $\lambda_i = a + 2i$ ,  $i = 0, 1, \dots, I$ . На каждом из интервалов  $[\lambda_{i-1}, \lambda_i]$ ,  $i = 0, 1, \dots, I$  построим дополнительную сетку узлов с постоянным шагом  $h = \frac{2}{p}$ , где  $p$  – заранее заданное натуральное число, не зависящее от индекса  $i$ . Узлы дополнительной сетки, соответствующей интервалу  $[\lambda_{i-1}, \lambda_i]$ , будем обозначать через  $\lambda_{ik}$ ,  $k = 0, 1, \dots, p$ , полагая, что

$$\lambda_{ik} = \lambda_{i-1} + kh. \quad (14)$$

Введем теперь в рассмотрение фундаментальную систему сплайнов третьего порядка  $A_q(t)$ ,  $q = 0, 1, \dots, p$ ,  $B_0(t)$  и  $B_p(t)$ , определенных на сетке  $t_0, t_1, \dots, t_p$ ,  $t_k = kh$ , подчиненных дополнительным условиям [2]:

$$\begin{aligned}
A_q(t_k) &= \delta_{kq}, \quad k, q = 0, 1, \dots, p, \\
A'_q(t_0) &= A'_q(t_p) = 0, \quad q = 0, 1, \dots, p, \\
B_0(t_k) &= B_p(t_k) = 0, \quad k = 0, 1, \dots, p, \\
B'_0(t_0) &= B'_p(t_p) = 1, \quad B'_0(t_p) = B'_p(t_0) = 0.
\end{aligned} \tag{15}$$

Используя эту систему, представим искомую функцию  $y(\lambda)$  на каждом из интервалов  $[\lambda_{i-1}, \lambda_i]$  в виде:

$$y(\lambda) = \sum_{q=0}^p y_{ip} A_q(\lambda - \lambda_{i-1}) + y'_{i0} B_0(\lambda - \lambda_{i-1}) + y'_{ip} B_p(\lambda - \lambda_{i-1}) + p_i(\lambda), \tag{16}$$

где

$$y_{ip} = y(\lambda_{iq}). \tag{17}$$

В частности,

$$\begin{cases} y_{i0} = y(\lambda_{i-1} + 0), \\ y_{ip} = y(\lambda_i - 0). \end{cases} \tag{18}$$

Аналогично определяют значения производных в крайних точках интервала  $[\lambda_{i-1}, \lambda_i]$ :

$$\begin{cases} y'_{i0} = y'(\lambda_{i0}) = y'(\lambda_{i-1} + 0), \\ y'_{ip} = y'(\lambda_{ip}) = y'(\lambda_i - 0). \end{cases} \tag{19}$$

Через  $p_i(\lambda)$  обозначен остаточный член аппроксимации искомого решения  $y(\lambda)$  сплайнами третьего порядка, соответствующими сетке  $\lambda_{i0}, \lambda_{i1}, \dots, \lambda_{ip}$ .

4. В формуле (16) значения  $y_{i0}$  и  $y'_{i0}$  можно считать известными из расчетов, реализованных на предыдущих этапах вычислений. В силу равенств (7), (12), (13), а также непрерывности функции  $y(\lambda)$  и ее первой производной, всюду справа от точки  $\lambda = \lambda_2 = a + 4$  имеем

$$\begin{cases} y_{10} = f_{10}, \\ y_{20} = y_{1p} + f_{20} - f_{1p}, \\ y_{30} = y_{2p}, \quad y_{40} = y_{3p}, \dots \end{cases} \tag{20}$$

и

$$\begin{cases} y'_{10} = f'_{10} + G(\lambda_0; \lambda_0) y_{10}, \\ y'_{20} = y'_{1p} + f'_{20} - f'_{1p} + G(\lambda_1; \lambda_1)(y_{20} - y_{1p}) - G(\lambda_1; \lambda_0) y_{10}, \\ y'_{30} = y'_{2p} + f'_{30} - f'_{2p} - G(\lambda_2; \lambda_1)(y_{20} - y_{1p}), \\ y'_{40} = y'_{3p}, \quad y'_{50} = y'_{4p} \dots \end{cases} \tag{21}$$

Формула (16) содержит величину  $y'_{ip}$ , которую можно исключить, если выразить ее через значения функции  $y(\lambda)$  в узлах вспомогательной сетки. Полагая в формуле (8)  $\lambda = \lambda_{ip}$ , найдем

$$y'_{ip} = f'_{ip} + G(\lambda_i; \lambda_i)y_{ip} - G(\lambda_i; \lambda_{i-1})y(\lambda_{i-1,p}) + \int_{\lambda_{i-1}}^{\lambda_i} G'(\lambda_i; \lambda')y(\lambda')d\lambda'. \quad (22)$$

Подставляя сюда вместо  $y(\lambda')$  выражение (16) и вводя обозначения

$$a_q^{(i)} = \int_{\lambda_{i-1}}^{\lambda_i} G'(\lambda_i; \lambda')A_q(\lambda' - \lambda_{i-1})d\lambda', \quad q = 0, 1, \dots, p; \quad (23)$$

$$b_v^{(i)} = \int_{\lambda_{i-1}}^{\lambda_i} G'(\lambda_i; \lambda')B_v(\lambda' - \lambda_{i-1})d\lambda', \quad v = 0, p; \quad (24)$$

$$\eta_i = \int_{\lambda_{i-1}}^{\lambda_i} G'(\lambda_i; \lambda')p_i(\lambda')d\lambda', \quad (25)$$

после несложных преобразований, получаем:

$$y'_{ip} = \frac{1}{1 - b_p^{(i)}} \left( f'_{ip} + G(\lambda_i; \lambda_i)y_{ip} - G(\lambda_i; \lambda_{i-1})y_{i-1,p} + \sum_{q=0}^p a_q^{(i)}y_{iq} + b_0^{(i)}y'_{i0} + \eta_i \right). \quad (26)$$

Подставляя полученное выражение для  $y'_{ip}$  в формулу (16), получаем:

$$y(\lambda) = \sum_{q=1}^p y_{ip} C_q^{(i)}(\lambda) + y_{i0} C_0^{(i)}(\lambda) + y'_{i0} B_0^{(i)}(\lambda) + \frac{f'_{ip} - G(\lambda_i; \lambda_{i-1})y_{i-1,p} + b_0^{(i)}y'_{i0}}{1 - b_p^{(i)}} B_p^{(i)}(\lambda) + \rho_i(\lambda) + \frac{\eta_i}{1 - b_0^{(i)}} B_p^{(i)}(\lambda). \quad (27)$$

Здесь

$$C_q^{(i)}(\lambda) = A_q^{(i)}(\lambda) + \frac{a_q^{(i)} + G(\lambda_i; \lambda_i)\delta_{pq}}{1 - b_p^{(i)}} B_p^{(i)}(\lambda), \quad q = 0, 1, \dots, p \quad (28)$$

и

$$\begin{cases} A_q^{(i)}(\lambda) = A_q(\lambda - \lambda_{i-1}), & q = 0, 1, \dots, p, \\ B_v^{(i)}(\lambda) = B_v(\lambda - \lambda_{i-1}), & v = 0; p. \end{cases} \quad (29)$$

5. Заменим теперь искомую функцию  $y(\lambda)$  под знаком интеграла в правой части уравнения (1) ее выражением (27), представляя (27) предварительно в виде:

$$y(\lambda) = f(\lambda) + \int_{\lambda_{i-1}}^{\lambda_i} G(\lambda; \lambda') y(\lambda') d\lambda' + \int_{\lambda-2}^{\lambda_i} G(\lambda; \lambda') y(\lambda') d\lambda'. \quad (30)$$

Считая второй интеграл в (30) известным и полагая  $\lambda = \lambda_{ik}$ , найдем

$$y_{ik} = \sum_{i=1}^p d_{kq}^{(i)} y_{iq} + q_{ik}, \quad k = 1, 2, \dots, p; \quad (31)$$

коэффициенты  $d_{kq}^{(i)}$  определяем по формулам

$$d_{kq}^{(i)} = \int_{\lambda_{i-1}}^{\lambda_{ik}} G(\lambda_{ik}, \lambda') C_q^{(i)}(\lambda') d\lambda', \quad (32)$$

свободные члены, определяем выражением

$$g_{ik} = f_{ik} + \int_{\lambda_{ik,k}}^{\lambda_{i-1}} G(\lambda_{ik}; \lambda') y(\lambda') d\lambda' + \int_{\lambda_{i-1}}^{\lambda_{ik}} G(\lambda_{ik}; \lambda') \left( y_{i0} C_0^{(i)}(\lambda') + y'_{i0} B_0^{(i)}(\lambda') + \frac{f'_{ip} + b_0^{(i)} y'_{i0} - G(\lambda_i; \lambda_{i-1}) y_{i-1,p}}{1 - b_p^{(i)}} B_p^{(i)}(\lambda') \right) d\lambda'. \quad (33)$$

6. Введем в рассмотрение  $I$ -мерный вектор с компонентами  $z_1, z_2, \dots, z_i$ ;  $i$ -ю компоненту вектора  $z$  определим как  $p$ -мерный вектор  $z_i$  с компонентами

$$z_i = (z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{ip}) \quad (34)$$

и поставим ей в соответствие 3 числа  $z_{i0}, z'_{i0}, z'_{ip}$ , которые определим формулами

$$\begin{cases} z_{10} = f_{10}, \\ z_{20} = z_{1p} + (f_{20} - f_{10}), \\ z_{i0} = z_{i-1,p}, \quad i \geq 3; \end{cases} \quad (35)$$

$$\begin{cases} z'_{10} = f'_{10} + G(\lambda_0; \lambda_0)z_{10}, \\ z'_{20} = z'_{1p} + (f'_{20} - f'_{1p}) + G(\lambda_1; \lambda_1)(z_{20} - z_{1p}) - G(\lambda_1; \lambda_0)z_{10}, \\ z'_{30} = z'_{2p} + (f'_{30} - f'_{2p}) - G(\lambda_2; \lambda_1)(z_{20} - z_{1p}), \\ z'_{i0} = z'_{i-1,p}, \quad i \geq 4; \end{cases} \quad (36)$$

$$z'_{ip} = \frac{1}{1 - b_p^{(i)}} \left( f'_{ip} + G(\lambda_i; \lambda_i)z_{ip} - G(\lambda_i; \lambda_{i-1})z_{i-1,p} + \sum_{q=0}^p a_q^{(i)}z_{iq} + b_0^{(i)}z'_{i0} \right). \quad (37)$$

Составим теперь систему уравнений

$$z_{ik} = \sum_{q=1}^p \alpha_{kq}^{(i)} z_{iq} + s_{ik}, \quad (38)$$

где свободный член  $s_{ik}$ , в отличие от выражения (33), не содержит неизвестных величин и определяется в соответствии с формулой (27) выражением

$$\begin{aligned} z(\lambda) = & \sum_{q=1}^p z_{i-1,q} C_q^{(i-1)}(\lambda) + z_{i-1,0} C_0^{(i-1)}(\lambda) + z'_{i-1,0} B_0^{(i-1)}(\lambda) + \\ & + \frac{f'_{i-1,p} - G(\lambda_{i-1}; \lambda_{i-2})z_{i-2,p} + b_0^{(i-1)}z'_{i-1,0}}{1 - b_p^{(i-1)}} B_p^{(i-1)}(\lambda), \quad \lambda_{i-2} \leq \lambda \leq \lambda_{i-1}. \end{aligned} \quad (39)$$

Система (38) совместно с дополнительными соотношениями (35) – (37), (39) представляет собой разностную аппроксимацию исходного интегрального уравнения (1), получаемую с помощью приближенного представления искомой функции  $y(\lambda)$  по формуле (27) без остаточного члена  $R_i(\lambda)$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Фано У., Спенсер Л., Бергер М. Перенос гамма-излучения. М.: Атомиздат, 1963.
2. Григорович Г.А., Николайшвили Ш.С. К численному решению уравнений теории переноса излучений методом моментов // Институт прикладной математики ТГУ, Труды 5 – 6. Тбилиси: Изд-во ТГУ, 1978.
3. Григорович Г.А., Николайшвили Ш.С. Об одном новом методе численного решения интегральных уравнений Вольтерра // Семинар Института прикладной математики ТГУ. Аннотация докладов, 11. Тбилиси, 1976.
4. Алберг Дж., Нильсон Э., Уолли Дж. Теория сплайнов и ее приложения. М.: Мир, 1972.
5. Годунов С.К., Рябенский В.С. Разностные схемы. М.: Наука, 1963 .

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМНЫХ ПРОЦЕССОВ РАЗРУШЕНИЯ ГАЗОПРОВОДОВ

Важную теоретическую и практическую задачу представляет собой проблема разрушения металлических конструкций, в частности газопроводов. Изучение теоретических основ, лежащих в основе данных процессов разрушения, позволяет понять их сущностную сторону как сторону поведения больших систем. Знание ее упрощает разработку конкретных практических мероприятий, дающих возможность продлить срок эксплуатации металлических конструкций (газопроводов).

Рассмотрим идеализированную (математическую) модель газопроводной трубы, поперечное сечение которой изображено на рис.1.

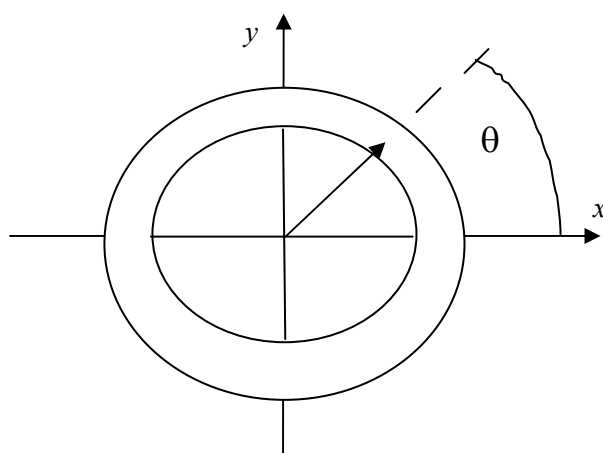


Рис. 1. Поперечное сечение газопроводной трубы.

При наличии достаточно больших напряжений в газопроводной трубе (г.т.) может происходить ее разрыв, вызванный касательными напряжениями  $\sigma$ . В результате в г.т. под действием различных физико-химических причин начнет развиваться процесс образования микротрещин. Уравнение, описывающее расширение  $\bar{U}$  трубы вследствие наличия в ней давления  $P$ , можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} \rho\omega a \frac{\partial^2}{\partial t^2} (\frac{\partial^2 \bar{U}}{\partial t^2} - \bar{U}) + \frac{D}{a^3} (\frac{\partial^6 \bar{U}}{\partial \theta^6} + 2 \frac{\partial^4 \bar{U}}{\partial \theta^4} + \frac{\partial^2 \bar{U}}{\partial \theta^2}) + \\ + P(t) (\frac{\partial^4 \bar{U}}{\partial \theta^4} + \frac{\partial^2 \bar{U}}{\partial \theta^2}) = -P(t) (\frac{\partial^4 U_0}{\partial \theta^4} + \frac{\partial^2 U_0}{\partial \theta^2}), \end{aligned} \quad (1)$$

$$\bar{U}(\theta, 0) = 0, \quad \frac{\partial \bar{U}(\theta, 0)}{\partial t} = 0, \quad (2)$$

$\rho$  – плотность материала трубы;  $\omega$  – площадь поперечного сечения кольца;  $U = U(\theta, t)$  – радиальное перемещение;  $U(\theta, t) = U_0(\theta) + \bar{U}(\theta, t)$  – радиус кольца в момент времени  $t$ ;  $D = Eh^3 / 12(1 - \nu^2)$  – цилиндрическая жесткость кольца;  $a$  – радиус срединной поверхности кольца;  $\bar{U}$  – абсолютное удлинение;  $U_0$  – начальный радиус кольца;  $t$  – время;  $P(t)$  – давление газа внутри трубы;  $\theta$  – полярный угол.

Учитывая уравнение (1) и начальные условия (2), можно найти увеличение внешнего диаметра г.т. Зная данное увеличение и (в простейшем случае) закон Гука, можно найти напряжение в оболочке трубы. В случае, когда эти напряжения превышают предел прочности стали, из которой сделана труба, в ней начнется процесс образования микротрещин, которому будут способствовать также другие причины как физического, так и химического характера. Когда закон Гука в области образования микротрещины не выполняется, необходимо использовать нелинейные зависимости  $\sigma = f(\epsilon)$ , которые связывают напряжения  $\sigma$  и деформации  $\epsilon$  в области образования трещины. Эти зависимости можно определять экспериментально. Обозначим  $r_1$  – радиус г.т. до действия импульсной нагрузки газа  $P(t)$ , а через  $r_2$  – радиус г.т. при действии этой нагрузки:

$$P(t) = \begin{cases} \frac{\bar{P}}{t}, & \text{если } t \in [0, \bar{\tau}] \\ 0, & \text{если } t \notin [0, \bar{\tau}]. \end{cases} \quad (3)$$

Пусть  $\bar{P}, \tau = \text{const}$ ,  $l_1, l_2$  – соответствующая длина периметра трубы, тогда, учитывая, что  $l_1 r_2 = l_2 r_1$ , получаем:

$$l_2 = l_1 \left(1 + \frac{U}{r_1}\right). \quad (4)$$

Используя данное выражение, получаем для касательных напряжений в цилиндрической трубе:

$$\sigma = E l_1 \left(1 + \frac{U}{r_1}\right). \quad (5)$$

Если  $\sigma \leq [\sigma]$ , то выполняется закон Гука (в противном случае выражение (5) будет иметь нелинейный характер  $\sigma = f(\epsilon)$ ), вид функции можно определить, используя метод наименьших квадратов. Применяя метод АВИ, разви-

тый в работе [1], решение задачи (1), (2) при действии импульсной нагрузки  $P(t)$  в г.т., в момент времени  $t$ ,  $t \in [0, \bar{t}]$  можно представить в виде следующего асимптотического ряда:

$$\bar{U}(\theta, t) = \frac{\bar{U}_{-1}(\theta)}{t} + \bar{U}_0(\theta) + \bar{U}_1(\theta)t + \dots, \quad (6)$$

$\bar{U}_{-1}(\theta)$ ,  $\bar{U}_0(\theta)$  дифференцируемые, ограниченные функции своих аргументов.

Изложенные выше теоретические построения позволяют определить критические параметры растрескивания кольца трубы длиной  $h_i$ , где  $i = 1, 2, \dots, k$ .

Определив первоначально  $U_{11}$  для первого кольца и взяв их за начальные в задаче (1), (2), можно найти  $U_{12}$  и так далее  $U_{1k}$  (метод наименьших квадратов). Применяя метод наименьших квадратов, можно определить интегральную зависимость  $\bar{U}(\theta, t, z)$ . Таким образом, для определения зависимости от  $z$  необходимо применить метод экстраполяции.

Одной из важных причин появления трещин в стальных конструкциях (с.к.) является диффузия в них водорода (водородное охрупчивание). Процесс разрушения стальных конструкций можно разделить на три стадии: зарождение трещины, слабое прерывистое распространение трещины, быстрое, нестабильное разрушение. Водородное охрупчивание связано с первыми двумя стадиями. Процесс диффузии связывается с наличием областей высоких объемных напряжений.

Согласно теории плоскостного давления Запфа [2], молекулярный водород выделяется во внутренних пустотах и способствует образованию очень высоких давлений (происходит явление, аналогичное взрыву). Локальные внутренние напряжения, возникающие вследствие этих высоких давлений, накладываются на внешние напряжения, что приводит к растрескиванию стали. Диффузия водорода в микротрещину поддерживает высокое давление. Этим объясняется зависимость водородного охрупчивания от скорости деформации и температуры [3].

Влияние диффузии водорода на процесс образования трещин можно изобразить следующим образом (рис. 2):

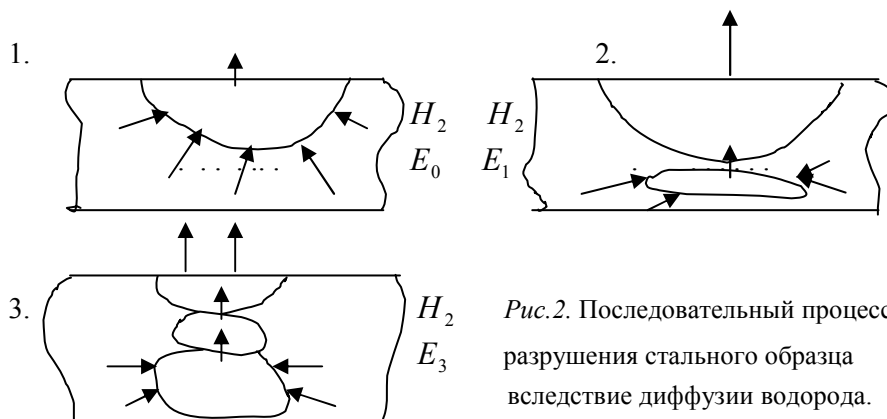


Рис.2. Последовательный процесс разрушения стального образца вследствие диффузии водорода.



На рис.2 изображены стадии наполнения водородом микрополостей в стальном образце. Геометрия микрополостей, существующая в стальных образцах, предопределяет геометрию трещин, которые образуются в процессе их разрушения.

Рассмотрим первую стадию. В результате наполнения микропустоты в ней создается область высокого давления, которое может разрушить ее стенки, если они достаточно малы (этому могут способствовать механические причины). Процесс диффузии водорода в микропустоту описывается как краевая задача для уравнения диффузии:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + D\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) + \frac{Ku}{\alpha_i - t} = Q(t), \quad (7)$$

где  $D$  – коэффициент диффузии,  $\alpha_i$  – время заполнения микропустот, приводящее к их разрушению. На границе области микропустоты задают граничные условия, которые определяются коэффициентом диффузии водорода в рассматриваемом материале. Например  $u(x, t)|_{x \in \partial E_0} = u_1(x, t)$ ,  $u(x, t)|_{t=0} = u_0(x)$ .

Решение данной краевой задачи определяется при помощи асимптотического метода АВИ. Данное решение в однофазовом случае определяется в виде:

$$u(x, y, \tau, t) = \frac{u_{-1}(x, y, \tau)}{(\alpha_i - t)} + u_0(x, y, \tau) + u_1(x, y, \tau)(\alpha_i - t) + \dots + u_N(x, y, \tau)(\alpha_i - t)^N + \dots, \quad (8)$$

где  $\tau = S(x)/(\alpha_i - t)$ ; при  $\alpha_i \rightarrow 0$ , если  $t \in [\alpha_i, T]$ , соответствующее решение определяется так:

$$u(\tau, x, y, t) = u_0(\tau, x, y) + \frac{u_{-1}(\tau, x, y)}{(\alpha_i - t)} + \frac{u_{-2}(\tau, x, y)}{(\alpha_i - t)^2} + \dots \quad (9)$$

В общем случае, если микропустоты в стальных образцах разветвляются, это приводит к разветвлению микротрещин. Данная ситуация описывается многофазовыми решениями уравнения (7), которые можно записать следующим образом:

$$u(\tau_1, \tau_2, \tau_3 \dots \tau_p, x, y, t) = \frac{u_{-1}(\tau_1, \tau_2, \tau_3 \dots \tau_p, x, y)}{\alpha_i - t} + u_0(\tau_1, \tau_2, \tau_3 \dots \tau_p, x, y) + u_2(\tau_1, \tau_2, \tau_3 \dots \tau_p, x, y)(\alpha_i - t) + \dots + u_N(\tau_1, \tau_2, \tau_3 \dots \tau_p, x, y)(\alpha_i - t)^N + \dots \quad (10)$$

$$\tau_k = \frac{S_k(x, y)}{(\alpha_i - t)}, \quad \alpha_i \rightarrow 0, \quad t \rightarrow \alpha_i.$$

Полагая, что  $\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} = R_1$ ,  $\frac{\partial R_1}{\partial t} = R_2$ ,  $\frac{\partial R_2}{\partial t} = R_3$ , получаем кинетическую систему (11), которая описывает кинетические процессы разрушения в газопроводе:

$$\frac{\partial R_3}{\partial t} = H(R_1, R_2, R_3, \bar{U}),$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = H_1(D, K, u).$$
(11)

**Заключение.** Газопровод можно рассматривать как большую систему, процессы разрушения в которой описываются кинетической системой (11).

Качественное и количественное исследование данной большой системы позволяет определить характер ее переходных процессов и их критические параметры, используя метод АВИ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Алехин В.И.* Метод АВИ в математической теории переноса вредных веществ в гетерогенных средах // Труды молодых ученых, Владикавказский научный центр РАН. № 4, 2003.
2. *Zappfe, C. and Sims. C.* Trans. A.I.M.E., 1941. v.145.
3. *De Kazinsky F.* J.Iron Steel Inst., 1954, v.177.



УДК 51

*Доц. БУГУЛОВ Е. А., ст. преп. ШУМАКОВ Н. С.*

#### С. РАМАНУДЖАН И ТЕОРИЯ РАЗБИЕНИЙ

За свою короткую жизнь гениальный индийский математик-самоучка Сриниваза Рамануджан Айенгара оставил заметный след, прославив индийскую математику начала XX в. Таких математиков принято называть математиками от бога. Родился Рамануджан 22 декабря 1887 г. в селении Эрод на юге Индии в семье обедневшего брамина. Умер от туберкулеза легких 20 апреля 1920 г. в Чэткоте – в предместье Мадраса. За свою короткую жизнь Рамануджан сделал много выдающихся открытий. Его творения напоминают изящные этюды гениального Моцарта.

В математическом образовании Рамануджану помогал известный английский математик Г. Х. Харди (1877 – 1947). Вот как отзывался Харди о Рамануджане: «В формулах Рамануджана всегда содержится гораздо больше,

чем это кажется на первый взгляд. Некоторые его формулы вскрывают чрезвычайно глубокие зависимости, другие – менее глубоки, но нет ни одной формулы, сообщенной Рамануджаном, которая не была бы интересной и поучительной».

Работавший вместе с Харди другой крупнейший математик Дж. И. Литтлвуд формулы Рамануджана:

$$\sum_0^{\infty} p(5n+4)x^n = 5 \frac{[(1-x^5)(1-x^{10})(1-x^{15})\dots]^5}{[(1-x)(1-x^2)(1-x^3)\dots]^6};$$

$$\sum_0^{\infty} p(7n+5)x^n = 7 \frac{[(1-x^7)(1-x^{14})(1-x^{21})\dots]^3}{[(1-x)(1-x^2)(1-x^3)\dots]^4} +$$

$$+ 49x \frac{[(1-x^7)(1-x^{14})(1-x^{21})\dots]^7}{[(1-x)(1-x^2)(1-x^3)\dots]^8}.$$

причисляет к самым замечательным формулам всей математики.

Перейдем к некоторым результатам Рамануджана, относящимся к теории разбиений.

В работе Рамануджана дано обобщение одной из его рекуррентных формул для введенной им функции, для которой впервые дано обозначение  $r(n)$ . Потом эта формула обобщается на класс мультипликативных функций, из которой получают вычислительные формулы, применяемые к некоторым из мультипликативных функций:  $r(n)$ ,  $\tau(n)$ ,  $\sigma(n)$  и  $\phi(n)$  и др.

Обобщенная функция  $r(n)$  распространяется на любые числовые функции.

Все формулы подтверждены примерами. Формула (23) устанавливает связь между функцией  $r(n)$  и  $\xi(n)$  – функцией Римана.

Эта же связь дается для сумм  $\sum_n \frac{f(n)}{nS}$ , где  $f(n)$  – некоторые числовые функции.

Все результаты оригинальны.

1. *Функция  $p(n)$* . Функция натурального аргумента  $p(n)$  выражает число представлений  $n$  в виде равных или различных слагаемых.

Согласно Эйлеру,  $p(n)$  задается рядом

$$\prod_n \frac{1}{1-x^n} = 1 + \sum_n p(n)x^n. \quad (1)$$

Здесь и дальше сходимость ряда не требуется, так как нас интересуют только коэффициенты  $p(n)$ .

В равенстве (1) произведение и сумму берут по всем  $n$ .

$$p(1) = 1, p(2) = 2, p(3) = 3, p(4) = 5, p(6) = 7.$$

$$4 = 1_4 = 1_2 + 2 = 1 + 3 = 2 + 2; 5 = 1_5 = 1 + 4 = 1_2 + 3 = 2 + 3 = 1_3 + 2 = 1 + 2 + 2.$$

Функция  $p(n)$  дает разбиения без ограничения.  
Рамануджан и Харди получили асимптотическую формулу

$$p(n) \sim \frac{1}{4n\sqrt{3}} e^{\pi\sqrt{\frac{2}{3}n - \frac{1}{36}}}. \quad (2)$$

Функция  $p(n)$  быстро возрастает. В 1916 г. шотландский математик Мак-Магон опубликовал таблицу значений  $p(n)$  до  $p(200)$  включительно, которая заканчивается 13-значным числом:

$$p(200) = 3972999029388.$$

Известно, что  $p(14031) > 10^{126}$ .

Для доказательства следующих трех теорем Рамануджана требуется лемма.

**Лемма.** Если  $p$  – простое, то в разложении бинома

$$(1-x)^{-p} = 1 + \sum_l C_p^{(pl)} x^{pl} + \sum_{k \neq 0 \pmod{p}} C_p^{(k)} x^k$$

все коэффициенты при  $x^k$  кратны при  $p$ , остальные коэффициенты сравнимы с 1 по модулю  $p$ , т. е. имеют вид  $1 = pk$ .  $C_n^{(m)}$  – число сочетаний из  $n$  по  $m$  с повторениями.

Сформулируем теорему.

**Теорема 1.** Если  $n \equiv 4 \pmod{5}$ , то  $p(n) \equiv 0 \pmod{5}$ .

**Доказательство.** Автор берет тождества Эйлера-Лежандра и Якоби:

$$\prod_n (1-x^n) = 1 + \sum_m (-1)^m [x^{\omega_m} + x^{\bar{\omega}_m}],$$

где  $\omega_m = \frac{m(3m-1)}{2}$ ,  $\bar{\omega}_m = \frac{m(3m+1)}{2}$  –  $m$ -ая пара пятиугольных чисел;

$$\prod_n (1-x^n)^3 = 1 + \sum_n (-1)^n [2n+1] x^{\gamma_n},$$

где  $\gamma_n = \frac{n(n+1)}{2}$  –  $n$ -е треугольное число,

и рассматривает произведение

$$\prod = x \prod_n (1-x^n)^4 = \sum_m \sum_n (-1)^{m+n} [2n+1] x^{t(m,n)}, \quad (3)$$

где

$$t(m, n) = 1 + \frac{m(3m+1)}{2} + \frac{n(n+1)}{2}. \quad (4)$$

Пусть в каком-то члене правой части (3)  $x$  имеет показатель, кратный 5:

$$t(m, n) \equiv 0 \pmod{5}. \quad (5)$$

Тогда из равенства (4) получим:

$$\begin{aligned} 8t(m, n) &= 2(m+1)^2 + (2n+1)^2 + 10m^2 + 5, \\ 2(m+1)^2 + (2n+1)^2 &\equiv \pmod{5}. \end{aligned}$$

Последнее сравнение возможно только при

$$m+1, 2n+1 \equiv 0 \pmod{5}.$$

Таким образом,  $t(m, n)$  делится на 5 только вместе со своим коэффициентом  $2n+1$  в равенстве (3).

Заметим далее, что согласно лемме, в разложении  $(1-x)^{-5}$  все коэффициенты делятся на 5 за исключением коэффициентов тех членов, куда входят  $x^0, x^5, x^{10}, \dots$

Коэффициенты членов, содержащих  $x^{5s}$ , сравнимы с 1 по модулю 5.

С другой стороны:

$$\frac{1}{1-x^5} = 1 + x^5 + x^{10} + \dots,$$

поэтому можно написать сравнение

$$\frac{1}{1-x^5} \equiv \frac{1}{1-x^5} \pmod{5} \quad \text{или} \quad \frac{1-x^5}{1-x^5} \equiv 1 \pmod{5},$$

т. е. коэффициенты рядов для  $(1-x)^{-5}$  и  $(1-x^5)^{-1}$  соответственно сравнимы по модулю 5.

Отсюда, в частности, следует, что коэффициенты при  $x^5$  в разложении

$$x \frac{(1-x^5)(1-x^{10})\dots}{(1-x^5)(1-x^2)\dots} \equiv x \frac{[(1-x)(1-x^2)\dots]^4 (1-x^5)(1-x^{10})\dots}{[(1-x)(1-x^2)\dots]^5} \quad (6)$$

делятся на 5.

Вследствие того, что в разложении

$$(1-x^5)(1-x^{10})\dots = \prod_n (1-x^{5n}) = 1 + \sum_n (-1)^n [x^{5\omega_n} + x^{5\bar{\omega}_n}]$$

коэффициенты по абсолютной величине равны 1, из (6) следует, что в разложении

$$\frac{x}{(1-x)(1-x^2)\dots} \quad (7)$$

коэффициенты  $x^5$  кратны 5.

Выражение (7) дает производящую функцию

$$xP(x) = x + \sum_n p(n)x^{n+1}. \quad (8)$$

В соответствии со сказанным выше, равенство (8) для  $n+1 = 5s$  дает  $p(n) \equiv 0 \pmod{5}$ .

Полученный результат можно написать в виде сравнения:

$$p(5s+4) \equiv 0 \pmod{5}.$$

Теорема доказана.

Приведем иллюстрирующие примеры.

$$p(4) = 5, \quad p(9) = 30, \quad p(14) = 135, \dots, \quad p(34) = 12310, \quad p(99) = 169229875.$$

Аналогично доказываются следующие три теоремы Рамануджана.

**Теорема 2.** Если  $n \equiv 5 \pmod{7}$ , то  $p(n) \equiv 0 \pmod{7}$ .

**Теорема 3.** Если  $n \equiv 6 \pmod{11}$ , то  $p(n) \equiv 0 \pmod{11}$ .

**Теорема 4.** Если  $m = 5^\alpha 7^\beta 11^\gamma$ ,  $\alpha, \beta, \gamma \geq 0$ , то для любого натурального  $n$ , удовлетворяющего условию  $24n \equiv 1 \pmod{m}$ , имеет место сравнение  $p(n) \equiv 0 \pmod{m}$ .

Использована книга [1].

## 2. Функция Рамануджана

Функция Рамануджана определяется равенством:

$$x \prod_n (1-x^n)^{24} = \sum_n r(n)x^n, \quad r(1) = 1 \quad (*)$$

где  $x \prod_n (1-x^n)^{24}$  – производящая функция функции  $r(n)$ .

Рамануджан в 1916 г. обнаружил следующие свойства функции  $r(n)$ :

1) если  $(m, n) = 1$ , то  $r(mn) = r(m)r(n)$ ;

$$2) \sum_n \frac{r(n)}{n^s} = \prod_p \frac{1}{1 - r(p)p^{-s} - p^{11-2s}}, \quad s > 1 \quad (9)$$

и ее мультипликативность.

В 2) сумма берется по всем натуральным  $n$ , произведение – по всем простым  $p$ .

В 1917 г. L. Mordell доказал справедливость свойств 1), 2). Пользуясь тождеством Якоби

$$\prod_n (1-x^n)^3 = 1 + \sum_n (-1)^n (2n+1)x^{\gamma_n},$$

где  $\gamma_n = \frac{n(n+1)}{2}$  есть  $n$ -е треугольное число.

Рамануджан вывел рекуррентную формулу:

$$(n-1)r(n) = \sum_{k \geq 1} (-1)^{k+1} (2k+1)(n-1-9\gamma_k)r(n-\gamma_k).$$

С помощью этой формулы составил таблицу значений функции  $r(n)$  для всех  $n \leq 30$ .

Выведем новые рекуррентные формулы для  $r(n)$ .

**Теорема 5.** Для всех натуральных  $n$  справедлива формула:

$$(n-1)r(n) = -24 \sum_{k \geq 1} r(k)\sigma(n-k), \quad (10)$$

где  $\sigma(m) = \sum_{d|n} d$ .

**Доказательство.** Продифференцируем равенство (\*). Получим:

$$\sum_n nr(n)x^n = \sum_n r(n)x^n + 24x \prod_n (1-x^n)^{23} (1-x^n) \sum_n \frac{-nx^n}{1-x^n}.$$

Учтем равенство

$$\sum_n \frac{-nx^n}{1-x^n} = \sum_n \sigma(n)x^n.$$

и преобразуем:

$$\sum_n nr(n)x^n = \sum_n r(n)x^n - 24r(n)x^n \sum_n \sigma(n)x^n.$$

Отсюда следует (10).

Вычислим  $r(2)$  и  $r(3)$ :

$$r(2) = -24r(1)\sigma(1) = -24;$$

$$2r(3) = -24[r(1)\sigma(2) + r(2)\sigma(1)] = -24(3 - 24), \quad r(3) = 252.$$

В правой части формулы можно писать  $\sum \sigma(n)r(n-k)$ .

**Теорема 6.** Справедлива формула:

$$(n-1)r(n) = \sum_{k \geq 1} (-1)^{k+1} [(n-1-25\omega_k)r(n-\omega_k) + (n-1-25\bar{\omega}_n)r(n-\bar{\omega}_k)], \quad (11)$$

где  $\omega_k = \frac{k(3k-1)}{2}$ ,  $\bar{\omega}_k = \frac{k(3k+1)}{2}$  –  $k$ -я пара пятиугольных чисел.

**Доказательство.** Используем формулу Эйлера-Лежандра:

$$\prod_n (1 - x^n) = 1 + \sum_k (-1)^k (x^{\omega_k} + x^{\bar{\omega}_k}).$$

Имеем

$$\sum_n r(n)x^n = x \left[ 1 + \sum_k (-1)^k (x^{\omega_k} + x^{\bar{\omega}_k}) \right]^{24}.$$

Применим к написанному равенству тот же оператор  $xf'(x)$ . Получим

$$\begin{aligned} \sum_n r(n)x^n &= \sum_n r(n)x^n + x24 \left[ 1 + \sum_k (-1)^k (x^{\omega_k} + x^{\bar{\omega}_k}) \right]^{23} \times \\ &\quad \times \sum_k (-1)^k (\omega_k x^{\omega_k} + \bar{\omega}_k x^{\bar{\omega}_k}). \end{aligned}$$

Умножим обе части на  $\left[ 1 + \sum_k (-1)^k (x^{\omega_k} + x^{\bar{\omega}_k}) \right]$  и преобразуем:

$$(n-1)r(n) \left[ 1 + \sum_k (-1)^k (x^{\omega_k} + x^{\bar{\omega}_k}) \right] = 24 \sum_n r(n)x^n \sum_k (-1)^k (\omega_k x^{\omega_k} + \bar{\omega}_k x^{\bar{\omega}_k}).$$

Отсюда для коэффициента  $x^n$  получается доказываемое равенство (11).

Следующая теорема содержит функцию разбиения  $p(n)$ .

**Теорема 7.** Функции  $r(n)$  и  $p(n)$  связаны рекуррентными равенствами:

$$\left. \begin{aligned} (n-1)r(n) &= - \sum_{k \geq 1} (24n-1-23k)r(k)p(n-k), \\ \text{или } (n-1)r(n) &= - \sum_{k \geq 1} (n-1+23k)p(k)r(n-k). \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

**Доказательство.** Для функции  $p(n)$  возьмем ее производящую функцию

$$\prod_n (1 - x^n)^{-1} = 1 + \sum_m p(m)x^m.$$

Тогда для функции Рамануджана получим равенство:

$$\sum_n r(n)x^n = x \left[ 1 + \sum_n p(n)x^n \right]^{-24}. \quad (13)$$

Применим к (13) оператор  $xf'(x)$ :

$$\sum_n nr(n)x^n = x \left[ 1 + \sum_n p(n)x^n \right]^{-24} - 24x \left[ 1 + \sum_n p(n)x^n \right]^{-25} \sum_n np(n)x^n.$$



Отсюда

$$\sum_n (n-1)r(n)x^n = -24 \left[ 1 + \sum_n p(n)x^n \right]^{-25} \sum_n np(n)x^n .$$

Умножим обе части на  $1 + \sum_n p(n)x^n$  и учтем равенство (13).

Получим равенство

$$\sum_n (n-1)r(n) \left[ 1 + \sum_n p(n)x^n \right] = -24 \sum_n r(n)x^n \sum_n np(n)x^n ,$$

из которого следуют доказываемые равенства.

Возьмем пример:

$$1) 3r(4) = -24[72r(1)p(3) + 49r(2)p(2) + 26r(3)p(1)] = -24[72 \cdot 1 \cdot 3 + 49 \cdot (-24) \cdot 2 + 26 \cdot 252 \cdot 1] = -1472 \cdot 3, \quad r(4) = -1472.$$

$$2) 3r(4) = -24[26p(1)r(3) + 49p(2)r(2) + 72p(3)r(1)].$$

Формулы (12) удобны при наличии таблицы значений  $p(n)$ .

*Замечание.* Каждая из формул (12) получается из другой заменой  $k$  на  $n - k$ . См. вычисление 2).

Для функции  $r(n)$  Рамануджан нашел рекуррентную формулу:

$$r(p^k) = r(p^{k-1})r(p) - p^{11}r(p^{k-2}), \quad (**)$$

где  $p$  – простое,  $k \geq 2$ .

Оказывается, что для мультипликативных функций справедливо более общее рекуррентное равенство:

$$f(p^k) = f(p^{k-1})f(p) + af(p^{k-2}), \quad (14)$$

где  $p$  – простое,  $k \geq 2$  (натуральное),  $a$  - параметр, который может зависеть только от  $p$ ,  $f(1) = 1$ .

Опираясь на равенство (14), можно получить вычислительную формулу для функции  $f$ .

**Теорема 8.** Если для мультипликативной функции имеет место равенство (14), то справедлива формула

$$f(p^k) = \sum_0^{\left[ \frac{k}{2} \right]} C_{k-i}^i a^i f^{k-2i}(p). \quad (15)$$

**Доказательство.** Для упрощения выкладок введем обозначения:  $f(p) = f_1$ ,  $f(p^k) = f_k$ .

При этом равенство (15) заменится следующими двумя равенствами:

$$\begin{cases} f_{2k} = f_1^{2k} + \sum_1^k C_{2k-i}^i a^i f_1^{2k-2i}, \\ f_{2k+1} = f_1^{2k+1} + \sum_1^k C_{2k+1-i}^i a^i f_1^{2k+1-2i}. \end{cases} \quad (16)$$

Непосредственно из (14) получается, что равенства (16) верны для  $k = 2, 3$ :

$$f_2 = f_1^2 + aC_2^2, \quad f_3 = f_1^3 + aC_2^1 f_1.$$

Допустим, что равенства (16) верны для некоторого  $k \geq 1$ .

Рассмотрим функцию  $f_{2k+2}$ . Согласно (14) можно написать равенство:

$$f_{2k+2} = f_{2k+1} f_1 + a f_{2k}.$$

Отсюда на основании равенств (16) получим:

$$\begin{aligned} f_{2k+2} &= \left( f_1^{2k+1} + \sum_1^k C_{2k+1-i}^i a^i f_1^{2k+1-2i} \right) f_1 + a \left( f_1^{2k} + \sum_1^k C_{2k-i}^i a^i f_1^{2k-2i} \right) = \\ &= f_1^{2k+2} + \sum_1^{k+1} (C_{2k+1-i}^i + C_{2k+1-i}^{i-1}) a^i f_1^{2k+2-2i} = \\ &= f_1^{2k+2} + \sum_1^{k+1} C_{2k+2-i}^i a^i f_1^{2(k+1)-2i}. \end{aligned}$$

Результат совпадает с первым из равенств (16) для  $k + 1$ , второе равенство (16) доказывается аналогично.

Формула (15) верна для любого  $k \geq 2$ .

Значение параметра  $a$  для некоторых функций:

$$\tau(n) = \sum_{d|n} 1, \quad a = -1,$$

$$\sigma(n) = \sum_{d|n} d, \quad a = -p.$$

$$\text{Ранговая функция } R(n) = \sum_{d|n} \frac{1}{d}, \quad a = -\frac{1}{p}$$

Функция Лиувилля  $\alpha = 0$ .

$$\text{Функция Эйлера } \varphi(n) = n \prod_{p|n} \left( 1 - \frac{1}{p} \right), \quad a = p, \quad k \geq 3.$$

Функция Рамануджана  $r(n)$ ,  $a = -p^{11}$ .

Теорема ценна для функций  $f$ , не имеющих обычных вычислительных формул.

Одной из таких функций является функция  $r(n)$  Рамануджана. Для подобных функций  $f$  надо сначала вычислить значение  $f(p)$ , потом применить формулу (15) или формулы (16).

Для вычисления  $f(n)$  требуется применение свойства мультипликативности.

Можно пользоваться обобщенной теоремой.

**Теорема 9.** Если функция  $f$  удовлетворяет рекуррентному равенству (14), то справедлива формула:

$$f(n) = \sum_{\delta|n_1} a_{\delta} f\left(\frac{n_1}{\delta}\right) f\left(\frac{n}{n_1\delta}\right), \quad (17)$$

где  $n = \prod_1^v p_i^{a_i}$ ,  $n_1 = \prod_1^v p_i$ ,  $a_{p_i}$  - параметр, соответствующий  $p_i$ ,

$$a_{\delta} = \prod_{\delta|n_1} a_{p_i}, \quad a_1 = 1 [1].$$

Ограничимся примером на функцию  $\sigma(n)$ .

$$\sigma(p^2 q^3) = \sigma(pq)\sigma(pq^2) + a_p \sigma(q)\sigma(q^2) + a_q \sigma(p)\sigma(pq) + a_p a_q \sigma(1)\sigma(q),$$

$$a_p = -p, \quad a_q = -q.$$

Вычислив  $\sigma(p^2 q^2)$  по известной формуле, можно убедиться в правильности выкладок.

Для  $r(p^2 q^2)$  можем написать аналогичное равенство. Здесь  $a_p = -p^{11}$ ,  $a_q = -q^{11}$ ;

$$r(p^2 q^3) = r(pq)r(pq^2) - p^{11} r(q)r(p^2) - q^{11} r(p)r(pq) + (pq)^{11} r(1)r(q).$$

Вместо написанного равенства можно взять

$$r(p^2 q^3) = r(p^2) r(q^3)$$

и применить формулы (16).

Некоторые следствия из формул (16).

1). Если  $k$  – четное, то правая часть (15) содержит только четные степени  $f_1$ , последний член равенства  $a^{\frac{k}{2}}$ .

2). Если  $k$  – нечетное, то правая часть (15) содержит только нечетные степени  $f_1$ .

3).  $a = f_2 - f_1^2$ .

4).  $f_{2k} - f_1^{2k}$  делится на  $a$ .

5).  $f_{2k+1} - f_1^{2k+1}$  делится на  $af_1$ .

6).  $f_{2k} - f_{2k+1}$  не делится на  $f_1$ .

Для функции  $r(n)$  можно отметить следующие два свойства:

1.  $r(2^k)$  четное и делится на  $2^{3k}$ .

Например,  $r(2^5)$  делится на  $2^{15}$ .

2. Если  $r(p) : q$ , то  $r(p^{2k+1})$  делится на  $q$ ;  $r(p^k)$  делится на  $p^{2k}$  при  $r(p)$ , делящемся на  $p^p$ .

Например,  $r(3)$  делится на 5,  $r(27)$  делится на 5,  $r(3)$  делится на  $3^2$ ,  $r(27)$  делится на  $3^6$ .

Вычислим  $r(4)$ ,  $r(9)$ ,  $r(36)$  и  $r(128)$ :

1.  $r(4) = r^2(2) - 2^{11} = -2^6 \cdot 23 = -1472$ ;  $r(2) = -2^3 \cdot 3$ .

2.  $r(9) = r^2(3) - 3^{11} = -2^4 \cdot 3^3 \cdot 7^2 - 3^{11} = -3^4 \cdot 23 \cdot 61 = -113643$ ;  $r(3) = 2^2 \cdot 3^2 \cdot 7$ .

3.  $r(36) = r(4)r(9) = 2^6 \cdot 3^4 \cdot 23^2 \cdot 61 = 167282496$ .

4. По формуле (15) при  $r(2) = -2^3 \cdot 3$ :

$$\begin{aligned} r(2^7) &= r^7(2) + C_1^6 (-2^{11})(-2^{15} \cdot 3^5) + C_5^2 2^{22} (-2^9 \cdot 3^3) + 4(-2^{33})(-2^3 \cdot 3) = \\ &= 2^{21} \cdot 3^7 + 2^{27} \cdot 3^6 - 2^{32} \cdot 3^3 \cdot 5 + 2^{38} \cdot 3 = 2^{21} \cdot 3(2^6 \cdot 3^5 + 2^{17} - 2^{11} \cdot 3^2 \cdot 5 - 3^6) = \\ &= 2^{21} \cdot 3 \cdot 5 \cdot 11 \cdot 977 = 338071388160. \end{aligned}$$

Функция Рамануджана по абсолютной величине быстро возрастает. Например, для  $r(640) = r(128 \cdot 5)$  получается значение

$$r(128)r(5) = 2^{22} \cdot 3^2 \cdot 5^2 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 23 = 1632885804812800,$$

$$r(5) = 2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 23 = 4830.$$

Можно обобщить рекуррентное равенство (11) на случай  $f(1) = b$ . В этом случае вместо равенства (15) получится равенство:

$$f(p^k) = f^k(p) + \sum_1^{\left[ \frac{k}{2} \right]} a^i \left( C_{k-1-i}^{i-1} b + C_{k-1-i}^i \right) f^{k-2i}(p). \quad (15')$$

Доказательство соответствующей теоремы (15') приведено в [1].

**Теорема 10.** Для любой мультипликативной функции  $f$  имеет место равенство

$$\sum_n \frac{f(n)}{n^s} = \prod_p \frac{1}{1 - f(p)p^{-s}ap^{-2s}}, \quad s > 1. \quad (18)$$

**Доказательство.** Известно, что для функции  $f$  справедливо равенство:

$$\sum_n \frac{f(n)}{n^s} = \prod_p \left(1 + f(p)p^{-s} + f(p^2)p^{-2s} + \dots\right), \quad (19)$$

где сумма в левой части берется по всем натуральным  $n$ , а произведение – по всем простым  $p$  [2].

Обе части (19) сходятся к пределу, выражающемуся через дзета-функцию Римана или ее комбинации.

Пусть функция  $f$  удовлетворяет условию (14). Тогда согласно теореме (5) для нее справедливо равенство (15) и при принятых условных обозначениях можно написать:

$$S_p = 1 + f_1 p^{-s} + f_2 p^{-2s} + f_3 p^{-3s} + \dots \quad (20)$$

Применим формулы (16):

$$\begin{aligned} S_p = & 1 + f_1 p^{-s} + (f_1^2 + aC_1^1) p^{-2s} + (f_1^3 + aC_2^1 f_1) p^{-3s} + \\ & + (f_1^4 + aC_3^1 f_1^2 + C_2^2 a^2) p^{-4s} + \dots = 1 + c + c^2 + c^3 + \dots + ap^{-2s}(1 + 2c + 3c^2 + \dots) + \\ & + a^2 p^{-4s}(1 + 3c + 6c^2 + \dots), \end{aligned}$$

где  $c = f_1 p^{-s}$ .

Напишем промежуточные суммы в компактном виде. Будем иметь:

$$\begin{aligned} S_p = & \frac{1}{1-c} + ap^{-s} \frac{1}{(1-c)^2} + a^2 p^{-4s} \frac{1}{(1-c)^3} + \dots = \\ = & \frac{1}{1-c} : \left(1 - \frac{ap^{-2s}}{1-c}\right) = \frac{1}{1-c-ap^{-2s}} = \frac{1}{1-f_1 p^{-s} - ap^{-2s}}. \end{aligned}$$

В итоге имеем:

$$S_p = \frac{1}{1-f(p)p^{-s} - ap^{-2s}}. \quad (21)$$

Равенства (20) и (21) доказывают теорему 10.

Из (21) для  $r(n)$  получается

$$S_p = \frac{1}{1-r(p)p^{-s} - p^{11-2s}}. \quad (22)$$

На основании равенства (22) можно написать:

$$\sum_n \frac{r(n)}{n^s} = \prod_p \frac{1}{1-r(p)p^{-s} + p^{11-2s}}. \quad (23)$$

Равенство (23) является частным случаем равенства:

$$\sum_n \frac{f(n)}{n^s} = \prod_p \frac{1}{1 - f(p)p^{-s} + ap^{-2s}}. \quad (24)$$

Применим равенство (24) к некоторым функциям.

1. Функция  $\tau(n)$ ,  $\alpha = -1$ .

$$S_p = \frac{1}{1 - 2p^{-s} + p^{-2s}} = \frac{1}{(1 - p^{-s})^2},$$

$$\sum_n \frac{\tau(n)}{n^s} = \prod_p S_p = \xi^2(s), \quad s > 1.$$

2. Функция  $\sigma(n)$ ,  $\alpha = -p, f(p) = p + 1$ .

$$S_p = \frac{1}{1 - (1+p)p^{-s} + p^{1-2s}} = \frac{1}{(1 - p^{-s})(1 - p^{1-s})},$$

$$\sum_n \frac{\sigma(n)}{n^s} = \xi(s)\xi(s-1), \quad s > 2.$$

3. Ранговая функция  $\alpha = p^1$ .

$$S_p = \frac{1}{1 - \frac{p+1}{p}p^{-s} + \frac{1}{p}p^{-2s}} = \frac{1}{(1 - p^{-s})(1 - p^{-1-s})},$$

$$\sum_n \frac{R(n)}{n^s} = \xi(s)\xi(s+1), \quad s > 1.$$

4. Функция Лиувилля  $\alpha = 0, f(p) = -1$ .

$$S_p = \frac{1}{1 - p^{-s}} = \frac{1 - p^{-s}}{1 - p^{-2s}},$$

$$\sum_n \frac{\lambda(n)}{n^s} = \frac{\xi(2s)}{\xi(s)}, \quad s > 1.$$

5. Функция  $\sigma_c(n) = \sum_{d|n} d^c$ ,  $a = -p^c$ .

$$S_p = \frac{1}{1 - (p^c + 1)p^{-s} + p^{c-2s}} = \frac{1}{(1 - p^{-s})(1 - p^{c-s})} = \xi(s)\xi(s-c), \quad s > c + 1.$$

Например,  $S_2 = \xi(s)\xi(s-2)$ ,  $S_3 = \xi(s)\xi(s-3)$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бугулов Е. А. Избранные главы теории чисел. Ч. I. Владикавказ, 1997.
2. Поля Г., Сега Г. Задачи и теоремы из анализа, Ч. II. – М.: 1956, с. 142.



УДК 51

Ст. преп. ШУМАКОВ Н. С.

### ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НАТУРАЛЬНЫХ ЧИСЕЛ В ВИДЕ СУММЫ КУБОВ ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ

*Доказана возможность представления натуральных чисел в виде суммы кубов простых чисел<sup>1</sup>. Целью исследования является получение формул для выявления этих функций. Поставленный вопрос рассматривается впервые в теории чисел.*

Введем в рассмотрение функции  $C(n)$  и  $C^*(n)$ , соответственно определяемые равенствами:

$$\prod_p \frac{1}{1-x^{p^3}} = 1 + \sum_n C(n)x^n, \quad (1)$$

$$\prod_p (1+x^{p^3}) = 1 + \sum_n C^*(n)x^n. \quad (2)$$

где  $C(n)$  – число представлений натурального числа  $n$  в виде суммы кубов простых чисел, а  $C^*(n)$  – число представлений натурального числа  $n$  в виде суммы различных простых слагаемых.

Путем дифференцирования равенств (1) и (2) получим:

$$\sum_n nC(n)x^n = (1 + \sum_n C(n)x^n) \sum_p \frac{p^3 x^{p^3}}{1-x^{p^3}}, \quad (3)$$

$$\sum_n nC^*(n)x^n = (1 + \sum_n C^*(n)x^n) \sum_p \frac{p^3 x^{p^3}}{1+x^{p^3}}. \quad (4)$$

Появляются вспомогательные функции, определяемые равенствами:

---

<sup>1</sup> Бугулов Е. А. Избранные главы теории чисел. Часть первая. Владикавказ. 1997.

$$\sum_p \frac{p^3 x^{p^3}}{1-x^{p^3}} = \sum_n T(n)x^n, \quad (5)$$

$$\sum_p \frac{p^3 x^{p^3}}{1-x^{p^3}} = \sum_n T^*(n)x^n. \quad (6)$$

Введем вспомогательные функции (5) и (6) в равенства (3) и (4), получим формулы:

$$\sum_m nC(n)x^n = (1 + \sum_n C(n)x^n) \sum_n T(n)x^n,$$

$$\sum_m nC^*(n)x^n = (1 + \sum_n C^*(n)x^n) \sum_n T^*(n)x^n.$$

После некоторых преобразований получим формулы:

$$nC(n) = T(n) + \sum_{k \geq 1} C(k)T(n-k),$$

$$nC^*(n) = T^*(n) + \sum_{k \geq 1} C^*(k)T^*(n-k),$$

$$T(n) = \sum_{p|m} p^3, \quad n = m^3 \times n_1, \quad n_1 \text{ свободно от куба.}$$

**Заключение.** Показано, что любое натуральное число можно представить в виде суммы кубов простых чисел.



УДК 681.32. 075

*Доц. ГВРИТИШВИЛИ П. П.*

### ОБ ОДНОМ АЛГОРИТМЕ ОБРАБОТКИ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ

Алгоритм обработки видеоизображений своим появлением обязан тому, что визуальные компьютерные системы при вводе информации об изображении не могут «ответить на вопрос» какой элемент изображения является минимальным. Поэтому перед вводом изображения, а это справедливо для автоматических вычислительных систем, необходимо произвести некоторые рассуждения, противоречащие начальной постановке задачи обработки видеоизображения, а именно:



- при анализе изображений ввиду их больших размеров сначала каждый элемент изобретения увеличивается в два раза;
- далее увеличение количества элементов кадра нужно скомпенсировать распараллеливанием действий в сети при его обработке;
- находим минимальный элемент и если кодовая цепочка описания его по местоположению своему совпадает с изначальным, то минимальный элемент выбран верно, в противном же случае необходимо повторить получение видеокadra и все вышеизложенные действия итерационного цикла.

Метод, заложенный в данном алгоритме, напоминает теорию дифференциальных игр. Исходя из порядка действий, при обработке изображений четко просматривается его адаптивность, что может способствовать ускорению обработки видеокadra из-за четкой определенности элементов изображения и исключения необходимости полного перебора всех сочетаний элементов цифрового описания, что в совокупности с другими свойствами положительно сказывается на ускорении времени автоматической обработки и в конечном счете на распознавании объектов, попадающих в поле «зрения» визуальной компьютерной системы.



УДК 681.32

*Доц. ГВРИТИШВИЛИ П. П.*

## **НЕКОТОРЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ПРИ АНАЛИЗЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СЦЕН**

В исследовательских проектах часто анализируют сцены видеоизображений, космических объектов базисного толка, которые играют достаточно важную роль. Например, зная размеры манипулируемых объектов – базисную характеристику, по которой легко составить мнение о протяженности объекта, например зонда, или другого, попадающего в поле зрения визуальной компьютерной системы (ВКС)\*, можно получить информацию при анализе сцен, возникающих в условиях космического пространства. Например, робот-исследователь имеет схват определенных размеров и тогда по тени, отбрасываемой роботом, можно вычислить размеры находящихся в непосредственной близости кратеров и других объектов из сцены, анализируемой в автоматическом режиме роботом-исследователем, находящимся на большом удалении от Земли. По этой информации можно приближенно составить мнение и о некоторых других физических характеристиках об объектах, находящихся на планетах, удаленных от Солнечной системы на большие расстояния.



### ОБ ИНТЕГРАЛЬНОМ ОПЕРАТОРЕ Я. Б. ЛОПАТИНСКОГО

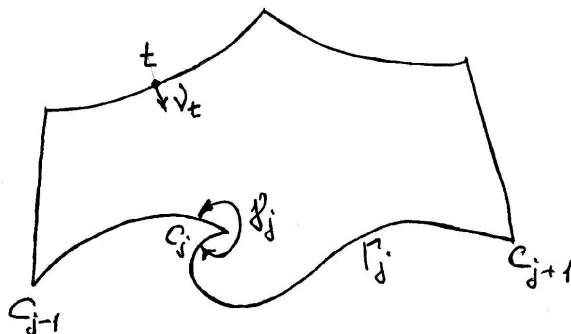
В работах Я. Б. Лопатинского в связи с исследованием граничных задач для дифференциальных уравнений в частных производных было получено и исследовано интегральное уравнение следующего вида:

$$A\varphi(t) = \varphi(t) - \int_{\Gamma} w(t, \tau)\varphi(\tau)d\tau = f(t), \quad (1)$$

где  $\varphi, f \in L_1^N(\Gamma)$ , с некоторым весом

$$w(t, \tau) = \frac{1}{|t - \tau|} G_{\Gamma} \left( t, \tau, \nu_t, \nu_{\tau}, \frac{t - \tau}{|t - \tau|} \right);$$

здесь  $\Gamma = \bigcup_{j=1}^n \Gamma_j$  – замкнутая ориентированная кусочно-гладкая кривая, состоящая из гладких дуг Ляпунова  $\Gamma_j = C_j$ ,  $C_{j-1}$  ( $j = \overline{1, n}$ ;  $C_{n+1} = C_1$ ), которые составляют угол  $\gamma_j$  в узле  $C_j$  ( $\gamma_j \neq 0, 2\pi$ ,  $j = \overline{1, n}$ ), отсчитываемого слева от  $\Gamma$  (рисунок).



$\nu_t$  – внутренняя нормаль к  $\Gamma$  в точке  $t \in \Gamma$ , а  $G(t, \tau, e_1, e_2, e_3)$  – квадратная  $N \times N$  матрица – функция от переменных  $t, \tau \in \Gamma$  и единичных векторов  $e_1, e_2, e_3$ , элементы которой  $G = \|G_{rk}\|_{N \times N}$  удовлетворяют условиям:

а)  $G_{rk}(t, \tau, e_1, e_2, e_3)$  непрерывны по Липшицу относительно всех аргументов; при этом непрерывность относительно ортов понимается как непрерывность (по Липшицу) относительно углов, которые эти орты составляют с фиксированным направлением;

$$в) G_{rk}(t, \tau, e_1, e_2, e_3) = O(|e_1, e_3| + |e_2, e_1|)$$

В работах Я. Б. Лопатинского были получены критерий нётеровости и формула индекса.

Мы можем рассмотреть уравнение (1) в пространстве  $L_p^N(\Gamma, \rho)$ , где  $p$  и  $\rho(t)$  удовлетворяют условиям:

$$\rho(t) = \prod_{k=1}^n |t - C_k|^{\alpha_k}, \quad -1 < \alpha_k < p-1, \quad 1 < p < \infty. \quad (2)$$

Уравнению (1) в пространстве  $L_p^N(\Gamma, \rho)$  сопоставим символ:

$$A_w(t, \xi) = \begin{cases} I, & \text{если } t \neq C_1, \dots, C_n, \\ \begin{pmatrix} 0 & w_{C_j 12}(\xi_c) \\ \tilde{w}_{C_j 21}(\xi_2) & 0 \end{pmatrix}, & \text{если } t = C_1, \end{cases}$$

$$\tilde{w}_{C_j 12}(\xi) = \int_0^\infty x^{\beta_j - i\xi - 1} w_{C_j 12}(x, 1) dx,$$

$$\tilde{w}_{C_j 21}(\xi) = \int_0^\infty x^{\beta_j - i\xi - 1} w_{C_j 21}(x_1, 1) dx,$$

$$\xi \in IR = ]-\infty; \infty[ ,$$

где  $\beta_j = (1 + \alpha_j) / p$ ,  $w_{C_j 12}$  и  $w_{C_j 21}$  – функции с фиксированными особенностями.

Теорема. Для того чтобы уравнение (1) было нётеровым в векторном пространстве  $L_p^N(\Gamma, \rho)$ , необходимо и достаточно, чтобы его символ  $A_\omega(t, \xi)$  удовлетворял условию:

$$\inf_{\substack{t \in \Gamma \\ t \in IR}} \det |A_\omega(t, \xi)| > 0.$$

Если условие теории выполнено, индекс уравнения определяется равенством

$$\text{Ind } A = - \sum_{j=1}^n \left[ \arg A_\omega(C_j, \xi) \right]_{\xi \in IR}.$$

УДК 681.586

*Проф. МУСТАФАЕВ Г.А., ст. МУСТАФАЕВ М.Г.*

**ИОННОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ ПЛЕНОК СОЕДИНЕНИЙ  
ХАЛЬКОГЕНИДОВ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРВОЙ ГРУППЫ**

*Исследованы профили концентрации ионновнедренных примесей в пленках соединений халькогенидов элементов первой группы. Показано, что увеличение порядкового номера и атомного веса внедренного иона при облучении вызывает смещение максимума профиля примеси к поверхности и внедренные первичные ионы имеют гауссово распределение.*

Получение информации о процессах и явлениях, сопровождающих ионное облучение пленок соединений халькогенидов элементов первой группы, важно для решения таких задач, как разработка и применение различных приборов на их основе и для направленного изменения свойств исследуемых пленок. Кроме того, ионная имплантация пленок соединений халькогенидов элементов первой группы позволяет продолжить изучение влияния дефектности на их свойства.

К настоящему времени накоплено достаточно много фактического материала по ионно-имплантированному легированию полупроводников [1-3]. Интерпретация экспериментов проводится на основе теорий Фирсова [4] и Линдхарда – Шарфа [5]. Обе теории основаны на модели атома Томаса-Ферми и дают одинаковую зависимость потерь энергии от скорости иона. В теории Фирсова имеется непосредственная связь между потерей энергии и прицельным параметром. Вследствие этого она используется при обработке экспериментов по потерям энергии каналированных ионов. Теория Фирсова основана на качественной трактовке средней энергии возбуждения электронов при ион-атомных столкновениях.

Применение ионно-лучевой технологии к соединениям халькогенидов элементов первой группы связано с возможностью создания на их основе источников тока и фотопреобразователей, а также различных элементов электроники.

Когда ускоренный ион входит в твердое тело, он взаимодействует с его электронами, и может передавать энергию, а также атомам посредством ион-атомных сил, обязанных своим происхождением потенциалу экранированного кулоновского взаимодействия между ядрами иона и атомов мишени. Эти два типа процессов дают независимые вклады в суммарные удельные энергетические потери на длине свободного пробега через твердое тело.

Относительный вклад механизмов энергетических потерь сильно зависит от энергии  $E$  и атомного номера  $z_1$  частицы: при малых  $E$  и больших  $z_1$  преобладает ядерное торможение, а при больших  $E$  и малых  $z_1$  – электронное.

Механизмы энергетических потерь имеют важное значение не только потому, что ими определяется распределение концентрации внедренных атомов по глубине, но и вследствие того, что ими обусловлен характер разупорядочения структуры при ионном легировании. Это связано с тем, что в процессе своего замедления ионы, сталкиваясь с атомами мишени, выбивают их из узлов решетки.

Учитывая, что облучение производится обычно хорошо колимированным пучком ионов перпендикулярно к поверхности мишени, количество частиц в каждом слое, параллельном поверхности, характеризует распределение ионов вдоль начального пути частиц или проекции пробегов на это направление. Потому наиболее важными характеристиками глубинного распределения ионов являются: средний проецированный пробег ионов  $\bar{R}_p$  и среднеквадратическое отклонение (страглинг) проецированных пробегов  $\Delta \bar{R}_p$ .

Учитывая, что значения энергий ионов  $\varepsilon$ , рассчитанные согласно [2],

$$\varepsilon = E \left( \frac{M_2}{M_1 + M_2} \right) \left/ \left( \frac{z_1 z_2 e^2}{a} \right) \right. = \frac{325 A_2 E}{(A_1 + A_2) z_1 z_2 (z_1^{2/3} + z_2^{2/3})^{1/2}}, \quad (1)$$

где  $M_1, M_2$  – массы налетающей частицы и атома мишени соответственно;  $A_1, A_2$  – атомные веса налетающей частицы и атома мишени соответственно;  $Z_2$  – атомный номер атома мишени;  $a$  – радиус экранирования Томаса-Ферми;  $e$  – заряд электрона, при энергии облучения 100 кэВ, находятся в пределах  $0,8 < \varepsilon < 5,0$ , можно использовать приближенные формулы, предложенные [6] для среднего проецированного пробега и среднеквадратического отклонения проецированных пробегов

$$\bar{R}_p(E) = C M_2 \frac{(z_1^{2/3} + z_2^{2/3})^{1/2}}{z_1 z_2} E, \quad (2)$$

$$\frac{\bar{R}}{\bar{R}_p} = \frac{1}{4} \left[ -1 - 3M + (5 + M) \frac{1 + M}{2\sqrt{M}} \arccos \frac{1 - M}{1 + M} \right], \quad (3)$$

$$\frac{\Delta \bar{R}_p}{\bar{R}^2} = \frac{2}{3} \left[ M_1 M_2 / (M_1 + M_2)^2 \right], \quad (4)$$

где  $M = \frac{M_2}{M_1}$ ,  $C$  – коэффициент.

Из приведенных соотношений (2) и (3) видно, что средний пробег зависит от энергии бомбардирующей частицы, а на разброс существенно влияет соотношение масс налетающего иона и атомов мишени.

Построение функции распределения осуществляется с помощью их интегральных характеристик (моментов).

Метод моментов является удобным и для построения функций распределения, встречающихся при решении задач, связанных с проникновением заряженных частиц в вещество, в том числе и для определения профиля внедренной примеси.

Простейшим распределением является нормальное, для построения которого требуется лишь два первых момента – проективный пробег  $R_p$  и дисперсия  $\Delta R_p$ :

$$n(x) = \frac{\Phi}{\Delta R_p \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{x - R_p}{\Delta R_p^2}\right], \quad (5)$$

где  $\Phi$  – доза ионов на  $1\text{см}^2$ .

Концентрационные профили ионно-имплантированной примеси рассчитанные согласно формуле (5), приведены на рис.1. Из данных рис.1 видно, что с увеличением порядкового номера и атомного веса внедренного иона при облучении смещается максимум профиля примеси к поверхности.

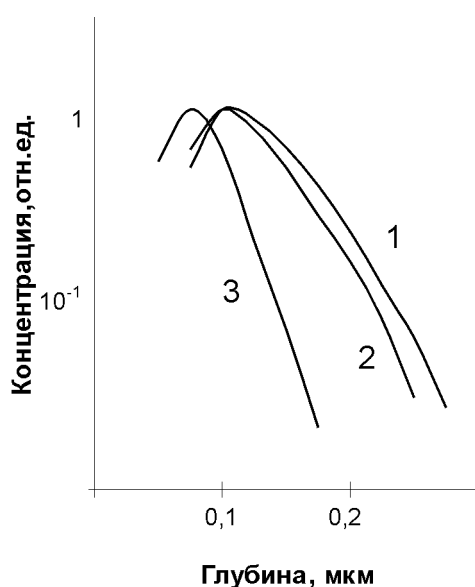


Рис.1. Профили имплантированной примеси : 1 – азот, 2 – кислород, 3 – фосфор.

Процесс ионного легирования проводили на базе ионно-лучевой установки типа “Везувий”.

С целью получения однородно легированной поверхности образцов использовали электрическое сканирование ионного луча по двум перпендикулярным направлениям: по горизонтали и по вертикали.

Образцы облучали ионами азота, кислорода и фосфора с энергией 100 кэВ. Температура исследуемых образцов при воздействии ионных пучков не превышала комнатной и в процессе облучения ее контролировали термопарой.

Для снятия профилей концентрации, имеющих важное значение в технологии полупроводников, применили совместный анализ одного и того же

образца материала методами электронной оже-спектроскопии (ЭОС) и вторично-ионной масс-спектроскопии (ВИМС).

Как изображение в ионах, так и изображение в оже-электронах дает картину распределения примесей на поверхности образца и в его объеме. При анализе по глубине методами ЭОС и ВИМС проводили бомбардировку быстрыми ионами для удаления атомных слоев с одновременной регистрацией эмитируемых оже-электронов или вторичных ионов.

Профили концентрации фосфора, кислорода и азота по глубине, полученные методами ЭОС и ВИМС, показаны на рис.2. Данные хорошо согласуются с теоретическими выводами о положении и распределении имплантированных ионов фосфора, кислорода и азота. Из данных рис.2 видно, что внедренные первичные ионы имеют гауссово распределение в согласии с теорией.

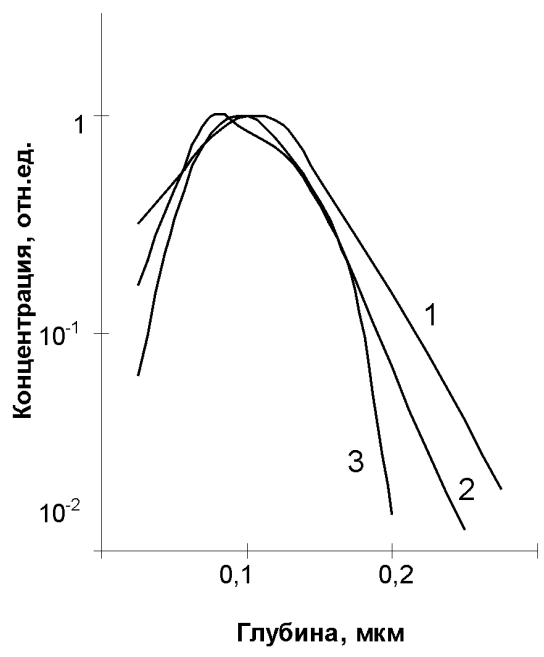


Рис.2 Зависимость профиля концентрации по глубине: 1 – азот, 2 – кислород, 3 – фосфор.

**Заключение.** Теоретический анализ и экспериментальные исследования показывают, что основными параметрами, определяющими относительные пробеги частиц в пленке материалов соединений халькогенидов элементов первой группы, являются атомный номер  $z$  и масса  $A$  бомбардирующих частиц и атомов мишени. Профиль концентрации зависит от  $z$  и  $A$  первичных ионов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Легирование полупроводников ионным внедрением /Под ред. В.С. Вавилова, В.М. Гусева. М.: Мир, 1971.

2. Мейер Дж., Эрикссон Л., Девис Дж. Ионное легирование полупроводников. М.: Мир, 1973.
3. Зорин Е.И., Павлов П.В., Тетельбаум Д.И. Ионное легирование полупроводников. М.: Энергия, 1975.
4. Фирсов О.Б. Качественная трактовка средней энергии возбуждения электронов при атомных столкновениях // Журнал экспериментальной и теоретической физики, 1959, т.36, вып.5.
5. Lindhard J., Scharff M. Energy Dissipation by Ions in the kev Radion // Phys. Rev., 1961, v.124, №1.
6. Schiott U.E. Approximation and Interpolation Rules for Ranges and Range Stragglings // Radiat. Eff., 1970, v.6, №1.



УДК 681.586

*Доц. ДЕДЕГКАЕВА Л.М., ст. МУСТАФАЕВ М.Г*

## **ИОННАЯ ИМПЛАНТАЦИЯ В ТЕХНОЛОГИИ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ**

*Рассмотрен метод ионной имплантации в технологии микроэлектроники. Показано, что основными параметрами процесса имплантации являются энергия, доза внедренных ионов и плотность ионного тока, а также, что, изменяя энергию ионов, можно регулировать глубину проникновения ионов в материал образца.*

Ионная имплантация, как метод создания микроэлектронных устройств нашла широкое применение. Точное дозирование легирующей примеси, возможность формирования заранее заданного профиля, низкотемпературность процесса выгодно отличают данный метод введения примеси от других методов легирования в современной технологии производства полупроводниковых приборов и интегральных схем.

Метод ионной имплантации является одним из основных современных методов направленного изменения поверхностных свойств твердых тел. Наиболее широко этот метод применяется в полупроводниковой технологии [1, 2].

Легирование посредством внедрения ионов имеет ряд существенных преимуществ, связанных с нетепловым характером внедрения примеси:

- универсальность, т.е. возможность введения любой примеси в любое твердое существо;
- низкотемпературность – обычно сопутствующий ионному легированию отжиг проводят при температурах, существенно более низких, чем при диффузионном легировании, что позволяет избежать нежелательных температурных воздействий на полупроводниковый материал;
- возможность гибкого управления распределением примеси во всех измерениях путем вариации энергии ионов, применением защитных масок и сканирования ионного пучка;



- возможность строгой дозировки примеси при легировании с помощью точного контроля плотности ионного тока и времени процесса;
- чистота введенной примеси обеспечивается применением электромагнитной масс-сепарации ионных пучков и вакуумным условиям процесса;
- возможность легирования через диэлектрические и металлические покрытия.

Эти преимущества позволили методу ионной имплантации стать практически основной для формирования элементов полупроводниковых приборов.

Для ионной имплантации используются как ионы донорной и акцепторной примеси, основными из которых для кремния являются бор, фосфор, мышьяк и сурьма, так и ионы “нейтральных” примесей, таких как аргон, кислород, азот и др.

Основными технологическими параметрами процесса имплантации являются энергия и доза внедренных ионов, плотность ионного тока. Вариацией энергии ионов регулируют глубину проникновения ионов в образец, которая характеризуется средним проецированным пробегом и среднеквадратичным разбросом проецированных пробегов.

При бомбардировке твердого тела различными ионами на поверхности и в объеме образца возникают различные дефекты, которые в случае полупроводниковой технологии, как правило, ухудшают параметры приборов [3]. Кроме того, значительная часть внедренной донорной или акцепторной примеси находится в электрически неактивном состоянии. Для устранения радиационных повреждений и увеличения степени электрической активации примеси после ионной имплантации проводят отжиг образцов, а также импульсный отжиг некогерентным светом, электронный, лазерный и т.д.

Анализ показывает, что отжиг можно проводить в различных температурных интервалах. Низкотемпературный отжиг (673 – 773 К) применяют, когда сформированные уже элементы конструкции прибора не выдерживают высоких температур. При этом сохраняется значительное число нарушений структуры полупроводника. Низкотемпературный отжиг может устранить большую часть радиационных повреждений в области р-п-перехода и обеспечить хорошее его качество.

Отжиг при 1173 – 1273 К позволяет повысить степень электрической активности примеси. В этом случае большинство внедренных атомов занимают регулярные положения в решетке полупроводника и восстанавливаются значения подвижности и времени жизни носителей.

Высокотемпературный отжиг (1373 – 1473 К) применяют исключительно для диффузионной разгонки примеси из тонкого приповерхностного легированного слоя полупроводника. В полупроводниковой технологии такой вид отжига применяют для формирования бездефектных р-п-переходов, которые залегают значительно глубже радиационного нарушенного слоя. При этом используют преимущественно ионной имплантации, заключающейся в строгом контроле количества внедренной примеси. Имплантационное оборудование позволяет проводить имплантацию полупроводниковых материалов различными ионами с энергией от 10 до 500 кэВ в диапазоне доз от  $10^{11}$  до  $10^{18}$  ион/см<sup>2</sup>.

Метод ионной имплантации является одним из наиболее перспективных методов легирования в технологии производства ИС.

Для получения, формирования и ускорения ионных пучков используют ионно-лучевые установки малых и средних доз, больших доз, высокоэнергетические.

Одним из основных элементов конструкций ионно-лучевой установки является ионный источник, который служит для получения и первичного формирования ионного пучка.

Совершенствование ионных источников возможно при применении новых принципов генерации ионов и модернизации существующих типов, применения новых конструктивных материалов. Основными тенденциями в развитии источников ионов являются увеличение длительности работы, упрощение конструкции, повышение эффективности и полная автоматизация управления.

Важнейшим элементом ионно-лучевой установки является система ускорения ионного пучка. Выбор конструкции системы ускорения определяется назначением имплантационной установки.

В низкоэнергетических установках (до 50 кэВ) используют одноэлектродную систему ускорения, а при более высоких энергиях ускорительную трубку с несколькими электродами. Ускорительную трубку применяют в ионно-лучевых установках малых и средних доз и во всех высокоэнергетических установках.

В технологии микроэлектроники используют различные типы ионов в достаточно широком диапазоне энергий.

Использование лазеров с модулируемой добротностью и фокусирующей системой позволяет создать на мишени плотность мощности падающего лазерного излучения 5–10 Вт/см<sup>2</sup>, при которой обеспечивается испарение и первичная ионизация практически любого твердого вещества.

Качественный и количественный анализ поверхности полупроводникового материала при ионной имплантации проводили методом электронной оже-спектроскопии в сочетании с послойным травлением поверхности образца с помощью пучка ионов аргона.

Результаты исследований показывают, что в пределах чувствительности метода электронной оже-спектроскопии (0,01 ат. %) присутствие на поверхности кремния легирующих элементов не обнаружено. С увеличением дозы ионов поверхностное сопротивление кремния уменьшается.

**Заключение.** Основными параметрами процесса имплантации являются энергия, доза внедренных ионов и плотность ионного тока. Изменяя энергию ионов, можно регулировать глубину проникновения ионов в материал образца.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зорин Е.И., Павлов П.В., Тетельбаум Д.И. Ионное легирование полупроводников. М.: Энергия, 1975.
2. Рисел Х., Руге И. Ионная имплантация. М.: Наука, 1983.
3. Юдин В.В. Радиационные дефекты при ионной имплантации кремния. Обзоры по электронной технике. М., 1976.



## О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ЛАВИННО-ПРОЛЕТНЫХ ДИОДОВ НА ГЕТЕРОПЕРЕХОДЕ Si – SiC.

*Теоретически рассмотрена возможность применения гетероперехода Si – SiC для создания мощных высокотемпературных ЛПД с высоким к.п.д. Показано, что ЛПД на гетеропереходе Si – SiC могут иметь удельную выходную мощность на порядок больше, чем у существующих кремниевых ЛПД с максимальным к.п.д., достигающим 50 – 60% против 20 % у кремниевых диодов.*

Уникальные электрофизические, тепловые, химические свойства карбида кремния давно известны и определяют постоянное внимание к нему как к полупроводниковому материалу для создания мощных полупроводниковых приборов. К настоящему времени уже разработаны выпрямительные диоды и транзисторы на карбиде кремния с чрезвычайно высокой рабочей температурой, достигающей до 650 °С [1]. В работах [2,3] рассматривалась возможность использования карбида кремния для изготовления лавинно-пролетных диодов (ЛПД). Это связано с тем, что по сравнению с традиционными для ЛПД материалами (кремний, арсенид галлия) карбид кремния имеет более высокие значения напряженности поля лавинного пробоя ( $E_{np} = 5 \cdot 10^6$  В/см), дрейфовой скорости насыщения электронов ( $v_s = 2 \cdot 10^7$  см/с), теплопроводности ( $\lambda = 4,9$  Вт/см·град). Теоретические оценки показывают, что ЛПД на SiC могут иметь существенно большую мощность генерации, чем существующие диоды. Для получения наилучших энергетических характеристик ЛПД необходимо использовать двухпролетную ( $n^+ - n - p - p^+$ ) структуру. Однако дрейфовая скорость насыщения дырок в SiC неизвестна, а от ее величины зависит длина р-области и концентрация в ней акцепторов. Это может привести к тому, что на рабочей частоте р-область с произвольно выбранной длиной будет представлять собой просто дополнительное последовательное сопротивление, уменьшающее эффективность работы диода. С другой стороны, в структуре типа  $p^+ - n - n^+$  дырки не дают вклад в отрицательное сопротивление, а параметры пролетной области определяются свойствами электронов в SiC, что позволяет рассчитать характеристики однопролетного ЛПД и оптимизировать параметры диода для генерации на заданной частоте. Однако лавинному пробояю  $p^+ - n$  перехода из карбида кремния свойственен один существенный недостаток, связанный с наличием знакопеременного температурного коэффициента напряжения пробоя, который может приводить к шнурованию тока и выгоранию меза-структуры диода. Указанная проблема может быть автоматически устранена, если при изготовлении ЛПД использовать гетероструктуру Si-SiC, в которой пробой будет сосредоточен в слое Si, а пролет носителей в SiC. При этом сохраняются все преимущества

использования SiC при изготовлении ЛПД, вместе с тем применение гетеро-структуры Si-SiC позволит значительно повысить к.п.д. этих приборов (до 50-55 % против 6-7 % у SiC-ЛПД).

На рисунке показана схема предлагаемой модели ЛПД на гетеропереходе  $(p^+ - p)\text{Si} - (n - n^+)\text{SiC}$ , распределение атомов примесей и электрического поля в запирающем слое. Такая структура описывается в общем случае шестью параметрами: концентрациями примесей  $N_1$  и  $N_2$  и толщинами  $\delta_1$  и  $\delta_2$  высокоомных слоев кремния и карбида кремния соответственно и концентрациями  $N_3$  и  $N_4$  в низкоомных частях Si и SiC. Поскольку степени легирования  $p^+$  и  $n^+$  слоев много больше, чем уровни легирования  $p$  и  $n$  слоев, падением напряжения и умножением в низкоомных слоях Si и SiC можно пренебречь.

В предлагаемой структуре толщины высокоомных слоев  $p$  и  $n$  областей гетероперехода настолько малы, что до лавинного пробоя наступает режим ограниченного расширения областей запирающего слоя по обе стороны от границы раздела. Указанный режим будет иметь место при напряжениях  $U \geq U_0$ , составляющие которых  $U_{01}$  и  $U_{02}$  определяются в виде [4]

$$U_{01} = \frac{qN_1\delta_1^2}{2\varepsilon_0\varepsilon_1} - \varphi_{k1}, \quad (1)$$

$$U_{02} = \frac{qN_2\delta_2^2}{2\varepsilon_0\varepsilon_2} - \varphi_{k2}, \quad (2)$$

где  $\varphi_{k1}$ ,  $\varphi_{k2}$  – составляющие контактной разности потенциалов в 1 и 2 материале соответственно (здесь и далее: индекс 1 – Si; 2 – SiC).

Распределение электрического поля в структуре будет иметь вид:

а) в  $p$ -области запирающего слоя при  $-\delta_1 \leq x \leq 0$

$$E_1(x) = E_{\max 1} \left(1 + \frac{x}{\delta_1}\right) + E_{01}, \quad (3)$$

где

$$E_{\max 1} = \frac{qN_1\delta_1}{\varepsilon_0\varepsilon_1}, \quad (4)$$

$$E_{01} = \frac{U_1}{\delta_1} - \frac{E_{\max 1}}{2}, \quad (5)$$

$$U_1 = \int_{-\delta_1}^0 E_1(x) dx - \varphi_{k1}; \quad (6)$$

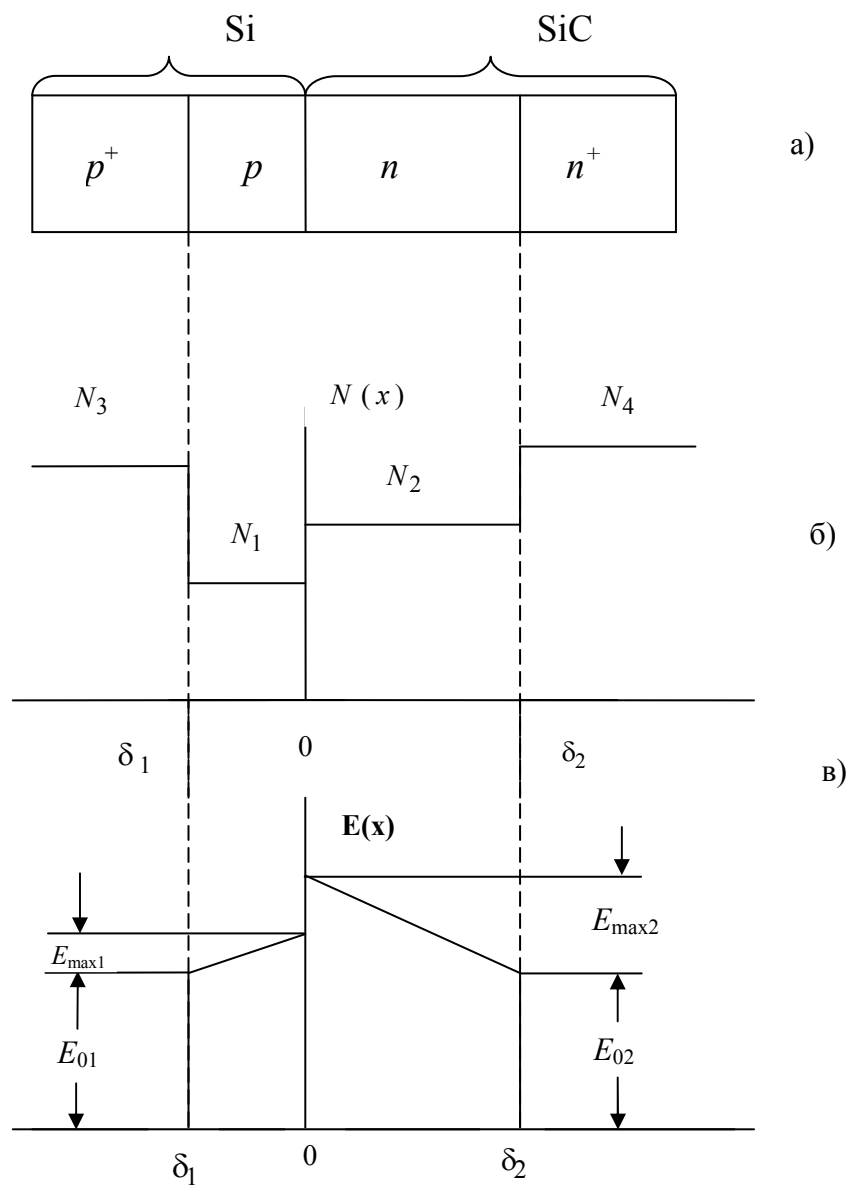


Схема модели ЛПД на гетеропереходе  $(p^+ - p)\text{Si} - (n - n^+)\text{SiC}$  :  
 Структура диода (а); распределение атомов примесей (б) и электрического поля (в).

б) в  $n$ -области запирающего слоя при  $0 \leq x \leq \delta_2$

$$E_2(x) = E_{\max 2} \left(1 - \frac{x}{\delta_2}\right) + E_{02}, \quad (7)$$

где

$$E_{\max 2} = \frac{qN_2\delta_2}{\varepsilon_0\varepsilon_2}, \quad (8)$$

$$E_{02} = \frac{U_2}{\delta_2} - \frac{E_{\max 2}}{2}, \quad (9)$$

$$U_2 = \int_0^{\delta_2} E_2(x)dx - \varphi_{k2}, \quad (10)$$

$q$  – заряд электрона;  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость вакуума;  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  – относительные проницаемости материалов;  $U = U_1 + U_2$  – приложенное напряжение и его составляющие.

Для эффективной работы ЛПД на гетеропереходе необходима генерация в области лавинного умножения (в слое  $p$ -Si) при условии, что электрическое поле в области дрейфа (слой  $n$ -SiC) не упадет настолько, что скорость носителей станет меньше скорости насыщения и не достигнет пробивных значений.

К.п.д. генерации СВЧ- мощности ЛПД [5] равен

$$\eta = \frac{2m}{\pi} \cdot \frac{1}{1 + U_1/U_2} / \cos\varphi,$$

где  $U_1$  – падение напряжения в области лавинного умножения;

$U_2$  – падение напряжения в области дрейфа;

$m \leq 1$  – коэффициент модуляции переменной составляющей напряжения на диоде;

$\varphi$  – угол запаздывания фазы тока проводимости от переменного напряжения на диоде.

При использовании гетероперехода при создании ЛПД можно добиться, чтобы  $U_1/U_2 \leq 0,1 \div 0,2$ , тогда при  $m = 1$ ,  $\varphi = \pi$  эффективность генерации  $\eta = 50 \div 53\%$ .

Гетероструктуры  $(p^+ - p)\text{Si} - (n - n^+)\text{SiC}$  для ЛПД могут быть получены различными методами эпитаксии кремния на двухслойных структурах  $(n - n^+)\text{SiC}$ , которые, в свою очередь, создаются методами жидкостей или газотранспортной эпитаксии, технология которых отработана.

Дальнейшая работа по созданию ЛПД на гетеропереходе Si-SiC будет посвящена анализу динамических свойств таких приборов с целью определения оптимального вектора параметров структуры гетероперехода, обеспечивающего максимальные значения к.п.д. и мощность генерации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Edmonton I. A. and other.* Trans. First International High Temperature Electronics Conf. with Short Course. 207. New Mexico 1991.
2. *Mendi I. and other.* J. Appl. Phys., 64, 1533, 1988.
3. *Muench W., Pettenpanl E.* J. Appl. Phys., 48, 4823, 1977.
4. *Datiev K. M.* Numerical analysis of Ge–GaAs impatt diodes. Acta Phys. et Chem, Hungaria, Szeged, 1977.
5. *Зи С. М.* Физика полупроводниковых приборов. М.: Мир, 1984.



УДК 681.32

*Проф. ДАТИЕВ К.М.,  
студ. ИКАЕВ К.А.*

### **УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ ВЛАДИКАВКАЗ – АРДОН**

*Рассмотрены вопросы повышения пропускной способности волоконно-оптической линии связи на участке Владикавказ – Ардон.*

Мир телекоммуникаций и передачи данных сталкивается с динамично растущим спросом на частотные ресурсы. Эта тенденция в основном связана с увеличением числа пользователей Internet и также с растущим взаимодействием международных операторов и увеличением объемов передаваемой информации. Полоса пропускания в расчете на одного пользователя стремительно увеличивается. Поэтому поставщики средств связи при построении современных информационных сетей используют волоконно-оптические кабельные системы наиболее часто. Оптическое волокно (ОВ) в настоящее время считается самой совершенной физической средой для передачи информации, а также самой перспективной средой для передачи больших потоков информации на значительные расстояния.

На основе оптической волоконной связи (ВОЛС) могут быть созданы принципиально новые системы передачи информации, развивается единая интегральная сеть многоцелевого назначения, так как по одному ОВ может одновременно распространяться много информационных сигналов на разных длинах волн.

Используемая в настоящее время ЦСП на участке Владикавказ – Ардон не удовлетворяет растущим потребностям клиентов в пропускной способности ВОЛС. Так как объем передаваемой информации постоянно возрастает, необходимо увеличить скорость передачи сигналов по ВОЛС. В результате усиливаются требования к ВОЛС по дисперсии, которая и определяет увеличение длительности.

Существует несколько способов увеличения пропускной способности систем передачи информации. Большинство из них сводится к одному из

методов уплотнения компонентных информационных потоков в один групповой, который передается по линии связи. Поскольку большинство из методов уплотнения находит широкое применение в современных системах связи, рассмотрим один из них. В волоконно-оптических системах передачи (ВОСП) информация передается электромагнитными волнами высокой частоты, около 200 ТГц, что соответствует ближнему инфракрасному диапазону оптического спектра 1500 нм. Волноводом, переносящим информационные сигналы в ВОСП, является оптическое волокно, которое обладает важной способностью передавать световое излучение на большие расстояния с малыми потерями. Потери в ОВ количественно характеризуются затуханием. Скорость и дальность передачи информации определяются искажением оптических сигналов из-за дисперсии и затухания. Процессы, происходящие в оптическом волокне, и их влияние на скорость и дальность передачи информации приведены на рис. 1.

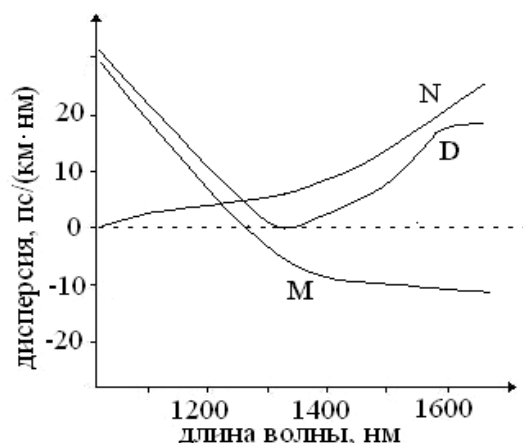


Рис. 1. Зависимости коэффициентов волноводной, материальной и результирующей хроматической дисперсии от длины волны.

В компенсирующем волокне фазовый сдвиг постоянен, что предполагает только статический метод компенсации. В идеальном случае фазовый сдвиг спектральных компонент полностью компенсируется в устройстве - компенсаторе хроматической дисперсии (рис. 2).

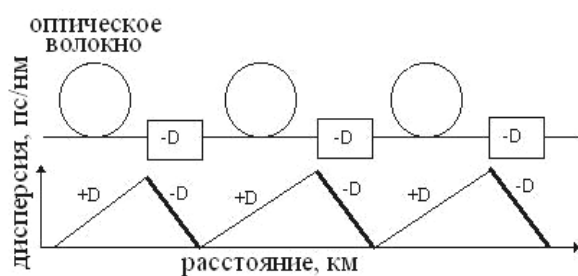


Рис. 2. Применение устройства компенсации дисперсии.



Большинство типов телекоммуникационного волокна в рабочей области спектра обладает положительной дисперсией, поэтому для их компенсации используются устройства с отрицательной дисперсией. Наиболее распространенными устройствами для компенсации дисперсии ВОЛС являются отрезки компенсирующего дисперсию волокна.

Класс устройств, основанных на управлении пространственным распределением дисперсии волоконно-оптической линии связи для обеспечения нулевого суммарного значения дисперсии для всей линии, является наиболее удобным и находит наибольшее практическое применение. В настоящее время в большинстве модулей компенсации дисперсии используется DC волокно, т.к. такие модули не потребляют мощность, имеют малую стоимость и удобны в применении (обычно размещаются на выходе оптического усилителя). Модули с DC волокнами удовлетворяют большинству требований, в частности не потребляют мощность и обладают небольшими габаритами и весом, и в основном используются в системах со скоростью передачи 10 Гбит/с (STM-64).

Физически модуль для компенсации дисперсии устанавливается в стойке приемопередающей аппаратуры, один компенсатор на одно оптическое волокно. Но из-за больших потерь, вносимых модулем, его нежелательно устанавливать на выходе оптического кабеля, так как это приведет к уменьшению сигнала на входе в оптический усилитель, и, следовательно, к увеличению отношения сигнал/шум.

На практике принято компенсировать дисперсию по всему линейному тракту после каждого оптического усилителя. Но так как в ВОЛС усилители входят в состав приемопередающей аппаратуры, то оптимальным является размещение модуля между оптическим усилителем передающего оборудования и оптическим кабелем. С учетом компенсации дисперсии полученные нами технические характеристики ВОЛС Владикавказ – Ардон полностью удовлетворяют цифровой системе передачи STM-64 по дисперсии и затуханию и внедрены в производство.

#### ЛИТЕРАТУРА

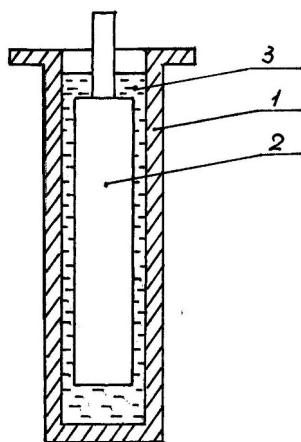
1. *Иванов А.Б.* Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. –М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 1999.
2. *Листвин А.В.* и др. Оптические волокна для линий связи. ВЭЛКОМ, 2002.

### СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЯЗКИХ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ ЖИДКОСТЕЙ

*Предложен новый способ измерения диэлектрических характеристик вязких жидкостей.*

Методы определения диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь и удельного объемного электрического сопротивления маловязких электроизоляционных жидкостей в настоящее время регламентированы ГОСТ 6581-75 «Жидкости электроизоляционные. Методы электрических испытаний». В данном стандарте для измерений рекомендовано удобное электронное устройство, представляющее из себя цилиндрический конденсатор (рис. 1). Оно состоит из внешнего полого цилиндра 1 (электрода) и помещенного в него цилиндра 2 (внутренний электрод). Зазор между цилиндрами заполняют испытываемой жидкостью 3. На схеме для простоты исключена система охранных колец, позволяющая быстро и точно определять диэлектрические характеристики маловязких электроизоляционных жидкостей. Однако для измерения этих свойств вязких жидкостей оно практически не пригодно по следующим причинам:

- большие трудности, связанные с заполнением зазора между электродами;
- невозможность оценить качество заполнения зазора;
- трудности, связанные с удалением жидкости и очисткой электродного устройства (после измерения требуется большое количество растворителя).



*Рис. 1.* Схема измерительной ячейки для определения электрических характеристик жидкостей по ГОСТ 6581-75. 1 – внешний полый цилиндр (электрод); 2 – внутренний электрод; 3 – испытываемая жидкость.

Нами предлагается простой и удобный способ, позволяющий легко и достаточно точно определять диэлектрические характеристики вязких жид-

костей. Рекомендуемый измерительный конденсатор показан на рис. 2. Он состоит из фольговой кюветы 1 (нижний электрод), измеряемой жидкости 2, помещенной в кювету, и накладного фольгового круглого электрода 3. Таким образом, получаем плоский конденсатор, очень удобный для измерения и расчетов. Фольговую кювету 1 изготавливают из алюминиевой или свинцово-оловянной фольги толщиной 20–50 мкм путем обжатия вокруг плоского основания подходящего цилиндра. Рекомендуемый диаметр 50 мм. Верхний электрод изготавливают из такой же фольги; рекомендуемый диаметр 25 мм.

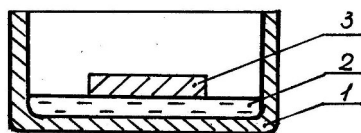


Рис. 2. Рекомендуемый измерительный конденсатор для вязких электроизоляционных жидкостей. 1 – фольговая кювета (нижний электрод); 2 – образец измеряемой жидкости; 3 – верхний накладной фольговый электрод.

Наложённый на поверхность жидкости электрод не тонет ввиду высокой вязкости измеряемой жидкости. Рекомендуемая толщина жидкости в кювете 2–3 мм. Измерение толщины жидкости особых трудностей не представляет, однако требуется особая осторожность, чтобы при измерении не деформировалась поверхность жидкости. Для осуществления электрической связи измерительного конденсатора с прибором рекомендуется простое электронное устройство (рис. 3), состоящее из струбины 1 из фторопласта, круглого электрода 2 – основания, на котором помещена кювета 4 с жидкостью. Электрический контакт с верхним накладным электродом осуществляется мягкой металлической пружиной 3. Упругость пружины подбирают так, чтобы ее давление не деформировало накладной электрод и жидкость. При этом нужно следить, чтобы был надежный электрический контакт. Для верхнего накладного электрода диаметром 25 мм расчет результатов ведут по следующим формулам.

Для относительной диэлектрической проницаемости:

$$\varepsilon = 2,304C_x D ,$$

где  $C_x$  – измеренная емкость конденсатора, Пф;

$D$  – толщина образца измеряемой жидкости, см.

Для удельного объемного электрического сопротивления

$$\rho v = 4,9 \frac{R_x}{D} , \text{ Ом}\cdot\text{см},$$

где  $R_x$  – измеренное электрическое сопротивление образца, Ом;

$D$  – толщина образца, см.

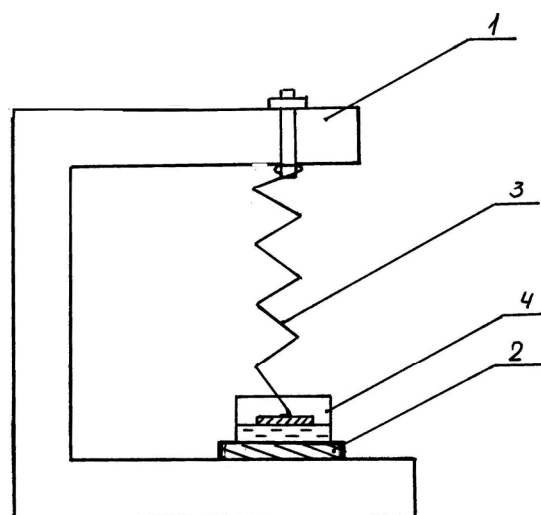


Рис. 3. Электродное устройство для электрической связи измерительного конденсатора с прибором. 1 – струбцина; 2 – нижний электрод – основание; 3 – контактная пружина; 4 – измерительный конденсатор.

Требования к соблюдению необходимой размерности учтены в коэффициентах 2,304 и 4,9.

Предложенный метод полностью избавлен от недостатков электронного устройства по ГОСТ 6581-75. Он обеспечивает минимальные потери при измерениях и легко тиражируется, обеспечивая при этом достаточную точность измерения.



УДК 681.3

К.т.н. МУСТАФАЕВА Д.Г.

### К ВОПРОСУ О ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕМЕНТОВ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

*Проведен анализ алгоритмов и методов проектирования элементов интегральной электроники. Показаны преимущества при сквозном проектировании изделий интегральной электроники.*

Исходной информацией для проектирования элементов интегральной электроники является электрическая или функциональная схема, библиотека элементов, схемотехнические, технологические и конструктивные ограничения.

В качестве математической модели схемы используют представление ее в виде графа. При этом для наилучшей трассировки используют граф, вершины которого представляют собой отдельные контактные площадки, а ветви – связи между элементами. На этапе проектирования применяют точечные и геометрические модели элементов.

Задачи размещения элементов и трассировки решают последовательно. Вначале осуществляется переход от схемы к графу. Затем составляют матрицу расстояний и матрицу связей.

Для размещения элементов интегральной электроники применяют последовательные и итерационные алгоритмы, а также алгоритмы на основе метода ветвей и границ.

Последовательные алгоритмы являются быстродействующими, легко реализуются, не требуют упорядочения графа за счет последовательной перестановки.

Итерационные алгоритмы основаны на попарных перестановках элементов до получения приемлемого решения по критерию минимальной длины соединений (рисунок).

Схема алгоритма размещения элементов



В основу алгоритма метода ветвей и границ положено разбиение множества решений на подмножества и определение нижних границ оценок для выбранных подмножеств.

При решении задачи трассировки следует учитывать: соответствие соединений электрической схеме; минимизацию общей длины – соединений; минимизацию числа пересечений трасс; равномерное распределение соединений по площади пластины.

Степень оптимальности проектируемой схемы соединений определяется алгоритмом трассировки.

При проектировании применяют комбинированные алгоритмы трассировки – сочетание волнового и лучевого алгоритмов. На первой стадии проектирования используют лучевой алгоритм, а на последующей – волновой.

Источником волны на каждом шаге моделирования является последний элемент участка трассы, проложенной на предыдущих шагах.

Применение системы автоматизированного проектирования (САПР) обеспечивает автоматизацию расчетов и охватывает все этапы проектирования элементов интегральной электроники.

САПР, построенные по иерархическому принципу, обладают рядом преимуществ вследствие гибкости системы управления, универсальности при решении различных задач, сочетания разных для каждого уровня системы локальных критериев оптимальности с глобальными критериями оптимальности системы в целом.

САПР элементов интегральной электроники включает: методическое, лингвистическое, математическое, программное, техническое, информационное и организационное обеспечения.

Для эффективного функционирования САПР необходимы: относительная автономность функциональных частей системы, минимальное взаимодействие системы с внешней средой и оперативность такого взаимодействия, а также иерархичность построения программных средств.

Применение САПР позволяет формировать цель разработки; проектировать функциональную и электрическую схемы, а также топологии; осуществлять синтез контрольных и диагностических тестов. Они реализуются соответствующей подсистемой автоматизированного проектирования.

Переход от автоматизированных систем проектирования к автоматическим позволяет получить элементы интегральной электроники с высокими техническими характеристиками и уменьшить затраты на проектирование. При этом имеют место два методологических подхода: структурное проектирование и кремниевое компилирование.

Структурное проектирование основано на поиске и использовании методов и решений, объединяющих архитектурные, физические, топологические и геометрические свойства интегральных устройств и схем.

Целью кремниевого компилирования является получение работоспособных элементов интегральной электроники в сжатые сроки, несмотря на их неоптимальность по плотности упаковки и характеристикам.

Эффективность САПР в целом и ее подсистем определяется техническими средствами и математическим обеспечением. Технические средства должны обеспечивать решение задач проектирования и возможность эффективного взаимодействия проектировщиков с системой.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Федотов Я.А. Проблемы интегральной электроники // Электронные компоненты. 2000. №3. С.10.
2. Разевич В.Д. Система сквозного проектирования электронных устройств. М.: Солон, 1999.

УДК 552.1

*Канд. геол.-минер. наук КОЛЕСНИКОВА А. М.  
Геофизический центр экспериментальной  
диагностики Владикавказского научного центра  
РАН и Правительства РСО-Алания*

### **ВТОРИЧНЫЕ КВАРЦИТЫ И ДРУГИЕ ЭФФУЗИВНЫЕ ПОРОДЫ БУРОНСКОЙ ТОЛЩИ (Горная Осетия)**

*Проведены детальные полевые наблюдения и петрохимические исследования, позволившие среди глубоко полиметаморфизованных пород буронской свиты выделить вблизи Буронского колчеданно-полиметаллического месторождения зоны гидротермально-метасоматически переработанных кислых эффузивных пород, превращенных во вторичные кварциты (зоны выщелачивания), сменяющиеся рассланцеванными порфиритоидами и обеленными кварцево-серицитовыми сланцами. В кварцитах, представляющих почти мономинеральную кварцевую породу (содержание кварца в них составляет 75–80 %), нам удалось выявить реликтовую порфировую структуру – таблитчатые вкрапленники плагиоклаза, полностью замещенные кварцем, при четком сохранении их первоначальной формы; и реликты микролитовой основной массы.*

*Пространственная связь Буронского колчеданно-полиметаллического месторождения с обеленными кварцево-серицитовыми сланцами, с зонами вторичных кварцитов и зонами рассланцеванных зеленокаменно измененных порфиритоидов очевидна, и может служить поисковым признаком при поисках и разведке колчеданно-полиметаллического оруденения буронского типа.*

Буронское рудное поле приурочено к Северной подзоне Бокового хребта Большого Кавказа; сложено породами, относящимися к различным формациям, характеризующим проявление в осевой зоне различных тектонических циклов, сформировавших Кавказскую складчатую область.

Породами, непосредственно вмещающими колчеданно-полиметаллическое оруденение буронского типа, является буронская свита, состоящая из кристаллических сланцев, гнейсов, кварцитов, амфиболитов, порфиритоидов. С севера и с юга эти породы прорываются гранитоидами кассарского типа – с юга это Кассарский гранитный массив, с севера – Нузальский гранитный массив; на западе свита контактирует с гранитоидами г. Сау-хох, на востоке – с баддонскими гранитами.

По мнению многих исследователей, породы буронской свиты находятся в мульде одного, не вскрытого эрозией, батолита (Л. А. Варданянц, 1935; М. С. Баклаков, 1957; Г. Д. Афанасьев, 1970).

Буронская свита в районе Буронского рудного поля простирается в широтном направлении на 12 км с севера на юг в разрезе р. Ардон протяженность ее составляет 3 км. Буронское месторождение расположено в пределах Бурон-Бадской антиклинали, являющейся по отношению к Главному хребту структурой второго порядка.

Бурон-Бадская антиклиналь с юга ограничена глубинным долгоживущим Кассаро-Дарьяльским (Цейдонским) разломом, с севера – Нузальским надвигом субширотного простираения, по которому породы рудного поля имеют тектонический контакт с развитыми севернее нижнеюрскими отложениями Штулу-Харесской депрессии. Нижний этаж Бурон-Бадской антиклинали сложен гранитоидами и породами буронской свиты, верхний – нижнеюрскими вулканогенными породами.

Бурон-Бадская антиклиналь осложнена Пашаевским разломом, Бурон-Бадскими сбросом и взбросом, Бадаштинским взбросом и другими тектоническими нарушениями. Азимут простираения шарнира антиклинали  $110^\circ$ , погружается – на восток под углом  $40^\circ$ .

Породы буронской свиты интенсивно дислоцированы, собраны в изоклинальные складки с флексурообразными перегибами, часто – пloyчатые. Простираение пород буронской свиты широтное. Породы претерпели многократный полиметаморфизм. Сохранилось очень мало признаков, позволяющих определить первоначальную природу этих пород.

По вопросу о возрасте пород буронской свиты нет единого мнения. А. Д. Масленников впервые высказал мнение о нижнепалеозойском возрасте пород буронской свиты, исходя из сопоставления их с породами Дзирульского массива.

По мнению Г. Д. Афанасьева, породы буронской свиты и южной (кассарской) метаморфической толщи в совокупности с гранитоидами характеризуют герцинский этап развития Главного хребта, захватывающий период 360–240 млн лет – от нижнего девона до перми.

Породы буронской свиты «полиметаморфизованные»; они претерпели на разных этапах метаморфизующее воздействие различных факторов – это и многократные проявления интрузивного вулканизма, прежде всего плагиогранитов уруштенского комплекса (средний девон и карбона 370 – 360 млн. лет) и последующих этапов гранитизации; также – и метаморфизующее воздействие различных факторов при образовании рудных месторождений и др.

При анализе и выделении ступеней метаморфизма мы исходили из положения – «Метаморфизм происходит в подвижной среде, перемещающихся горных масс, магматических и газовых потоков при складкообразовании, обуславливающих перепады и неравные давления, температуры в разных зонах» (акад. Н. П. Семенов, 1966, В. С. Соболев, 1970 и др.).

Многие исследователи отмечают постепенные взаимные переходы между породами, входящими в состав буронской свиты и метаморфизованными в различной степени.

Считаем, что только степень метаморфизма пород не может служить определяющим критерием их возраста.

Также спорным является вопрос о первичной природе пород буронской свиты ввиду их глубокого метаморфизма.

Многие исследователи считают, что первичные породы буронской свиты были терригенно-осадочными (Л. А. Варданянц, 1935; М. С. Баклаков, 1956; К. В. Давыдов, 1980; С. М. Тиболов, 1998 и др.).

Нами пересчитаны химические анализы различных типов пород буронской свиты на химические коэффициенты и изохимические ряды по методам Ниглии и акад. Семенов А. П., что вместе с петрографическими исследо-



ваниями, позволило подразделить породы буронской свиты по происхождению на пара- и орто-ряды.

К породам пара-ряда относятся слюдистые сланцы, составляющие большую часть среди пород буронской свиты – это кварц-альбит-хлоритовые, кварц-спес-сартит-хлоритовые и другие разновидности сланцев; парагнейсы и др.; к породам орто-ряда относятся гнейсы, амфиболиты, порфиритоиды и кварциты.

Чрезвычайно интересными породами буронской свиты являются кварциты, изучению которых уделялось недостаточное внимание. В наиболее полном описании их отмечалось лишь, что пласты и линзы кварцитов переслаиваются с другими породами буронской свиты, имеют существенно кварцевый состав, в небольшом количестве в них присутствуют мусковит, хлорит, альбит, альмандин, имеют гранобластовую структуру (С. М. Тибилов, 1998 и др.).

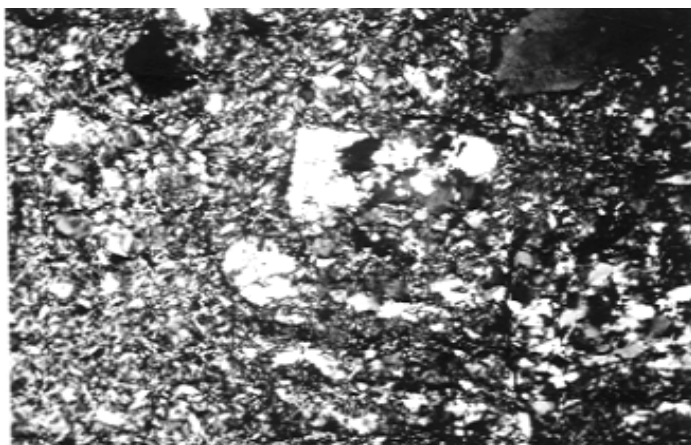
Хотя кварциты с давних пор отмечаются в северной части буронского рудного поля, в 200 м севернее месторождения, где они образуют отвесные труднодоступные скалы, обрывающиеся к р. Ардон, описания их также лаконичны (рис. 1, 2). К северу эти кварциты сменяются рассланцеванными порфиритоидами, перемежающимися со слюдистыми сланцами буронской свиты.



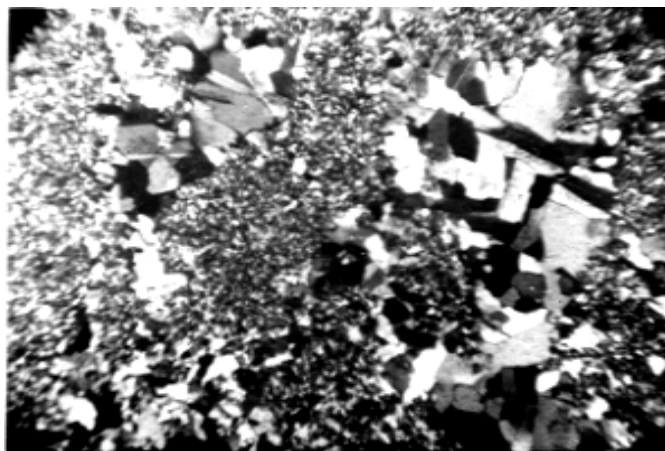
*Рис. 1.* Отвесные скалы кварцитов внизу гребня, в 200 м севернее Буронского месторождения.

Кварциты и порфиритоиды по направлению вверх к вершине Бурон-вцек непрерывно перемежаются со слюдисто-хлоритовыми сланцами, гнейсами, а на высоте около 2000 м, выдерживая согласное залегание, сменяются массивными кварцитовидными породами, обнаруживающими под микроскопом реликтовую фельзитовую структуру. Эти породы в апикальной части Бурон-Бадской антиклинали над Буронским месторождением образуют скальные выходы высотой в несколько десятков метров; макроскопически это массив-

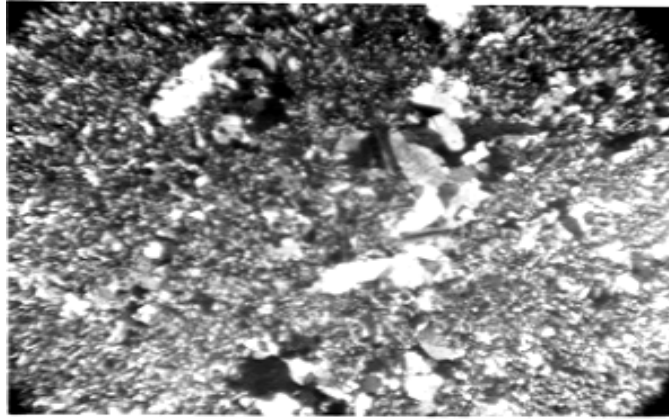
ные скрытокристаллические породы белого цвета; под микроскопом наблюдается, что они на больших площадях гидротермально-метасоматически изменены; в них интенсивно проявлен альбит-кварцевый метасоматоз, с сохранением реликтовых структур эффузивных пород. Простираение этих пород широтное, падение на север под углом 25°; участками в этих породах наблюдается микроплойчатость (рис.3, 4). Нижний контакт их осложнен надвигом и крупно глыбовыми осыпями; верхний контакт с нижнеюрскими ( $J_1^1$ ) конгломератами несогласный; полимиктовые песчаники, находящиеся в основании нижнеюрских конгломератов, отлагались на древней линейной коре выветривания этих фельзитов, несогласно их перекрывая.



*Рис.2.* Кварциты Бурана (внизу). Структура бластопорфировая; в центре псевдоморфное замещение кварцем плагиоклаза. Николи скрещены. x80.



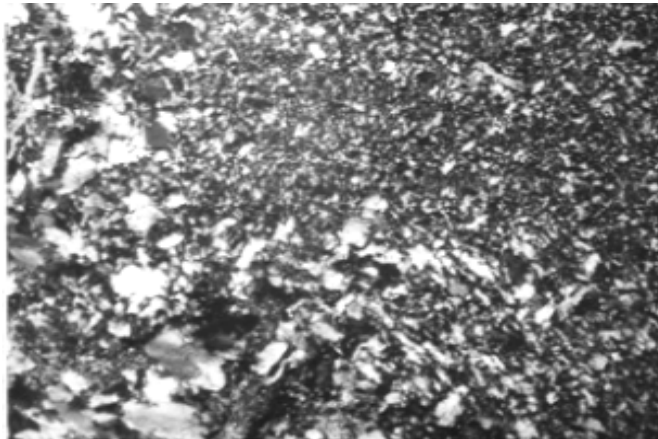
*Рис.3.* Гидротермально-метасоматически изменённые фельзиты. Относительно крупнозернистый альбито-кварцевый материал образует постепенные переходы к тонкозернистым метасоматически переработанным участкам существенно кварцевого состава. Структура гломеробластовая. Николи скрещены. x100.



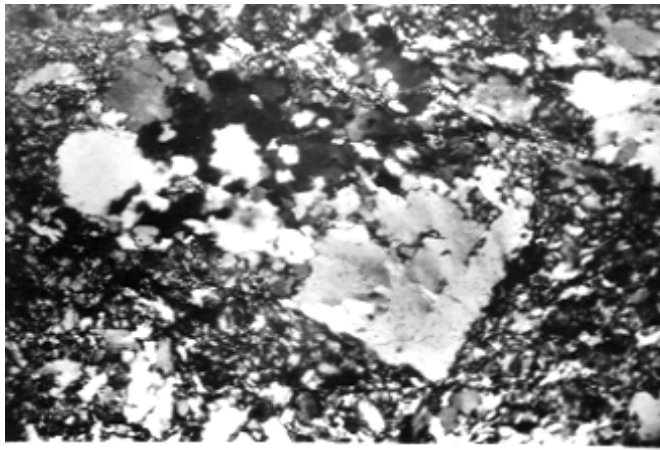
*Рис.4.* Гидротермально-метасоматически изменённый фельзит.  
Характер метасоматоза – альбито-кварцевый.  
Николи скрещены.х 100.

“Широкое региональное окварцевание, захватившее целые горизонты с превращением их в породы типа яшмо-кварцитов, генезис которых пока не ясен” отмечают А. П. Лебедев, 1950 и А. М. Колесникова, 1968.

В настоящей работе акцентируется внимание на особенностях кварцитов, образующих отвесные скалы в нижней части описываемого выше гребня (в 200 м севернее месторождения на одной с ним высоте). Они издавна выделялись в составе буронской толщи как кварциты, гнейсо-кварциты; нам впервые удалось выявить их принадлежность к вторичным кварцитам, представляющим гидротермально-метасоматически переработанные кислые эффузивные породы, обнаруживающие под микроскопом реликтовую порфиоровую структуру (рис. 5, 6). Под микроскопом эти породы обнаруживают гетеробластность, гломерабластную, роговиковую, реликтовую порфиоровую структуры. Породы, представляющие, по-видимому, зоны выщелачивания, состоят существенно из кварца (75–80 %), серицита, хлорита, эпидота.



*Рис.5.* Кварциты Буруна (в нижней части гребня).  
Структура гетеробластовая. Николи скрещены. х 80.



*Рис.6.* Кварциты Бурона (в нижней части гребня).  
Структура порфиробластовая, в центре таблитчатый вкрапленник  
плаггиоклаза, замещённый кварцем.  
Николи скрещены.  $\times 100$ .

Края зерен кварца зазубренные, величина зерен различная – размеры их на небольшом участке изменяются от 0,2 – 0,6 до 1–2 мм. Более крупнозернистый кварц замещает вкрапленники плаггиоклаза, сохраняя при замещении их таблитчатую форму. В большинстве случаев переходы между крупно- и мелкозернистыми агрегатами кварца постепенные. Наблюдаются единичные реликтовые вкрапленники плаггиоклаза, замещенные почти полностью серицитом, границы их нечеткие. Замещение кварцем происходит также в виде пятен и прожилков с нечеткими границами. Структура при замещении кварцем основной массы пород диаблостовая, обусловленная проникновением зерен кварца друг в друга.

По направлению к северу и вверх по гребню к вершине г. Бурон-вцек кварциты перемежаются с кварцево-хлоритовыми сланцами и пропилитизированными порфиритоидами, которые рассланцеваны согласно с общим направлением рассланцевания пород буронской свиты. Макроскопически – это породы зеленовато-серого цвета, трудно отличимые от вмещающих их кварц-хлоритовых сланцев. Участками они обеленные и заохренные. Под микроскопом они обнаруживают реликтовую порфиристую структуру – реликты вкрапленников ориентированы по направлению рассланцевания пород, основная масса перекристаллизована, имеет лепидобластовую, гранобластовую, реликтовую микролитовую структуры. Часть вкрапленников сохранили свою первоначально таблитчатые кристаллографически правильные формы, размеры их колеблются в пределах 1,2 x 0,5 – 1,2 x 1,0 мм; в них наблюдается полисинтетическое двойникование. Кроме таблитчатых кристаллов плаггиоклаза наблюдаются и более брусковидные лейсты их, имеющие размеры по удлинению 0,2 x 0,1 мм, в поперечных срезах дающие квадратные сечения. По составу крупные вкрапленники плаггиоклаза соответствуют андезину № 33–40. Имеют следующую ориентировку оптической индикатрисы  $P-Ng = 24^\circ$ ,  $P-Nm = 70^\circ$ ,  $P-Np = 78^\circ$ ;  $D-68^\circ$ ,  $D-Nm = 23^\circ$ ,  $D-Np = 83^\circ$ ; закон двойникования  $[100]/(010)$  альбит-эстерельский,  $2V = +89^\circ$  – андезин №40.

Близкие результаты получены и при измерении этих реликтов плагиоклазов на 5-осном Федоровском столике – С: Np; I = Ng; H = Nm;  $\lambda m = 74^\circ$ ;  $\varphi = 4^\circ$  – андезин №33, закон двойникования альбитовый. Более мелкие лейсты плагиоклаза по составу соответствуют плагиоклазу №30, имеют Np<sup>1</sup>: (010) = +15°.

Вкрапленники плагиоклаза в значительной мере замещены вторичными минералами: альбитом, хлоритом, серицитом, эпидотом, соссюритом.

Основная масса полностью серецитизирована и рассланцована, приобрела лепидобластовую структуру. В виде обособлений имеющих неправильную форму прерывистых прожилков, в основной массе встречаются скопления карбонат-хлорит-эпидотового состава – процесс среднетемпературной пропилитизации.

Первичные породы по составу соответствовали андезитовому или дацитовому порфиру (рис. 7, 8).

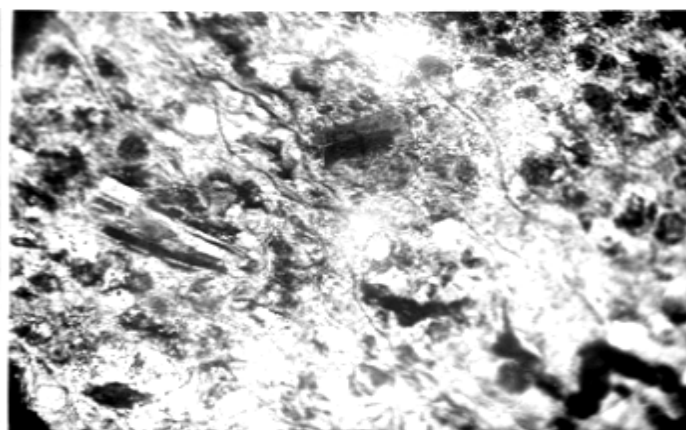


Рис.7. Пропилитизированные рассланцованные пропилиты буронской свиты. Николи скрещены. х 70.

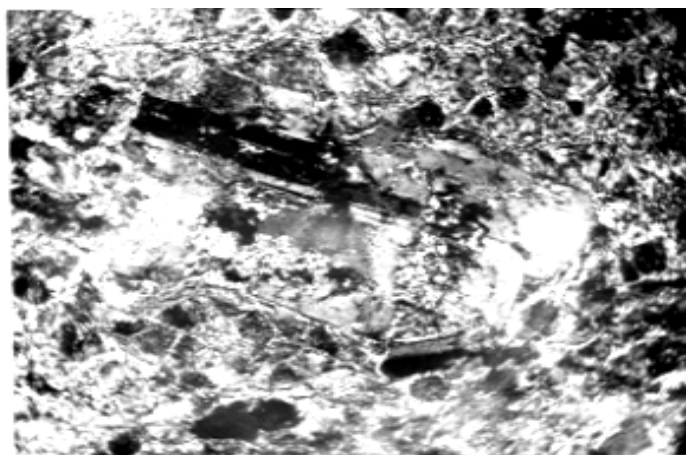


Рис.8. Рассланцованные пропилитизированные пропилиты буронской свиты с новообразованиями альбита по плагиоклазу. Николи скрещены. х 70.

Характерна пространственная связь почти мономинеральных кварцитов (с реликтовой порфириновой структурой) и пропилитизированных порфиритоидов. Первые, возможно, являются монокварцевой формацией вторичных кварцитов и возникли за счет постмагматических процессов выщелачивания; впоследствии они претерпели интенсивный метаморфизм. Кислые растворы, которые выщелачивали и создавали зоны монокварцитов, просачивались по направлению к внешней зоне, нейтрализовались и приобретали щелочной характер; под действием этих растворов дацитовые порфириты были пропилитизированы, что выразилось в альбитизации, эпидотизации и хлоритизации вкрапленников и основной массы, и выделении вторичного кварца и рудных минералов – сульфидов.

Пространственная и генетическая связь описанных мономинеральных кварцитов и пропилитизированных порфиритоидов очевидна.

Пространственное выявление и детальное изучение гидротермально-метасоматически измененных пород, до вторичных кварцитов и пропилитов, входящих в состав буронской свиты, т. е. древних эффузивных пород нижнего структурного этажа, имеет большой практический интерес, т.к. эти породы являются околорудными метасоматитами, с ними не только пространственно, но и генетически связано колчеданно-полиметаллическое оруденение буронского типа и они могут быть использованы как поисковый признак. Первостепенного внимания заслуживают эффузивные породы буронской свиты, развитые к северу от Буронского месторождения, где среди пропилитизированных порфиритоидов отмечаются обеленные, измененные до кварцево-серицитовых сланцы, рассланцеванные, заохранные зоны. Эти породы идентичны породам, вмещающим рудные залежи Буронского месторождения и могут быть поисковым признаком при поисках и разведке колчеданно-полиметаллических месторождений буронского типа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Афанасьев Г. Д.* Основные итоги изучения магматизма Большого Кавказа. Сб. «Проблемы металлогении и магматизма Большого Кавказа». М.: Наука. 1970.

2. *Баклаков М. С.* Геологическое строение и перспективная оценка касситерито-колчеданных месторождений буронского типа и их положение в структуре Центрального Кавказа. Тр. Северо-Кавказского горно-металлургического института, вып.15. Орджоникидзе, 1957.

3. *Варданянц Л. А.* Горная Осетия в системе Центрального Кавказа. Тр. ЦНИГРИ, вып.25, ОНТИ, 1934.

4. *Лебедев А. П.* Юрская вулканогенная формация Центрального Кавказа. Тр. Института геологических наук, вып.113, петрографическая сер.(33), изд. АН СССР. 1950.

5. *Колесникова А. М.* О гидротермальных кварцитах Буронского рудного поля (Северная Осетия). Изв. АН СССР, сер. геол., №7, 1968.

6. *Семенов Н. П.* В кн. «Метаморфизм подвижных зон». Киев: Наукова думка. 1966.

7. *Соболев В. С.* Учение о метаморфических фациях. В сб. «Фации метаморфизма». М.: Недра. 1980.

**ПОДКЛАСС КОЛЧЕДАННО–ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРАТИФОРМНОГО КЛАССА БОЛЬШОГО  
КАВКАЗА**

*Подкласс колчеданно-полиметаллических месторождений стратиформного класса на территории Большого Кавказа объединяет три формационных типа: медно-пирротиновые с полиметаллами в докембрийской вулканогенно-осадочной формации (буронский тип); колчеданно-полиметаллические в формациях вулканогенно-черносланцевого ряда (филизчайский тип); колчеданное оруденение с полиметаллами во флишиоидной формации.*

Основными критериями для выделения класса стратиформных месторождений является нахождение активных районов (с тектонической точки зрения), в которых переотложения, дегидратация, миграция и другие процессы могли протекать последовательно. Такими участками явились несколько внутрикоровых тектонических блока второго порядка Казбеко-Лагодехского, Местийско-Тианетского и других полей.

*Медно-пирротиновые месторождения с полиметаллами в докембрийской  
вулканогенно-осадочной формации (буронский тип)*

Буронский формационный тип широко распространен на Большом Кавказе, но зачастую он представлен серией или единичными линзами медно-колчеданных руд, субсогласными с вмещающими породами. Крупные объекты этого типа встречены в пределах тектоноблока 77\*, где на западной окраине расположен Бурон-Саухохский рудный район, а на восточной – Дарьяльский. Помимо указанных рудных линзообразных тел, имеющих промышленное значение, в районе развития медно-пирротиновых месторождений в основных и ультраосновных породах дифференцированно распределены кобальт, никель, хром и медь (Долгих и др., 1968).

В 1973 г. установлена парагенетическая связь медно-пирротинового оруденения с диабазовым субинтрузивным комплексом.

Пирротин считается редким минералом в палеозойских месторождениях урупского типа. По-видимому, для образования медно-пирротиновых руд существовали специфические соотношения окислительно-восстановительно-го потенциала и кислотности – щелочности среды, которые отсутствовали в прогибах с активным вулканизмом.

Морфология рудных тел позволяет отметить два характерных типа: линзы (Буронский район) и тонкую вкрапленность (Дарьяльский район).

*Бурон-Саухохский рудный район* располагается в центральной части Горной Осетии в бассейне р. Ардон (западная окраина тектоноблока 77), а на восточной окраине тектоноблока развиты залежи медно-пирротиновых руд

---

\* Здесь и далее номера тектоноблоков приведены по Цириховой (1983).

Дарьяльского поля (Цирихова, Савинский, 1978). В пределах рудного района известно несколько медно-пирротиновых месторождений (Буронское, Староцейское и др.) и рудопроявления (Хукали, Лабагом, Аттагом и др.). Район сложен метаморфическими породами буронской свиты (докембрий – нижний палеозой) мощностью от 600 до 1000 м, которые фиксируют ядро Большой Бадской антиклинали общекавказского простирания. Породы Буронской свиты прорваны дайками более молодых верхнепалеозойских гранитов, аплитов и еще более молодых фельзитов и порфириров. В северной и восточной частях района метаморфические образования перекрыты вулканогенно-осадочными отложениями нижней и средней юры. Перечисленный диапазон разновозрастных отложений района позволяет большинству исследователей относить оруденение Буронского района к полихронным образованиям (Черницын, 1985 и др.).

Основной структурной единицей района является Бадская антиклиналь, южное крыло которой осложнено Бурон-Бадским разломом, северное – Нузальским. Медно-пирротиновое оруденение развито в породах Буронской свиты и локализовано в виде линз около осевой части антиклинали, возвышающейся в западной части тектоноблока 77.

Основные промышленные рудные тела Буронского, Лабагомского и Староцейского месторождений отработаны.

В пределах *Дарьяльского рудного района* выявлен ряд рудопроявлений медно-пирротинового оруденения, развитых в бассейне р. Терек и приуроченных к контакту палеозойского жесткого фундамента и относительно пластичных юрских толщ. Дарьяльская горст-антиклинальная структура, осложняющая восточную окраину тектоноблока 77, ограничивается полукольцевым разломом фокальной зоны с восточной стороны.

Собственно *Дарьяльское* рудопроявление контролируется выходами палеозойских пород, выступающими среди мезозойского покрова в ядре горст-антиклинали. Вкрапленное оруденение развито в древних породах и приурочено к контактовым зонам разновозрастных образований. Протяженность рудоносных зон – несколько сотен метров. Главными рудными минералами, так же как и в Буронском районе, являются пирит, халькопирит и пирротин. К числу второстепенных относятся: сфалерит, галенит, кобальтин, марказит, магнетит, гематит, пентландит, висмутин, арсенопирит, касситерит. Жильные минералы представлены кварцем, сидеритом, кальцитом, хлоритом, серицитом, баритом, доломитом. В качестве примесей присутствует мышьяк (0,5 %), кобальт (0,04 %), никель (до 0,1 %), серебро (до 200 г/т), сурьма (до 0,8 %), висмут, кадмий.

#### *Колчеданно-полиметаллические месторождения в формациях вулканогенно-черносланцевого ряда (филизчайский тип)*

Колчеданно-полиметаллические месторождения и рудопроявления в формациях вулканогенно-черносланцевого ряда развиты в Приводораздельной структурно-формационной зоне южного склона Главного хребта, где в восточной ее части зона объединяется тектоноблоками 35, 37, 42 второго порядка. В пределах тектоноблока 35 развит Аварский рудный район, 37 – Самурский и Хнов-Борчинский и 42 – Хаснат-Тюалойский. Наиболее инте-



ресными в промышленном отношении объектами являются Филизчайское (тектоноблок 37) и Кизилдеренское (тектоноблок 35) месторождения.

В структурном отношении месторождение *Кизил-Дере* приурочено к южному крылу Шахнабад-Мазинского антиклинория. По данным Ш. А. Азизбекова (1964), Ю. П. Андреева, И. И. Бессоновой, И. Б. Полищук, С. В. Савина, Г. А. Твалчрелидзе, рудовмещающая толща верхнеааленского возраста непосредственно на месторождении состоит из трех горизонтов: нижнего аргиллит-алевролитового; среднего, наиболее песчанистого, и верхнего, сложенного аргиллитом с прослоями песчаников. Рудоносной является нижняя пачка верхнего горизонта, она залегает согласно с вмещающими толщами и разделена на два рудных тела – Левобережное и Правобережное. Рудоносная полоса имеет северо-западное простирание, параллельное Ахтычайскому разлому. Рудовмещающая толща характеризуется южным падением и осложняется северо-западными, близширотными и близмеридианальными системами разрывов и мелких складок. Руды представлены массивными образованиями и окружены ореолом прожилково-сетчатого оруденения. Главными минералами являются пирротин, халькопирит, пирит; второстепенными – сфалерит, галенит, марказит; редкими – арсенопирит, касситерит, кобальтин, магнетит, леллингит, никелин, станнин, шеелит, вюрцит, герсдорфит, самородные золото и серебро; весьма редко встречаются вольфрамит и киноварь. Жильные минералы имеют резко подчиненную роль и представлены кварцем, сидеритом, доломитом, кальцитом, редко наблюдается гранат, амфибол, пироксен.

По данным В. Б. Черницына, образование месторождения происходило в результате последовательного отложения четырех парагенетических комплексов: силикатно-дисульфидного, сложенного глобулярным пиритом осадочного происхождения; малосернистых сульфидов, образованных путем наложения на глобулярный пирит гидротермальных процессов, приведших к его перекристаллизации; гипергенных пиритов. Представления о подобной последовательности образования руд подтверждаются данными изотопных анализов серы. В. Б. Черницын предполагает, что при наложении гидротерм на осадочные пиритовые залежи часть серы приносилась из глубин. Околорудные изменения представлены слабым окварцеванием аргиллитов и выражены в катаклазе и дроблении приконтактовых частей зон.

*Филизчайское* месторождение изучали Ш. А. Азизбеков и др. (1964), В. И. Буадзе (1963), Н. К. Курбанов, Э. И. Кутырев (1984), Д. Д. Мазанов, В. И. Смирнов, Г. А. Твалчрелидзе (1982), В. Б. Черницын и другие геологи. Большинство исследователей считают это месторождение стратифицированным. Оно расположено в верховьях р. Белокончай в пределах тектоноблока 37, ограниченного со всех сторон элементами разломной тектоники, и залегает в стратифицированных толщах нижней и средней юры, где зафиксированы покровы, силлы и дайки вулканитов основного состава: диабазов, диабазовых порфиров, спилитов. Месторождение залегает на крыле Сарыбашского антиклинория в верхнесидеритовой свите аалена, в тонкообломочно-глинистой ее части. Рудное тело представляет собой пластообразную залежь массивных сульфидных руд комплексного медно-свинцово-цинкового состава, имеющую среднюю мощность до нескольких десятков метров и протяженность до 1000 м. Прослой глинистых сланцев разделяют рудную залежь

на три "слоя"; в лежачем боку нижний рудный слой представлен глинисто-сульфидным пластом с крупнозернистыми пирит-халькопиритовыми рудами; средний слой состоит из мелкозернистых агрегатов пирротин-пиритовой массы, верхний слой сложен пирит-сфалерит-галенитовыми рудами. Руды в основном полосчатые, массивные, пятнисто-вкрапленные, брекчированные, прожилковые. В пиритовой части полосчатых руд Н. К. Курбанов установил массу мелкоколлоидного и глобулярного сложения, напоминающую «оруденелые бактерии». Большинство исследователей считает, что месторождение образовано первично-осадочным путем.

#### *Колчеданное оруденение во флишиоидной формации*

Колчеданные залежи в основном образуются в маломощных, формировавшихся в песчаниках лагун с карбонатным цементом. Примером подобных рудопроявлений служит Подгорное в породах ааленского яруса, Джегутинское – келловейского яруса, Тала-су – плисбахского яруса и другие.

В пиритизированной зоне Джегутинского рудопроявления вкрапленность пирита, галенита и сфалерита приурочена к серым кварц-полевошпатовым доломитизированным песчаникам. Максимальная мощность рудного тела достигает 1 м, оруденение развито на площади 8 км в основании келловейских отложений. Продуктивный пласт прослеживается в той части разреза, которая обогащена остатками флоры. Рудные минералы цементируют обломки и замещают остатки флоры.

Разрез начинается с пропластка мощностью в 3 – 5 см серного колчедана, заполняющего неровности размытой поверхности и замещающего остатки фауны. В отдельных пунктах содержание суммы свинца, цинка и меди достигает 1%. Рудопроявление представляет собой типичное осадочное диагенетическое образование.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Азизбеков Ш. А., Магакьян Г. И., Твалчрелидзе Г. А., Харчук Л. П. Металлогения Кавказа // М.: Недра, т. VII, 1964.
2. Буадзе В. И. Геологическое строение и условия формирования Худеского (Кизилкольского) медно-колчеданного месторождения (Сев. Кавказ): Автореф. дис., канд. геол.-минер. наук. Тбилиси, 1963.
3. Кутырев Э. И. Геология и прогнозирование согласных месторождений меди, свинца и цинка. Л.: Недра, 1984.
4. Смирнов В. И. Металлогения геосинклиналей. В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых, т. V. Изд. АН СССР, 1962.
5. Твалчрелидзе Г. А. Металлогения Кавказа // Тезисы докл. VI симп. МАГРМ. Тбилиси, 1982, с. 5 – 6.
6. Цирихова Э. М., Савинский И. Д. Использование методов распознавания образов для прогнозной оценки полиметаллических месторождений Кавказа // Геология и методы разведки. 1978, № 6.
7. Цирихова Э. М. Блоковая тектоника и оруденение. М.: Недра, 1983.
8. Черницын В. Б. Металлогения свинца и цинка (на примере Кавказа и Донбасса). Киев: Наукова думка, 1985.

## **РАССЛОЕННЫЙ И ОСТАТОЧНЫЙ КЛАССЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА БОЛЬШОМ КАВКАЗЕ**

*Класс остаточных месторождений на Большом Кавказе представлен Малкинским железорудным месторождением, связанным с серпентинитовой формацией; расслоенный класс представлен Беденским и Малкинским (Дюрбеджи-Дорбунским) хромитовыми рудопроявлениями, связанными с перидотит-серпентинитовой формацией.*

Процессы рудообразования проявляются при благоприятном сочетании структурных и магматических факторов. Отсюда и соответствие определенного магматического цикла той или иной тектоно-магматической эпохе. Не касаясь дискуссионного к настоящему времени вопроса о первичности рудообразования в фанерозое или частичной его первичности, необходимо отметить, что фактический материал свидетельствует о наличии на территории Большого Кавказа как первичных месторождений, так и образованных путем переотложения первичного рудного вещества при эндогенных и экзогенных геологических процессах. Первое обстоятельство подтверждается образованием однотипных месторождений в пределах разновозрастных структурных этажей, т. е. в разные структурно-магматические эпохи. Это одновременно служит доказательством и разновременности рудообразования.

Учение о геологических формациях позволяет всесторонне изучить месторождения определенной рудоносной формации и построить принципиальную геолого-тектоническую модель ее образования. При этом должны быть выявлены наиболее характерные общие черты данной группы месторождений, отражающие основные закономерности процесса, и условий образования данного формационного типа. Расшифровка этих особенностей позволяет определить, в частности, самостоятельность и границы развития формационных типов месторождений.

Все разнообразие геологических тел, отличающихся своими тектоническими, петрологическими, термодинамическими, физико-географическими условиями образования, представлено в коре в виде геологических классов формаций – осадочных, магматических и метаморфических. Потенциальные возможности недр Кавказа могут быть достоверно учтены только в том случае, если мы возьмем на учет все геологические формации рудоносной провинции, так как известно, что каждая из формаций характеризуется специфическим, присущим только ей, набором полезных ископаемых и в то же время является «недоступной» для других.

На Кавказе, по данным Г. А. Твалчрелидзе и др. (1982), отмечается изменение состава и структур месторождений от одной металлогенической эпохи к другой. Помимо замены монометалльных руд полиметалльными, наблюдается появление новых геологических рудных и рудоносных формаций, несущих полигенное оруденение. Отражением этого является наличие типоморфных и сквозных формаций и металлов. К числу сквозных, изученных автором в пределах двух или даже трех из четырех структурных этажей,

соответствующих определенным металлогеническим этапам, относятся свинец, цинк, медь, вольфрам, молибден, мышьяк, золото, барий. Типоморфными являются сурьма, ртуть, марганец, хром. Наблюдается парагенетическая связь с породами спилит-кератофировой формации медно-колчеданных месторождений, с гипабиссальными породами – кварц-халькопиритовых и золото-кварцевых жил, с гранитоидными формациями связаны зоны с редкометалльным оруденением, с породами кварц-кератофировой формации ассоциируют полиметаллические месторождения и рудопроявления. Иную позицию на Большом Кавказе занимают ртутоносные районы из-за специфики самого металла, т.к. он в любых средах стремится к испарению и возгонке. В связи с этим для них определяющим фактором является наличие разломов глубокого заложения. В участках заложения разноориентированных разломов глубинного заложения развиты ртутоносные площади с особенно интенсивным оруденением в пределах окраин Западного и Восточного Кавказа в терригенных и флишоидных формациях. К другому классу могут быть отнесены киммерийско-альпийские зоны с редкометалльным оруденением. Вольфраммолибденовое оруденение генетически связано с малыми интрузиями гранодиоритов повышенной кислотности, которые внедрялись в тектонически ослабленные зоны по границам жестких древних сиалических блоков в северной периферической области складчатого сооружения.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что на территории рудной провинции следует выделить следующие пять классов формаций, объединенных в каждом отдельном случае первичной природой формационных комплексов, структурными условиями консолидации и металлогенической их сущностью: расслоенные, стратиформные, контактовые, секущие и остаточные. Автором рассмотрены в более ранних работах (Цирихова Э. М., 2002, 2004, 2005) классы стратиформных, контактовых и секущих месторождений. В настоящей работе также будут изложены некоторые сведения о рудных проявлениях расслоенного и остаточного классов месторождений.

#### *Класс расслоенных месторождений*

Эволюция рудообразования хорошо изучена во многих провинциях и, в частности, на Большом Кавказе. С точки зрения современного состояния исследований по металлогении (Домарев, 1984; Твалчрелидзе, 1985; Рундквист и др., 1981 и др.), месторождения, генетически связанные с интрузивными и эффузивными мантийными магмами, играют существенную роль в распределении запасов различных полезных ископаемых. Рассматриваемый класс представлен сегрегационными хромитовыми рудопроявлениями в перидотит-серпентинитовой формации. Рудоносная формация прослеживается на северных склонах Западного Кавказа, где выделено три тектоноблока второго порядка: 49, 51 и 71\*.

#### *Сегрегационные хромитовые рудопроявления в перидотит-серпентинитовой формации*

Рудосносными являются Беденский (Беденское рудопроявление) и Малкинский (Дюрбеджи-Дорбунское рудопроявление) массивы ультраосновных пород.

---

\* Здесь и далее номера тектоноблоков приведены по Цириховой (1983).

*Беденский массив* развит в долине реки Большая Лаба в районе пос. Азиатский. Серпентиниты массива образовались по перидотитам. В северной части массив прорван гнейсированными плагиигранитами, абсолютный возраст которых, по Г. Д. Афанасьеву, варьирует в пределах 450–460 млн лет, что позволяет относить породы и развитое в них в результате сегрегации и кристаллизационной дифференциации хромитовое оруденение к досреднедевонским образованиям. Серпентиниты представлены хризотилowymi, антигоритовыми и переходными разностями. В них обнаружено около двух десятков шпировых выделений хромита, наиболее крупный из которых найден геологами ПГО «Севкавгеология» по балке Власенковой длиной около 20 м и шириной в 1–2 м. Хромитовые руды массивны и окружены ореолом вкрапленных руд.

В фундаменте указанных тектоноблоков под платформенным чехлом автор предполагает (по геофизическим данным и результатам структурного бурения) наличие массивов ультраосновных пород, с которыми могут ассоциировать рудные проявления железа, титана, хрома, никеля и других металлов.

#### *Класс остаточных месторождений*

На Большом Кавказе, в тектоноблоках Западного (70, 71) и Центрального Кавказа (51, 52) в районах разрушения ультраосновных пород вследствие выноса продуктов выветривания части вещества возникли относительно обогащенные железом рудные проявления. Формирование месторождений происходило в течение почти всего мезозоя. Известны нижнеюрские (Тышлы-Сырт, Хацавитая и др.), ааленские (Подорванное, Пцицар и др.), келловейские (Малкинское) и титонские (бассейн реки Белой) месторождения.

#### *Железорудные месторождения, связанные с серпентинитовой формацией*

Серпентинитовые массивы Лабино-Малкинского района неоднократно подвергались выветриванию. На Западном Кавказе предшествующими исследователями суша с гумидным климатом отмечена дважды: в триасовое и раннеюрское время. В пределах рассматриваемого пояса ультрабазитов встречены многочисленные остаточные месторождения железа, залегающие в основании юрских и меловых толщ. Положение юрской морской трансгрессии и областей сноса свидетельствует об образовании этих рудопроявлений и мелких месторождений за счет переотложения коры выветривания массивов серпентинитов, выступающих в приподнятых тектоноблоках, таких как 51 и другие. Наиболее крупным из них является Малкинское железорудное месторождение. Район изучали Н. А. Прищепа и М. И. Калганов. Развитые здесь серпентиниты на верхних горизонтах в зоне гипергенеза обогащены продуктами выветривания ультраосновных пород. Промышленные рудные тела залегают в виде трех вытянутых в субширотном направлении плащеобразных полос. Главными рудными минералами являются гидрогетит, гидрогематит, менее распространены магнетит, сидерит; из нерудных преобладают нонтронит, монтмориллонит, каолин, гипс, кварц. Содержание железа в рудах 30–33 %, руды природно-легированные.

**Заключение.** Рассмотренные два класса месторождений, на Большом Кавказе представлены на дневной поверхности двумя мелкими месторождениями и несколькими рудопроявлениями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Твалчрелидзе Г. А., Кофман Р. Г., Носов А. А. Этапы рудообразования и рудоносные геологические формации /В кн.: Проблемы геодинамики Кавказа, М.: Наука, 1982, с. 111-117.
2. Цирихова Э. М. Класс контактовых месторождений Большого Кавказа / Сб. тр. СКГМИ (ГТУ), вып. X. Владикавказ: Терек, 2003, с. 4-10.
3. Цирихова Э. М. Класс секущих структурные этажи земной коры месторождений территории Большого Кавказа / Сб. тр. СКГМИ (ГТУ), вып. XI. Владикавказ: Терек, 2004. с. 3-11.
4. Цирихова Э. М. Блоковая тектоника и оруденение. М.: Недра, 1983.



УДК 533.44.550.84

*Проф. КОДЗАЕВ Ю. В., доц. ДАРЧИЕВА А. Е.,  
асп. ВОНСОВИЧ Н. Ю., студ. ИВАНОВ С. С.*

#### **ПОИСКОВЫЕ КРИТЕРИИ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОРНОЙ ОСЕТИИ**

*Приведены некоторые критерии поисков скрытого оруденения на территории Горной Осетии.*

В последние годы значительно сократилась доля местного сырья для металлургического завода «Электроцинк» в г. Владикавказе. Проблема сырьевой базы старейшего горно-рудного района Северной Осетии Садонского свинцово-цинкового комбината стоит особенно остро в настоящее время. Крупные промышленные месторождения (Садонское, Згидское, Архонское, Холстинское) эксплуатируются в течение нескольких десятилетий и близки к истощению имеющихся запасов. Расширение сырьевой базы возможно лишь за счет обнаружения скрытого «слепого» оруденения путем дальнейшей разведки более глубоких горизонтов известных месторождений. В связи с этим задача получения дополнительных критериев прогноза глубинного полиметаллического оруденения весьма актуальна.

Для решения поставленных задач авторами изучены закономерности изменения состава околожильных пород в результате гидротермального рудообразования, для чего был определен оптимальный комплекс элементов, выяснена связь изменения состава околожильных пород с процессами формирования руд.

Основными поисковыми признакам (критериями) месторождений садонского типа являются:

- структурно-тектонический контроль;
- связь оруденения с магматизмом.
- литологический контроль и фактор экранирования:
- зональность (структурная, минеральная, рудоотложения, околорудная метасоматическая);
- фактор глубины формирования оруденения;
- геохимические и геофизические поисково-оценочные критерии.

Данная работа посвящена структурно-тектоническому контролю и связи оруденения с магматизмом.

**Структурно-тектонический контроль.** Формирование полиметаллического оруденения в рудных полях тесно связано со структурно-тектоническим строением формационных зон. В нашем случае – со строением Дигоро-Осетинской структурно-формационной зоны, представляющей антиклинальное сооружение. Поднятие его доюрского фундамента привело к образованию тектонических блоков, которые в результате последующих деформаций преобразовались в локально-складчатые и складчато-блоковые структуры, ограниченные в продольном направлении региональными глубинными разломами субкавказского простирания – Тоторс-Махческим, Северным Штулинским, Садоно-Унальским, Северным, а в поперечном – сбрососдвигами северо-восточного простирания – Кионским, Згидским, Садонским и др. Первая группа разломов является региональной, вторая – локальной рудоконтролирующей.

Наиболее крупные месторождения свинца и цинка (Згид, Садон) приурочены к поперечным прогибам – зонам относительного растяжения типа щелевых рифтов, осложняющих сводовую часть и крылья Садоно-Унальской горст-антиклинали.

Более мелкие месторождения и рудопроявления локализованы в тектонических блоках, ограниченных продольными и диагональными разломами, заложенными в доскладчатое время. Формирование рудных тел происходило и в поперечных тектонических блок-пластинах, образованных в местах сопряжения рудоконтролирующих разломов с трещинами отрыва или скола, а также в участках складчатых структур, осложненных мелкими клиновидными складками или поперечными флексурами и разрывами.

Наименее перспективное оруденение локализовано в продольных и диагональных трещинных структурах. Перспективы рудопроявлений, залегающих в надвиговых структурах (например, Северное), можно рассматривать как индикатор глубинного «слепого» оруденения.

Как показывает структурный анализ, степень тектонической проработки рудных полей неоднородна. В местах скопления промышленного оруденения повышается роль поперечных тектонических дислокаций, неоднократно обновляющихся. Установлено, что поперечные рудо локализирующие нарушения в гранитах имеют преобладающее северо-восточное направление (0–30 град., 30–60 град.) с крутым (75–90 град.) падением на юго-восток или северо-запад. Лишь на Холстинском месторождении промышленное оруденение локализуется в зоне субмеридионального направления. Рудовмещающие структуры в песчано-глинистых отложениях развиты в основном в северо-

ро-западном направлении (300–340 град.), реже – в субширотном и меридиональном простирании. Иногда разрывные нарушения развиваются согласно слоистости песчано-глинистых пород.

Разрывные структуры, благоприятные для локализации свинцово-цинковых руд, не всегда фиксируются на поверхности.

Выявление «слепых» разломов возможно по результатам составления карт трещиноватости, которые на первом этапе поисков выполняют по данным дешифрирования аэрофотоснимков исследуемой площади, а затем определяют фон трещиноватости пород; любое превышение удельной трещиноватости возможно указывает на проявление «слепого» разлома.

**Связь с магматизмом.** Вопрос связи магматических проявлений и жильного свинцово-цинкового оруденения Северной Осетии изучали многие исследователи (Кобилев Г. А., Некрасов Е. М., Зембатов С. С. и др.) [1].

Установлено, что во всех магматических породах Дигоро-Осетинской структурно-формационной зоны, за исключением даек диабазов, выявлено древнее оруденение, которое сформировалось в позднегеосинклинальный период развития складчатых структур. На начальном этапе мезозойского магматизма была сформирована покровная фация андезито-дацитов (осетинская свита), с которой в генетической и пространственной связи находятся аналогичные по составу лайковые и небольшие интрузивные тела, прорывающие доюрский кристаллический фундамент. Вулканогенные и вулканотерригенные породы, как правило, играют роль экрана, под которым в образованиях фундамента возможно локализовано оруденение. Одновременно с образованием покровов андезито-дацитов происходит внедрение экструзии субвулканических андезитов (Верхне-Ходский вулканический аппарат), а на завершающем этапе формирования Ходского комплекса (вулканотерригенный горизонт) – внедрение базальтов (Дзамадский вулканический аппарат), являющихся производными более глубинного магматического очага.

Развитие тел интрузивного и субвулканического происхождения в районе жильного свинцово-цинкового оруденения указывает на их тесную пространственную связь. Рудные тела размещены и в гранитах фундамента, и в эруптивных брекчиях, и на верхних горизонтах, в субвулканических телах кварцевых альбитофиров. Они, как правило, приурочены к трещинам отрыва или скола, используют иногда и контакты даек, штоков, вулканических жерл. Таким образом, рудоносные флюиды в определенных случаях использовали те же пути движения, что и андезито-дациты, а по составу и положению структуры следует рассматривать как субвулканические образования, длительно развивавшиеся во времени (от плинсбаха до байоса-бата).

Занимаясь изучением строения и развития юрской вулканоплутонической формации Садонского района, К. В. Давыдов [2] отмечает стадийность в проявлении среднеюрского магматизма и выделяет генетическую, взрывную, вулканотерригенную и гипабиссальную стадии, наиболее полно проявленные на площади Ногкауского месторождения, рассматривая структуру последней как палеокальдеру.

Проблемой роли взрывных и взрывно-гидротермальных брекчий в формировании рудных месторождений занимался В. С. Побыванец [3] на примере месторождений садонской группы. Изучив морфологию рудных тел и текстуры руд, он сделал вывод о единстве очага (магматического) для



цемента брекчий и субвулканических дацитовых порфиритов, установил связь фаз брекчиеобразований, структур формирования с рудоотложением. Анализируя гипсометрическое положение эксплозивных и эксплозивно-гидротермальных брекчий на этих месторождениях, он отметил приуроченность первых к средним уровням месторождений, а вторых – к верхним и средним и постепенное снижение их роли с глубиной. Отмеченные особенности являются признаками вертикальной зональности жильных месторождений.

Существование локальных магматогенно-рудных систем (ЛМРС) на площади Горной Осетии обосновано в работе В. Н. Макарова и др. (КИМС, 1988 г.). Одна из изученных им ЛМРС является сегментом регионального раннесреднеюрского вулканоплутогенного пояса (ВПП). Для выяснения генетической природы полиметаллического оруденения авторы, изучая эксплозивные брекчии на месторождении Верхний Згид, выделили шесть их типов по вещественному составу матриц. По результатам петрохимических характеристик, минерального, петрогенетического состава пород, форме обломков они подтвердили существование генетической связи эксплозивного процесса с рудообразованием: «... вслед за внедрением даек риолитов калиевой серии появляется восходящий поток рудно-флюидно-магматического расплава, сопровождающийся эксплозивными процессами. В участках поднятия кристаллического фундамента над головными очагами магматогенно-рудной системы образовались закрытые (глубинные) линейные крутопадающие флюидно-эксплозивные структуры преимущественно северо-восточного простирания (аз. 0–50 град.), несущие полиметаллическое оруденение. В алевролитов-сланцевых образованиях это же оруденение контролируется закрытыми флюидно-эксплозивными структурами, приуроченными к субширотным флексурам крыльев складок. Вариации вещественного состава и количественных соотношений компонентов в матрицах эксплозивных брекчий указывают на ритмический характер флюидно-эксплозивного процесса, а изменение состава флюидно-эксплозивного расплава от ритма к ритму – на сложность его дифференциации. Полибрекчиевое строение рудоносных зон и является результатом пульсационного поступления флюидных растворов по тектоническим разрывам, неоднократно обновляющимся».

Таким образом, анализируя ранее выполненные исследования, приходим к выводам:

1. Существование локальной магматогенно-рудной системы (ЛМРС) в Горной Осетии обосновано. В результате газозрывных прорывов вдоль ослабленных в тектоническом отношении зон повышенной трещиноватости происходит сложный процесс брекчиеобразования. Среди жильных брекчий выделены эксплозивные и флюидно-эксплозивные разновидности и доказана их генетическая связь с рудообразованием, что подтверждается находками обломков оруденелых гранит-порфиритов в эксплозивных брекчиях гетерогенного состава с кокардообразными текстурами, содержащих магнетит, марганец, пирит и кальцит.

2. Брекчии предрудного этапа (эксплозивные) – это образования более молодые, чем субвулканические дацитовые порфириты и гранодиорит-порфириты. Образование эксплозивных брекчий предшествует процессу рудоотложения, на что указывает повышенное содержание свинца, цинка, висму-

та, меди, серебра, марганца в цементе брекчий, пересечение рудными телами взрывчатых брекчий и их пространственная связь.

3. Стадии брекчиеобразования отражают стадийность рудоотложения. Главную роль в концентрации промышленного оруденения играли брекчие кварцевой (1-ой) и рудной (3-ей) стадии брекчиеобразования, соответствующие пирит-кварцевой и галенит-сфалеритовой стадиям минералообразования.

4. Наличие взрывчатых и гидротермально-взрывчатых брекчий, характерных для определенных уровней срезов свинцово-цинковых месторождений, является существенным локальным поисковым признаком полиметаллической минерализации в Садоно-Унальском рудном поле.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Некрасов Е. М. Структурные условия локализации жильных свинцово-цинковых месторождений. М: Недра, 1980.

2. Давыдов К. В., Тибилев С. М., Стариков В. С. Новые данные о строении и развитии юрской вулканоплутонической формации Садонского района. VI Краевая конференция по геологии и полезным ископаемым Северного Кавказа. Ессентуки, 1985.

3. Побыванцев В. С. Взрывчатые и взрывчато-гидротермальные брекчие и их роль в формировании рудных месторождений: Автореф. дисс.... к. г.-м. н., 1984.



УДК 533.44.550.84

*Доц. ДАРЧИЕВА А. Е., асп. ВОНСОВИЧ Н. Ю.,  
проф. КОДЗАЕВ Ю. В., студ. ИВАНОВ С. С.*

#### **О ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПРИЗНАКАХ (КРИТЕРИЯХ) ПРИ ПОИСКАХ СКРЫТЫХ РУДНЫХ ТЕЛ**

*Приведены данные о литологическом контроле, экранировании, структурной и минеральной зональности как поисковых признаках.*

#### **Литологический контроль и фактор экранирования**

На протяжении всей истории геологического изучения Садонского рудного района вопросу роли литологического фактора в локализации оруденения уделяли достаточно пристальное внимание. Наибольший вклад в освещение этого вопроса внесли Г. Д. Ажгирей, С. М. Рыпинский, Э. Ф. Башкина, Э. Л. Кобленц и др.

Преимущественная локализация полиметаллического оруденения в гранитах служила долгое время основанием для вывода о том, что граниты, как наиболее хрупкие породы, являются благоприятной средой. Слабоорудене-

лые вулканогенные породы осетинской свиты и терригенные толщи нижней и средней юры служат экраном и представляют собой малоперспективные толщи на обнаружение полиметаллического оруденения. Однако по мере расширения фронта горных работ на месторождениях Садонского СЦК отмечали все больше случаев проникновения и развития рудных жил в вулканогенных породах. Некоторые исследователи пришли к выводу, что роль вулканогенных пород в качестве экрана сильно преувеличена. По данным рудничной геологии, Э. Л. Кобленц установил для Садонского месторождения ряд пород по степени их благоприятности для локализации в них оруденения. Этот ряд от менее благоприятных к более благоприятным представлен вулканогенными породами гравелитами, конгломератами и гранитами. Проведенный подсчет запасов по месторождениям Садонского СЦК показывает, что в гранитах сосредоточено 60 % запасов, в аргиллитах тоара – нижнего аалена – 25 %, в сланцах буронской свиты – около 10 % и лишь 2–3 % приходится на вулканогенные породы.

Освещение роли литологического фактора в локализации полиметаллического оруденения проводили преимущественно на основе геологических наблюдений в выработках и обнажениях, редких определений показателей физико-механических свойств вмещающих пород.

Проведенные в более полном объеме исследования сотрудниками РУДН им. П. Лумумбы [1] позволили сделать качественный анализ. По возрастанию упругих модулей в целом можно установить следующий ряд: гравелиты – вулканогенные породы – граниты – песчаники – серицит-кварцевые хлоритовые сланцы – амфиболиты. Выделяются три группы пород, существенно отличающихся по упругим характеристикам: амфиболиты, метаморфические сланцы и песчаники – граниты – вулканогенные породы. Практический интерес представляет собой характеристика физико-механических свойств гранитов и вулканогенных пород, а также вулканогенных пород и песчаников мизурской свиты.

При анализе данных пород первой группы отмечается близость их параметров по многим характеристикам. Очевидно, что только физико-механическими свойствами нельзя объяснить наличие основной массы рудных тел в гранитах и их затухание в вулканогенных породах. Так, для жил Октябрьского месторождения четко устанавливается контролирующая роль вулканогенных пород, а для жилы «Южная» (месторождение Архон) – рудовмещающее нарушение рассекает подошву вулканитов и проникает в них, превращаясь в серию трещин с плоскостями скольжения, выклиниваясь вверх по восстанию.

Учитывая, что возраст гранитов и вулканогенных пород различный и граниты, как более древние образования, испытали больше этапов деформаций, можно утверждать о более древнем возрасте заложения трещин и разрывных нарушений в гранитоидах. Следовательно, когда происходило формирование вулканогенных пород, уже существовавшие в гранитах трещины и разрывные нарушения получили дальнейшее развитие. Разная степень проработанности рудовмещающих трещин в вулканогенных породах является основной причиной избирательной приуроченности оруденения к гранитам.

Установлено, что полиметаллическое оруденение проникает практически во все породы геологического разреза – от сланцев буронской свиты до песчано-сланцевых пород средней юры включительно, что можно видеть по

разрезу экранирующих пород. Имеющиеся отличия физико-механических свойств горных пород, слагающих различные толщи, накладывали лишь свои специфические черты как на проявление рудовмещающих структур, так и на морфологию рудных тел.

Экранирование отмечается в рудных телах на сопряжении рудовмещающих трещин со сколовыми трещинами, выполненными глиной трения. Так, по Главной Верхне-Згидской жиле на сопряжении Пололого сброса с I и II-м Большими сбросами образованы крупные скопления руды.

### **Зональность: структурная, минеральная, рудоотложения, околорудных изменений**

Закономерности зональности жильного свинцово-цинкового оруденения в Горной Осетии изучали многочисленные исследователи при обобщении обширного фактического материала. Целенаправленно стали заниматься этими вопросами в последнее десятилетие XX в. Несколько ранее Е. М. Некрасов (1975–1980 гг.) [2] детально изучил вертикальную структурную зональность жильных полиметаллических месторождений Осетии, отметил особенности развития рудовмещающих трещин, заложенных в дорудные этапы плутонической и вулканоплутонической деятельности. Трещины неоднократно подновлялись и играли роль каналов, выводящих рудно-флюидно-магматический расплав в верхнюю часть зоны земной коры. Эволюция разрывов приводит к их расщеплению и разветвлению вверх по восстановлению, образуя в поперечном вертикальном разрезе пучок рудолокализирующих разрывных нарушений. По морфологии и пространственному положению рудных жил и тел можно проводить оценку уровня рудного среза.

Сотрудники ГМЭ КИМС вышеотмеченные элементы структурной зональности рудных тел жильных месторождений свинца и цинка дополнили построением их объемной модели и пришли к следующему выводу. Детально разведанные и изученные месторождения Садон и Згид представляют собой сильно уплощенные конусовидные геологические тела, в которых: «... во фронтальных частях эллипсоидных сечений отношение короткой и длинной осей эллипса приблизительно равно 1:10; 1:15; 1:20. В прикорневых частях площадь сечения по отношению к фронтальной зоне сокращается в 1,5–3 раза. Меняется и конфигурация сечений: если во фронтальной части эллипсоидное сечение имеет неправильные заливообразные очертания, то в прифронтальной и прикорневой частях становится компактной, иногда щелевидного характера». Это подтверждается многообразием рудных тел полиметаллических месторождений Садона. Так, их фронтальные зоны имеют небольшую промышленную ценность и сложены штокверкообразными и линейными зонами прожилково-вкрапленной минерализации, а промышленно-значимое оруденение, представленное компактными рудными телами, концентрируется преимущественно в средних частях месторождений, где развиты плито-, трубо-, воронкообразные брекчиевые и взрывные дайкообразные тела в слабоизмененных вмещающих породах.

Таким образом, вертикальная структурная зональность выражается изменением с глубиной морфологии рудовмещающих нарушений и системы оперяющих их трещин, морфологии и внутреннего строения рудных тел,

количества тектонических брекчий и глинки трения в зонах нарушений, сменой одних текстур руд другими. Такое изменение элементов зональности возможно в пределах значительного вертикального интервала (до 2 км и более).

Изучением минерального состава полиметаллических руд группы месторождений Садонского СЦК занимались многие исследователи. В 1980 г. Е. М. Некрасов обобщил известные данные по стадийности и минеральному составу свинцово-цинковых месторождений жильного типа не только по Горной Осетии, но и по ряду аналогичных месторождений за рубежом. Он разработал сводную схему минеральной зональности отложений данного типа оруденения: смену с глубиной окисно-сульфидно-сульфосолевых руд существенно сульфидными. С глубиной постепенно уменьшаются и даже исчезают гематит, магнетит, сульфосоли свинца, меди, висмута и серебра; появляются или непрерывно возрастают содержания пирротина, арсенопирита и относительно увеличивается количество раннего кварца, линзо- и четковидные образования которого слагают безрудные «корни» жильных минеральных тел.

Анализируя данные многочисленных исследований по минералогическим особенностям и процессу рудообразования месторождений полиметаллов Садоно-Унальского рудного поля, устанавливают при практически одинаковом наборе жильных и рудных минералов некоторые различия в сходных стадиях минералообразования и парагенетических ассоциаций, выраженные в их разновозрастных и количественных вариациях. Так, руды Бачитского, Ногкауского и Левобережного месторождений больше обогащены кальцитом по сравнению с рудами месторождений Садон, Архон, Холст. При повсеместном развитии хлорита, его значительные концентрации отмечены лишь в Левобережном месторождении.

В процессе минералообразования на ранней дорудной стадии на месторождениях, локализованных в гранитном фундаменте, выделено до 5 минеральных ассоциаций (кварц-пиритовая, пирит-кварцевая, кварц-кальцит-пирит-пирротиновая, пирит-арсенопирит-кварцевая, пирит-сидеритовая и др.). На месторождениях близповерхностных (песчано-сланцевого комплекса) – как правило, выделены агрегаты одной ассоциации (пирит-кварцевой). В продуктивную стадию минералообразования проявилось, в основном, по две минеральных ассоциации, а закончился этот процесс отложением нерудных минералов кварц-кальцитовой ассоциации (с хлоритом и баритом на Згидском, Фаснальском и Бачитском месторождениях).

В рудах полиметаллических месторождений Горной Осетии многие исследователи отметили и закономерную особенность рудоотложения – изменение содержаний свинца и цинка и их отношений по падению рудных тел, что, по-видимому, является показателем зональности рудоотложения. Рассматривая вариации содержаний свинца и цинка в блоках по падению рудных тел Верхнее-Згидского и Садонского месторождений, сотрудники ГМЭ КИМС установили:

- гармоничный, ритмичный зональный характер соотношений свинца к цинку, обусловленный «падением в вертикальном разрезе формирующихся жил температуры гидротермального раствора, поскольку по мере снижения

температуры динамика его насыщения разными сульфидобразующими цветными металлами совершенно различна»;

- логнормальную модель изменения содержаний свинца, цинка и отношения свинца к цинку;
- одинаковые тренды изменения отношения свинца к цинку, содержания свинца и цинка;
- уравнение обобщенной рудной зональности

$$H = 19501g \frac{\text{Pb/Zn} - \text{среднее на пике ритма}}{\text{Pb/Zn} - \text{среднее над верхнерудным интервалом}}, \text{ м}$$

(от головы рудной жилы по падению), что дает возможность на слабо изученных месторождениях и рудопроявлениях, но с выявленным хотя бы одним ритмом зональности, уточнить уровень вскрытия рудного проявления.

Обобщая фактический материал по основным рудным телам эталонных месторождений Горной Осетии авторы В. Н. Макаров, Г. Д. Апостолов и др. создали в общих чертах модель минеральной зональности этого типа оруденения:

- разновозрастные минеральные ассоциации расположены во всем рудном интервале в различных количественных соотношениях на различных пересечениях, что связано с ритмичностью минералообразования, обязанного своеобразному механизму поступления флюидов;

- в рудных зонах установлены минеральные ритмы 1-го порядка, находящиеся в связи с ритмами 2-го порядка, характеризующими величины отношения Pb к Zn и содержания свинца и цинка. Верхняя часть минерального ритма 1-го порядка обогащена осветленным сфалеритом, раскристаллизованным мелким кварцем, гнездами хлорита, кальцита; средняя часть – массивным галенитом и характеризуется наличием полостей с друзами крупнокристаллического кальцита, редко – с кристаллами лимонно-прозрачного барита и крупнокристаллического галенита кубооктаэдрического габитуса; нижняя часть обогащена магматитом, массивным пиритом (пирротином), массивным кварцем;

- для надрудных интервалов характерна пространственная разобщенность, рассредоточенность начальных и более поздних минеральных ассоциаций на рудном поле. Среди кварцевых жил различаются тела, сложенные ранней генерацией кварца массивного темно-серого с раковистым изломом с тонкодисперсным пиритом (недифференцированный кварц); генерацией густомолочного зернистого кварца (средняя степень дифференциации); прозрачной, хорошо раскристаллизованной разновидностью минерала, очищенной от примесей, (например, в 150 м над рудным телом – В. Згид, поверхность);

- для подрудных ореолов характерна сосредоточенность ранних и поздних минеральных ассоциаций в одном жильном проявлении, с редкими правильными кристаллами магматита в струйчатом агрегате тонкопосчатого марказита (мельниковита) и кварца.

Природа рудно-минеральной зональности рассматривается «... с точки зрения одностадийного внедрения концентрированного флюида и его диффе-

ренциации на основе выявленных механизмов: под воздействием долительного теплового поля с разделением по эффекту зонной плавки и перемещения дифференцированных порций флюида в верхние интервалы под влиянием вакуумирования в верхних полостях при усадке и раскristализации в них гелей охлажденного флюида» (В. Н. Макаров и др.).

Наряду с зональностью отложения на полиметаллических месторождениях Горной Осетии отмечена и линейная пульсационная зональность, обусловленная изменением направления движения вдоль изогнутых рудовмещающих нарушений в этап внутрирудной тектоники (Верхний Згид).

Помимо вертикальной рудной зональности, исследованиями Г. В. Хетагурова, Т. В. Васильевой и др. в Архоно-Унальском междуречье установлена горизонтальная зональность концентраций полезных компонентов в трех тектонических блоках, ограниченных Садоно-Унальским разломом на юге и разломами Цирх и Широтный – на севере. Здесь в южном тектоническом блоке (I-ом) в направлении от Дейкау до Луара отмечается уменьшение содержания свинца и увеличение содержания цинка. Обратная картина фиксируется в III-ем тектоническом блоке (северном), а в центральном (II-ом) – повышенные концентрации свинца и цинка отмечаются в краевых его частях по сравнению с центром.

Характер и интенсивность окolorудных изменений связаны во времени с рудообразующим процессом. В садонских гранитоидах интенсивно проявлены вторичные процессы – альбитизация, хлоритизация, серицитизация, мусковитизация и окварцевание.

Наиболее постоянным и отчетливо выраженным признаком окolorудных изменений являются серицитизация и окварцевание. Изучение окolorудных изменений на месторождениях Верхнего и Нижнего Згида, Садона, Архона (жила «Южная») и рудопроявления Кора показывает, что серицитизация и окварцевание развиты на мощность от первых метров висячем и лежащем боках жил до 50 м по вертикали над головной частью жил (в гранитах).

Ореолы измененных пород окаймляют значительную часть рудных тел и зон брекчирования, образуя вытянутые поля различной ширины от 0,2 до 2–3 м, в единичных случаях – до 15,5 м (Архон, гор. 5). На Архоне наблюдается мощная и интенсивная зона окolorудных жильных изменений. Для Садона характерно возрастание ширины зоны серицитизации на верхних горизонтах, а для Верхнего Згида – идентичность характера и масштаба окolorудных изменений по вертикали. В аргиллито-алевролитовых отложениях окolorудные изменения выражены осветлением (аргиллитизацией вмещающих пород на мощность до первых метров). Поперечная зональность окolorудных изменений проявлена слабо, свидетельствуя о низкотемпературном характере преобразований гранитоидов в зальбандах рудных жил.

Вопросы термо-баро-геохимических условий рудообразования, зональности минералов–примесей в кварце на полиметаллических месторождениях Горной Осетии изучали с 1952 г. исследователи различных научно-исследовательских институтов и вузов страны – КИМС, ЛГУ, НПИ, РГУ, УДН, СКГМИ. Ими установлены уравнения связи характеристик зональности с уровнями пересечения, что является, по сути, количественными моделями соответствующих свойств и ценным направлением в исследовании полиме-

таллического рудообразования Горной Осетии, необходимым для поисковых и разведочных работ.

### **Фактор глубины формирования оруденения**

Одним из первых исследователей глубинных параметров эндогенного оруденения на Северном Кавказе является В. Б. Черницын [3]. Анализируя положение свинцово-цинковых месторождений жильного типа Горной Осетии на вертикальной проекции вдоль оси Дигоро-Осетинской структурно-формационной зоны, он установил, что величину вертикального размаха оруденения можно оценить в 250–3000 м при протяженности промышленного оруденения на 1,4 км.

В 1983 г. аналогичные построения были проведены Г. А. Кобилевым, который определил рудоносный интервал в пределах 3000 м в Дигорском и Садоно-Унальском рудных районах с увеличением его на востоке до 5000 м (Фиагдонское рудное поле) и до 7000 м и более – на востоке (Чечня, Ингушетия).

В 1980 г. Е. М. Некрасов путем реконструкции надрудных толщ на продольных профилях выделил глубоко сформированные месторождения в древних породах фундамента (гранитах, кристаллических сланцах) и гипабиссальные и близповерхностные месторождения в песчано-сланцевых породах юрского чехла. Для месторождений первого типа вертикальный размах оруденения определен 2500 м, для месторождений второго типа – он сокращается до 1500 м.

На основе карты эрозионных срезов (от нулевой отметки поверхности) изучаемых месторождений Горной Осетии и статистического анализа этих данных, Д. А. Апостолов установил:

- вертикальный размах оруденения 4–4,5 км;
- минимальная глубина формирования рудной минерализации 700–750 м от дневной келловейской поверхности (из расчета батского возраста оруденения), что соответствует глубинам формирования близповерхностных месторождений в песчано-сланцевых месторождениях юрского возраста. Глубина формирования месторождений в породах древнего фундамента фиксируется на отметках 75–1000 и 1500–1750 м.

- верхний уровень оптимальной глубины формирования богатого (промышленного) оруденения находится в пределах 2000–2250 м от поверхности;

- интервал промышленного оруденения района составил 1000–1500 м; для отдельных месторождений он оценивается приблизительно в 500 м для близповерхностных месторождений и 750–1000 м – для глубоко залегающих;

- максимальное вскрытие оруденения современной эрозией составляет 3500–3750 м, так что подрудный интервал глубоко залегающего оруденения на поверхности не фиксируется, что является благоприятным фактором обнаружения слепого оруденения.

Рудная минерализация проявляет вертикальную зональность. Верхняя граница распространения по вертикали пирротино-галенит-сфалеритового (существенно пирротинового) оруденения находится на глубине 2750–3000 м,



галенит-сфалеритового (с пирротинном) – 2250–2500 м. Галенит-сфалеритовая минерализация проникает в приповерхностную зону до глубин 750–500 м. В неглубоко сформированных месторождениях, локализующихся в песчано-сланцевом чехле (Хампаладаг, Какадур, Хаником), пирротин в рудах практически отсутствует, на что указывал Е. М. Некрасов еще в 1980 г. [1]

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимов. Н. Н., Рычков А. И. Роль высокоподвижных элементов при глубоких литохимических поисках. М.: Недра, 1989.
2. Некрасов Е. М. Структурные условия локализации жильных свинцово-цинковых месторождений. М.: Недра, 1980.
3. Черницын В. Б., Андрущук В. Л., Рубцов Н. Ф. Металлогенические зоны Центрального и Северо-Западного Кавказа. М.: Недра, 1971.



УДК 533.44.550.84

*Асп. ВОНСОВИЧ Н. Ю., проф. КОДЗАЕВ Ю. В.,  
доц. ДАРЧИЕВА А. Е., студ. ИВАНОВ С. С.*

#### **ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКОВО-ОЦЕНОЧНЫЕ КРИТЕРИИ СКРЫТОГО ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОРУДЕНЕНИЯ**

*Приведены данные, свидетельствующие о том, что свинцово-цинковые месторождения Горной Осетии на поверхности фиксируются множеством пространственно сближенных геохимических аномалий различного элементного состава.*

Планомерное геохимическое изучение территории Горной Осетии началось с 1953 г. За эти годы увеличились объемы исследований, совершенствовались методы их выполнения, возрастала информативность, разрабатывались методики геохимических критериев поисков «слепого» и слабоэродированного оруденения. В 1977 г. составлена карта геохимического прогноза рудоносности масштаба 1: 2500 на основе обобщения первичных геохимических материалов прошлых лет [1] по методике, разработанной Ю. Т. Дреусом и М. З. Кайтуковым, с выделением участков, перспективных на промышленное оруденения.

Установлено, что свинцово-цинковые месторождения Горной Осетии на поверхности фиксируются множеством пространственно сближенных геохимических аномалий различного элементного состава, которые, по мнению М. З. Кайтукова [1], характеризуются «... единой как качественно (единые ряды зональности элементов-индикаторов), так и количественно (адекватные сечения ореолов различных месторождений характеризуются близкими значениями мультипликативного коэффициента зональности) геохимической зональностью первичных ореолов, вектор которой ориентирован вкрест

простирая региональных разломов общекавказского направления, контролирующих пространственное размещение оруденения». Отмечена специфическая особенность наклона вектора зональности «грубо ортогональному контакту палеозойского фундамента с юрским вулканогенно-осадочным чехлом [2], что подтверждается диагональным расположением вектора зональности в рудах и ореолах продольных профилей Садонского и Згидского месторождений.

С 1981 по 1985 гг. коллектив геологов УДН им. П. Лумумбы, изучая ореолы элементов широкого рассеяния на известных полиметаллических месторождениях Северного Кавказа с различной степенью детальности, выявил определенную закономерность в строении эндогенных ореолов, их линейно вытянутые формы вдоль рудовмещающих разломов, установил ряды вертикальной зональности при сравнении линейных продуктивностей и средних содержаний. По величине геохимических коэффициентов лито- и халькофильных элементов определен тип оруденения и уровень среза рудных тел. Рекомендован комплекс элементов-индикаторов свинцово-цинкового оруденения – йод, ртуть, сурьма, бор, свинец, цинк, медь, серебро, марганец, кобальт, никель, молибден, бериллий.

Уровень эрозионного среза рудных тел предложено определять по характеру ореолов рассеяния:

- рудные тела, выходящие на поверхность или имеющие близповерхностное залегание (40–60 м), наиболее контрастно регистрируются индикаторным соотношением  $Pb \cdot Zn \cdot Cu / Co \cdot Ni \cdot Mo$ ;
- рудные тела в слепом залегании (до 200 м) и с небольшим эрозионным срезом – индикаторным отношением  $I \cdot Hg \cdot V / Co \cdot Ni \cdot Mo$ ;
- рудные тела в слепом залегании характеризуются аномальными значениями индикаторного отношения  $I \cdot Hg \cdot V / Pb \cdot Zn \cdot Cu$ .

Тектонические нарушения, так же как и рудные тела сопровождаются аномалиями. Значения параметров свинца, цинка, меди в ореолах рудных тел выше, чем в аномалиях разрывных нарушений, а йода и ртути – наоборот. Значение геохимических коэффициентов  $Hg/Pb$  и  $I \cdot Hg \cdot V / Pb \cdot Zn \cdot Cu$  значительно выше в аномалиях, сопровождающих тектонические нарушения, чем в ореолах рудных тел.

Восемь выявленных, по разработанной УДН методике геохимических поисков, аномалий с признаками глубоко залегающего оруденения, подтверждены горными работами Садонского СЦК на глубине не более 250 м. Наиболее показательными оказались аномалии йода на восточном фланге Архонского месторождения, где на горизонтах 2 и штольни 22 вскрыты промышленные рудные тела – жилы 4 – 6. На Джимидонском месторождении выявлены аномалии, приуроченные к рудной зоне Бозанг, позднее вскрытой горными выработками и буровыми скважинами. Вероятно, для проверки перспективных участков на обнаружение полиметаллических тел по результатам геохимических исследований Н. Н. Трофимова и др., необходима постановка детальных работ на южном и юго-западном флангах соответственно Левобережного и Цагатдонского (по Зембатову С. С. и др.) участках.

Для изучения закономерностей изменения геохимических характеристик первичного ореола в пространстве в целом и в отдельных его сечениях в

1986 г. А. М. Скалетом [3] разработана методика выявления их объемной геохимической зональности, которая определяется «... пространственной формой залегания зон различной степени накопления фронтальных элементов относительно тыловых». Основой методики явилось «... построение в границах первичного ореола изоповерхностей индикаторного отношения, в числителе которого расположены фронтальные, а в знаменателе – тыловые элементы ряда зональности» (Скалет, [3]) с учетом возможных отклонений от типового ряда зональности жильных свинцово-цинковых месторождений в зависимости от конкретных особенностей месторождения, т. е. с учетом частного ряда зональности.

Согласно известной общей закономерности для жильных полиметаллических месторождений о переходе рудных тел и жил с повышением гипсометрического уровня в зоны ореолов, возможно определение уровня эрозионного среза по индикаторным отношениям фронтальных и тыловых элементов зоны первичного ореола. О инженерурдном уровне эрозионного среза свидетельствуют наименьшие значения отношений индикаторных элементов во внутренней зоне сечения ореола дневной поверхностью, а расположение рудолокализирующей структуры в периферийной зоне с наибольшими значениями отношения индикаторных элементов свойственно надрудному срезу. Приуроченность рудной жилы к зоне с промежуточными значениями индикаторного отношения свидетельствует о внутрирудном срезе.

Для оценки геохимической аномалии по методике, разработанной А. М. Скалетом [3], необходимо определение выхода на поверхность рудолокализирующей структуры и выявление структуры геохимического ореола. «Первая проблема решается на основе оконтуривания ореолов элемента привноса и выноса, вторая – выбор наиболее информативного индикаторного отношения и построения частного ряда зональности с выбором групп фронтальных и тыловых элементов».

На эталонных объектах Горной Осетии (Садон, Згид, Архон, Холст) из широкого спектра элементов только титан, иттербий и бериллий устойчиво образуют отрицательные аномалии элементов выноса. Поэтому для оценки аномалии предложен мультипликативный показатель интенсивности ( $\Pi_u$ ), равный отношению произведений содержаний или продуктивности основных рудообразующих элементов привноса и выноса:

$$\Pi_u = \frac{Pb \cdot Zn \cdot Ag}{Ti \cdot Yb \cdot Be} \quad [3].$$

Для оценки масштаба оруденения предлагается, апробированный С. В. Григоряном [4, 5] с соавторами, коэффициент показателя концентрации ( $\Pi_k$ ), представляющий собой отношение площадей участков ореолов с высокими значениями  $\Pi_u$  к площадям участков с низкими  $\Pi_u$ :

$$\Pi_k = \frac{(\Pi_u \geq 5)}{(\Pi_u \leq 0,25)},$$

где градация показателей интенсивности  $\geq 5$  и  $\leq 0,25$  определена конкретно для свинцово-цинковых месторождений Горной Осетии по гистограммам распределения площадей с различными значениями  $L_n$ , от крупного (Садон) к среднему (Згид) и мелким полиметаллическим месторождениям (Архон, Холст, Октябрьское) [3].

По анализам возможных пространственных взаимоотношений рудолокализирующих структур и изоповерхностей индикаторного отношения А. М. Скалет [3] предложил количественную оценку размаха оруденения:

$$H = m / \sin \alpha,$$

где  $m$  – мощность продуктивной зоны, м;  $\alpha$  – угол между рудной жилой и изолиниями индикаторного отношения.

Граничным значениям этого интервала отвечают определенные изоповерхности индикаторного отношения, которые ограничивают в пространстве продуктивную зону, в пределах которой рудолокализирующие структуры характеризуются промышленными параметрами. Таким образом, размах оруденения в определенном сечении ореола тем больше, чем больше интервал рудолокализирующей структуры, расположенной в продуктивной зоне.

Практически одновременно с вышеописанными работами сотрудники ГМЭ КИМС изучали вопрос вертикальной геохимической зональности эндогенных ореолов по методике Северо-Кавказской ГМП (В. Н. Макаров, 1975; Б. Т. Коновалов, 1980). Общая зональность для всех субформаций полиметаллического оруденения в гранитах не установлена из-за различия их в количественном и качественном минеральном составе. Однако, на основе частных рядов вертикальной зональности ореолов рудных жил свинцово-цинковых месторождений Горной Осетии определен обобщенный ряд вертикальной зональности среднестатистического инфильтрационно-диффузионного ореола в гранитах (сверху – вниз): серебро, свинец, кобальт, иттрий, хром, молибден, медь, иттербий, мышьяк, цинк, марганец, фосфор, титан, стронций, цирконий, никель, ванадий, барий, галлий, олово; в аргелито-алевролитовой толще нижней юры: серебро, свинец, медь, никель, цинк, молибден, олово, ванадий, марганец, галлий, фосфор, хром, титан, кобальт, мышьяк, висмут [4].

На основе этих рядов и с учетом контрастности изменения содержаний элементов Б. Т. Коноваловым (1980) предложены коэффициенты вертикальной зональности эндогенных ореолов в гранитах ( $K_{гр}$ ) и аргиллиито-алевролитовой толще ( $K_{ар}$ ):

$$K_{zp} = \frac{C_{Ag}^{3,8} \cdot C_{Zn}^{0,8} \cdot C_{Pb}^{0,7} \cdot C_{Co}^{0,4} \cdot C_{Cu}^{0,3}}{C_{Ti}^{1,5} \cdot C_P^{1,3} \cdot C_{Sr}^{1,2} \cdot C_{Mn}^{1,0} \cdot C_I^{1,0}} \cdot 10^{12},$$

$$K_{ap} = \frac{C_{Ag}^{3,4} \cdot C_{Pb}^{2,0} \cdot C_{Ni}^{1,1}}{C_{Bi}^{3,4} \cdot C_{As}^{1,8} \cdot C_{Co}^{1,0}},$$

где  $C^n$  – степенное выражение доли участия элемента в коэффициент  $K_{гр}$  соответственно его контрастности;

$10^{12}$  – поправочный коэффициент для возможности визуального разграничения коэффициентов в надрудной ( $\geq 10$ ) и подрудной зонах ореола.

Из-за недостаточности детальной изученности эндогенных ореолов по падению на месторождениях Кадат-Ханикомского рудного поля, ореолов в сланцах на месторождении Верхний Згид и рудопроявлении Кора только в эндогенных ореолах по гранитам отмечена аналогичность ритмичного их строения по падению рудной зональности, что выражается гармоничной ритмичной изменчивостью коэффициента зональности ( $K_{гр}$ ).

Для оценки уровня пересечения рудного тела по эндогенным ореолам отмечена зависимость уровня ( $H$ ) от коэффициента вертикальной зональности ореола ( $K$ ):

$$H = 0,44 + n \lg K,$$

где для ореолов в кристаллических породах фундамента  $n = 0,127$ , а коэффициент –  $K_{гр}$ , а для пород осадочного чехла  $n = 0,14$  и коэффициент  $K_{ap}$ .

Установлено, что положение интервала опробования жестко определяет достоверность оценки уровня  $H$ , для чего необходимо определить структуру диффузионного интервала ореола путем выявления ритмов поперечной зональности и информативный интервал оценки уровня.

Ритмичная природа поперечной зональности подтверждается внутренней зональностью ритмов. Коэффициент поперечной зональности диффузионного ореола в гранитах [4]:

$$K_{zp}^n = \frac{C_{Pb}^{6,4} \cdot C_{Be}^{0,9} \cdot C_{Co}^{0,5} \cdot C_{Rb}^{0,5}}{C_{Ag}^{3,3} \cdot C_{Cu}^{3,0} \cdot C_{Zn}^{1,0} \cdot C_{As}^{1,0}} \cdot 10^{-3}.$$

Коэффициент устанавливается на основе выявленного ряда поперечной (от жилы) зональности: серебро, медь, молибден, марганец, свинец, мышьяк, цинк, барий, стронций, кобальт, бериллий, иттербий, фосфор.

Уровень пересечения рудного тела по капсулированным растворам в кварцах продуктивной стадии оценивается по формуле [4]:

$$H \cong 100 + 483 \lg \frac{K_{zp}}{28}.$$

Количественной методикой оценки геохимических аномалий следует пользоваться только при наличии высокочувствительных методик спектрального анализа геохимических проб.

На большом фактическом материале доказана необходимость проведения литохимических поисков с использованием элементов широкого рассеяния на стадиях региональных геолого-съёмочных и геофизических работ, опережающих поисков в районах с развитием экранирующих пород и оценки «немых» площадей, рудоносных флангов и глубоких горизонтов разрабатываемых месторождений, для выявления «слепых» рудных тел и корректировки направления геолого-разведочных работ.

Анализируя разработанные методики поисков и оценки первичных ореолов жильных свинцово-цинковых месторождений Горной Осетии и, учитывая конкретные особенности исследуемого объекта, разбраковку геохимических аномалий следует проводить с использованием частного ряда зональности элементов-индикаторов и мультипликативного показателя интенсивности равного отношения произведений содержаний или продуктивностей основных рудообразующих элементов и элементов выноса.

Для оценки эрозионного уровня возможно использование методики сопоставления интервалов значений мультипликативного коэффициента зональности на различных геохимических уровнях, рассчитанного по отношению  $Pb^2 \cdot Ag/Zn \cdot Cu \cdot Co$ . Отмечается четкая тенденция увеличения коэффициента зональности с повышением геохимического уровня. Наиболее надежно этот показатель срабатывает для зон, «... в пределах которых выходят на поверхность рудо локализирующие структуры» [3].

На примере эталонных свинцово-цинковых месторождений Горной Осетии апробирована методика оценки масштабов сульфидного оруденения по показателю концентрации ( $P_k$ ), выражающему прямую зависимость от запасов месторождения. Установлена его вариация от 2,2 по Садонскому месторождению с запасами суммы металлов категорий В +  $C_1 \approx 20$  тыс. т до 0,14 по Октябрьскому месторождению ( $B + C_1 = 3,5$  тыс. т).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Кайтуков М. З.* Литохимические ореолы при поисках полиметаллического оруденения в Горной Осетии: Автореф. дис.... канд. геол.-минер. наук. М., 1979.
2. *Рытинский С. М.* Структурный контроль свинцово-цинкового оруденения в центральной части Горной Осетии: Автореф. дис....канд. геол.-минер. наук. М., 1974.
3. *Скалет А. М.* Объемная геохимическая зональность первичных ореолов свинцово-цинковых месторождений Горной Осетии и ее использование при оценке геохимических аномалий. Автореф. канд.... геол.-минер. наук. М.: ВЗПИ, 1986.
4. *Григорян С. В.* О методике составления рядов зональности элементов-индикаторов. В сб. "Геохимические поиски полиметаллических руд". М.: ИМГРЭ. 1983, с. 3-12.
5. *Григорян С. В., Соколов А. П., Узин М. Ф.* Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений М.: Недра, 1983, 191 С.



## **ОБ ОСНОВНЫХ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ, НЕОБХОДИМЫХ И ДОСТАТОЧНЫХ ДЛЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ВЫБРОСА ЛЕДНИКА**

*Кратко охарактеризованы основные природные условия, необходимые и достаточные для газодинамического выброса ледника, которые в полной мере реализовались на леднике Колка в 2002 г.*

Среди существующих представлений о причинах катастрофы на леднике Колка достаточно распространенной является точка зрения, согласно которой эта катастрофа была вызвана комплексом природных условий. С этим трудно не согласиться. Однако конкретные условия, включаемые различными авторами в этот комплекс, существенно различны. В этой ситуации важно определить, какие же именно природные условия обусловили катастрофу на леднике Колка, причем определить, естественно, достаточно обоснованно – с учетом характера этой катастрофы, установленного на основе учета всех известных ее особенностей (что, естественно, накладывает значительные ограничения на определение возможных причин катастрофы, снимая целый ряд высказанных по этому поводу предположений как лишенные оснований, не учитывающие и не объясняющие особенности происшедшей на леднике катастрофы).

Следуя этим путем, ранее было показано [1 и др.], что происшедшая 20 сентября 2002 г. катастрофа на леднике Колка представляет собой внезапный газодинамический выброс ледника. Данная статья посвящена характеристике комплекса основных природных условий, вызвавших эту катастрофу, предопределивших ее возможность и неизбежность и являющихся, в общем случае, необходимыми и достаточными для подготовки и проявления газодинамического выброса ледника.

Газодинамические выбросы ледников – крайне редкое, лишь недавно установленное [1] катастрофическое природное явление. Исключительная редкость подобных явлений объясняется исключительной редкостью, уникальностью сочетания природных условий их подготовки и проявления.

Основными природными условиями, необходимыми и достаточными для газодинамического выброса ледника, являются:

1. Наличие мощного глубинного источника интенсивной газогенерации и накопление на некоторой глубине значительного количества высоконапорных природных газов в пределах области, к которой принадлежит ледник, или в непосредственной близости от нее.

Для ледника Колка это – глубинный источник поствулканических газов, проявления которых обычны для данного района.

2. Высокая тектоническая раздробленность пород и связанная с ней высокая проницаемость литосферного субстрата ледника, наличие непосредственно под ледником ослабленных в физико-механическом, прочностном отношении трещинно-разрывных зон, способных выполнять роль газоподво-

дящих каналов, содействовать интенсивной восходящей вертикальной и субвертикальной струйной миграции высоконапорных глубинных природных газов.

Кстати, согласно имеющимся многочисленным данным и в области нефтегазовой геологии, для складчатых областей, к числу которых принадлежит Кавказ, наиболее характерны экранированные преимущественно газовые залежи, локализующиеся именно в зонах разломов.

Для ледника Колка это, прежде всего, – субширотный Сырху-Барзондский глубинный разлом и, особенно, поперечный субмеридиональный разлом, проходящий под тыльной частью ледника и являющийся, возможно, одной из ветвей Казбекско-Цхинвальского глубинного разлома.

3. Наличие непосредственно под ледником в верхней части ледникового субстрата комплекса трещиноватых и пористых пород, способных выполнять роль коллекторов природных газов.

Для ледника Колка это, отчасти, – коренные черносланцевые и другие породы, а отчасти, – перекрывающие их отложения донной морены ледника.

4. Наличие непосредственно под ледником ловушки того или иного структурно-морфологического типа, способной выполнять роль резервуара природных газов.

В случае ледника Колка это – мульдообразное каровое углубление его вместилища. К принципиально подобным мульдообразным структурно-морфологическим ловушкам (имеющим, разумеется, совершенно иную генетическую природу), как известно, приурочены, в частности, основные скопления высоконапорных (обладающих аномально высоким пластовым давлением) природных газов, с которыми связаны многочисленные подземные газодинамические выбросы на ряде соляных месторождений [2 и др.].

5. Наличие экранирующей газоупорной ледниковой крышки.

Обладающие крайне низкой, практически нулевой, газопроницаемостью ледниковые толщи – одни из самых лучших, наиболее надежных природных газоупоров, вполне сравнимые в этом отношении с практически газонепроницаемыми соленосными толщами.

При этом не затрагивающие ледник, не проникающие в него и, тем более, не достигающие его поверхности подледниковые тектонические нарушения, не сообщающиеся с его поверхностью или же не достигающие его дна (подошвы) внутренние полости в леднике и не проникающие даже при быстрых гляциодинамических подвижках глубже 30-35 м [3] поверхностные и близповерхностные трещины в леднике, естественно, не оказывают сколь угодно существенного воздействия на эффективность выполнения ледником роли газоупорной экранирующей крышки и лишь содействуют снижению предела прочности ледниковой крышки на разрыв.

Отсутствие заметных газовыделений в районе ледника незадолго до выброса (за 9 и более дней до него) и проявившееся сразу после выброса ледника исключительно интенсивное газовыделение в зоне выброса, образовавшее огромное газовое облако над тыльной частью ледникового цирка, лишь подчеркивают исключительно высокие газоупорные экранирующие свойства ледниковой крышки.

Впрочем, краткосрочные предвестники газодинамического выброса ледника, проявившиеся на леднике Колка непосредственно перед выбросом, не



известны и не могли быть зафиксированы: в это время на леднике никто не находился. Не исключено, что в это время в районе ледника проявились повышенные газовыделения, отсутствовавшие до этого. Но, во всяком случае, никакого газового облака над тыльной (или какой-либо иной) частью ледника Колка за несколько часов до его газодинамического выброса, по данным американской космосъемки [4], не было. Еще более краткосрочная (именуемая нередко оперативной) информация на этот счет отсутствует.

В плане обеспечения ледником Колка надежного экранирования подледного накопления природных газов существенную роль играли, возможно, некоторые специфические индивидуальные особенности этого ледника, в частности, уклон и упор ледника в высокий уступ левой береговой морены [3], что обеспечивает плотное примыкание ледника к этому уступу, и ледовая облицовка правой части ложа ледника [5].

Наличие перечисленных выше условий создает необходимые предпосылки для накопления под ледником значительных количеств высоконапорных природных газов со сверхвысоким и всевозрастающим аномальным пластовым давлением, что и является основной причиной, основным природным фактором, вызывающим, в конечном итоге, газодинамический выброс ледника.

6. Относительно небольшая толщина ледниковой покрывки (не превышающая в среднем примерно 100 м), что определяет ее вес и величину предела прочности на разрыв [6].

Ледник Колка по своим параметрам [3, 7] вполне удовлетворяет и этому условию.

В качестве одного из предполагаемых основных условий, приведших к катастрофе на леднике Колка, часто указывается присутствие аномально большого количества воды в леднике и на его ложе. В таком предположении, однако, нет необходимости, учитывая характер этой катастрофы, ее особенности: в случае скопления аномально большого количества воды в леднике или под ним (например, в результате резкого усиления донного таяния ледника под действием вулканического тепла) можно ожидать подвижку ледника, крупный водно-ледяной сель, гляциальный прорывной паводок, вплоть до широко известных гигантских катастрофических исландских йёкудльхлаупов (ледниковых рек), вызываемых подледными вулканическими извержениями, но не газодинамический выброс ледника, подобный выбросу ледника Колка.

Широко используемая гляциологами для объяснения причин катастрофы на леднике Колка (но не объясняющая и не способная объяснить ни одной из особенностей этой катастрофы) водная гипотеза была предложена полвека назад для объяснения механизма широко распространенных, обычных многомесячных гравитационно-релаксационных гляциодинамических подвижек (наступаний ледников). Однако происшедший в течение нескольких минут грандиозный взрывоподобный катастрофический пароксизмальный газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г. – совершенно иное природное явление, не имеющее ничего общего с гляциодинамическими подвижками, обусловленное действием совершенно иных причин, иных природных факторов и условий.

В плане развития представлений о «решающей роли воды» в катастрофе на леднике Колка в последнее время получили распространение предположе-

ния, согласно которым катастрофа на леднике Колка могла произойти в результате обрушения части ледника в заполненную водой полость и выплеска водой обрушившегося льда.

Не касаясь здесь различных аспектов такого предположения, заметим по данному поводу лишь следующее. Как известно, в Исландии при некоторых подледных вулканических извержениях, действительно, происходят различные по величине, нередко обширные, обрушения кровли ледников в полости, заполненные водой, образовавшейся при таянии их оснований. (О таких обрушениях ледников пишет, например, Х. Раст [8, с. 108]). Однако никаких мгновенных выплесков обрушившегося в воду льда, хоть сколько-нибудь подобных катастрофе на леднике Колка, при этом никогда не происходит.

Все другие природные факторы, часто предполагаемые в качестве причин катастрофы на леднике Колка (гигантский обвал на ледник, набор ледником критической массы, землетрясения, разогрев пород, особые гидрометеорологические условия и пр.), или некоторые из них, вообще говоря, могут оказывать то или иное (благоприятствующее, препятствующее или же сложное, неоднозначное) воздействие на подготовку и запуск газодинамического выброса ледника, но не являются ни обязательными (необходимыми), ни, тем более, достаточными для его проявления.

Само собой разумеется, что отмеченные выше условия и, как их результат, наличие значительных скоплений природных газов и высокий (и всевозрастающий) уровень газового давления в подледном пространстве не являются и не могут являться характерными для каждого ледника. Как известно, в частности, и при наличии регионально распространенных экранирующих покровов (газоупоров) того или иного типа, газоматеринских пород и пород-коллекторов газовые залежи, тем более с аномальным сверхвысоким пластовым давлением, не являются повсеместно распространенными. Еще более редкими являются вулканические эксплозии, тем более гигантского масштаба типа грандиозной суперэксплозии вулкана Безымянный на Камчатке 30 марта 1956 г., с которой по масштабам вполне сопоставим газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г. (а по-видимому, и его выброс 1752 г., уничтоживший семь Геналов). Для их проявления, очевидно, нужны некоторые особые, уникальные условия, в совокупности крайне редко реализующиеся в природе. Безусловно, крайне редкими, уникальными в их совокупности являются и условия, необходимые для газодинамического выброса ледника, что и определяет исключительную редкость подобных явлений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бергер М. Г. Газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 – новое катастрофическое природное явление // Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах: Тезисы докладов Международной конференции, г. Владикавказ, 23-26 июня 2004 г. Владикавказ, 2004. С. 4-5.
2. Вагин В. Б., Мусалев Д. Н., Ефимов А. Н., Кадол В. М. Поиск выбросоопасных зон сейсмическими методами на Старобинском месторождении // Горный журнал. 2003, № 7. С. 57-59.
3. Роттаев К. П., Ходаков В. Г., Кренке А. И. Исследование пульсирующего ледника Колка. М.: Наука, 1983.

4. Тутубалина О. В., Черноморец С. С., Петраков Д. А. Ледник Колка перед катастрофой // [http://earthobservatory.nasa.gov/Newstroom/NewImages/images, php. 3. img-id= 16888/2005](http://earthobservatory.nasa.gov/Newstroom/NewImages/images.php?img-id=16888/2005).

5. Десинов Л. В. Пульсация ледника Колка в 2002 году // Вестник Владикавказского научного центра РАН. 2004. Т. 4. № 3. С. 72-87.

6. Бергер М. Г. О деградиционных пульсациях горных ледников // Труды Северо-Кавказского горно-металлургического ин-та (гос. технол. ун-та). Вып. 12. Владикавказ: СКГМИ, 2005. С. 22-28.

7. Васьков И. М. Возможный механизм обвала и динамика движения ледово-каменных масс в верховьях р. Геналдон (на Центральном Кавказе в сентябре 2002 года) // Вестник Владикавказского научного центра РАН, 2004. Т. 4. № 2. С. 34-45.

8. Раст Х. Вулканы и вулканизм. Пер. с нем. М: Мир, 1982.



УДК 551.32(234.9)

*Проф. БЕРГЕР М. Г.*

**О ВЗАИМОСВЯЗИ И СОГЛАСОВАННОСТИ ЭНДО- И ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЦИКЛИЧЕСКОМ РАЗВИТИИ ПРИРОДНОЙ ГАЗОГЛЯЦИОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЛЕДНИКА КОЛКА И ЕГО СУБСТРАТА**

*Показан характер взаимосвязи эндо- и экзогенных процессов развития геодинамической системы ледника Колка и его субстрата и на этой основе, с учетом закономерностей предшествующей истории ледника, дан прогноз характера и времени проявления его пульсаций на предстоящие 100 лет.*

Характерной специфической особенностью циклического развития газогляциодинамической системы ледника Колка и его субстрата является периодическое проявление катастрофических пароксизмальных газодинамических выбросов ледника. Именно такой характер имела, в частности, грандиозная катастрофа на леднике Колка 20 сентября 2002 г.

Хотя исследования природных газов, вызвавших газодинамический выброс ледника Колка, а затем, после выброса ледника, в течение длительного времени интенсивно (с постепенным затуханием) выделявшихся в зоне выброса, не были проведены, можно с достаточной уверенностью утверждать, что эти газы были, в основном, эндогенными, глубинными, поствулканическими.

Таким образом, данная катастрофа, безусловно, не является результатом автономного, самодостаточного развития собственно гляциодинамической системы, включающей лишь ледник Колка и область его питания. Эта катастрофа имеет не гляциодинамический, а газодинамический характер и во многом обусловлена эндогенными процессами, протекающими в глубоких

недрах Земли в пределах Казбекско-Джимарайского района, к которому принадлежит и ледник Колка.

С учетом этого и в развитие изложенных автором [1] ранее представлений о природе процессов циклического автоколебательного развития пульсирующего ледника Колка, точнее, газогляциодинамической системы ледника Колка и его субстрата, можно полагать, что в развитии этой геодинамической системы существует взаимосвязь и согласованность проявлений эндо- и экзогенных процессов, определяющих особенности состояния ледника, характер и время проявления его пульсаций.

Периодическому интенсивному поступлению глубинных природных газов и их накоплению непосредственно под ледником Колка, завершающемуся пароксизмальным газодинамическим выбросом ледника, в каждом случае (а таких случаев в известной истории ледника Колка достоверно установлено три – в 1752, 1902 и 2002 гг.) предшествует длительное накопление этих газов на глубине в несколько километров (а возможно, также и значительно глубже), возрастание величины их давления до значений, близких к геостатическим и еще более высоких, и их активное продвижение по механизму преимущественно вертикальной восходящей струйной миграции по тектонически ослабленным трещинным разрывным зонам повышенной проницаемости, с активным воздействием высоконапорных сверхсжатых глубинных газов на газопроводящие каналы и созданием эффекта, подобного эффекту тектоно-магматической активизации, в данном районе. (Вместе с тем, с учетом существенного сокращения (в полтора раза) продолжительности последнего мегацикла в развитии газогляциодинамической системы ледника Колка и его субстрата (1902–2002 гг.), по сравнению с предыдущим (1752–1902 гг.), есть основания говорить об активизации эндогенных процессов в данном районе).

Ситуация в данном случае тем более упрощается, что речь идет не об образовании каких-то новых разломов, а лишь об оживлении, раскрытии ранее существовавших, но находившихся некоторое, в геологическом смысле – весьма непродолжительное, время (с момента предыдущего газодинамического выброса ледника) в латентном состоянии, в той или иной мере закрытых ослабленных разломных зон повышенной трещиноватости горных пород в ходе активной разработки выводных, газопроводящих каналов рвущимися вверх под большим давлением глубинными газами.

Находящийся на пути движения глубинных газов ледник, в силу его высоких газопорных экранирующих свойств, препятствует разгрузке газопроводящих каналов непосредственно в атмосферу. Вследствие этого происходит накопление газа и возрастание его давления под ледником, что, в конечном итоге, приводит к газодинамическому выбросу ледника (чему во многом благоприятствуют другие природные факторы и условия, частично отмеченные ранее [1 и др.]).

В результате прорыва в верхние горизонты значительного количества накопившихся высоконапорных глубинных газов, очередного газодинамического выброса ледника и последующего постпароксизмального поверхностного газовыделения, наряду с глубокой дегляциацией ледника, происходит глубокая дегазация его субстрата, резкое, значительное падение величины давления газа в породах-коллекторах и начинается новый этап генерации и

глубинного накопления поствулканических природных газов и постепенного возрастания их давления, сочетающийся по времени (синхронный) с новым этапом поверхностной гляциации – восстановления, возрождения ледника Колка в пределах его цирка, т. е. регенерации локальной газоупорной ледниковой покрывки в пределах обычного основного контура ледника.

Таким образом, существует определенная согласованность и взаимосвязь в проявлении эндо- и экзогенных процессов, составляющих фактически единый природный цикл развития газогляциодинамической системы ледника Колка и его субстрата.

Специфическим, собственно гляциодинамическим отклонением, бифуркационным ответвлением [2] от охарактеризованного циклического развития данной газогляциодинамической системы является накладывающееся на это развитие проявление обычных, классических подвижек (наступаний) ледника Колка, которое происходит в тех случаях, когда ледник успевает набрать необходимую для гляциодинамической подвижки критическую массу раньше, чем давление присутствующих в подледном пространстве природных газов успевает достичь критического значения, необходимого для газодинамического выброса ледника.

Вышеизложенное в значительной мере объясняет специфику пульсационного циклического развития природной газогляциодинамической системы ледника Колка и его субстрата и делает достаточно прогнозируемым ее дальнейшее развитие в долгосрочном плане, в том числе прогнозирование характера и времени проявления пульсаций ледника Колка.

Периодические газодинамические выбросы ледника Колка, приводящие одновременно к глубокой дегляциации ледника и дегазации его субстрата, являются причиной длиннопериодичности катастрофических пульсаций этого ледника, составляющей 100–150 лет (1752–1902–2002 гг.), а в какой-то мере – и его некатастрофических пульсаций (гляциодинамических подвижек, наступаний). Для набора ледником критической массы, необходимой и достаточной для его быстрой подвижки (классической некатастрофической пульсации), после газодинамического выброса ледника требуется от 67 до 82 лет (выброс 1752 г. – подвижка 1834–1835 гг.; выброс 1902 г. – подвижка 1969–1970 гг.), т. е. меньше времени, чем необходимо для подготовки газодинамического выброса ледника в результате возрастания давления природных газов в подледном пространстве до критической величины.

Поэтому в течение последних 250 лет (известной истории ледника Колка) газодинамические выбросы ледника чередуются с его гляциодинамическими подвижками [1].

Можно ожидать, что эта закономерность продолжится и в течение XXI столетия, т. е. примерно в 2070 г. произойдет быстрая подвижка ледника, а затем, примерно в 2100 г. – его газодинамический выброс.

Те или иные коррективы в этот прогноз могут внести, прежде всего, климатические условия и эволюция интенсивности глубинной поствулканической деятельности в данном районе (ее усиление, ослабление (затухание) или же сохранение на том же уровне, что и в XX в.).

При усилении интенсивности (активизации) поствулканической деятельности газодинамический выброс ледника может произойти ранее 2100 г. (но, естественно, не ранее регенерации газоупорной экранирующей ледниковой

покрышки в ледниковом цирке), при ослаблении же интенсивности (затухании) глубинной поствулканической деятельности в данном районе газодинамический выброс ледника Колка может произойти позднее 2100 г.

Климатические же условия определяют, прежде всего, массобалансовые характеристики ледника, скорость и продолжительность набора ледником критической массы и, соответственно, время проявления его очередной быстрой подвижки (наступления), которая, как можно ожидать в соответствии с изложенным и предшествующей историей ледника, произойдет раньше его очередного катастрофического газодинамического выброса.

Необходимо иметь в виду при этом, что гляциодинамические подвижки, в соответствии с имеющимися фактическими данными по леднику Колка [3] и другим пульсирующим ледникам [4 и др.], не нарушают сплошности, монолитности ледникового ядра, основной, несущей толщи ледника и, соответственно, ее газоупорные экранирующие свойства в пределах основного контура ледника, возможно, в полной мере сохраняются. Поэтому интервал между газодинамическим выбросом ледника и предшествующей гляциодинамической подвижкой может быть сколь угодно малым и, по имеющимся немногочисленным историко-гляциологическим данным, составляет для ледника Колка от нуля (1902 г., когда газодинамический выброс ледника произошел сразу же за его подвижкой) до 32–33 лет (подвижка 1969–1970 гг. – выброс 2002 г.).

При всей предположительности ряда изложенных в данной работе положений, они опираются на твердо установленные факты, касающиеся предшествующей 250-летней истории ледника Колка, и вполне доказанное заключение о газодинамической природе его пароксизмальных катастрофических выбросов, в частности, выброса 20 сентября 2002 г. [1,5 и др.].

Некоторые же положения, касающиеся, в частности, причин и механизма раскрытия газоподводящих каналов при восходящей миграции глубинных природных газов и активной роли последних в этом процессе, являются и еще долго будут оставаться во многом предположительными, хотя они также вполне согласуются со многими известными фактами, такими, например, как ослабленный, трещиноватый характер пород в данном районе, особенно в пределах активизировавшегося перед катастрофой поперечного разлома, пересекающего ложе ледника Колка в его тыльной части, безамплитудный характер этого разлома, высоконапорный характер глубинных природных газов, приведший к газодинамическому выбросу ледника и длительному интенсивному постпароксизмальному газовыделению в зоне выброса и вблизи от нее, и др. Принципиально аналогичные или весьма близкие представления, касающиеся активной роли высоконапорных флюидов (в частности, газовых) в формировании и активизации разрывных нарушений, как известно, достаточно широко распространены в различных областях геологии, в частности, в структурной геологии и геотектонике, нефтегазовой геологии, магматической петрологии, вулканологии, геологии рудных месторождений. Есть основания предполагать возможность проявления подобных процессов и в Казбекско-Джимарайском районе, включающем газогляциодинамическую систему ледника Колка и его субстрата.

Вообще, все, что касается особенностей эндогенных, глубинных процессов, в значительной мере предположительно. Самым очевидным поверхност-

ным их проявлением является вулканизм (хотя и в изучении вулканических процессов существует немало предположительного и дискуссионного). Столь же очевидными проявлениями глубинных эндогенных процессов на поверхности Земли (кстати, тесно связанными с вулканической, а точнее, с поствулканической деятельностью) являются и газодинамические выбросы ледника Колка, в частности, его выброс 20 сентября 2002 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бергер М. Г. Природа процессов автоколебательного развития пульсирующего ледника Колка // Устойчивое развитие горных территорий: проблемы и перспективы интеграции науки и образования: Материалы V Международной конференции 21–23 сентября 2004. Владикавказ: СКГМИ, 2004.
2. Бергер М. Г. О бифуркациях в развитии ледника Колка и возможности долгосрочного прогноза характера его пульсаций // Труды Сев. – Кав. горно-металлург. ин-та (гос. технол. ун-та). Вып. 12. Владикавказ: СКГМИ, 2005.
3. Роттаев К. П., Ходаков В. Г., Кренке А. Н. Исследование пульсирующего ледника Колка. М.: Наука, 1983.
4. Гляциологический словарь / Под ред. В. М. Котлякова. Л.: Гидрометеоздат, 1984.
5. Бергер М. Г. Газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г. – новое катастрофическое природное явление // Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах: Тезисы докладов Международной конференции, г. Владикавказ, 23–26 июня 2004 г. Владикавказ, 2004.



УДК 622

*Проф. ГОЛИК В. И.,  
асп. ИСМАИЛОВ Т. Т.,  
доц. ГЕРАСИМЕНКО В. Г.*

#### **ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ МАССИВА ПОД ВОДНЫМ ОБЪЕКТОМ**

Разработка уранового месторождения (Украина) проводится в нисходящем порядке камерной системой с заполнением выработанного пространства твердеющей закладочной смесью различного состава и прочности с оставлением предохранительного подречного целика мощностью 70–90 м.

Кристаллические породы в пределах поймы и подречного целика р. Ингул представлены гранитами, гнейсами, рудными и безрудными альбититами и на всей площади перекрыты чехлом песчано-глинистых отложений. Общая мощность рыхлых отложений колеблется от 4–6 м на севере до 15–20 м – на юге. Ниже рыхлых отложений повсеместно распространяется зона выветренных кристаллических пород. Мощность зоны не постоянна и колеблется от 2 до 20 м. Увеличение мощности зоны выветренных пород от 20 до 40 м происходит с севера на юг и с востока на запад.

В гидрогеологическом отношении участок месторождения характеризуется тремя водоносными горизонтами, которые гидравлически связаны между собой. Общее направление потока с севера на юг согласуется с направлением течения реки. Наиболее интенсивно влияние вод реки сказывается на залежах 1 и 20 и породах их висячего бока. Это объясняется тем, что русло реки проходит на севере непосредственно над залежами, а южнее 49-й оси – вдоль висячего бока залежи 1 в полосе сильнотрещиноватых пород.

В процессе более чем 30-летней отработки месторождения камерная система разработки с отбойкой руды из подэтажных штреков (ортов) и закладкой твердеющими смесями хорошо освоена, имеет высокую производительность труда, сравнительно низкую себестоимость продукции и самое главное высокую интенсивность, что очень важно при вовлечении в эксплуатацию залежей подречного целика. Камеры в этаже 90–150 м и ниже, шириной 15 м располагались вкрест простирания. Отбойку руды вели скважинными зарядами диаметром 57 и 65 мм, которые бурили станками НТ-2 «Норит» и ПК-75. Параллельные нисходящие скважины диаметром 85 мм для образования отрезной щели бурили станками НКР-100М. Отбитая руда через вибропитатели ПВГ-1,2/3,1 и ПВГ-1,3/7,0 поступала в вагоны ВГ-4М.

На протяжении всего периода горных работ под целиком проводили комплексные наблюдения за подрабатываемым массивом, которые включали исследование сдвижений поверхности, звукометрические наблюдения из горных выработок с помощью переносных приборов и дистанционно – с поверхности. Сейсмические, инструментальные и визуальные наблюдения позволяли оценивать устойчивость предохранительного целика при изменении минерализации шахтной воды.

Для количественной оценки напряженного состояния массива выше горизонта 90 м использовали звукометрический метод, заключающийся в регистрации количества звуковых сигналов в подрабатываемом массиве вследствие микроразрушений в интервале 90–150 м (рис. 1).

При увеличении напряжений в предохранительном целике интенсивность микроразрушений возрастает, что фиксировалось системой центрального звукометрического контроля (СЦЗК-2). Количество микроразрушений в единицу времени характеризует состояние изучаемого массива.

Сейсмические наблюдения включали регистрацию скорости прохождения сейсмических колебаний, а инструментальные – поведение глубинных реперов, установленных в скважинах, пробуренных с поверхности, и открытых маркшейдерских.

Косвенная оценка устойчивости предохранительного целика основывается на уменьшении минерализации шахтных вод. Интенсивность проникновения поверхностных вод определяет нарушенность целика раскрытием трещин.

Установлено, что когда работы в подречном целике не проводились, минерализация шахтных вод не снизилась, а даже несколько возросла, что подтверждает отсутствие существенных изменений в подрабатываемом массиве (рис. 2).

Вначале определяли содержание минеральных веществ в притоках воды в горные выработки до ведения горных работ. По отношению полученных исходных ( $x_1$ ) и текущих ( $x_2$ ) данных оценивали геомеханическое состояние подработанного массива с учетом критерия Стьюдента:



$$K_6 = \frac{(x_1 - x_2) \cdot n_1}{S \cdot n_2},$$

где  $K_6$  – критерий водоопасности,

$x_1$  и  $x_2$  – исходная и текущая удельная минерализация в пробе подземной воды, отобранной до и после подработки обводненного объекта, мг/л;

$n_1$   $n_2$  – количество проб подземной воды в исходной и текущей группах наблюдений для исходного и текущего моментов (в пределах 1 – 20);

$S$  – среднее квадратическое отклонение разности  $x_1 - x_2$ , мг/л.

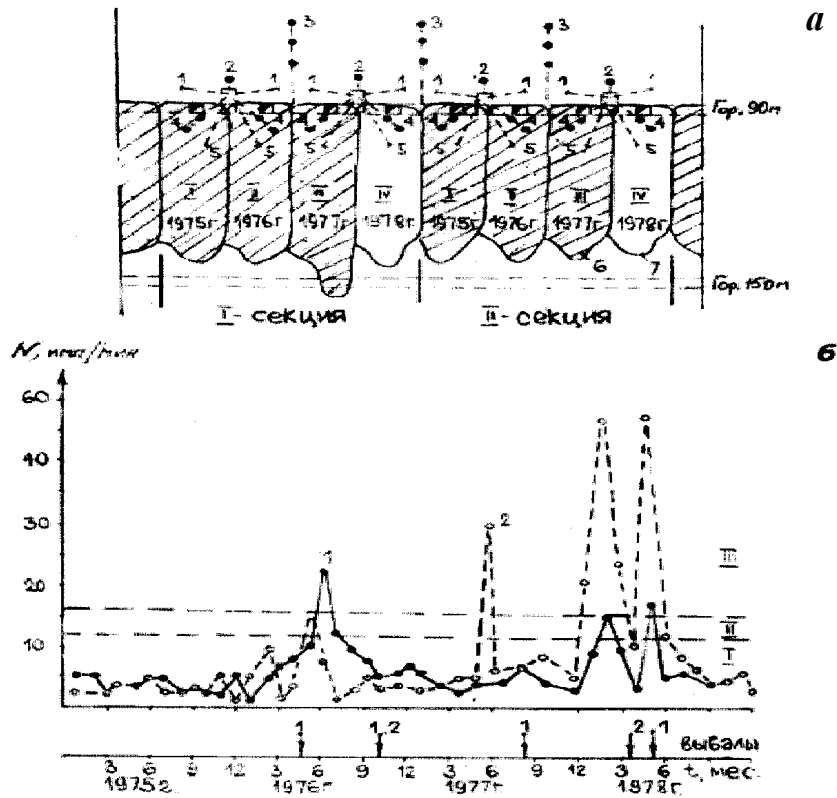


Рис. 1. Контроль за безопасностью разработки рудных залежей под водными объектами (р. Ингул): а – вертикальная проекция рудной залежи: 1, 2 – скважины, соответственно, для проведения наблюдений за состоянием кровли камер: звукометрическими и глубинными реперами, 3 – скважины с глубинными реперами для проведения наблюдений за состоянием потолочины, 4, 5 – скважины, соответственно, для проведения звукометрических наблюдений и глубинными реперами за состоянием висячего бока, б – заложенные блоки, 7 – выработанное пространство, б – графики звукометрических наблюдений за устойчивостью обнажений камер в секциях: 1, 2 – кривые, соответственно, первой и второй секций, I, II, III – соответственно устойчивое, переходное и неустойчивое состояние массива горных пород.

Полученные данные по шахтным водам до ведения горных работ в очистных камерах рассматриваются как базовые. Значения критерия  $K_6$ , соответствующие водонеопасному, угрожающему и водоопасному геомеханическим

состояниям охранного целика под водным объектом, определяют на основании экспериментальных работ поэтапно. На первом этапе на каждом контролируемом участке охранного целика под водным объектом проводили постоянные наблюдения за признаками водоопасности и за удельной минерализацией шахтной воды по наблюдательным скважинам. На втором – по результатам комплексных наблюдений за признаками водоопасности и удельной минерализации шахтной воды. Геомеханическое состояние контролируемого участка охранного подречного целика оценивается как водонеопасное, угрожающее или водоопасное.

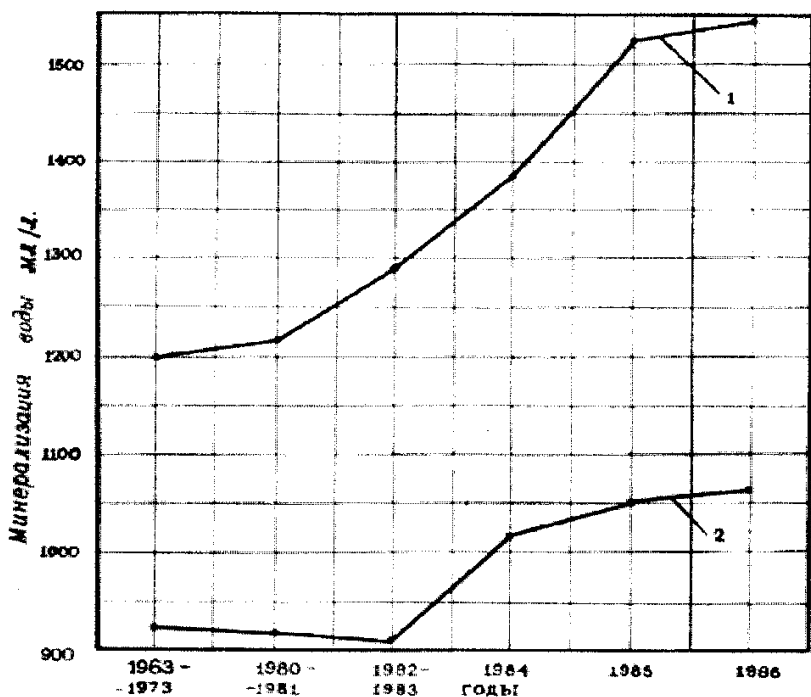


Рис. 2. Графики измерения минерализации шахтных вод во времени: 1, 2 – соответственно при устойчивости и при нарушении целика раскрытием трещин.

Критерий водоопасности связан с надежностью определения геомеханического состояния массива.

При  $K_b < 0,2$  с доверительной вероятностью (надежностью) не менее 0,84 геомеханическое состояние охранного целика на контролируемом участке водонеопасное; при  $0,2 = K_b = 0,2-0,5$  с надежностью не менее 0,62 геомеханическое состояние водонеопасное, но надежность такой оценки является низкой, поэтому такое геомеханическое состояние является угрожающим (предупредительным) и предшествует водоопасному; при  $K_b > 0,5$  надежность водоопасного геомеханического состояния становится менее 0,62, т. е. можно говорить о возможности прорыва вод из водного объекта в горные выработки.

Каждому значению критерия водоопасности соответствуют определенное по водоопасности геомеханическое состояние охранного целика; харак-

терные для этого геомеханического состояния водопроявление горного давления в очистной выработке на контролируемом участке; необходимые для проведения мероприятия по повышению безопасности горных работ и эффективности мер охраны водного объекта, своевременного предотвращения интенсивного затопления подземных горных выработок.

Водоопасность геомеханического состояния охранного целика оценивают по удельной минерализации – удельному содержанию солей (катионов:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^+$  и анионов:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ) в мг/л в притоках подземной воды наблюдательных скважин, для чего по каждой наблюдательной скважине отбирают пробы подземной воды и определяют удельное содержание солей.

По величине разности удельных минерализаций по двум пробам (исходной и текущей) подземной воды судят о геомеханическом состоянии и водоопасности охранного целика под водным объектом по истечении времени. Содержание солей в подземных водах характеризует состояние геомеханической устойчивости горного массива.



УДК 622.26

*Д-р. т.н. ПУСТОБРИКОВ В. Н.,  
инж. ДЖИГКАЕВ Х. М.*

### **ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ АМПУЛ, СРЕДСТВ ЗАПОЛНЕНИЯ ЗАРЯДАМИ НЕВЗРЫВЧАТЫХ РАЗРУШАЮЩИХ СОСТАВОВ И ИХ ПОДАЧИ В ШПУРЫ**

*Лабораторными исследованиями методом перфорирования установлена зависимость изменения пропитки (насыщения) невзрывчатых разрушающих составов (НРС) в ампуле от количества вводимой воды. Предложены конструкции для смешивания компонентов смеси НРС и заполнения ампул.*

Наряду с развитием добычи минерального сырья открытым способом с использованием НРС дальнейшее развитие и совершенствование получит подземный способ.

На качество оформления трещин раскола контуров выработок в условиях зажима влияют, в основном, работоспособность самого применяемого состава, конструкция заряда, геометрическое расположение шпуров, температура среды и породы, вмещающие заряд НРС.

Одним из технологических вопросов при проходке выработок является конструкция заряда, которая обуславливается заполнением шпура НРС. От конструкции заряда и условий его срабатывания зависит характер образования волн напряжений в массиве пород, ее форма, длительность действия и глубина распространения, а следовательно, и воздействие на породу.

Проведенные авторами исследования привели к созданию ампул (патронов), средств заполнения и подачи их в шпуры (в горизонтальные, наклон-

ные, и вертикальные). Новый патронированный способ для оформления контуров выработок с использованием НРС позволит качественно оформлять контуры различной конфигурации, повысить надежность технологических процессов и сократить трудозатраты на крепление.

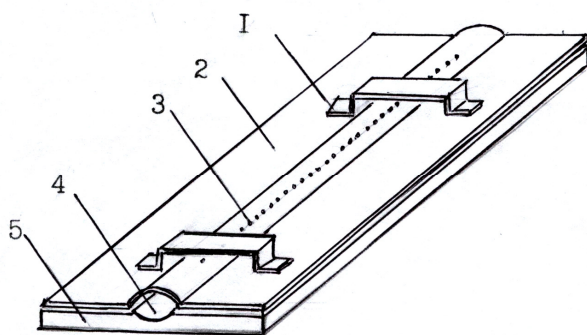
В зависимости от назначения, условий транспортировки и применения разработано несколько конструкций ампул, отличающихся как по внешнему виду, так и размерами.

На проходческих выработках в основном бурят шпуры диаметром 42–43 мм. Применяют ампулы диаметром 39–40 мм с длиной от 25 до 60 см и более. Оболочку готовят из легкоразрушающегося материала – полимерных (толщиной 0,025–0,3 мм – низкой и 0,02–0,5 мм – высокой плотности и пропиленовых пленок; химических полиамидов (нейлона, капрона и лавсана) и бумаги (картона). Для изготовления ампул обычно применяют пленки из полимерных материалов плотностью 0,919–0,96 г/см<sup>3</sup> и температурой плавления 108–135 °С. Они морозостойки (до –70 °С), имеют прочность на растяжение до 300 кгс/см<sup>2</sup> и относительное удлинение 60 % [1].

Изготовление ампул толщиной до 0,5 мм осуществляется термическим методом с одновременной резкой пленок нихромовой нитью. Конструкции ампул для заполнения их зарядами НРС приняты в зависимости от воздействия на стенки шпура с обеспечением качества оконтуривающих поверхностей при проходке горизонтальных, наклонных и вертикальных выработок.

#### **Ампулы ускоренных зарядов НРС для создания трещин раскола в вертикальных и наклонных шпурах**

Оксид кальция предварительно расфасовывают в ампулы повышенной плотности, выполненные из полиэтилена, обжатые с обоих концов проволокой. Заполненную ампулу помещают в специальное устройство (рис. 1), с помощью которого перфорируют оболочку ампулы.



*Рис. 1.* Приспособление для перфорации ампул:

*1* – ручка, *2* – прижимная плита, *3* – иглы, *4* – гнездо для ампул, *5* – нижняя плита.

Ампулу помещают в гнездо 4 круглой формы одного диаметра с нижней плитой 5, в середине которой установлены иглы 3 через 3 мм. Нажатием верхней плиты 2 с аналогичным расположением игл происходит

прокалывание ампулы. Затем ампулу поворачивают на  $45^\circ$  и прокалывают отверстие в радиальной плоскости.

Количество отверстий в ряду – 30. Расстояние между отверстиями диаметром 1 мм не менее 6 мм. Перфорация с указанными параметрами обеспечивает равномерное смачивание порошка НРС в ампуле.

Отверстия в диаметральной плоскости ослабляют прочность полимерного материала ампулы, что позволяет ее раздавливать по всей длине. Далее ампулу помещают в емкость с водой. Оптимальное время насыщения при таком расположении отверстий – 6–8 мин. Ампулы (рис. 2 а) нанизывают на металлический анкер диаметром не более 8 мм с пятой 4 и подают в шпур 2. Образующийся от сил гравитации зазор между ампулой и забойной частью шпура ликвидируют вкручиванием анкера. Пята несколько поднимается и зазор сводится до нуля.

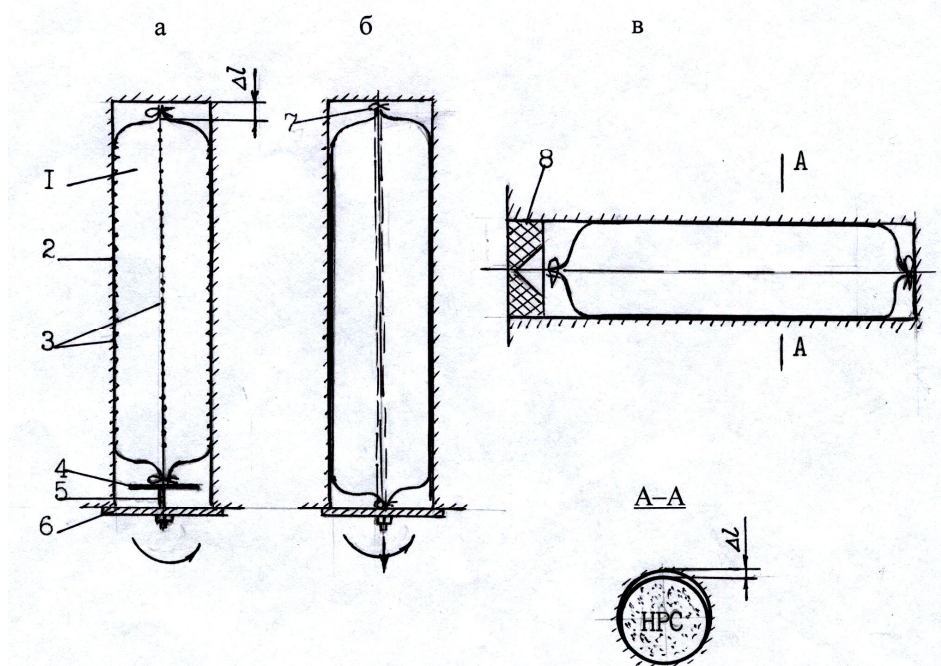


Рис. 2. Конструкции ампул с зарядом НРС, размещенных в шпуре  
а – вертикальных и наклонных, б – наклонных (сверху-вниз) и в – горизонтальных.

1 – полимерная пленка (ампула), 2 – контур шпура, 3 – отверстия, 4 – пята, 5 – металлический анкер, 6 – подпорная плита, 7 – зажимной хомут, 8 – герметизатор (резиновая пробка).

В таблице приведены результаты лабораторных испытаний замеров времени пропитки оксида кальция в ампуле при различных водопорошковых отношениях.

По результатам исследований построен график [2] изменения времени пропитки НРС  $t_n$  в ампуле от количества вводимой воды (рис. 3). Оптимальное время насыщения – 6–8 мин при температуре среды (породного блока)  $T = +16^\circ\text{C}$ , а воды  $t = +14^\circ\text{C}$ .

**Время пропитки ( $t_n$ ) заряда НРС в ампуле в зависимости от количества вводимой воды в частях от массы сухого оксида кальция, В/П**

$t_n$	В/П
2	0,15
3	0,19
4	0,22
5	0,25
6	0,26
7	0,27
8	0,28
9	0,29
10	0,30
11	0,31

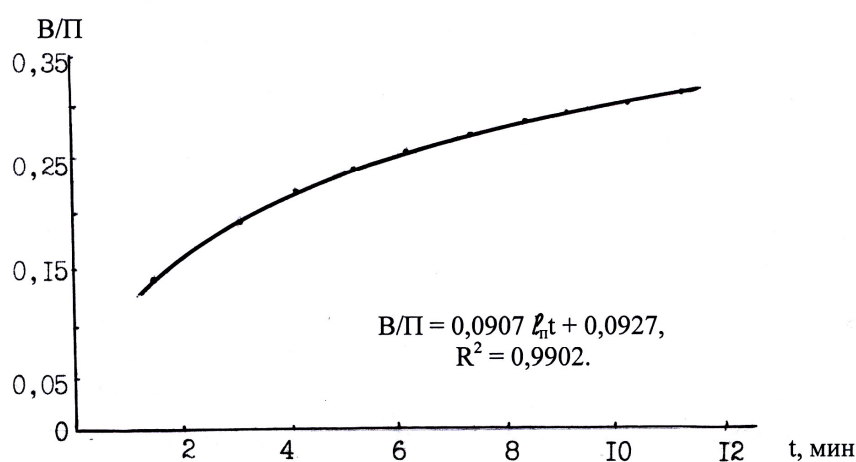


Рис. 3. Время пропитки ампул с зарядом НРС в воде, где  $V/P = 0,0907 t_n + 0,0927$ ;  $R^2 = 0,9902$  ( $R$  – коэффициент корреляции).

**Изготовление ампул для размещения их с зарядом НРС в горизонтальных и наклонных шнурах**

В качестве материала для изготовления ампул помимо полимерного использовали и фильтрующий эластичный материал из капронового волокна плотностью 1,14–1,15 г/см<sup>3</sup>. Относительное удлинение и температура размягчения, соответственно, 8–15 % и 170 °С. Диаметр пор 36,98–43,90 мкм. Волокна капрона ориентированы поперек продольной оси ампулы [3].

В пробуренные шнуры необходимой длины закладывают ампулу (патрон) с наполненным измельченным оксидом кальция и заливают водой с добавками из расчета ее количества к количеству СаО (0,28–0,30/1).

Полученные положительные результаты по отбойке блоков дают все основания использовать этот метод при оформлении контурной щели как при и низких положительных, так и при отрицательных температурах среды.

### Изготовление ампул для горизонтальных и наклонных шпуров

Изготавливают трубчатую ампулу (рис. 2 б, в) из полимерного материала, пропускают жесткий стержень (арматура диаметром не более 8 мм). Один конец [4] ампулы герметично зажимают хомутом 7. Готовят НРС непосредственно в забое и заливают в нагнетатель – шприц. Шприц (рис. 4) состоит из цилиндра 1, конуса 8, поршня 2 со штоком 5 и ручки 6. Емкость цилиндра  $0,0235 \text{ м}^3$ . Ампулу присоединяют к насадке 9 и поршнем выдавливают порции НРС объемом  $0,0004 \text{ м}^3$ . Затем нижний конец ампулы зажимают хомутом. Время заполнения одной ампулы 20–25 с. Полное заполнение шприца позволит изготовить 7–8 ампул.

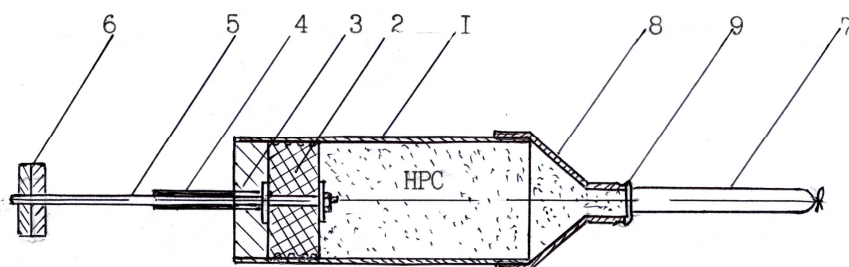


Рис. 4. Шприц для заполнения ампул невзрывчатыми разрушающими составами:  
1 – цилиндр, 2 – поршень, 3 – труба, 4 – уплотнитель, 5 – шток, 6 – ручка, 7 – ампула,  
8 – конус, 9 – насадка.

При горизонтальном или наклонном расположении шпуров выходной конец ампулы стопорят подпоркой – металлической плитой. Стержни придают жесткость, что облегчает введение ампул в шпуры. Длина ампул при этой технологии может составлять 1,5–2,0 м. В концевую часть шпура вставляют герметизатор 8. Перемещение его на глубину до 100 мм уменьшает зазор (например, в наклонных шпурах между стенкой и зеркалом смеси НРС) по всему периметру, что повышает качество контакта со стенками шпура. Кроме того, он предотвращает истечение НРС при повышении давления. С целью быстрого разрушения ампул она может быть заполнена смесями с различными характеристиками. Можно, например, поочередно разделять НРС инертной массой (гипсом и другим веществом).

Для смешивания компонентов смеси зарядов НРС и заполнения ампул предложена несложная установка (рис. 5). Смесительно-нагнетательный аппарат (СМН) рассчитан на заполнение 25–28 ампул. Полезная емкость ампул после заполнения составляет  $0,00019 \text{ м}^3$ . Бак 5, закрепленный в подшипниках скольжения 7, занимает два положения – конусом вверх и конусом вниз. Фиксирование положений осуществляет стопор 6. Для загрузки компо-







## ВЫВОДЫ

1. Патронированный НРС – искусственно созданный материал, предназначенный для формирования трещин раскола и создания контуров выработок при проходке вертикальных, наклонных и горизонтальных выработок в подземных условиях;

2. Ампулы с зарядом НРС в эластичном капроновом материале, помещенные в вертикальные шпуров снизу вверх, обладают полезными эксплуатационными качествами: отсутствием необходимости забойки устьевой части шпуров (пробок, герметизаторов), поскольку предотвращается растекание и замыкание силового воздействия в заданном участке шпура и обеспечивается неразрушимость оболочки НРС в процессе гидратации;

3. Насыщенные перфорированные ампулы в течение 6–8 мин, изготовленные из полимерных пленок при полном их уплотнении в шпурах, показали, что они не только эффективны (образование трещин раскола в нужном направлении начинается через 3–4 часа), но и просты в технологии изготовления.

4. С использованием патронов (ампул) в теплозащитных материалах решается задача ведения открытых горных работ в осенне-зимний период.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Энциклопедия полимеров. Ред. коллегия В. А. Каргин и др. Т. 3. 1977.

2. А. с. 1475232 (СССР). Способ подготовки к применению капсул с невзрывчатым разрушающим средством / Е. М. Гарцуев // 03.0. 87.

3. А. с. 1774993 (СССР). Патронированное невзрывчатое разрушающее средство / В. А. Агеев, С. Г. Агеев, А. С. Башуменский и др. // Б. И. 41. 1992.

4. А. с. 1640411 (СССР). Способ заполнения шпуров невзрывчатыми разрушающими составами / В. И. Штиле //1991.



УДК 622.26

*Д-р. т. н. ПУСТОБРИКОВ В. Н.  
инж. ДЖИГКАЕВ Х. М.*

### **О ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕВЗРЫВЧАТЫХ РАЗРУШАЮЩИХ СОСТАВОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВЫРАБОТОК**

*При проходке выработок в породах с коэффициентом крепости до 6–8 перспективным является внедрение безвзрывчатой технологии, основанной на использовании комбинации НРС и одного из механических способов.*

*Приведены лабораторные исследования разупрочнения пород известняка и принципиальная схема практической реализации комбинированного метода.*

Анализ литературных и патентных источников свидетельствует, что уже в течение длительного времени ведут исследования по изысканию новых

способов и средств разрушения пород (ударного, механического, термо- и электромеханического, взрывоимпульсного, гидроструями высокого давления, инфракрасным излучением, лазерным воздействием, СВЧ и др.). Однако эти работы еще не вышли из стадии исследований и экспериментального изучения на моделях, стендах, опытных образцах и результаты их не могут быть положены в основу серийных промышленных машин.

Поэтому один из альтернативных статических способов разрушения с использованием неврывчатых разрушающих составов (НРС), как экологически чистый и экономически оправданный, продолжает оставаться реальной основой для расширения области его применения.

Работы [1–4], выполненные в последние годы, применительно к проведению выработок в подземных условиях, свидетельствуют о возможности снижения сопротивляемости пород забоя разрушению за счет использования гравитационного и тектонического силовых полей. Для этого предлагается использовать взаимосвязь между созданным НРС дополнительного управляемого искусственного напряженно-деформируемого состояния и формой забоя выработки. Породы в этой зоне могут быть подвергнуты разрушению породоразрушающими инструментами или средствами отбойки без применения взрывчатых веществ (ВВ).

Нами были выполнены лабораторные и экспериментальные исследования, результаты которых приведены ниже. Методика расчёта параметров полей напряжений при групповом срабатывании зарядов НРС, расположенных в зависимости от геометрии массива (забоя), полностью учитывает пространственное и временное взаимодействие их одиночных зарядов. При взаимодействии их образуются цилиндрические, исходящие от заряда НРС в шпуре, волны.

В качестве меры сопротивляемости породы (известняка) разрушению принят показатель буримости, который определяли как скорость сверления отверстий твердосплавным сверлом 6 мм при постоянной осевой нагрузке на сверло в образцах 550 x 550 x 320 мм. Скорость сверления  $V_0$  образцов в естественных условиях находилась в пределах  $13,6 \pm 1,3$  мм/мин. Затем в центре образца на глубину 320 мм сверлили отверстия диаметром 15 и 30 мм, которые заполняли одним из разработанных составов НРС. После набора конечного давления проводили замеры скорости бурения  $V$  в трех радиальных направлениях от центра шпура по истечении 0,25, 1 и 3 суток (таблица) и сравнивали со скоростью бурения шпура в естественном состоянии.

Результаты исследований: при диаметре шпура 15 мм на расстоянии 5–8 см от его центра относительная скорость бурения ( $\Delta V = V/V_0$ ) (рис. 1, 2) возрастает в 2,27, а на расстояниях 15 и 25 мм, соответственно, в 1,68 и 1,25 раза. Из графиков видно, что степень снижения сопротивляемости известняка разрушению от действия заряда НРС существенно зависит от диаметра шпура, развиваемого давления и расстояния от центра шпура, причем радиус эффективной зоны влияния НРС возрастает с увеличением диаметра шпура и, следовательно, массы НРС, размещённый в шпуре. И очень важно, что степень снижения сопротивляемости пород разрушению в этой части забоя релаксируется медленно – до 3–5 суток, оставаясь на достаточно высоком уровне, обеспечивая необходимый раскол образца на части.

**Лабораторные замеры скорости бурения известняка в зависимости от продолжительности выдержки при диаметре шпура 15 (А) и 30 (Б) мм**

	Порода	Температура среды, $T, ^\circ\text{C}$	Расстояние от центра шпура, м	Скорость бурения, мм/мин, при различных режимах испытаний, сутки		
				0,25	1	3
А	Известняк	+10 +12	8	31,8	28,4	14,8
			10	29,6	27,2	14,2
			15	26,0	25,6	12,3
			20	24,8	21,6	11,2
			25	17,2	12,8	10,1
			27	12,6		
Б	Известняк	+10 +12	10	44,63	27,92	22,63
			15	38,66	22,74	18,32
			20	30,17	23,42	17,85
			25	28,32	21,85	17,25
			30	23,65	18,42	16,84
			35	20,0	17,52	16,32
			40	18,25	15,34	12,01
			45	15,0	10,3	11,23
			50	11,5		

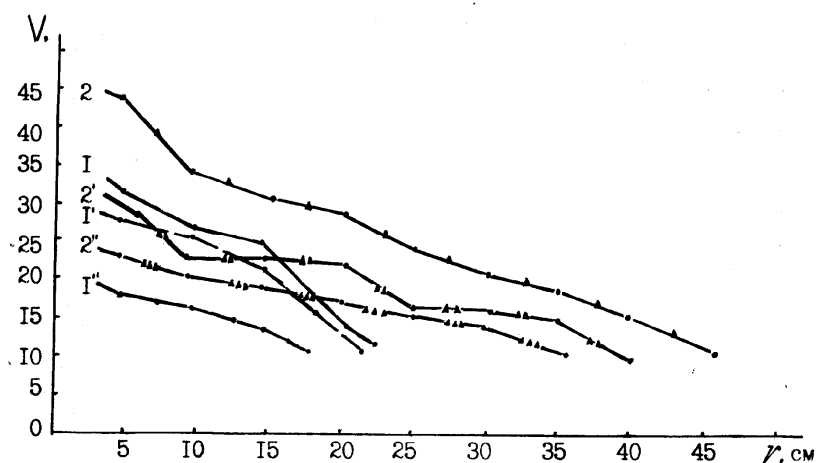


Рис. 1. Изменение скорости бурения известняка относительно центра шпура: I, I', I'' – через 0,25; 1 и 3 суток, соответственно, при диаметре шпура с зарядом НРС 15 мм; 2, 2', 2'' – аналогично при диаметре шпура 30 мм.

В общем виде принципиальная технологическая схема практической реализации предложенного комбинированного метода (например, НРС в сочетании с механическим инструментом в породах средней крепости без применения ВВ) при проведении выработок может быть представлена следующим образом. В начальный период проходческого цикла проводят оконтуривание ее сводчатой части. Качество оформления свода в условиях зажи-

ма с использованием НРС зависит, в основном, от следующих факторов: глубины заложения выработки; работоспособности самого НРС; сил гравитации и тектоники; характера разрушаемого массива; температуры среды и геометрического расположения шпуров.

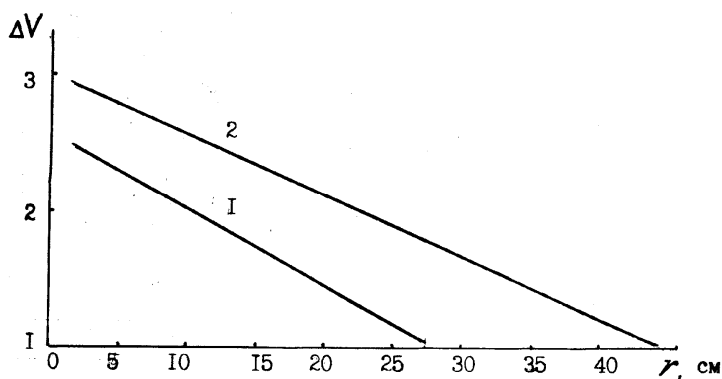


Рис. 2. Зависимость относительного увеличения скорости бурения известняка от расстояния от центра шпура диаметром 15 (1) и 30 (2) мм.

Расстояние между шпурами в своде принимается таким, когда суперпозиционная картина волн напряжений наблюдается вблизи прямой, проходящей по середине между зарядами НРС и, чтобы на всем участке между шпурами значения максимального растягивающего тангенциального напряжения ( $\sigma_\theta$ ), исходящего от заряда НРС, было больше величины критического напряжения горной породы на растяжение ( $\sigma_{п.р.}$ ). При разметке и бурении оконтуривающих шпуров длиной 1,5–2,0 м отклонение этого расстояния не должно превышать 2–3 см, а концы шпуров донной части от осевого направления – не более  $\pm 1$  см.

Остальная часть забоя также обуривается системой шпуров, которые заряжают НРС одновременно с контурными. Количество шпуров и схему их расположения рассчитывают исходя из величины площади забоя, на которой требуется снизить сопротивление породы разрушению, диаметра буровых шпуров и величины эффективной зоны действия НРС единичного шпура, взаимодействий естественной напряженностью пород и применяемого метода (инструмента) отбойки. Глубину шпуров выбирают из заданного темпа продвижения забоя, чтобы она была кратной количеству проходческих циклов, выполняемых в течение смены, суток и т.д., а марку НРС – из необходимости достижения максимального давления к началу второго цикла – разрушения выработки на глубину ослабленной зоны массива; другим породоразрушающим способом. Затем весь технологический цикл повторяют.

Проблема возможности применения комплексного разрушения пород при проходке выработок (тоннелей на глубине до 100 м от поверхности) в породах средней крепости: *статического* – с использованием НРС как при оконтуривании сводчатой части, так и при создании искусственного напряженно-деформируемого состояния для разупрочнения остальной части забоя и *механического* – с применением инструментов контактного типа, реализующих ее одновременное разрушение, – направление новое и требует про-

ведения дальнейших научно-исследовательских работ в конкретных горно-геологических и горно-технических условиях.

**Заключение.** Результаты измерений показывают, что предложенная комплексная методика разрушения пород при проходке выработок (тоннелей, метро, выработок с большим сроком службы на глубине до 100 м от поверхности) в породах различной крепости: статического – с использованием НРС как при оконтуривании сводчатой части, так и при создании искусственного напряженно-деформируемого состояния для разупрочнения остальной части забоя и механического (например, комбайнового) является перспективным направлением и дают возможность полного или частичного исключения ВВ. Для качественной оценки расчетов параметров рассмотренных элементов технологии использования НРС для снижения сопротивляемости пород разрушению дальнейшие научно-исследовательские работы должны быть направлены на разработку технологических паспортов механического проведения выработки в конкретных горно-геологических и горно-технических условиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Игнатович Ю. Н., Козырев О. И., Шлона В. М.* О возможности использования невзрывчатых разрушающих средств для снижения сопротивляемости горных пород механическому разрушению /Депон. в ВИНТИ. 1987. №101-В87.

2. *Боровков Ю. А., Дюдин Ю. К., Фурман С. В.* Выбор способа направленного раскола для создания экранирующих поверхностей при разработке обводненных месторождений //Цветная металлургия. 2001. № 11, с.14–16.

3. *Кочетков А. А.* Закономерности разрушения скальных пород при различных режимах нагружения //Изв. вуз. Горный журнал. 1991. №4.

4. *Латышев О. Г., Рыбак В. П.* Прогнозирование эффективного использования поверхностно-активных веществ в процессе механического разрушения пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2000. №4, с. 234–236.



УДК 622.235

*К.т.н. ДЗАГОЕВ Л. М., инж. ДЖИГКАЕВ Х. М.,  
д-р т.н. ПУСТОБРИКОВ В. Н., д-р т.н. ПЕТРОВ Ю. С.*

#### **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В МОДЕЛЯХ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ УПРУГОСТИ**

*Рассмотрена задача определения деформаций и напряжений в упругом однородном массиве и их распределение на контуре шпура, глубиной заложения от 20 до 100 м.*

Однородные прочные породы (известняки, доломиты и др.), обладающие высокими упругими свойствами, при достаточной их мощности по сравне-

нию с размерами тоннелей (выработок горизонтального направления), можно рассматривать как однородную упругую среду. Основанием такой трактовки является их изотропность, небольшое распространение дефектов структуры, а также соответствие результатов испытаний фотоупругих моделей результатам эксперимента.

В связи с невысокой точностью измерительных средств и трудностями самих измерений непосредственно в толщах пород методы моделирования не дают пока исчерпывающих ответов на многие вопросы о начальных напряжениях. Но в сочетании с аналитическими и натурными исследованиями они позволяют глубже представить и описать процессы, происходящие в массиве [1]. Исследователи располагают сейчас достаточно широкими возможностями, позволяющими моделировать практически любые горно-технические и горно-геологические условия [2].

При моделировании особое внимание следует уделять влиянию действующих факторов, определяющих напряженное состояние массива – силам гравитации и тектоники, особенностям строения пород, рельефу земной поверхности. Это дает возможность установить закономерности деформирования и разрушения массивов при разных условиях их нагружения.

При изучении напряженных состояний нетронутых массивов необходимо учитывать и то, что начальное напряженное состояние оказывает влияние на формы проявлений горного давления как при проходке выработок (сооружений), так в целом и на разработку месторождений полезных ископаемых на небольших глубинах (до 100 м). Анализ методик и результатов исследований, выполненных по данной проблеме (более 200), позволяет в общих чертах наметить задачи дальнейших исследований в совершенствовании методов, средств измерений в проведении аналитических и экспериментальных исследований.

Напряженное состояние нетронутого массива характеризуется следующими параметрами:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_z = \rho H; \sigma_x = \sigma_y = \lambda \sigma_z, \\ \tau_{r\Theta} = \tau_{\Theta r} = 0, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $\lambda = \frac{\mu}{I - \mu}$  – коэффициент бокового распора в упругом однородном изотропном слое (массиве);  $\rho$  – плотность пород, т/м<sup>3</sup>;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $H$  – глубина выработки, м;  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  – соответственно напряжения от сил гравитации и тектоники, МПа;  $\tau_{r\Theta}, \tau_{\Theta r}$  – компоненты тангенциальных напряжений в декартовой системе координат, МПа (рис.1).

Для нахождения указанных параметров используем основное уравнение равновесия в напряжениях [3]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{I}{r} \cdot \frac{\partial \sigma_{\Theta}}{\partial \Theta} + \frac{\sigma_r - \sigma_{\Theta}}{r} + R = 0; \\ \frac{\partial \tau_{r\Theta}}{\partial r} - \frac{I}{r} \cdot \frac{\partial \sigma_{\Theta}}{\partial \Theta} + \frac{2\tau_{\Theta r}}{r} + B = 0; \\ \nabla^2(\sigma_r + \tau_{\Theta r}) = 0, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $\nabla^2(\dots) = \frac{\partial^2(\dots)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial(\dots)}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2(\dots)}{\partial \Theta^2}$  - оператор Лапласа. (3)

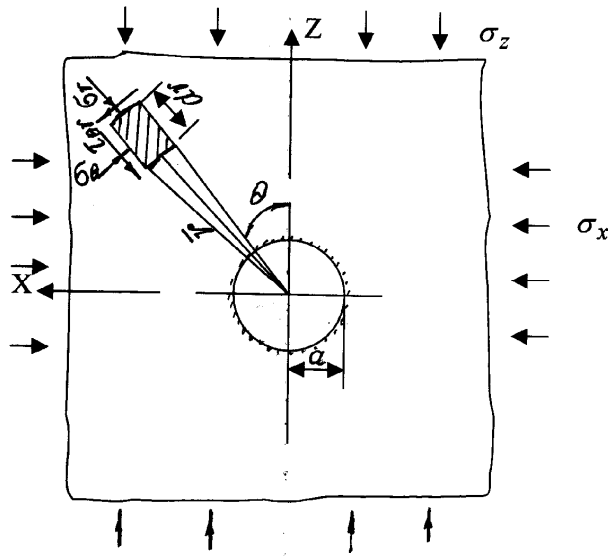


Рис.1. Расчетная схема к определению напряжений в упругом однородном массиве.

Ввиду того, что напряжение не зависит от полярного угла  $\theta$ ,  $R=B=0$ . Общее решение уравнения (2) с помощью функции напряжений  $\varphi(r, \Theta)$  примет вид:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \Theta^2}, \sigma_\Theta = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2}; \\ \tau_{\Theta r} = \sigma_{r\Theta} &= -\frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial \Theta} \right) = \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial \Theta} - \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r \cdot \partial \Theta}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

При задании напряжений в форме (4) систему уравнений (2) приводим к бигармоническому уравнению:

$$\nabla^2 \nabla^2 \varphi = \left( \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial}{\partial \Theta^2} \right)^2 \varphi = 0. \quad (5)$$

Из известных частных решений бигармонического уравнения (5) согласно формуле

$$\begin{aligned} \varphi(r, \Theta) &= A_0 + B_0 \Theta + A \ln r + Br^2 \ln r + Cr^2 + Dr \Theta \frac{\cos}{\sin} + \\ &+ [(A_I r + B_I r^3 + C_I r^{-1} + D_I r \ln r) \frac{\sin}{\cos} \Theta - \frac{2D_I}{I - \sigma} r \cdot \Theta \frac{\cos}{\sin}] + \dots, \quad (6) \end{aligned}$$

где  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  – коэффициенты, подлежащие определению из граничных условий, а величины  $A_0$  и  $A_1$  не влияют на напряженное состояние и могут быть опущены;  $\frac{2D_1}{I-\sigma} r \cdot \Theta \sin^{\cos}$  – этот член берут при замкнутом кольце для получения однозначных перемещений.

Гармоническая функция напряжений задается в форме:

$$\varphi = A \ln r + B r^2 \ln r + C r^2 + [A_2 r^2 + B_2 r^4 + C_2 r^{-2} + D_2 (\cos 2\Theta)]. \quad (7)$$

Полагая, что постоянные  $B = B_2 = 0$ , избежим возрастания напряжений с ростом  $r$ . Для получения при больших значениях  $r$  таких же напряжений, что и с функцией  $\varphi_0$ , т. е.

$$\varphi_0 = \frac{I}{2} P_H y^2 = \frac{I}{2} P_H r^2 \sin^2 \Theta = \frac{I}{4} P_H r^2 (1 - \cos 2\Theta),$$

при которой  $X_x = \frac{\partial^2 \varphi_0}{\partial y^2} = P_H$ ;  $Y_y = X_x = 0$ , необходимо, чтобы

$$C = \frac{P_H}{4} \text{ и } A_2 = -\frac{P_H}{4}. \quad (8)$$

Таким образом,

$$\varphi = A \ln r + \frac{P_H r^2}{4} + \left( -\frac{P_H r^2}{4} + C_2 r^2 + D_2 \right) \cos 2\Theta, \quad (9)$$

а напряжения

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= \frac{A}{r^2} + \frac{P_H}{2} + \left( \frac{P_H}{2} - 6 \frac{C_2}{r^4} - \frac{4D_2}{r^2} \right) \cos 2\Theta; \\ \sigma_\Theta &= -\frac{A}{2} + \frac{P_H}{2} + \left( -\frac{P_H}{2} + 6 \frac{C_2}{r^4} \right) \cos 2\Theta; \\ \tau_{r\Theta} &= -\left( \frac{P_H}{2} + 6 \frac{C_2}{r^4} + \frac{2D_2}{r^2} \right) \sin 2\Theta. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Произвольные постоянные определяем из условий при  $r = a$ ;  $\sigma_r = \sigma_{r\Theta} = 0$ .

Из уравнений (4) следует, что можно составить условия и для функции  $\varphi$ :

$$r = a; \quad \varphi = 0 \text{ и } \frac{\partial \varphi}{\partial r} = 0. \text{ Тогда } A = -\frac{P_H a^2}{2}; C_2 = -\frac{P_H a^4}{4} \text{ и } D_2 = \frac{P_H a^2}{2}.$$

Окончательно напряжения будут равны:



$$\begin{aligned}
\sigma_r &= \frac{P_H}{2} \left[ I - \frac{a^2}{r^2} + \left( I + \frac{3a^4}{r^4} \right) \cos 2\Theta \right], \\
\sigma_\Theta &= \frac{P_H}{2} \left[ I + \frac{a^2}{r^2} - \left( I + \frac{3a^4}{r^4} \right) \cos 2\Theta \right], \\
\tau_{r\Theta} &= -\frac{P_H}{2} \left( I - \frac{3a^4}{4} + \frac{2a^2}{2} \right) \sin 2\Theta,
\end{aligned} \tag{11}$$

где  $\sigma_\Theta$  – нормальное напряжение на площадке, перпендикулярной к радиусу, МПа;  $\sigma_r$  – нормальное напряжение на площадке, совпадающей с радиусом вектора, МПа;  $\tau_{r\Theta}$  – касательное напряжение, действующее на указанных взаимно перпендикулярных площадках, МПа;  $a$  – радиус выработки, м;  $P_H$  – давление от сил гравитации и тектоники, МПа.

Заменяем нагрузку  $P_H$  на начальные напряжения в нетронутом массиве в уравнении (11):

$$\left. \begin{aligned}
\sigma_r &= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \left( I - \frac{a^2}{r^2} \right) + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \left( I + \frac{3a^4}{r^4} - \frac{4a^2}{r^2} \right) \cos 2\Theta; \\
\sigma_\Theta &= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \left( I + \frac{a^2}{r^2} \right) - \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \left( I + \frac{3a^4}{r^4} \right) \cos 2\Theta; \\
\tau_{r\Theta} &= \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \left( I - \frac{3a^4}{r^4} + \frac{2a^2}{r^2} \right) \sin 2\Theta.
\end{aligned} \right\} \tag{12}$$

Окончательно, с учетом, что  $\sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu}{I - \mu} \sigma_z$ ,  $\sigma_z = \rho H$ :

$$\left. \begin{aligned}
\sigma_r &= \frac{\rho H}{2(I - \mu)} \cdot \frac{r^2 - a^2}{r^2} + \frac{\rho H(I - 2\mu)}{2(I - \mu)} \left( I - \frac{4a^2}{r^2} + \frac{3a^4}{r^4} \right) \cos 2\Theta; \\
\sigma_\Theta &= \frac{\rho H}{2(I - \mu)} \cdot \frac{r^2 + a^2}{r^2} - \frac{\rho H(I - 2\mu)}{2(I - \mu)} \left( I + \frac{3a^4}{r^4} \right) \cos 2\Theta; \\
\tau_{r\Theta} &= \frac{\rho H(I - 2\mu)}{2(I + 2\mu)} \left( -I - \frac{2a^2}{r^2} + \frac{3a^4}{r^4} \right) \sin 2\Theta.
\end{aligned} \right\} \tag{13}$$

На контуре шпура:  $\sigma_r = \tau_{r\Theta} = 0$ ;

$$\sigma_\Theta = \frac{\rho H}{I - \mu} [I - 2(I - 2\mu) \cos 2\Theta]. \tag{14}$$

**Пример.** Проходят выработку (тоннель) на глубине ( $H$ ) 100 м от поверхности в доломитовых породах с плотностью ( $\rho$ )  $2,8 \text{ т/м}^3$ ; константы упругости – коэффициент Пуассона ( $\mu$ ) 0,24; модуль Юнга ( $E$ )  $0,41 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ . Требуется показать на схеме вычисленные по предложенным формулам тангенциальные напряжения на контуре шпура радиусом ( $a$ ) 0,021 м (рис.2).

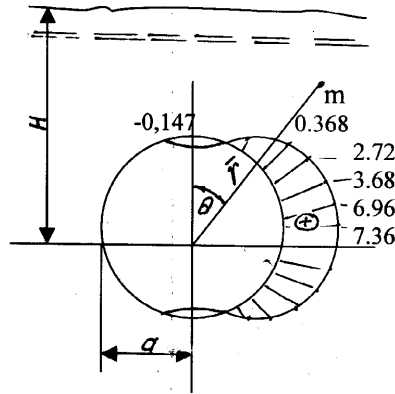


Рис.2. Распределение тангенциальных напряжений на контуре шпура.

Вычисления показывают: при  $\Theta = \pm\pi/2$ ,  $\sigma_{\Theta} = 3P_H$ ;  
при  $\Theta = 0$  или  $\pi$ ,  $\sigma_{\Theta} = -P_H$ .

Максимальные напряжения на контуре шпура с удалением от контура стремятся к величине  $\sigma_z = \rho H$  в нетронутом массиве.

Экстремальные значения нормальных тангенциальных напряжений

$$\sigma_{\min}^{\max} = \frac{\sigma_r - \sigma_{\Theta}}{2} \pm \sqrt{4\tau_{r\Theta}^2 + (\sigma_r - \sigma_{\Theta})^2}. \quad (15)$$

Перемещения [4], вызванные силами гравитации и тектоники:

а) в радиальном направлении

$$U_r = \frac{P_H(I+\mu)}{2Er} \left[ \frac{(I-\mu)}{I+\mu}(r^2 + a^2) + \left( \frac{4a^2}{I+\mu} + r^2 - \frac{a^4}{r^2} \right) \cos 2\Theta \right];$$

б) в тангенциальном направлении

$$U_{\Theta} = -\frac{P_H(I+\mu)}{2Er} \left( \frac{I-\mu}{I+\mu} \cdot 2a^2 + r^2 + \frac{a^4}{r^2} \right) \sin 2\Theta. \quad (16)$$

На рис.3. показана зависимость амплитуды смещений частиц сланцевых пород на контуре шпура от сил гравитации и тектоники от глубины заложения. С понижением глубины максимальное тангенциальное смещение плавно

повышается. При глубине 20–100 м смещение будет от  $0,031 \cdot 10^{-5}$  до  $0,248 \cdot 10^{-5}$  м.

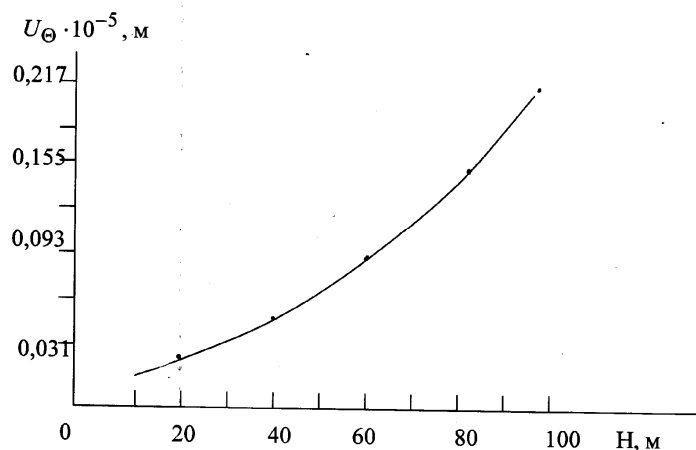


Рис.3. Тангенциальное смещение частиц сланцевых пород в зависимости от глубины заложения шпура.

Сопоставление графиков расчетных смещений пород с данными натуральных наблюдений, проведенных для разнообразных условий замерных станций на транскаме, показало не только хорошее качественное, но и вполне удовлетворительное совпадение со средним отклонением в пределах  $\pm 30\%$ . На характер изменения амплитуды смещений пород после проходки выработки (шпура), в основном, влияют три фактора: глубина заложения; площадь и форма выработки и упругие константы пород.

Выполненные методом расчета математической упругости по предложенным формулам величины полей напряжений и деформаций, зависящие от сил гравитации и тектоники по глубине массива, являются правильным ответом на действительную сущность процессов, протекающих в нетронутом массиве, что подтверждается и согласуется с данными практики.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Распределение напряжений в породных массивах (под. ред. Г. А. Крупенникова). М.: Недра. 1972.
2. Кузнецова Г. Н. и др. Моделирование проявлений горного давления. М.: Недра. 1968.
3. Рекач В. Г. Руководство к решению задач по теории упругости. М.: Высшая школа. 1977.
4. Максимов А. П. Горное давление и крепь выработок. М.: Недра. 1973.

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ОТ ДЕЙСТВИЯ ЗАРЯДА НЕВЗРЫВЧАТОГО РАЗРУШАЮЩЕГО СОСТАВА В ШПУРЕ, РАСПОЛОЖЕННОМ В ШАРОВОМ ПОРОДНОМ МАССИВЕ**

*Дан расчет параметров оформления контурной щели с использованием невзрывчатых разрушающих составов в выработках, проходимых на незначительной глубине.*

*Рассмотрена задача определения упругих характеристик, возникающих в породном шаровом массиве от действия шпурового заряда НРС и начальных исходных напряжений самого массива.*

Главным элементом горной технологии, определяющим ее эффективность, является процесс разрушения пород. В зависимости от способа разрушения параметры процесса определяются различным сочетанием механических свойств пород. С увеличением прочности разрабатываемых пород производительность от механического разрушения резко падает. В связи с повышенными требованиями к охране окружающей среды (для снижения нарушенности законтурного массива) одним из перспективных путей повышения эффективности разрушения на незначительной глубине (до 100 м) является внедрение комбинированной безвзрывной технологии проведения выработок в два этапа. На первом этапе создается контурная щель, которая отсекает (создает демпферную плиту) начальные напряжения от сил гравитации и тектоники в процессе их формирования. С оформлением ее образуется зона неупругих деформаций [1], распространяясь в глубь контурной части массива от заряда невзрывчатого разрушающего состава (НРС) до 0,18 м. Прочность пород на контуре и целике забоя резко снижается в 2 с лишним раза и изменяются все ее упруго-механические характеристики, в первую очередь, крепость. На втором этапе, исходя из заданной схемы проходческого цикла (продвижения забоя) осуществляют разрушение ослабленного целика забоя одним из механических способов, а, возможно, и в комбинации с использованием НРС.

После проведения выработки (шпура) изменяется поле напряжений, окружающее горную выработку, происходит концентрация напряжений. Характер распределений напряжений и размеры их распространения зависят от глубины заложения выработки, механических свойств пород, исходного начального состояния массива и давления в шпуре, развиваемого зарядом НРС.

Для получения распределения напряжений вокруг шпура, возникающих в период гидратации НРС при оформлении контурной щели, и расстояний между шпурами в "зажатой" среде, при которых происходит смыкание трещин, создаваемые соседними шпурами в единую щель в зависимости от глубины заложения, использованы основные уравнения плоской задачи теории упругости в полярных координатах.

Рассматривается шаровой породный массив с бесконечным радиусом. Горизонтальная выработка (шпур) определенной длины располагается в однородном изотропном упругом массиве. В любом сечении, перпендикулярном к ее оси, распределение напряжений и деформаций будут одним и тем же. В плоской задаче рассматриваемого сечения принята система координат  $x, y, z$  (рисунок). Наряду с этой системой для формы шара определенного радиуса вводится полярная система координат  $r, \Theta$  с началом в центре сечения [2,3]. Шаровой сосуд подвергается действию внутреннего (исходящего от заряда НРС –  $P_a$ ) и внешнего (от действия сил гравитации и тектоники –  $P_H$ ) давления, в которых  $a$  и  $b$ , соответственно, внутренний и внешний радиусы шара. В рассматриваемой задаче напряжения зависят только от текущей координаты – радиуса-вектора  $r$  и не зависят от угла  $\Theta$  – параметра, определяющего местоположения. Граничные условия принимаются такими, что с удалением от выработки напряжения стремятся к тем значениям, которые действовали в нетронутом массиве в центре будущей выработки [4], т. е.  $\sigma_x = \sigma_x^\infty = \sigma_y = \sigma_y^\infty = \lambda \rho H$  и  $\sigma_z = \sigma_z^\infty = \rho H$  и на контуре  $r = a, \sigma_r = \sigma_{r\Theta} = 0$ .

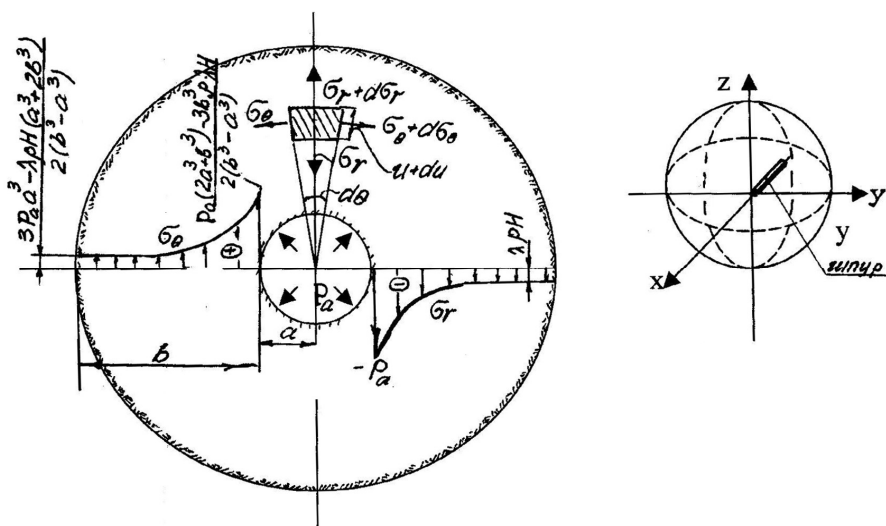


Схема для вычисления напряжений в полярных координатах и составления уравнений равновесия.

Статическое уравнение равновесия:

$$2(\sigma_r - \sigma_\Theta) + r \frac{d\sigma_r}{dr} = 0. \quad (1)$$

Зависимость напряжений от деформаций согласно закону упругости

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_\Theta &= -\frac{I}{E} [\sigma_\Theta - \mu(\sigma_z + \sigma_r)], \\ \varepsilon_r &= -\frac{I}{E} [\sigma_r - \mu(\sigma_\Theta + \sigma_z)], \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $\varepsilon_{\Theta} = -\frac{U}{r}$  – тангенциальное удлинение;  $\varepsilon_r = \frac{dU}{dr}$  – радиальное удлинение.

Тогда напряжения через деформации примут вид:

$$\begin{aligned}\sigma_{\Theta} &= \frac{E}{I - \mu - 2\mu^2} (\varepsilon_{\Theta} - \mu\varepsilon_r), \\ \sigma_r &= \frac{E}{I - \mu - 2\mu^2} [2\mu\varepsilon_{\Theta} + (I - \mu)\varepsilon_r].\end{aligned}\quad (3)$$

С учетом подстановки тангенциальных и радиальных удлинений уравнение (3) примет вид:

$$\left. \begin{aligned}\sigma_{\Theta} &= \frac{E}{I - \mu - 2\mu^2} \left[ \frac{U}{r} + \mu \frac{dU}{dr} \right], \\ \sigma_r &= \frac{E}{I - \mu - 2\mu^2} \left[ 2\mu \frac{U}{r} + (I - \mu) \frac{dU}{dr} \right].\end{aligned}\right\} \quad (4)$$

Значения уравнения (4) подставим в (1) после дифференцирования нижнего уровня (4):

$$\frac{d\sigma_r}{dr} = \frac{E}{I - \mu - 2\mu^2} \left[ 2\mu \frac{r \frac{dU}{dr} - U}{2} + (I - \mu) \frac{d^2U}{dr^2} \right]. \quad (5)$$

Подставим (5) и нижнее (4) в уравнение (1):

$$\frac{E}{I - \mu - 2\mu^2} \left[ 2\mu \frac{U}{r} + 2(I - \mu) \frac{dU}{dr} - 2 \frac{U}{r} - 2\mu \frac{dU}{dr} + 2\mu \frac{dU}{dr} - 2\mu \frac{U}{r} + (I - \mu) \frac{d^2U}{dr^2 r} \right] = 0. \quad (6)$$

После соответствующих сокращений формула (6) примет вид

$$\frac{d^2U}{dr^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{dU}{dr} - 2 \frac{U}{r^2} = 0. \quad (7)$$

Общий интеграл дифференциального уравнения (7):

$$U = \frac{A}{r^2} + Br. \quad (8)$$

Дифференцируем уравнение (8):

$$\frac{dU}{dr} = -\frac{2A}{r^3} + B, \quad \frac{d^2U}{dr^2} = \frac{6A}{r^4}. \quad (9)$$

Подставим (8) и (9) в уравнение (7):

$$\frac{6A}{r^4} + \frac{2}{r} \left[ -\frac{2A}{r^3} + B \right] - \frac{2}{r^2} \left[ \frac{A}{r^2} + Br \right] = 0. \quad (10)$$

Подставим найденные значения в уравнение (4):

$$\sigma_{\Theta} = \frac{E}{I - \mu - 2\mu^2} \left[ \frac{A}{r^3} (I - 2\mu) + B(I + \mu) \right], \quad (11)$$

$$\sigma_r = \frac{E}{I - \mu - 2\mu^2} \left[ -\frac{2A}{3} (I - 2\mu) + B(I + \mu) \right]. \quad (12)$$

Постоянные интегрирования А и В определяем из начальных условий:

$$\sigma_{r(r=a)} = -P_a \text{ и } \sigma_{r(r=b)} = -P_H = -\rho H.$$

Подставляя эти выражения в (12), имеем:

$$\frac{E}{I - \mu - 2\mu^2} \left[ -\frac{2A}{a^3} (I - 2\mu) + B(I + \mu) \right] = -P_a,$$

$$\frac{E}{I - \mu - 2\mu^2} \left[ -\frac{2A}{b^3} (I - 2\mu) + B(I + \mu) \right] = 2P_H.$$

Отсюда:

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{(P_a - P_H) a^3 b^3 (I - \mu - 2\mu^2)}{2E(I - 2\mu)(b^3 - a^3)}, \\ B &= \frac{(P_a a^3 - P_H b^3)(I - \mu - 2\mu^2)}{E(I + \mu)(b^3 - a^3)}. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Подставляя (13) в (11) и (12), окончательно имеем:

а) тангенциальное напряжение

$$\sigma_{\Theta} = \frac{P_a a^3 (2r^3 + b^3) - P_H b^3 (2r^3 + a^3)}{2r^3 (b^3 - a^3)}, \quad (14)$$

б) радиальное напряжение

$$\sigma_r = \frac{P_a a^3 (r^3 - b^3) + P_H (a^3 - r^3) b^3}{r^3 (b^3 - a^3)}. \quad (15)$$

Тангенциальное и радиальное напряжения на контуре шпура (выработки)

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\Theta(r=a)} = \frac{P_a(2a^3 + b^3) - 3\rho H b^3 K_{\sigma}}{2(b^3 - a^3)}; \quad \sigma_{r \max} = -P_a;$$

$$\sigma_{\Theta(r=b)} = \frac{3P_a a^3 - K_{\sigma} \rho H (a^3 + 2b^3)}{2(b^3 - a^3)}; \quad \sigma_r = -K_{\sigma} \rho H.$$

Введем формулу для определения радиального перемещения произвольной точки шпура, расположенной на расстоянии  $r$  от оси симметрии. Для этого выразим через  $U$  относительную деформацию  $\varepsilon_0$  (2) в направлении, перпендикулярном радиусу (в окружном направлении), т. е.

$$\varepsilon_0 = \frac{U}{r} = \frac{\sigma_{\Theta} - \mu \sigma_r}{E}.$$

Подставив в это уравнение значения  $\sigma_r$  и  $\sigma_{\Theta}$  [из выражений (14) и (15)], найдем

$$U = \frac{r[P_a a^3 (2^3 + b^3) - P_{nb}^3 (2^3 + a^3)] - 2\mu r [P_a a^3 (r^3 - b^3) + P_{nb}^3 (a^3 - r^3)]}{E r^3 (b^3 - a^3)}. \quad (16)$$

Положительные значения указывают, что точка смещается по радиусу от оси симметрии шпура.

Представленные теоретические параметры полей напряжений и их перемещений позволили осуществить обоснованный подход к разработке и выбору технологических решений определения расстояний между шпурами в приконтурной зоне при оформлении щели (периметра выработок) и экономичных видов крепи, учитывающих физические свойства пород, в которых проводятся работы, диаметр шпура, глубина заложения выработки, используемое начальное внешнее давление и давление, развиваемое зарядом НРС.

При этом достигнуто не только хорошее качественное, но и вполне удовлетворительное количественное совпадение с расчетами по методике полной разгрузки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Шемякин Е. И.* О закономерностях неупругого деформирования пород в окрестности подготовительной выработки. Сб. «Горное давление в капитальных и подготовительных выработках». Новосибирск. ИГД СО АН СССР. 1975.
2. *Безухов Н. И.* Основы теории упругости, пластичности и ползучести. М.: Высшая школа. 1968.



3. Пустобриков В. Н., Дзагоев Л. М. Добыча минерального сырья с использованием невзрывчатых разрушающих составов в условиях низких положительных и отрицательных температур. Владикавказ. 1981.
4. Кацуров И. Н. Механика горных пород. М.: Недра. 1981.



УДК 622.023.23

Инж. ДЖИГКАЕВ Х. М.,  
к. т. н. ДЗАГОЕВ Л. М.,  
д-р т. н. ПУСТОБРИКОВ В. Н.

### ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗОНАХ ЗАЛОЖЕНИЯ ВЫРАБОТОК В ЗАЖАТОЙ СРЕДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НРС

*Приведены результаты измерений напряжений методом разгрузки на основании теории упругости в породах, окружающих шпур при проведении выработок с зарядами НРС. Установлены значения изменения тангенциальных напряжений и расстояний между шпурами для оформления контурной щели в зажатой среде в зависимости от глубины их заложения. Рассчитаны концентрации тангенциальных напряжений на контуре выработки и их влияние на сопротивляемость массива в плоскости забоя.*

Особенности напряжённо-деформируемого состояния массива заключаются в том, что выработка образуется в напряжённом горном массиве с установившимся полем начальных напряжений. На формирование такого напряжённого состояния оказывают влияние гравитационные и температурные поля, тектонические процессы, свойства пород и пр. Основными силами, формирующими начальное напряжённое состояние пород, являются силы гравитации (вертикальные) и тектоники (боковые).

В первоначальный момент при проведении выработки происходит перераспределение напряжений, максимум которых находится на контуре сечения выработки. В связи с этим возникает вопрос: по какому закону они формируются около шпуров по глубине и направлению их заложения и смогут ли растягивающие концентрические напряжения, исходящие от заряда невзрывчатых разрушающих составов (НРС) ( $\sigma_p$  НРС) на этой глубине преодолеть одновременно поле начальных напряжений ( $\sigma_{\theta}^{(0)}$ ) и прочностные свойства пород на растяжение ( $\sigma_{п.р}$ ) с тем, чтобы было соблюдено главное условие оформления контура выработки в зажатой среде –  $\sigma_p^{НРС} > \sigma_{\theta}^{(0)} + \sigma_{п.р}$ .

Такое условие можно достичь искусственным перераспределением напряжений при использовании узкой контурной щели. Одним из этапов исследований напряжений в зонах заложения выработок было определение величины и направления главных напряжений, а также влияние земной поверхности на распределение напряжений. Для исследования был выбран участок

горной выработки (тоннель), расположенный на глубине 60 м от поверхности потому, что порода (доломит) на нём является однородной и в непосредственной близости отсутствуют горные работы, которые могли бы изменить распределение напряжений в период наблюдений. Измерение напряжений проводили методом разгрузки, разработанным ВНИМИ, с помощью тензодатчиков, наклеенных на стенки шпура, расположенных под прямым углом друг к другу. Измерение проводили в трёх шпурах (станциях с чётко выдержанным углом направления и глубины  $\ell_{\text{шп}} = 150$  см.

Измерение сопротивления тензодатчиков осуществлялось статическим индикатором. Величины и направления главных напряжений ( $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  и  $\sigma_z$ ) являются, соответственно, максимальными  $\sigma_z$  и минимальными ( $\sigma_x = \sigma_y$ ) расположенными под прямым углом друг к другу.

Полученные значения напряжений, измеренные на станциях, показали хорошую сходимость с их расчётными величинами. В качестве исходных компонентов начальных напряжений [1], МПа, приняты

$$\text{поля гравитации } \sigma_z^{(\delta)} (\sigma_r = \rho H),$$

$$\text{тектоники } \sigma_x^{(0)} = \sigma_y^{(0)} = \lambda \rho H),$$

$$\text{тангенциальные нормальные [2] } \sigma_{\theta}^{(0)} = \sigma_z^{(0)} [(1 + \lambda) - 2(1 - \lambda) \cos 2\Theta],$$

где  $\lambda = \mu / (1 - \mu)$  – коэффициент бокового распора;

$\mu$  – коэффициент Пуассона исследуемых пород;

$H$  – глубина заложения выработки, м;

$\rho$  – плотность пород, т / м<sup>3</sup>;

$\Theta$  – угол, характеризующий положения радиус-вектора  $\vec{r}$  от начала координат, град.

Добавочное условие – компоненты начального поля напряжений не зависят от радиуса шпура (выработки круглого сечения). В табл. 1 приведены значения нормальных тангенциальных напряжений на контуре шпура горизонтального направления при оконтуривании выработок на различных глубинах их залегания.

Т а б л и ц а 1

**Значение нормальных тангенциальных напряжений от высоты заложения шпуров горизонтального направления**

Порода	Угол наклона, $\Theta$ , град	Тангенциальные напряжения на контуре шпура, $\sigma_{\theta}^{(0)}$ , МПа от глубины заложения выработки, $H$ , м		
		60	100	200
Доломит	0	- 0,03	- 0,0036	- 0,053
	30	1,035	1,750	3,549
	45	2,12	3,55	7,00
	60	3,19	4,03	8,06
	90	4,23	5,30	10,61

На рис. 1 показана картина эпюры распределения тангенциальных напряжений на контуре шпура горизонтального направления на глубине 60 м от суммарного действия начальных напряжений. На контуре сосредоточены

растягивающие и сжимающие напряжения соответственно равны – 0,036 (мин.) и 5,30 (макс) МПа.

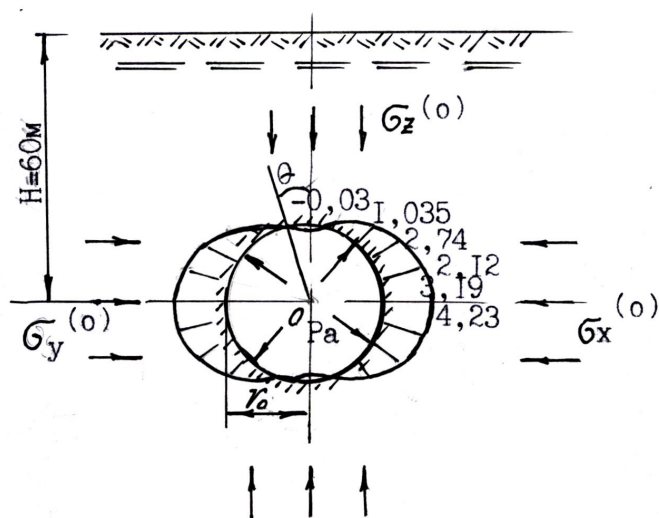


Рис. 1. Эпюра тангенциальных напряжений на контуре шпура горизонтального направления от сил гравитации и тектоники.

Участок пониженных напряжений имеет вид седловины и таких участков два – в кровле и в подошве. Находятся они в растянутом состоянии и уменьшаются по мере удаления от выработки. Деформацию радиуса шпура определяли по формуле [3]:

$$U_r = \sigma_0^{(0)} r_0 / E,$$

где  $E$  – модуль упругости пород, МПа, в среднем  $(1,9 \div 2,1) \cdot 10^6$  М.

Полученные значения нормальных тангенциальных напряжений позволяют проводить расчеты определения критической глубины заложения выработки и расстояний между шпурами, при которых возможно оформление контура в загатоq среде с использованием НРС. Зная фактическое развиваемое давление зарядом НРС и глубину его распространения, превышающего суммарное начальное напряжение и прочность пород на растяжение, в табл. 2 приведены их значения в зависимости от глубины заложения.

На основании полученных данных (рис. 2) установлено, что максимальная глубина заложения выработки от поверхности с использованием НРС в породах средней крепости (известняки, доломиты) не должна превышать более 100 м.

После оформления контурной щели свода выработки (возможно, периметра) остальная часть забоя освобождается от сил гравитации и переходит в состояние самонапряжения с наличием внутренних напряжений. Контурная щель не только обеспечивает разгрузку премыкающего к выработке массива

от повышенных напряжений, но и не допускает расслоения пород в вышележащей толще.

Т а б л и ц а 2

**Значение расстояний между шпурами с зарядами НРС при оформлении контурной щели в зависимости от глубины заложения выработки**

Глубина заложения выработки, $H$ , м	Развиваемое давление зарядом НРС за вычетом на преодоление сжимающих напряжений, $\sigma_p^{HPC}$ , МПа	Расстояние между шпурами, $a$ , м
10	49,47	0,20
20	48,94	0,20-0,15
30	48,47	0,12-0,15
40	47,88	0,10-0,12
50	47,35	0,08-0,10
60	46,82	0,08
70	46,29	0,08
80	45,75	0,08
90	45,23	0,08
100	44,69	0,08

Изменение тангенциальных напряжений и расстояний между шпурами от глубины их заложения показаны на рис. 2 и 3.

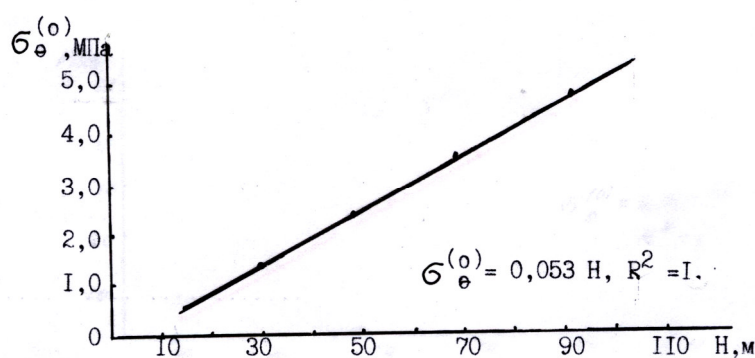


Рис.2. Изменение максимальных тангенциальных напряжений на контуре шпура от глубины заложения выработки.

Деформация периметра щели не превышает  $4,63 \cdot 10^{-6}$  м. По этой причине потенциальная энергия сжимающих деформаций при разгрузке вызывает растягивающие напряжения. Это приводит к частичному разупрочнению пород с образованием дополнительных макро- и микротрещин. Их рост обусловлен влиянием растягивающих напряжений, исходящих от шпуров с зарядами НРС, произвольно пробуренных в забое выработки. Таким образом, с получением контурной щели полностью на этом контуре снимаются нормальные радиальные ( $\sigma_r^{(0)}$ ) и касательные ( $\sigma_{\theta r}^{(0)}$ ) напряжения и контур сечения выработки испытывает только тангенциальные напряжения ( $\sigma_{\theta}^{(0)}$ ).

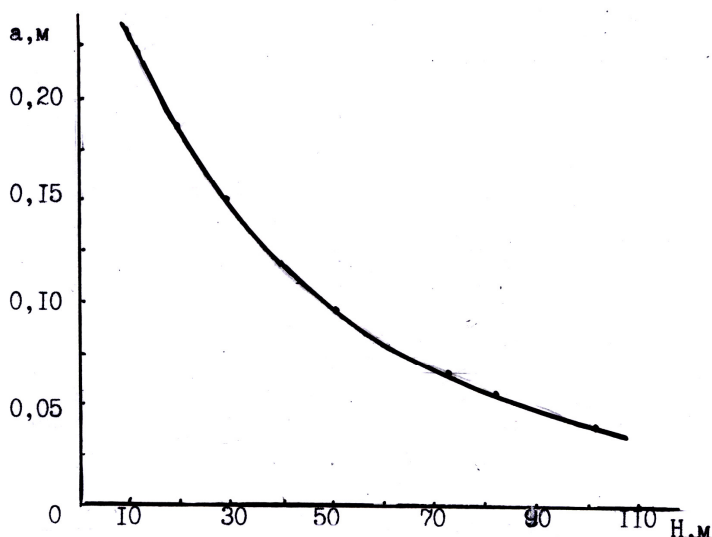


Рис.3. Расстояние между шпурами в известняках в зависимости от глубины заложения выработки.  $a = 1,2268 H^{0,6624}$ ,  $R^2 = 0,9426$ .

Расчет эпюр тангенциальных напряжений, МПа, проводят по формуле [4]:

$$\sigma_{\theta}^{(0)} = \rho H \frac{[(1 + \lambda)(1 + m^2) - 2(1 - \lambda)(\cos 2\theta - m)]}{1 - 2m \cos 2\theta + m^2},$$

где  $m = h - B/h + B$  – коэффициент конфигурации выработки;

$h$  и  $B$  – высота и пролет выработки,  $m$ ; коэффициент концентрации напряжений ( $\sigma_{(\theta)} = \sigma_{(\theta)}^{(0)} / \rho H$ ), который в боках выработок практически не зависит от глубины заложения ( $H$ ) и определяется коэффициентом бокового распора ( $\lambda$ ).

По результатам вычислений (табл.3) построены эпюры и их концентрации удельных тангенциальных напряжений на контуре проектируемой выработки (рис. 4).

По значениям коэффициентов концентрации и компонентов напряжений можно приближенно определить будет ли на заданной глубине снижена соп-

противляемость горных пород с использованием зарядов НРС для использования метода механического разрушения без применения ВВ.

Т а б л и ц а 3

**Значения показателей напряжений и коэффициентов концентраций на контуре выработки сводчатого сечения в зависимости от глубины заложения**

Порода	Глубина заложения выработки $H$ , м	Угол, характеризующий положение радиус-вектора ( $\vec{r}$ ) от начала координат $\theta$ , град.	Тангенциальные напряжения $\sigma_{\theta}^{(0)}$ , МПа	Коэффициент концентрации напряжений $\sigma_{\theta}$	Коэффициент бокового распора $\lambda$
Известняки	100	0	1,30	0,46	0,25-0,30
		15	2,10	0,75	
		30	2,15	1,13	
		45	4,45	1,58	
		60	5,50	1,97	
		75	3,97	1,50	
		90	1,98	0,87	

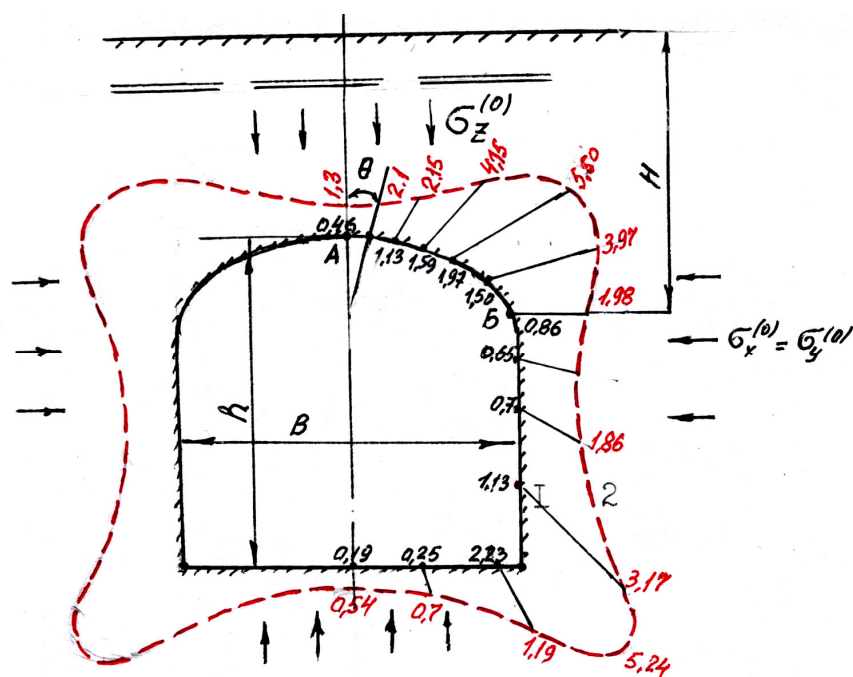


Рис.4. Концентрация нормальных тангенциальных напряжений (1) и их эпюры (2) на контуре сводчатой выработки на глубине 100 м, зависящих от начальных напряжений с коэффициентом бокового распора  $\lambda = 0,3$ .

Закономерность распределения коэффициентов концентрации напряжений изучали в тоннеле, пройденном на небольшой высоте от поверхности с широким набором сводчатых сечений при различных соотношениях высот (стрелы подъема свода) и фиксированной ширине выработки. При этом отношения этих параметров меняли от 0,1 до 0,5 при различных компонентах полей напряжений (гравитационном, тектоническом) в зависимости от глубины их залегания. Поскольку на контуре выработки радиальные напряжения равны нулю, то основным компонентом разрушения являются тангенциальные напряжения, которые с понижением глубины резко увеличиваются для одних и тех же пород. Исследования показали, что рост значений коэффициентов концентраций заметен в углах и на границах перехода свода к боковым стенкам выработки при увеличении пролета и уменьшения стрелы подъёма- (распора). Увеличение относительного радиуса закругления снижает напряжения. Максимальное значение коэффициентов концентраций сжимающих напряжений в массиве не превышает 2,5.

Потеря прочности пород в состоянии самонапряжения [5] после разгрузки массива подтверждается экспериментальным доказательством выполненных натурных испытаний на подземном объекте на глубине до 100 м в зависимости от времени. В результате разупрочнения значительно снижается поверхностная энергия разрушения, что отражает реальные особенности скорости бурения по сравнению со скоростью в естественном состоянии (нетронутым массиве).

**Заключение.** Использование НРС при оформлении контуров выработок подземным способом в зажатой среде возможно на глубине не более 100 м от поверхности; с получением контурной щели снижаются до нуля радиальные и касательные начальные напряжения на контуре выработки и разупрочняются породы забойной части массива, а наличие дополнительных растягивающих напряжений в этой части, исходящих от зарядов НРС – основа для ее разрушения механическим способом без применения ВВ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Динник А. Н.* Избранные труды. Т. III. Изд. АН УССР. Киев, 1956.
2. *Фотиева Н. Н.* Расчет обделок тоннелей некругового сечения. М.: Стройиздат. 1978.
3. *Тимошенко С. П.* Теория упругости. М.: ОНТИ, 1937.
4. *Булычев Н. С.* Механика подземных сооружений. М.: Недра, 1989.
5. *Картозия Б. А., Мороз А. И.* Возникновение самонапряженного состояния горной породы при разгрузке//Горн.информ.аналит.бюл. 2001, №4.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАБОЙКИ ШПУРОВЫХ ЗАРЯДОВ

*Изложены взгляды на применение забойки на основе существующих разрушающих факторов, определяющих результат взрыва.*

*Теоретическими и патентными исследованиями, а также опытными работами установлены рациональные параметры шпуровых зарядов с применением призматического вруба для среднеустойчивых горных пород с центральным взрываемым зарядом распрессовки.*

Коэффициент полезного действия взрыва или доля энергии, совершающая полезную работу: отрыв, дробление, выброс составляет 5–8 %. Наибольшая доля энергии тратится на формы работы взрыва не полезные: переизмельчение породы, в т. ч. в контакте с зарядом, тепловые и химические потери, и прорыв газообразных продуктов при взрыве.

Влияние забойки на эффективность отбойки шпуровыми зарядами дробления неоднозначно, хотя в некоторых случаях ее применение необходимо, так как до настоящего времени нет единого мнения на механизм разрушения пород взрывом и не создана общепринятая теория. Гипотезы отличаются в основном тем, какое значение придается тем или иным разрушающим факторам, определяющим результат взрыва. Эти гипотезы подразделяются на три группы:

1. Действие расширяющихся продуктов детонации;
2. Действие прямых и отраженных волн напряжения;
3. Совместные действия волн напряжения и продуктов детонации.

Отсутствие единой точки зрения на механизм разрушения горных пород взрывом и многообразие роли забойки потребовало проведения экспериментальных исследований в производственных условиях и изыскания путей повышения эффективного использования энергии взрыва с применением забойки у нас в стране и за рубежом.

Анализ научно-технической литературы и проведенные патентные исследования позволили выявить пути решения поставленной задачи применительно к условиям Урупского медно-колчеданного месторождения по двум направлениям.

По первому направлению исследования проводили с применением призматического вруба (рис. 1) по определению влияния качественного состава материала и длины забойки на сопротивление действию взрыва, обеспечивающего замкнутость зарядной полости. Опытные взрывы с применением забойки проводили по простиранию залегания пород в туфах среднего состава с коэффициентом крепости по шкале проф. М. М. Протоdjаконова  $f = 8$  в туфах среднего состава; среднеустойчивых, диаметр шпура 42 мм, диаметр патрона 36 мм. В качестве взрывчатого вещества использовали аммонит 6ЖВ. Взрывание зарядов – электрическое, электродетонаторами мгновенного действия ЭДМД–0 и короткозамедленного действия ЭДКЗ, длина врубовых шпуров 1,8 м. Шпуры бурили перфоратором ПР 30 К на пневмоподдержке П – 11.



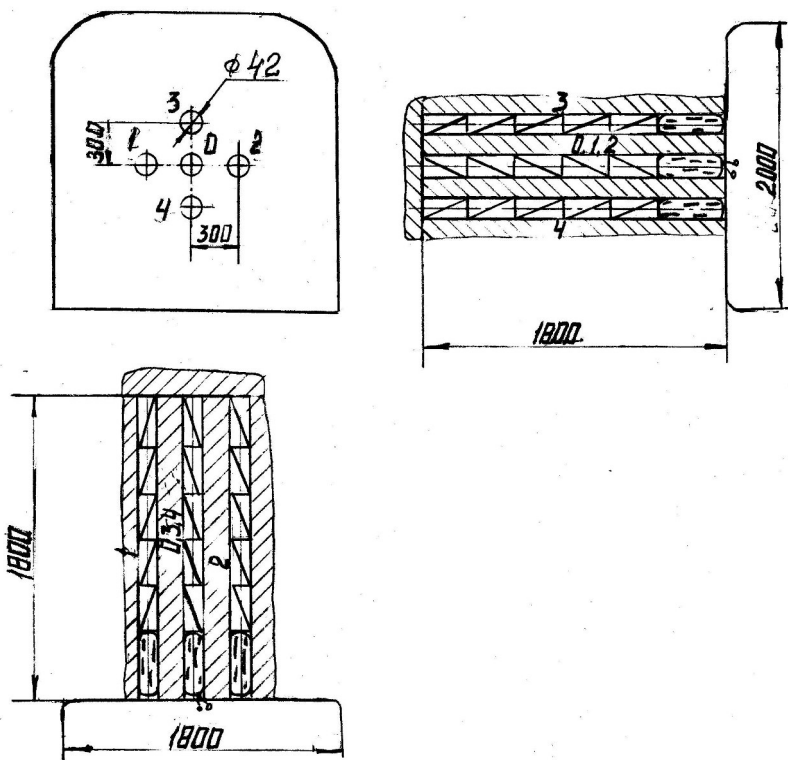


Рис. 1 Схема призматического вруса с центральным взрываемым зарядом.

В результате опытных взрывов в штреке оказалось, что наибольшее сопротивление газу, образуемому в результате взрыва, оказывает материал забойки, состоящий из легких фракций горной породы.

Повышение сопротивляемости сыпучих материалов обусловлено высокой величиной их внутреннего трения. Наименьшее сопротивление оказывает забойка из глины. При этом заряды весом 1,2 кг образовали различные воронки в зависимости от материала забойки.

Данные о влиянии материала забойки при длине шнура 1,8 м и последовательности инициирования зарядов на величину объема воронки, образуемой при взрыве, приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Материал забойки	Марка ЭД и последовательность инициирования заряда	Объем воронки, м <sup>3</sup>
Глина	ЭДМД-0	0,03
Горная порода	ЭДКЗ-1	0,09
Песок с глиной	ЭДКЗ-2	0,05
Без забойки	ЭДКЗ-3	0,08

Из данных табл. 1 видно, что при одинаковом весе заряда 1,2 кг забойка из глины практически не влияет на величину воронки разрушения. Значи-

тельно больше объем воронки с использованием забойки, состоящей из мелких фракций горной породы, несколько меньше – без использования забойки.

По второму направлению исследования проводили в аналогичных горно-технических условиях с целью изыскания более эффективного способа, обеспечивающего замкнутость зарядной полости при взрыве зарядов врубовых шпуров. Для этого в параметры схемы вруба (см. рис. 1) были внесены изменения. Центральный шпур заряжали взрывчатым веществом аммонитом 6 ЖВ весом 0,5 кг на расстоянии, равном 1/3 от устья шпура, и взрыванием, в первую очередь, электродетонаторами мгновенного действия ЭДМД-0 (рис. 2).

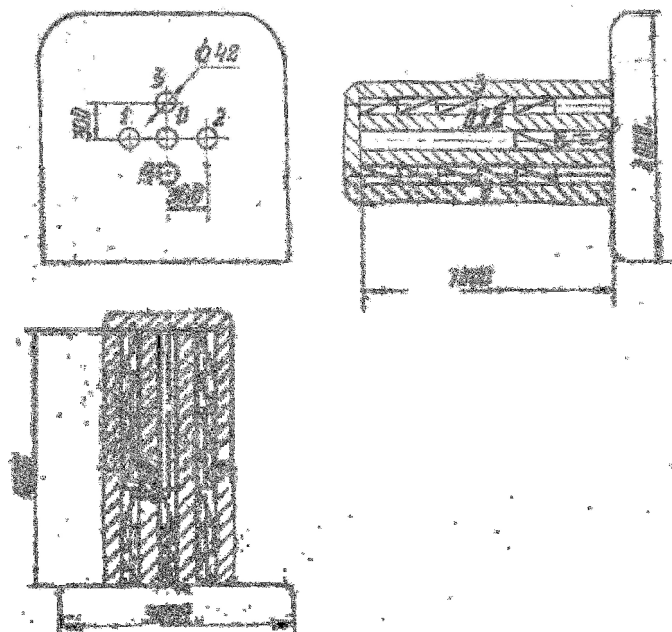


Рис. 2. Схема призматического вруба с центральным зарядом распрессовки.

С учетом внесенных изменений в параметры БВР, инициируют сначала центральный заряд распрессовки ЭДМД-0, а затем врубовые ЭДКЗ.

Параметры БВР с применением заряда распрессовки с длиной шпура 1,8 м и объемом воронок, образованных при взрыве, приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Марка электродетонатора	Вес заряда, кг	Объем воронки, м <sup>3</sup>
ЭДМД-0	0,5	0,03
ЭДКЗ-1	1,4	0,12
ЭДКЗ-2	1,4	0,06
ЭДКЗ-3	1,4	0,10

Из данных табл. 2 видно, что при длине шпура 1,8 м изменение объема воронок взрыва находится в пределах 0,03–0,12 м<sup>3</sup>. Это вызвано изменением технологии БВР: конструкции и величины заряда; расположения; порядка

инициирования и т. д. При этом за счет взрыва центрального запрессовочного заряда в первую очередь ЭДМД–0 незаряженные части отбойных шпуровых зарядов прессуются измельченной фракцией горных пород, что обеспечивает замкнутость зарядной полости.

При сравнении показателей отбойки опытных взрывов запрессовкой устьев шпуров забойкой из различных материалов установлено, что увеличился средний объем воронки на  $0,03 \text{ м}^3$ .

Обобщение теоретических и экспериментальных исследований, а также проведенные опытные взрывы в среднеустойчивых горных породах Урупского месторождения позволили изыскать наиболее эффективный способ забойки, обеспечивающий замкнутость полости с оптимальными параметрами БВР, что снижает трудовые и материальные затраты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Забойка при взрывной отбойке. JustGD. Lamont G Stenming of Blastholes in Mining Excavations. Proc. Australas Inst. Mining and Met, 1979.

2. Демидюк Г. П. . О повышении степени полезного использования энергии взрыва. Сб. "Взрывное дело", Совершенствование промышленных взрывчатых материалов, М. Недра, 1966.

3. Эффективность применения забойки. Kis M. Investigations into the role and behavior of stemming. Publ. Mining Res Inst. №20, 1977.



УДК 622.235

*Доц. ЛАГКУЕВ С. М., инж. ЛАГКУЕВА С. М.*

#### **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЗАДАНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ШПУРОВ И СКВАЖИН**

*Статья посвящена вопросам повышения точности обурирования забоя и задания направления при подземной разработке местонахождений полезных ископаемых.*

*Рассмотрены рациональные схемы призматического и клинового врубов с оптимально выбранными параметрами буровзрывных работ с учетом конструктивных элементов устройства.*

При проходке горных выработок взрывным способом с предельной величиной расстояния между шпурами  $a \geq 300$  мм объем, образованный при взрыве зарядами врубовых шпуров, уменьшается, а эффективность взрыва снижается. В результате этого снижается эффективность работы всего комплекта шпуровых зарядов.

Одним из путей повышения эффективной и качественной работы зарядов, как показал анализ научно-технической литературы и патентных исследований, является изыскание способов и устройства для задания направления при бурении шпуров и скважин.

Анализ научно-технической литературы и проведенные патентные исследования в этой области позволили выявить устройство для задания направления бурения шпуров и скважин (СОЦНТИ инф. листок № 51-84) в качестве технического средства, которое может повысить точность и направление обуривания при проходке выработок в условиях Урупского медно-колчеданного месторождения. При этом буровзрывные работы (БВР) в забоях проходческих выработок проводят в соответствии с паспортом БВР, разработанным на основе местных нормативов БВР или расчета и практики. Нами в отраслевой лаборатории при СКГМИ были разработаны чертежи и изготовлен опытный образец по известному устройству для задания направления шпуров и скважин (рис. 1). Проходку с применением устройства вели в среднеустойчивой медно-колчеданной руде с коэффициентом крепости пород по шкале проф. М. М. Протоdjаконова  $f = 8-10$ . Шпуры бурили перфоратором ПР 30 К с пневмоподдержкой П-11 и диаметром шпура 42 мм. Шпуры заряжали взрывчатым веществом ВВ аммонит 6 ЖВ с диаметром патрона 36 мм и электрическим взрыванием зарядов электродетонаторами мгновенного действия ЭДМД-0 и короткозамедленного действия ЭДКЗ. Расстояние между донными частями заряда соответствовало линии наименьшего сопротивления заряда (ЛНС) и принималось равным  $a \geq 300$  мм.

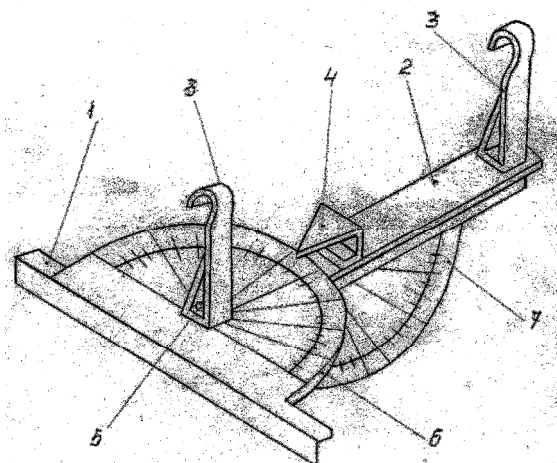


Рис. 1. Устройство для задания направления шпуров и скважин.

Перед бурением шпуров буровую штангу вместе с устройством для заданного направления шпуров и скважин предварительно выводят на заданное направление, поворачивая ее вместе с узлом для измерения горизонтального 1 и вертикального 2 углов и подвешивающим устройством 3, сначала в вертикальной плоскости, фиксируя при этом заданное направление стрелкой, а затем в горизонтальной вокруг оси 5, фиксируя положение штанги.

Поперечный угольник 1 узла для измерения горизонтального угла располагается параллельно плоскости забоя выработки, а само устройство при задании требуемого направления шпуров или скважин должно быть закреплено для исключения возможности перемещения устройства в продольном или радиальном направлении.

После снятия отсчета по горизонтальному  $b$  и вертикальному  $7$  лимбом величин углов, определяющих заданное направление шпуров или скважин, устройство снимают с буровой штанги и приступают к бурению.

При бурении забоя в опытном штреке расстояние между взрываемым и зарядами врубовых шпуров брали равным ЛНС  $a = w$  с обязательным выбором рациональных параметров вертикально-клинового вруба (рис. 2) и призматического вруба – звезда (рис. 3). Из данных таблицы видно, что показатель отбойки объема врубовой полости с применением призматического вруба звезда выше на 0,006 за счет более точного обуривания забоя. Несколько меньший объем врубовой полосы с применением вертикально-клинового вруба объясняется повышением отклонений зарядов клинового вруба за счет наклона их к плоскости забоя.

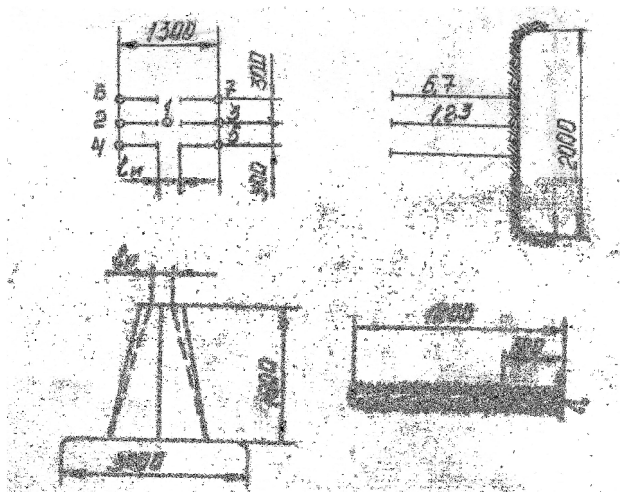


Рис. 2. Схема вертикально-клинового вруба и конструкция заряда.

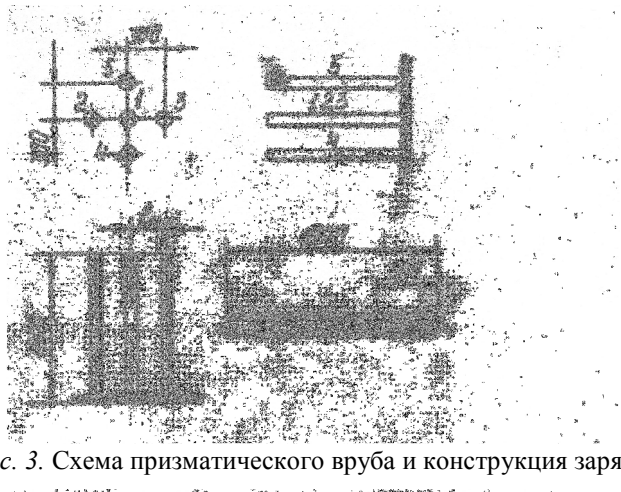


Рис. 3. Схема призматического вруба и конструкция заряда.

Анализ результатов теоретических и патентных исследований и опытные исследования и опытные взрывы, проведенные при проходке выработок,

показал возможность использования известного устройства с обязательным выбором рациональных параметров применительно к конкретным горно-техническим условиям за счет повышения точности обустройства забоя из-за минимальных отклонений шпуров от заданных в плоскости забоя. Однако с увеличением глубины бурения шпуров вертикально клинового вруба особенно наклонно расположенных, точность отклонений шпуров значительно отличается от проектных.

Т а б л и ц а 1

Показатель	Вертикально клиновый вруб	Призматический вруб
Поперечное сечение выработки, м <sup>2</sup>	6,0	6,0
Число врубовых шпуров, шт.	7	5,0
Вес заряда, кг	2,4	6,0
Объем врубовой полости, м <sup>3</sup>	0,157	0,163

Внедрение устройства на Урупском руднике позволило повысить коэффициент использования шпура до  $\eta = 0,80$  с рационально подобранными параметрами БВР и в соответствующих горно-технических условиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лангефорс У., Кильстрем Б. Современная техника взрывной отбойки горных пород. М.: Недра., 1968.
2. Друкованный М. Ф. Механизация взрывных работ. М.: Недра, 1984.



УДК 5-26 621.3; 622

*Проф. КЛИМОВ Б. Г., к.т.н. ХАДОНОВ А. В.,  
асп. ГУРИЕВА Е. В.*

#### **ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ГОРНО-РУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

*На основе анализа тенденций развития буровой горной техники рассматривается возможность и целесообразность разработки многоступенчатых поршневых компрессоров. Сравнительная оценка их выполняется по объемному коэффициенту подачи и относительной работе двигателей на производство сжатого воздуха при адиабатическом и изотермическом циклах.*

В настоящее время рудники России основную часть электроэнергии потребляют для производства сжатого воздуха. Характерными для отрасли могут быть предприятия Северного Кавказа (табл. 1).

**Распределение подземных потребителей по расходу электрической энергии, %**

Предприятие	Потребитель				
	подъемы	вентиляторы	насосы	компрессоры	транспорт
Садонский рудник	20	15	3	60	2
Архонский рудник	12	10	7	70	1
В. Згид, рудник	10	20	-	75	5
Джимидонский рудник	-	10	-	82	8
Урупский ГОК	10	10	5	70	5
Тырныаузский ГОК	3	20	5	62	10

Сжатый воздух на рудниках производят поверхностные компрессорные станции, оснащенные двухступенчатыми поршневыми машинами производительностью от 20 до 100 м<sup>3</sup>/мин на давление 0,8 МПа. В ряде случаев находят применение отечественные винтовые компрессоры 6ВКМ-25/8 или мощные импортные центробежные установки.

Традиционное расположение компрессорных станций на поверхности рудников и централизация снабжения потребителей воздухом имеет положительные особенности, связанные с квалифицированным обслуживанием, оборудования удобством его охлаждения, применением дешевых высоковольтных приводных двигателей. Однако развитие и увеличение глубины горных работ и связанное с этим увеличение объема трубопроводной сети приводят, кроме увеличения утечек воздуха при работе потребителей, к необходимости заполнения трубопроводной сети сжатым воздухом после перерывов в работе рудников. Так, в течение 2-х часов происходит заполнение сети сжатым воздухом после выходных дней на Тырныаузском ГОКе. Это послужило основанием для этого предприятия в оборудовании подземной компрессорной станции отечественным центробежным компрессором 43ВЦ-160/9 производительностью 160 м<sup>3</sup>/мин и давлением 1 МПа с мощностью двигателя 1000 кВт. Моноблочная поставка компрессора в полной заводской готовности, низкая металлоемкость, высокий КПД, сокращение времени на монтаж являются в совокупности с минимизацией утечек и снижением объема сети существенными преимуществами такой системы по сравнению с поверхностными компрессорными станциями.

Увеличение рабочего давления и приближение компрессоров к рабочим машинам обеспечивают интенсификацию процессов бурения шпуров и скважин, что является дополнительным и существенным преимуществом такой системы энергоснабжения горно-рудных предприятий [1].

В мировой практике последних лет можно отметить два направления развития горных буровых машин. С одной стороны, финны, шведы, американцы развивают гидравлическую технику бурения, при которой вообще

отпадает необходимость производства пневмоэнергии. Масляные или водяные насосы высокого давления с электроприводом используются в качестве источников энергии для гидроимпульсной техники бурения. Электрическая энергия тратится экономно и эффективно. Однако значительные трудности связаны с приобретением этой техники, ее габаритами, стоимостью. Наибольшее применение гидравлические буровые машины получили при бурении шпуров на горно-проходческих и очистных работах крупных рудников.

Бурение глубоких взрывных скважин и механизация бурения вертикальных шпуров телескопными перфораторами осуществляется главным образом пока сжатым воздухом. Прогрессивным направлением в мировой практике считается его использование с давлением 1,7; 2,3 и 3,5 МПа. При этом действуют участковые трехступенчатые компрессоры или применяется одноступенчатая забойная дожимная техника. К сожалению, создание буровых машин, использующих воздух с давлением более 0,5 МПа, в России почти прекратилось в постперестроечный период.

Для отечественного горного машиностроения наиболее эффективным направлением развития является использование сжатого воздуха повышенного давления. С целью уменьшения утечек воздуха из сети компрессоры высокого давления должны располагаться на участках в подземных камерах или являться прицепными агрегатами буровых станков. Отечественная промышленность в настоящее время уже выпускает винтовые и поршневые компрессоры малой производительности (до 1 м<sup>3</sup>/мин) на давление 1,3 – 2,5 МПа, поэтому при заявленных потребностях она может получить компрессоры высокого давления с заданными производительностями.

Уже сейчас в России выпускают компрессорные установки типа 4ВУ производительностью 6,8 м<sup>3</sup>/мин на давление в 1,1 МПа и мощностью приводных двигателей 52 кВт. Такие компрессоры могут обслуживать буровые установки с малогабаритными погружными пневмоударниками, а также перфораторы типов ПП и ПТ. Мощные центробежные компрессоры типа 43ВЦ – 160/9 также являются эффективными средствами решения проблемы энергоснабжения буровой техники сжатым воздухом повышенного давления.

Рост рабочего давления компрессора, как показывают расчеты, приводит к увеличению коэффициентов полезного действия агрегатов за счет снижения температуры воздуха в промежуточных холодильниках и уменьшения затрат энергии на сжатие в каждой последующей ступени.

В табл. 2 приведены значения относительного показателя эффективности охлаждения компрессоров  $\beta$  и их объемного коэффициента  $\lambda$ .

Т а б л и ц а 2

**Показатели работы компрессоров,  $\beta/\lambda$**

Рабочее давление, МПа	Число ступеней сжатия		
	2	3	4
0,8	1,10/0,933	1,06/0,962	1,02/0,973
1,7	1,17/0,898	1,08/0,945	1,02/0,965
2,46	1,20/0,876	1,12/0,935	1,07/0,956
3,5	1,21/0,852	1,13/0,924	1,07/0,950



Значение  $\beta$  рассчитано как отношение удельной работы сжатия одного кубометра воздуха при политропическом процессе с показателем  $n = 1,3$  к соответствующей работе компрессора при изотермическом процессе. Характеристика  $\lambda$  показывает степень использования объема, описываемого поршнями первой ступени компрессора. Вредное пространство для всех вариантов принято равным 5 %, при коэффициенте политропы расширения воздуха из вредного пространства равном 1,3. Анализ данных табл. 2 показывает, что увеличение числа ступеней эффективно как за счет снижения расхода энергии на производство сжатого воздуха, так и за счет увеличения производительности компрессоров. Эта тенденция усиливается при росте рабочего давления компрессоров.

Нам представляется рациональным создание поршневых четырехступенчатых шахтных передвижных компрессоров высокого (до 2,5 МПа) или повышенного давления (более 0,6–0,8 МПа). Не исключены и варианты применения винтовых быстроходных компрессоров, которые обладают меньшей материалоемкостью по сравнению с поршневыми машинами. Их недостатком является повышенный шум при работе. Однако использование шумозащитных экранов или специальных камер позволяет решить эту проблему.

Интенсивное выделение тепла при производстве сжатого воздуха для подземных компрессоров является также вторым существенным недостатком этой системы энергоснабжения. Ее усовершенствование возможно за счет сброса тепла в исходящую ветвь шахтной вентиляции или создания специальных охлаждающих устройств (типа водяных завес) для рудников глубокого расположения горных работ, где температурный режим находится на пределе санитарных норм. Отвод горячей воды в изолированных трубопроводах решает эту проблему без увязки с вентиляционными режимами. Весьма перспективным для этих условий является разработка устройств преобразования тепла в холод, например в адсорбционных холодильных установках.

Оригинальное решение проблемы снижения температуры рудничного воздуха для глубоких шахт предлагал в свое время Г. П. Герасименко путем широкого использования пневматической энергии в подземных выработках для вентиляторов местного проветривания, подъемных установок слепых стволов и рудничного водоотлива в дополнение к потребностям буровой техники [2]. Мощные поверхностные компрессоры могли бы для определенных типов рудников снизить температуру рудничного воздуха в горячих забоях без применения кондиционирующих устройств. Однако резкое возрастание удельных затрат на электроэнергию не позволяет считать в настоящее время это направление перспективным.

Анализ мировых тенденций развития горной техники позволяет прогнозировать для отечественного горного машиностроения создание подземных компрессорных станций повышенного давления и соответствующего бурового оборудования. Решение этих задач уменьшит затраты на энергоресурсы за счет их рационального использования, а также позволит повысить производительность труда рабочих и снизить затраты на оплату их труда.

Первый способ решения этих проблем за счет внедрения высокопроизводительной гидравлической буровой техники для российской действительности является менее реальным, так как требует создания соответствующей

машиностроительной базы, разработки техники и технологии производства новых машин. Кроме того, относительно дешевая рабочая сила является спецификой нашей страны, что не способствует разработке дорогих автоматизированных или роботизированных установок. По-видимому, это направление будет развиваться уже после получения результатов совершенствования горной техники и систем ее энергоснабжения, которое базируется на применении пневмоударных буровых машин высокого или повышенного давления с внедрением децентрализации производства сжатого воздуха.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Климов Б. Г., Гильянова Л. Н., Матвеева Л. И.* Оценка производительности станков с погружными пневмоударниками и степень их энергетического совершенства. М.: ГИАБ. 2002.

2. *Герасименко Г. П.* Комплексное использование пневматической энергии при отработке глубоких месторождений. М.: Недра, 1971.



УДК 669.296.715.

*Доц. МИШЕНИНА И. В.*

**РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОЙ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ  
ПРОЦЕССА РАСПАДА ПЕРЕСЫЩЕННЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ В  
БЫСТРОЗАКАЛЕННЫХ СПЛАВАХ СИСТЕМ Al–Co–Zr  
И Al–Fe–Co–Zr**

*Определена эффективная энергия активации, позволяющая рассчитать скорость процесса распада пересыщенных твердых растворов переходных металлов в алюминии, что является важной частью изучения устойчивости этих сплавов.*

Практическое применение упрочняющих быстрозакаленных алюминиевых сплавов тесно связано с их устойчивостью при нагреве. Исследование кинетики распада пересыщенных твердых растворов легирующих компонентов в алюминии, а также определение ее количественной характеристики – эффективной энергии активации, которая позволяет рассчитать скорость процесса распада, является важной частью изучения устойчивости этих сплавов.

Почти все кинетические методы основаны на решении уравнения вида:

$$d_a/d_t = k_0 \exp(-E/RT) f(a), \quad (1)$$

где  $d_a/d_t$  – скорость реакции,  $k_a$  – предэкспоненциальный фактор,  $E_a$  – энергия активации,  $f(a)$  – функция зависимости количества прореагировавшего вещества от времени  $t$ . Для определения параметров в кинетическом уравнении этого вида используют либо серию изотермических измерений при разных температурах, либо данные, полученные с помощью непрерывного нагрева с различными постоянными скоростями.

В случае изотермических измерений при определении величины энергии активации предполагают, что справедливо уравнение Аррениуса [1]:

$$\ln k = -E_a/RT + A,$$

где  $k$  – константа скорости реакции,  $A$  – константа,  $E_a = f(t)$ . Если учесть, что  $k = 1/t$ , где  $t$  – время достижения данной степени превращения при определенной температуре, то получим:  $\ln 1/t = -E_a/RT + A$ . Спрямяя логарифмическую зависимость в координатах:  $\ln 1/t - 1/T$ , получим численное значение энергии активации через угловой коэффициент наклона данной прямой. Кроме того, для расчета величины эффективной энергии активации можно использовать данные метода дифференциально-термического анализа (ДТА). В этом случае основываются на уравнении Киссинджера, которое связывает

различные скорости нагрева сплавов, температуру пика кривой и энергию активации процесса [2]:

$$d(\ln W/T_m^2)/d(1/T_m) = -E/R,$$

где  $W$  – скорость нагрева,  $T_m$  – температура максимума, при котором скорость реакции максимальна. Спрямляя логарифмическую зависимость в координатах:  $\ln W/T_m^2 - 1/T_m$ , получим значение энергии.

В настоящей работе для расчета величины эффективной энергии активации процесса распада пересыщенного твердого раствора Co, Zr и Fe, Co и Zr в Al использовали уравнения Киссинджера и Аррениуса. Для расчета энергии активации по уравнению Киссинджера использовали данные ДТА. Полученные значения ДТА показали слабую зависимость термических эффектов от скорости нагрева, поэтому использование уравнение Киссинджера положительных результатов не дало.

Для получения величин эффективной энергии активации распада пересыщенного твердого раствора (ПТР) в системах Al-Co-Zr и Al-Fe-Co-Zr расчет был проведен по уравнению Аррениуса с использованием дюротрических данных. Изотермические выдержки проводили при 470, 570 и 670 К. Время изотермических отжигов варьировали от 0,3 до 12 ч. Время протекания каждой стадии процесса распада пересыщенных твёрдых растворов переходных металлов в алюминии определяли по положению изломов на кривых "твёрдость – время отжига", построенных по данным дюротрического анализа. За время начала распада пересыщенных твёрдых растворов принимали время, при котором наблюдалось увеличение твёрдости. Выделившиеся фазы идентифицировали с помощью рентгенофазового анализа. Метод сканирующей электронной микроскопии показал образование пересыщенных твёрдых растворов и начало выделения интерметаллидных фаз.

**Значения эффективной энергии активации процесса распада пересыщенных твердых растворов в быстрозакаленных сплавах систем Al-Zr-ПМ (ПМ– Sc, Mo, Nb, Co)**

Состав сплавов, ат. %			Энергия активации, кДж/моль	Литературный источник
Al	Zr	ПМ		
Al	Zr	Sc		
98,9	0,3	0,9	220	4
98,0	0,5	1,5	150	4
Al	Zr	Mo		
99,6	0,1	0,3	37,5	5
99,0	0,3	0,7	35,7	5
Al	Zr	Nb		
99,5	0,1	0,4	27	6
99,0	0,3	0,7	25	6
Al	Zr	Co		
99,4	0,2	0,4	~10	

Согласно результатам проведенного исследования (таблица), значения энергии активации распада ПТР Co, Zr и Fe, Co и Zr очень небольшие, не

превышающие десятка кДж. Устойчивость твердых растворов в тройной системе несколько выше, чем в четверной, так как энергия активации распада ПТР Co и Zr в Al в два раза больше, чем энергия активации распада ПТР Fe, Co и Zr в Al.

Уменьшение величины энергии активации, а значит и термической устойчивости быстрозакаленных сплавов, наблюдается при увеличении числа легирующих компонентов и повышении их концентрации.

Быстрый распад пересыщенных твердых растворов обусловлен легкостью кристаллизации равновесной интерметаллической фазы  $Co_2Al_9$ , что, возможно, связано с большой диффузионной подвижностью атомов легирующих элементов (особенно Co и Fe) [3]. Большое начальное переохлаждение способствует образованию и росту зерен, однако, на некотором удалении от подложки вследствие повышения температуры на фронте кристаллизации возможно обогащение жидкости легирующим компонентом впереди фронта. Оба эти фактора и являются, очевидно, причиной последующей гетерофазной кристаллизации вплоть до завершения у свободной поверхности.

Сравнительный анализ собственных и литературных данных по энергии активации для быстрозакаленных сплавов систем Al – Me – Zr (где Me – Sc, Mo, Nb, Co) показал уменьшение энергии активации в ряду (см. таблицу). Это можно объяснить увеличением диффузионной подвижности атомов третьего компонента переходных металлов в быстрозакаленных сплавах системы Al–Zr.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Flynn J. H., Wall L. A.* General treatment of research of the nft. bur. of stand // A. Phys. & Chem. 1966. v.70 A., №6.
2. *Sauders N.* Calculated stable and metastable phase equilibria in Al–Zr–Li alloys // Z. Metallkunde., 1989, Bd.80, 12.
3. *Мирошниченко И. С., Мирошниченко Г. И.* К вопросу образования сильнопересыщенных твердых растворов. В кн.: Структура и свойства быстрозакаленных сплавов. Днепропетровск, 1988.
4. *Подъякова Е. И.* Фазовый состав и свойства равновесных и быстрозакаленных сплавов алюминия с переходными металлами. Автореф. дис. ... канд. хим. наук. М., 1988.
5. *Темирбаева А. А.* Фазовый состав и свойства равновесных и быстрозакаленных сплавов алюминия с *d*-переходными металлами 4В и 6В групп. Автореф. дис. ... канд. хим. наук. М., 1994.
6. *Толмачева Н. Ю.* Фазовый состав и свойства равновесных и быстрозакаленных сплавов алюминия со скандием цирконием и ниобием. Автореф. дис. ... канд. хим. наук. М., 1994.



*Асп. ТАУТИЕВА М. А. , доц. ГАГИЕВА С. Ч. ,  
асп. ГУТНОВА Н. А. ,асп. ХУБУЛОВ А. Б. ,  
асп. ГАЛИМОВ Ю. Б. , проф. АЛИХАНОВ В. А.*

## **СИНТЕЗ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КООРДИНАЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ РЕНИЯ (V) С ПРОИЗВОДНЫМИ ТИОСЕМИКАРБАЗОНА**

*Получены комплексные соединения рения (V) с диацетил- и дибензоилтио-семикарбазоном в средах галогеноводородных кислот (HCl, HBr) различных концентраций с трехкратной координацией молекулы лиганда.*

Изучение комплексообразования рения (V) с диацетил- и дибензоилтио-семикарбазоном в средах 6 моль/л HCl и 7 моль /л HBr, при соотношении  $H_2[ReO_5]: L = 1: 0,5$  привело к образованию координационных соединений с трехдентатной координацией молекулы лиганда. Наряду с данными элементного анализа данные по измерению молярной электрической проводимости показывают образование соединений с типом электролита 1:1. Кроме того, потенциометрическое титрование галогенид-иона подтверждает его внешне-сферное расположение.

В ИК спектрах хлоридного комплекса этих соединений полосы поглощения при 1670 и 1620  $cm^{-1}$  относятся к  $\nu(C=O)$  карбонильной и  $\nu(C=N)$  азометиновой связям, соответственно, а интенсивные полосы при  $\sim 1580$  и  $\sim 1390$   $cm^{-1}$  относятся к  $\nu(N-C=S)$   $\alpha$  – тиазинного остатка лиганда. Кроме того, при 350 и 318  $cm^{-1}$  для хлоридного и 254 и 221  $cm^{-1}$  для бромидного комплексов наблюдается появление полос поглощения, характерных для  $\nu(Re-Cl)$  и  $\nu(Re-Br)$  соответственно.

При понижении концентрации галогеноводородных кислот до 4 моль/л происходит образование комплексов с оксогидроксо группой. Исследование ИК-спектров этих соединений показали, что ацетилдителио-семикарбазон координирован к атому рения (V) трехдентатно посредством атомов серы, кислорода и азота гидразинового фрагмента. ИК-спектры характеризуются появлением полосы при 725  $cm^{-1}$ , соответствующей  $\nu(Re - OH)$ . В дальней ИК-области появляется одна уширенная полоса для хлоридного комплекса при 328  $cm^{-1}$ , а для бромидного – при 240  $cm^{-1}$ .

Понижение концентрации галогеноводородных кислот до 1 моль/л приводит к образованию биядерных комплексов. Для комплексов подобного типа реализуется октаэдрическая структура с бидентатными [N, S] хелатными лигандами, в которых атомы хлора расположены друг к другу в cis-положении. Данные элементного анализа, кондуктометрии и ИК спектроскопии не противоречат предложенному ранее строению. Характерной особенностью ИК-спектра  $[Re_2O_3L_2Na_4]$  является полоса при 906  $cm^{-1}$ , соответствующая  $\nu(Re=O)$  биядерного комплекса, и появление полосы при 820  $cm^{-1}$ , характерной для  $\nu_{as}(Re-O-Re)$ . В длинноволновой области ИК-спектра на-

блюдается появление полос валентных колебаний Re-Cl при 328 и 350 см<sup>-1</sup> и ν(Re-Br) – при 226 и 250 см<sup>-1</sup>. Это подтверждает предположение о цис-положении атомов галогена в этих молекулах.

Биядерное строение полученного комплекса подтверждено измерением его молекулярной массы методом криоскопии: в нитробензоле – 860 для хлоридного и 1020 для бромидного (рассчитанное значение 924,74 для хлоридного и 1102,54 для бромидного).

Таким образом, нами получены комплексные соединения рения (V) с диацетил- и дибензоилтиосемикарбазоном ((E)-1-(3-оксобутан-2-илиден) тиосемикарбазид), в которых в зависимости от изменения концентрации галогеноводородных кислот (HNaI = Cl, Br) образуются устойчивые координационные соединения с трехдентатной координацией молекулы диацетилтиосемикарбазона или оксогидроксо или биядерные комплексы.

При понижении концентрации галогеноводородных кислот образуются устойчивые оксогидроксо и биядерные комплексы. Состав и строение полученных соединений установлены методами элементного анализа, ИК-, УФ-, ПМР-спектроскопии, кондуктометрии. Проведены термические исследования оксогидроксо комплексов.



УДК 546.821

*Асп. ТАУТИЕВА М. А. , доц. ГАГИЕВА С. Ч. ,  
асп. ГУТНОВА Н. А. ,асп. ХУБУЛОВ А. Б. ,  
асп. ГАЛИМОВ Ю. Б. , проф. АЛИХАНОВ В. А.*

### **НОВЫЕ бис-САЛИЦИЛИДЕНИМИННЫЕ КОМПЛЕКСЫ ТИТАНА В ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ОЛЕФИНОВ**

*Синтезированы комплексные соединения титана с фторсодержащими салицилидениминными лигандами. Изучено каталитическое действие нового титанового феноксииминного комплекса в полимеризации этилена.*

Проблема получения неметаллоценовых комплексов, способных давать чисто олефиновые полимеры стереорегулярного строения, и сополимеры с полярными мономерами с высокой молекулярной массой в последние годы является актуальной и перспективной.

Синтезированы комплексные соединения титана с фторсодержащими салицилидениминными лигандами. Исследована их каталитическая активность в полимеризации этилена в среде толуола и гептана с полиметилалюмооксидом (МАО) в качестве сокатализатора. Показано, что каталитическая система  $TiCl_2\{\eta^2-1-[C(H)=N-2,3,5,6-тетрафторфенил]-2-O-3,5-ди-{}^tBu-C_6H_4\}_2/MAO$  проявляет активность, сопоставимую с активностью наиболее эффективных металлоценовых комплексов и координационных соединений хлорида титана с индолил-иминными и фенокси-иминными лигандами. При этом высокая

активность достигается при низком мольном отношении  $Al_{MAO}/Ti = 400-600$ . Полиэтилен, формирующийся на данной каталитической системе, линейный, имеет высокую молекулярную массу ( $M_w \sim 1500000$  г·моль<sup>-1</sup>). Получены образцы полиэтилена, температура плавления которых составляет 142° С. Показано, что комплекс состава  $TiCl_2\{\eta^2 - 1 - [C(H) = N-2,3,5,6-тетрафторфенил]-2-O-3,5-ди-{}^iBu-C_6H_4\}_2$  из смеси сомономеров этилен/гексен-1 избирательно полимеризует этилен. При этом стабильность каталитического действия системы  $TiCl_2\{\eta^2 - 1 - [C(H) = N-2,3,5,6-тетрафторфенил]-2-O-3,5-ди-{}^iBu-C_6H_4\}_2/MAO$  возрастает в присутствии гексена-1. Аналогичная каталитическая система проявляет низкую активность в полимеризации пропилена в среде жидкого мономера и приводит к образованию высокомолекулярного атактического полипропилена.

Изучено каталитическое действие нового биядерного титанового феноксииминного комплекса в полимеризации этилена и пропилена. Исследована температурная зависимость скорости полимеризации синтезированных соединений с MAO в качестве сокатализатора.



669.775-52

Ст. пр. ДЮНОВА Д. Н.

### **О ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЦИНКОВЫХ ОГАРКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ**

*Показана возможность использования методов теории статистических решений при создании системы оптимального управления процессом выщелачивания цинковых огарков с использованием косвенных показателей.*

В работе [1] проведен анализ процесса выщелачивания цинковых огарков как объекта управления. Рассмотрено функционирование подсистем нейтрального и кислого выщелачивания, характер возмущающих воздействий и возможность получения информации о качестве ведения процесса в ходе его протекания. Показано, что специфика подхода к созданию системы управления и выбору метода управления процессом определяется рядом его особенностей, к числу которых относятся: стохастический характер возмущений, неполнота информации о составе и свойствах сырья, получаемого продукта, проблема оценки текущих значений технико-экономических показателей, необходимость использования для управления косвенных показателей. Для решения поставленной задачи рассмотрим схему автоматической системы управления процессом выщелачивания, показанную на рисунке.

Технологический объект управления (ОУ) условно представлен в виде частей 1 и 2, к которым приложены возмущающие воздействия  $z_1$  и  $z_2$ . Контролируемые и неконтролируемые промежуточные параметры обозначены соответственно  $w$  и  $f$ . В качестве выходного параметра  $x$  рассматривается степень извлечения цинка в раствор.



Косвенные параметры  $w$ , к числу которых относится концентрация серной кислоты в пульпе, поступающей на нейтральную стадию выщелачивания, и в отработанном электролите, обеспечивающем выщелачивание сгущенного нейтрального продукта в кислой ветви, контролируются автоматически. Косвенные показатели статистически связаны с выходным сигналом объекта –  $x$ . Параметры  $x$  и  $w$  измеряются со случайными погрешностями  $h$  и  $h'$ . На управляющие воздействия  $u$  и  $u'$  накладываются помехи случайного характера  $g$  и  $g'$ . Все переменные рассматриваются в дискретные моменты времени  $0, 1, 2, \dots, k, \dots, n$  с интервалом  $\Delta t$ . Выходной параметр  $x$  доступен для измерения только в моменты времени  $0, \tau, 2\tau, \dots$ , где  $\tau \geq 1$ .

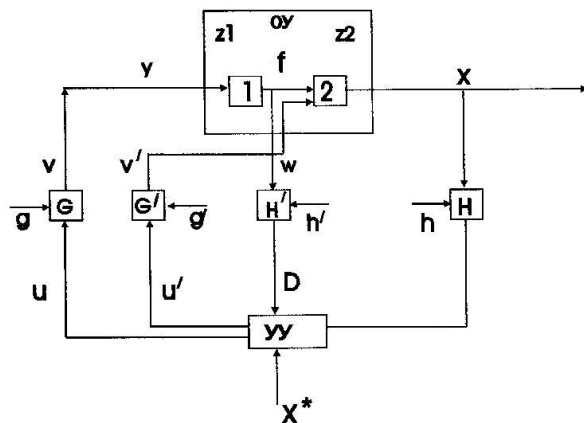


Схема автоматической системы.

Синтез оптимальной системы автоматического управления сводится к разработке такого алгоритма управляющего устройства УУ, которое бы наилучшим образом управляло объектом ОУ. Управляющее устройство принимает случайное решение и может выдавать на своем выходе случайную величину  $\bar{u}$  в момент времени  $t$ . Вероятностная характеристика  $\Gamma\{u(t)\}$  этой величины зависит некоторым оптимальным способом от всей полученной ранее управляющим устройством информации и действий, ранее предпринятых им самим. Поэтому необходимо определить структуру и правила решения  $\Gamma\{u(t)\}$  такого вычислительного устройства, которое бы на основании информации о ходе процесса и, принятых ранее, действий по управлению объектом, находило его оптимальную стратегию. Таким образом, рассматривается байесова задача, в которой заданы априорные вероятностные распределения ряда характеристик процесса, содержащих неполную информация об объекте управления.

Полагаем, что объект не имеет памяти. Структура объекта задается следующими функциями:

$$w_k = F_1[v_k, z_1(\mu, k), k], \quad (1)$$

$$f_k = f[v_k, z_1(\mu, k), k], \quad (2)$$

$$x_k = F_2[w_k, f_k, v'_k, z_2(\lambda, k), k]. \quad (3)$$

Следовательно, из (1–3) можно получить:

$$x_k = x_k(v_k, v'_k, \mu, \lambda, k) = x_k(V_k, \mu, \lambda, k). \quad (4)$$

Исходя из особенностей подсистем нейтрального и кислого выщелачивания, согласно общей методике, определена структура и правила решения УУ, которое бы на основе изучения априорной информации об объекте определяло управляющее воздействие, оптимальное в смысле критерия минимума полного риска [2].

Значение функции удельного риска в  $k$ -ом шаге при фиксированном задающем воздействии  $x^*$ :

$$R_k = M\{W_k | x_k^*\} = \int_{\Omega(\mu, \lambda, u_k, u'_k, v_k, v'_k, d_{k-1}, y_i)} W_k P(\mu, \lambda, \bar{u}_k, \bar{u}'_k, v_k, v'_k, \bar{d}_{k-1}, \bar{y}_i) d\Omega, \quad (5)$$

где  $W_k = W[x_k^*, k, x_k(V_k, \mu, \lambda, k)] = W(x_k^*, k, V, \mu, \lambda)$ ;  $\bar{u}_k, \bar{u}'_k, \bar{v}_k, \bar{v}'_k, \bar{d}_{k-1}, \bar{y}_i$  – временные векторы.

Получено, что оптимальная стратегия управляющего устройства является регулярной, а решающие функции  $\Gamma_k$  представляют собой дельта-функции:

$$\Gamma_k = P(U_k | \bar{u}_{k-1}, \bar{u}'_{k-1}, \bar{d}'_{k-1}, \bar{y}_j, x_k^*) = \delta(U_k - U_k^*). \quad (6)$$

Данный алгоритм оптимального управления способен функционировать в условиях неполной информации об объекте, использовать для управления некоторые промежуточные переменные, статистически связанные с выходным сигналом. При этом в процессе работы эта связь уточняется за счет периодического измерения выходных параметров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дюнова Д. Н. К вопросу создания системы управления процессом выщелачивания цинковых огарков // Научные труды СКГТУ, вып. 12, 2005.
2. Фельдбаум А. А. Основы теории оптимальных автоматических систем. М.: Наука, 1966.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИДЕАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПАКЕТА ПРОГРАММ MathCAD

*Рассмотрены вопросы моделирования динамики химических реакций в аппаратах идеального смешения и идеального вытеснения. Приведены программы расчета в среде MathCAD и получены графики переходных процессов.*

Для моделирования динамики процессов в реакторах смешения или вытеснения, которые вызваны изменением параметров потока на входе, применяют различные численные и аналитические методы расчета [1]. Использование пакета прикладных программ MathCAD [2] для определения показателей исследуемого объекта во время переходного процесса значительно сокращает время программирования и позволяет весьма быстро и наглядно представить статические и динамические режимы работы идеальных реакторов.

Ранее было рассмотрено [3] решение задачи расчета оптимальных стационарных условий проведения процесса для реактора идеального смешения или вытеснения. Используя сделанные в этой работе выводы, применим вычислительные возможности программы MathCad для определения концентраций веществ в реакторе во время переходного процесса.

Вещество  $A$  подают на вход реактора в виде раствора с концентрацией  $C_{A0}$  (кмоль/м<sup>3</sup>) в количестве  $F_{A0}$  (кмоль/с), а вещество  $B$  поступает в реактор в кристаллической форме в количестве  $F_{B0}$ . Вещество  $B$  растворяется без изменения объема реакционной смеси. Схема потоков приведена на рис. 1, на котором (и в расчетах) указаны: римскими цифрами I – узел смешения потоков; II – реактор, нижним индексом 0 обозначены параметры потока: на входе в реактор (0) и на выходе из реактора (1), без индекса – параметры потоков внутри реактора;  $v$  – объемная скорость потока (м<sup>3</sup>/с),  $V$  – объем реактора (м<sup>3</sup>).

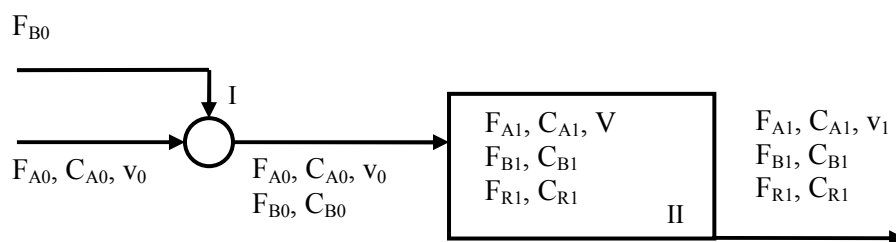


Рис. 1. Основные параметры потоков в реакторе.

В реакторе протекает простая химическая реакция получения вещества  $R$ :



Скорость этой реакции в изотермических условиях описывается дифференциальным уравнением [3]:

$$r_A = -KC_{A0}(C_{B0} - (C_{B0} + C_{A0})X_A - C_{A0}X_A^2), \quad (2)$$

где  $X_A$  – степень превращения вещества  $A$  внутри реактора,  $r_A$  – скорость химического превращения вещества (кмоль/с·м<sup>3</sup>),  $K$  – константа скорости.

Кинетику процессов, расходование реагентов  $A$  и  $B$  и накопление продукта  $R$  можно описать с помощью системы дифференциальных уравнений [4]:

$$\begin{cases} \frac{dC_A}{d\tau} = -\frac{v}{V}(C_A - C_{A0}) + r_A, \\ \frac{dC_B}{d\tau} = -\frac{v}{V}(C_B - C_{B0}) + r_A, \\ \frac{dC_R}{d\tau} = -\frac{v}{V}(C_R - C_{R0}) - r_A. \end{cases} \quad (3)$$

Любые изменения входных параметров системы ( $C_{A0}$ ,  $C_{B0}$ ,  $v$ ) приведут к возникновению переходного процесса, протекающего в системе до установления нового равновесного состояния. Расчет переходного процесса в реакторе идеального смешения при ступенчатом изменении объёмной скорости подачи вещества  $v(t)$  приведен в программном модуле  $A$  (рис. 2). В этом модуле задают начальные условия процесса до возмущения на входе. Если скорость потока в реакторе  $A$  уменьшается в «а» раз по сравнению со скоростью в момент времени  $t_1$  при неизменном потоке вещества  $B$  на входе в реактор, то начинается переходной процесс. Система уравнений (2) решается методом Рунге-Кутты с помощью встроенной функции “Rkadapt” [2].

Графики изменения концентраций веществ  $A$ ,  $B$  и  $R$  в реакторе изображены на рис. 3.

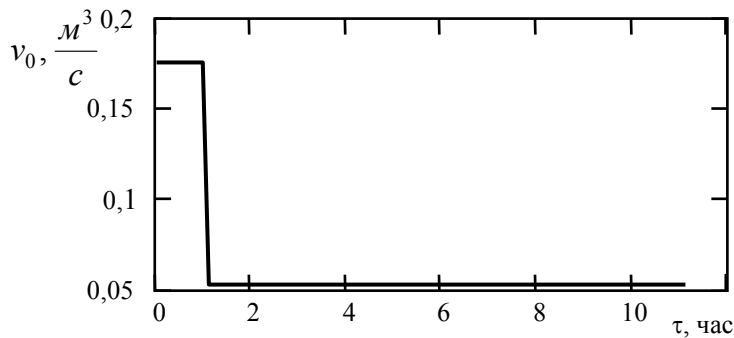


Рис. 2. Ступенчатое изменение скорости потока  $v_0$  на входе в реактор идеального смешения.

В результате расчета получены значения переменных, характеризующие новое стационарное состояние:

- объёмная скорость потока вещества через реактор 0,0525 м<sup>3</sup>/с;

- концентрации веществ в реакторе, кмоль/м<sup>3</sup>:  $C_A = 0,0115$ ,  $C_B = 0,0251$ ,  $C_R = 0,1485$ ;

**Модуль А**

$C_{A0} := 0.16$      $C_{B0} := 0.12$      $C_{R0} := 0$      $j := 0..100$      $a := 0.3$   
 $F_{A0} = 0.028$      $F_R := 0.012$      $X_{A1} := \frac{F_R}{F_{A0}}$      $X_{A1} = 0.4286$   
 $vf := \frac{F_{A0}}{C_{A0}}$      $vf = 0.175$      $V_r := 300$      $F_A(t) := v(t) \cdot C_{A0}$      $K := 0.009$   
 $r_A(a, b) := -K \cdot a \cdot b$      $t_j := j \cdot 400$      $F_{B0} := vf \cdot C_{B0}$      $C_{B0}(t) := \frac{F_{B0}}{v(t)}$   
 $C_0 := \begin{bmatrix} C_{A0} \cdot (1 - X_{A1}) \\ C_{B0} - C_{A0} X_{A1} \\ C_{A0} \cdot X_{A1} \end{bmatrix}$      $t1 := \begin{pmatrix} 0 \\ 4000 \\ 40000 \\ 10 \end{pmatrix}$      $v(t) := \begin{cases} vf & \text{if } t1_0 \leq t < t1_1 \\ a \cdot vf & \text{if } t1_1 \leq t \leq t1_2 \end{cases}$   
 $dif(t, a) := \begin{bmatrix} -\frac{v(t)}{V_r} \cdot (a_0 - C_{A0}) + r_A(a_0, a_1) \\ -\frac{v(t)}{V_r} \cdot (a_1 - C_{B0}(t)) + r_A(a_0, a_1) \\ -\frac{v(t)}{V_r} \cdot (a_2 - C_{R0}) - r_A(a_0, a_1) \end{bmatrix}$   
 $z := Rkadapt(C_0, t1_1, t1_2, 90, dif)$      $C := \begin{cases} \text{for } u \in 0..9 \\ \text{for } j \in 0..2 \\ c_{u,j} \leftarrow C_{0,j} \\ \text{for } u \in 10..100 \\ \text{for } j \in 0..2 \\ c_{u,j} \leftarrow z_{u-10,j+1} \end{cases}$   
 $i := 0..2$      $vf \cdot a = 0.0525$      $C_{100,i} = \begin{matrix} 0.0115 \\ 0.251 \\ 0.1485 \end{matrix}$      $X_A := \frac{C_{100,2}}{C_{A0}}$   
 $X_A = 0.9281$

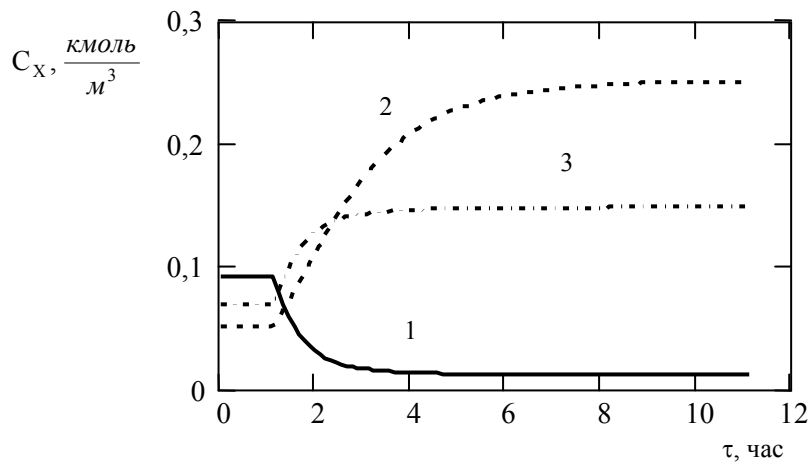


Рис. 3. Изменение концентраций веществ в реакторе идеального смешения, вызванное ступенчатым воздействием на входе. 1 –  $C_A$ , 2 –  $C_B$ , 3 –  $C_R$ .

Взаимное влияние изменения концентрации вещества  $B$  во входном потоке  $C_{B0}$  и концентрации вещества  $A$  внутри реактора  $C_A$  обусловили большее время переходного процесса по веществу  $B$ , чем по  $A$ .

Распределение концентраций веществ внутри реактора идеального вытеснения получаем, решая уравнение материального баланса [2] для бесконечно малого объема  $dV$ :

$$\frac{dX_A}{dV} = -\frac{r_A}{F_{A0}}. \quad (4)$$

Подставив уравнение скорости реакции (2) в уравнение (4), получим зависимость степени превращения от объема:

$$\frac{dX_A}{dV} = \frac{KC_{A0}(C_{B0} - (C_{B0} + C_{A0})X_A - C_{A0}X_A^2)}{F_{A0}}. \quad (5)$$

Задаем возмущение на входе в виде изменения потока  $F_{B0}$  и соответственно концентрации  $C_{B0}$  в «а» раз от начальной. Это учитывается функцией  $CB0(t)$  в модуле  $B$ . Возмущение на входе в реактор вызывает ступенчатое изменение концентрации внутри реактора на расстоянии  $l$  от начала (рис. 4). Выразим зависимость объема от длины реактора и скорости подачи реакционной смеси через уравнение:

$$V(l) = lS = v_0 t, \quad (6)$$

где  $t$  – время от начала переходного процесса,  $S$  – поперечное сечение реактора.

Разбив реактор на достаточно большое количество зон ( $n = 100$ ), определяем зоны, охваченные переходным процессом в момент времени  $\tau$ , с помощью функции  $m(\tau)$  в модуле  $B$ . Если время переходного процесса превышает время пребывания вещества в реакторе  $t_u$  или задается такое время, когда переходной процесс еще не наступил, то функция  $m(\tau)$  возвращает полное количество зон в моделируемом реакторе.

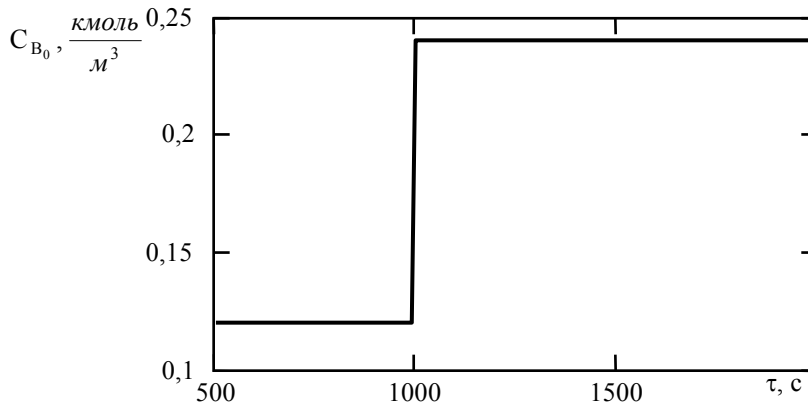


Рис. 4. Изменение концентрации вещества  $B$  на входе в реактор вытеснения вызванное увеличением потока  $F_{B0}$ .

Необходимо определить начальные условия для каждой зоны. С помощью функции "Rkadapt" [1] в программном модуле  $B$  производится интегрирование уравнения (5), которое задано в виде функции  $\text{difv}(\mathbf{v}, \mathbf{x})$ . В результате получаем изменение степени превращения реагента  $A$  по всему объему реактора вытеснения. Затем определяем концентрации веществ  $A$ ,  $B$  и  $R$ , соответствующие расчетной степени превращения во всех зонах, согласно стехиометрическим соотношениям уравнения (1):

$$\begin{cases} C_A^k = C_{A0} (1 - X_A^k), \\ C_B^k = C_{B0} - C_{A0} X_A^k, \\ C_R^k = C_{A0} X_A^k, \end{cases} \quad (7)$$

где  $k$  — индекс соответствует зоне реактора, для которой проводилось интегрирование.

Графическое изображение рассчитанных изменений концентраций веществ по объему реактора в стационарном режиме до начала переходного процесса показано на рис. 5.

**Модуль В**

$$C_{B0} := 0.12 \quad C_{R0} := 0 \quad V_L := 200 \quad vf := 0.2 \quad a := 2$$

$$t_u := V_L \div vf \quad t_u = 1 \times 10^3$$

$$t2 := \begin{pmatrix} 0 \\ 1000 \\ 10000 \\ 10 \end{pmatrix} \quad n := \frac{t_u}{t2_3} \quad CB0(t) := \begin{cases} C_{B0} & \text{if } t2_0 \leq t < t2_1 \\ a \cdot C_{B0} & \text{if } t2_1 \leq t \leq t2_2 \end{cases}$$

$$\text{difv}(v, x) := \frac{K \cdot C_{A0} \cdot [C_{B0} - (C_{A0} + C_{B0}) \cdot x + C_{A0} \cdot x^2]}{F_{A0}}$$

$$j := 0..n \quad k_j := j \quad i := 0..150 \quad t_i := 500 + i \cdot 10 \quad n := \max(k)$$

$$m(\text{tau}) := \begin{cases} \text{if } t2_1 \leq \text{tau} < t_u + t2_1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} \text{for } j \in 1..n \\ \quad \text{break if } \text{tau} \leq j \cdot t2_3 + t2_1 \\ \quad j \end{array} \right. \\ n \text{ otherwise} \end{cases}$$

$$\text{tau} := 0 \quad dV := \frac{V_L}{\max(k)} \quad V_{Tj} := j \cdot dV$$

$$m(\text{tau}) = 100 \quad s := 0..m(\text{tau}) \quad C_{B0} := CB0(\text{tau}) \quad C_{B0} = 0.12$$

$$V_s := s \cdot dV \quad V_t := m(\text{tau}) \cdot dV \quad X := \text{Rkadapt}(0, 0, V_t, m(\text{tau}), \text{difv})$$

$$C^{(s)} := \begin{bmatrix} C_{A0} \cdot (1 - X_{s,1}) \\ C_{B0} - C_{A0} \cdot X_{s,1} \\ C_{A0} \cdot X_{s,1} \end{bmatrix}$$

Чтобы рассчитать изменение концентрации веществ внутри реактора, необходимо задать время от начала воздействия на входе, меньшее времени пребывания, и повторить расчет для зон, охваченных переходным процессом, в модуле С. В результате получим ступенчатое изменение концентраций веществ *A*, *B* и *R* в объеме реактора, изображенное на рис. 6.



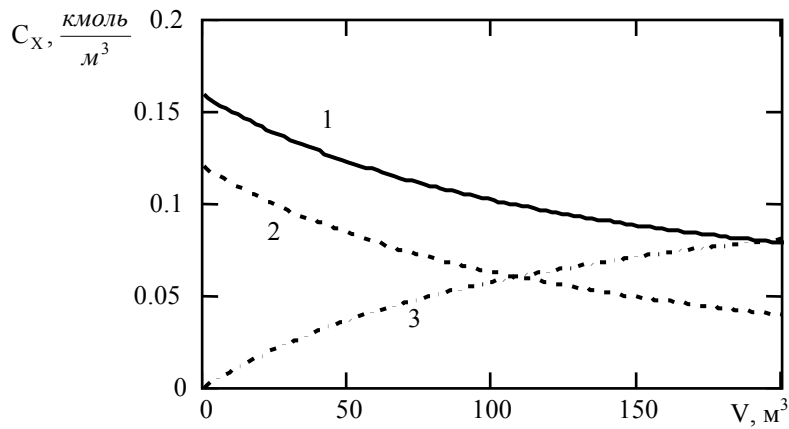


Рис. 5. Распределение концентраций веществ по объему реактора вытеснения в стационарном режиме. 1 –  $C_A$ , 2 –  $C_B$ , 3 –  $C_R$ .

**Модуль С**

$\tau := 1400$        $m(\tau) = 40$      $q := 0..m(\tau)$   
 $C_{B0} := C_{B0}(\tau)$      $C_{B0} = 0.24$      $V_t := m(\tau) \cdot dV$      $V_t = 80$

$$\text{difv}(v, x) := \frac{K \cdot C_{A0} \cdot [C_{B0} - (C_{A0} + C_{B0}) \cdot x + C_{A0} \cdot x^2]}{F_{A0}}$$

$X := \text{Rkadapt}(0, 0, V_t, m(\tau), \text{difv})$        $C^{(q)} := \begin{bmatrix} C_{A0} \cdot (1 - X_{q,1}) \\ C_{B0} - C_{A0} \cdot X_{q,1} \\ C_{A0} \cdot X_{q,1} \end{bmatrix}$

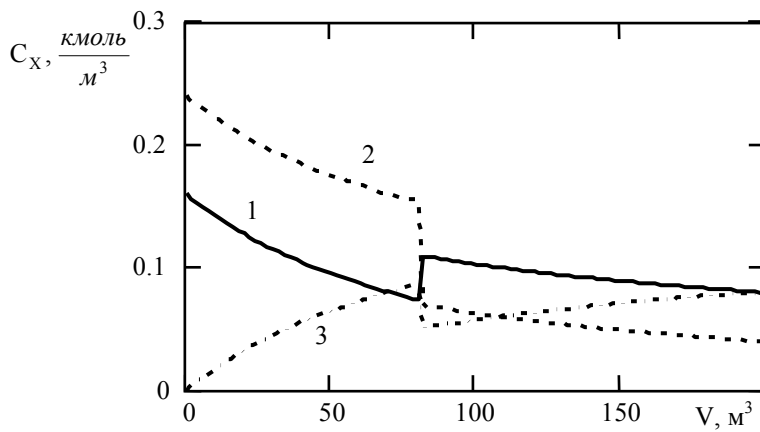


Рис. 6. Изменение концентраций веществ в объеме реактора вытеснения в результате ступенчатого входного воздействия. 1 –  $C_A$ , 2 –  $C_B$ , 3 –  $C_R$ .

Приведенные методы моделирования работы идеальных реакторов смешения и вытеснения в динамическом режиме могут быть использованы для оценки изменения параметров технологических процессов во времени, а также для изучения возможностей управления этими процессами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дудников Е. Г., Балакирев В. С., Кривосунов В. Н., Цирлин А. М. . Построение математических моделей химико-технологических объектов. Л.: Химия, 1970.
2. MATHCAD 6.0 PLUS. Финансовые, инженерные и научные расчёты в среде Windows 95. /Перевод с англ. – М.: Информационно-издательский дом “Филинь”, 1996.
3. Зароченцев В. М., Старикова Т. В. Оптимизация статических характеристик идеальных реакторов с использованием пакета программ MathCad // Цветная металлургия. 2005. №3.
4. Закгейм А. Ю. . Введение в моделирование химико-технологических процессов. М.: Химия, 1973.



УДК 542.6:546.6

*Проф. ВОРОПАНОВА Л. А., асп. ЯКОВЛЕВА В. Н.*

#### **ИЗВЛЕЧЕНИЕ МЕДИ И ЦИНКА ИЗ СУЛЬФАТНЫХ РАСТВОРОВ**

*При комнатной температуре исследована экстракция ионов меди и цинка из водных растворов смесью олеиновой кислоты и триэтанолamina. Определены оптимальные параметры процесса. Показана возможность селективного извлечения ионов меди из водных растворов солей цинка.*

Известные методы [1] переработки медно-цинковых концентратов включают следующие процессы. Пирометаллургическая переработка осуществляется путём плавки концентрата в отражательной печи на медный штейн и цинковый шлак. Недостатком способа является многостадийность процесса, использование сложного оборудования и риск экологического загрязнения окружающей среды. Гидрометаллургические способы селективного извлечения меди из цинковых концентратов осуществляется электролитически, сорбционно, восстановлением с помощью водорода, цементацией на цинке. Недостатками способов являются большой расход реагентов и низкая производительность.

В предлагаемой работе даны результаты экстракции ионов меди и цинка из водных растворов. В качестве экстрагента использовали смесь триэтанолamina, олеиновой кислоты и разбавителя (керосина, бензина или машинного масла), которые смешивали в объёмном соотношении ТЭА:ОЛК:РЗБ = 6:12:82.

Экстрагент добавляли к исходному раствору сульфатов меди и/или цинка объемом  $190 \text{ см}^3$  в количестве  $10 \text{ см}^3$  (отношение органической и водной фаз  $O:B = 1:19$ ). Перемешивание и поддержание заданного значения pH осуществляли до тех пор, пока в дальнейшем кислотно-основные характеристики системы изменялись незначительно. Органическую фазу отделяли от водной, в которой определяли величину pH и остаточную концентрацию металлов. Для поддержания заданного значения pH раствора в процессе экстракции в качестве нейтрализаторов применяли растворы щелочи NaOH или кислоты  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Используя значения концентраций металла в водном растворе исходном и после экстракции, рассчитывали коэффициент распределения металла  $D$  между органической и водной фазами и коэффициент разделения  $\beta$  между медью и цинком.

Исследованиями из растворов сульфата меди и из растворов смеси солей сульфатов цинка и меди с применением в качестве экстрагента смеси олеиновой кислоты и триэтаноламина в машинном масле [2], а также из растворов сульфата цинка с тем же экстрагентом (разбавители – бензин, керосин и машинное масло) [3] установлено, что объемы органической и водной фаз изменяются по сравнению с исходными незначительно: объем органической – не изменяется, а водной – в пределах 0,8–1,0.

Концентрация исходных индивидуальных растворов сульфатов металлов составила,  $\text{мг/дм}^3$ : 500 Cu, 500 Zn. Концентрация исходных растворов смеси сульфатов металлов составила,  $\text{мг/дм}^3$ : 350 Cu, 350 Zn.

Даны зависимости коэффициентов распределения  $D$  (рис. 1, 2) и разделения  $\beta$  (рис. 3) от величины pH растворов при экстракции из индивидуальных водных растворов (рис. 1) или из водных растворов смеси (рис. 2, 3) сульфатов меди и цинка.

Из данных рис. 1 можно сделать следующие выводы. Экстракция меди осуществляется при  $\text{pH} = 4\text{--}10$ , лучшие результаты получены при  $\text{pH} = 6\text{--}9$ , коэффициент распределения  $D = 100\text{--}300$  при времени экстракции 1–5 мин. При  $\text{pH} > 10$  в течение суток не происходило разделения фаз на органическую и водную. керосин бензин машинное масло

Экстракция цинка осуществляется при  $\text{pH} = 5\text{--}10$ , лучшие результаты получены при  $\text{pH} = 7\text{--}10$ , коэффициент разделения  $D = 10\text{--}50$  при времени экстракции 10–120 мин. При  $\text{pH} > 10$  в течение суток не происходило разделения фаз на органическую и водную, а с течением времени выделяется осадок. Разбавитель влияет на время экстракции, наибольшее время экстракции наблюдается при использовании машинного масла.

Из данных рис. 2 (экстракция из растворов смеси солей) можно сделать следующие выводы. Экстракция меди осуществляется при  $\text{pH} = 4\text{--}10$ , лучшие результаты получены при  $\text{pH} = 6\text{--}7$ , коэффициент распределения  $D = 90\text{--}330$  при времени экстракции 4–5 мин.

Экстракция цинка осуществляется при  $\text{pH} = 5\text{--}10$ , лучшие результаты получены при  $\text{pH} = 6\text{--}10$ , коэффициент распределения  $D = 10\text{--}60$  при времени экстракции 4–5 мин.

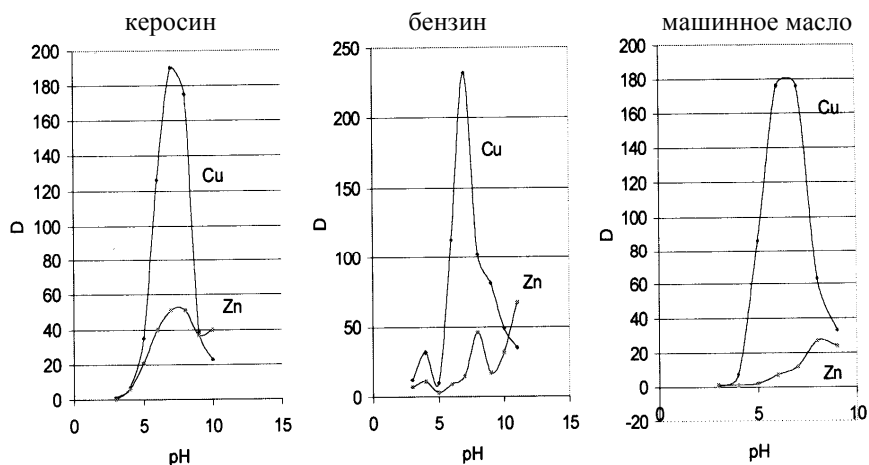


Рис. 1. Зависимость коэффициентов распределения  $D$  от величины рН раствора при экстракции из индивидуальных водных растворов сульфатов меди или цинка.

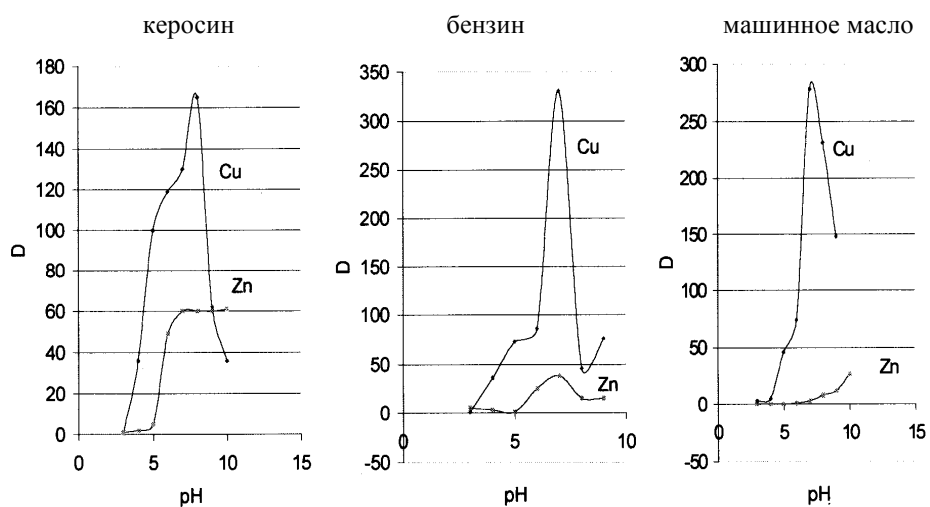


Рис. 2. Зависимость коэффициентов распределения  $D$  от величины рН раствора при экстракции из водных растворов смеси сульфатов меди и цинка

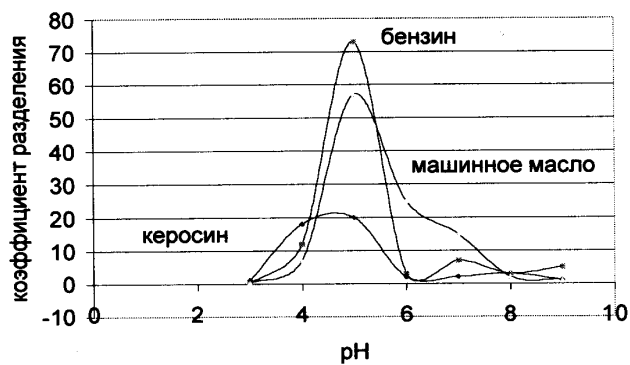


Рис. 3. Зависимость коэффициента разделения  $\beta$  меди и цинка от величины рН раствора при экстракции из водных растворов смеси сульфатов меди и цинка.

Из данных рис. 3 можно сделать следующие выводы. При  $pH = 4-7$  коэффициент разделения  $\beta = 10-70$  свидетельствует о возможности селективного извлечения ионов меди из водных растворов сульфата цинка. Лучшие показатели селективного извлечения меди получены при использовании в качестве разбавителей бензина и машинного масла.

#### ВЫВОДЫ

1. Экстракция ионов меди из раствора сульфата цинка смесью олеиновой кислоты и триэтаноламина может быть использована для селективного извлечения меди.

2. Данный способ экстракции может быть использован при переработке технологических растворов металлургического производства, а также сточных вод промышленных предприятий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Зайцев В. Я., Маргулис Е. В.* Металлургия свинца и цинка. М., Металлургия, 1985. С. 258-259.

2. *Величко Л. Н.* Экстракционное извлечение и разделение ионов металлов из водных растворов смесью олеиновой кислоты и триэтаноламина. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Владикавказ. 1999.

3. Патент 2229526 (РФ). Способ экстракции ионов цинка из водных растворов// Л. А.Воропанова, В. Д. Дударникова 2004.



УДК 542.67

*Д. т. н. ПЕТРОВ Ю. С., д. т. н. ВОРОПАНОВА Л. А.*

#### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИЛЬТРОВАНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ ПОЛИДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ**

*Предложены способы эффективного разделения фаз с одновременным фракционированием дисперсной фазы суспензий и эмульсий, приведены схемы каскадных способов фильтрации, проанализированы их особенности и возможные области применения.*

Для разделения неоднородных полидисперсных систем используются различные способы как, например, разделение фаз в поле центробежных сил центрифугированием, фильтрование с использованием пористых перегородок под действием разности давлений и др. [1]. Недостатками этих способов являются длительность процесса, отсутствие четкой поверхности раздела между разделяющимися фазами, особенно при малых концентрациях одной из фаз, закупоривание пор фильтровальной перегородки при разделении суспензий с относительно небольшой концентрацией твердой фазы и др.

В работе [2] авторами изложен способ фильтрования под действием разности давлений на фильтрующей поверхности, при котором осуществляют каскадное фильтрование с одновременным фракционированием дисперсной фазы полидисперсной системы путём последовательного многоступенчатого уменьшения размера пор, каскадно расположенных по пути движения фильтруемых дисперсных систем фильтрующих поверхностей. К недостаткам конструкции следует отнести постоянство разности давлений для любой фильтрующей поверхности каскада, отсутствие также возможности фракционирования в процессе фильтрования. Таким образом, задача создания способа быстрого и глубокого разделения фаз с одновременным фракционированием дисперсной фазы суспензий и эмульсий остаётся актуальной.

Этот технический результат достигается тем, что каскадное фильтрование с одновременным фракционированием дисперсной фазы суспензий и эмульсий под действием разности давлений на фильтрующей поверхности осуществляют путем последовательного многоступенчатого уменьшения размера пор каскадно расположенных по пути движения фильтруемых дисперсных систем фильтрующих поверхностей; на отдельных ступенях фильтрации предусмотрено перемешивание фильтруемых дисперсных систем для поддержания их однородности; а для создания условий самоочистки фильтрующей поверхности сообщается вибрация.

На рис. 1–6 сущность способа показана схемами каскадного способа фильтрации, где 1 – емкость с исходной суспензией; 2, 3, 4 – последовательно соединенные резервуары; 5, 6, 7 – фильтрующие поверхности с последовательным ступенчатым уменьшением размера пор для грубой (5), средней (6) и мелкой (7) фракций дисперсной фазы; 8, 9, 10 – отверстия для удаления дисперсной фазы (осадка или масляной фазы и т.п.); 11 – выходная труба очищенного фильтрата; 12 – смешивающее устройство; 13 – вибратор;  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$  – разность уровней жидкости в резервуарах, создающая давление на фильтрующие поверхности.

На рис.1 движение фильтрующейся системы осуществляется сверху вниз, давление на фильтрующие поверхности увеличивается ступенчато от фильтра грубой очистки (5) до фильтра тонкой очистки (7).

На рис.2 движение фильтрующейся системы осуществляется снизу вверх, давление на фильтрующие поверхности увеличивается ступенчато от фильтра грубой очистки (5) до фильтра тонкой очистки (7).

На рис.3 и 4 движение фильтрующейся системы осуществляется сверху вниз, затем – снизу вверх, с увеличивающимся давлением на фильтрующие поверхности ступенчато от фильтра грубой очистки (5) до фильтра тонкой очистки (6).

На рис. 5 движение фильтрующейся системы осуществляется снизу вверх, давление на фильтрующие поверхности снижается ступенчато от фильтра грубой очистки (5) до фильтра тонкой очистки (7).

На рис. 6 движение фильтрующей системы осуществляется снизу вверх, давление на все фильтрующие поверхности одинаково.

Способы, приведенные на рис. 1–6, и их комбинирование позволяют с заданной точностью разделять дисперсную фазу и дисперсионную среду, а для полидисперсной системы осуществлять фракционирование с определением относительного содержания заданных фракций в системе.

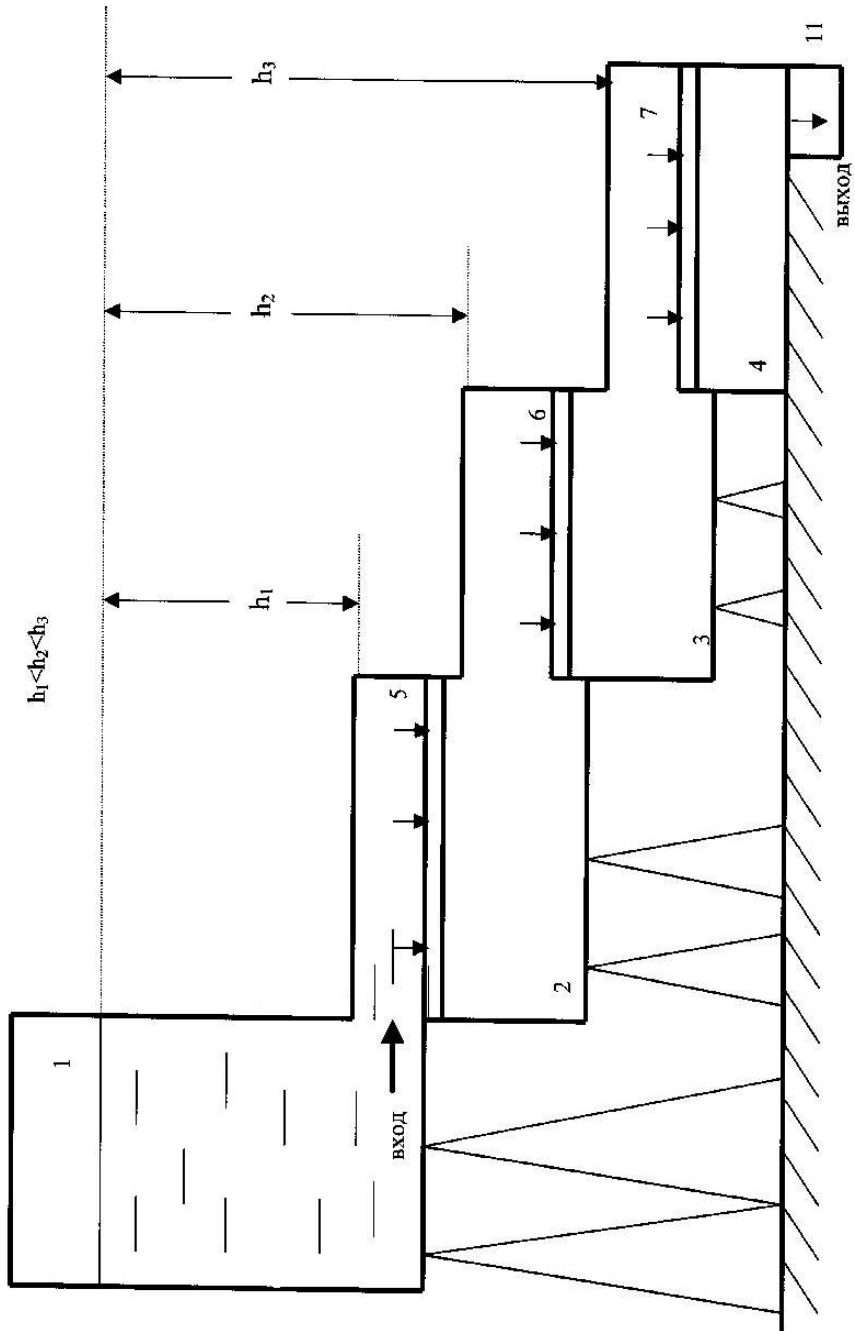


Рис. 1.

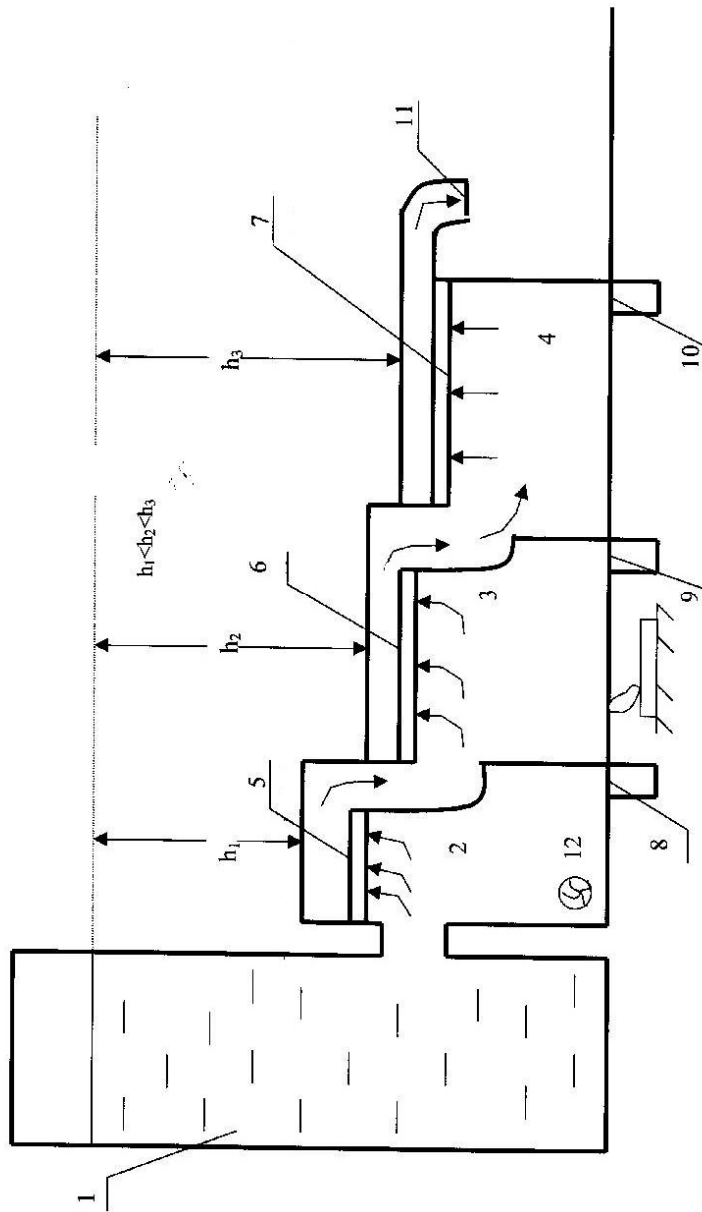
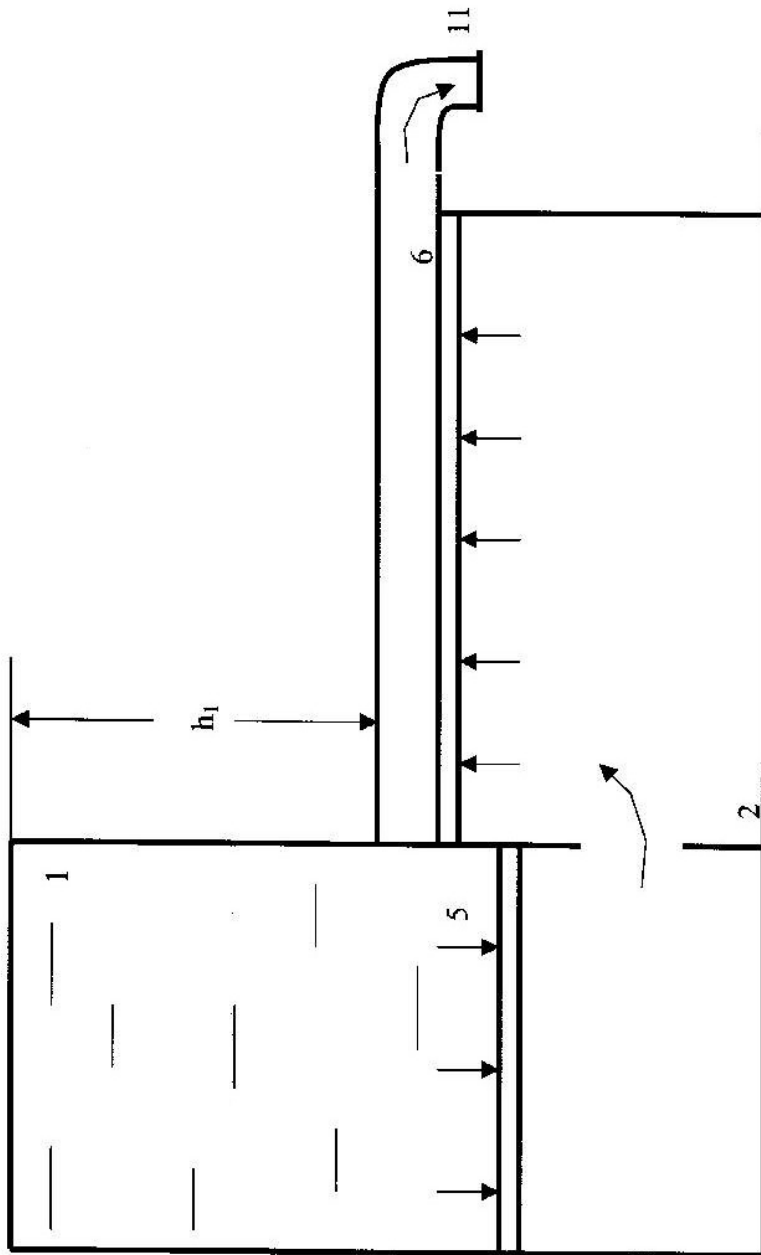


Рис. 2.





*Puc. 3.*

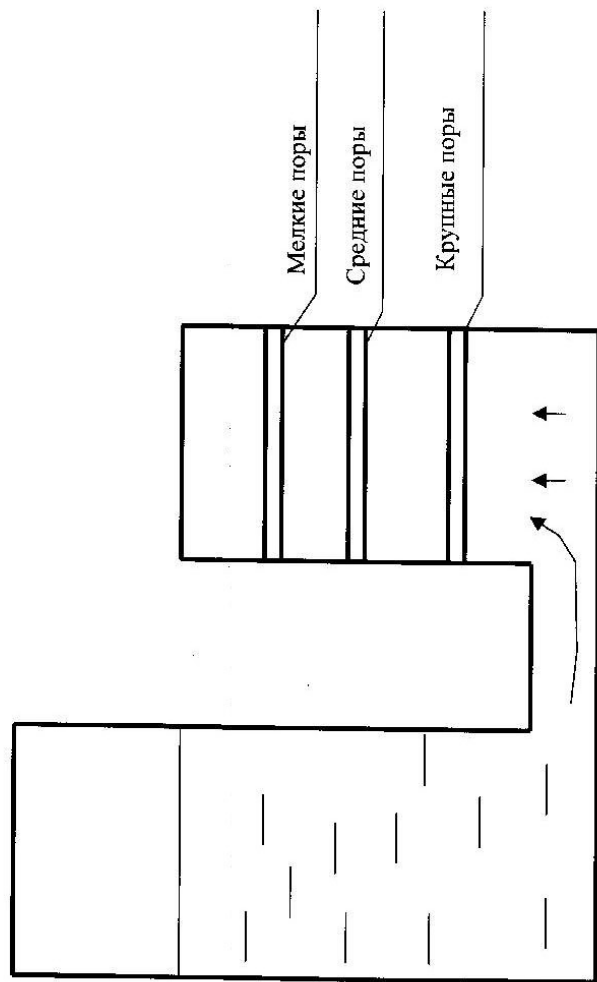


Рис. 4.

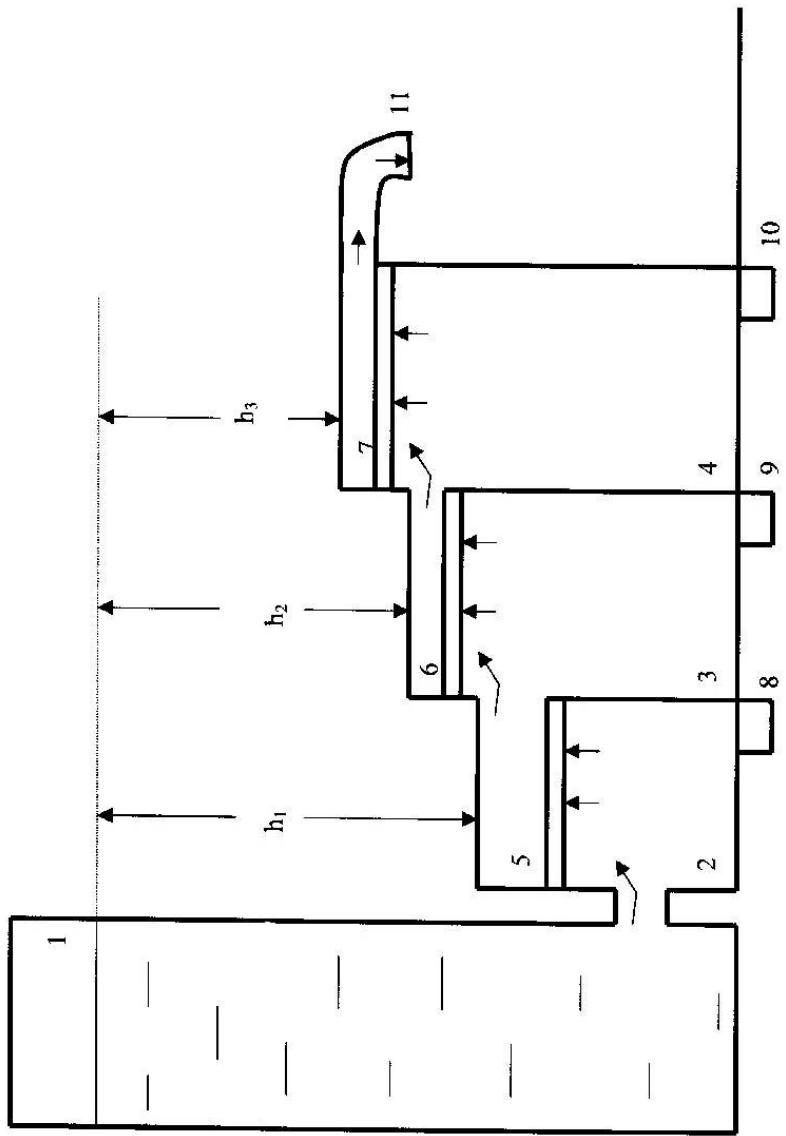
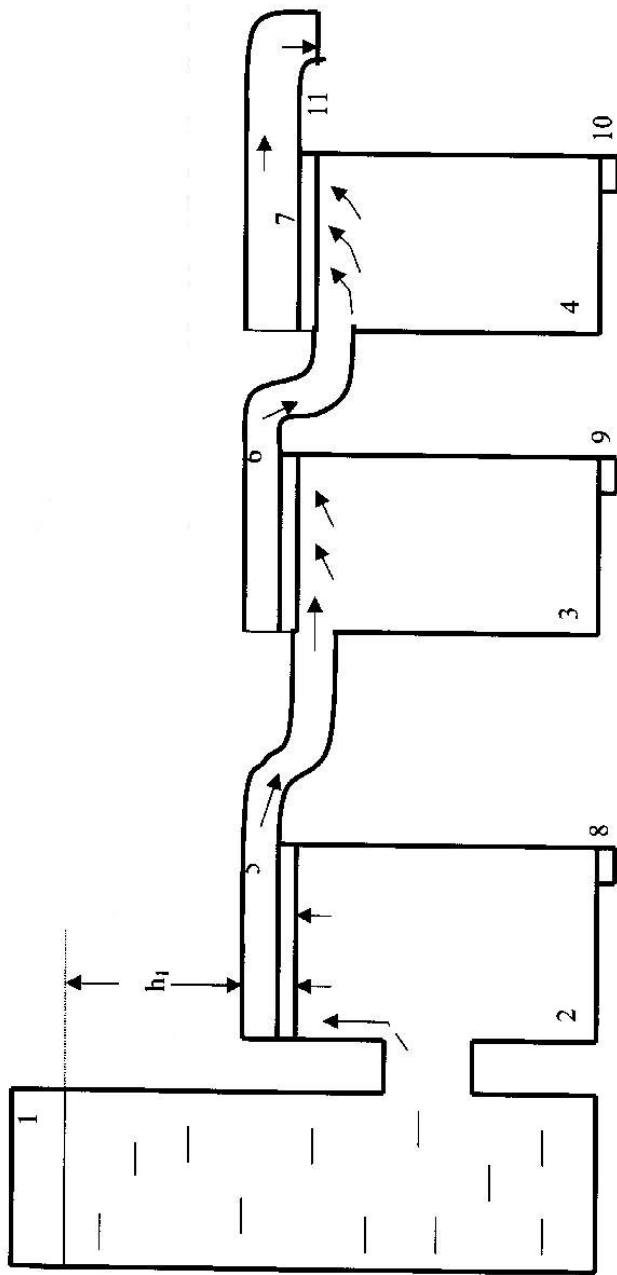


Рис. 5.



*Рис. 6.*

В зависимости от размера дисперсных фаз полидисперсной системы количество резервуаров фильтрации и соответственно фильтрующих поверхностей с уменьшающимся размером пор последовательно от резервуара к резервуару может быть увеличено или уменьшено в соответствии с необходимостью по мере фильтрации снижения сопротивления фильтрующих поверхностей и/или с необходимостью получения соответствующего количества фракций при фракционном разделении полидисперсных систем.

Переход от одной стадии фильтрования к другой сопровождается изменением разности давлений на фильтрующую поверхность на каждой стадии фильтрования (давление увеличивается с уменьшением диаметра пор фильтрующей поверхности).

Расположение в пространстве фильтрующей поверхности на каждой стадии фильтрования можно легко изменять в соответствии с изменяющимися характеристиками дисперсной фазы и дисперсионной среды, что обеспечивает универсальность способа фильтрования.

Разность давлений на фильтрующую поверхность легко регулируется изменением расположения фильтрующей поверхности каждой стадии фильтрования по высоте. Это позволяет исключить использование насосов или уменьшить их мощность.

**Заключение.** Предложенные способы каскадной фильтрации снижают сопротивление фильтрующих поверхностей, увеличивает производительность и эффективность процесса фильтрования с одновременным разделением дисперсной фазы полидисперсной системы на фракции. Они могут быть использованы в черной металлургии, для очистки сточных вод, шахтных и рудничных вод, в химическом производстве, при фракционном разделении дисперсной фазы суспензий и эмульсий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М., Химия, 1973.
2. Патент 2069073 (РФ). Каскадный фильтр/ М. Я. Алферов, И. Б. Барсуков, Л. Б. Куликов. 1996.



УДК.669.4

*Доц. РЕЗНИЧЕНКО Л. И.*

#### **ОСОБЕННОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ПРИ ЭЛЕКТРОЛИЗЕ РАСТВОРОВ, СОДЕРЖАЩИХ ЗНАЧИТЕЛЬНОЕ КОЛИЧЕСТВО ПРИМЕСЕЙ**

*При длительном течении процесса электролитического рафинирования металлов, содержащих значительное количество электроположительных примесей, возникают трудности в получении чистого катодного осадка. Технологию электролиза следует организовать таким образом, чтобы сила тока ванны к концу электролиза постепенно снижалась, обеспечивая кондиционный катодный продукт.*

При электролитическом рафинировании металлов (медь, цинк, свинец и др.), содержащих значительное количество электроположительных примесей (серебро, мышьяк, сурьма, висмут), на поверхности растворяющегося анода остается пористый слой шлама, состоящий в основном из нерастворившихся металлов.

По мере утолщения корки шлама возникают трудности получения кондиционного катодного осадка. Затруднение вызвано не столько механическим распылением шлама в электролите, сколько электрохимическим растворением металлов анодного шлама в процессе электролиза.

При анодном растворении двухфазного сплава оба металла переходят в раствор в соотношениях, соответствующих их положению в ряду напряжений, и одинаковым скачком потенциала в системе металл – раствор. Концентрации (активности) ионов могут быть рассчитаны по формуле Нернста:

$$\lg \left[ \text{Me}_2^{Z_2^+} \right] = \left\{ \varphi_1^0 - \varphi_2^0 + \frac{RT}{Z_1 F} \lg \left[ \text{Me}_1^{Z_1^+} \right] \right\} \frac{Z_2 F}{RT}, \quad (1)$$

где  $\left[ \text{Me}_2^{Z_2^+} \right]$  и  $Z_2$  – концентрация ионов и валентность электроположительной примеси;

$\left[ \text{Me}_1^{Z_1^+} \right]$  и  $Z_1$  – характеристики рафинируемого металла;

$\varphi_1^0$  и  $\varphi_2^0$  – стандартные потенциалы электроотрицательного и электроположительного металлов. В;

$R$  – газовая постоянная, Дж/(моль·К);

$T$  – постоянная температура, К;

$F$  – постоянная Фарадея, Кл/г-экв.

По мере протекания процесса электролиза электроположительная фаза запаздывает с растворением и её включения выступают над поверхностью растворяющейся основной фазы, образуя пористый слой шлама, утолщающийся со временем. Пустоты между кристаллами заполняются электролитом, через который течет основной ток электролиза. В этом заполняющем поры шлама слое электролита имеет место падение напряжения, увеличивающееся по мере роста толщины слоя шлама. Так как каркасом слоя шлама является металл, то его потенциал во всех точках совпадает с потенциалом анода. Тогда при падении напряжения в слое электролита, пропитывающего шлам, скачок потенциала между наружной поверхностью слоя шлама и электролитом увеличивается на величину падения напряжения в слое электролита. Внешний участок корки шлама поляризован в сторону положительных значений потенциала сильнее, чем участок шлама, прилегающий к еще нетронутому растворением аноду, на величину падения напряжения в слое шлама. В начале процесса, когда толщина слоя шлама мала, поляризация незначительна, но по мере утолщения слоя шлама поляризация увеличивается, вследствие чего усиливается и растворение электроположительного металла и растет концентрация его катионов в электролите.

С возрастанием концентрации ионов электроположительной примеси в растворе возрастает возможность загрязнения катодного осадка, которая, очевидно, зависит именно от величины падения напряжения в слое анодного шлама. Следовательно, не толщина анодного шлама и не плотность тока в отдельности определяют качество катодного осадка, а функция этих параметров – величина падения напряжения в слое шлама.

Увеличению скачка потенциала пары электроположительный металл – раствор должна соответствовать более высокая концентрация в растворе электроположительной примеси, чем определяемая выражением (1). Поэтому его следует уточнить следующим образом:

$$\lg \left[ \text{Me}_2^{Z_1^+} \right] = \left\{ \varphi_1^0 - \varphi_2^0 + \Delta\varphi + \frac{RT}{Z_1 F} \lg \left[ \text{Me}_1^{Z_1^+} \right] \right\} \frac{Z_2 F}{RT}, \quad (2)$$

где  $\Delta\varphi$  – падение напряжения в электролите, пропитывающем шлам.

Процесс растворения примеси возможен по всей толщине слоя шлама, так как при наличии основного тока электролиза падение напряжения будет иметь место, пропорциональное в первом приближении расстоянию от еще не тронутой растворением толщи анода. Формула (2) указывает, что каждому значению  $\Delta\varphi$  соответствует определенная концентрация ионов электроположительной примеси, возрастающая по направлению к наружной поверхности корки шлама.

Исследованием процесса очистки свинца от висмута установлено, что для получения чисто катодного свинца марки СО по висмуту необходимо иметь падение напряжения в слое анодного шлама не выше 200 – 250 мВ. Для соблюдения этого условия технологию электролиза следует организовать так, чтобы сила тока ванны постоянно снижалась к концу процесса. Снижение силы тока в промышленной ванне трудно осуществимо. В связи с этим можно организовать процесс электролиза с частичной заменой анодов в несколько приемов. Вновь установленные аноды, не имеющие слоя шлама, будут работать при большей силе тока, чем ранее установленные аноды с накопившимся слоем шлама. Таким образом достигается необходимое перераспределение тока между анодами при неизменной силе тока ванны. Распределение тока связано с различным электрическим сопротивлением, вследствие чего ток в цепи вновь установленного анода после его замены выше, чем в цепи анода со шламом. Падение напряжения в слое анодного шлама при такой организации работы не принимает допустимого предела, что позволяет обеспечивать получение кондиционного по основному металлу катодного осадка и уменьшение выхода анодных остатков в среднем до 20 %.



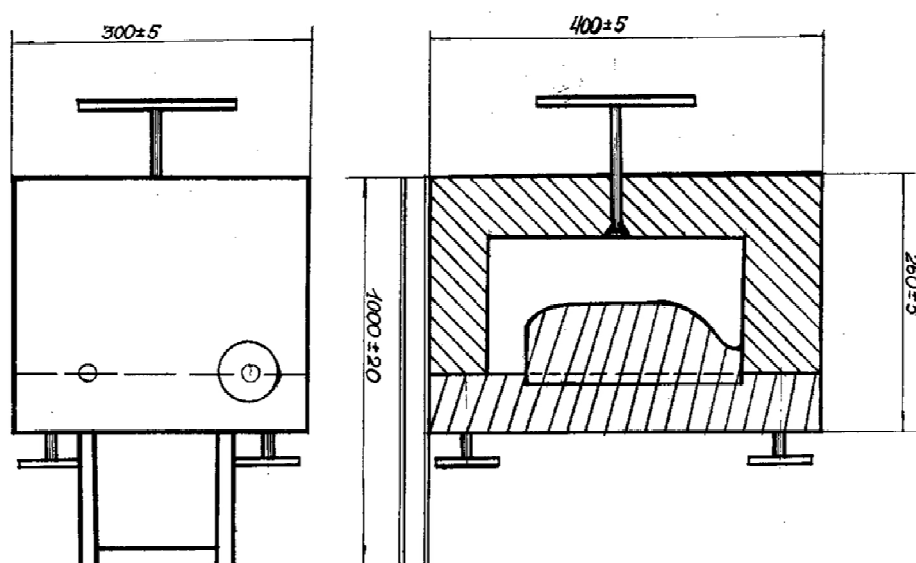
*Проф. САБЕЕВ К. Г., доц. КАБАЛОЕВ Ю. Ж., доц. ВЕЛИЧКО Л. Н.*

### ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОКИЛЯ ДЛЯ СТЕКЛОПОСУДЫ

*Приведены теоретические и технологические основы литья металлических форм для стеклотары в кокиль. Разработан состав теплозащитного покрытия кокиля.*

В массовом и серийном производстве применяют кокильные станки и машины с комбинированной плоскостью разъема литья отливок в кокиль, у которых механизированы операции открывания и закрывания формы, выталкивания отливок, установка и удаление металлических стержней. Преимущество литья в кокиль состоит в многократном использовании металлической формы.

Процесс изготовления отливок в кокиль включает следующие операции: подготовка формы (очистка, нагрев, нанесение краски на рабочие поверхности и сборка), заливка формы металлом, раскрытие формы, извлечение отливок, обрубка и термическая обработка заготовок. В металлической форме можно изготовить серию кокилей для изготовления стеклопосуды (бутылок, баллонов и т.д.). Отливки кокиля для стеклопосуды состоят из двух полуформ правой и левой, которые после литья получают с отбеленным поверхностным слоем, поэтому их подвергают отжигу и обработке в механическом цехе до необходимой точности и шероховатости. На рисунке изображен кокиль для изготовления стеклотары (3-литрового баллона).



В кокиле из чугуна марки СЧ-24 предусмотрена литниковая система, чаша и выпор для заливки металла и выхода газов из формы, винты для



сборки кокиля и выталкиватель отливаемой полуформы кокиля – из металлической формы. Известно\*, что эффективность метода надежности кокиля зависит от химического состава чугуна и стойкости наносимой краски, которая предохраняет форму от термического удара при заливке и схватывании металла формой. Кокили обычно выходят из строя из-за трещин и газовой коррозии рабочей поверхности. Во время заливки металла рабочая поверхность кокиля мгновенно нагревается до высоких температур, а слои рабочей поверхности по толщине остаются холодными. Поэтому в расширяющемся от нагрева слое кокиля возникают сжимающие напряжения, а во внутренних – растягивающие, вследствие чего чередующиеся пластические деформации приводят к образованию мелких трещин в виде сетки разгара, что затрудняет удаление отливки из формы, ухудшает внешний вид изделия и способствует дальнейшему разрушению кокиля газовой коррозией. Для сокращения этого процесса кокиль подогревают и наносят на его рабочую поверхность теплоизолирующее покрытие краской. Это уменьшает воздействие теплового потока на материал формы и замедляет его разрушение. При литье в металлические формы применяют защитное покрытие, толщина которого определяется формулой\*

$$a = \frac{1}{\frac{x_{заз}}{\lambda_{эф}} + \frac{x_{кр}}{\lambda_{кр}} + \frac{x_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_3}},$$

где  $x_{заз}$ ,  $x_{кр}$ ,  $x_2$  – толщины соответственно: зазор газовой прослойки (возникающий после образования на поверхности отливки достаточно прочной корки, отошедшей от стенки кокиля в результате усадки), слоя защитной краски и стенки кокиля;  $\lambda_{эф}$  – эффективная теплопроводность газовой прослойки, учитывающая передачу теплоты через газ теплопроводностью и лучеиспусканием, ккал/(м·ч·°C);  $\lambda_{кр}$ ,  $\lambda_2$  – теплопроводность соответственно защитной краски и материала кокиля, ккал/(м·ч·°C);  $\alpha_3$  – коэффициент теплопроводности от наружной стенки кокиля, ккал/(м·ч·°C).

По данным\* для наружной поверхности кокилей в качестве наполнителей применяют связующее жидкое стекло. С целью увеличения прочности в состав наполнителей добавляют доломит и марганцовистый калий, что увеличивает стойкость краски до 10 заливок и снижает теплопроводность (состав в % по массе – шамот 25–45, жидкое стекло 6–8, марганцовистый калий и вода 47–59). При литье кокиля в кокиль для снижения шероховатости внутренней рабочей поверхности отливок применяют краски, содержащие углеродистые добавки (сажа, колотый каменный уголь и кокс). В результате сгорания этих добавок образуется газовая прослойка, которая снижает шероховатость поверхности отливок и увеличивает стойкость теплоизолирующего слоя, имеющего состав в % по массе: уголь молотый марки ПЖ – 20–20,5, графит черный 20–20,5, глина формовочная 5–5,6, жидкое стекло 5–5,5.

---

\* Сварика А. А. Покрытия литейных форм. М.: Машиностроение, 1977.

Авторы разработали и испытали в литейном цехе АО "Иристонстекло" краску для кокиля, которая снижает шероховатость внутренних поверхностей отливок до 7 класса чистоты ( $R_a = 1,25-0,63$ ). Эти краски содержат углеродистые добавки (сажа, молотый каменный уголь и кокс). В результате сгорания добавок образуется газовая прослойка, снижающая шероховатость поверхности отливок и увеличивающая стойкость теплоизолирующего слоя на 50–70 %. Состав краски содержит в процентах по массе: уголь молотый марки ПЖ – 20–25,5; графит черный 20–20,5; глина бентонитовая 5–5,6; жидкое стекло 5–5,5; марганцовистый калий 0,03; древесные опилки 1,5–2,0; остальное вода (размер частиц наполнителей не более 10 мкм).

Предложенная технология имеет ряд преимуществ:

- снижает объем механической обработки кокиля и отливки;
- повышает точность изготовления кокиля и уменьшает шероховатость его поверхности;
- увеличивает долговечность кокиля за счет улучшения структуры металла и окраски рабочей поверхности;
- улучшает условия труда и уменьшает выброс вредных веществ в окружающую среду, т.к. не применяют сыпучие формовочные материалы.



УДК 621.31

Доц. БУЗОВКИН В. Л.,  
асс. САХАРОВ Д. С.

### **УРОВНИ СИММЕТРИЧНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НЕПОЛНОФАЗНЫХ РЕЖИМОВ НАГРУЗКИ ГОРОДСКОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ**

*Рассматриваются результаты численного моделирования несимметричной нагрузки на математической модели городской электрической сети при неполнофазных режимах. Зависимости токов и напряжений симметричных составляющих представлены в широком диапазоне изменения сопротивления нулевого провода.*

Неполнофазные режимы работы городской электрической сети возникают при разрыве (обрыве) одной или двух фаз линии, при срабатывании одного или двух предохранителей на главном рубильнике после схлеста проводов, повреждений в кабельной линии с нарушением целостности жил, при срабатывании ПК на стороне высокого напряжения трансформатора ТП. При существующем уровне обслуживания электроустановок продолжительность существования таких режимов работы сети составляет от десятка минут до 10 часов и ликвидируются электромонтерами в зависимости от условий работы и возможностей оперативной выездной бригады (ОВБ).

Неполнофазный режим работы обуславливает появление несимметрии нагрузок электрической сети и, как следствие, протекание по элементам сети токов симметричных составляющих обратной и нулевой последовательности.

Уровни симметричных составляющих зависят от вида несимметрии, параметров электрической сети, сопротивлений фазных нагрузок и сопротивлений цепи нулевого провода [1]. Различают продольную несимметрию, возникающую при обрыве фаз или фазы в начале линии или срабатывании предохранителей на главном рубильнике в ТП, и поперечную несимметрию, наблюдающуюся в сети с симметричной нагрузкой при обрывах или срабатывании предохранителей у потребителя. Расчет параметров продольной несимметрии целесообразно проводить методом наложения, который учитывает влияние предшествующего полнофазного режима работы. Согласно принципу наложения [2], рассматривают два режима: полнофазный симметричный нагрузочный режим (до возникновения разрыва) с током в линии фазы А  $\dot{I}_{An}$  и дополнительный режим с разрывом фазы А, представленный комплексной схемой замещения (рис.1), в которой в месте разрыва включен ток  $(-\dot{I}_{An})$ , а э. д. с. отсутствует. В схеме дополнительного режима вычисляемые токи обратной и нулевой последовательностей являются действительными (реальными) токами, а ток прямой последовательности  $\dot{I}_{A1}$  определяется

сложением тока прямой последовательности дополнительного режима  $\dot{I}_{A1}^{op}$  с током нагрузки предшествующего режима  $\dot{I}_{An}$ :

$$\dot{I}_{A1} = \dot{I}_{A1}^{op} + \dot{I}_{An}. \quad (1)$$

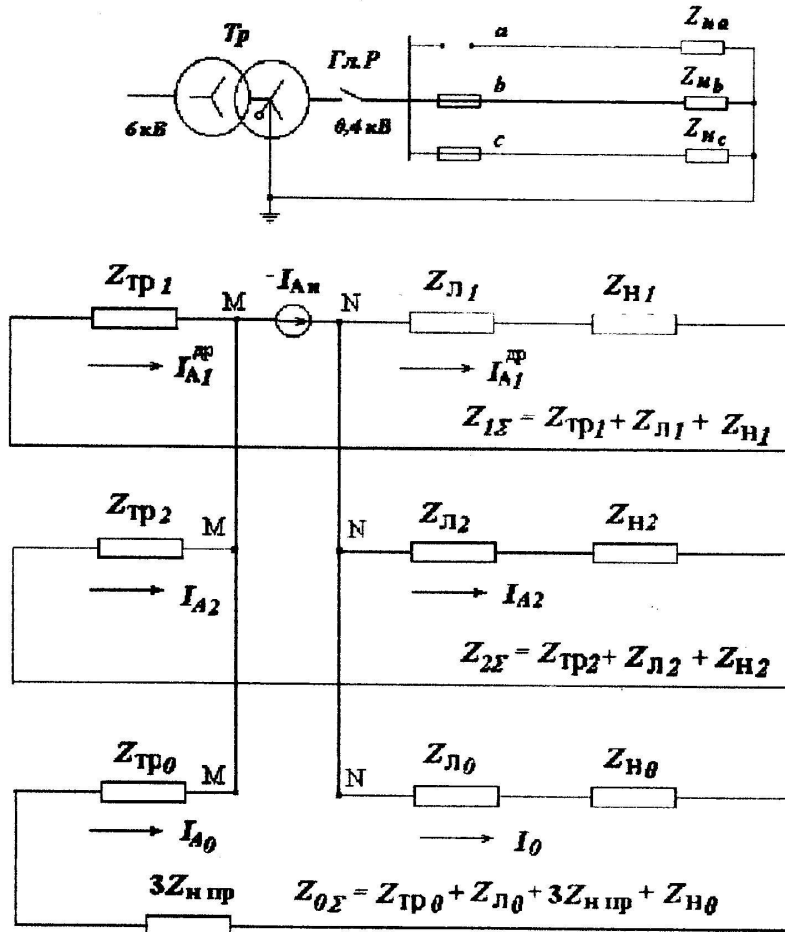


Рис. 1. Схема замещения сети при обрыве фазы А.

Величина тока прямой последовательности дополнительного режима с учетом распределения тока нагрузки ( $-\dot{I}_{An}$ ) в полнофазном режиме определяется соотношением проводимостей отдельных последовательностей:

$$\dot{I}_{A1}^{op} = - \frac{\frac{1}{Z_{1\Sigma}}}{\frac{1}{Z_{1\Sigma}} + \frac{1}{Z_{2\Sigma}} + \frac{1}{Z_{0\Sigma}}} \dot{I}_{An}, \quad (2)$$

где  $Z_{1\Sigma}$ ,  $Z_{2\Sigma}$ ,  $Z_{0\Sigma}$  – полные результирующие сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательностей.

Действительный ток прямой последовательности в месте разрыва с учетом (1) и (2):

$$\dot{I}_{A1} = \frac{\frac{1}{Z_{2\Sigma}} + \frac{1}{Z_{0\Sigma}}}{\frac{1}{Z_{1\Sigma}} + \frac{1}{Z_{2\Sigma}} + \frac{1}{Z_{0\Sigma}}} \dot{I}_{An}. \quad (3)$$

Действительные токи обратной и нулевой последовательностей соответственно:

$$\dot{I}_{A2} = -\frac{\frac{1}{Z_{2\Sigma}}}{\frac{1}{Z_{1\Sigma}} + \frac{1}{Z_{2\Sigma}} + \frac{1}{Z_{0\Sigma}}} \dot{I}_{An}; \quad (4)$$

$$\dot{I}_{A0} = -\frac{\frac{1}{Z_{0\Sigma}}}{\frac{1}{Z_{1\Sigma}} + \frac{1}{Z_{2\Sigma}} + \frac{1}{Z_{0\Sigma}}} \dot{I}_{An}. \quad (5)$$

По значениям токов и на основании комплексной схемы замещения (см. рис.1) определяют напряжения обратной, нулевой и прямой последовательностей в месте разрыва цепи:

$$\dot{U}_{A2} = -\dot{I}_{A2} Z_{2\Sigma}; \quad \dot{U}_{A0} = -\dot{I}_{A0} Z_{0\Sigma}; \quad \dot{U}_{A1} = (\dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0}). \quad (6)$$

Полные значения токов фаз В и С в неполнофазном режиме:

$$\dot{I}_b = a^2 \dot{I}_{A1} + a \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{A0}; \quad \dot{I}_c = a \dot{I}_{A1} + a^2 \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{A0}. \quad (7)$$

Значение тока в нулевом проводе может быть определено по выражению:

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_b + \dot{I}_c = 3 \dot{I}_{A0}. \quad (8)$$

Уровни симметричных составляющих неполнофазного режима при обрыве одной из фаз, характер их изменения в зависимости от сопротивления нулевого провода определялись численным моделированием при помощи математической модели системы электроснабжения для участка сети с трансформатором  $S_n = 250$  кВА,  $I_n = 360$  А, кабельной линией 2АВВБ–1–(4 × 70) длиной 100 м и эквивалентной нагрузкой фаз  $Z_n$  при  $\cos \varphi = 0,9$  и  $U_n = 220$  В. Результаты расчетов показаны на рис. 2а.

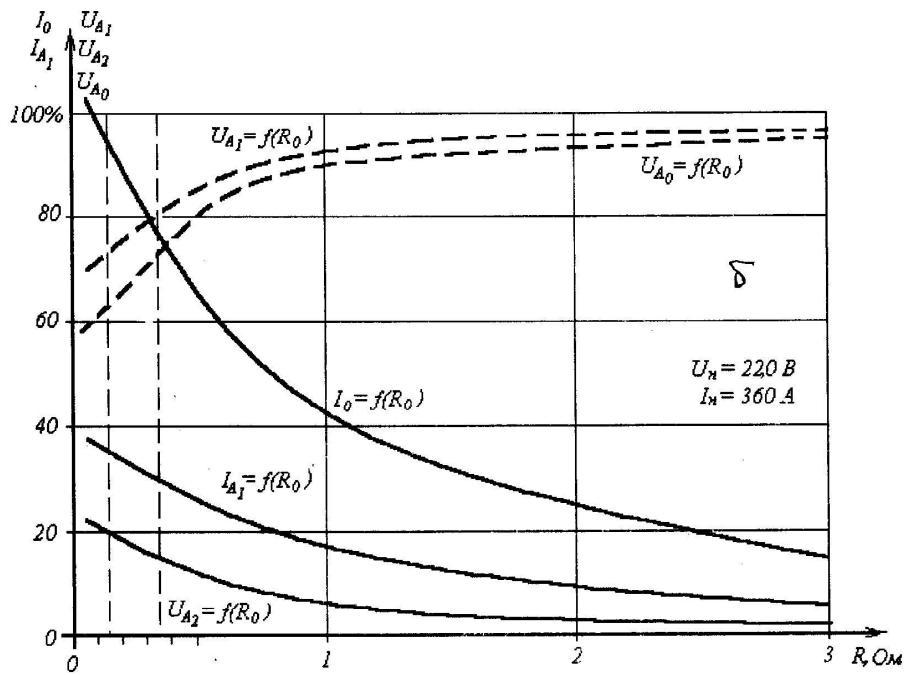
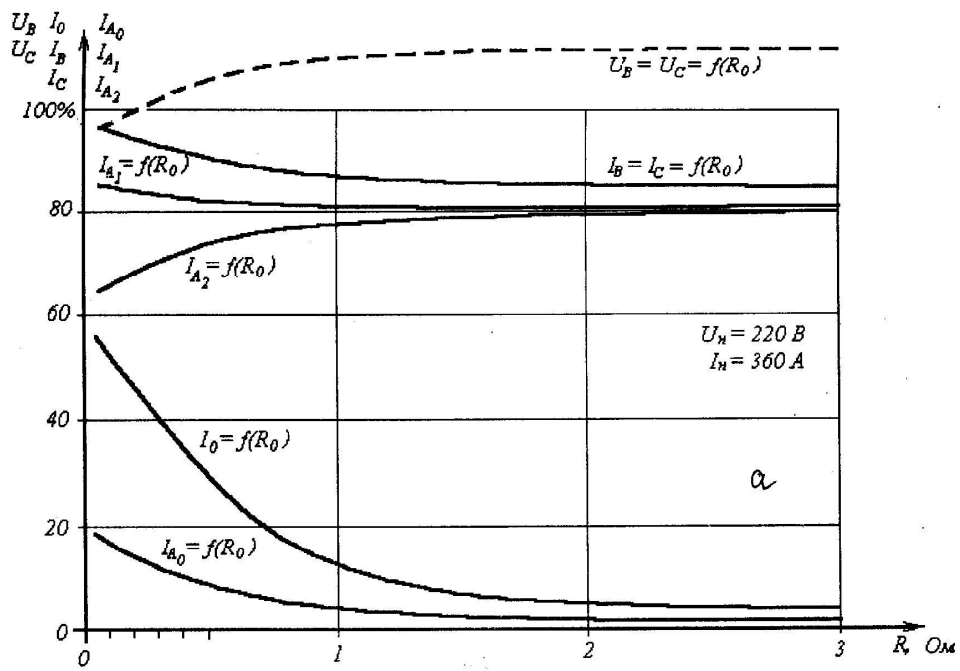


Рис. 2. Характер изменения симметричных оставляющих при обрыве фаз: А (а), В и С (б).

Характер изменения параметров неполнофазного режима в значительной степени зависит от величины активного сопротивления цепи нулевого провода в диапазоне изменения  $R_0 = 0,05-1,0$  Ом. Величина тока в нулевом проводе

снижается на 45 %, величина тока нулевой последовательности – на 15 %, ток обратной последовательности возрастает на 13 %. Величины токов фаз В и С снижаются на 11 %. В диапазоне сопротивлений  $R_0 = 1-3$  Ом величины симметричных составляющих практически не зависят от величины сопротивления нулевого провода. Ток нулевой последовательности снижается до нуля.

На рис. 3 показана комплексная схема замещения неполнофазного режима при обрыве двух фаз.

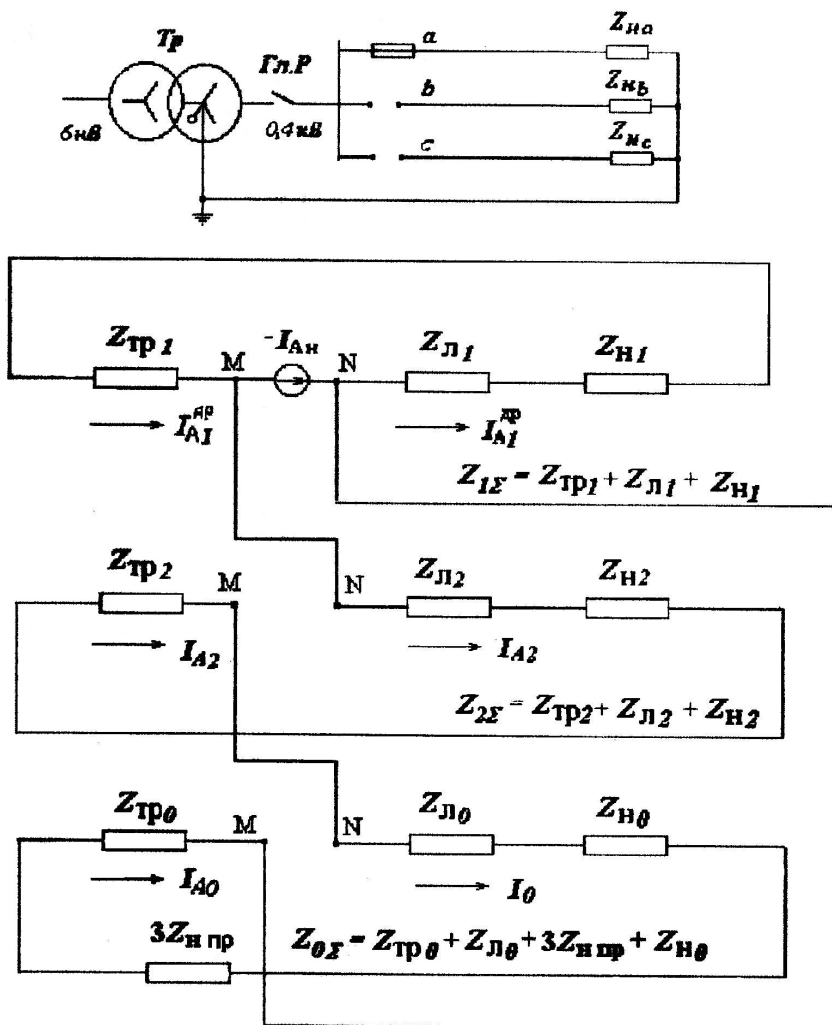


Рис. 3. Схема замещения при обрыве фаз В и С.

Величина тока прямой последовательности дополнительного режима с учетом распределения тока нагрузки ( $-\dot{I}_{Ан}$ ) в полнофазном режиме определяется соотношением проводимостей отдельных последовательностей:

$$\dot{I}_{A1} = \frac{Z_{1\Sigma}}{Z_{1\Sigma} + Z_{2\Sigma} + Z_{0\Sigma}} \dot{I}_{Ан}. \quad (9)$$

Величины токов обратной и нулевой последовательностей равны значению тока прямой последовательности:

$$\dot{I}_{A2} = \dot{I}_{A0} + \dot{I}_{A1}. \quad (10)$$

Полный ток фазы А равен сумме токов прямой, обратной и нулевой последовательностей:  $\dot{I}_A = 3 \dot{I}_{A1}$ , а полный ток в нулевом проводе –  $\dot{I}_0 = 3 \dot{I}_{A0}$ . Напряжения прямой, обратной и нулевой последовательностей в месте разрыва двух фаз определяются соответственно по формулам:

$$\dot{U}_{A1} = (Z_{2\Sigma} + Z_{1\Sigma}) \dot{I}_{A1}; \quad \dot{U}_{A2} = - \dot{I}_{A2} Z_{2\Sigma}; \quad \dot{U}_{A0} = - \dot{I}_{A0} Z_{0\Sigma}. \quad (11)$$

Уровни симметричных составляющих неполнофазного режима при обрыве двух фаз, характер их изменения в зависимости от сопротивления нулевого провода определялись численным моделированием при помощи математической модели системы электроснабжения для участка сети с трансформатором  $S_n = 250$  кВА,  $I_n = 360$  А, кабельной линией 2АВВБ–1–(4 × 70) длиной 100 м и эквивалентной нагрузкой фаз  $Z_n$  при  $\cos\varphi = 0,9$  и  $U_n = 220$  В. Результаты расчетов показаны на рис. 2 б.

Характер изменения параметров неполнофазного режима в значительной степени зависит от величины активного сопротивления цепи нулевого провода в диапазоне изменения  $R_0 = 0,05$ –1,0 Ом. Величина тока в нулевом проводе снижается на 87 %, величины токов прямой, обратной и нулевой последовательностей снижаются одновременно на 28 %, напряжение обратной последовательности снижается на 18 %. Напряжения прямой и нулевой последовательностей возрастают на 30 %. В диапазоне изменения сопротивления  $R_0 = 1$ –3 Ом величины симметричных составляющих токов и напряжений изменяются незначительно.

Появление симметричных составляющих обратной и нулевой последовательностей, снижение или увеличение допустимого уровня напряжения сети, рост дополнительных потерь электроэнергии в сети при несимметрии нагрузок, вероятный вынос потенциала на корпуса бытовых приборов из-за напряжения смещения нейтрали нагрузок – это негативные факторы, которые оказывают существенное влияние на качественные показатели электроэнергии у потребителя. Возможность длительного существования неполнофазных режимов городской электрической сети должна быть ограничена до минимума при эксплуатации электрооборудования сетей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бузовкин В. Л. Потери мощности при несимметрии нагрузок городских электрических сетей. Труды СК ГТУ, вып. 11. Владикавказ, 2004.
2. Авербух А. М. Примеры расчетов неполнофазных режимов и коротких замыканий. М.: Энергия, 1976.



### СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРАНИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОДЕТОНАТОРОВ В ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОЙ ЦЕПИ

*Проведено статистическое моделирование одновременного попадания в электровзрывную сеть электродетонаторов с минимальным и максимальным импульсами воспламенения; получены вероятные значения гарантийного тока для различных случаев.*

Для обеспечения безотказности и безопасности процесса инициирования необходимо в процессе расчёта электровзрывных цепей учесть все возможные факторы. Один из важных факторов, определяющих качество и безопасность инициирования зарядов – вероятность одновременного попадания в электровзрывную сеть электродетонаторов (ЭД) с минимальной и максимальной чувствительностью для данной партии [1–3].

В каждой заводской партии возможно наличие ЭД с минимальным и максимальным импульсами воспламенения. Встречаются следующие варианты попадания ЭД в электровзрывную цепь:

- оба типа детонаторов;
- только ЭД с минимальной для данной партии чувствительностью (с максимальной – отсутствует);
- только ЭД с максимальной для данной партии чувствительностью (с минимальной – отсутствуют);
- не попадают ЭД с минимальной и максимальной чувствительностью.

Для исследования этих вариантов необходимо провести статистический анализ, поскольку известно, что чувствительность ЭД, входящих в одну партию, распределяется в некотором диапазоне, который можно представить нормальным законом распределения.

Исследуем вероятность попадания в электровзрывную цепь ЭД с максимальным и минимальным для данной партии импульсами воспламенения. Предположим, что имеется партия ЭД, состоящая из 10000 штук. Эта партия имеет усреднённые заводские параметры:

$$K_{ЭД} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ А}^2 \cdot \text{мс}; \quad Q_Z = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

При расчётах была использована программа MathCAD Professional 2000. При проведении моделирования было задано количество ЭД в партии –  $N$  элементов, с величинами  $K_{ЭД}$  и  $Q_Z$ , значения которых имеют нормальное распределение.

Первый этап моделирования заключается в многократном выборе случайным образом из всей партии ЭД  $N$ -элементов, т. е. реализации  $x$  – выборки по  $N$ -элементам из общего числа ЭД  $N$ . В полученных группах находим

ЭД с максимальным и с минимальным импульсами воспламенения и создаём два новых вектора значений  $K_{x \min}$  и  $K_{x \max}$  длиной  $x$ , в которые записываем полученный данные. Следующим шагом находим разность между значениями максимального и минимального импульса, т. е. разность между векторами, и полученный результат заносим в новый вектор  $\Delta K$  :

$$\Delta K = K_{x \max} - K_{x \min} .$$

Все полученные векторы значений подвергаем статистическому анализу. Во первых определяем диапазон значений для ЭД с максимальным импульсом воспламенения и вероятность попадания ЭД со значением  $K_{x \max}$  расчётного в этот диапазон. И, соответственно, определим диапазон значений для ЭД с минимальным импульсом воспламенения и вероятность попадания электродетонатора со значением  $K_{x \min}$  расчётного в этот диапазон.

Результаты проведённого моделирования изображены на рис.1, 2.

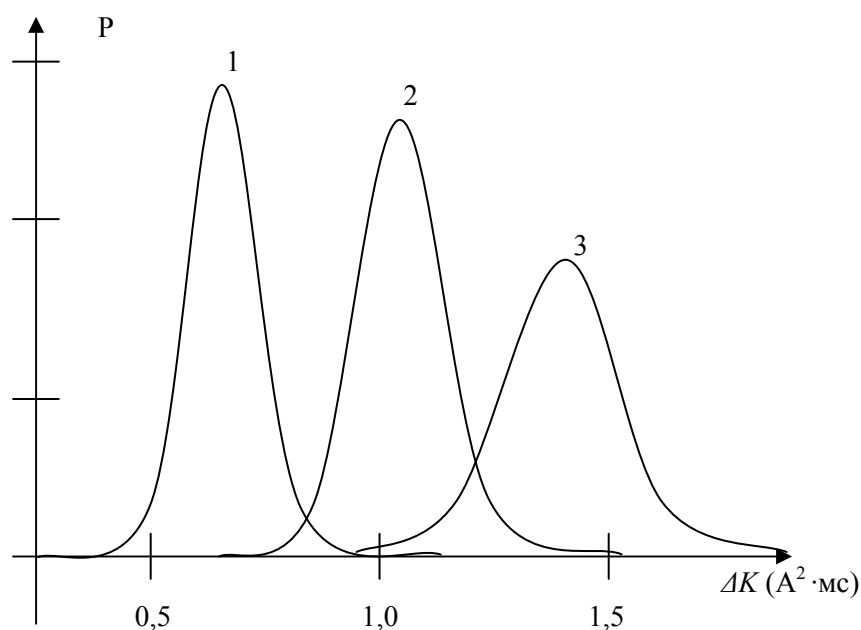


Рис.1. Плотность распределения  $\Delta K$ . Выбор из партии по 10 (1), 100 (2), 1000 (3) ЭД.

Как показывает анализ графиков, при увеличении количества ЭД, выбираемых из партии, вероятность попадания в электровзрывную цепь ЭД с минимальным и максимальным импульсами воспламенения повышается. Таким образом, можно утверждать, что при выборе групп с небольшим количеством ЭД (от 10 до 200) параметры детонаторов с минимальным и максимальным импульсами воспламенения по сравнению с такими же импульсами воспламенения ЭД во всей партии, среднее значение максимального импульса воспламенения электродетонатора в группе уменьшается, среднее значение минимального импульса воспламенения – увеличивается:

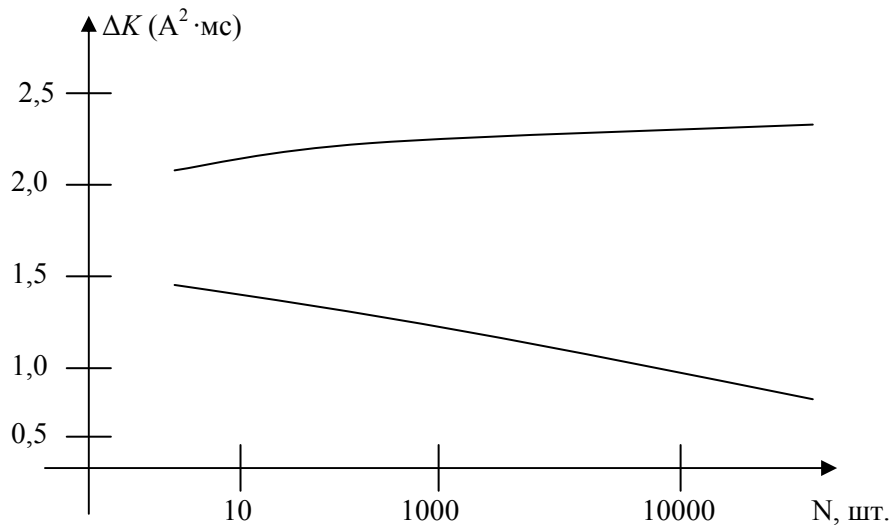


Рис.2. Зависимость  $\Delta K_{min}$ ,  $\Delta K_{max}$  от количества ЭД в электровзрывной цепи.

$$\begin{aligned} \Delta K_{10} &= 6,519 \cdot 10^{-4} \text{ A}^2 \cdot \text{мс}; \\ \Delta K_{100} &= 1,103 \cdot 10^{-3} \text{ A}^2 \cdot \text{мс}; \\ \Delta K_{1000} &= 1,414 \cdot 10^{-3} \text{ A}^2 \cdot \text{мс}; \\ \Delta K_{расч} &= 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ A}^2 \cdot \text{мс}. \end{aligned}$$

Соответственно должно измениться и значение гарантийного тока, поскольку оно зависит от разности величин импульсов воспламенения наименее и наиболее чувствительных электродетонаторов в группе:

$$I_0 = \sqrt{\frac{K_{max} - K_{min}}{Q}}.$$

Проведённые расчёты дали результат, показанный на рис.3,4.

Как видно из рис. 2, с увеличением количества ЭД в ЭВС, увеличивается вероятность попадания детонаторов с граничными параметрами в цепь. Т. е. при малых количествах ЭД можно изменить условия расчётов параметров ЭВС и уменьшить значение гарантийного тока (см. рис. 3, 4.)

Анализ результатов статистического моделирования показал следующее:

1. При использовании ЭВС, состоящей до 10 последовательно соединённых детонаторов, наиболее вероятным будет попадание в цепь, ЭД с крайними значениями импульсов, лежащих в пределах от  $K_{min} = 1,2 \text{ A}^2 \cdot \text{мс}$  до  $K_{max} = 1,9 \text{ A}^2 \cdot \text{мс}$ . Если принять  $K_{min} = 1,0 \text{ A}^2 \cdot \text{мс}$ , а  $K_{max} = 2,0 \text{ A}^2 \cdot \text{мс}$ , то изменится и значение тока  $I_0$ , потребляемого от источника энергии для безотказного инициирования всех ЭД электровзрывной сети:  $I_0 \geq 0,7 \text{ A}$ .

2. При использовании ЭВС, состоящей до 100 последовательно соединённых детонаторов, наиболее вероятным будет попадание в цепь, ЭД с крайними значениями импульсов, лежащих в пределах от  $K_{min} = 1,274 \text{ A}^2 \cdot \text{мс}$  до  $K_{max} = 2,153 \text{ A}^2 \cdot \text{мс}$ . Если принять  $K_{min} = 1,0 \text{ A}^2 \cdot \text{мс}$ , а  $K_{max} = 2,2 \text{ A}^2 \cdot \text{мс}$ , то, естест-

венно изменится и значение тока  $I_0$ , потребляемого от источника энергии для безотказного инициирования всех ЭД электровзрывной сети:  $I_0 \geq 0,85$  А.

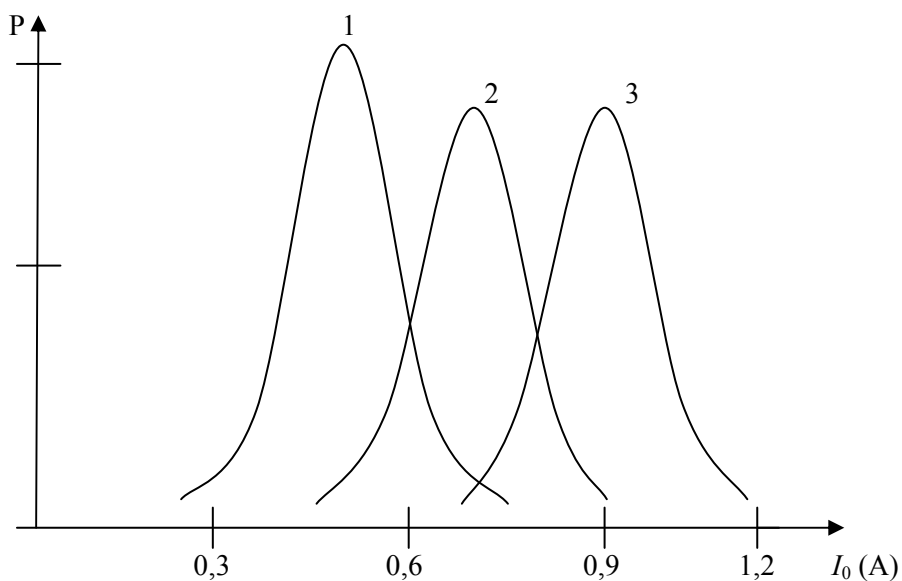


Рис.3. Распределение величины тока  $I_0$ . Выбор из партии по 10 (1), 100 (2), 1000 (3) ЭД.

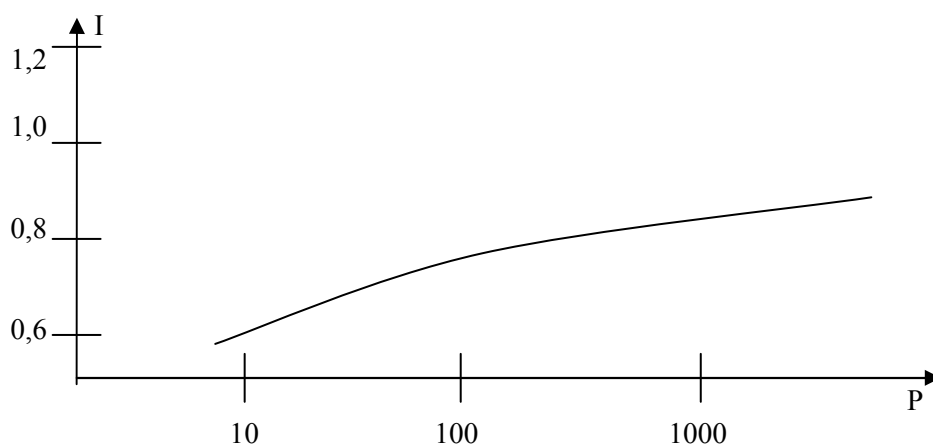


Рис.4. Зависимость  $I_0$  от количества ЭД в электровзрывной цепи.

3. При использовании ЭВС, состоящей до 1000 последовательно соединённых детонаторов, наиболее будет вероятным попадание в цепь, ЭД с крайними значениями импульсов, лежащих в пределах от  $K_{\min} = 0,897 \text{ A}^2 \cdot \text{мс}$  до  $K_{\max} = 3,10 \text{ A}^2 \cdot \text{мс}$ . Если принять  $K_{\min} = 0,6 \text{ A}^2 \cdot \text{мс}$ , а  $K_{\max} = 2,4 \text{ A}^2 \cdot \text{мс}$ , то изменится и значение тока  $I_0$ , потребляемого от источника энергии для безотказного инициирования всех ЭД электровзрывной сети:  $I_0 \geq 1,0$  А.

В первых двух случаях значение гарантийного тока оказалось меньше чем 1А, что объясняется меньшей разницей между максимальным и минимальным значениями импульсов воспламенения ЭД, попавших в электровзрывную сеть.

Полученные данные позволяют более полно исследовать процесс инициирования ЭД в зависимости от числа одновременно взрывающихся ЭД в цепи, оценить вероятность отказа при различных значениях тока, посылаемого в электровзрывную цепь.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Петров Ю. С.* Основы теории электровзрывания. Владикавказ: Терек (СКГМИ), 1998.
2. *Лурье А. И.* Электрическое взрывание зарядов. М.: Недра, 1979.
3. *Граевский М. М.* Справочник по электрическому взрыванию зарядов ВВ. М.: Рандеву–АМ, 2000.



УДК 622.235.432(035)

*Проф. ПЕТРОВ Ю. С.,  
асп. САХАНСКИЙ Ю. В.*

#### **АНАЛИЗ СВОЙСТВ И ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОДЕТОНАТОРОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

*Проведён анализ основных типов электродетонаторов, выпускаемых в настоящее время отечественной промышленностью, а так же наиболее современных и перспективных разработок в этой области. Дана краткая сравнительная характеристика их свойств и области применения.*

В последние десятилетия по мере совершенствования конструкции и технологии производства электродетонаторов (ЭД) требования к ним и область применения претерпели существенные изменения.

Список электродетонаторов, выпускаемых в настоящее время в России состоит из ЭД общего применения и специальных – мгновенного и замедленного действия, нормальной и пониженной чувствительности к току, предохранительные и не предохранительные (таблица).

Электродетонаторы ЭД–8Ж и ЭД–3Н имеют практически аналогичное устройство и принцип инициирования. В них в качестве зажигательных и замедляющих составов применяют т. н. «малогазовые составы», сгорающие с образованием твердых веществ, что обеспечивает постоянную скорость горения и стабильность величины замедления. Область применения ЭД всех рассматриваемых типов приведена в таблице.

Электродетонаторы типа ЭДКЗ–ПМ, ЭДКЗ–П, ЭДКЗ–ПМК конструктивно похожи на ЭД–ЗН, но отличаются от них наличием предохранительной оболочки, повышенной иницирующей способностью и замедляющим составом. Предохранительный слой при нагреве гильзы в момент горения замедляющего состава переходит в газообразное состояние и флегматизирует метано-воздушную среду вокруг ЭД ещё до его взрыва. В результате вероятность воспламенения метана резко снижается, что позволяет применять этот электродетонатор во взрывоопасных условиях, а повышенная мощность иницирования (заключённая в увеличении массы заряда ВВ в ЭД на 30%) позволяет использовать его при групповых взрывах.

Электродетонаторы ЭД–8Т и ЭД–1–3–Т относятся к детонаторам пониженной чувствительности (обоснование параметров ЭД данного типа выполнено в [1 – 3]) и применяются там, где велика вероятность появления блуждающих токов или зарядов статического электричества, для защиты от которых в детонаторах увеличен диаметр проволоки мостика накаливания, благодаря чему безопасный ток возрастает с 0,2 (у ЭД–ЗН) до 1,0А. Для защиты от зарядов статического электричества применён дополнительно электрический экран между воспламенительной головкой и гильзой.

Замыкает рассматриваемый ряд электродетонаторов общего применения детонатор ЭД–24, главной особенностью которого является наличие трансформатора на ферритовом кольце, опрессованном полиэтиленом вместе с полиэтиленовой пробкой, первичной обмоткой которого является провод электровзрывной цепи, продеваемый через пробку при монтаже ЭВЦ. Вторичная обмотка соединена с мостиком накаливания. Благодаря такой конструкции электровоспламенителя ЭД оказывается нечувствителен к блуждающим токам и статическому электричеству, он не срабатывает от источника постоянного тока с напряжением до 500 В, переменного тока с напряжением до 380 В/50 Гц, статического электричества с верхним уровнем 35 кВ и эквивалентной ёмкостью разряда 530 пФ электромагнитных полей. Для его воспламенения требуется переменный ток силой 3 А и частотой 52 кГц.

Специальные электродетонаторы ЭДС–1 и ЭДС–2 от детонаторов общего назначения ЭД–8Ж отличаются наличием нихромового мостика большего диаметра и трансформатором на ферритовом кольце (ЭДС2–2).

Для проведения взрывных работ в условиях высокой температуры и давления окружающей среды применяют электродетонаторы ТЭД–200 и ТЭД–270, которые содержат специальное ВВ, не разлагающееся и не взрывающееся при высокой температуре, а также антистатическое покрытие.

Особым типом специальных электродетонаторов выступают высоковольтные электродетонаторы: ЭДВ–1, ЭДВ–2, АТЭД–15. Их отличительной чертой является отсутствие воспламенительной головки и иницирующего ВВ. Электровоспламенитель у них представляет собой металлический мостик, припаянный или проштампованный к вилочке концевых проводов, который при высоковольтном разряде пропускает через себя мощный импульс тока, взрывается, а возникающая при этом ударная волна приводит к детонации бризантного ВВ. Включение такого ЭД в сеть 220/380 В приводит лишь к перегоранию мостика без взрыва ЭД. Благодаря этому такие ЭД не детонируют при пожаре, подключении к промышленной сети напряжением 220 В,

пропускании через него тока до 50 А, при разрядах статического электричества и т.д. Высокие характеристики безопасности делают этот тип детонаторов незаменимым при использовании взрывных технологий для аварийно-восстановительных и спасательных работ, для ликвидации техногенных и экологических катастроф, т. е. в экстремальных условиях. В сочетании с генераторами группового подрыва эти электродетонаторы позволяют создавать требуемой формы фронты детонации зарядов ВВ, что является обязательным для зарядов, учитывающих в режиме своего подрыва тип ВВ, скорость реакции и т.д.

К специальным детонаторам также относят детонаторы ЭД-22, ЭД-27, ЭД-33, используемые для запрессовки титановых и алюминиевых труб в теплообменных аппаратах и котлах с помощью зарядов ВВ, в качестве которых применяют детонирующие шнуры и специальные ВВ. Гильзу таких ЭД выполняют из полиэтилена, поэтому такой ЭД, вставляемый в трубу, выполняет две функции: является зарядом ВВ и служит для инициирования взрыва этого ВВ.

Из всех современных ЭД особо стоит выделить электродетонаторы с электронным замедлителем, впервые запатентованные в 1979 г. в США. В настоящее время в связи с бурным развитием электронных технологий, позволяющих производить дешёвые интегральные микросхемы, встал вопрос о практическом внедрении таких типов детонаторов.

От обычного ЭД его электронный аналог отличается наличием особого замедляющего элемента, состоящего из электролитического конденсатора и интегральной микросхемы. Замедляющий элемент установлен перед ЭВ, которые совместно с первичным и вторичными зарядами образует ЭД мгновенного действия. Команда на взрыв подаётся во все ЭД группы одновременно, а электронная схема замедлителя выдаёт воспламеняющий импульс в ЭВ через определённый промежуток времени, заранее запрограммированный в каждом ЭД. При этом номер ступени в каждом ЭД кодируется непосредственно при его изготовлении на заводе, а интервал между ступенями задается взрывником непосредственно в процессе работы путём послышки специального кодирующего импульса.

Достоинства электронных ЭД (в сочетании с электронным взрывным прибором) следующие:

- возможность программирования временных интервалов с количеством до 60 ступеней замедления и интервалами между ступенями от 2 до 100 мс при одинаковой конструкции ЭД;
- повышенная точность временных ступеней (разброс не более 1 мс);
- невозможность случайного и умышленного взрыва кроме как специальным взрывным прибором;
- возможность автоматической проверки блоком управления взрывным прибором состояния электровзрывной цепи и блокирования процесса взрывания при невыполнении условий безотказности.

В настоящее время спрос на электронные электродетонаторы невелик только из-за их высокой стоимости, однако со временем вопрос высокой стоимости может быть решён.

## Основные отечественные электродетонаторы

Тип ЭД	$I_{\text{безоп.}}$ А	К, А*мс, не более	Особенности ЭД	ГОСТ, ТУ	Область применения
1	2	3	4	5	6
<b>Общего применения, водостойкие</b>					
<b>НОРМАЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ К ТОКУ И ЗАРЯДАМ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА</b>					
<i>Непредохранительные</i>					
ЭД-8Ж	0,20	2,0	Мгновенного действия с жёстким креплением мостика	ГОСТ-9089-75	На открытых и подземных работах в сухих и увлажнённых местах, кроме шахт, опасных по газу и пыли
ЭД-3Н	0,20	2,0	Короткозамедленного и замедленного действия	ДИШВ.7 73951.300 ТУ-81	При взрывании большого числа ВВ на поверхности, в шахтах, не опасных по пыли, не опасных в отношении зарядов стат. электричества и блуждающих токов
<i>Предохранительные</i>					
ЭДКЗ-ПМ	0,20	2,0	Короткозамедленного действия, мощные, с интервалами замедления 15,20 мс	ГОСТ-21806-76	При взрывании крепких и средней крепости пород
ЭДКЗ-П	0,20	2,0	То же с интервалами замедления 25 мс	То же	При взрывании обычных и переуплотнённых ВВ в сухих шахтах, опасных по газу и пыли
ЭДКЗ-ОП (ЭД-8ПМ)	0,20	2,0	С нулевым интервалом замедления (мгновенного действия)	То же	При взрывании мягких пород
ЭД-КЗ-ПКМ	0,20	2,0	Короткозамедленного действия с интервалами 20 и 25 мс	ТУ-84-1162-87	Для взрывания зарядов предохранительных ВВ в опасных по газу и пыли шахтах и неопасных по стат. электричеству и блуждающим токам
ЭД-1-8-Т	1,0	88	Мгновенного действия	ДИШВ.7 73951.300 ТУ-81	При взрывании в условиях, опасных по блуждающим токам. При импульсной обработке деталей взрывом



Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6
<b>Пониженной чувствительности к току и зарядам статического электричества</b>					
<b>Непредохранительные</b>					
ЭД-1-3-Т	1,0	88	Короткозамедленного и замедленного действия	То же	То же
Нечувствительные к блуждающим токам					
ЭД-24	0,20	29-37	Непредохранительные, мгновенного, короткозамедленного и замедленного действия	ДИШВ.773951.003ТУ-91	Для зарядов ВВ с использованием обратного инициирования зарядов с применением механизированного заряжения
<b>ЭД специальные, мгновенного действия</b>					
ЭДС-1	0,18	-	Сейсмические нормальной чувствительности	ДИШВ.773951.009ТУ-94 ТУ84-1139-87	Для инициирования зарядов ВВ при сейсморазведке
ЭДС-2	0,18	-	Сейсмические, нечувствительные к блуждающим токам	ДИШВ.773951.002ТУ-93	То же
ТЭД-200 ТЭД-270	0,2	(7-17)*10 <sup>-3</sup>	Термостойкие	ДИШВ.773951.501ТУ-75	При прострелочно-взрывных работах в нефте- и газоскважинах
ЭДВ-1 ЭДВ-2	Включение в сеть 380 В ведёт к перегоранию мостика.	14	Высоковольтные	ТУ84-305-87	Для инициирования одиночных зарядов ВВ в импульсных установках при повышенной опасности блуждающих токов
АТЭД-15	0,20	-	Высоковольтные, безопасные, быстродействующие, высокоточные	АТЭД-15ТУ	Для группового инициирования (20 и более ЭД)

1	2	3	4	5	6
ЭД-22 ЭД-27 ЭД-29	0,92	88	Для крепления труб в трубных решётках пониженной чувствительности к току	ТУ84-1119-87  ДИШВ.773951 .005ТУ-92	Для запрессовки труб в теплообменных аппаратах и котлах

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Озерной М. И., Петров Ю. С.* Исследование воздействия блуждающих токов та электровзрывную цепь и обоснование безопасных параметров электродетонаторов. Изв. вузов. Горный журнал, №6, 1972.
2. *Гаврильченко Л. И., Петров Ю. С.* Перспективные технические требования к системам электровзрывания. Госгортехнадзор СССР, Информ. бюллетень №11/930/-89, М., 1989.
3. *Петров Ю. С.* Совершенствование и повышение безопасности технологии подземных горных работ на базе развития теории и практики электровзрывания. Автореф. дис. ... докт. техн. наук. Владикавказ: Мавр, 2000.



УДК 621.39

*Асп. ГАБАРАЕВ С. З., доц. ФЕТИСЕНКО К. И.*

### АНАЛИЗ СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ ГОРОДСКОГО ТИПА

*На основе двух технологий строительства и развития волоконно-оптических сетей приведены рекомендации по выбору оптимального варианта проекта оптического канала связи, стоимостные данные комплектующих элементов оптического канала, кабелей, муфт, а также типовые стоимости расходов на прокладку, земляные и сварочные работы.*

Современные здания (офис, производственный комплекс или жилой дом) насыщены множеством кабельных разводов и информационных сетей, среди которых телефонная система, локальная компьютерная сеть, сеть офисного телевидения и т.д. Линии связи являются базой, на которой строятся все основные компоненты информационно-вычислительных комплексов предприятий и организаций. Правильное построение и выбор среды передачи цифровой информации является одной из главных задач при создании ин-

формационных систем и определяет надежность функционирования всех служб и подразделений организации. Именно поэтому при создании информационной системы необходимо, чтобы она была бы такой же надежной, как и само здание. В первую очередь именно кабельные системы затрагивают изменения в новых технологиях передачи данных, сетевых и коммуникационных стандартах, моделях оборудования и версиях прикладных программ, из-за которых приходится моделировать или даже заменять всю слаботочную проводку.

Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) являются одной из самых надежных систем передачи цифровой информации. Они прочно занимают свои позиции и интенсивно развиваются, им отводится ведущее место в научно-техническом прогрессе отрасли связи.

Оптическое волокно позволяет передавать огромное количество информации. Если сопоставить его полосу пропускания и емкость канала связи, считая, что 1 бит/с соответствует 1 Гц полосы, то можно прийти к выводу, что емкость такого канала близка к бесконечности. Фактически, весь используемый радиочастотный спектр (считаем, что он укладывается в полосу 3 кГц – 200 ГГц) может быть передан по одному волокну [1]. Другими достоинствами ВОЛС являются низкие потери, малая масса и габаритные размеры, экономия цветных металлов, высокая степень защищенности от внешних и взаимных помех, а также длительный срок службы [2].

В России на сетях Министерства связи с 1993 г. строительство новых магистральных, а с 1996 г. и внутризоновых линий связи ведется с использованием оптических кабелей связи. Стремительными темпами идет замена кабелей с металлическими жилами на волоконно-оптические кабели на всех участках сетей, в том числе и на абонентских линиях города и села. Объем потребления различных видов кабелей и проводов в мире увеличился за последние четыре года на 17%, а волоконно-оптических – на 110% [3].

Рассмотрим общие экономические аспекты строительства волоконно-оптических линий связи городского типа. Во-первых, это размер капиталовложений, необходимых для создания сети. Он в основном зависит от функций, выполняемых сетевым элементом и от общей конфигурации сети.

Исходя из этого, рассматриваются следующие составные части расходов, требующихся для реализации различных конфигураций:

1. Общая стоимость оборудования, необходимого для поддержания какой-либо конфигурации, связанная с целым рядом характеристик сетевой конфигурации (недостаточная плотность или пропускная способность сети, стоимость объединения кольцевых линий и неравномерность коммутации);

2. Стоимость защиты трафика оказывает влияние на эффективность использования любой полосы пропускания, которую обеспечивает транспортная сеть.

3. Стоимость модернизации и увеличения количества оборудования. В общую стоимость оборудования должна входить не только стоимость начального приобретения, но и стоимость, связанная с увеличением количества оборудования и его модификацией.

Во-вторых, из-за самого характера волоконно-оптической сети при ее экономическом анализе надо учитывать не только полную стоимость оборудования. Другие стоимостные составляющие, хотя прямо и не входят в стои-

мость оборудования, тем не менее, непосредственно связаны с архитектурой сети. Сюда относится стоимость различных видов обеспечения работы сети, а также расходы, необходимые для эксплуатации оборудования и оказания услуг. К эксплуатационным расходам относится время; требующееся для планирования, обеспечения и подготовки трафика; для планирования и управления кольцевыми сетями, а также для планирования и развития пропускной способности.

При прокладке ВОЛС в канализации необходимо получение технических условий на прокладку кабеля от местных узлов связи, что обычно занимает 1 – 2 месяца, причем, как правило, технические условия содержат большой объем работ по докладке, восстановлению или ремонту кабельной канализации и колодцев. Практика показывает, что объем дополнительных работ, может составить от 20 до 50 % стоимости строительства ВОЛС [4]. Данные о длительности основных этапов и ориентировочной стоимости проектирования и строительства ВОЛС приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Строительство ВОЛС, этапы	Общий срок выполнения проектных работ, месяц	Стоимость проектных работ, тыс. \$ на 1 км	Общий срок выполн. строительных работ, месяц	Общий срок проект. и строительства линии, месяц
Получение тех. условий на строительство у местных узлов связи	2 – 4	1 – 3	2 – 3	4 – 6
Согласование рабочего проекта с местным узлом связи				
Заключение договоров аренды канализации				
Выполнение объема дополнительных работ для местных узлов связи				

В России наиболее распространенным методом строительства является метод “Броня”, т. е. прокладка кабеля, бронированного круглой проволокой, в грунт (рис.1).

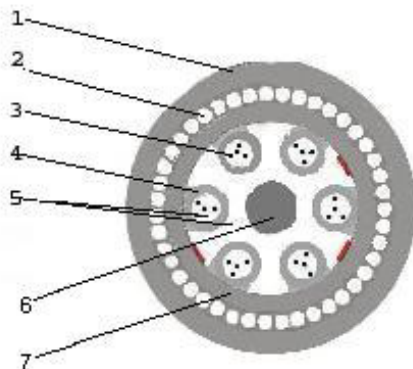


Рис. 1. Кабель оптический. 1 – оболочка, 2 – броня из круглых стальных проволок, 3 – оптическое волокно, 4 – оболочка оптического модуля, 5 – гидрофобный наполнитель, 6 – центральный силовой элемент, 7 – внутренняя полиэтиленовая оболочка.

Недостатки у “Брони”:

1. Необходимость перемотки кабеля при каждом пересечении (каждая перемотка дает нагрузку на кабель и в технических условиях производители обычно указывают, сколько перемоток с барабана на барабан можно сделать без ухудшения технических характеристик кабеля). Кроме того, это трудоемкая операция, требующая денег и времени.

2. Ограничение продолжительности строительного сезона – не ниже  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Достоинства технологии:

1. Распространенность – практически все кабельные заводы выпускают данную номенклатуру, во всех странах бывшего СССР почти в любой точке есть подрядчики, способные выполнить работы по прокладке.

2. Существенно меньший ассортимент аксессуаров и запасных частей, чем в других технологиях, что делает этот метод строительства наиболее распространенным.

Целесообразно закладывать значительное количество волокон на перспективу, так как наращивание волокон в данной технологии требует дополнительного полного технологического цикла прокладки кабеля.

Есть еще один метод строительства – “Труба”, т. е. задувка (затяжка) легкого небронированного кабеля в предварительно проложенную в грунт защитную пластмассовую трубку (ЗПТ). Технология пластмассовых трубопроводов – основная альтернатива “Броне” в странах США и Западной Европы. Эта технология используется в мире с начала 90 – х годов [5]. В странах СНГ такой метод получил распространение в Казахстане и в бывших республиках Средней Азии и Закавказья, из-за влияния компании “Siemens” на формирование отрасли строительства ВОЛС. В России этот метод применяется ограниченно (около 10 % всех объемов строительства идут в ЗПТ).

Преимущества технологии:

1. Возможность относительно легкой докладки второго кабеля (дозадувки) или замены кабеля на более совершенный.

2. Простота прохода пересечений: в месте пересечения трубу режут и соединяют муфтой – нет перемоток, как в “Броне”.

3. Увеличение строительного сезона, т.к. возможна работа при более низких температурах.

Недостатки технологии:

1. Увеличение общей стоимости объекта, т. е. материалы – труба плюс легкий кабель – стоят дороже, чем бронированный кабель.

2. Неотработанность технологии, что связано с невысоким уровнем подготовки ряда строительных организаций, которые берут работы, не имея должного оснащения для ее выполнения.

3. Неотработанность эксплуатации связана с отсутствием нормативной документации и опыта компаний операторов, а также попыткой экономии на инструментах для эксплуатации при непонимании последствий подобной экономии. Можно добавить, что техника для задувки кабеля в трубки достаточно дорогостоящая.

Наращивание числа волокон в данной технологии, как правило, возможно, без проведения масштабных земляных работ и сопутствующей оплаты. Наращивание числа волокон может идти двумя путями. При перенаправлении трафика и неиспользовании волокон на время проведения работ можно извлечь проложенный кабель и задуть новый более емкий. При невозможности “отключения” существующего кабеля в определенных случаях можно задуть второй, а иногда и третий кабель. Процедура дозадувки стоит в два и более раза дороже, нежели установки первого кабеля, что вызвано меньшей дальностью задувки, вероятностью повреждения старого кабеля и необходимостью использовать дополнительное оборудование. Риски в данной операции связаны с повреждением старого кабеля, возможностью сплетения кабелей в трубе, когда извлечь обратно новый кабель без повреждения старого не удастся. Эти риски оценить в денежном выражении очень сложно.

Ознакомившись бегло с преимуществами и недостатками, можно начать упрощенный экономический анализ применения вышеприведенных технологий при строительстве и развитии сети на примере одного сегмента ВОЛС. Предположим, что планируется создать сегмент ВОЛС. (Все нижеприведенные цены в расчете на 1 км условны и не претендуют на какую-либо коммерческую информацию. Реальная стоимость материалов и работ может отличаться от приведенных значений в ту или иную сторону). Для расчета стоимости строительства воспользуемся некоторыми исходными данными, приведенными в табл. 2 и 3.

Т а б л и ц а 2

**Исходные данные. Общие положения**

Землеотвод + проектир., \$	2500
Граншея, \$	2500
Кэф. на перемотку, %	20
Задувка в ЗПТ, \$	500

*Землеотвод и проектирование.* Эти затраты включают проектные работы, согласование трассы прохода, пересечений, рубку просеки, восстановление

ние зеленого покрова, восстановление дорог и т.д. Затраты индивидуальны и зависят от территории, по которой проходит трасса, от статуса компании – заказчика и других факторов. Если строительство проходит вдоль полосы отвода естественных монополий, авто – и железных дорог, то согласование прохода по “их” земле оказывается еще дороже.

Т а б л и ц а 3

**Исходные данные. Стоимость кабелей и работ по сварке**

Число волокон	12	24	48
Броня, \$	1053	1360	2267
Труба, \$	972	1016	1580
Сварка, \$	185	370	740

Траншея – условное обозначение вех земляных работ.

Коэффициент на перемотку – скидка, которую могут предоставить строительные компании на рытье “траншей”, если не нужно перематывать кабель.

Задувка а ЗПТ – стоимость пневмопрокладки оптического кабеля в проложенную и смонтированную ЗПТ.

Броня – стоимость оптического кабеля, бронированного круглой стальной проволокой.

Труба – стоимость диэлектрического оптического кабеля для задувки в ЗПТ.

Сварка – стоимость сварки и монтажа оптических муфт на кабелях заданной волоконности и входной контроль, включая муфты.

На основании вышеприведенных данных можно сформировать стоимость строительства и докладки кабеля (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

**Сводная стоимость строительства и докладки кабеля  
(землеотвод и траншея по 2500 \$)**

Технология	Кабель, \$	ОВ	Сварка, \$	Задувка ОК, \$	Коэф. на перемотку	Строительство, \$	Добавление кабеля, \$
Броня	1053	12	185	–	1	6238	6238
Броня	1360	24	370	–	1	6730	6730
Броня	2267	48	740	–	1	7959	7959
Труба	972	12	185	500	0,8	6875	2157
Труба	1016	24	370	500	0,8	7086	3386
Труба	1580	48	740	500	0,8	8020	3320

Рассмотрим вариант застройки – средняя плотность населения, районный центр, со средней скоростью освоения волокон. Процент дисконтирования средний (табл. 5).

## Вариант застройки

Технология	Броня	Труба
Стройка, число ОВ	48	24
Цена стройки, \$	7959	7086
Добавление, число ОВ	48	48
Цена добавления, \$	7959	3320
Размер ЗПТ, мм	–	40
Число ЗПТ	–	1
Интервал учета, лет	–	2
Освоение волокон, год	–	6
Дисконтирование, %	–	12

Интервал учета – это внутренний параметр, связанный с ограничительностью программы анализа, – шаг анализа.

Число ЗПТ вводит ограничение по наращиванию емкости трубы. В одну трубу могут быть задуты только два кабеля. Если после заполнения всех ЗПТ двумя кабелями на канал требуется новое полноценное строительство.

Также важным параметром являются общие параметры – бизнес среды и развития сети: число осваиваемых в год волокон и процент дисконтирования, численно равный банковской ставке процентов.

Очевидно, что при достаточно высоком проценте дисконтирования выгоднее сначала затратить меньше (т. е. заложить меньше волокон), а потом наращивать больше (т. е. затраты отодвинуть на потом) [6]. Поэтому кабель имеет большее или такое же число волокон, что и кабель для строительства.

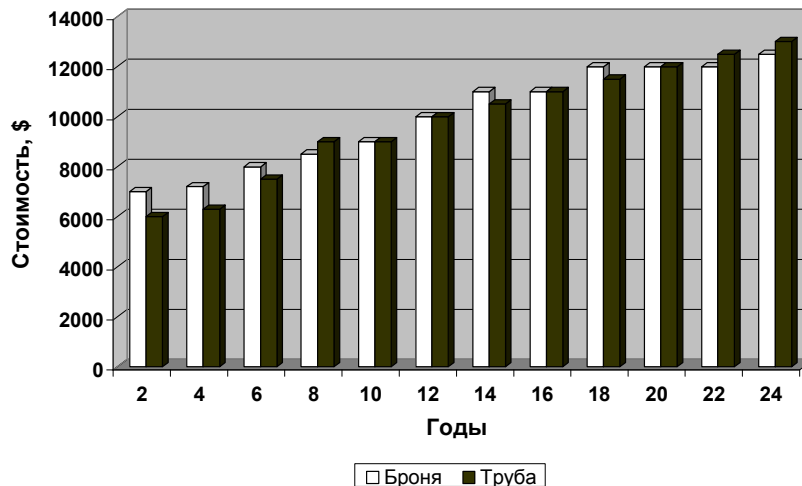


Рис.2. Стоимость технологий.



На долгосрочный период затраты идут практически синхронно. Выбрать из этих двух технологий затруднительно, но исходя из того, что технология Труба в первоначальных вложениях дешевле ее можно выдвинуть на первый план (рис.2).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. М.: Техносфера, 2004.
2. Гроднев И. И. Волоконно-оптические линии связи. М.: Радио и связь, 1990.
3. RusCable. ru 2000 – 2005 technical and information support technical departments of conducting Russian cable factories.
4. Николаев А. Ю. Техничко-экономические показатели цифровых радиотелефонных сетей на основе атмосферных линий связи // Информост – радиоэлектроника и телекоммуникации, №5(18), 2001.
5. Инструкция по прокладке и монтажу оптического кабеля в ПВП трубах “Silicore”. М.: ОАО “ССКТБ – ТОМАСС”, 1998.
6. Сабинин Н. К. Экономика строительства ВОЛС подземной прокладки // Lightwave Russian Edition, №2, 2003.



УДК 622

*Проф. КЛИМОВ Б. Г., канд. техн. наук ХАДОНОВ А. В.,  
асп. ГУРИЕВА Е. В.*

#### **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СКИПОВЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК**

*Предложены безразмерные характеристики скиповых подъемных установок, которые позволяют оптимизировать режимы их работы с выбором рациональных значений времени движения, максимальной скорости, грузоподъемности и мощности двигателей. Показано, что интенсификация работы установок является эффективным способом решения производственных вопросов при реконструкции шахт и рудников.*

Выбору параметров и режимов работы шахтного подъема посвящены работы М. М. Федорова, Г. М. Еланчика, А. С. Ильичева, А. П. Германа, Ф. Н. Шклярского, П. П. Нестерова, Б. Л. Давыдова, О. А. Залесова, Н. Г. Гаркуши и др. ученых. Ими заложены основы проектирования этого важнейшего звена рудничного транспорта – совершенствование кинематики, динамики, привода, органов навивки, канатов, армировки и др. элементов шахтного подъема.

Современный период развития техники базируется на рыночных отношениях и практическое применение в горной практике находят только те

горные машины, которые обеспечивают прибыльность производства. Непрерывный рост цен и тарифов, изменение кредитной политики в области инвестирования новых предприятий ставит задачу поиска максимально эффективных схем и средств горного производства. Это относится и к шахтному подъему.

Подъемные установки действующих шахт и рудников в связи с истощением их технического ресурса, а также из-за углубления горных работ в настоящий период подвергаются реконструкции и модернизации. Анализ параметров грузовых подъемов шахт и рудников, а также выбору рациональных путей совершенствования их режимов работы посвящено настоящее исследование.

Рассмотрим трехпериодную тахограмму подъема с постоянными значениями ускорений  $a_1$  и  $a_3$ . Для такого режима время движения сосудов  $T$  и высота подъема  $H$  определяются связанной системой уравнений

$$\left. \begin{aligned} T &= t_1 + t_2 + t_3 \\ H &= x_1 + x_2 + x_3 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $t_1, t_2, t_3$  – соответственно, время разгона, равномерного движения и замедления, в секундах;

$x_1, x_2, x_3$  – пути, которые проходит подъемный сосуд в эти периоды времени, м.

Из (1) путем его анализа следует, что максимальная скорость движения

$$V = cT - \sqrt{(cT)^2 - 2cH}, \quad (2)$$

где  $c = a_1 a_3 (a_1 + a_3)^{-1}$  – бином ускорений по определению Г. М. Еланчика.

Если время движения сосудов  $T$ , с обозначить как  $\alpha_T \sqrt{H}$  при размерности  $H$  в м, то из (2) легко получить зависимость  $V = \alpha_V \sqrt{H}$ , м/с. Расчетные характеристики  $\alpha_V = f(\alpha_T)$  приведены в таблице. При  $\alpha_T = 2$ , что соответствует времени движения  $T = 2\sqrt{H}$ , величина  $\alpha_V$  достигает своего теоретически возможного максимума  $V = \sqrt{H}$ , так как трехпериодная тахограмма превращается в двухпериодную, а период равномерного движения  $t_2$  становится равным нулю.

При реконструкции одного из рудников Канады с высотой подъема 200 м максимальная скорость была увеличена до 15 м/с, что практически соответствует предельно возможным величинам по критерию  $\alpha_V$ .

В недавнее время по правилам безопасности (ПБ) максимальная скорость движения сосудов вертикального подъема ограничивалась величиной  $0,8\sqrt{H}$ , а сейчас по нормативам безопасности максимальную скорость определяют по проекту. Это позволяет в необходимых случаях, сохраняя конечную нагрузку, канат и подъемную машину только за счет замены двигателя на более быстроходный и более мощный увеличивать производительность подъема при неизменной высоте  $H$ .

Для глубоких шахт при  $H \geq 600$  м введена несколько лет назад по ПБ переменная шкала запасов прочности канатов, что позволяет за счет перехода на канаты с меньшим диаметром увеличить навивочную поверхность действующих барабанных машин и таким образом решить проблему сохранения производительности рудника при увеличении высоты подъема за счет интенсификации движения сосудов. Для многоканатных подъемных машин проблемы размещения канатов на барабанах не существует, но данный способ также может найти свое применение. Так, например, при необходимости многоканатная скиповая подъемная установка Урупского ГОКа может быть реконструирована с минимальными капитальными затратами за счет увеличения скорости движения сосудов и замены двигателя. В некоторых случаях имеющийся резерв роста скорости движения сосудов при использовании привода постоянного тока может быть реализован путем повышения напряжения питания от мотор-генераторной группы или тиристорного преобразователя.

Изменение длительности движения  $T = \alpha_T \sqrt{H}$  в пределах от  $2\sqrt{H}$  до  $8\sqrt{H}$  требует при сохранении производительности подъема увеличения относительной величины полезного груза  $\alpha_Q$  с 0,5 до 2,0. Это справедливо при  $\alpha_Q=1$ , определенной для рациональной длительности движения по Г. М. Еланчику  $T = 4\sqrt{H}$ . Зависимость  $\alpha_Q = f(\alpha_T)$  приведена в таблице.

Для  $T = 4\sqrt{H}$  и паузы между подъемами длительностью  $\theta$  полезная грузоподъемность двухсосудной системы, т

$$Q = A_{\text{час}} \frac{4\sqrt{H} + \Theta}{3600}, \quad (3)$$

где  $A_{\text{час}}$  – проектная часовая производительность установки, т/ч.

Линейная зависимость  $\alpha_Q$  в функции  $\alpha_T$  получена при пренебрежении длительностью паузы  $\theta$  по отношению к длительности движения –  $\alpha_T \sqrt{H}$ , что вполне допустимо для относительно глубоких шахт, у которых более остро проявляются проблемы обеспечения заданной производительности.

По сравнению с подъемами техническая производительность средств подземного транспорта шахт и рудников обычно превышает возможности шахтного подъема, который в большинстве случаев является узким местом в технологической цепочке комплексов горных машин, включая очистное и подъемно-транспортное оборудование.

Строительная мощность двигателя подъемной машины определяется в кВт как

$$N = \rho \frac{\kappa Q V}{102 \eta_{\text{дв}} \eta_{\text{зн}}}, \quad (4)$$

где  $\kappa$  – коэффициент шахтных сопротивлений, для скиповых подъемов,  $\kappa = 1,15$ ;

$\eta_{\text{дв}}$  – к.п.д. двигателя;

$\eta_{\text{зн}}$  – к.п.д. зубчатой передачи;

$\rho$  – константа динамического режима.

Определение  $\rho$  выполним путем расчета необходимой мощности двигателей по их нагреву для уравновешенных систем подъема как

$$N = \frac{1,1F_{\text{экв}}V}{102\eta_{\text{ог}}\eta_{\text{зн}}}. \quad (5)$$

Эквивалентное по нагреву усилие

$$F_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{\sum Ft^2}{t_{\text{экв}}}}. \quad (6)$$

Из равенства правых частей (4) и (5) найдем значение  $\rho$ . Его величина для базовой точки с  $\alpha_T = 4$  составляет 1,17. Расчетные значения  $\rho$  приведены в таблице. С увеличением  $\alpha_T$  растет относительная длительность периода равномерного движения и улучшаются условия охлаждения двигателя за счет чего и падает величина  $\rho$ .

### Значения относительных характеристик подъемов

Параметр подъема	Относительное время, $\alpha_T$						
	2	2,5	3	4	5	6	8
Скорость, $\alpha_V$	1,0	0,5	0,39	0,27	0,21	0,18	0,13
Груз, $\alpha_Q$	0,5	0,625	0,75	1,0	1,25	1,5	2,0
Константа, $\rho$	1,78	1,60	1,25	1,17	1,15	1,13	1,09
Мощность, $\alpha_N$	1,81	1,33	1,16	1,0	0,96	0,97	0,90
Кпд, $\eta$	0,434	0,697	0,755	0,825	0,834	0,85	0,85
Энергия: относительная $\alpha_E$	2,06	1,18	1,09	1,0	0,987	0,969	0,969
абсолютная, $\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}} \cdot 10^{-3} \text{ H}^{-1}$	6,62	3,9	3,6	3,3	3,26	3,2	3,2

Эквивалентное по охлаждению двигателя время  $t_{\text{экв}}$  для (6) рассчитывали без учета паузы  $\theta$  как  $t_{\text{экв}} = \frac{2}{3}(t_1 + t_3) + t_2$ , что дает гарантию некоторого запаса мощности. Для заданных условий при  $a_1 = a_3 = 1$  м/с численное значение

$$t_{\text{экв}} = \frac{4}{3}V + \frac{H}{V} - V. \quad (7)$$

Удельный расход энергии (кВт·ч/т) вычисляли по площади диаграммы мощности  $N = f(t)$  для уравновешенной системы подъема при коэффициенте массивности систем, равном единице, и при использовании асинхронных

двигателей с фазным ротором. Абсолютный расход энергии для базового режима с  $\alpha_T = 4$  составляет 0,0033Н кВт·ч/т (при размерности высоты подъема  $H$ , м).

Расход электроэнергии (кВт·ч) на тонну груза определяется как

$$\mathcal{E} = \frac{\sum_{i=1}^3 N_i t_i}{3600Q}. \quad (7)$$

Полезный расход энергии (кВт·ч/т) составляет из теории размерностей  $0,00272H$ , что позволило определить расчетный к.п.д. каждой из рассматриваемых систем без учета потерь в двигателе подъема и в редукторе привода, а также относительный расход энергии  $\alpha_{\mathcal{E}}$  (таблица), без учета потерь энергии при управлении двигателем и приводом.

Идеальная мощность двигателя подъемной установки (кВт) составляет

$$N_{ид} = \frac{QV}{102}, \quad (9)$$

где  $Q$  – масса груза, кг;

$V$  – максимальная скорость движения, м/с.

С учетом шахтных сопротивлений и теплового режима реальная мощность двигателя не должна быть меньше чем

$$N_{дв} \geq \rho \frac{kQV}{102\eta_{дв}\eta_{зн}}. \quad (9)$$

Формулу (4) можно с учетом (9) записать как

$$N_{дв} = \alpha_N N_{ид} (\eta_{дв}\eta_{зн})^{-1}. \quad (10)$$

Расчетные значения коэффициента  $\alpha_N$  показаны в таблице.

При этом  $\alpha_N$  определялся как отношение строительных мощностей двигателей при заданном значении  $\alpha_T$  к  $N$  при  $\alpha_T = 4$ .

Анализ полученных относительных параметров позволяет прогнозировать следующие результаты.

1. Увеличение грузоподъемности сосудов на 25 % при росте  $\alpha_T$  с 4 до 5 обеспечивает непропорциональное снижение мощности привода, некоторое повышение к.п.д. системы при уменьшении удельного расхода энергии только на 1,3 %. Поэтому без необходимости увеличения часовой производительности такое решение нельзя считать целесообразным.

2. Снижение грузоподъемности сосудов на 25 % при уменьшении  $\alpha_T$  с 4 до 3 приводит к росту скорости движения с 0,27 до  $0,39\sqrt{H}$ , т. е. на 45 %, увеличению мощности двигателя на 16 % и увеличению удельного расхода электроэнергии на 9 %. Использование в этих условиях более экономичной

системы привода в виде машин постоянного тока с независимым возбуждением или синхронных двигателей с частотным регулированием частично снимает недостаток системы, сохраняя существенные ее преимущества по снижению капитальных затрат на сосуды, канаты, копры и коренные части подъемных машин.

3. Дальнейшее снижение  $\alpha_T$  до уровня 2,5 приводит к резкому увеличению скорости движения сосудов, увеличению расхода энергии, падению к.п.д. и росту мощности привода подъемных машин. Частично эти недостатки энергопотребления асинхронных машин могут быть скомпенсированы за счет применения более современных систем привода. Однако, возрастающие динамические нагрузки на элементы армировки стволов, пропорциональные квадрату роста скорости, не позволяют однозначно считать такое решение по интенсификации работы подъема достойным внимания. Можно только предполагать, что эта зона скоростных режимов может быть реализована для подъемов оборудованных канатными проводниками при достаточности зазоров между сосудами и крепью стволов.

При реконструкции действующих подъемных установок и необходимости увеличения часовой их производительности без замены сосудов, канатов, копра и органов навивки техническое решение на сокращение времени движения за счет роста максимальной скорости можно безусловно считать рациональным.

4. Известно, что параболические тахограммы подъема с переменными ускорениями линейного типа уменьшают потребляемые пики мощности из сети, однако при этом увеличиваются вдвое периоды разгона и замедления, что приводит к росту общей длительности цикла подъема и, как следствие, к росту капитальных затрат из-за необходимости увеличения грузоподъемности сосудов, роста диаметров канатов и барабанов, массы копров и армировки ствола и не может считаться прогрессивным техническим решением для отечественных энергосистем, обладающих большими перегрузочными возможностями к пиковым нагрузкам подобного рода.

Расчеты для определения относительных характеристик подъемов выполнены для уравновешенных систем. При отсутствии хвостовых канатов увеличивается степень неравномерности диаграммы движущих усилий и константа динамического режима  $\rho$ . Степень роста этой величины  $\alpha_y$  определим через отношение эквивалентных усилий неуравновешенной и уравновешенной систем подъема. Так как для глубоких шахт длительность периодов разгона и замедления относительно мала, то без учета динамических составляющих усилий расчет этой поправки сводится к определению величины

$$\alpha_y = \sqrt{\frac{(kQ + pH)^2 + (kQ + pH)(kQ - pH) + (kQ - pH)^2}{3k^2Q^2}}$$

Исключение из расчета  $\alpha_y$  динамической составляющей при разгоне системы частично компенсируется исключением динамического падения усилий при замедлении.

После алгебраических преобразований

$$\alpha_y = \sqrt{1 + 0,33\beta^2}, \quad (11)$$

где  $\beta$  – степень статической неуравновешенности

$$\beta = pH(kQ)^{-1}. \quad (12)$$

При  $\beta$ , равной 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 и 1  $\alpha_y$  соответственно будет 1,006; 1,02; 1,06; 1,10; 1,15.

Неуравновешенность подъема негативно начинает сказываться при  $\beta \geq 0,4$ . Эти данные получены ранее Г. М. Еланчиком при исследовании проблемы уравновешивания подъемных канатов.

В настоящее время любое техническое решение считается эффективным, если экономия от его внедрения  $\Delta\mathcal{E}$ , р./год превышает затраты на получение банковского кредита  $pK3$ , т. е. когда выполняется условие

$$\Delta\mathcal{E} > pK3, \quad (13)$$

где  $p$  – ставка погашения банковского кредита, ед/год;

$K3$  – капитальные затраты, р.

Высокие ставки  $p$  и большой объем капитальных затрат не позволяют при проектировании и реконструкции шахт и рудников принимать грузо-подъемность сосудов по условию  $T \geq 4\sqrt{H}$ . Целесообразным является решение о длительности движения

$$3\sqrt{H} > T < 4\sqrt{H}. \quad (14)$$

Выполнение условия (14) позволяет интенсифицировать работу подъемных установок и уменьшить объем капитальных затрат. Использование в период разгона двигателей машин с большой перегрузочной способностью и рациональной системой питания позволяет уменьшить негативные характеристики асинхронного привода с фазным ротором и получить приемлемый срок окупаемости затрат и в годах как

$$n = K3(\Delta\mathcal{E} - pK3)^{-1}. \quad (15)$$

Формула (15) примерно определяет период, когда затраченные заемные средства начнут приносить прибыль.

Выполнение условия (14) будет автоматически реализовано, если при расчете  $Q$  по (2) проектировщик примет не ближайший больший, а ближайший меньший типоразмер скипа, а при подборе быстроходности привода будет рассматриваться вариант с обеспечением скорости  $V \geq 0,3\sqrt{H}$ , м/с. Эти типовые решения позволят получить оптимальные параметры подъемов при их проектировании или реконструкции.

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА БАРАБАНЫХ ПОДЪЕМНЫХ МАШИН

*Выполнен анализ компоновочных решений различных типов органов навивки барабанного вида относительно шахтных копров и предложены перспективные решения по проектированию подъемов для глубоких и мелких шахт.*

Наибольшее распространение в мировой практике горного производства получили двухбарабанные подъемные машины, которые с успехом обслуживают шахты и рудники с высотой подъема до 600 м. Эксплуатация таких машин эффективна как для двухконцевых подъемов, так и для установок с противовесом. Технические данные типовых органов навивки позволяют работать с канатами диаметром до 76 мм и максимальным натяжением до 30000 даН при их разности до 24000 даН. Эти характеристики гарантируют обслуживание шахт и рудников скипами 2СН 9.5–1 грузоподъемностью 8,5 т по углю и 13,6 т по руде. При высоте подъема 300–400 м возможна эксплуатация барабанных машин со скипами емкостью 11 м<sup>3</sup> и грузоподъемностью до 15 т для руды или породы. Аналогичными технологическими показателями характеризуются однобарабанные разрезные машины типа ЦР, которые позволяют как и двухбарабанные конструкции легко выполнять операции по навеске, смене канатов, регулированию их длины при вытяжке или плановых испытаниях, а также выполнять перестановку сосудов для работы ими с разных горизонтов. Машины типа ЦР значительно компактнее чем двухбарабанные, имеют развитую навивочную поверхность, меньшую физическую массу (от 5 до 40 т в зависимости от типоразмера), меньшую приведенную к диаметру навивки массу (от 5 до 10 т), что в свою очередь уменьшает строительные объемы зданий для установок и снижает динамические нагрузки при пуске и торможении на привод.

Целью настоящей работы является сравнительная оценка, как типовых, так и прогнозных конструкций органов навивки. Положительные характеристики разрезных однобарабанных установок начинают уменьшаться при выполнении проектных работ по компоновке машин относительно шахтного ствола.

Наименьшую высоту копра имеют при одинаковых геометрических размерах барабанов установки, оборудованные двухбарабанными машинами (вариант I). Если расстояние между отвесами канатов в стволе  $S$  является лимитирующим, то для минимизации длины струны каната можно использовать вариант разворота копровых шкивов на одной площадке на угол  $\varphi$  (вариант II). При ширине барабанов  $B$  и расстоянии между ними  $a$  угол разворота копровых шкивов

$$\varphi = \arccos \frac{2B + a - S}{S}.$$



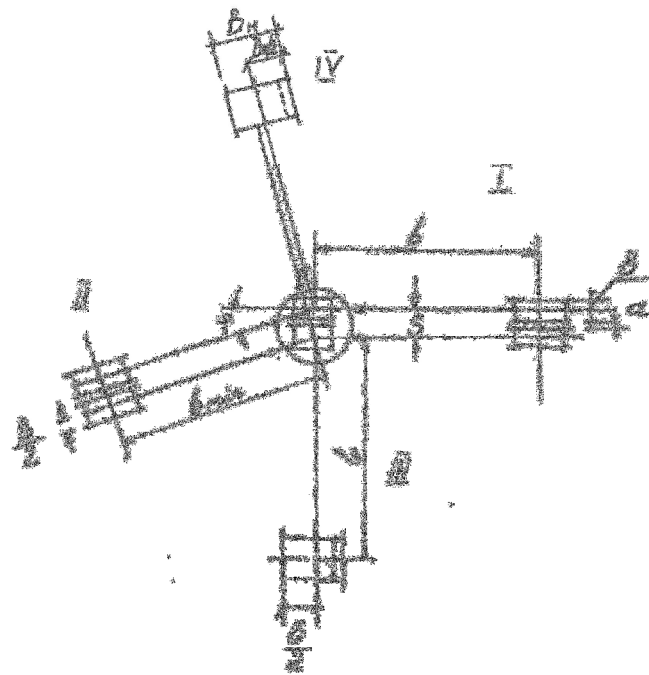


Рис. 1. Схемы расположения машин в плане.

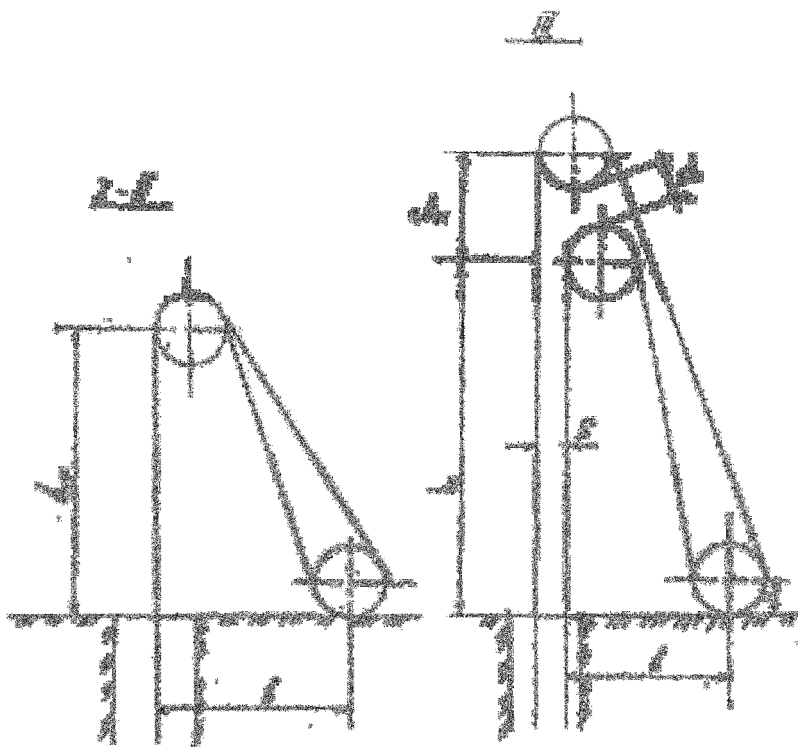


Рис. 2. Расположение машин относительно ствола.

Такая компоновка обеспечивает минимальное расстояние оси подъемной машины от отвеса канатов в стволе  $\epsilon$  при обеспечении равенства внутреннего и внешнего углов девиации канатов от плоскости копровых шкивов и удовлетворения допустимого их максимума в  $1^{\circ}30'$ . Максимальное приближение подъемной машины к стволу обеспечивает компактность копра и уменьшает размеры околоствольных охранных целиков.

При расположении копровых шкивов в одной вертикальной плоскости (вариант III) минимальная длина струны каната определяется в метрах как

$$L_{\min}=19,1 \cdot B, \quad (1)$$

где  $B$  – строительная ширина барабана, м.

За счет витков трения у внешних реборд расчетное значение  $B$  может быть уменьшено на величину  $n_{\text{тр}}(d_k+2\dots3)$ , где  $n_{\text{тр}}$  – число витков трения, равное 5 при металлической оболочке барабана,  $d_k$  – диаметр каната, мм.

Так как параметр  $B$  для однобарабанных машин больше чем для двухбарабанных, то с целью обеспечения предельно допустимого угла девиации приходится увеличивать длину струны, а угол наклона струны к горизонту, кроме того, не должен быть менее  $30^{\circ}$  при длине струны более 45 м. При угле наклона более  $45^{\circ}$  максимальная длина струны без поддерживающих роликов разрешается по правилам безопасности до 65 м с допустимым абсолютным максимумом в 75 м. Даже при одинаковой ширине барабанов расчет расстояния  $B$  проводится по нижней струне каната (варианты III, IV).

Укосина копра рассчитывается, как правило, на 90 % разрывного усилия каната  $S_{\max}$ , а масса копра  $G$ , т по формуле инж. Розенблита Г. Л. является функцией его высоты  $h_k$ , м:

$$G = 0,22 h_k \sqrt{S_{\max}}. \quad (2)$$

Массивность копров этого типа снижает достоинство машин типа ЦР. Компоновка копровых шкивов в параллельных плоскостях с их разворотом относительно осей ствола для однобарабанных машин позволяет несколько минимизировать размеры охранных целиков ствола, однако значительно усложняет конструкцию копра на отметках подшкивных площадок.

Расчет минимальной длины струны осуществляется в этом случае по (1) с заменой  $B$  на  $B_n$ , где  $B_n$  – ширина части барабана, соединенной неподвижно с коренным валом машины. В вариантах III, IV увеличение высоты копра по сравнению с вариантами I и II составляет, м

$$\Delta h_k = \sqrt{(D_{ш} + d)^2 - S^2}, \quad (3)$$

где  $D_{ш}$  – диаметр шкивов;  $d$  – расстояние между шкивами, м;  $S$  – расстояние между канатами.

Кроме того, увеличение высоты копра для однобарабанных машин требует при их оснащении общего увеличения длины подъемных канатов. Срок службы подъемных канатов обычно не превышает 1,5 лет и так как срок

работы копра ограничивается сроком эксплуатации органов навивки в 20–25 лет, то эксплуатационные затраты на увеличение длины каната из-за увеличения высоты копра становятся соизмеримыми с выгодой от снижения массы органа навивки. Увеличение массы копра и рост охранных целиков ствола вообще исключает некоторые стартовые преимущества разрезных машин.

При необходимости двухбарабанные органы навивки можно использовать для двухслойной навивки канатов. Все это в совокупности определяет очевидную перспективность конструкций двухбарабанных машин для отечественного горного машиностроения по отношению к однобарабанным разрезным установкам.

Существенного снижения диаметра навивки можно достигнуть, если каждый сосуд подвешивать на двух канатах. При этом возможны два варианта их размещения на барабанах. В первом варианте барабан может иметь желобки для навивки канатов в виде двухзаходной резьбы. Во втором – барабаны делятся ребордами на два участка, каждый из которых используется для навивки только одного каната.

Так как навивочная поверхность  $\pi DV$  ( $m^2$ ) при таких решениях уменьшается больше чем в два раза, то данный способ модернизации барабанов может быть рекомендован только для неглубоких (до 300 м) вертикальных стволов мощных предприятий. Органы навивки такого типа могут использоваться и для наклонных путей карьеров для обслуживания скиповых или автомобильных подъемников. Применение большегрузных сосудов с подвеской их на двух–четырёх канатах позволит применить органы навивки меньших диаметров и получить все преимущества многоканатных машин типа МК с исключением опасности проскальзывания канатов, которая не позволяет обеспечить интенсификацию переходных режимов разгона и торможения установок за счет реализации перегрузочной способности двигателей подъемов.

В мировой практике на глубоких шахтах подвеска сосудов на двух канатах иногда выполняется по системе Блеера. При этом для навивки каждого каната в два слоя используют самостоятельные участки цилиндрических барабанов, разделенные ребордами, которые обеспечивают переход каждого каната на второй слой при исчерпании навивочной поверхности первого слоя.

После исследования Г. В. Верстакова в СССР была разрешена правилами безопасности двухслойная навивка канатов на грузовых подъемах угольных шахт; в настоящее время она разрешена и на рудниках на грузовых подъемах вертикальных шахт с расположением установок на поверхности, а также подъемах с глубиной стволов свыше 900 м при скорости движения не более 8 м/с при условии согласования с Горгостехнадзором России на основании положительного заключения экспертизы промышленной безопасности. Снижение долговечности канатов в местах перехода их с одного слоя на другой и необходимость тщательного контроля и периодической замены этого участка являются технологическими и эксплуатационными недостатками, которые не позволяют быть конкурентными двухслойной навивке и системам Блеера с многоканатным установкам трения для глубоких шахт со скипами повышенной грузоподъемности, которые обеспечивают технологическую интенсивность мощных горных предприятий.

В последние десятилетия барабанные органы навивки вместо грузовых и пружинно–грузовых тормозных приводов стали оснащаться пружинными тормозными устройствами колодочного типа, которые обеспечили безподвальное размещение оборудования. Такие конструкции особенно эффективны для подъемов слепых стволов в подземных условиях, снижая потребный объем камер и обеспечивая отвод шахтных вод. На дневной поверхности здания подъемных машин из двухэтажных превращаются с такими приводами тормозов в одноэтажные, что обеспечивает значительный эффект по снижению капитальных затрат на строительные работы. При этом переход от пневматических тормозных систем к гидравлике и замена колодочных тормозов на дисковые является этапным достижением зарубежной мировой практики, которая в опытный порядок начинала в 90–х годах внедряться и на НКМЗ.

В отечественном машиностроении через вал–шестерню одноступенчатого редуктора подъемных машин разрешалось передавать асинхронными двигателями мощность не более 1200 кВт. Двухдвигательный привод поэтому позволяет увеличить суммарную мощность установок до 2400 кВт. При необходимости более высоких значений мощности подъем обычно комплектуется тихоходным двигателем постоянного тока с независимым возбуждением.

Обзор передового опыта по конструктивному совершенствованию органов навивки барабанного типа, выполненный в настоящей работе, позволит целенаправленно выбирать наиболее прогрессивные конструкции машин из числа имеющихся на рынке, а также ориентировать отечественное горное машиностроение на разработку типовых конструкций современного технического уровня.



УДК 621.791–929

*Д. т. н., проф. САБЕЕВ К. Г.*

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН КОЛЕБЛЮЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ**

*Приведены основы широкослойной наплавки колеблющимся электродом, позволяющие регулировать скорость охлаждения наплавленного металла и долю тепла на проплавление основного и электродного материала.*

При изготовлении и восстановлении деталей машин широко применяется износостойкая наплавка с колеблющимся электродом в среде углекислого газа под слоем флюса, электродом большого диаметра, ленточным электродом, под слоем флюса с дополнительным присадочным материалами.

Способ широкослойной наплавки с колеблющимся электродом по сравнению с наплавкой по винтовой линии дает возможность:

- получения более благоприятного термического для основного и наплавленного металла;

- регулирования скорости охлаждения наплавленного металла, что позволяет иметь ломаную нисходящую ветвь термического цикла;
- образования общей сварочной ванны по всей ширине наплавленного слоя, уменьшения доли тепла, идущего на проплавление основного металла, увеличение тепла на расплавление электродного материала.

Однако, как показали исследования автора, наряду с положительными сторонами, широкослойная наплавка колеблющимся электродом (при подаче монокристаллических присадочных материалов под слоем флюса или в среде углекислого газа) имеет и отрицательные характеристики:

- узкий интервал варьирования химического состава электродного материала, что препятствует получению износостойких сплавов необходимого химического состава и оптимальной структуры;
- нецелесообразность применения широкослойной наплавки для восстановления тонкостенных деталей малых диаметров, так как не эффективно используется тепло из-за перегрева металла сварочной ванны, увеличения потерь на излучение и перегрев изделия. Это приводит к снижению физико-механических свойств наплавленного металла и возникновению дополнительных технологических трудностей при наплавке, к стеканию металла сварочной ванны, что ограничивает применение форсированных режимов с целью повышения производительности наплавочных работ без увеличения припуска на механическую обработку деталей.

Основным методом эффективного использования тепла сварочной дуги и ванны, повышения производительности наплавочных работ и качества металла является использование присадочных порошковых материалов с высокой удельной поверхностью, в первую очередь присадочного порошкового металла или порошковых смесей [1].

Автором [1] разработаны теоретические предпосылки получения минимальной глубины проплавления основного металла и повышения производительности процесса. Предложен гибкий, эффективный способ восстановления деталей машин, повышающий производительность наплавки в 1,5–2 раза и уменьшающий глубины проплавления основного металла на 20–30 %.

В сварочную ванну подают порошковую смесь в количестве, определяемом формулой

$$q = \frac{aL\rho}{t} (2\sqrt{\alpha t_c} \ln \frac{T_B}{T_{пл}} - B),$$

где  $q$  – количество подаваемого порошка в единицу времени, г/с;

$a$  – ширина наплавляемого слоя, см;

$L$  – длина участка наплавки, см;

$\rho$  – плотность основного металла, г/см<sup>3</sup>;

$t_c$  – общее время взаимодействия металла сварочной ванны с основным металлом, с;

$T_B$  – средняя температура сварочной ванны, К;

$T_{пл}$  – температура плавления основного металла, К;

$\alpha$  – коэффициент температуропроводности основного металла, см<sup>2</sup>/с;

$t$  – продолжительность наплавки, с;

$B$  – глубина проплавления основного металла, см.

Исследованы и разработаны флюсы, составы и режимы наплавки, позволяющие получать на стальной подложке сплавы типа высокопрочного легированного чугуна, которые имеют износостойкость в 3–4 раза выше, чем закаленная токами высокой частоты сталь 45 при образивном и граничном трении [1].

Определено комплексное влияние составов и режимов широкослойной наплавки на нагрев, расплавление и перенос электродного материала методом многофакторного математического планирования эксперимента с использованием осциллографирования и скоростной киносъемки электрических параметров процесса. Установлено, что при оптимальных режимах и подаче порошковой смеси в сварочную ванну от 40 до 80 г в минуту мелкокапельный перенос переходит в струйный.

Математическое моделирование технологического процесса широкослойной наплавки позволило, варьируя параметрами режима и химическим составом порошковой смеси, изменять высоту наплавленного валика, глубину проплавления, износостойкость и твердость наплавленного металла, а также производительность в следующих пределах [2]:

- высота наплавленного валика от 0,2 до 5 мм;
- глубина проплавления от 0,01 до 2 мм;
- коэффициент относительной износостойкости от 0,8 до 4 единиц;
- производительность процесса от 1 до 25 кг/ч;
- твердость HRC от 20 до 50 единиц.

Результаты лабораторных исследований износостойкости наплавленного металла подтверждены эксплуатационными испытаниями восстановленных опорных катков гусеничных двигателей по разработанной технологии. Установлено, что их износостойкость в 3–4 раза выше, чем износостойкость серийно выпускаемых катков и не обнаружено существенных отличий в износе звеньев гусениц.

Выбор деталей для восстановления осуществляется по данным табл. 1, а режимы наплавки деталей электродами  $d = 1,6$  мм на установке с колебательным механизмом [3] приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 1

Порошковая смесь	Доля электродного материала, %	Электрод и защитная среда	Характерные условия работы наплавляемых деталей		Пример
			4	5	
1	2	3	4	5	6
Порошок № 1 [4]	40	СВ–08АА+АН–348А	1. Конструкционная сталь 2. Бронза, антифрикционный сплав	Граничная смазка, наличие продуктов износа. Пленка смазки	Уплотнение валов, узлы трения, скольжения. Валы оси в узлах трения со смазкой

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
Порошок № 2 [3]	20	СВ-08АА+АН-348А	1. Жидкая среда и взвешенные частицы	Гидроабразивное изнашивание	Защитные втулки валов, детали насосов и гидротурбин
			2. Конструкционная сталь	Трение без смазки или граничной смазки. Пленка смазки	
			3. Бронза, антифрикционный сплав	--	Детали землечерпалок, грейдеров и экскаваторов
			4. Песок, гравий	Гидроабразивное изнашивание	Детали гусеничных машин, цепей экскаваторов, звездочки ковшевых элеваторов

В работах [1, 2] теоретически и экспериментально установлено:

– при увеличении скорости охлаждения наплавленного металла возрастает скорость затвердевания сплава ( $V_{затв}$ ), скорость кристаллизации отдельных структурных составляющих (первичные дендриты становятся короткими и менее разветвленными, а их оси более тонкими, измельчается также эвтектика);

Т а б л и ц а 2

Обозначение и наименование детали	Напряжение дуги, В	Сила тока, А	Частота колебаний электрода, кол/мин	Частота вращения детали, об/мин.	Скорость подачи электрода, м/мин	Вылет электрода, мм	Смещение электрода, мм
Т-25-17.01.035 вал первичный	28-29	140-142	30	1,0	4,0	18-18,5	4,1-4,2
Т-25-24.03.062 ось сателлитов	30-31	120-121	35	1,0	4,0	15-15,5	3,9-4,0
Т-25-17.01.154 муфта реверса	27-28	150-152	40	0,85	6,0	20-20,5	3,5-3,6
Т-25-24.03.174 муфта блокировки	27-28	150-152	35	0,82	6,0	20-20,5	3,4-3,5
48-22.08.113 вал муфты	30-31	140-141	72	1,3	4,1	20-20,5	4,0-4,2
50-46.05.023-Б вал поворотный	25-26	180-182	76	1,5	2,4	18-18,5	4,0-4,1
54-29.00.060-Б задняя труба в сборе	30-31	180-182	100	0,35	2,4	17-17,5	9,0-9,5
54-32.051.011-А колесо наплавливающее	30-31	120-121	120	0,1	2,4	17-17,5	9,0-9,5
70-32.01.05 каток опорный	30-31	200-220	30	0,33	5,0	18-18,5	9-9,5

- повышение скорости охлаждения приводит к уменьшению размеров зерна (макро) и дендритной ячейки (микрозерна);
- количественную зависимость механических свойств сплава от характеристик его структуры можно выразить так:

$$Y = B + K d^{-n},$$

где  $Y$  – механические свойства сплава ( $HВ, \sigma_t, \sigma_b, \delta$ );

$B, K$  – эмпирические коэффициенты;

$n$  – параметр, изменяющийся от 0,5 до 1,0 в зависимости от используемых в уравнении характеристик структуры ( $d$  и  $D$ );

$d$  – диаметр микрозерна, мм;

$D$  – диаметр макрозерна, мм.

– теоретически можно предположить, что чем меньше глубина проплавления основного металла, тем быстрее происходит кристаллизация, а следовательно, измельчается структура наплавленного металла;

– уменьшение глубины проплавления достигается путем ускоренного охлаждения основного и наплавленного металла легированием и модифицированием сварочной ванны, а также их количеством.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Сабеев К. Г.* Разработка технологических основ для создания новых способов восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственной техники: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Кишинев, 1994.
2. *Сабеев К. Г.* Разработка и исследование технологии восстановления деталей гусеничных двигателей широкослойной наплавкой: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 1980.
3. А. с. 860399 (СССР). Устройство для сварки с колебаниями электрода. / К. Г. Сабеев и др. 1981.
4. А. с. 551146 (СССР). Состав для наплавки / К. Г. Сабеев и др. 1976.
5. А. с. 579119 (СССР). Состав для наплавки / К. Г. Сабеев и др. 1977.



УДК 621.791.929

*Проф. КАБАЛОЕВ Ю. Ж.,  
проф. САБЕЕВ К. Г.*

#### **О ВЛИЯНИИ ГИРОСКОПИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА ИЗНОС ТРУЩИХСЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ АВТОМОБИЛЯ**

*Исследовано влияние гироскопических явлений на состояние поведения автомобиля при его движении и износ трущихся поверхностей деталей и подшипников.*

Гироскопическими явлениями называются те, которые наблюдаются при быстром вращении, когда ось вращения изменяет свое направление в пространстве [1].



В современных автомобилях быстровращающиеся части также представляют собой гироскопы, так как частоты вращения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания достигают 3000–4000 об/мин в грузовых и 5000–6000 об/мин в легковых. Соответствующий гироскопический момент, возникающий при движении автомобиля по кривой, передается в виде дополнительных давлений на опоры вращающихся частей коробки передач, карданной передачи, заднего ведущего и переднего мостов и колес, реагирующих на повороты, подъемы и уклоны дорог.

Если быстро вращающиеся части машин не изменяют своего положения в пространстве, то они очень часто обладают значительным моментом количества движения. Как только оси этих вращающихся частей автомобиля под действием сил изменяют свое направление (поворачиваются), появляются прецессионное движение, центробежные силы и их моменты. По закону равенства действия и противодействия к опорам быстро вращающихся частей автомобиля будет приложен момент

$$\overline{M}^z = -\overline{M}^e, \quad (1)$$

называемый гироскопическим и равный по модулю для колес автомобиля

$$M_k^z = A(\omega_c \times \omega_n) \left(1 + \frac{A-B}{A} \times \frac{\omega_n}{\omega_c} \cos \theta\right), \quad (2)$$

где  $A$  – сумма осевых моментов колес автомобиля;  $B$  – сумма экваториальных моментов инерции относительно оси, проходящей через точку пересечения  $O_0$  векторов  $\overline{\omega}_c$  и  $\overline{\omega}_n$ ;  $\omega_c$  – угловая скорость собственного вращения;  $\omega_n$  – угловая скорость процессии;  $\theta$  – угол между векторами  $\overline{\omega}_c$  и  $\overline{\omega}_n$ . Гироскопический момент представляет момент пары, составленный силами инерции, а действие его на связи называется гироскопическим эффектом. Оси частей автомобиля поворачиваются не по направлению сил, а в направлении момента сил, значительно повышая нагрузку на опоры (подшипники), увеличивая их износ.

Для выяснения влияния гироскопических явлений на износ опор (подшипников) автомобиля рассмотрим вес силы и пары сил, действующие на автомобиль при его движении, все вертикальные силы и проекции не вертикальных сил на вертикальную поперечную плоскость автомобиля, проведенную через его центр тяжести (автомобиля), и все пары сил, для которых векторы их моментов перпендикулярны к этой плоскости. Такими силами и проекциями будут вес  $P$  колес автомобиля, вес  $P_1$  автомобиля без колес, проекция  $Z$  силы тяги и реакции дороги  $P_{np}$  и  $P_{лев}$  на правое и левое колеса. Кроме этих сил имеем гироскопический момент  $M_k^z$  колес и центробежный момент  $M_y$  автомобиля без колес, причем точка  $O_0$  лежит на вертикали, проведенной через центр кривизны закругления дороги, радиус которой  $R$  и оси пересекаются в этой точке (рис. 1) [2].

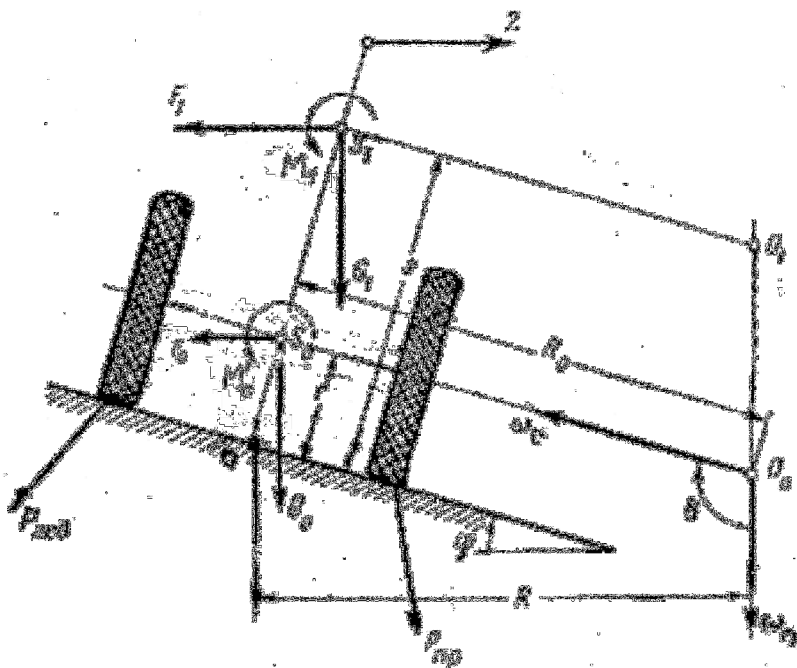


Рис. 1. Силы, действующие на автомобиль при движении.

Угол прецессии связан с углом  $\varphi$  возвышения дороги наружного колеса автомобиля над внутренним колесом, при повороте на закруглении дороги

$$\theta = 90 + \varphi. \quad (3)$$

Примем скорость  $v$  движения автомобиля в любой точке вертикальной оси, проведенной через центр тяжести автомобиля. Собственную угловую скорость  $\omega_c$  и угловую скорость прецессии  $\omega_n$  выразим через скорость  $v$ , радиус колеса и радиус кривой закругления дороги

$$\omega_c = \frac{v}{r}, \quad \omega_n = \frac{v}{R}. \quad (4)$$

Заменим сумму  $B$  экваториальных моментов инерции колес относительно оси, проходящей через точку  $O_0$  поверхности дороги, суммой  $B_0$  экваториальных моментов инерции относительно оси, проходящей через центр тяжести  $S_0$  колес. На основании теоремы Гюйгенса:

$$B = B_0 + \frac{P}{g} R_0^e, \quad (5)$$

где  $P$  – вес колес,  $R_0$  – радиус  $O_0S_0$ , который равен (см. рис. 1)

$$R_0 = \frac{R}{\cos \varphi} - r \operatorname{tg} \varphi \approx R. \quad (6)$$

Подставив в формулу (2) вместо  $\omega_c$ ,  $\omega_n$  и  $B$  их значения (4) и (5) и представим ее в виде:

$$M_{\kappa}^z = M_o^z + M(F_o), \quad (7)$$

где первое слагаемое правой части

$$M_o^z = A \frac{v^2}{ZR} \cos \varphi + (B - A) \frac{v^2}{R^2} \sin \varphi \cos \varphi \quad (8)$$

представляет собой гироскопический момент автомобиля, а второе слагаемое

$$M(F_o) = \frac{P}{g} \left( \frac{R_o}{R} \right)^2 v^2 \sin \varphi \cos \varphi \approx \frac{P}{g} v^2 \sin \varphi \cos \varphi - \quad (9)$$

центробежный момент колес относительно точки  $O_o$ .

$$F_o = \frac{P}{g} \frac{v^2}{R^2} R \cos \varphi \approx \frac{P}{g} \frac{v}{R}. \quad (10)$$

Следовательно, вместо гироскопического момента  $M_{\kappa}^z$ , отнесенного к точке  $O_o$ , воспользуемся гироскопическим моментом  $M_o^z$ , отнесенным к центру тяжести колес  $S_o$ , по числу сил, приложенных к кузову автомобиля в точке  $S_o$ , приложим фиктивную центробежную силу  $F_o$ . Аналогично найдем центробежный момент  $M_{\kappa}$  кузова, отнесенный к точке  $O_1$  вертикальной оси, проходящей через центр кривизны закругления дороги, заменим его центробежным моментом  $M_1$ , отнесенным к числу действующих сил, прибавим центробежную силу кузова без колес, равную

$$F_1 = \frac{P}{g} \frac{v^2}{R}, \quad (11)$$

и приложенную в центре тяжести  $S_1$  кузова автомобиля.

Значит, гироскопический момент колес, возникающий при движении автомобиля по кривой дороге, стремится опрокинуть автомобиль в наружную сторону кривой, а центробежный момент кузова автомобиля без колес действует противоположно гироскопическому моменту колес. Следовательно, при движении по кривой гироскопический эффект уравновешивается центробежным моментом кузова.

При повороте передних колес, необходимом для входа в кривую, а также для выхода из нее, гироскопический момент каждого из этих колес стремится опрокинуть автомобиль относительно оси, параллельной его продольной оси и значительно повышает нагрузку на поворотную цапфу, увеличивая ее

износ, при этом происходит нарушение функционирования рулевого управления, что также связано с действием гироскопического момента.

Следовательно, гироскопический момент, возникающий при движении автомобиля по кривой дороге, либо нагружает автомобиль спереди и разгружает сзади, либо наоборот – разгружает спереди и нагружает сзади в зависимости от того, направлен ли вектор момента количества движения вращающихся частей двигателя вперед или назад. Гироскопическая пара, кроме давления на подшипники, в которых вращаются части автомобиля, вызывает движение самого автомобиля, с которым скреплены эти подшипники (рис. 2). Так как подшипники коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания карданной передачи, заднего ведущего и переднего мостов, колес связаны с корпусом автомобиля, то действие этих пар отражается и на поведении автомобиля. Эти явления можно наблюдать при продольной качке автомобиля, возникающей из-за неровностей дороги, которые могут привести не только к износу опор (подшипников), но и к поломке осей, а при внезапном подъеме дороги гироскопический момент отклоняет автомобиль вправо, если вектор момента количества движения направлен вперед, и влево, если – назад. Увеличивая износ опор при внезапном уклоне дороги, все происходит наоборот.

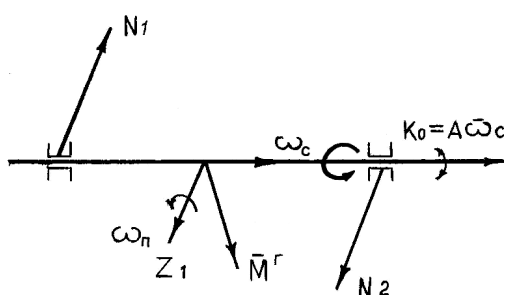


Рис. 2. Характер движения автомобиля по неровным дорогам.

При повороте вращающихся частей двигателя гироскопический момент (пара сил) стремится повернуть ось этой части параллельно оси прецессии, т. е. угол между  $\omega_n$  и  $\omega_c$  ( $\theta = 90^\circ$ ), то формула (2) обращается в

$$M_k^c = A\omega_c\omega_n. \quad (12)$$

Из (12) видно, что чем больше угловая скорость собственного вращения части машины и ее момент инерции, тем значительнее при повороте действие гироскопического эффекта на подшипники. Так как момент гироскопической пары ( $\bar{N}_1$  и  $\bar{N}_2$ ) численно равен произведению одной из сил этой пары на плечо. Плечом в этом случае является расстояние  $\ell$  между опорами (подшипниками)  $\bar{N}_1$  и  $\bar{N}_2$  [3] (см. рис. 2). Отсюда

$$M^c = N_1\ell = N_2\ell. \quad (13)$$

Из формул (12) и (13) следует, что,

$$A\omega_c\omega_n = N_1\ell = N_2\ell,$$

т. е.

$$N_1 = N_2 = \frac{A(\omega_c\omega_n)}{\ell} \text{ или}$$

$$P = \frac{M_o^z}{\ell} = \frac{A(\omega_c\omega_n)}{\ell}. \quad (14)$$

Из (14) видно, если поворот оси быстро вращающийся части автомобиля происходит резко ( $\omega_n$  большое), то гироскопические давления на опоры (подшипники) могут иметь значительную величину, оказывая влияние на их износ.

Чтобы показать насколько важно учитывать реакции от гироскопического момента на износ подшипников автомобиля, положим, что момент инерции системы коленчатый вал двигателя внутреннего сгорания – кардан автомобиля относительно оси собственного вращения

$$A = \frac{P_2 r^2}{g} = \frac{100 \cdot 0,05^2}{9,8} = 0,026 \text{ кгм/с}^2,$$

где  $P_2$  – вес системы коленчатый вал – кардан, кг;

$r$  – средний радиус системы коленчатый вал – кардан, м.

Максимальная угловая скорость системы коленчатый вал – кардан

$$\omega_c = \frac{\pi n}{30} = \frac{3,14 \cdot 4000}{30} = 419 \text{ } ^1/\text{с},$$

где  $n$  – число оборотов системы коленчатый вал – кардан, об/мин.

Угловая скорость прецессии

$$\omega_n = \frac{2\pi\varphi_o}{T} = \frac{6,28 \cdot 0,0873}{0,005} = 110 \text{ } ^1/\text{с},$$

где  $\varphi_o = 5^\circ$ ;  $T$  – период колебаний.

Максимальное значение гироскопического момента при  $\bar{\omega}_c \perp \bar{\omega}_n$ :

$$M_o^z = A\omega_c \times \omega_n = 0,026 \times 419 \times 110 = 1198 \text{ кгм.}$$

Гироскопический момент стремится повернуть ось системы коленчатый вал – кардан параллельно вектору  $\omega_n$ , т. е. в горизонтальной плоскости (см. рис. 2). Он вызывает горизонтальные давления на подшипники, в которых лежит ось системы коленчатый вал – кардан. Реакции подшипников образуют

пару  $\bar{N}_1$  и  $N_2$ , момент которой уравнивает гироскопический момент, как видно из формулы (13). Так как при колебаниях от неровностей дороги вектор  $\bar{\omega}_n$  периодически изменяет свое направление, то и вектор  $M_o^z$  изменяет свое направление. Поэтому и реакции в подшипниках системы коленчатый вал – кардан направлены попеременно то влево, то вправо. Если между подшипниками системы коленчатый вал двигателя – кардан расстояние 5 м, то реакции подшипников  $N_1$  и  $N_2$  будут:

$$N_1 = N_2 = \frac{M_o^z}{\ell} = \frac{1198}{5,0} = 240 \text{ кг},$$

что указывает на существенное влияние гироскопических давлений на износ подшипников даже при небольших колебаниях автомобиля от неровностей дороги.

Практика показала, что при эксплуатации автомобилей на дорогах в горных условиях износ подшипников на 15–20 % больше общего износа на плоскости, что также значительно связано с действием гироскопического эффекта.

### Выводы

1. Исследования и эксперименты показали, что с гироскопическими явлениями приходится считаться в тех случаях, когда ось быстро вращающейся части машины изменяет свое направление.

2. При повороте передних колес автомобиля, необходимом для входа в кривую, а также для выхода из нее, гироскопический момент каждого из этих колес стремится опрокинуть автомобиль относительно оси, параллельной его продольной оси и значительно повышает нагрузку на поворотную цапфу, увеличивая ее износ.

3. Так как подшипники коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания, карданной передачи, заднего ведущего и переднего мостов, колес связаны с корпусом автомобиля, то действие гироскопической пары отражается и на поведении автомобиля. Эти явления можно наблюдать при продольной качке автомобиля, возникающих из-за неровностей дороги, которые могут привести не только к движению (смещению) автомобиля и износу подшипников, но и к поломке осей.

4. Установлено, что из-за действия гироскопических явлений при поворотах, подъемах, уклонах дорог износ трущихся вращающихся частей деталей составляет 15–20 % от общего износа, в зависимости от условий эксплуатации автомобиля на плоскости и в горных условиях.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Николаи Е. Л.* Теория гироскопов. ОГИЗ. Гостехиздат, 1948..
2. *Граммель Р.* Гироскоп, его теория и применение. М.: ИЛ, 1952.
3. *Сахарный Н. Ф.* Курс теоретической механики. Ярославль: Высшая школа, 1964.

Проф. СВЕРДЛИК Г. И.,  
проф. ВЫСКРЕБЕНЕЦ А. С.,  
асс. РЕВО А. А.

## АППАРАТ ДЛЯ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ГАЗОВ

Предложена новая конструкция аппарата для очистки от вредных компонентов выхлопных газов автотранспорта горно-добывающих предприятий и самоходного оборудования.

При небольших объемах очищаемых газов, в частности выхлопных газов автотранспорта горно-добывающих предприятий и самоходного оборудования (например, погрузочно-доставочных машин с автомобильными двигателями), необходимо применение малогабаритных компактных устройств для нейтрализации газов, установленных на автотранспорте. Аналогичные аппараты могут быть использованы для очистки газов небольших барабанных сушилок ( $D$  до 1,2 м).

Аппарат для нейтрализации газов, на который получен патент РФ [1], был разработан на кафедре "Технологические машины и оборудование" СКГМИ (ГТУ) на основе запатентованного способа очистки газов в виброкипящем слое [2].

Аппарат (рисунок) содержит корпус 1, в который встроен реактор 2, ограниченный верхней и нижней решетками 3 и 4, расположенными параллельно друг другу. В реакторе на нижней решетке 3 размещен слой катализатора 5.

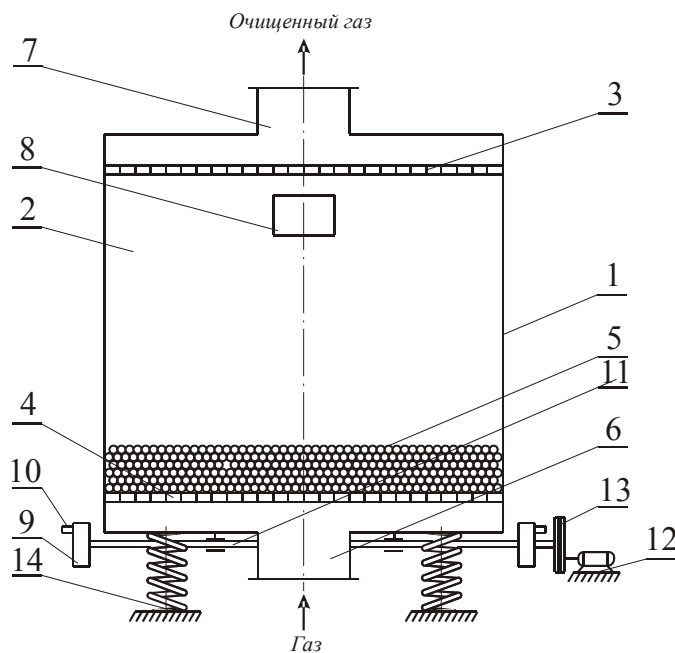


Схема аппарата для нейтрализации газов.

К корпусу прикреплены патрубок 6 для подвода газов и патрубок 7 для отвода газов. В верхней части реактора имеется смотровое окно 8 для наблюдения за процессом.

К днищу корпуса 1 крепятся два вибратора 9 с дебалансами 10. Вал вибраторов 11 соединен с электродвигателем 12 с регулируемой частотой вращения с помощью клиноременной передачи 13.

Корпус 1 установлен на виброопорах 14.

Устройство для нейтрализации газов работает следующим образом.

При сообщении корпусу 1 вертикальных вибраций с помощью привода и вибраторов в реакторе 2, содержащим катализатор 5, создается стесненный виброкипящий слой катализатора, не зависящий от количества подаваемых газов. Очищаемые газы подают в корпус 1 по патрубку 6.

Регулированием частоты и амплитуды колебаний корпуса 1 при контроле за состоянием виброкипящего слоя через окно 8 добиваются заполнения виброкипящим слоем всего объема реактора 2 и получения оптимальной структуры виброкипящего слоя – без барботажа пузырей и каналообразования. Регулирование частоты колебаний осуществляют изменением частоты вращения электродвигателя 12 при использовании двигателя постоянного тока или другого с широким диапазоном регулирования частоты вращения, а амплитуды колебаний – перемещением дебалансов вибраторов.

При прохождении газов через реактор 2 с виброкипящим слоем катализатора с оптимальной структурой, заполняющим весь объем реактора, молекулы газов хорошо взаимодействуют с поверхностью частиц катализатора. Газы очищаются от вредных компонентов и отводятся через патрубок 7.

Использование разработанного аппарата по сравнению с нейтрализатором, в котором кипящий слой создается потоком газов, позволяет получить виброкипящий слой катализатора, не зависящий от количества подаваемых газов, и повысить эффективность нейтрализации вредных компонентов газа.

При установке аппарата на автомобиле и подсоединении его к выхлопной системе двигателя в аппарате происходит улавливание таких вредных компонентов выхлопных газов как оксидов углерода и азота, альдегидов и акролеинов. В качестве катализатора возможно применение окисных катализаторов не содержащих драгоценных металлов, но обладающих примерно одинаковой активностью по сравнению с палладиевыми и платиновыми.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Патент 2211084 (РФ). Устройство для нейтрализации газов/ Г. И. Свердлик, А. С. Выхребенец. А. А. Рево. 2003.

2. Патент 2132222 (РФ). Способ очистки газов/ Г. И. Свердлик, А. С. Выхребенец, А. Н. Фомин.. 1999.



**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ  
ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМ ДАВЛЕНИЕМ И КОЭФФИЦИЕНТОМ  
ФИЛЬТРАЦИИ ПОРОД  
(на примере Транскавказской автомагистрали)**

*Рассмотрено влияние коэффициента фильтрации пород на величину гидродинамического давления и определено его изменение на одном из участков Транскавказской автомагистрали.*

Изменение гидродинамического давления существенно влияет на равновесие склона, на котором наблюдаются оползневые процессы, и является одной из причин нарушения устойчивости склонов горных и предгорных территорий и как следствие приводит к возникновению и сходу оползней в районе Транскавказской автомагистрали. При проведении эколого-гидрогеологического мониторинга оползневых процессов в условиях горных и предгорных территорий необходимо располагать информацией о гидродинамическом давлении и причинах его изменения [1,2].

Одним из факторов изменения гидродинамического давления является коэффициент фильтрации того или иного пласта склона горных и предгорных территорий, где наблюдаются оползневые процессы. Проанализировав формулы для определения коэффициента фильтрации, приведенные в [3–5], автор использовал в работе некоторые из них для определения коэффициента фильтрации на склонах в районе Транскавказской автомобильной магистрали. Учитывая то, что глина, находящаяся в исследуемых пластах грунта, состоит из крайне малых пластинообразных частиц и ее проницаемость меньше проницаемости самого тонкого песка, удобно пользоваться формулой Терцаги [3–5], полученной на основании теоретических и экспериментальных данных:

$$K = C_0 \frac{(\varepsilon - 0,15)^{3+\lambda} (1 + \varepsilon) d^2}{(\varepsilon - 0,15)^\lambda + \frac{c}{d^\lambda}} \mu, \quad (1)$$

где  $C_0$  – коэффициент, который зависит только от состава грунта;  $\varepsilon = \frac{m}{1-m}$ ,  $m$  – пористость грунта;  $\lambda$  – коэффициент, заключенный в интервале от 7,7 до 9,0;  $\mu$  – абсолютная вязкость;  $d$  – диаметр частиц грунта;  $c$  – величина, зависящая от диаметра частиц грунта.

Кроме формулы для определения коэффициента фильтрации данной Терцаги, в работе использована формула Форхгеймера [6], в которую автор внес некоторые изменения, заменив отношение абсолютной вязкости, при 0 °С  $\mu_0$ , к абсолютной вязкости при  $t$  °С  $\mu_t$  безразмерным коэффициентом их

отношения  $k_\mu = \frac{\mu_0}{\mu_t}$  [4, 6, 7]:

$$K = \frac{5,56 \cdot 10^{-9} (1,15m - 0,15)^{11} k_{\mu}}{(1-m)^4 [(1,15m - 0,15)^8 + 0,0166(1-m)^8]} \quad (2)$$

Расчитанные по формулам (1) и (2) коэффициенты фильтрации для грунтов исследуемых склонов горных и предгорных территорий в районе Транскавказской автомагистрали применяли для определения гидродинамического давления на единицу площади по одной из формул [3,5,7]:

$$D_s \approx \frac{Q}{K}, \quad (3)$$

где  $Q$  – расход потока подземных вод.

Из (3) следует, что величина гидродинамического давления обратно пропорциональна коэффициенту фильтрации пород склона, где наблюдается оползневый процесс и прямо пропорциональна расходу потока подземных вод.

По предложенным формулам (1–3) проведен расчет гидродинамического давления в водопроницаемых пластах пород склона на одном из участков Транскавказской автомагистрали, где наблюдали оползневые процессы, с учетом изменения величины коэффициента фильтрации. Результаты исследований приведены в таблице.

Водопроницаемый слой грунта (горизонт)	Среднее гидродинамическое давление, $\frac{m}{m^3}$	
	максимальное	минимальное
Первый (верхний)	0,105	0,091
Второй (средний)	0,134	0,127
Третий (нижний)	0,152	0,145

Из данных таблицы следует, что одной из причин изменения гидродинамического давления может быть изменение величины коэффициента фильтрации горных пород. Это следует учитывать при исследовании поведения существующих и при прогнозировании развития новых оползней. Для более полного изучения причин изменения гидродинамического давления планируется изучить влияние капиллярного поднятия жидкости в зависимости от крупности частиц.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 22.1.02–95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование. Термины и определения.
2. ГОСТ Р 22.0.03–95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения.
3. *Полубаринова–Кочина П. Я.* Теория движения грунтовых вод. М.: Наука, 1977.
4. *Кочина П. Я.* Гидродинамика и теория фильтрации. М.: Наука, 1991.

5. Определение основных расчетных гидрогеологических характеристик. СПЗЗ–101–2003. М.: Изд. Госстроя России, 2004.

6. *Forchheimer Ph.*, *Hydraulik*, 1930, §21.

7. Материалы Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Нальчик: Каб.-Балк. ун-т., 2005 «Некоторые вопросы методики прогноза движения подземных и грунтовых вод в условиях горных и предгорных территорий». Соколов А. А.



УДК 72

Доц. ЦАЛЛАГОВ С. Ф.

### ОСЕТИНСКАЯ ЦЕРКОВЬ РОЖДЕСТВА БОГОРОДИЦЫ

*В статье рассматривается история возникновения памятника истории и культуры Осетинской церкви. Описано архитектурно-планировочное решение, композиция фасадов до начала реставрационных работ.*

Первоначально деревянная осетинская церковь Рождества Богородицы основана в 1814 г. и была одним из культовых памятников архитектуры г. Владикавказа. Она была построена на территории бывшего Осетинского аула. В 1861 г. на месте обветшалой деревянной церкви были построены кирпичная церковь и колокольня.

Впоследствии к основному объему церкви с севера и с юга были пристроены два притвора, а церковь и колокольню соединила деревянная галерея, замененная позже кирпичной трапезной.

В начале 1930 г. верхнюю часть основного объема здания (центральную главу на восьмигранном барабане) разобрали: вероятно тогда же были утрачены малые главки.

В 1939 г. церковь закрыли, а ее помещение передали краеведческому музею.

Здание Осетинской церкви находится в юго-восточной части города, на возвышенности, в месте пересечения улиц К. Хетагурова и переулка Кривого. По своей композиции Осетинская церковь относится к типу трапезных церквей, где главный объем объединен с трапезной и колокольней, Она имеет крестообразный вытянутый план, определяемый расположением архитектурных масс явно выраженной продольной оси восток–запад.

Здание возведено из кирпича размером 25x13x6,5 см на бутовом фундаменте. Его общая длина (включая звонницу) – 28,1 м, а наибольшая ширина (за счет притворов) – 19,86 м. Основное ядро храма образует прямоугольный в плане объем молитвенного зала, завершенный лучковой главой в восьмигранном барабане (в настоящее время барабан и главы утрачены).

С восточной стороны к залу примыкает граненая апсида с алтарем, а с северной и южной – симметрично поставлены притворы с дверными проемами полуциркульной формы. К несколько удлиненному западному рукаву (трапезная), придающему зданию форму греческого креста, примыкает 3-х ярусная колокольня в виде четверика и двух восьмериков, завершенная восьмигранным шатровым покрытием. В настоящее время шатровое завершение утрачено и вместо него устроена деревянная смотровая площадка с застекленной надстройкой. Декоративное убранство памятника сосредоточено в его верхних частях, что типично для небольших приходских храмов второй

половины XIX в. Оно состоит из разнообразных филенок, поребрика, зубчиков, профилированных тяг и карниза, «бровок» над окнами и полуциркулярных арок, обрамляющих скромно обработанные оконные проемы. Аналогичными проемами прорезаны стены остальных частей здания. «Бровки» над окнами трапезной дополнены декоративными элементами, имитирующими замковые камни.

Можно предположить, что такие же окна, подчеркнутые «бровками», были на барабане, завершенном лучковой главой. Четыре малые главки, симметричные центральной, венчали граненые колонны, примыкающие к стенам основного храмового объема.

Перестройки исказили первоначальный облик памятника, разрушили архитектурно-художественный принцип его композиции и создали принципиально другое сооружение. В существующем виде оно является результатом нескольких строительных периодов. Для каждого из них характерна своя объемно-планировочная структура.

Краткое описание церкви, имеющееся в Терском календаре за 1912 г., единственный письменный источник, дополняющий весьма скудный графический материал.



УДК 72

*Доц. ЦАЛЛАГОВ С. Ф., арх. ЦАЛЛАГОВ А. С.*

### **ПАМЯТНИК АРХИТЕКТУРЫ – ОСОБНЯК ЗАМКОВОГО НА ул. БАЛЛАЕВА, 7 В г. ВЛАДИКАВКАЗЕ**

*Дано описание внешнего и внутреннего облика памятника – образца владикавказского особняка. Рассмотрена архитектурно-планировочная структура здания, стилистические особенности интерьеров и экстерьера.*

В конце XIX в. во Владикавказ (областной центр) прибыл молодой человек по фамилии Замковой с женой. Замковой – выходец из небогатой семьи. В связи с резко поднявшимися ценами на землю Замковой не смог купить участок в городе Владикавказе и был вынужден уехать в г. Грозный, где на его окраине приобрел участок земли, который оказался нефтеносным. Через несколько лет Замковой возвращается во Владикавказ богатым человеком и приобретает участок в престижном районе города – за зданием городского театра. Проект поручается молодому талантливому владикавказскому архитектору Грозмани В. В.

В 1905 г. особняк был построен и заселен владельцем. Впоследствии на Замкового осуществляют покушение и он погибает. В советское время в 1926 г. особняк был передан Чечено-Ингушскому обкому КПСС. В этом доме в 1929–1930 гг. жил и работал революционер и партийный деятель Черноглаз Исидор Моисеевич, затем размещался Орджоникидзевский ЗАГС.

Особняк Замкового находится в центре исторической части города по ул. Баллаева, 7 (бывшая Ремесленная). В плане здание имеет форму, приближенную к квадрату со сторонами 24x20 м. Со стороны главного фасада – мансарда, а со стороны двора – 2-й этаж. Объемно-пространственная композиция здания отличается некоторой сложностью плана, острым и выразительным силуэтом фасада за счет развитой чердачной части и мансарды.

Главный фасад имеет асимметричную композицию вследствие смещения парадного входа и мансарды в правую сторону. Общий характер пластики фасада аскетичен. Цоколь, подоконники и карнизные элементы выполнены из белого природного камня (доломита), а элементы членения плоскости фасада – средствами кирпичной кладки из отборного кирпича завода барона Штейнгеля под расшивку швов. В левой части главного фасада слуховое окно чердака выделено сложным фронтоном арочной формы, справа окно мансарды обрамлено фронтоном треугольной конфигурации, более значительным по масштабу и динамичнее по форме.

На этом памятнике имеется сложность в атрибуции стилиевых признаков подобных зданий. Это связано с невыработанностью инструментария стилистического анализа, особенно там, где размытые рамки модерна сосуществуют с эклектикой. Ворота, расположенные в правой части главного фасада, полностью утрачены. Утрачен и световой фонарь, просматривающийся с южного торца здания, освещавший центральное помещение особняка. Характер планировочного решения оказал значительное влияние на архитектурный облик здания. В планировке здания видится стремление достичь максимального удобства и целесообразности. Помещения спланированы рационально, с учетом их функциональных связей. Планировку отличает хорошая архитектурно-пространственная организация входного узла, начинающегося с рустованной филенчатой двери, широкой парадной деревянной лестницы, ведущей в холл. Лестничный узел освещается через фрамужное окно с орнаментальной композицией, выполненной травлением по стеклу. Некоторая сдержанность в оформлении холла контрастирует с насыщенностью отделки кабинета, расположенного справа от входного узла. Слева расположена группа парадных помещений, имеющих активную лепную отделку карнизной части потолка. Помещение, примыкающее к наружной стене главного фасада, делится как бы на две части за счет рамной конструкции, выступающей и нависающей относительно стен и потолка, и украшенной двумя женскими головками, расположенными в углах орнаментальными обрамлениями. Тщательно продумана конструкция оконных рам, поворачивающихся вокруг своей оси. В центральном помещении фриз оформлен лепным орнаментальным узором, потолок имеет выступающие балочные конструкции. В центре расположен световой фонарь. В боковой стене центрального помещения устроен камин с изразцами рельефной формы белого цвета. Аналогичный камин, но темно-коричневого цвета, расположен в кабинете справа от холла. Потолок здесь также имеет выступающие балочные конструкции, идентичные центральному помещению. В пространствах между балками имеется орнаментальная роспись. Стены отделаны линкрустом с рисунком растительного орнамента. Панели расписаны масляной краской под дерево. Группа жилых помещений расположена в юго-восточной части здания. Связь с па-

радными помещениями в настоящее время нарушена из-за устройства перегородок и закладки некоторых дверных проемов. В жилой части также имеется камин, но иной формы и с другим композиционным построением. Отдельные элементы интерьеров ассоциируются с модерном, но в большей степени использован орнаментальный декор, не вызывающий никаких ассоциаций с историческими стилями. Все это позволяет отнести архитектурно-художественное решение интерьеров к эклектике, но при всем разнообразии принятых художественных приемов, определяющим в отделке интерьеров стал принцип уравниваемости и гармонии. В северной части устроена лестничная площадка, ведущая в помещения мансарды и второго этажа. Ограждение лестницы выполнено из металлических кованых, богато орнаментированных звеньев. Отделка в мансардных помещениях и помещениях второго этажа полностью отсутствует.

Массы кирпичной кладки, отличающиеся по цвету и фактуре, просматриваемые со двора, позволяют сделать вывод, что часть здания реконструирована. Имеется предположение, что в юго-западной части здания на отметке второго этажа мог находиться зимний сад. Территория, примыкающая к зданию, до 1920-х годов была значительно больше, на ней был разбит сад с элементами благоустройства, фонтаном и малыми архитектурными формами.

Каретная и ряд помещений хозяйственного назначения претерпели некоторые изменения планировочного и конструктивного характера.

Значительно изменен рельеф дворовой части. Подвалы, находящиеся под основным зданием и хозяйственной постройкой, частично засыпаны и перепланированы.

Конструкции несущих стен – кирпич, перекрытия по деревянным балкам. Полы – щитовой паркет по досчатому основанию. Крыша скатная. Покрытие из металлических листов.

Особняк Замкового можно отнести к одному из наиболее интересных, формирующих самобытный облик города, зданий, с только ему присущим остросилуэтным фасадом и объемно-пространственной композицией.



УДК 72

*Доц. ЦАЛЛАГОВ С. Ф., арх. ЦАЛЛАГОВ А. С.*

### **ДОМ ОГАНОВА НА ПРОСПЕКТЕ МИРА, 12 В г. ВЛАДИКАВКАЗЕ**

*Дана история возникновения памятника, а также описание внешнего и внутреннего облика, его стилистических особенностей.*

Здание построено в 1903 г. по проекту владикавказского архитектора Рябикина Ивана Васильевича. В росписях интерьеров принимал участие местный художник Генрих Клузачек. Владелец здания – владикавказский купец армянин Оганов.

После революции в здании в разные годы располагались: Совнарком Терской Республики, Дом учителя, Президиум Совета Республики. С 1939 г. в нем размещается республиканский художественный музей им. М. Туганова.

Здание расположено в центре исторической части города – на проспекте Мира, 12 (бывшем Александровском). Здание в плане представлено в виде прямоугольника со сторонами 30х15 м с пристройкой у восточного дворового фасада. Имеет 2 этажа с высотой помещений 4,5 и 4,7 м. Главный фасад ориентирован на проспект Мира. Первоначально на 1-м этаже, предназначенном для торговли, имелось два основных помещения с примыкающими к ним группами небольших по площади помещений подсобного характера. Несущие стены здания из кирпича. Перегородки деревянные. Перекрытие 1-го этажа осуществлено по швеллерам, опирающимся на металлические колонны. Перекрытие 2-го этажа – по деревянным балкам. Полы – паркетные, набранные из штучных геометрических элементов. Кровля скатная, покрытие – металлические листы по деревянной обрешетке. В облике фасада заметны черты модерна, как бы затененного влиянием эклектики. Черты модерна получили свое воплощение в мотивах лепных декораций, больших витринных окнах 1-го этажа, контрастирующих с пластикой оконных переплетов 2-го этажа, элементах оформления интерьеров и в конструктивно-пространственном решении всего здания.

За многолетнюю историю своего существования здание неоднократно претерпевало незначительные ремонтные работы, помещения приспособлявали под различные назначения. Путем опроса удалось выяснить немало подробностей прежней планировки и декоративного убранства. Дополняют эти сведения данные натурных исследований, которые свидетельствуют о том, что первоначальный облик здания в основном сохранен. Выявленные материалы, в силу отсутствия проектных чертежей и письменных источников, свидетельствующих об архитектурно-строительной истории дома Оганова, немногочисленны но, тем не менее, они все же дают возможность составить довольно полное представление об этом интересном памятнике архитектуры. Выявлена история строительства этого здания.

По заказу богатейшего городского купца Оганова известный владикавказский архитектор И. В. Рябикин разработал проект этого дома. Постройка предназначалась для сына Оганова, возвращавшегося из Парижа с женой француженкой. Оригинальный дом был разделен на 2 части: первый этаж заняли торговые помещения, а второй предназначался для жилья. Но не прожив здесь и месяца, Оганов-младший со своей супругой вернулся в Париж. Долгое время особняк фактически пустовал, лишь первый этаж использовался под торговую лавку, а крайний правый пролет этажа занял фотограф Алонкин С. Н. Вскоре Алонкин покинул Владикавказ, а на этом месте появился фотопавильон Сайдулы Джанаева-Хетагурова. Именно в этом павильоне рождались замечательные снимки города, окрестностей Осетии и Военно-Грузинской дороги.

Архитектор Рябикин И. В. был прекрасным рисовальщиком. Над полуколоннами, в виде своеобразных капителей в уровне подоконников 2-го этажа он установил лепные женские головы с распущенными волосами, переплетам окон 2-го этажа приданы пластичные очертания. Над двенадцатью окнами 2-го этажа устроены вставки-лепки, с различными композиция-



ми, символизирующими знаки зодиака. Над главным входом – лепная композиция с солнцем. Вход и парадная лестница подчеркивают престижность дома.

Много выдумки и художественного вкуса И. В. Рябикин проявил при оформлении интерьеров. Интересно решен зимний сад с витражами из цветных стекол и фонтанчиком. Непосредственным исполнителем росписей интерьеров был известный местный художник Генрих Клузачек. В композиции фасада и интерьеров особняка получили свое воплощение различные архитектурные тенденции. Здесь можно обнаружить элементы, характерные для традиционной восточной архитектуры, барочные и классические мотивы, декоративные детали, свойственные модерну.

Стиль внешней архитектуры дома Оганова можно определить как эклектичный. Что касается отделки, планировочной схемы жилой части особняка, то она имеет существенные признаки модерна. Все пространство второго этажа имеет рациональную планировку и максимально приспособлено к современному комфортабельному быту. Квартира состоит из 2-х основных планировочных компонентов – парадного и повседневно-бытового. Удобно связанные друг с другом, они вместе с тем достаточно обособлены. Группа основных помещений имеет довольно гибкую взаимосвязь. Парадные помещения наряду с привычной связью имеют еще и свободную естественную компоновку дверей, не допускающую какого-либо одного запрограммированного движения. Двери расположены таким образом, что система размещения комнат различного функционального назначения находилась в зависимости от потребностей проживающих.

Одним из показателей представительности дома Оганова являлся вестибюль с парадной лестницей, украшенной скульптурой. Лестничная площадка 2-го этажа служит своеобразной паузой, предваряющей вход в жилые помещения, знакомство с которыми начинается с солидной металлической двери с различными накладными металлическими декоративными элементами и бронзовой литой ручкой. Сами жилые помещения начинаются с небольшой передней и коридора, вдоль которых группируются парадные комнаты.

Внутренний облик дома представляет собой богатую красочную композицию. Основным достоинством интерьеров является их исключительное разнообразие при единстве художественного замысла. Проектируя каждую новую композицию, архитектор как бы стремится выдержать ее в едином художественном принципе. Чувствуется желание украсить и орнаментировать, не оставить свободными от декора поверхности в архитектурной отделке.

При первом знакомстве с интерьерами создается впечатление, что сочетание стилизованных восточных мотивов орнамента с декоративными принципами модерна и других стилей эклектично. И лишь вглядываясь более пристально в общий облик помещений, замечаешь, что в основе декоративного решения лежит метод стилизации, являющийся своеобразным отрицанием эклектики. Именно стилизаторство позволяет модерну обращаться к различным источникам – к средневековому зодчеству, рококо, народному, природе и к новым конструктивным системам, не утрачивая стилового единства.

Модерн, – пишет Е. И. Кириченко, – знает два типа декора.

Первый – декор, непосредственно связанный с конструкцией, неотделимый от нее, от функционального, который можно определить и как декоративную интерпретацию конструктивных или утилитарных элементов. Он обычно пластичен. Это обрамление окон, оконные и дверные переплеты, перила лестниц, сливающийся с плоскостью стены, словно вырастающий из стены и уходящий в нее, рельеф.

Второй тип декора – графичный, линейный орнамент, живопись, майолика на панно – всегда подчеркнута не функционален и противопоставлен конструктивной форме. Но и в том, и в другом случае декор модерна преимущественно орнаментален в отличие от декора эклектики, который обычно архитектурен.

В доме Оганова оба типа декора как бы равноправны. Несмотря на слитность деталей, невыраженность граней, они тем не менее, вызывают впечатление единства использованных стилистических принципов, близких модерну. Дополняет это впечатление применение светильников в формах модерна, являющихся своеобразным стилеобразующим фактором. Важным элементом архитектурного убранства дома служат лепные карнизы, спроектированные в различных сочетаниях, размерах и соотношениях. Количество их архитектурных решений довольно велико – от скромного карниза с одной ниткой иоников до высокого карниза парадной зала, богато отделанного, с широким фризом, украшенным лепным орнаментом. Еще большим разнообразием отличается отделка потолков, расписные плафоны, каждый из которых представляет свою, отличную от других, композицию.

Обрамления, выделяющие отдельные плоскости, нередко сопровождаются узкими окаймлениями, исполненными под бронзу. Кессоны выполняются не только лепкой, но и росписью. Мотивы последних разнообразны – это и цветочные букеты, и гирлянды из листьев, и символы природы (в частности летучие мыши в треугольных кессонах). Тематика орнаментальных мотивов и стилизованных форм использована в интерьерах дома многозначно и, что самое существенное, она специфична именно для модерна, где стебли тростника, лилии, маки и другие цветы на тонких гибких стеблях – обычная тема орнаментики.

В интерьерах преобладает роспись, имитирующая лепку, иногда дополняющая настоящую лепку, выполненную в виде геометрического орнамента. Лишь в парадных залах имеются большие сюжетные плафоны.

Следует отметить, что синтез искусств в интерьерах особняка осуществлен довольно полно и впечатляюще. Орнаментальные росписи, различные архитектурные детали слагаются в нарядный, красочный ансамбль, свидетельствующий о незаурядном мастерстве архитектора, о высоком уровне исполнения художественно-декоративных работ.

Учитывая художественную ценность и своеобразие интерьеров, следует максимально раскрыть их в качестве объекта музейного показа.



## ЕДИНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ МАТЕРИАЛА НА ВОДОПРОНИЦАНИЕ

*Предложено устройство для двух различных видов испытания образцов стенового материала на водопроницаемость: при капиллярном подсосе и при гидростатическом давлении.*

*Испытание устройством предполагает единую методику получения величины водопроницаемости материала в г/см<sup>2</sup> при двух различных воздействиях воды.*

Различное воздействие воды на капиллярно-пористый материал и соответственно различное его сопротивление этому воздействию необходимо определять в тех случаях, когда материал или конструкция из него в процессе эксплуатации имеет контакт с водой.

Взаимодействие бетона с водой и вызванные этим проблемы имеют место в строительной практике: от строительства гидротехнических сооружений до подземных конструкций зданий, сооружений. Эта проблема затрагивает и наружные ограждающие конструкции зданий (стены, покрытия).

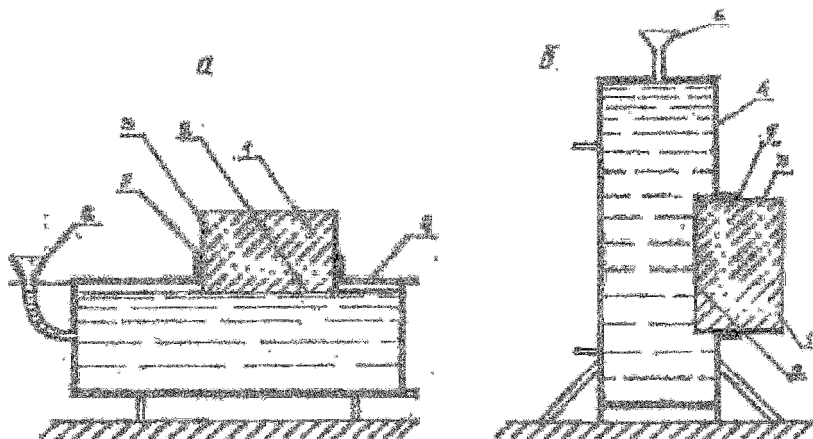
Имеются ГОСТы на испытания бетонов, в том числе гидротехнических, для оценки их свойства проникания при водопоглощении, капиллярном подсосе, давлении воды и т.д. с соответствующим применением разнообразных приборов и устройств с различными единицами измерения результатов испытания (процент водопоглощения, высота поднятия воды в бетон, коэффициент фильтрации, марка по водонепроницаемости и пр.). Но для конкретной конструкции названные испытания не всегда корректны, так как неполностью отражают эксплуатационные воздействия. Наиболее характерные воздействия воды на конструкции здания – капиллярный подсос (проникновение воды в конструкцию снизу вверх за счет капиллярных сил с проявлением сил гравитации), капиллярное всасывание (проникновение воды в конструкцию в случае стекания воды по ее вертикальной, наклонной поверхности), водопроницаемость под давлением воды, близким к эксплуатационному давлению. Подобные воздействия возможны на фундаменты, на наружные стены здания.

Если проникновение воды в материал конструкции происходит преимущественно или за счет давления воды или за счет капиллярных сил капиллярно-пористого строения материала, или одновременного совместного их действия, то и соответствующие испытания следует выполнять по единой методике с получением результатов в одних и тех же единицах измерения.

Предлагаемая нами единая величина, характеризующая свойство водонепроницаемости капиллярно-пористого материала при различных воздействиях воды (в г воды, односторонне проникшей через 1 см<sup>2</sup> площади поверхности материала в единицу времени), отличается от регламентируемых ГОСТами, однако более точно количественно характеризует сопротивление структуры материала проникновению воды и дает возможность сопоставить интенсивность каждого вида воздействия воды на один и тот же материал.

Следовательно, позволяет оценивать сопротивление водопроницанию материала при различных воздействиях воды.

Для испытаний бетона как на капиллярный подсос, так и на давление воды предлагается единое устройство, позволяющее проводить оба вида испытания. Схема устройства и испытаний показана на рисунке, где *а* – испытание образца материала на капиллярный подсос, а *б* – испытание водопроницания образца под давлением. Образец *1* с заданной площадью испытываемой поверхности *2* с гидроизоляцией *3* всех поверхностей, кроме испытываемой, вставляют в "окно" сосуда *4* и герметизируют *5*. При испытании образца на капиллярный подсос устройство устанавливают продольной стороной на опоры для осуществления контакта воды с нижней поверхностью образца, при этом заданный уровень воды в устройстве равен уровню нижней поверхности образца (см. рис. *а*) При испытании образца на водопроницание при давлении воды устройство устанавливают на опоры торцевой стороной для создания столба воды на вертикальной поверхности образца (для образцов бетона, используемого в наружных стенах зданий), при этом заданный уровень воды в устройстве на период испытания равен высоте столба воды (100 мм) над образцом (см. рис. *б*).



Устройство для испытания образцов материала на водопроницание: *а* – при капиллярном подсосе, *б* – при давлении воды.

В начале испытания предварительно взвешенную порцию воды заливают в устройство через воронку *б* до заданного уровня. Заданный уровень воды в устройстве поддерживают периодическим доливом известного количества воды. По окончании испытания воду из устройства сливают и взвешивают. По разнице веса воды, влитой в устройство в ходе испытания, и воды, оставшейся в нем после испытания, определяют вес воды в  $г$ , односторонне проникшей в образец через  $1\text{ см}^2$  испытываемой поверхности образца.

### ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ЛОТКА ВИБРАЦИОННОГО СООРУЖЕНИЯ

Выполнены расчеты железобетонного лотка на виброизоляцию, осуществляемую пружинными виброизоляторами, а также показано влияние уровня нагрузки и способа монтажа среднего лотка трехпролетного температурного блока на отношение опорного и пролетного изгибающих моментов. Установлено, что при сопоставимых величинах временной и постоянной нагрузок равномоментную схему изгибающих моментов можно получить, если средний лоток соединить с крайними после передачи примерно третьей части его массы на опоры.

Сооружение предназначено для транспортирования доломита от места разработки к месту переработки<sup>1</sup>. Протяженность сооружения составляет 649 м. Оно собирается из температурных блоков длиной 36 м, включающих по три 12-ти метровых железобетонных лотка. Каждый лоток опирается на две опоры, причем расстояние между опорами крайних лотков блока принято 9 м, а среднего – 12 м.

Железобетонные лотки рассчитаны на виброизоляцию с применением пружинных виброизоляторов с целью исключения резонанса в интервале изменения нагрузки от нуля до максимальной величины, а также определения динамических нагрузок, передающихся на поддерживающую конструкцию по наиболее неблагоприятным направлениям возмущающих сил  $P_Z$ ,  $P_X$  по осям  $Z$ ,  $X$  (рис.1).

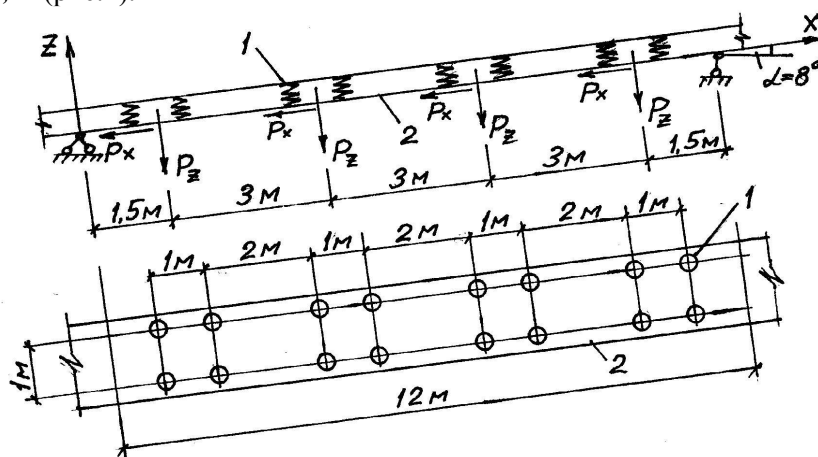


Рис. 1. Схема приложения возмущающих сил  $P_Z$ ,  $P_X$  и расположения пружинных виброизоляторов 1 по лотку 2.

Согласно выполненным расчетам, по направлению оси  $Z$  на каждый вибратор (4 вибратора на лоток) принято четыре пружинных виброизолятора.

<sup>1</sup> А. Х. Манукян. Вибрационное сооружение для транспортирования сыпучих материалов. Владикавказ. Труды СКГМИ, вып. 12, 2005.

По направлению оси  $X$  по длине лотка установлено 4 пружинных виброизолятора той же марки. При этом достигается эффект виброизоляции, так как отношение частоты возмущающей силы к частоте собственных колебаний находится в пределах, исключающих явление резонанса:

$$A_z = W_0/W_z = (4,98 \div 10) > 4; \quad A_x = W_0/W_x = (5,1 \div 7,58) > 4.$$

Выполнены также расчеты по определению усилий в железобетонных лотках температурного блока при перемещении доломита. Здесь рассматривались 4 схемы загрузки. В первой схеме учитывалась только постоянная нагрузка  $G = 23,2$  кН/м, в остальных трех схемах дополнительно учитывали временную нагрузку  $V = 22,1$  кН/м последовательно в первом, втором и третьем пролетах температурного блока. По результатам расчетов лотка, как 3-х пролетной неразрезной конструкции, построены огибающие эпюры изгибающих моментов от каждой схемы загрузки (рис.2).

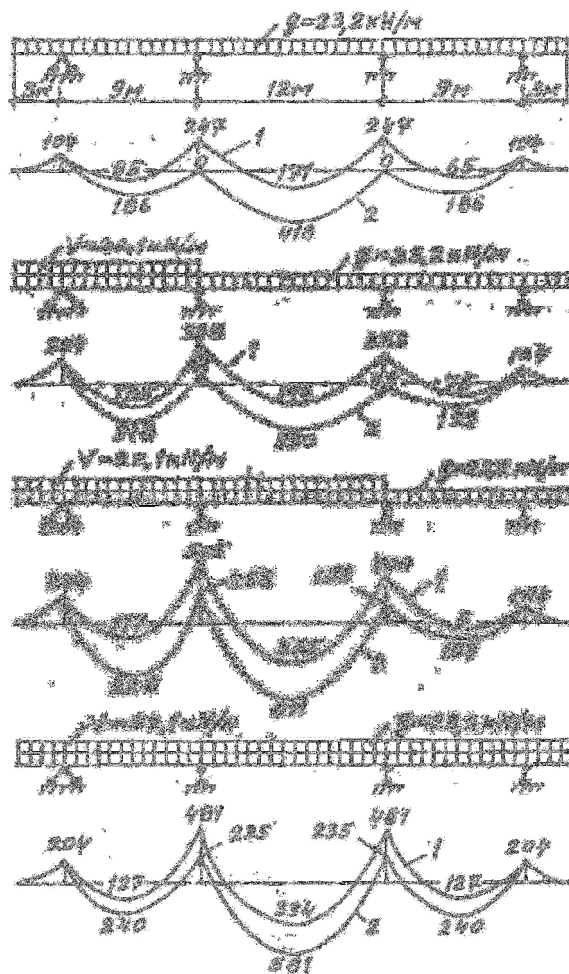


Рис. 2. Огибающие эпюры изгибающих моментов (кН·м) от различных схем загрузки: 1,2 – средний лоток соединяется с крайними соответственно до и после переда-

чи его полной массы на опоры;  $g$  – собственная масса лотка;  $V$  – масса сыпучего материала.

Близкие величины постоянной и временной нагрузок оказывают существенное влияние на соотношение опорных и пролетных изгибающих моментов в зависимости от способа монтажа железобетонных лотков (рис.3).

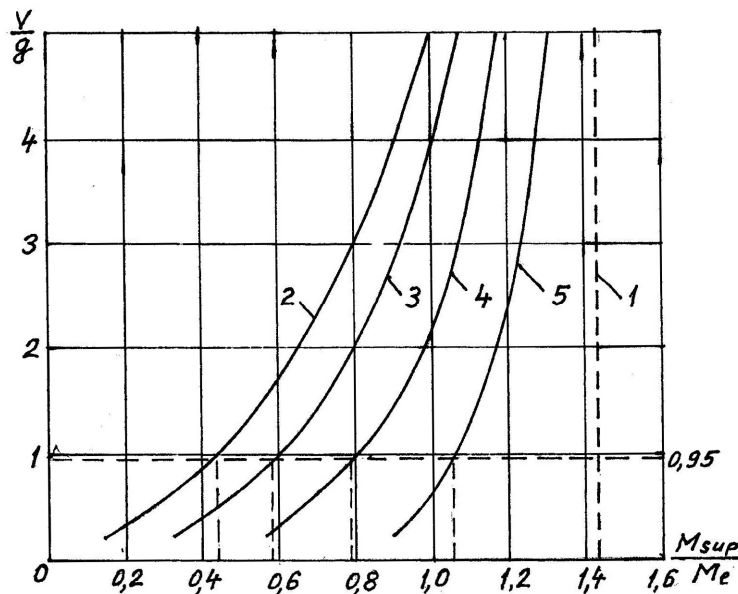


Рис. 3. Влияние уровня нагрузки  $V/g$  и способа монтажа среднего лотка на отношение опорного  $M_{sup}$  и пролетного  $M_e$  изгибающих моментов: 1, 2 – средний лоток соединяется с крайними соответственно до и после передачи его полной массы на опоры; 3, 4, 5 – средний лоток соединяется с крайними после передачи соответственно 0,75; 0,5 и 0,25 его массы на опоры.

При обычном способе монтажа лотки устанавливаются на опоры, а затем соединяют их между собой. Расчеты показали, что в этом случае, изгибающие моменты в пролете находятся в пределах 390÷611 кН·м, что значительно выше соответствующих моментов крайних лотков (см. рис.2). Пролетные моменты среднего лотка можно уменьшить, если его соединить с крайними лотками до передачи его полной массы на опоры. При этом его пролетный изгибающий момент уменьшается до 171÷365 МПа. Однако это приводит к увеличению изгибающих моментов на средних опорах до 505 МПа, что выше всех остальных значений моментов трехпролетного температурного блока.

Очевидно, что оптимальное соотношение опорных и пролетных изгибающих моментов будет соответствовать схеме, близкой к равномоментной, когда  $M_{SAP}/M_L \approx 1$ . Для этого соединение лотков между собой необходимо выполнять после передачи некоторой части массы среднего лотка на опоры (рис.3). Согласно рис.3, при фактическом отношении временной нагрузки к постоянной,  $V/G = 0,95$  схема, близкая к равномоментной, будет иметь место, когда лотки соединяются между собой после передачи примерно третьей

части массы среднего лотка на опоры. Интервал изменения  $M_{SAP}/M_L$  при различных способах монтажа находится в пределах  $0,42 \div 1,44$ . Рис. 3 показывает, что с ростом уровня нагрузки  $V/G$  влияние способа монтажа среднего лотка на отношение  $M_{SAP}/M_L$  ослабевает, а при  $V/G = 5$   $M_{SAP}/M_L = 0,97 \div 1,44$ . Это означает, что равномоментная схема при этом будет иметь место, когда лотки соединяются между собой после передачи полной массы среднего лотка на опоры.

**Заключение.** При расчете многопролетных железобетонных конструкций как неразрезных, способ их монтажа оказывает существенное влияние на отношение опорных и пролетных изгибающих моментов, особенно при сопоставимых величинах временных и постоянных нагрузок. Оптимальный способ монтажа позволяет избежать предварительного напряжения конструкции, повысить ее трещиностойкость и жесткость, а также упростить армирование, что в конечном итоге уменьшает ее стоимость.





УДК 656

*Ст. преп. ГРУЗДОВ Г. Н.*

### **ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В ПРЕДГОРНЫХ И ГОРНЫХ РАЙОНАХ КАВКАЗА**

*Предложены мероприятия, которые помогут снизить аварийность на горных дорогах.*

Большая маневренность автотранспорта, его подвижность и проходимость позволяют осуществлять доставку грузов и пассажиров в самые отдаленные и недоступные для других видов транспорта районы. Поэтому подвижной состав автотранспорта используется практически везде на территории суши земного шара.

В зависимости от природно-климатических, рельефных и других особенностей выполнение транспортного процесса может носить ту или иную степень сложности. Особенно специфическими являются условия перевозок в предгорных и горных районах Кавказа.

Для выполнения безопасных перевозок на территории с гористой и высокогорной местностью необходимо соблюдать следующие требования:

– допускать к управлению подвижным составом водителей, прошедших специальную подготовку по эксплуатации автотранспортных средств в гористой местности (каждый водитель должен знать маршрут движения не только по карте, но и визуально);

– проводить регистрацию всех транспортных средств, движущихся в направлении районов с горной местностью с детальным описанием маршрутов следования, планируемых остановочных пунктов и предполагаемого времени остановок в них (в случае непредвиденных стихийных бедствий это позволит расчетным путем определить местонахождение каждой отдельно взятой единицы транспортных средств в конкретное время);

– иметь на дорогах, идущих по направлению горных районов радарные установки и телекамеры, фиксирующие движения каждого транспортного средства, по указанному направлению для дублирования регистрационных функций службы безопасности дорожного движения;

– обеспечить все транспортные средства, работающие в условиях гор, сигнальной («маячной») связью с настройкой каждой отдельно взятой единицы подвижного состава на свою конкретную частоту;

– установить сотовую связь между сотрудниками дорожно-постовой службы, находящимися на постах ГИБДД предгорной и горной зоны с водителями транспортных средств на контролируемом участке трассы (ввести в практику систему регистрации телефонных номеров);

– устанавливать световую сигнализацию об изменениях природно-климатических условий на пути движения транспорта;

– создавать через определенные участки пути следования площадки-отстойники для стоянки транспортных средств в случае непредвиденных экстремальных ситуаций;

– проводить детальные аналитические исследования причин дорожно-транспортных происшествий и ситуаций, способствующих их возникновению с целью упреждения аварийности;

– периодически проводить анкетный опрос водителей по выявлению упущений и недостатков по безопасности дорожного движения при перевозке в горной местности.

Необходимо также выработать тенденцию по эксплуатации подвижного состава автотранспортных средств в условиях горной местности, введя для этого определенные требования, в числе которых:

– сокращение времени нахождения водителей за рулем при движении в горной местности;

– повышение требований к уровню качества проверки и регулировки тормозной системы транспортных средств;

– установление допустимого минимального предела по запасу хода для преодоления участка пути следования;

– разработка мероприятий по осуществлению движения транспортных средств в конкретном направлении (чтобы они двигались не в одиночку, а колоннами);

– установление лимита по клирингу легкового автотранспорта, допускаемого к эксплуатации в горной местности;

– определение пределов допуска по критериям мощности двигателей, массе и габаритной длине транспортных средств, движущихся на конкретном участке пути.

**Заключение.** Внедрение в практику предложенных мероприятий позволит минимизировать аварийность и повысить безопасность движения при перевозе, осуществить аналитические исследования в выявлении причинно-следственной связи возникновения дорожно-транспортных происшествий, выработать в соответствии с исследованиями мероприятия по безаварийной эксплуатации транспорта в горной местности.



УДК 621.791.011

*Доц. ЦОРИЕВ С. О., доц. АБАЕВ А. Х., студ. ЦОРИЕВ В. С.*

#### **ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ХОДОВОЙ ЧАСТИ АВТОМОБИЛЯ «ЖИГУЛИ»**

*Приведены данные по повышению технологической прочности металлов при сварке. Рекомендовано применение предварительного отжига для повышения долговечности рычагов передней подвески автомобиля "Жигули".*

Статистический анализ дефектов, возникающих в процессе эксплуатации ходовой части автомобиля «Жигули», показал, что в рычагах передней подвески часто образуются усталостные трещины.

Технология изготовления рычагов на машиностроительном заводе предусматривает штамповку деталей рычага с последующим соединением их точечной сваркой, в процессе которой из-за жестких режимов нагрева и охлаждения, характерных для этого технологического процесса, в металле в непосредственной близости от сварной точки (в околошовной зоне) происходит образование закалочных структур, которые резко понижают вязкость металла и способствуют образованию микротрещин на границах зерен по схеме Зинера и Чанга (рис 1). В заводских условиях контроля качества деталей определить их наличие бывает невозможно. А в процессе эксплуатации ходовой части автомобиля микротрещины постепенно развиваются в длину и в глубину. Соединившиеся микротрещины образуют макротрещину, достигающую иногда по ширине рычага длины 20 мм с глубиной, равной толщине стального листа, из которого изготовлен рычаг. Макротрещины образуются даже на рычагах тех автомобилей, которые регулярно проходят техосмотр и техобслуживание. Образование трещин приводит к значительному уменьшению площади поперечного сечения рычага и к соответственному снижению его несущей способности, что создает угрозу внезапного разрушения его в процессе движения автомобиля.

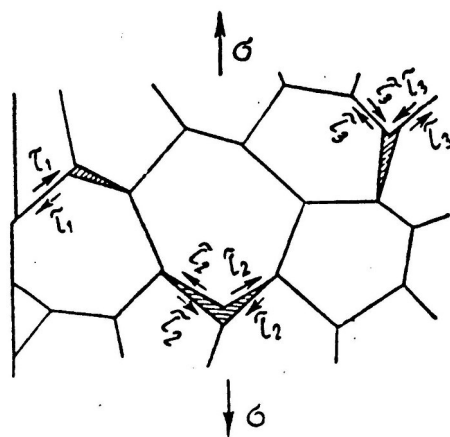


Рис.1. Схема возможных механизмов образования трещин при проскальзывании по границам зерен по Зинеру и Чангу.  $\sigma$  – нормальные напряжения;  $\tau_1, \tau_2, \tau_3$  – касательные напряжения.

Анализ теории технологической прочности металлов при сварке (проблемы образования холодных и горячих трещин при сварке) дает основание предположить, что изменением структурного состояния стали перед сваркой можно повлиять на кинетику процесса превращения аустенита при охлаждении, и, тем самым, на вероятность зарождения микротрещин в околошовной зоне. Снижение вероятности их зарождения снижает вероятность образования макротрещин и повышает эксплуатационную надежность рычагов.

Известно, что для изготовления рычагов передней подвески используют конструкционную машиностроительную сталь после нормализации, которая является обязательной при ее поставки. Структура стали при этом представляет собою сорбит нормализации.

Для изучения влияния исходной структуры стали на процесс образования закалочных явлений проведены дилатометрические исследования на образцах из материала рычага передней подвески. Сталь, из которой изготавливали образцы, с целью изменения ее структурного состояния подвергали предварительной термической обработке: закалке с высоким отпуском (улучшение), со средним и с низким отпуском; закалке с изотермическим отжигом; отжигу на зернистый перлит (изотермическому отжигу). Дилатометрические образцы затем подвергали быстрому нагреву и охлаждению в тех режимах, которые соответствовали режимам нагрева и охлаждения металла при сварке в различных точках (фибрах) околошовной зоны, равноудаленных от центра сварной точки, т. е. обрабатывали имитированным термическим циклом сварки. Быстрые нагрев и охлаждение с фиксацией изменений линейных размеров образцов проводили на установке ЛТП4-4 по методике, разработанной в лаборатории физических процессов в металлах при сварке МГТУ им. Н. Э. Баумана. Установка ЛТП4-4 представляет собою быстродействующий дилатометр с двухкоординатной системой регистрации, измерительная часть которого (рис. 2) состоит из рычажной системы, подвешенной в центре тяжести к кронштейну 4 при помощи пружины 5. Нагрев дилатометрического образца 1 до температур 950 и 1300 °С осуществляли электрическим током от понижающего трансформатора, а охлаждение проводили обдувом струей инертного газа (аргона). Изменение интенсивности обдува позволяло получать требуемую скорость охлаждения образца, соответствующую скорости охлаждения конкретной точки околошовной зоны в процессе сварки металла. Линейный эффект фазовых превращений (кинетика изменения линейных размеров) в образце при нагреве и охлаждении измеряли на его базовой ширине, равной 10 мм.

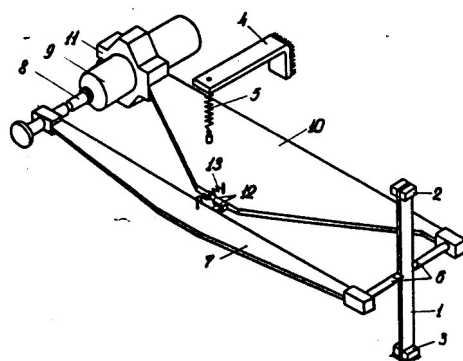


Рис.2. Схема измерительной части дилатометра ЛТП4-4.

1 – образец; 2, 3 – подвижный и неподвижный зажимы; 4 – кронштейн; 5 – пружина;  
6 – кварцевые щупы; 7 – рычаг; 8 – плунжер; 9 – индуктивный датчик; 10 – рама;  
11 – упор; 12 – узел вращения; 13 – пружина.

Перед испытанием образец закрепляли в подвижном 2 и неподвижном 3 токопроводящих медных зажимах. Подвижность одного из зажимов обеспечивала возможность свободного деформирования образца при изменении температуры. Изменение размера по ширине образца в исследуемом сечении

передавали через кварцевые щупы 6 и рычаг 7 плунжеру 8 индуктивного датчика 9, неподвижно закрепленного на раме 10. Рычаг 7 установки мог свободно поворачиваться в плоскости рамы на достаточный угол благодаря наличию узла вращения в виде призматической пары 12. Температуру образца измеряли хромель-алюмелевой термопарой. Регистрирующая часть дилатометра включала самописец БВ – 662, работающий вместе с индуктивным датчиком, и потенциометр ЭПП – 09М2. Установка позволяла одновременно вычерчивать дилатограмму в координатах «температура – деформация» (рис.3) и кривую термического цикла в координатах «время – температура».

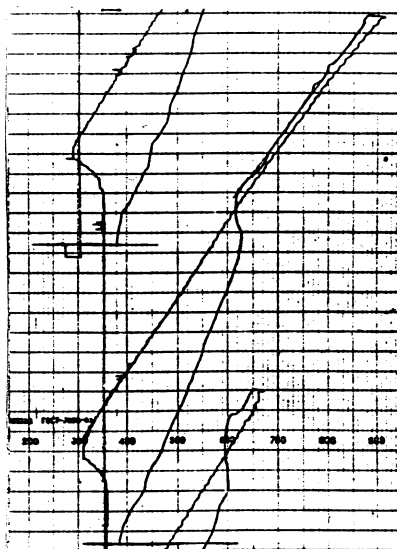


Рис.3. Дилатограммы, полученные на установке ЛТП4-4.

Для удобства сравнения кривых охлаждения дилатометрических образцов нами на одном рисунке рядом показаны все низкотемпературные участки кривых (рис. 4.). Кривые нагрева не изображены, так как в работе исследуется только  $\gamma - \alpha$  превращение.

Анализ дилатометрических кривых охлаждения образцов, испытанных в разных структурных состояниях, металлографические и дюрOMETрические исследования этих образцов (рис. 5) показали, что исходное состояние оказывает существенное влияние на кинетику превращения перлита в аустенит ( $\alpha - \gamma$  превращение) и аустенита в мартенсит или бейнит ( $\gamma - \alpha$  превращения), характер и твердость получаемых продуктов превращения.

Из анализа кривых охлаждения следует, что изотермический отжиг и улучшение повышают температурные точки начала и конца мартенситного превращения стали по сравнению с состоянием ее поставки. Наиболее значительно эти точки смещаются вверх по температурной шкале после изотермического отжига. В образцах из стали в состоянии поставки, охлаждаемых с 950 °С, мартенситное превращение не заканчивается при комнатной температуре, а в образцах, предварительно подвергнутых улучшению или изотермическому отжигу, заканчивается при 45 и 120 °С соответственно (см. рис.4а).

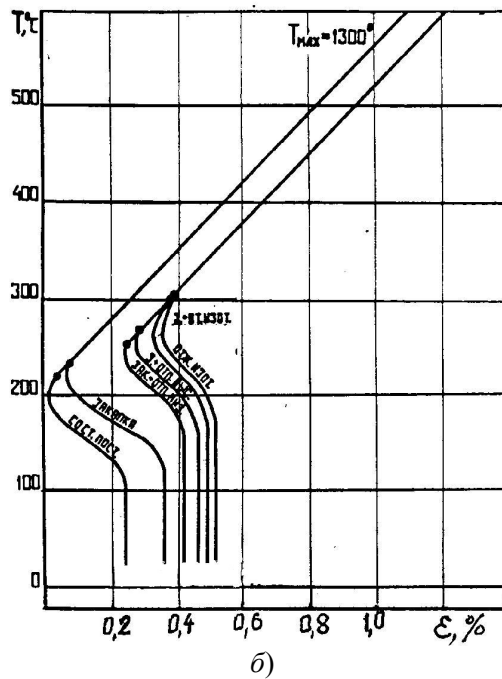
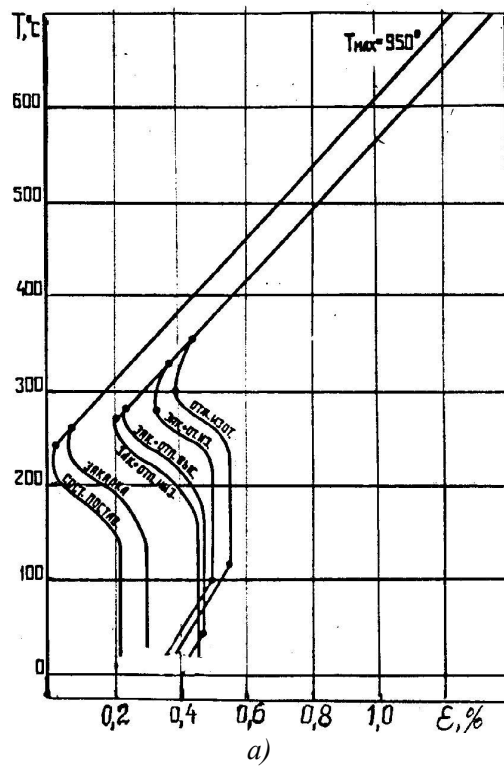


Рис. 4. Низкотемпературные участки дилатометрических кривых охлаждения образцов стали с температур 950 (а) и 1300 (б) °С в состоянии поставки; закалки, закалки с низким и высоким отпуском; закалки с изотермическим отжигом; изотермического отжига. Т – температура, ε – относительная деформация, %.

При этом точка начала мартенситного превращения ( $M_n$ ) сдвигается вверх по температурной шкале на 50 °С и ему предшествует бейнитное превращение, которое начинается при 350 °С. Таким образом, смещение точки начала  $\gamma - \alpha$  превращения при обработке стали имитированным термическим циклом околошовной зоны в процессе сварки (нагреваемой до 950 °С) после предварительного изотермического отжига составляет 110 °С по сравнению с состоянием поставки.

В образцах, подвергнутых изотермическому отжигу и затем обработанных имитированным термическим циклом околошовной зоны с максимальной температурой нагрева 1300 °С, точка начала  $\gamma - \alpha$  превращения сдвигается вверх по температурной шкале на 80 °С. При этом твердость продуктов превращения составляет 606 единиц по Виккерсу (HV 606), тогда как в состоянии поставки она равна 757 единицам (HV 757).

Анализ экспериментальных данных показал, что в стали, сваренной после изотермического отжига, аустенит становится менее устойчивым и поэтому претерпевает  $\gamma - \alpha$  превращения при более высоких температурах, что дает более мягкие продукты распада (рис.5), которые менее склонны к образованию трещин.

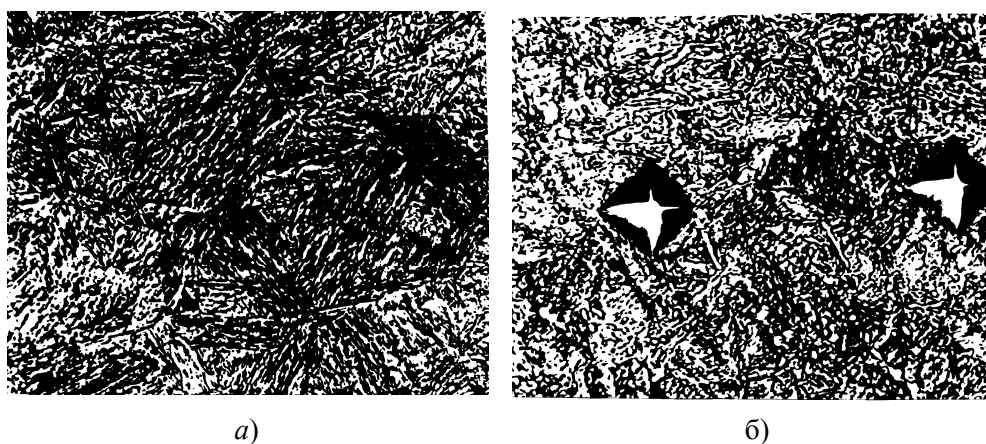


Рис.5. Микроструктуры околошовной зоны образцов, сваренных в состоянии поставки (а) и изотермического отжига (б) (x500).

## ВЫВОДЫ

1. Обработка имитированным термическим циклом сварки дилатометрических образцов с записью дилатограмм позволяет определить кинетику протекания перлитно-аустенитного и аустенитно-мартенситного превращения в различных точках околошовной зоны при сварке.
2. В процессе точечной сварки стали в состоянии нормализации велика вероятность образования микротрещин в околошовной зоне, так как превращение аустенита в мартенсит протекает при относительно низких температурах.
3. Изменения структурного состояния стали перед сваркой оказывают значительное влияние на процесс  $\gamma - \alpha$  превращения, так как приводят к

смещению по температурной шкале точек начала и конца мартенситного превращения в стали.

4. В процессе точечной сварки стали после предварительного изотермического отжига мартенситному превращению в околошовной зоне предшествует бейнитное превращение. В некоторых точках околошовной зоны мартенситное превращение заканчивается в интервале температур низкого отпуска, что приводит к самоотпуску и увеличению вязкости металла. Такое изменение кинетики  $\gamma - \alpha$  превращения и свойств структурных составляющих способствует возрастанию технологической прочности металла.

5. Изотермический отжиг перед точечной сваркой рычагов передней подвески автомобиля «Жигули» можно рекомендовать как один из способов повышения их надежности и долговечности.



УДК 629

*Доц. АБАЕВ А. Х.,  
студ. АБАЕВ А. А.*

### **ЭФФЕКТИВНАЯ ТОРМОЗНАЯ СИСТЕМА ПРИЦЕПОВ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

*Предложен способ эффективного торможения легкового прицепа, при котором растормаживание колес прицепа осуществляется за счет отключения энергоаккумуляторов механизмом выключения (системой тяг и рычагов) при приложении тягового усилия автомобилем к сцепному устройству.*

Тягово-сцепные показатели легковых автомобилей зачастую достаточны для того, чтобы их эффективно использовали в качестве тягача в составе автопоезда. Легковые автопоезда наиболее интенсивно используют как в черте городов, так и в пригородах (обеспечивая транспортом грузоперевозки коммерческой и другой деятельности юридических и физических лиц), в автотуризме и т.д. Однако ограничение фактической массы прицепов легковых автомобилей значительно снижает эффективность их использования.

Для легковых автомобилей выпускают прицепы, но их полная масса не может превышать половины фактической массы буксирующего транспортного средства (Правила дорожного движения Российской Федерации, пункт 20 – буксировка механических транспортного средства с недействующей тормозной системой).

По техническим требованиям прицепы, имеющие допустимую полную массу больше 750 кг, должны быть оборудованы рабочим и стояночным тормозами. Стояночный тормоз должен удерживать прицеп с грузом в заторможенном состоянии на сухой дороге с твердым покрытием на уклоне 20 % ( $10^0$ ), а тормозной путь легкового автомобиля с прицепом не должен превышать 10 % тормозного пути одиночного автомобиля.



Ограничение полной массы выпускаемых прицепов легковых автомобилей обусловлено отсутствием у них тормозной системы. Это связано с оснащением тягачей гидравлической системой привода тормозов. Основным недостатком данной системы является сложность соединения гидроприводов тормозов тягача и полуприцепа (прицепа). При каждой расцепке автопоезда пришлось бы прокачивать гидропривод, удаляя из него неизбежно попавший туда воздух. Применение пневматического привода облегчает и упрощает управление тормозной системой автомобиля, создает возможность использование сжатого воздуха для привода тормозов прицепа и других различных целей. Однако изготовление и обслуживание пневмопривода сложнее, чем гидропривода, у него выше стоимость, больше время срабатывания и значительнее потери мощности двигателя на привод компрессора, сложнее размещение компрессора под капотом. Система тормозов с механическим приводом архаична, и вследствие присущих ей качеств, плохо отвечающих современным условиям, применение этой системы на автомобилях сократилось. Применение традиционных механических систем тормозов для прицепов кроме этого неприемлемо из-за низкой эффективности управления ими из салона водителя. В связи с этим разработка эффективной тормозной системы для легковых прицепов является актуальной задачей.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату является поршневая тормозная камера с пружинным энергоаккумулятором. Ими часто оснащены пневматические системы тормозов автомобилей большой грузоподъемности (например, КАЗ-4540). Данный механизм состоит из корпуса тормозной камеры, штока камеры, диафрагмы, возвратной пружины, толкателя, цилиндра, поршня. Тормозная камера с энергоаккумулятором работает следующим образом: при движении автомобиля сжатый воздух находится в полости цилиндра энергоаккумулятора, а поршень вместе с толкателем занимает верхнее положение. При торможении рабочим тормозом сжатый воздух подается в полость над диафрагмой, которая воздействует на шток и он перемещается и передает усилие на клин тормозного механизма. При выпуске воздуха шток и диафрагма возвращаются в исходное положение с помощью возвратной пружины клина. При включении стояночного тормоза сжатый воздух выпускается из цилиндра энергоаккумулятора. Поршень под действием силовой пружины движется вниз и перемещает толкатель, который воздействует на диафрагму, шток и клин разжимного устройства – происходит торможение автомобиля.

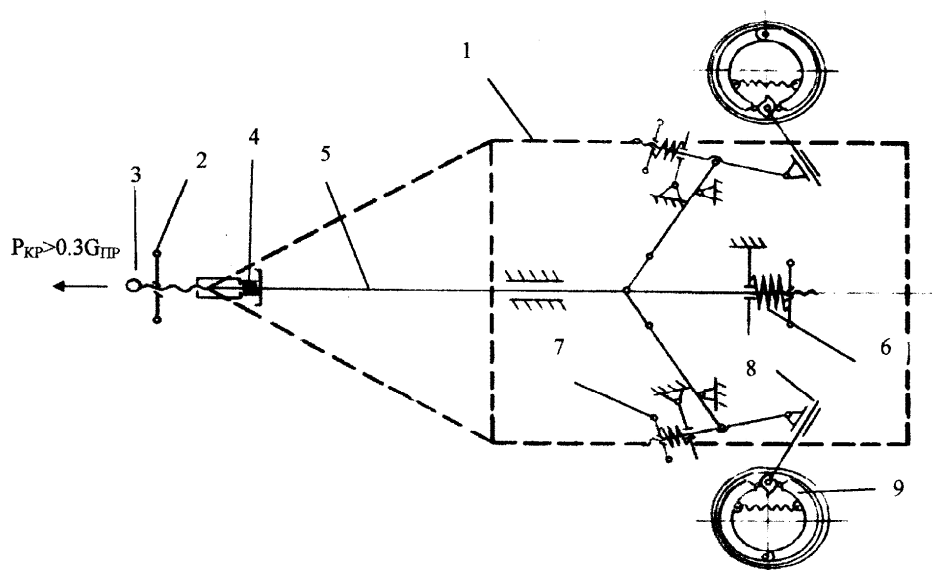
При выключении стояночного тормоза воздух подается в цилиндр под поршень, который, поднимаясь, сжимает пружину. При этом поднимается толкатель и освобождает диафрагму и шток, которые под действием пружины клина занимают исходное положение.

Пружинный энергоаккумулятор автоматически срабатывает при утечке сжатого воздуха из привода, что приводит к торможению автомобиля. Для аварийного оттормаживания предусмотрено механическое устройство, состоящее из винта, гайки и упорного подшипника. Однако для функционирования данного механизма необходим сжатый воздух, т. е. компрессор.

У традиционных тормозных систем автомобилей и автопоездов торможение вращающихся колес осуществляются тормозными механизмами посредством воздействия на них водителем через привод. Существенным отли-

чем предлагаемого устройства является то, что, прицеп имеет свою независимую систему торможения, которая автоматически осуществляет самоторможение колес тормозными механизмами при неподвижном автопоезде (прицепе) или когда скорость тягача меньше скорости прицепа (при замедлении и остановке), а также при самостоятельном движении прицепа (разрыв сцепки). В начале движения, ускоренном или равномерном движении тягач, через тягово-сцепное устройство, посредством привода (системой тяг, рычагов и натяжных пружин) выключает энергоаккумуляторы, растормаживая колеса прицепа. Предлагаемая система выполняет функции рабочего, стояночного, аварийного и горного тормозов.

На рисунке показана схема устройства, которое состоит из рамы 1, винтовой пары ручного выключения тормозов 2, сцепного устройства 3, демпфирующего устройства 4, системы тяг и рычагов привода 5, центрального 6 и бортовых 7 энергоаккумуляторов, раздвижных механизмов колодок 8, тормозных колодок 9 и тормозных барабанов 10.



Способ эффективного торможения прицепов легковых автомобилей.

Торможение автопоезда осуществляется следующим образом. Если прицеп загружен до 30 % от полной массы тягача, тогда винтовой парой 2 выключают тормоз прицепа. В этом случае автопоезд осуществляет торможение как с серийным безтормозным прицепом. Если прицеп загружен более 30 % от полной массы тягача, тогда винтовой парой 2 включают тормозную систему. При стоянке автопоезда или при обгоне прицепом тягача (замедлении и полном прекращении движения) под действием пружин энергоаккумуляторов 5 и 7 осуществляется самоторможение прицепа. При страгивании, ускоренном или равномерном движениях тягач через сцепку 3, систему тяг и рычагов привода 5, преодолевая упругость пружин 5 и 7 энергоаккумуляторов передает усилия на раздвижные механизмы 8 тормозных колодок 9 растормаживая тормозные барабаны.

**Заключение.** Предложенный способ позволяет легковому автомобилю иметь эффективный привод для торможения колес прицепа, не расходуя на это мощность двигателя и мышечное усилие водителя, что в конечном итоге дает возможность полную массу прицепа приблизить к полной массе автомобиля.



УДК 629

*Доц. АБАЕВ А. Х.,  
студ. АБАЕВ А. А.*

## **СПОСОБ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ АВТОПОЕЗДА**

*Предложен способ рекуперативного торможения автопоезда, при котором для торможения колес прицепа используют кинетическую энергию автопоезда.*

Величина касательной силы тяги на ведущих колесах автомобиля зависит от вращающего момента на колесах (мощности двигателя и передаточного отношения трансмиссии) и сцепления колес с опорной поверхностью. Эти показатели зачастую достаточны для того, чтобы автомобиль использовался в качестве тягача в составе автопоезда. Эта возможность эффективно реализована для грузовых автомобилей большого, особо большого и сверх особо большого классов. Так, автомобили марок ЗИЛ, КамАЗ, МАЗ, КрАЗ, Урал и др. обеспечены целым рядом различных типов прицепов и полуприцепов. Для грузовых автомобилей особо малого, малого и среднего классов (УАЗ-3303-01, ГАЗ-52, ГАЗ-33021, ГАЗ-33023, ГАЗ-3307,...) прицепы и полуприцепы вообще не предусмотрены.

Грузовые автомобили среднего и малого классов интенсивно используются на малых и средних дистанциях (пригородных, районных, республиканских и областных грузоперевозках). Они составляют большую часть автопарка колхозов, совхозов и фермерских хозяйств. Необходимость в транспортировке грузов с малым удельным весом (сено, солома, тара и т.д.) не дают возможности эффективно использовать мощность автомобилей. Кроме того, грузовые автомобили особо малого и малого классов, а также легковые автомобили наиболее интенсивно используют в грузоперевозках как в черте городов, так и в пригородах (обеспечение транспортом грузоперевозки коммерческой и другой деятельности юридических и физических лиц). Однако ограничение фактической массы прицепов легковых автомобилей и отсутствие прицепов у некоторых классов грузовых автомобилей, значительно снижают эффективности их использование.

Не использование грузовых автомобилей, полная масса которых менее 8 т, в составе автопоезда, и ограничение полной массы прицепов легковых автомобилей обусловлено наличием у них гидравлической системы привода тормозов. По сравнению с пневматической системой привода тормозов гид-

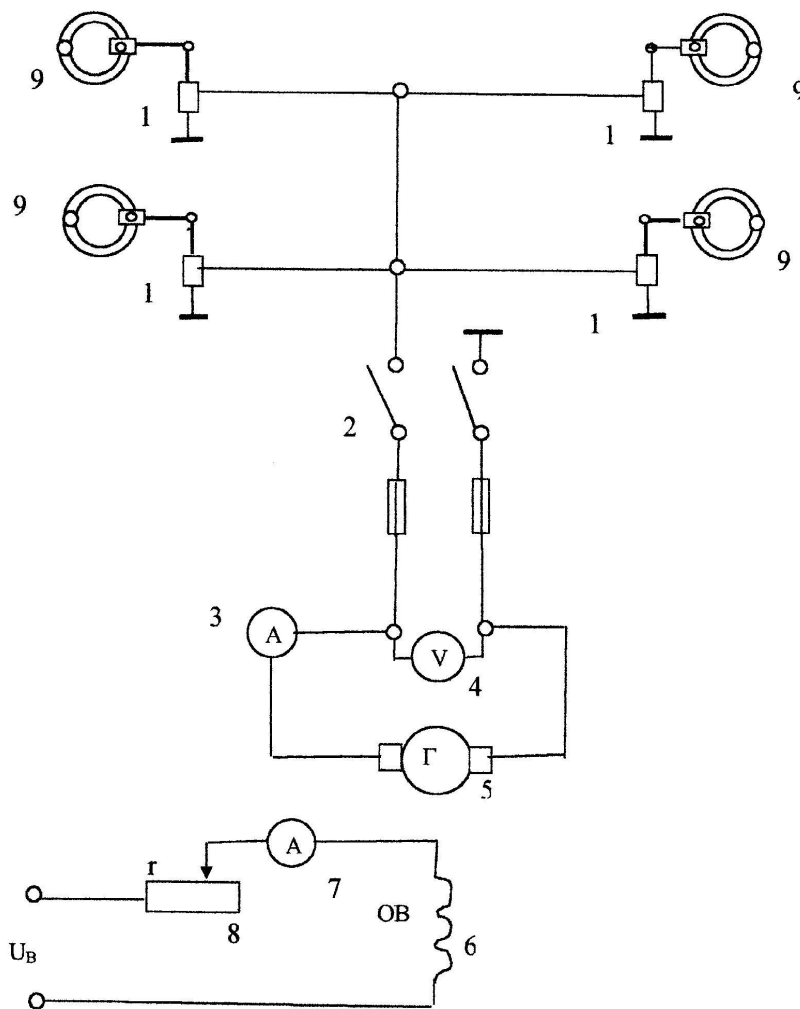
гидравлическая система имеет определенные достоинства. В гидравлической системе отсутствует конденсация, эта система более компактна, меньше весит и не так дорога. В случае неисправности тормоза не выходят из строя, кроме того, представляется большая свобода в выборе типа колесных тормозов. Основным недостатком данной системы является сложность соединения гидроприводы тормозов тягача и полуприцепа (прицепа). При каждой расцепке автопоезда пришлось бы прокачивать гидропривод, удаляя из него неизбежно попавший туда воздух. Утечка тормозной жидкости в процессе эксплуатации автомобиля автоматически не восполняется, что может привести к отказу системы. Эти недостатки и исключают возможность использовать гидравлический привод тормозов для прицепов и полуприцепов.

Пневматический привод применяют в тормозных системах грузовых автомобилей с общей массой более 8 т, а также в автобусах. Применение пневматического привода облегчает и упрощает управление тормозной системой автомобиля, создает возможность использование сжатого воздуха для привода тормозов прицепа и других различных целей. Однако изготовление и обслуживание пневмопривода сложнее, чем гидропривода. У него выше стоимость, больше время срабатывания и значительные потери мощности двигателя на привод компрессора. В связи с этим установка на легковые и грузовые автомобили, оснащенных гидравлическим приводом тормозов, пневмокомпрессорами для привода тормозов прицепов (полуприцепов) нежелательно из-за существенного снижения мощность автомобиля.

Механический процесс движения автомобилей можно рассматривать как изменение кинетической ее энергии от 0 до максимума (начало движения и достижения оптимальной скорости) и снижение от максимума до 0 (снижение скорости движения вплоть до полной остановки). В процессе торможения кинетическая энергия автомобиля переходит в работу трения между фрикционными накладками и тормозным барабаном или диском, а также между шинами и дорогой. Известно устройство рекуперативного торможения, которое используется в троллейбусах и трамваях, преобразующее кинетическую энергию транспортного средства в электрическую и возвращающее её в питающую сеть (Иванов М. Д. Устройство и эксплуатация трамвая. – М.: Высшая школа, 1977, с. 100–102). Кроме того, известны автомобили с гибридным приводом «Мишка» (журнал «За рулем» 2001г. №12, с. 54-55), где генератор заряжает аккумуляторные батареи при замедлениях и при необходимости. Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату является устройство эффективного торможения транспортного средства с гибридным приводом (Патент 2229767, автор Аджиманбетов Султалнхан Багатович), где используется кинетическая энергия транспортного средства при его замедлениях торможением электрической машиной в генераторном режиме с отдачей энергии для зарядки аккумуляторных батарей. Устройство снабжено вариатором частоты вращения, установленным между электрической машиной и трансмиссией транспортного средства. Однако в этом случае тормозной момент не достаточен для эффективного использования автомобиля в качестве тягача в составе автопоезда.

Цель предлагаемого способа – повышение эффективности использования кинетической энергии автопоезда с тягачом, оснащенный гидравлическим приводом тормозов, при его замедлениях торможением генератором с после-

дующей отдачей энергии электромагнитным приводам (ЭМП) тормозных механизмов колес прицепа (полуприцепа). Существенным отличием предлагаемого устройства является то, что часть кинетической энергии транспортного средства при торможении преобразуется генератором постоянного тока в электрическую энергию и подается к электромагнитным приводам тормозных механизмов прицепа (полуприцепа). На прицепы грузовых автомобилей рекомендуется применять барабанные тормозные механизмы колес. Для легковых автомобилей наряду с барабанными рекомендуется применять однодисковые тормозные механизмы с нажимным винтом, а также дисковые тормозные механизмы с автономным гидравлическим приводом (Мамити Г. И., Льянов М. С. Функциональный и прочностной барабанные тормозные механизмы и расчет тормозов мотоцикла). На рисунке показана электрическая схема устройства, которое содержит генератор постоянного тока 5 с независимой обмоткой возбуждения 6, питаемого от бортовой сети тягача.



Электрическая схема привода тормозов прицепа.

Генератор входит в жесткую постоянную связь с трансмиссией автомобиля (для автомобиля ГАЗ-3307 жесткую кинематическую связь генератора с коробкой перемены передач возможно осуществить посредством использования привода гидронасоса подъемного механизма кузова). Величина тока возбуждения генератора регулируется реостатом 8. Механизм управления реостатом связан с педалью тормоза так, что при перемещении педали от свободного состояния до крайнего нижнего положения ток в обмотке возбуждения генератора линейно возрастает от 0 до максимума. Параметры электрической схемы контролируются амперметрами 3 и вольтметром 4. Цепь замыкается выключателем 2, а на колесные тормозные механизмы прицепа (полуприцепа) 9 воздействуют электромагнитные приводы 1.

Торможение автопоезда осуществляется комплексно. Замедление без воздействия на педаль тормоза производится торможением двигателем. При нажатии на педаль тормоза замедление осуществляется тормозной системы тягача (гидравлической системой торможения). При этом кинетическая энергия автопоезда передается через трансмиссию якорю генератора, обеспечивая генераторное торможение с отдачей электрического тока электромагнитным приводам тормозных механизмов колес прицепа. Это дает возможность параллельного торможения прицепа.



УДК С10Г 33/02, 21/00

Доц. КАБАЛОЕВ Ю. Ж.

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТОПЛИВА

*Рассмотрен вопрос поляризации углеводородного топлива и очистки воздуха от выхлопных газов автомобильного транспорта. Описано предлагаемое устройство, улучшающее эффективность поляризации углеводородов. Техническое решение устройства заключается в том, что на топливопроводе автомобиля смонтирован поляризационный электромагнит с замкнутым полем поляризующего потока, подключенный к источнику электрической энергии.*

Целью предлагаемого электромагнитного устройства<sup>1</sup> является поляризация углеводородного топлива (бензин, дизельное топливо, газ и др.) в магнитном поле и очистка окружающей среды, в том числе воздуха от выхлопных газов автомобильного транспорта.

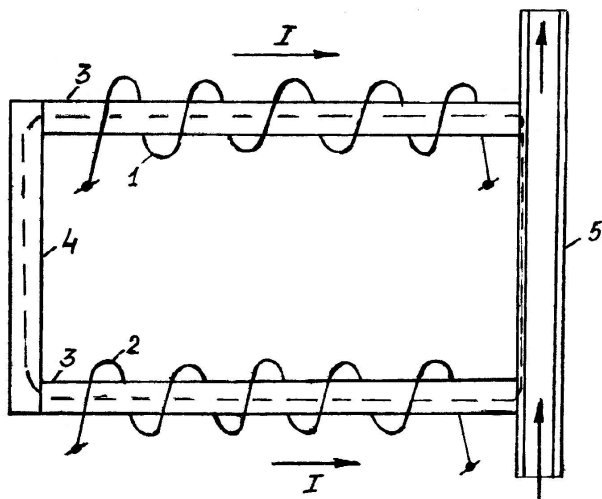
Известно устройство [1], представляющее собой кольцеобразный магнит с сильным однородным магнитным полем. В кольцеобразном корпусе этого устройства размещены специальные магниты, которые создают в центре кольца сильное однородное магнитное поле. Кольцо монтируют на шланг

<sup>1</sup> Кабалоев Ю. Ж., Социлина И. Н. Поляризация углеводородов в магнитном поле. Труды молодых ученых СКГМИ, № 2. 2003.

топливопровода снаружи, без его разборки, так, чтобы топливо (бензин, спирт, газ или газойль) проходило через магнитное поле, которое снимает электростатическую заряженность молекул топлива при прохождении через шланг его подачи. При этом топливо лучше смешивается с воздухом, ввиду чего с углеводородными молекулами топлива соприкасается большее количество кислорода и ускоряется горение.

В устройстве-прототипе наблюдается недостаточно эффективная поляризация топлива. Для ее повышения на топливопроводе автомобиля смонтирован поляризационный электромагнит с замкнутым полем поляризующего потока. После подключения к катушкам электрического напряжения создается намагничивающее устройство электромагнитного типа и сильное магнитное поле. При прохождении топлива через сильное магнитное поле устройства молекулы поляризуются, снимается электростатическая заряженность топлива, понижается его вязкость. Топливо после поляризации распадается на более мелкие капли, которые лучше смешиваются с воздухом. Площадь соприкосновения с кислородом у мелких капель значительно увеличивается и ускоряется горение. Таким образом, в результате полного сгорания топлива из аналогичного количества горючего получается больше полезной энергии. Более совершенное горение уменьшает количество оксида углерода и несгоревших углеводородов в выхлопных газах и следовательно, их отравляющее действие, двигатель меньше изнашивается, возрастает срок его службы, уменьшается расход масла, возрастает мощность мотора, его ход, особенно в случае холодного двигателя, становится более равномерным. Улучшается смазка, обогатитель гораздо скорее может быть возвращен в исходное положение, а автомат холодного пуска включается быстрее. В результате более высокого КПД может быть достигнута экономия горючего на 5–10 % больше по сравнению с аналогом.

Устройство (рисунок) состоит из поляризующей 1 и рабочей 2 обмоток, сердечников 3, на которых расположены поляризующая и рабочая обмотки. Сердечник 3 с одной стороны замкнут трубопроводом 5, по которому подается топливо, а с другой стороны – сердечником 4.



Устройство для поляризации автомобильного топлива.

Устройство работает следующим образом. Сердечники 3 с обоих концов замкнуты между собой, с одной стороны сердечником 4, а с другой – трубопроводом 5. Если по рабочей обмотке 2 протекает электрический ток, то создается магнитный поток, направленный в сердечнике навстречу потоку поляризирующей обмотки 1, и эти потоки направляются в топливопровод. По этому пути проходят 2 магнитных потока: от поляризирующей обмотки 1 и от рабочей обмотки 2, которые суммируются и создают мощное магнитное поле, поляризующее топливо, проходящее по топливопроводу. Оптимальный режим работы устройства зависит от скорости подачи топлива и величины магнитного поля. Он устанавливается подбором силы электрического тока в поляризирующей обмотке, при котором наблюдается максимальное изменение физических свойств топлива.





УДК 550.42  
(470.6)

Асс. ПУХАЕВА З.Э.

### **К ВОПРОСУ О КРИТЕРИЯХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ РУДНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ**

*Проведена оценка минералого-геохимических особенностей свинцово-цинковых руд, на основе результатов которой выявлена негативная роль сульфидов, слагающих основу руд. В качестве критерия определения экологической опасности рудных образований предложен расчетный коэффициент экоопасности.*

Система критериев определения экологической опасности любых природных образований должна охватывать все уровни их взаимодействия с окружающей средой – от локального до глобального. Однако в аспекте регионального анализа показатели экологической опасности на глобальном (мировом) территориальном уровне могут не рассматриваться. Рассмотрение же низшего территориального уровня – локального – необходимо, так как часть его показателей должна служить исходными данными для анализа экологической опасности в данном случае рудных образований на уровне региона.

Для решения поставленной задачи была проведена оценка минералого-геохимических особенностей руд как одного из факторов нарушения экологического равновесия природной среды на примере свинцово-цинковых месторождений Буронского рудного поля. Достижению поставленной в работе цели способствовало решение нескольких задач: 1) детально изучить минеральный состав руд, 2) выявить особенности вещественного состава руд, уровни концентрации ведущих и примесных элементов, 3) определить коэффициенты экологической опасности основных рудных минералов, суммарных коэффициентов экоопасности руд и в целом месторождений, 4) установить взаимосвязь между особенностями минерального и вещественного состава руд и их негативным воздействием на экосистемы района в ходе не только различных стадий их технологической переработки, но и в их естественном (природном) залегании.

В ходе исследования были получены следующие результаты:

- Степень экологической опасности рудных и других минеральных ассоциаций определяется химическим составом, формами нахождения и соотношением минеральных фаз, а также их устойчивостью.
- Высокая экологическая опасность отходов свинцово-цинковых руд связана с содержащимися в них сульфидами железа, свинца, цинка и кадмия, с их низкой химической устойчивостью и значительными концентрациями элементов-токсикантов.

➤ На основе впервые рассчитанных коэффициентов химической устойчивости и экоопасности основных рудных минералов оценена роль сульфидов свинцово-цинковых (Буронского, Староцейского и Садонского) месторождений как потенциальных источников загрязнения окружающей среды.

Научная новизна заключается в предлагаемой методике и результатах определения экогеохимического воздействия рудных скоплений на окружающую среду с учетом того, что источниками химического загрязнения почв, пород, поверхностных и подземных вод являются как техногенные процессы, так и обычные природные процессы рудогенеза и эпигенетической трансформации химико-минералогического состава руд (в частности, их окисления, выщелачивания и т.д.).

Исследование химического (элементного) и минерального (фазового) состава и количественного содержания рудных скоплений должно быть одним из существенных элементов геоэкологической оценки территории.

**Заключение.** Проблему охраны окружающей среды надо рассматривать с позиции взаимосвязи экосистем, регионального характера существования экосистем, соотношения времени изменения условий или среды к скорости адаптации экосистем и ограниченности природных ресурсов.



УДК 502.7

*Асп. ХОРУЖИЙ Н.А.*

## **ТЕХНОЛОГИЯ ЛИКВИДАЦИИ ЛОКАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД МОЗДОКСКОГО РАЙОНА НЕФТЕПРОДУКТАМИ**

*В работе описаны геолого-гидрологические условия района, приведены данные по технологии и организации работ по ликвидации локального загрязнения грунтовых вод нефтепродуктами, сделан вывод о необходимости проведения таких работ в дальнейшем.*

**Геолого-гидрогеологические условия района.** Особенностью геологического строения изучаемой территории является её расположение в зоне сочленения Скифской и Аравийской литосферных плит. В значительной степени территория Моздокского района относится к Скифской плите, являющейся краевой частью Русской платформы, имеющей глубоко залегающий кристаллический фундамент и мощную толщу вышележащих пород. Относительно простое строение осадочной толщи территории осложняется антиклинальной зоной на её южной границе – Терским хребтом, ось которого имеет субширотное направление. Согласно региональному гидрогеологическому районированию территория относится к юго-западной части Терско-Кумского артезианского бассейна.

В отложениях, слагающих разрез территории, можно выделить следующие горизонты (комплексы):

-водоносный горизонт верхнечетвертичных и современных отложений;

-водоносный комплекс (горизонт) нижнесреднечетвертичных отложений;

-водоносный комплекс акчагыл-апшеронских отложений [1].

В настоящее время воды нижнесреднечетвертичного комплекса являются основным эксплуатационным объектом для водоснабжения населения и предприятий гг. Моздока и Малгобека [1].

В девяностых годах XX в. в Моздокском районе было выявлено мощное загрязнение почв и грунтовых вод нефтепродуктами. С целью выяснения масштабов загрязнения проводили геолого-экологические работы АП «Гео-сервис» горно-геологического предприятия «Севосгеологоразведка». В северо-западной части г. Моздока на поверхности грунтовых вод были выявлены плавающие линзы керосина, площадью загрязнения свыше 500 тысяч км<sup>2</sup> и объемом керосина ориентировочно 15 тыс. м<sup>3</sup>. Площадь загрязнения грунтовых вод керосином на участках зоны влияния хозяйственных объектов составил 20 км<sup>2</sup> с содержанием 10–100 ПДК [2].

В 1996 г. совместно с Минприродой РСО-Алания разработан проект ликвидации очагов загрязнения керосином на территории аэродрома, проведена экспертиза проекта, но из-за отсутствия финансирования работы остановлены [2].

Научно-исследовательские работы по ликвидации локального загрязнения грунтовых вод нефтепродуктами на базе военного аэродрома в районе г. Моздок возобновились в 2001 г. по заказу Экологического центра Министерства обороны РФ и Северо-Кавказского научного центра высшей школы. На первом этапе работ (2001 г.) на основании фондовых материалов и результатов предыдущих геолого-экологических работ в качестве объекта исследования выбрана линза №1, расположенная на территории аэродрома в районе топливных резервуаров [3] в левобережной части Моздокского района РСО-Алания. Она локализована на уровне первого от поверхности водоносного горизонта в современных и верхнечетвертичных отложениях. Из результатов работ первого этапа (2001 г.) по 15 наблюдательно-каритровочным скважинам площадь линзы №1 составляет 430 тыс. м<sup>2</sup>. Мощность слоя свободно плавающего керосина в линзе 1 наблюдалась от пленки до 6 см (июнь 2002 г.). Содержание нефтепродуктов в грунтах от 9 до 650 мг/кг.

На первом этапе работ околонушено загрязнение грунтов и грунтовых вод, проведен подсчет остаточного количества утерянного авиакеросина:

- в грунтах зоны аэрации – 126 т;

- свободно плавающего на поверхности грунтовых вод – 697 т [4].

На втором этапе (2002 г.) с учетом гидрорежимных наблюдений и согласно техническому заданию и рабочему проекту были построены гидроузел, состоящий из основной скважины глубиной 32 п.м и водоотвод  $d = 219$  мм, длиной 400 м для сброса воды; проводились также режимные наблюдения, эколого-геохимические и лабораторные работы [3].

**Технология ликвидации локального загрязнения грунтовых вод нефтепродуктами.** В соответствии с выбранной конструкцией построен гидроузел, состоящий из скважины  $d = 324$  мм и глубиной 32 п.м. Интервал установки фильтра 7,35 – 30 м с гравийной обсыпкой.

Согласно экспериментальным исследованиям и апробации работ (таблица) порядок работы гидроузла по откачке керосина с уровня грунтовых вод следующий:

1. Замеряют уровни грунтовых вод и мощности слоя керосина во всех наблюдательных скважинах и гидроузле, отбирают пробы воды для определения содержания нефтепродуктов.

2. Включают погружной насос ЭЦВ -12-255-30 для образования депрессионной воронки.

3. После достижения максимального понижения уровня грунтовых вод и накопления слоя керосина включают откачивающий насос ВН-04.

4. Насос ВН-04 работает не более 10 мин. При появлении воды в прозрачном окне отстойника насос отключают.

5. Откачивающийся керосин отстаивается в отстойнике 0,5 ч.

6. После отстоя керосин сливают в емкость для хранения и вторичного отстоя. Объем керосина измеряют каждые сутки, записывая данные в соответствующем журнале.

7. Через 2 ч после откачки керосина замеряют толщину его слоя в гидроузле и при его накоплении включают откачивающий насос, цикл повторяется. Всего в сутки 8–12 циклов.

8. Ежемесячно отбирают пробы воды из всех наблюдательных скважин и гидроузла для контроля степени очистки территории от нефтепродуктового загрязнения.

9. После заполнения емкости керосин сдают на хранение по ведомости на склад ГСМ воинской части.

#### **Экспериментальные показатели работы гидроузла по опытной откачке нефтепродуктов**

Режим работы гидроузла	Номер эксперимента и количество нефтепродукта, л			Среднее кол-во (л) нефтепродукта за откачку	Предполагаемая добыча нефтепродукта за 1 сут., л	
	7	8	7			
Откачка через 1ч	7	8	7	7,3	175,2	
	26	25	25	25,3	303,6	
	39	39	39	39	312	
	40	41	41	40,7	244,2	
	40	41	40	40,3	193,4	
	38	57	57	50,7	101,4	
Апробация работ Откачка						
	через 3 ч	57	57	54	56	448
	2 ч	57	54	54	54,2	650

Опытную ликвидацию нефтепродуктового загрязнения грунтовых вод подразделяют на собственно ликвидацию нефтепродуктового загрязнения и контроль за качеством очистки объекта исследования. Ликвидацию загрязнения грунтовых вод проводят в соответствии с технологией, описанной выше, при работе гидроузла в прерывистом режиме.

В 2003 г. ФГП «Геосервис» занимался установкой еще одного насоса для опытного отбора керосина с поверхности грунтовых вод, чтобы разработать

технологический регламент по опытной ликвидации локального очага загрязнения [5].

Предполагалось, что за этот период (третий этап 2003 г.) количество добытого керосина составит:

$180 \text{ дн.} \cdot 0,5 \cdot 650 \text{ л/сут.} = 58500 \text{ л}$  (около 8 -10 % от остаточного количества (на 2001 г.) утерянного авиакеросина [2]).

При выполнении этих работ в течение одного календарного года в прерывистом режиме территория очистится на 20 %.

Из сказанного следует, что работы по откачке керосина следует продолжать ещё 4–5 лет.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Отчет ФГП «Геосервис»: Общие сведения о районе работ. Владикавказ, 2002.
2. Верхнетерский межрайонный комитет по охране природы. Информационное письмо. Моздок, 2002.
3. Технологический регламент по ликвидации локального загрязнения грунтовых вод нефтепродуктами на территории аэродрома в районе г. Моздока. Моздок, 2002.
4. Отчет на составную часть НИР «Ликвидация локального загрязнения грунтовых вод нефтепродуктами в соответствии с утвержденным технологическим регламентом территории аэродрома в районе г. Моздока». Моздок, 2002.
5. Гусев В. Насос для «грунтового» керосина. Моздокский вестник. 2003 г. 17.07.2003.



УДК 621.35

*Ст. преп. ГРУЗДОВ Г.Н.*

## **УТИЛИЗАЦИЯ АККУМУЛЯТОРНОГО ЛОМА КАК ПУТЬ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ**

*Предложены мероприятия, позволяющие одновременно решить экологические и экономические проблемы при утилизации аккумуляторного лома.*

Одним из важнейших элементов, от которого зависит нормальная работа автотранспортных средств, являются стартерные аккумуляторные свинцово-кислотные батареи. В наше время использованные элементы вместе со всем содержимым выбрасывают ввиду того что вышедшая из строя батарея практически не представляет собой ценности. Однако стоимость батареи не так уж и мала. Кроме того, содержащиеся в старом аккумуляторе свинец и кислота очень опасны для здоровья.

Во всем мире утилизация аккумуляторного лома представляет обособленный процесс в заготовке и переработке вторичного металлосодержащего сырья. Это определяется, с одной стороны, экологической опасностью свинца

и его соединений для здоровья человека и окружающей среды, а с другой – масштабами применения свинцово-кислотных аккумуляторов. Сейчас при их изготовлении в мире расходуется более 60 % производимого свинца.

Из-за относительно низких по сравнению со стоимостью других цветных металлов цен на свинец на мировом рынке (\$ 800 – 900 за тонну товарной продукции) создание современного экономически эффективного производства переработки свинцовосодержащего лома требует как организационной, законодательной и экономической поддержки государства, так и концентрации производства.

Основной вид вторичного свинцового сырья – отработанные свинцовые аккумуляторы, которые подразделяются на стационарные, стартерные и тяговые. Срок службы свинцовых аккумуляторов в зависимости от назначения и условий эксплуатации от 3 до 5 лет. Аккумуляторный лом представляет собой сложное сырье, содержащее 42–67 % свинца, 22–35 % органической массы 0,1–0,6 % электролита, 3–10 % влаги, а также кислород, серу и ряд других соединений. Относительное содержание свинца зависит от типа аккумулятора. Если моноблоки эбонитовые. Оно равно 50–60 %, если полипропиленовые (полиэтиленовые) – 62–67 %.

В странах Западной Европы, США и Японии предусмотрены законодательные меры и экономические рычаги, обязывающие автопредприятия и индивидуальных автовладельцев сдавать отработанные аккумуляторы на переработку. В зарубежной практике аккумуляторы поступают на перерабатывающие предприятия с электролитом; система сбора и перевозки аккумуляторов не предусматривает промежуточных площадок или участков для их вскрытия либо разделки. Все заводы тем или иным способом утилизируют сернокислый электролит. Однако переработка электролита, как правило, не приносит прибыли.

Сбор и переработка аккумуляторов в экономически развитых странах рассматривается как важнейшая экологическая программа и пользуется государственной законодательной и финансовой поддержкой.

Товарной продукцией является мягкий свинец и его сплавы. По технологии с предварительной разделкой представляется возможность получать вторичный полипропилен из соответствующего аккумуляторного лома. В то же время сейчас нет промышленной технологии получения эбонита и поливинилхлорида при сепарации аккумуляторного лома для повторного применения. В целях решения возникающих экологических проблем в мире сокращается использование этих материалов в производстве аккумуляторов.

Сбор и переработка свинецсодержащего сырья является весьма актуальным вопросом и для России. Свинец является стратегическим сырьем. После распада СССР Россия лишилась богатой сырьевой базы, так как основные месторождения свинцовых руд находятся на территории Казахстана. Отсутствие в стране достаточного количества свинца, примерно 65 % которого идет на производство аккумуляторных батарей, приводит к недогрузке отечественных аккумуляторных заводов.

В последние годы российские аккумуляторные заводы вынуждены ежегодно импортировать до 60000 т свинца из Казахстана и Украины. Но это не удовлетворяет потребности заводов в свинце, так как ежегодная потребность составляет свыше 300000 т. В нишу на российском рынке, не заполненную отечественными производителями аккумуляторов, хлынули аккумуляторы импортного производства, в том числе низкого качества.

По оценкам экспертов, Россия располагает запасами свинца в виде аккумуляторного лома примерно 1000000 т, при ежегодном приросте 250000 – 300000 т (без учета собираемых и перерабатываемых). Связано это с существенным ростом автомобильного парка в стране (в частности, в Московском регионе – 10 – 12 % в год). В отсутствие организованного сбора аккумуляторов ежегодно увеличивается загрязнение окружающей среды свинцом и его соединениями, парами серной кислоты. Сейчас большая часть стартерных аккумуляторов не возвращается во вторичное производство, так как многие автовладельцы выбрасывают их, загрязняя окружающую среду. При этом безвозвратно теряется ценный материальный ресурс. В России, не имеющей собственной сырьевой базы свинца, сегодня нет четкой экологической политики, направленной на предотвращение загрязнения окружающей среды свинцом и на обеспечение отечественной аккумуляторной промышленности вторичным сырьем.

В целом в сфере сбора и переработке аккумуляторного лома в России назрела потребность коренных изменений, связанных как с более действенной государственной поддержкой в решении экологических проблем, так и с концентрацией производства на новых специализированных мощностях предприятий по вторичной переработке свинецсодержащего сырья.

С целью сбора отработанных аккумуляторных свинцово-кислотных батарей для переработки компонентов необходимо на государственном уровне выработать концепцию по решению этого важного в экологическом отношении вопроса. Для этого необходимо:

- вести строгий контроль за использованием аккумуляторных свинцово-кислотных батарей автопредприятиями, частными автовладельцами;
- ввести систему льготного налогообложения для автовладельцев, сдающих в качестве вторичного сырья отработанные аккумуляторы взамен вновь приобретаемым;
- создать сеть приемных пунктов по приему и переработке аккумуляторных батарей;
- разработать и внедрить в систему штрафные санкции за выброс использованных аккумуляторных элементов;
- создать льготную налоговую систему для предприятий, занимающихся сбором и переработкой аккумуляторного лома.



УДК 577.4

*Проф. ОСИКИНА Р.В.*

## **МОНИТОРИНГ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ С ПОМОЩЬЮ РАСТЕНИЙ-ИНДИКАТОРОВ**

*Статья посвящена проблеме оценки состояния городской среды использованием метода геохимической биоиндикации.*

В настоящее время учеными-экологами накоплен большой положительный опыт в использовании метода биоиндикации при решении экологиче-

ских проблем. Метод широко применяют для оценки состояния и мониторинга как в природных, так и в нарушенных, в том числе техногенных экосистемах. При этом универсальными и очень чувкими индикаторами состояния среды, адекватно реагирующими на все изменения, являются растения. С их помощью можно проводить не только качественную, но и количественную оценку происходящих в экосистемах процессов.

Метод биоиндикации использован нами для оценки экологического состояния среды г. Владикавказ. Исследования были выполнены в 2001–2004 гг. в 5 районах (в зоне, прилегающей к заводу «Электроцинк», районе Китайской площади, Центральном парке культуры и отдыха им. К.Хетагурова, 5-м жилом микрорайоне и зеленой зоне водной станции). Эти районы характеризуются различными показателями загрязнения воздушной среды и почв. Завод «Электроцинк» с переработкой свинцово-цинковых руд и производством серной кислоты, цинка, свинца, кадмия является «ядерной» зоной не только для территории г. Владикавказ, но и всей республики. Эмиссия вредных и особо опасных химических загрязнителей этого производства сказывается на расстоянии свыше 100 км (Осикина Р.В., 2003). Китайская площадь, помимо близости к заводу «Электроцинк», расположена на центральной транспортной магистрали города и характеризуется высоким уровнем загазованности. Пятый жилой микрорайон, несмотря на отсутствие вредных производств, испытывает прессинг со стороны постоянно дымящейся городской свалки, на которую, помимо бытового мусора, свозят и опасные промышленные отходы. Учитывая её близость и частоту пасмурных и дождливых дней, когда значительно снижается процесс рассеивания вредных веществ в атмосфере, 5 микрорайон до 10 раз в месяц подвергается воздействию продуктов сгорания городской свалки в виде дыма и мелкодисперсных аэрозолей.

Наряду с экологически-проблемными участками нами были обозначены пробные площади в условно-благополучных районах – в Центральном парке культуры и отдыха им. К.Хетагурова и в лесной зоне водной станции. В этих районах был заложен экологический профиль с пятью ключевыми участками для детального изучения растительного покрова и отбора проб. В настоящей работе рассматривается лишь количественный (биохимический) аспект выполненных фитоиндикационных исследований. Пробные площади были заложены в 5–10 м от дорожной полосы, в зоне значительных антропогенно-техногенных нагрузок на биотические компоненты экосистем. Пробу отбирали с верхнего горизонта почвы (смешанный образец) и листьев доминантных видов растений: напочвенное загрязнение оценивали по подорожнику (*Plantago*), атмосферное – по тополи пирамидальному. Для характеристики пылеаккумулирующих свойств индикаторных растений и изучения пылевой составляющей в общем балансе техногенных веществ, накапливающихся растениями в процессе вегетации, общую массу пробы делили на две части: одну отмывали от пыли дистиллированной водой, вторую анализировали неотмытой. В дальнейшем все пробы подвергали атомно-абсорбционному анализу на содержание в них тяжелых металлов (Zn, Cd, Pb). Для анализа были подготовлены соляно-кислые вытяжки золы растений и переведенные в раствор минеральные осадки почв после разложения их плавиковой и соляной кислотами. Исследование проводили в лаборатории ЦИНАО (г.Москва).



Полученные данные, обработанные методами математической статистики показали, что подорожник по сравнению с листьями тополя в 2–2,5 раза интенсивнее накапливает тяжелые металлы (ТМ). Их содержание в растениях превышает фоновые значения в десятки раз. По сравнению с региональным почвенным фоном в почвах исследуемых районов г.Владикавказа повышено содержание всех анализируемых химических элементов, особенно в зоне прилегающей к заводу «Электроцинк»: - Zn (53 раза), Cd (27 раз), Pb (25 раз) и в районе Китайской площади: Zn (42 раза), Cd (19 раз), Pb (13 раз). В пятом жилом микрорайоне установлено превышение по Zn (15 раз), Cd (11 раз), Pb (5 раз). В Центральном парке культуры и отдыха превышение составило: по цинку – 7 раз, кадмию – 9 раз, свинцу – 4 раза, а в районе водной станции – соответственно 5, 3 и 2 раза.

Полученные данные выявили существенные различия в уровне загрязнения городской экосистемы по основным техногенным загрязнителям: цинку, кадмию, свинцу. Была установлена прямая корреляционная зависимость между содержанием тяжелых металлов в почве и в биоконпонентах. Выявлена также достоверная корреляционная связь между составом тяжелых металлов в отмытых листьях и составом пыли на них. В составе пыли на листьях тополя доминирует цинк и кадмий, а на листьях подорожника – больше свинца. Важным моментом при анализе состояния урбоэкосистем является баланс поступающих в них тяжелых металлов. Известно, что существует несколько путей поступления химических элементов и соединений в растение, основными из которых являются корневое питание, газообмен и обменная адсорбция с поверхностью листовой пластинки. Последний из перечисленных путей в условиях городской среды может вносить существенный вклад в биологический круговорот веществ и в процессы метаболизма растений. Учеными (Обухов А.И., Лепнева О.М., 1989; Парибок Т.А. и др.; Шихова Н.С., 1997) установлено, что на поверхности листьев может накапливаться от 13 до 53 % общего количества загрязнителя, аккумулированного растением. Особенно существенна доля пылевой составляющей в общем балансе ТМ установлена нами у приоритетных загрязнителей - Zn (54 %), Cd (33 %), Pb (42 %) – в напочвенном слое воздуха. Учитывая природно-климатические особенности г.Владикавказа (близость заснеженных гор с частыми морозящими и ливневыми дождями летом), можно предположить два возможных пути в дальнейшей миграции ТМ, осевших в составе пыли на поверхности листа:

1-й (наиболее вероятный и существенный) – смывание во время ливневого дождя в почву и в ближайший водоем – реку Терек;

2-й – частичное растворение при тумане и морозящем дожде и включение в виде легкоподвижных соединений в процессы метаболизма.

Ливневые дожди для экосистемы г.Владикавказа являются значительным фактором оптимизации среды, выводя из процессов техногенеза до 30–40 % общего количества тяжелых металлов, аккумулированного растительностью города.

Нашими исследованиями определены районы максимального загрязнения городской среды тяжелыми металлами (цинком, кадмием, свинцом), находящиеся в сфере влияния предприятия по переработке свинцово-цинко-

вых руд – завода «Электроцинк» и крупной городской транспортной магистрали - Китайской площади.

**Заключение.** Эколого-геохимическая биоиндикация дает объективное представление об интенсивности процессов техногенеза в городских экосистемах, позволяет выявить приоритетные загрязнители среды и их основные миграционные потоки, а также наметить возможные пути оптимизации экосистем.

Биогеохимические методы могут успешно использоваться как для оценки современного состояния, так и для организации длительного мониторинга за экосистемами городской среды.



УДК 577.4

*Проф. ОСИКИНА Р.В.*

## **ПЕРЕРАБОТКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА**

*Статья посвящена проблеме обезвреживания отходов полиэтилентерефталата и рационального использования вторичного сырья в условиях РСО-Алания.*

Санитарно-экологическая обстановка в городе Владикавказе во многом определяется существующей системой обращения с бытовыми и промышленными отходами производства. Из-за неблагоприятной экологической ситуации статус города как крупного туристического, научного, культурного и спортивного центра Северо-Кавказского региона снижается. Столица республики должна иметь современную систему обращения с отходами, отвечающую требованиям международных стандартов, которая позволила бы снизить нагрузку на окружающую среду, оптимально решить проблему обезвреживания отходов и рационально использовать вторичное сырье.

Отходы в виде тары и упаковки из полиэтилентерефталата (ПЭТ) представляют огромную опасность для окружающей среды. Доказано, что для их разложения в естественных условиях требуется в среднем около 100 лет. В настоящее время во всем мире происходит существенный ежегодный рост производства потребительской ПЭТ-тары, и по оценкам специалистов он составляет более 20 % ежегодно, поэтому решение вопроса переработки ПЭТ-отходов является задачей особой важности во всем мире, в том числе и в России.

Для РСО-Алания с её населением свыше 600 тыс. чел. на площади 8,2 тыс. км<sup>3</sup> (две трети из которых занимают горы), эта проблема весьма актуальна. Только незначительную часть ПЭТ-отходов утилизируют на свалках твердых бытовых отходов и сжигают. Основная же масса разбрасывается и разносится ветром в окружающей среде. Значительная часть отходов теряется

по пути на свалку из необорудованного автотранспорта. Поля совхоза «Осетия», расположенные вдоль автомагистралей, сплошь усеяны ПЭТ-отходами, что не только затрудняет их обработку и использование, но и является причиной частой поломки и выхода из строя сельскохозяйственной техники. В таком положении находятся и поля других сельскохозяйственных предприятий, так как они примыкают к той или иной автомагистрали. В последние годы г. Владикавказ сильно загрязнен ПЭТ-отходами, которые разносятся по городу из стихийных свалок у дорог, необорудованных мусорных контейнеров, выбрасываются из домов и автотранспорта прямо на улицы и обочины.

На сегодня основными источниками ПЭТ-отходов являются:

сливы и сбросы при производстве преформ, образующиеся при наладке, профилактике и ремонте оборудования (до 3–4 %);

брак при выдуве ПЭТ-тары из преформ на выдувном оборудовании (2 %);

использованная ПЭТ-тара и упаковка (более 90 %).

В мировой практике существуют различные пути дальнейшего использования отходов пластика:

уничтожение отходов – захоронение, вывоз на свалку (полигон), сжигание;

утилизация отходов – повторное использование; рециклинг (переплавление с получением новых материалов).

В Западной Европе каждая третья емкость производится из вторичного ПЭТ: в Англии перерабатывается 70 % ПЭТ-бутылок, в Германии – 80–85 %, в Швеции – 90–95 %. Известно, что в Скандинавских странах ПЭТ-бутылки используют многократно как стеклянную тару.

Вторичный ПЭТ может быть использован как дешевый волоконный материал для производства изоляции, стройматериалов, матрацев, автомобильных сидений, спортивных сумок, рюкзаков, спортивной обуви, обвязочных средств и в других областях.

Во многом это связано с тем, что европейские производители платят специальный налог, в который заложена стоимость будущей переработки. Из этих денег государство финансирует утилизацию: организует систему сборов отходов, поддерживает научно-исследовательские работы в области их переработки, делает налоговые послабления компаниям, которые используют технологии, не загрязняющие окружающую среду.

В России переработка отходов вообще и ПЭТ в частности находится на весьма примитивном уровне, однако после 1998 г. стал развиваться рынок ПЭТ-отходов.

На российском рынке оборудование по комплексной переработке ПЭТ-тары предлагают всего лишь несколько иностранных компаний: «Retech Recycling Technology AB» (Швеция), известная под торговой маркой «Redoma», австрийская компания «Egeta» и швейцарская инжиниринговая компания «Kasler AG». Оборудование, предлагаемое этими компаниями, к разряду дешевого не относится: полностью укомплектованная линия стоит около 5 млн. долл. Отечественные производители оборудования предлагают только отдельные блоки. Основными переработчиками ПЭТ-отходов в России являются московские компании «Юни-ПЭТ» и «Легион Экоинвест». В Москве по сравнению с провинцией неплохо налажена система сборов отхо-

дов. Однако компаний, занимающихся комплексной переработкой ПЭТ-отходов, у нас в стране пока нет – из-за высокой стоимости соответствующего оборудования.

Мы предлагаем упрощенную схему переработки ПЭТ-отходов, приемлемую для условий РСО-Алания.

Основные этапы переработки отходов ПЭТ-тары: сбор отходов ПЭТ-тары в специальные контейнеры; сортировка и избавление от посторонних веществ; измельчение в дробилке; прессование; упаковка; реализация.

Следует учитывать, что сырье в виде лома преформ и бракованной ПЭТ-тары покупают за копейки, а дроблёнка – по достаточно высокой цене. В настоящее время наибольшим спросом пользуется лом бесцветных и голубых преформ: спрос на него превышает предложение, и цена на мировом рынке достигает 500–600 американских долларов за тонну. Спрос на отходы преформ коричневого цвета значительно ниже и цена за 1 т 300–350 долл. С целью экономии транспортных расходов дроблёнку нужно спрессовать, используя любую компрессионную систему. Переработанные таким образом ПЭТ-отходы можно использовать в производстве вторичной ПЭТ-тары.

Перспективными потребителями вторичного ПЭТ кроме производителей преформ являются производители текстильных волокон и пленочных изделий. В России это «Курскхимволокно», Владимирский завод пленочных изделий, в Беларуси – «Могилевхимволокно». Эти компании потребляют до нескольких тонн вторичного ПЭТ в месяц и являются надежными партнерами-заказчиками данного сырья. Большие партии дробленого вторичного ПЭТ индийская компания «Kristi International» экспортирует в Азию, где его используют в производстве волокон.

Таким образом, можно частично решить экологическую проблему с получением материальной выгоды.



УДК: 527.014.

*Асс. ТЕР-ТЕРЬЯН Н. Г., проф. ТЕМИРАЕВ Р. Б.,  
проф. КАБАЛОЕВ Т. Х. (ГГАУ)*

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СОЕВЫХ ПРОДУКТОВ ПУТЕМ  
ЗАМАЧИВАНИЯ В АКТИВИРОВАННОЙ ВОДЕ С ПОСЛЕДУЮЩИМ  
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕМ**

*Показано, что повышению товароведных качеств соевых продуктов может содействовать замачивание в активированной воде с последующим измельчением.*

Повышению товароведных качеств соевых продуктов следует уделять особое внимание, так как их уникальные пищевые достоинства снижаются благодаря наличию специфического запаха и привкуса, а так же ряда антипитательных веществ (уреазы и ингибитора трипсина). В связи с этим используются различные методы влаготепловой обработки соевых бобов.

На кафедре технологии продуктов общественного питания СКГМИ проведены лабораторные и производственные испытания различных способов обработки соевых бобов для повышения товароведно-технологических свойств продуктов переработки.

Для повышения качества инактивации антипитательных веществ в соевых продуктах применяли комбинированный способ влаготепловой обработки соевых бобов, сочетающий автоклавирование и СВЧ-обработку с предварительном замачиванием в активированной воде с добавками ферментного препарата протосубтилина ГЗх из расчета 1 г на 1 л воды. При использовании последнего варианта в лабораторных условиях на установке для ионизации воды получали активированную воду.

В емкость вносили 2 кг откалиброванных соевых бобов сорта «Ходсон». Семена округло-овальные, желтые. Масса 1000 семян – 135 – 170 г. Продолжительность замачивания составляла 80 – 90 мин.

Для получения математической модели процессов автоклавирования и СВЧ-обработки установлены зависимости уреазы от температуры, частоты и времени. Для описания таких зависимостей принято уравнение параболы вида:

$$y = a + a_1x_1 + a_2x_1^2.$$

Для выяснения зависимости уровня разрушения уреазы и ингибитора трипсина в зависимости от способа влаготепловой обработки провели моделирование процесса повышения товароведных качеств соевых продуктов методом линейно-кусочной аппроксимации.

Интерпретация V-образных зависимостей между параметрами в процессах автоклавирования и СВЧ-обработки в виде уравнения параболы типа

$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_1^2 + a_3x_2 + a_4x_2^2$  при использовании МНК для нахождения коэффициентов регрессии дала неудовлетворительные результаты. Дальнейшее усложнение зависимостей, повышение степени размерности привело бы при использовании МНК к значительному увеличению объема вычислений без гарантии получения адекватного уравнения регрессии. Поэтому для идентификации указанных зависимостей был применен метод линейно-кусочной аппроксимации с использованием фиктивных сомножителей. Для этого V-образная зависимость была интерпретирована двумя прямыми, имеющими противоположные коэффициенты наклона и общую точку. Для расчета воспользуемся уравнением прямой, проходящей через две точки:

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}. \quad (1)$$

Тогда для процесса автоклавирования получим:

1. Зависимость уреазы от температуры.

На основании имеющихся данных найдем:

а)  $\frac{y - 0,62}{0,09 - 0,62} = \frac{x_I - 100}{115 - 100}$ ; (I прямая:  $x_1 = 100$ ;  $x_2 = 115$ ;  $y_1 = 0,62$ ;  $y_2 = 0,09$ ).

Откуда  $y = 4,15 - 0,353 x_1$ .

Т а б л и ц а 1

Проверка		
$x_1$	$\text{£}$	$y$
100	0,62	0,62
115	0,09	0,09
110	0,26	0,25

б)  $\frac{y - 0,10}{0,3 - 0,10} = \frac{x_I - 120}{130 - 120}$ ; (II прямая).

$y = 0,02 x_1 - 2,3$ .

Т а б л и ц а 2

Проверка		
$x_1$	$\text{£}$	$y$
120	0,1	0,1
125	0,2	0,21
130	0,3	0,29

Таким образом, нами получены 2 уравнения прямых, описывающих две разные ветви V-образной зависимости. Поскольку эти прямые имеют общую точку, мы можем их сложить. Для этого вводим фиктивные сомножители  $z_1$  и  $z_2$ .  $z_1 = 2$  при  $x \leq 115$ ;  $z_1 = 0$  при  $x_1 > 115$ , аналогично,  $z_2 = 2$  при  $x_1 > 115$  и  $z_2 = 0$  при  $x_1 \leq 115$ .

Получаем:  $y = (4,15 - 0,0353x_1) z_1,$   
 $y = (0,02x_1 - 2,3) z_2;$

---


$$2y = (4,15 - 0,0353x_1) z_1 + (0,02x_1 - 2,3) z_2 \text{ или}$$

$$y = (4,15 - 0,0353x_1) \frac{z_1}{2} + (0,02x_1 - 2,3) \frac{z_2}{2} .$$

Приняв  $c_1 = \frac{z_1}{2}$  и  $c_2 = \frac{z_2}{2}$ , окончательно запишем:

$$y = 4,15c_1 - 0,0353x_1c_1 + 0,02x_1c_2 - 1,0c_2. \quad (1)$$

Т а б л и ц а 3

Проверка				
$x_1$	$c_1$	$c_2$	£	$y$
110	1	0	0,267	0,25
125	0	1	0,2	0,21

2). Зависимость уреазы от времени автоклавирования.

По аналогии запишем:  $x_1 = 48; x_2 = 30; y_1 = 0,55; y_2 = 0,10$  (I прямая).

а)  $\frac{y - 0,55}{0,10 - 0,55} = \frac{x_{II} - 48}{30 - 48}$ . Откуда находим:  $y = 0,025 x_{11} - 0,65$ .

Т а б л и ц а 4

Проверка		
$x_2$	£	$y$
48	0,55	0,55
36	0,25	0,25
30	0,10	0,10

б) (II прямая:  $x_1 = 24; x_2 = 12; y_1 = 0,20; y_2 = 0,30$ ).

$$\frac{y - 0,20}{0,30 - 0,20} = \frac{x_{II} - 24}{12 - 24}; y = 0,4 - 0,0083x_{II}.$$

Т а б л и ц а 5

Проверка		
$x_2$	£	$y$
24	0,2	0,2
12	0,3	0,3
18	0,25	0,24

Для сложения общих ветвей V-образной кривой зависимости величины уреазы от времени автоклавирования вводим фиктивные множители:

$$\begin{aligned}
z_3 &= 2 \text{ при } x_2 \geq 30; & z_4 &= 2 \text{ при } x_2 < 30; \\
z_3 &= 0 \text{ при } x_2 < 30; & z_4 &= 0 \text{ при } x_2 \geq 30 \text{ тогда} \\
y &= (0,025x_2 - 0,65) z_3 \\
+ y &= (0,4 - 0,0083x_2) z_4 \\
\hline
2y &= (0,25x_2 - 0,65) z_3 + (0,4 - 0,0083x_2) z_4.
\end{aligned}$$

Принимая:  $c_3 = \frac{z_3}{2}$  и  $c_4 = \frac{z_4}{2}$ , запишем:

$$y = 0,025x_2 c_3 - 0,65c_3 + 0,4c_4 - 0,0083x_2 c_4. \quad (\text{II})$$

Поскольку регрессионные уравнения (I) и (II) описывают одну и ту же функциональную зависимость, произведем их сложение:

$$\begin{aligned}
+ y &= 4,15c_1 - 0,0353x_1c_1 + 0,02x_1c_2 - 2,3c_2 & (\text{I}) \\
+ y &= 0,025x_2c_3 - 0,65c_3 + 0,4c_4 - 0,0083x_2c_4 & (\text{II}) \\
\hline
2y &= 4,15c_1 - 0,0353x_1c_1 + 0,02x_1c_2 - 2,3c_2 + 0,025x_2c_3 + 0,4c_4 - 0,0083x_2c_4.
\end{aligned}$$

Окончательно получаем математическую модель зависимости уреазы от температуры и времени в процессе автоклавирования:

$$y = 2,075c_1 - 0,01765x_1c_1 + 0,01x_1c_2 - 1,15c_2 + 0,0125x_2c_3 - 0,325c_3 + 0,2c_4 - 0,00415x_2c_4.$$

### Проверка

$$x_1 = 105; x_2 = 48 \text{ при этом } c_1 = 1; c_2 = 0; c_3 = 1; c_4 = 0; \\ \text{£} = 0,497; y = 0,51.$$

$$x_1 = 110; x_2 = 36 \text{ при этом } c_1 = 1; c_2 = 0; c_3 = 1; c_4 = 0; \\ \text{£} = 0,26; y = 0,25.$$

$$x_1 = 125; x_2 = 18 \text{ при этом } c_1 = 0; c_2 = 1; c_3 = 0; c_4 = 1; \\ \text{£} = 0,225; y = 0,24.$$

$$x_1 = 115; x_2 = 30 \text{ при этом } c_1 = 1; c_2 = 0; c_3 = 1; c_4 = 0; \\ \text{£} = 0,097; y = 0,10.$$

$$x_1 = 115; x_2 = 24 \text{ при этом } c_1 = 1; c_2 = 0; c_3 = 0; c_4 = 1; \\ \text{£} = 0,145; y = 0,27.$$

$$x_1 = 130; x_2 = 18 \text{ при этом } c_1 = 0; c_2 = 1; c_3 = 0; c_4 = 1; \\ \text{£} = 0,275; y = 0,3.$$



## Проверка адекватности аппроксимации

Адекватность модели оценивается по  $F$ -критерию (критерию Фишера), путем сравнения расчетного ( $F_P$ ) и табличного значения ( $F_T$ ). Если  $F_P > F_T$ , модель адекватна описываемому процессу.

$$F_P = \frac{\sigma_y^2(n-k)}{\sigma_{ост}^2(k-1)}, \quad (2)$$

где  $n$  – число наблюдений;

$k$  – число переменных в уравнении.

$$\sigma_y^2 = \frac{\sum(\bar{x} - \bar{x})^2}{n} \text{ – дисперсия регрессии, характеризующая отклонения}$$

расчетных значений результативного признака от его среднего значения.

$$\sigma_{ост}^2 = \frac{\sum(y_i - \bar{x}_i)^2}{n} \text{ – остаточная дисперсия, характеризующая отклоне-}$$

ние фактических результатов от рассчитанных по уравнению.

$F_P$  должно быть больше  $F_T$  при  $V_1 = (n - k)$  и  $V_2 = (k - 1)$  – степенях свободы.

$V_1$  – число степеней свободы большей дисперсии;

$V_2$  – число степеней свободы меньшей дисперсии.

Используя данные проверки, найдем:

$$\bar{x} = \frac{1,354}{5} = 0,27; \quad \sum(\bar{x}_i - \bar{x})^2 = 0,082; \quad \sigma_y^2 = 0,0164.$$

$$\Delta\bar{x} = 0,497 - 0,27 = 0,227, \quad \Delta\bar{x}^2 = 0,05; \quad n = 5; \quad k = 4; \quad V_1 = n - k = 1.$$

$$\sum(y_i - \bar{x}_i)^2 = 0,00075; \quad \sigma_{ост}^2 = 0,00015; \quad V_2 = k - 1 = 3.$$

$$F_P = \frac{0,0164 \cdot 1}{0,00015 \cdot 3} = 36,4.$$

По таблице находим: для 5 % уровня значимости  $F_T = 34,12$  и для 1 % уровня значимости  $F_T = 34,12$ . Поскольку  $F_P > F_T$ , делаем вывод об адекватности полученной модели.

По аналогии рассчитываем уравнение, описывающее процесс СВЧ – обработки.

1). Зависимость уреазы от частоты.

а) I прямая.

$$\frac{x_3 - 415}{430 - 415} = \frac{y - 1,19^*}{0,31 - 1,19}; \quad y = 25,54 - 0,0587x_3. \quad (3)$$

\* Значения  $y_1 = 1,19$  и  $y_2 = 0,31$  получены как средние значения уреазы на частотах 415 и 430.

Т а б л и ц а 6

Проверка		
$x_3$	£	$y_{\Phi}$
415	1,18	1,19
430	0,299	0,31
425	0,592	0,563

б) II прямая.

$$\frac{x_3 - 430}{445 - 430} = \frac{y - 0,3}{0,67 - 0,3}; \quad y = 0,0247x_3 - 10,32. \quad (4)$$

Т а б л и ц а 7

Проверка		
$x_3$	£	$y_{\Phi}$
430	0,3	0,31
445	0,67	0,67

Сложим оба уравнения. Для сложения уравнений (3) и (4) введем фиктивные множители  $z_5$  и  $z_6$ .

$$z_5 = 2 \text{ при } x_3 \leq 430, z_5 = 0 \text{ при } x_3 > 430;$$

$$z_6 = 2 \text{ при } x_3 > 430, z_6 = 0 \text{ при } x_3 \leq 430.$$

Получим:

$$+ \begin{aligned} y &= (25,54 - 0,0587x_3)z_5 \\ y &= (0,0247x_3 - 10,32)z_6 \\ \hline 2y &= (25,54 - 0,0587x_3)z_5 + (0,0247x_3 - 10,32)z_6. \end{aligned}$$

Примем  $c_5 = z_5/2$ ,  $c_6 = z_6/2$ , тогда получим:

$$y = 25,54c_5 - 0,0587x_3c_5 + 0,0247x_3c_6 - 10,32c_6.$$

1). Зависимость уреза от времени

а) I прямая.  $\frac{x_4 - 21}{12 - 21} = \frac{y - 1,32}{0,3 - 1,32}; \quad y = 0,11x_4 - 1,01. \quad (5)$

Т а б л и ц а 8

Проверка		
$x_4$	£	$y_{\Phi}$
21	1,3	1,32
12	0,31	0,31

$$\text{б) II прямая. } \frac{x_4 - 12}{3 - 12} = \frac{y - 0,3}{0,67 - 0,3}; \quad y = 0,793 - 0,11x_4 \quad (6)$$

Таблица 9

Проверка		
$x_4$	€	$y_{\Phi}$
12	0,3	0,3
3	0,67	0,67

Складываем оба уравнения (5) и (6).

Вводим фиктивные переменные:

$$z_7 = 2 \text{ при } x_4 \geq 12, z_7 = 0 \text{ при } x_4 < 12;$$

$$z_8 = 2 \text{ при } x_4 < 12, z_8 = 0 \text{ при } x_4 > 12.$$

$$+ \begin{aligned} y &= (0,11x_4 - 1,01)z_7 \\ y &= (0,793 - 0,041)z_8 \\ \hline 2y &= (0,11x_4 - 1,01)z_7 + (0,793 - 0,041x_4)z_8. \end{aligned}$$

Принимаем:  $c_7 = z_7/2$ ,  $c_8 = z_8/2$ , тогда:

$$y = 0,11x_4c_7 - 1,01c_7 + 0,793c_8 - 0,041x_4c_8. \quad (IV)$$

**Заключение.** Моделирование процесса повышения товароведных качеств соевых продуктов методом линейно-кусочной аппроксимации при оценке эффективности влаготепловой обработки сои различными способами позволило установить, что использование комбинированного способа влаготепловой обработки сои, сочетающего автоклавирование и СВЧ-обработку, позволяет повысить ее биологическую полноценность с одновременным максимальным уровнем инактивации антипитательных веществ.



### УДК 614.3

*Асп. СТЕПКИНА С. И. (СКГМИ), асп. ЭРАСТОВА М. А., (ВГСХА),  
проф. ВАСИЛИАДИ Г. К. (СКГМИ), врач МАЛЕЙКО Ю. Н.*

#### **МЕТОДЫ РЕГУЛЯЦИИ УРОВНЯ НИТРАТОВ В ОВОЩЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО РЕГИОНА**

*Изучена динамика изменения содержания нитратов при хранении в овощных культурах Северо-Кавказского региона.*

*Предложен дифференцированный подход к уборке урожая, с учетом накопления нитрат-иона в вегетационный период.*

В настоящее время деятельность человека опирается на принцип экономической рациональности, включающий разработку технологий и способов

получения растениеводческой продукции высокого качества либо разработку методов и способов уменьшения негативного воздействия этой продукции на человека. Одним из нежелательных и опасных загрязнителей сельскохозяйственной продукции являются нитраты. Их негативное действие подразумевает суммарную токсичность нитратов и нитритов и усугубляется еще возможностью эндогенного синтеза канцерогенных нитрозосоединений в пищеварительном тракте человека. Количество нитратов, поступающих в организм человека с суточным пищевым рационом, может изменяться в широких пределах, что во многом зависит от национальных особенностей питания населения, времени года, системы земледелия и других факторов. Количество нитратов, которое может получить человек в сутки, колеблется от 42 до 838 мг/кг. Предельно допустимая норма для человека, установленная ФАО ООН, равна 500 мг/сутки [1]. Обычно в организм человека поступает 150–200 мг нитратов в сутки. Поскольку основное количество нитрат-иона поступает с продуктами растительного происхождения, то наиболее разумный путь уменьшения его отрицательного воздействия это:

- получение продукции с безопасным уровнем нитратов;
- изыскание методов и способов декомпенсации нитратов путем переработки нитратсодержащего сырья;
- изучение динамики снижения содержания нитрата в сельскохозяйственной продукции при хранении.

Нарушение условий хранения может привести не только к увеличению содержания нитратов, но и к восстановлению нитрата в нитрит, в результате функционирования нитратредуктазы, локализованной в растительных тканях и микроорганизмах [2].

Если сразу после уборки урожая нитриты обнаруживают в растениях лишь в исключительных случаях, то в течение 4 суток хранения при комнатной температуре их содержание резко возрастает. Риск образования нитритов в овощной продукции сильно возрастает при повышенной температуре хранения (от 10 до 35 °С), недостаточной аэрации, складировании продукции с сильной загрязненностью листовых овощей и корнеплодов, наличием механических повреждений, оттаиванием свежемороженых овощей в течение длительного времени [5].

Хранение свежих овощей при низкой температуре предотвращает образование нитратов и нитритов. В процессе хранения овощной продукции при оптимальных условиях (влажность и температура) уровень нитратов снижается [3]. Наиболее заметно их количество уменьшается у капусты и свеклы столовой в феврале-марте, несколько в меньших размерах – у моркови и картофеля. При хранении картофеля на складе с усиленной вентиляцией через 3 месяца сохранялось лишь 85 %, а через 6 месяцев – 30 % нитрата от исходного уровня, а в корнеплодах моркови – 70 % и 44 % нитрат-иона, соответственно [4]. Оптимальные условия хранения обеспечивали снижение уровня нитратов в овощеводческой продукции через 8 месяцев на 50 %. Следовательно, степень снижения количества нитратов при хранении зависит от вида продукции, исходного содержания и режимов хранения.

Нами была поставлена задача, изучить изменение содержания нитратов при хранении сельскохозяйственной продукции Северо-Кавказского региона с учетом основных овощных культур, составляющих продуктовую корзину потребителя (свекла столовая, морковь, капуста, картофель).

Хранение свеклы столовой при  $t = 1 \pm 1$  °С и относительной влажности 90–95 % в период с октября по май месяц – привело к уменьшению нитратов в 3 раза по сравнению с первоначальным (с 2462 до 774 мг/кг). При хранении моркови и капусты с октября по май месяц, при оптимальных условиях (температура и влажность) содержание нитратов в моркови увеличилось в 3,5 раза (с 121 до 416 мг/кг) и превысило ПДК (250 мг/кг), в 2 раза возросло содержание нитрата в капусте (с 242 до 505 мг/кг). Присутствие нитрат-иона в картофеле незначительно возрастало во всех исследуемых образцах (с 78,5 до 128 мг/кг), но не превысило ПДК (250 мг/кг).

Падение и возрастание уровня нитратов в овощах связано прежде всего с усилением окислительно-восстановительных процессов, которые зависят от температуры, влажности, освещенности, времени года. Резкое падение уровня нитратов в свекле столовой, вполне возможно, является следствием образования нитритов.

Т а б л и ц а 1

**Изменение динамики содержания нитратов в овощной продукции при хранении**

Продукция	Условия хранения, $t$ , °С; влажность, %	Содержание нитратов в овощах, мг/кг		ПДК, мг/кг
		октябрь	май	
Свекла столовая	$1 \pm 1$ °С 90-95%	2462	774	1400
Морковь	$0 \pm 1$ °С 90-95%	121	414	250
Капуста	$0 \pm 1$ °С 85-95%	242	505	500
Картофель	$0 \pm 1$ °С 85-90%	78,5	128	250

Т а б л и ц а 2

**Динамика накопления нитратов в сельскохозяйственной продукции Северо-Кавказского региона в вегетационный период**

Продукция	Содержание нитратов в овощах, мг/кг					ПДК, мг/кг
	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	
Свекла столовая	852	672	602	1923	1506	1400
Морковь	206	175	156	102	207	250
Капуста	497	585	480	1150	485	500
Картофель	138	127	133	43,3	92	250

Накопление нитратов в овощных культурах в вегетационный период (с июня по октябрь), в период товарной зрелости (июль–август) не превышает ПДК – 1400 мг/кг в свекле и ПДК – 900 мг/кг в капусте.

В период биологической зрелости (сентябрь–октябрь) эти овощные культуры дают сильное превышение ПДК по исследуемому показателю (1923 мг/кг для свеклы и 1150 мг/кг для капусты).

Противоположные результаты по содержанию нитрат-иона наблюдаются в картофеле и моркови в вегетационный период (с июля по сентябрь). Снижение содержания нитратов в этих овощах, по-видимому, обусловлено уменьшением обеспеченности растений по сравнению с ранними фазами развития подвижных форм азота, а также увеличением запасов ассимилянтов, образующихся в ходе фотосинтеза, необходимых для вовлечения азота в метаболизм [6].

## ВЫВОДЫ

1. Выбор оптимальных сроков уборки урожая овощных культур должен быть дифференцированным. Наиболее предпочтительным для капусты и свеклы столовой является август, а для картофеля и моркови – сентябрь, т.к. в эти периоды накопление нитратов минимально.

2. Своевременная уборка урожая и использование этих овощных культур в питании, в периоды наименьшего содержания нитратов очень актуально в детском и диетическом питании.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Пушкарева М. Н., Четкина Л. В., Ильницкий А. П.* Гигиеническое регламентирование нитратов в некоторых видах овощных и бахчевых культур. М.: Химия в с/х, 1983.

2. *Хвощева В. Г.* Накопление нитратов в продукции растениеводства и водоисточниках. М.: ВНИИТЭИСХ, 1979.

3. *Соколов О. А., Семенов В. М.* О природе передаче азота растениями в агрофитоцинозе. М.: Агрехимия, 1983.

4. *Зинченко Р. Ф., Москалюк Л. И., Жуковский О. М.* Влияние кулинарной обработки и хранения растительных продуктов на содержание в них азотных веществ (нитратов и нитритов). В кн.: Теоретические и практические аспекты изучения питания человека. М., 1980.

5. *Schuphan W.* Significance of nitrates in food and drinking water. Vienna, 1974.

6. *Семенов П. Я., Пругар Я.* Накопление нитратов растениями при интенсивном применении азотных удобрений. М.: Известия АН СССР, 1986.

## ИЗМЕНЕНИЕ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ МЯСА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ И ПТИЦЫ ПРИ СКАРМЛИВАНИИ ИМ ПРОБИОТИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА

*Показано, что повышение пищевой ценности мяса сельскохозяйственных животных можно достичь путем добавок в их рационы пробиотического препарата на основе соевого молока и пектиновых веществ.*

Наиболее распространенным вариантом кисло-молочных продуктов на немолочной основе является соевое молоко, ферментированное молочнокислыми бактериями. Для предотвращения расслоения готового пробиотического продукта на немолочной основе обычно добавляют различные стабилизаторы (пектины, желатин, крахмал и др.), что также позволяет снизить возможность конкурентной борьбы подобранных потенциально полезных микроорганизмов между собой.

В РСО-Алания сотрудниками НИИ биотехнологии ФГОУ ВПО «Горский ГАУ» разработаны молочно-кислые препараты на основе молока, молочной сыворотки, обраты и соевого молока путем сквашивания ассоциациями местных штаммов молочно-кислых бактерий и в ходе научно-хозяйственных опытов успешно апробированы в рационах молодняка сельскохозяйственных животных и птицы для повышения их продуктивности, качества продукции и обмена веществ.

Пробиотический препарат для исследований готовили в лабораторных условиях на кафедре ТПП СКГМИ путем сквашивания соевого молока закваской, в состав которой входили бифидобактерии *Bifidobacterium* и пропионовокислые бактерии *Propionibacterium chermanii* в соотношении 1:1. Готовили два образца ППСМ без пектина и с добавками пектина для определения их эффективности в качестве детоксиканта тяжелых металлов.

Пробиотический препарат «бифидум СХЖ» в первые 5 дней жизни вводили в состав премикса многоступенчатым способом.

Животным опытной группы к основному рациону добавляли ППСМ с пектином, обеспечивший лучший продуктивный эффект в ходе проведения научно-хозяйственного опыта (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Схема научно-хозяйственного опыта

Группа	Особенность кормления
Контрольная	Основной рацион (ОР)
1 опытная	ОР + 2 % по массе корма ППСМ с применением бифидобактерий
2 опытная	ОР + 2 % по массе корма ППСМ с применением пропионовокислых бактерий
3 опытная	ОР + 2 % по массе корма ППСМ с применением бифидобактерий и пропионовокислых бактерий в соотношении 1:1

Данные научно-хозяйственных опытов подтвердили, что совместное использование бифидо- и пропионовокислых бактерий при сквашивании молока позволяют значительно улучшить химический состав мяса бройлеров и поросят, чем при применении этих представителей микроорганизмов в отдельности.

Стабилизация пробиотического препарата пектином, обладающего высокими протекторными свойствами, усиливает эффект насыщения грудных и бедренных мышц у цыплят-бройлеров и длиннейшей мышцы спины свиней сухими веществами и белком. По этим показателям птица 3 опытной группы имела достоверное ( $P < 0,05$ ) превосходство над контролем на 1,38 и 0,48 % и на 0,69 и 0,53 % соответственно, а поросята 2 опытной группы относительно контроля достоверно ( $P < 0,05$ ) повысили в мясе содержание сухого вещества на 1,2 %, белка на 0,8 % и жира на 0,3% (табл. 2, 3).

Т а б л и ц а 2

**Химический состав ножной мышцы цыплят-бройлеров, %**

$n = 5$

Группа	Ножная мышца		
	сухое вещество	белок	жир
Контрольная	23,52 ±	19,99 ±	2,52 ±
1 опытная	23,98 ±	20,48 ±	2,27 ±
2 опытная	23,78 ±	20,36 ±	2,37 ±
3 опытная	24,00 ±	20,52 ±	2,25 ±

Т а б л и ц а 3

**Химический состав длиннейшей мышцы спины у поросят, %**

$n = 5$

Показатель	Группа		
	контрольная	1 опытная	2 опытная
Сухое вещество	21,0±0,06	21,7±0,05*	22,21±0,04*
Белок	18,3±0,03	18,7±0,02*	19,1±0,04*
Жир	1,71±0,01	1,91±0,01*	2,0±0,02*
Зола	1,0±0,01	1,1±0,02*	1,1±0,01*
Кадмий, мг/кг (ПДУ = 0,05)	0,102±0,001	0,056±0,001*	0,021±0,002*
Свинец, мг/кг (ПДУ = 0,5)	0,85±0,003	0,52±0,002*	0,31±0,001*
Цинк, мг/кг (ПДУ = 70)	89,6±0,13	71,2±0,12*	39,3±0,18*

\*  $P < 0,05$

В мясе поросят контрольной группы было отмечено превышение ПДУ по содержанию кадмия в 2,04 раза, свинца – в 1,7 раза и цинка – в 1,28 раза. Скармливание ППСМ без добавок пектина позволило снизить содержание тяжелых металлов, но их концентрация в мясе очень незначительно все же превышала ПДУ. При использовании ППСМ с добавками пектина в мясе поросят 2 опытной группы относительно контроля отмечалось достоверное ( $P < 0,05$ ) снижение кадмия – в 4,8 раза, свинца – в 2,7 раза и цинка – в 2,3 раза. Причем их концентрация в длиннейшей мышце спины животных 2 опытной группы была ниже ПДУ (табл. 4).

По результатам проведенного эксперимента видно, что использование добавок пектиновых веществ благодаря их протекторным качествам содействовало у цыплят 2 опытной группы относительно контроля достоверному ( $P < 0,05$ ) снижению в мясе концентрации свинца в 2,2; кадмия – в 1,6 и цинка – в 1,7 раза. Стабилизация ППСМ, сквашенного смесью культур бифидо- и пропионовокислых бактерий, пектином позволило в наибольшей степе-



ни увеличить элиминацию тяжелых металлов, из-за чего в грудной мышце птицы 3 опытной группы против контрольных аналогов концентрация указанных элементов была достоверно ( $P < 0,05$ ) меньше соответственно в 3,1; 2,0 и 2,1 раза.

Т а б л и ц а 4

**Содержание тяжелых металлов в грудной мышце цыплят, мг/кг**

n = 5

Показатель	Группа			
	контрольная	1 опытная	2 опытная	3 опытная
Свинец	1,50 ± 0,02	1,47 ± 0,03	0,68 ± 0,05*	0,49 ± 0,03*
Кадмий	0,077 ± 0,003	0,071 ± 0,004	0,048 ± 0,003*	0,039 ± 0,002*
Цинк	23,79 ± 0,40	23,63 ± 0,22	13,70 ± 0,27*	11,44 ± 0,19*

\*  $P < 0,05$ .

Для качественной оценки биологической полноценности мяса пользуются соотношением между незаменимой аминокислотой триптофаном и заменимой аминокислотой оксипролином (табл. 5).

Т а б л и ц а 5

**Биологическая полноценность белков длиннейшей мышцы спины поросят**

Группа	Триптофан, мг %	Оксипролин, мг %	Полноцен-
Контрольная	314,3 ± 2,0	43,2 ± 0,3	7,27 ± 0,10
1 опытная	320,2 ± 1,9*	42,5 ± 0,4	7,53 ± 0,08*
2 опытная	325,1 ± 2,0*	42,0 ± 0,3	7,74 ± 0,13*

\*  $P < 0,05$ .

Итоги эксперимента на молодняке птицы показали, что путем скармливания ППСМ с применением бифидо- и пропионовокислых бактерий и добавками пектина в количестве 2 % по массе корма можно расширить набор протеиназ-синтетаз в мышечной ткани.

Т а б л и ц а 6

**Биологическая полноценность мяса (грудной мышцы) цыплят**

n = 5

Показатель	Группа			
	контрольная	1 опытная	2 опытная	3 опытная
Триптофан, %	1,52 ± 0,002	1,70 ± 0,004*	1,61 ± 0,02*	1,74 ± 0,003*
Оксипролин, %	0,37 ± 0,008	0,34 ± 0,003	0,35 ± 0,004*	0,33 ± 0,010
БКП	4,11 ± 0,04	5,00 ± 0,07*	4,60 ± 0,12*	5,30 ± 0,03*

\*  $P < 0,05$ .

Наиболее достоверное ( $P < 0,05$ ) превосходство по биологической ценности мяса над контролем имели цыплята 3 опытной группы (на 1,19 ед.). Причем, увеличение БКП было обеспечено за счет интенсификации отложения в грудной мышце триптофана (табл. 6).

**Заключение.** Использование пробиотического препарата с добавками пектина оказывает положительное действие на организм свиней и птицы, на их развитие, в том числе и на мясные качества.

УДК 551.32(234.9)

Проф. БЕРГЕР М. Г.

### К ВОПРОСУ О ПРИЧИНАХ КАТАСТРОФЫ НА ЛЕДНИКЕ КОЛКА

*Поскольку и наземные, и космические снимки показывают, что к утру 20 сентября 2002 г. наиболее крупные обвалы и висячих ледников, и скальных пород с г. Джимарайхох на ледник Колка уже прошли, то это означает, что получившая широкое распространение гипотеза обвального-ударного выбивания ледника как причины катастрофы на леднике Колка лишена оснований и представляет лишь исторический интерес.*

Еще недавно среди гляциологов, исследующих причины катастрофы на леднике Колка, наблюдались «разброд и шатания». Одни из них (в основном, сотрудники Института географии РАН) полагали, что во всем виноваты вода и накопленная Колкой критическая масса. Другие же (в частности, сотрудники МГУ) поддерживали гипотезу выбивания Колки обвальным ударом по леднику с г. Джимарайхох.

В последнее время ряды сторонников обвального-ударно-выбивной гипотезы причин катастрофы на леднике Колка несколько поредели. Проведенное О. В. Тутубалиной, Д. А. Петраковым и С. С. Черноморцем [1] изучение американских космических снимков ледника Колка, сделанных 19 августа, 4 сентября и в 11:31 утра по местному времени 20 сентября 2002 г., показало, что к утру 20 сентября (за 8,5 часов до катастрофы) наиболее крупные обвалы и висячих ледников, и скальных пород с г. Джимарайхох на ледник Колка, так и не выбив ледник из его ложа, *уже прошли* (на что уже давно документально указывал Л. В. Десинов [2]). А менее значительные обвалы, постоянно происходящие с г. Джимарайхох на ледник Колка, на роль бильярдного кия (сравнение О. В. Тутубалиной и др. [1]), способного выбить крупный устойчиво залегающий в углубленном ложе карово-долинный ледник и в считанные минуты загнать его в лузу, расположенную более чем в 15 километрах от него, очевидно, тем более не тянут. Фактически это означает, что получившая широкое распространение *гипотеза обвального-ударного выбивания ледника Колка как причины грандиозной катастрофы 20 сентября 2002 г. не имеет под собой оснований и должна перейти в разряд весьма многочисленных гипотез, представляющих лишь исторический интерес.*

Впрочем, независимо от установления данного факта, эта гипотеза и ранее была лишена оснований, а приведенный в литературе [3] пример «аналогичного» (а на самом деле принципиально отличного, не имеющего ничего общего с катастрофой на леднике Колка) события 20 августа 1960 г. на леднике Муркар в Дагестане под влиянием обвального удара с г. Базардюзю лишь подчеркивал неприменимость подобного объяснения причин данной катастрофы.

В этой ситуации О. В. Тутубалина и ее соавторы, бывшие одними из наиболее последовательных сторонников обвального-ударно-выбивной гипотезы, оказались вынужденными отказаться от такого объяснения причин катастрофы на леднике Колка. Как они теперь полагают, «хотя каменные и ледовые обвалы – это обычный способ питания для ледника Колка, в 2002 г. они достигли необычайно большого объема, перегрузили ледник и к вечеру 20 сентября заставили его ринуться вниз» [1].

Но и эта гипотеза перегрузки ледника не учитывает и не позволяет объяснить ни одну из особенностей катастрофы на леднике Колка – чрезвычайную скоротечность, кратковременность ее протекания (минуты), практически мгновенное разрушение ледника до его основания, высокую степень диспергирования значительных количеств ледникового материала, огромные начальные скорости движения продуктов разрушения ледника, весьма дальнее высокоскоростное субгоризонтальное движение огромных масс на газовоздушной подушке, заброс ледово-каменного материала не только вниз, но и высоко вверх на скалы, перелет через ледник Майли, ударную воздушную волну гигантской силы и многие другие особенности. А без этого ни одна версия причин катастрофы на леднике Колка не представляет интереса и не имеет права на существование.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тутубалина О. В., Петраков Д. А., Черноморец С. С. Ледник Колка перед катастрофой // [http://www.pereplet.ru/text/tutubalina\\_20\\_apr05.html](http://www.pereplet.ru/text/tutubalina_20_apr05.html).
2. Десинов Л. В. Пульсация ледника Колка в 2002 году // Вестник Владикавказского научного центра РАН. 2004. Т. 4. № 3. С. 72–87.
3. Поповнин В. В., Петраков Д. А., Тутубалина О. В., Черноморец С. С. Гляциальная катастрофа 2002 года в Северной Осетии // Криосфера Земли. 2003. Т. VII, № 1. С. 3–17.



УДК 551.32(234.9)

*Проф. БЕРГЕР М. Г.*

#### **ВЗДУТИЕ ЛЕДНИКА КОЛКА КАК ПРЕДВЕСТНИК ЕГО ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ВЫБРОСА 20 СЕНТЯБРЯ 2002 г.**

*Интенсивное резкое поднятие (вздутие) тыльной части ледника Колка обусловлено аномальным сверхвысоким пластовым давлением значительных количеств природных газов в подледном пространстве ледника и является индикатором подготовки и, соответственно, предвестником его газодинамического выброса.*

Из развиваемых автором представлений о газодинамическом характере катастрофы на леднике Колка следует, что, хотя эта катастрофа была весьма кратковременной (минуты), подготовка ее была весьма длительной (годы). И лишь на заключительных этапах этой подготовки проявились явные ее при-

знаки, предвестники приближающегося газодинамического выброса ледника. Одним из таких очень важных предвестников является устойчиво сохраняющееся вплоть до момента выброса, последовательно увеличивающееся быстрое и значительное поднятие (вздутие) тыльной части ледника, сопровождающееся интенсивным трещинообразованием, прежде всего, в его поверхностной и близповерхностной зонах.

Существуют различные проявления резкого вздутия (выпираания, отжима) пульсирующего ледника, которые могут быть сведены к двум основным принципиально различным типам (схемам, эффектам):

1. Вздутие нижней, передней, фронтальной части ледника перед его наступанием (подвижкой), происходящее (в частности, в случаях перегрузки ледника, набора ледником критической массы) за счет перетекания льда в нижнюю часть из верхней, тыльной (зоны оттока), которая при этом опускается, понижается (*эффект кинематических волн*). Это – обычная, хорошо известная, стандартная схема активизации пульсирующего ледника.

2. Вздутие верхней, задней, тыльной части ледника (а отчасти – и других его частей) перед газодинамическим выбросом ледника, происходящее под действием сверхвысокого давления скопившихся под ледником значительных количеств высоконапорных сжатых природных газов (*эффект газового домкрата*).

Соответственно, в первом случае вздутие ледника является индикатором подготовки и предвестником его подвижки (а, по некоторым представлениям [1, 2 и др.], – свидетельством ее проявления), а во втором случае – индикатором подготовки и предвестником газодинамического выброса ледника.

За год до катастрофы, 22 сентября 2001 г. ледник Колка «имел типично отступающий вид без признаков активизации» [3]. Не отмечены признаки активизации ледника и в мае 2002 г. [там же].

В конце же августа и начале сентября 2002 г. присутствовавшие на леднике туристы зафиксировали значительное вздутие тыльной части ледника Колка, поверхность которого достигла высоты левой береговой (боковой) морены, а местами и превысила ее. «На фотографиях тыловой зоны видно, что здесь уже возникли большие трещины и поверхность ледника поднялась выше «забора» левой береговой морены. Лед начал спадать в краевую ложбину» [4, с. 82].

Однако в последующем, за трое суток с 13 по 16 сентября в тыльной части ледника («области оттока»), по данным Л. В. Десинова [4], предположительно «произошло очень сильное оседание поверхности». На леднике в это время никого не было и это оседание никем не зафиксировано. Отсутствуют и космические снимки ледника в эти дни.

И в последующем, с 16 по 20 сентября 2002 г., по данным Л. В. Десинова [4], поверхность ледника в его тыльной части понижалась, «отток происходил быстро, но так же, как в первом случае, лед уходил в виде оседания и движения в направлении ригеля». Это заключение – также предположительное.

Эти данные, касающиеся предполагаемого Л. В. Десиновым «очень сильного оседания поверхности» тыльной части ледника Колка непосредственно перед выбросом ледника, и сделанные на их основе заключения (прежде всего, их генетическая интерпретация и хронологическая датировка (определение времени возникновения) Л. В. Десиновым), однако, по-видимому, не соответствуют действительности.

Во всяком случае, как отмечают О. В. Тутубалина и др. [5] на основе изучения материалов американской космосъемки 20 сентября в 11:31 утра по местному времени, за 8,5 часов до катастрофы, «к 20 сентября в тыловой части ледника сформировалось повышение, крутым уступом обрывающееся к северу. Его высота, рассчитанная по теням с учетом высоты стояния Солнца в момент съемки, составляет от 40 до 70 м».

Таким образом, 20 сентября 2002 г. за 8,5 часов до катастрофы на леднике Колка его тыльная часть, по документальным данным американской космосъемки, дешифрованным О. В. Тутубалиной с соавторами [5], была не резко пониженной (как предположил Л. В. Десинов, исходя из концепции ледниковой подвижки, набора ледником необходимой для подвижки критической массы и оттока льда из тыльной части ледника), а резко повышенной, вздутой (какой она и должны была быть непосредственно перед газодинамическим выбросом ледника в результате действия эффекта газового домкрата – отжатия ледника под сверхвысоким давлением природных газов в подледном пространстве), после чего вскоре и произошел взрывоподобный пароксизмальный внезапный газодинамический выброс ледника [6, 7], практически полностью уничтоживший ледник – разрушивший ледник до основания и отбросивший с огромной скоростью продукты его разрушения более чем на 15 км (наиболее дальние материалы выброса в буквальном смысле улетели на 19,5 км от эпицентра выброса и были остановлены лишь преградой Скалистого хребта).

Все это совершенно однозначно указывает на газодинамическую природу вздутия (отжима, выдавливания, резкого поднятия, повышения поверхности) тыльной части ледника Колка перед катастрофой, являющегося, таким образом, одним из важных предвестников (предупредительных признаков) его газодинамического выброса 20 сентября 2002 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Кренке А. Н.* Существующие представления о быстрых подвижках ледников // *Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения.* Вып. 24. 1974. С. 274–289.
2. *Рототаев К. П.* Роль автоколебаний в динамике ледниковых систем // *Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения.* Вып. 33. 1978. С. 93–103.
3. *Поповнин В. В., Петраков Д. А., Тутубалина О. В., Черноморец С. С.* Гляциальная катастрофа 2002 года в Северной Осетии // *Криосфера Земли.* 2003. Т. VII. № 1. С. 3–17.
4. *Десинов Л. В.* Пульсация ледника Колка в 2002 году // *Вестник Владикавказского научного центра РАН.* 2004. Т. 4. № 3. С. 72–87.
5. *Тутубалина О. В., Петраков Д. А., Черноморец С. С.* Ледник Колка перед катастрофой // [http://www.pereplet.ru/text/tutubalina\\_20\\_apr05.html](http://www.pereplet.ru/text/tutubalina_20_apr05.html).
6. *Бергер М. Г.* Газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г. – новое катастрофическое природное явление // *Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах: Тезисы докладов Международной конференции, г. Владикавказ, 23–26 июня 2004 г.* Владикавказ, 2004. С. 4–5.

7. Бергер М. Г. Природа процессов автоколебательного развития пульсирующего ледника Колка // Устойчивое развитие горных территорий: проблемы и перспективы интеграции науки и образования: Материалы V Международной конференции 21–23 сентября 2004. Владикавказ: Изд-во СКГМИ, 2004. С. 248–251.



УДК 551.32(234.9)

Проф. БЕРГЕР М. Г.

**ОБ ЭФФЕКТЕ ГАЗОВОГО ДОМКРАТА И ДЛИТЕЛЬНОСТИ  
ПОДГОТОВКИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ВЫБРОСА  
ЛЕДНИКА КОЛКА 20 СЕНТЯБРЯ 2002 г.**

*В качестве эффекта газового домкрата рассматривается вызванное аномальным сверхвысоким пластическим давлением природных газов в подледном пространстве вздутие (отжим) ледника, сопровождающееся интенсивным трещинообразованием в его поверхностной и близповерхностной зонах. С учетом данных, установленных ранее К. П. Роттаевым, но не получивших до сих пор удовлетворительного объяснения, отмечены признаки проявления эффекта газового домкрата на леднике Колка в 60-х годах XX в.*

Согласно широко распространенным, почти общепринятым, представлениям, катастрофа на леднике Колка, происшедшая 20 сентября 2002 г., была совершенно случайной и произошла без какой-либо подготовки.

Есть некоторые основания, однако, полагать, что этой катастрофе предшествовал достаточно длительный подготовительный этап, в течение которого проявился целый ряд предвестников катастрофы.

Одним из таких весьма характерных предвестников явилось отжатие, вздутие ледника, резкое (быстрое и значительное) поднятие его поверхности, особенно в тыльной части ледника, необъяснимое с позиций обычных массобалансовых гляциологических представлений.

С учетом последовавшего затем газодинамического выброса ледника со всеми столь характерными для газодинамических выбросов (в значительной мере – только для них) весьма специфическими особенностями, завершившегося продолжительным интенсивным (особенно в первые недели) газовыделением в зоне выброса, можно полагать, что вздутие (отжим) ледника, сопровождавшееся интенсивным трещинообразованием в его поверхностной и близповерхностной зонах, было вызвано аномальным сверхвысоким давлением природных газов в подледном пространстве. Это явление, с учетом отмеченной его природы, может быть названо *эффектом газового домкрата*. Принципиально аналогичные по характеру явления вздутия, отжима экранирующего газопорного барьера и связанного с этим трещинообразования происходят, как известно, при газодинамических выбросах в подземных горных выработках, вулканических извержениях, а также техногенных взрывах на выброс.

При этом аномально быстрое поднятие (вздутие, отжим, выпирание) ледника в результате действия эффекта газового домкрата отнюдь не обязательно означает отрыв ледника от его ложа, а может захватывать и верхнюю часть подстилающего ледник субстрата, породы которого в подобном случае могут быть газонасыщенными коллекторами с аномально высоким пластовым давлением присутствующего в них газа.

Отдаленные, впоследствии снивелированные подвижкой ледника в 1969–1970 гг. и частичной его дегляциацией, проявления подготовки газодинамического выброса ледника в виде эффекта газового домкрата прослеживаются, возможно, еще в 60-х годах XX в. – в рамках последнего (завершившегося выбросом ледника 20 сентября 2002 г.) мегацикла развития ледника Колка [1].

В этой связи необходимо обратить внимание, в частности, на так и оставшиеся необъясненными результаты наблюдений К. П. Рототаева [2, с. 23–25]. Согласно этим результатам, «с 1956 по 1969 г. на всей площади северной части языка поверхность повысилась в среднем на 20–25 м» (с. 25), а «объем льда (определяемый с учетом отмеченного повышения уровня поверхности ледника – МБ) возрос приблизительно на 30 млн. м<sup>3</sup>» (с. 23). По оценкам К. П. Рототаева [2, с. 23], «масса ледника в последние 20–25 лет рассматриваемого периода (перед подвижкой 1969 г. – МБ) нарастала, причем не линейно, а с очевидным ускорением. Метеорологическая обстановка этого периода была достаточно благоприятной для роста ледников, но никак не могла ни обеспечить, ни объяснить столь большой прирост его массы». К. П. Рототаев с соавторами [2] так и оставляют без какого-либо, даже предположительного, объяснения данный факт, весьма существенный для исследования пульсирующего ледника Колка во многих отношениях, в том числе с позиций классического, чисто гляциодинамического массобалансового подхода. Может быть, объяснение отмеченной специфики динамики ледника перед подвижкой 1969 г. и полученных К. П. Рототаевым численных значений аномального «столь большого прироста его массы», по крайней мере, отчасти – в проявлении и последовательном возрастании эффекта газового домкрата под ледником? (И, таким образом, может быть, действительный прирост массы ледника был не столь большим, а меньшим и вполне объяснимым, в том числе в отношении его «очевидного ускорения»?).

Этим же эффектом газового домкрата, по крайней мере, отчасти может быть объяснено и значительное вздутие ледника непосредственно в преддверии гляциодинамической подвижки 1969 г. Правда, К. П. Рототаев иначе объясняет причины этого вздутия. По данному поводу он пишет: «К этому времени (к началу подвижки – МБ) дополнительный приход льда в основное тело ледника из области питания, увеличение скоростей движения и дробление жесткого слоя вызвали значительный подъем поверхности ледника, которая превысила высоту береговых морен. Ледник как бы вздулся...» [2, с. 30].

Трудно сказать, в какой мере увеличение скоростей движения льда до начала подвижки ледника могло вызвать значительный подъем его поверхности. Дополнительный же приход льда в основное тело ледника из области питания в течение очень небольшого срока перед 28 сентября 1969 г. (которым К. П. Рототаев датирует начало этой подвижки) не мог быть столь аномально большим, чтобы вызвать вздутие ледника. Что же касается дробления жесткого слоя перед подвижкой, то это, скорее, следствие вздутия ледника, а

не причина, вызвавшая его. Все это дает основания для предположения о том, что газовый домкрат под ледником «работал» еще в 60-е годы XX в.

Предположительное существование под ледником в 60-е годы значительного количества природных газов со сверхвысоким пластовым давлением, обусловившее проявление эффекта газового домкрата, могло, кстати, быть причиной и аномального характера подвижки ледника Колка в 1969–1970 гг., в ходе которой язык ледника удлинился более чем в 2 раза и расстояние, на которое продвинулся ледник, а также средняя скорость его продвижения были значительно выше (скорость – примерно в 5 раз), чем при быстрой подвижке этого ледника в 1834–1835 гг.

С учетом характера последовавших за этим событий на леднике Колка, предполагаемое проявление эффекта газового домкрата в 60-е годы XX в. можно рассматривать как начальные, весьма отдаленные признаки подготовки газодинамического выброса ледника 2002 года, а можно и не рассматривать их в этом плане, считая, что это были признаки подготовки другого, более раннего, но по ряду причин так и не произошедшего в то время газодинамического выброса. В качестве основной причины, воспрепятствовавшей проявлению газодинамического выброса в то время, можно предполагать, прежде всего, что в 60-е годы количество природного газа и его давление в подледном пространстве ледника Колка возрастали недостаточно быстро и интенсивно и не достигли величин, необходимых для газодинамического выброса ледника.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бергер М. Г. Природа процессов автоколебательного развития пульсирующего ледника Колка // Устойчивое развитие горных территорий: проблемы и перспективы интеграции науки и образования: Материалы V Международной конференции 21–23 сентября 2004. – Владикавказ: Изд-во СКГМИ, 2004.

2. Рототаев К. П., Ходаков В. Г., Кренке А. Н. Исследование пульсирующего ледника Колка. М.: Наука, 1983.



УДК 622.73

*Асп. ХУДОЯН М.В., проф. КЛЫКОВ Ю.Г.*

#### **МЕТОДЫ ИНАКТИВАЦИИ АНТИПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В СОЕ**

*Показано несколько методов переработки соевого зерна с целью инактивации антипитательных веществ.*

Семена сои, в отличие от большинства масличных семян других растений, содержат в своем составе ряд антипитательных веществ. Некоторые из них, по-видимому, играют большую роль в защите растений от неблагопри-



ятных факторов, включая воздействие насекомых, вирусов, бактерий и т.п. Наличие антипитательных веществ может снизить питательную ценность соевых продуктов и вызвать нежелательные проявления или изменения в обмене веществ.

В семенах сои содержатся различные антипитательные вещества – ингибиторы протеаз, уреазы, гемагглютинины (лектины), сапонины (гликозиды), полифенольные соединения, фитиновая кислота.

На сегодня существуют несколько методов переработки соевого зерна с целью инактивации антипитательных веществ.

**Автоклавирование** относится к влажным методам инактивации антипитательных веществ и заключается в кратковременном воздействии, около 30 мин., влаги, избыточного давления и температуры порядка 130 °С. Недостаток – крайне экстремальные условия, заключающиеся в высокой температуре и давлении, при которых эффективно разрушаются как антипитательные, так и питательные вещества.

**Влаготермическая обработка** (гидротермическая) заключается в пропаривании или проваривании соевого зерна или соевого порошка. Температурный режим от 95 до 115 °С, время обработки от 10 до 180 мин. Недостаток – термическое разложение витаминов, незаменимой аминокислоты – лизина, хотя степень разложения по сравнению с экструдированием намного меньше.

**Экструдирование** состоит в использовании пресс-экструдеров, при помощи которых соевое зерно подвергается механическому сжатию с одновременным нагревом. Экструзию проводят в течение 15–25 с при 115–143 °С. Этот метод относится к сухому методу инактивации.

Недостаток – неравномерность сжатия зерна при неравномерной загрузке пресс-экструдера, зависимость процесса нагрева от влажности зерна, невозможность контроля и оперативного регулирования температуры нагрева соевого зерна с применением процессов ферментации.

**Обжаривание** относится к сухим методам инактивации антипитательных веществ. Заключается в прожаривании соевого зерна на металлических листах или прогрев сои крупного помола при помощи сушильных агрегатов в струе горячего воздуха. Недостаток – возможность загрязнения сои канцерогенными веществами, в случае использования сушильных агрегатов, и высокая температура теплоносителя, эффективно разрушающая как антипитательные, так и питательные вещества: для сушильных агрегатов 120–160 °С, для процесса обжаривания на металлических листах 232–250 °С.

**Обработка инфракрасным излучением** относится к сухим методам инактивации антипитательных веществ. Обработка инфракрасным излучением – малораспространенный способ обработки сои, заключающийся в нагреве соевого зерна инфракрасными лампами или термоэлектрическими нагревателями. Недостаток – часть тепла идет на нагрев окружающего воздуха, а также, как показали эксперименты, процесс нагрева осуществляется только в тонком слое соевого порошка вследствие его плохой теплопроводности. Кроме того, во всех случаях термическая обработка происходит неравномерно как вследствие неравномерного распространения излучения, так и вследствие зависимости скорости нагрева соевого порошка от изменения влажности в процессе обработки. Таким образом, в областях, нагретых до 80–100 °С,

разрушаются витамины, но антипитательные вещества сохраняются в первоначальной концентрации, а в областях, нагретых до 140–170 °С, значительная часть лизина разрушается.

**Обработка зерна сои микроволновым излучением** состоит в прохождении сои по ленте транспортера через камеру, в которой создается сверхвысокочастотное излучение высокой мощности. Этот метод в настоящее время считается наиболее перспективным. Положительные стороны: равномерность обработки сои по всему объему камеры, отличная контролируемость температурного режима, остановка или изменение процесса нагрева в любой момент времени, возможность обработки как влажной, так и сухой сои, независимость процесса инактивации от степени изменения зерна сои. Недостаток – высокое энергопотребления СВЧ установки и зависимость коэффициента полезного действия от влажности обрабатываемого зерна.

**Заключение.** В связи с тем, что метод обжариванием наиболее простой в наших условиях, следует признать его удовлетворительными, так как предварительные исследования показали, что для обжаривания соевых семян на металлических листах достаточно температуры 90–150 °С.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бенкен И.И., Томилина Т.Б. Антипитательные вещества белковой природы в семенах сои// Науч.-техн. бюл. ВИР. 1985. вып. 149.
2. Петибская В.С., Шабалта О.М., Кочегура А.В., Зеленцов С.В. Повышение биологической ценности семян сои пищевого назначения// Изв. вузов. Пищевая технология. 1997. №2–3.



УДК 622.73

*Асп. ХУДОЯН М.В., проф. КЛЫКОВ Ю.Г.*

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОЕВЫХ СЕМЯН

*Показана сравнительная оценка соевых семян различных сортов.*

При сравнительной характеристике некоторых сортов сои по 3 признакам соевых семян: внешние признаки, физико-механические свойства, биохимический состав выберем данные, указанные в табл. 1–3.

По внешним признакам изученных сортов соевых семян сравнительная их оценка показала, что величина семян сортов Фора и Ходсон – крупные, а у других – средние. Форма семян у этих сортов различна, удлинненно-уплощенная (Быстрица 2, Виза, Примор, Ходсон), а у Форы – удлинненно-сплюснутая.

Все семена имеют желтую или светло-желтую окраску семенной оболочки с наличием или отсутствием блеска. Сорта Быстрица 2, Примор, Ходсон имеют темно-окрашенный или черный рубчик, у остальных сортов рубчик светло-окрашенный. Сорт сои Примор часто имеет характерную пигментацию.

## Внешние признаки соевых семян

Сорт	Величина семян	Форма семян	Окраска семенной оболочки	Окраска рубчика	Пигментация
Быстрица 2	средние	удлиненно-уплощенная	желтая блестящая	темно-коричневая	нет
Виза	средние	-----	желтая матовая	светло-коричневая	нет
Примор	средние	удлиненно-уплощенная	желтая блестящая	черная	черная
Фора	крупные	удлиненно-сплюснутая	светло-желто-матовая	светло-коричневая	нет
Ходсон	крупные	удлиненно-уплощенная	светло-желто-матовая	коричневая	нет

По физико-механическим свойствам изученные сорта соевых семян отличаются выполненностью (массой 10000 шт семян, натурой) и выравненностью (разбросом линейных размеров семян относительно их среднего значения). Наибольшую абсолютную массу семян имеет сорт Фора – 286,6 г в пересчете на сухое вещество. Объемная масса соевых семян составляет от 690,3 до 750,5 г/л. Наибольшую натуру имеет сорт Примор, наименьшую – Виза.

В каждом сорте соевые семена в той или иной степени различаются по линейным размерам. По величине стандартного отклонения линейных размеров оценивают выравненность соевых семян.

Соотношение составных частей соевых семян также не одинаково. Массовая доля семядолей составляет 89,9 – 92,4 %, семенной оболочки – 5,9 – 7,8 %, зародыша – 1,7 – 2,5 %. Крупно-семянные сорта (Фора, Ходсон) имеют большую массовую долю семядолей и меньше семенной оболочки.

Изученные сорта сои имеют различный биохимический состав. Из данных табл. 3 видно, что массовая доля сырого протеина в соевых семенах в пересчете на абсолютно сухое вещество составляет 33,7–43,9 %, сырой золы 5,4–6,1 %, безазотистых экстрактивных веществ – 25,0–30,0 %.

Для оценки качества существенное значение имеет суммарное количество сырого протеина и сырого жира в семенах. Этот показатель изменяется по сортам. Наибольшие его значения имеют сорта Ходсон и Быстрица 2.

**Заключение.** Показано, что сорт Ходсон, районированный в РСО – Алании (с. Ногир) имеет достаточно хорошие показатели для получения соевой муки.

Т а б л и ц а 2

## Физико-механические свойства соевых семян

Сорт	1000 шт. семян, г, на сухое вещ-во	Нагура, г/л	Линейные размеры семян, мм			Коэф. вели- ны семян ( $L \times d \times h$ )	Отношение		Массовая доля, %		
			длина, $L$	шири на, $d$	толщина, $h$		$L/d$	$D/h$	семя долей	обо- лочки	заро- дыша
Быстрица 2	139,2	736,3	7,49	6,33	5,40	256,0	1,18	1,17	90,1	7,8	2,1
Виза	131,7	690,3	7,08	6,26	5,40	239,3	1,13	1,16	89,9	7,7	2,5
Примор	179,3	750,5	8,01	6,66	5,57	297,1	1,20	1,20	90,3	7,3	2,5
Фора	286,6	734,1	9,29	8,33	6,49	502,2	1,12	1,28	92,4	5,9	1,7
Ходсон	164,1	739,8	8,01	6,85	5,73	314,4	1,17	1,20	90,8	6,9	2,3

**Биохимический состав соевых семян**

Сорт	Массовая доля, % в пересчете на абсолютно сухое вещество				
	сырого протеина	сырого жира	сырой клетчатки *	сырой золы	безазотистых экстрактивных веществ
Быстрица 2	42,5	21,3	4,9	5,4	25,9
Виза	33,7	26,3	4,9	6,1	29,0
Примор	38,8	20,9	4,8	5,5	30,0
Фора	43,9	17,2	4,1	5,4	29,4
Ходсон	41,8	22,1	5,0	5,9	25,2

\* – в пересчете на сухое необезжиренное вещество

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилюк И. П., Сатбалдина С. Т. Белки семян бобовых и их состав и специфичность. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции, 1973, т.52, вып.1.
2. Соя /Под ред. В.Б. Енкена. М.: Колос, 1970.
3. Генен Ж., Азанза Ж.Л. Состав и физико-механические свойства белков бобовых и масличных культур. В кн.: Растительный белок / Под ред. Микулович Т.П. М.: Агропромиздат, 1991.



УДК 53

Доц. МЕТРЕВЕЛИ С.Г.,  
ст. преп. ТРЕГУБ А.И.

**ТЁМНАЯ ЭНЕРГИЯ И ТЁМНАЯ МАТЕРИЯ**

Эти понятия появились в конце XX и в начале XXI вв. в космологии и астрофизике. Они и должны определить судьбу нашей Вселенной. Рассмотрим коротко некоторые модели Вселенной. В начале XX в. большинство астрономов и Эйнштейн придерживались модели стационарной Вселенной, её радиус ( $R$ ) не зависел от времени. Тогда вся Вселенная состояла из нашей Галактики, другие галактики не были обнаружены. Когда Эйнштейн создал в 1916 г. релятивистскую теорию тяготения (уравнение гравитации) или общую теорию относительности, он понимал, что силы тяготения могут собрать всё вещество Вселенной в одну точку. Чтобы этого не произошло и радиус Вселенной оставался бы постоянным, он в своё уравнение гравитации ввёл космологическую поправку, которая и должна была скомпенсировать силы тяготения и тогда  $R$  (радиус) Вселенной будет постоянным.

В 1922 г. Фридман нашёл, что уравнение гравитации Эйнштейна содержит и не стационарное решение. В зависимости от средней плотности мате-

рия Вселенной должна либо расширяться, либо сжиматься. Так появилась модель пульсирующей Вселенной. В то время другие галактики не были обнаружены. В 1917 г. были опубликованы материалы о наблюдении «странных» туманностей, линии спектра которых сильно смещены в «красную» сторону. Затем Хаббл с помощью 2,5-метрового телескопа доказал, что эти туманности не принадлежат нашей Галактике, а являются другими удалёнными галактиками. В 1929 г. Хаббл пришёл к выводу, что галактики удаляются друг от друга, что означало расширение Вселенной. У Вселенной есть ещё одно фундаментальное свойство, предсказанное Гамовым в 1948 г. – реликтовое излучение, позже открытое в 1965 г. Хаббл обнаружил, что чем дальше от нас галактика, тем с большей скоростью она удаляется. Скорость удаления галактики определяется умножением расстояния до неё на постоянную Хаббла. Скорости разбегания галактик получаются огромными – до сотен тысяч километров в секунду, а где-то и приближаются к скорости света в вакууме за один год. В таких далёких галактиках звёзд уже давно нет, но свет от них приходит к нам.

Предполагается, что  $13,7 \cdot 10^9$  лет назад вся Вселенная находилась в некоторой точке с колоссальной температурой ( $T \sim 10^{32} \text{K}$ ) и плотностью  $\rho \sim 10^{97} \text{кг/м}^3$ . Затем произошёл большой взрыв, он разбросал все вещество Вселенной, которое и сейчас летит в виде галактик. Причём расширение Вселенной должно замедляться (кинетическая энергия должна превращаться в потенциальную).

Но в последнее время учёные задались вопросом: а сама постоянная Хаббла постоянна? Возможно она для ближайших галактик одна, а для удалённых – другая. Нужно было независимое определение расстояний до галактик. Метод определения расстояний с помощью цефеид для галактик не подходил. Свет цефеид на фоне звёзд нельзя было различить из-за больших расстояний. И тут астрофизикам на помощь пришли сверхновые звёзды. Их яркость почти сравнима с яркостью целой галактики. Техника наблюдений усовершенствовалась. Работают наземные и космические телескопы. На смену фотопластинки пришли ПЭС – приборы с зарядовой связью, которые могут регистрировать один фотон (а фотопластина  $\sim 50$  фотонов), но даже с такой чувствительностью и на больших расстояниях, время экспозиции растягивается на многие часы. После взрыва сверхновой звезды в центре образуется либо нейтронная звезда, либо чёрная дыра, либо кварковая звезда. Обработка этих крайне трудных измерений показала, что Вселенная гораздо сложнее наших о ней представлений. Наблюдения с 1997 по 2003 гг. доказали: постоянная Хаббла  $\sim (72 \pm 8) \text{ км/с}$  на каждый миллион парсеков (1 парсек = 3,26 светового года). Возраст Вселенной  $\sim 13,7 \cdot 10^9$  лет. Вселенная на 72 % состоит из так называемой тёмной энергии и примерно на 30 % из темной массы. Ещё раньше изучали движение связанных групп галактик. И получалось странное – галактики двигались настолько быстро, что обычного вещества было недостаточно, чтобы их удержать. Тем не менее, они остаются в составе групп. Оставалось предположить, что есть какая-то тёмная масса. По осцилляции (изменение температуры) реликтового излучения так же выходило, что для образования неоднородностей «обычного» вещества явно недостаточно. Что-то непонятное и массивное уже тогда присутствовало в рожденной Вселенной. В нашей Галактике есть шаровые скопления (до 100 000

звёзд), которые вращаются вокруг плоскости галактики. Это вращение объяснить невозможно.

Наблюдения за сверхновыми звёздами показали, что до возраста  $7 \cdot 10^9$  лет движение галактик замедлялось, но дальше этого времени они начали ускоряться. Всемирное притяжение изменилось всемирным отталкиванием. И уже  $5 \cdot 10^9$  лет роль тёмной массы сменилась ролью тёмной энергии. И кандидатом на роль тёмной энергии, возможно, выступает вакуум. Галактики, ускоряя свой бег, постепенно уходят за горизонт Вселенной. Физики стараются построить модель тёмной энергии с учётом планковской длины  $\sim 10^{-35}$  м, планковского времени  $\sim 10^{-43}$  с. Найдёт ли природа тёмной энергии своё объяснение в квантовой теории или другим способом, покажет время. Ясно одно – по мере углубления исследований обнаруживается, что мир сложнее, чем мы его представляем. Усложняются и новые теории.



УДК 53

Доц. МЕТРЕВЕЛИ С.Г.,  
ст. преп. ТРЕГУБ А.И.

### РЕЛИКТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

На явное несоответствие массы видимого вещества Вселенной указывает ещё один экспериментальный факт. Этот самый уникальный эффект был предсказан Гамовым в 1948 г. Во время Большого взрыва, когда  $T \approx 10^{32}$  К и  $\rho \sim 10^{97} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  образовалось тепловое излучение, которое по мере расширения

охлаждалось и сейчас заполняет всю Вселенную с температурой  $T \sim 2,7$  К. Это излучение было открыто в 1965 г. астрофизиками Пензиас и Уилсон (США) и названо *реликтовым излучением*. За его открытие ученые в 1978 г. получили Нобелевскую премию. Краткая история этого открытия такова. В США была изготовлена новая параболическая антенна для связи со спутниками и станциями. При испытании антенны она, наряду с полезным сигналом, принимала и небольшую помеху. Сначала думали, что источником помехи является Земля, но затем оказалось, что помеха имеет космическое происхождение. Её интенсивность одинакова из любой точки пространства. Оказалось, что это тепловое излучение при  $T = 2,7$  К (Гамов предсказал его температуру  $T \sim 10$  К). Так было открыто реликтовое излучение – ровесник нашей Вселенной. Когда-то этот свет был таким же ярким, как свет Солнца, но светил со всех сторон. В течение 400 тысяч лет после Большого взрыва среда оставалась настолько горячей и плотной, что была непрозрачна для собственного излучения. Наконец, когда из-за расширения Вселенной температура упала до 4000 К, это излучение вырвалось на свободу. Тоже пространство окружает нас со всех сторон, но оно настолько расширилось, что из-за красного смещения имеет максимум излучения для  $\lambda = 1$  мм и воспринимает-

ся как радиосум, излучаемый телом с  $T \sim 2,7$  К. Реликтовое излучение стало особой темой космологии и астрофизики. Оно заменило существовавшее когда-то понятие эфира: скорость движения Солнечной системы, Земли или космического аппарата, нельзя найти относительно вакуума, но можно определить относительно реликтового излучения. А нельзя ли по его неоднородностям представить, как было разбросано вещество в пространстве в мгновение Большого взрыва? Оказалось, что можно. Реликтовое излучение позволило выбрать из моделей Фридмана плоскую Вселенную. Для измерения применяли приборы, способные уловить в реликтовом излучении ничтожные неоднородности в стотысячные доли градуса. Затем была построена зависимость этих неоднородностей по углам. Физический смысл этой диаграммы предсказал Сахаров. Её называют Сахаровскими колебаниями. Наблюдения показывают, что, во-первых, фон удивительно однороден. Во-вторых, Сахаровские колебания указывают все-таки на такие неоднородности, для образования которых «обычного» вещества было явно недостаточно. И тут появляется понятие тёмной энергии. По последним данным из наблюдений далёких сверхновых звёзд, тёмной матери и реликтового излучения Вселенная примерно на 72 % состоит из тёмной энергии и 28 % из тёмной массы. Все эти понятия зрели главным образом в последние годы в космологии и квантовой механике, которая пытается объединиться с релятивистской теорией тяготения Эйнштейна (ОТО). Изучая реликтовое излучение, удалось определить, что Солнце движется со скоростью  $(390 \pm 60)$  км/с в направлении созвездия Льва.



УДК 539.1

*Доц. МЕТРЕВЕЛИ С.Г.,  
ст. преп. ТРЕГУБ А.И.*

## **БОЛЬШОЙ СВЕРХМОЩНЫЙ АДРОННЫЙ УСКОРИТЕЛЬ (ЦЕРН)**

Фундаментальные исследования XX в. в ядерной физике привели к созданию сначала атомной и водородной бомб, а затем – атомных электростанций и судов (ледоколов и атомных подводных лодок). А в скором будущем будет получена и управляемая термоядерная реакция (синтез ядер дейтерия и трития). Сейчас передним краем физики является физика элементарных частиц (физика высоких энергий). Недалеко от Женевы расположена Европейская организация по ядерным исследованиям (ЦЕРН) – форпост физики микромира. В эту организацию входят: Австрия, Англия, Бельгия, Болгария, Венгрия, Германия, Греция, Дания, Испания, Италия, Нидерланды, Норвегия, Польша, Португалия, Словакия, Чехия, Финляндия, Швейцария, Швеция, и Франция (20 стран). Статус наблюдателей имеют: Израиль, Индия, Китай, Россия, США, Турция, Япония, Европейская комиссия и ЮНЕСКО. Научные институты и промышленность этих стран принимают активное участие в создании ускорителей и детекторов, а также в проведении опытов и анализе



полученных данных. Идею создания ЦЕРНа впервые высказал де Бройль в 1949 г. В 1950 г. Пьер Оже, Амальди и Раби убедили европейские государства приступить к работе по созданию организации. Официальной датой рождения ЦЕРНа является 1954 г., когда 12 стран участниц регламентировали договор. Сегодня таких стран уже 20.

Приведём некоторые характеристики этого уникального ускорителя, запуск которого ожидается в 2007 году. На ускорителе будут сталкиваться пучки протонов с энергией  $E = 7$  ТэВ ( $1$  тера =  $10^{12}$ ) и пучки ядер свинца с энергией  $\sim 1000$  ТэВ, причём это будут самые энергичные и самые интенсивные пучки в мире. Длина вакуумного кольца на глубине 100 м в горе 27 км. Чтобы удержать частицы на орбите, нужны сильные магнитные поля до 10 Тл (тесла), они будут получены в сверхпроводящих обмотках. Около 4000 т металла будет охлаждено до  $-271$  °С = 2 К (выше абсолютного нуля на  $2^0$ ). В результате ток в 1,8 миллиона ампер будет проходить по сверхпроводящим кабелям почти без потерь. При таких энергиях частицы будут сближаться до расстояний  $10^{-19}$  м.

Покажем зависимость скорости протонов от их кинетической энергии.

При  $E$ , равном 1 эВ, 1 МэВ, 1 ГэВ, 1 ТэВ, 7 ТэВ  $V$  соответственно равно (С): 0,0005; 0,046; 0,875; 0,99999956; 0,99999991 (где  $C$  – скорость света в вакууме = 300000 км/с).

Теория элементарных частиц считает, что протоны и нейтроны (нуклоны) состоят из трёх кварков, а мезоны из кварка и антикварка. Кварки связаны между собой глюонами. Современная теория предсказывает шесть кварков по три цветовых цвета (красный, зеленый, синий). Итого – 18 кварков и 18 антикварков и 8 типов глюонов. Но в свободном состоянии кварки и глюоны пока не получены. Теоретики ожидают, что при ударе двух ядер свинца может образоваться кварково-глюонная плазма и можно будет измерить её температуру. Плотность её будет больше ядерной, это будет соответствовать состоянию материи сразу же после Большого взрыва.

Теория элементарных частиц предсказывает существование бозона Хиггса. Эту элементарную частицу называют ещё «божественной», поскольку именно благодаря полям бозона наш мир приобретает массу и инертность. Но эту частицу пока не удалось открыть, все надежды на этот ТэВ ускоритель. Сегодня в ЦЕРНе работают около 7000 учёных 80 национальностей из 500 научных центров и университетов – это половина все физиков, изучающих микромир. Тысячи ученых во всём мире ждут и готовятся к лавине информации с этого ускорителя, поскольку глубинные тайны Вселенной обещают открыться в ближайшие годы. Если же ожидаемые частицы не будут найдены, то придётся пересмотреть стандартную модель современной физики частиц и множество других теорий мироздания. Сегодня трудно сказать какие загадки природы сумеет разгадать этот адронный синхротрон, но точно известно – человечество шагнёт в новую эпоху фундаментальных открытий. Здесь же строится и линейный ускоритель электронов на 1000 ТэВ ( $10^{15}$ ) длиной 33 км.



-

## СОДЕРЖАНИЕ

### МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Григорович Г. А., Степанова С. В.</b> Построение разностной схемы для решения уравнений Вольтерра с использованием кубических сплайнов.....	3
<b>Алехин В. И.</b> Теоретическое моделирование системных процессов разрушения газопроводов.....	10
<b>Бугулов Е. А., Шумаков Н. С.</b> Рамануждан и теория разбиений..	14
<b>Шумаков Н. С.</b> Представление натуральных чисел в виде суммы кубов простых чисел.....	27
<b>Гвритишвили П. П.</b> Об одном алгоритме обработки видеоизображений.....	28
<b>Гвритишвили П. П.</b> Некоторые приложения при анализе аэрокосмических сцен.....	29
<b>Мжавия Г. М.</b> Об интегральном операторе Я. Б. Лопатинского....	30

### АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ

<b>Мустафаев Г. А., Мустафаев М. Г.</b> Ионное легирование пленок соединений халькогенидов элементов первой группы.....	32
<b>Дедегкаева Л. М., Мустафаев М. Г.</b> Ионная имплантация в технологии микроэлектроники.....	36
<b>Датиев К. М., Икаев К. А.</b> О возможности создания лавинно-пролетных диодов на гетеропереходе Si – SiC.....	39
<b>Датиев К. М., Икаев К. А.</b> Увеличение пропускной способности волоконно-оптической линии связи Владикавказ – Ардон.....	43
<b>Кодзасова Т. Л.</b> Способ измерения диэлектрических характеристик вязких электроизоляционных жидкостей.....	46
<b>Мустафаева Д. Г.</b> К вопросу о проектировании элементов интегральной электроники.....	48

### ГЕОЛОГИЯ И ГОРНОЕ ДЕЛО

<b>Колесникова А. М.</b> Вторичные кварциты и другие эффузивные породы буронской толщи (Горная Осетия).....	51
<b>Цирихова Э. М.</b> Подкласс медно-колчеданно-полиметаллических месторождений стратиформного класса Большого Кавказа.....	59
<b>Цирихова Э. М.</b> Расслоенный и остаточный классы месторождений на Большом Кавказе.....	63
<b>Кодзаев Ю. В., Дарчиева А. Е., Вонсович Н. Ю., Иванов С. С.</b> Поисковые критерии жильных свинцово-цинковых месторождений Горной Осетии.....	66
<b>Дарчиева А. Е., Вонсович Н. Ю., Кодзаев Ю. В., Иванов С. С.</b> О дополнительных признаках (критериях) при поисках скрытых рудных тел.....	70

<b>Вонсович Н. Ю., Кодзаев Ю. В., Дарчиева А. Е., Иванов С. С.</b> Геохимические поисково-оценочные критерии скрытого политметаллического оруденения.....	77
<b>Бергер М. Г.</b> Об основных природных условиях, необходимых и достаточных для газодинамического выброса ледника .....	83
<b>Бергер М. Г.</b> О взаимосвязи и согласованности эндо- и экзогенных процессов в циклическом развитии природной газогляциодинамической системы ледника Колка и его субстрата.....	87
<b>Голик В. И., Исмаилов Т. Т., Герасименко В. Г.</b> Оценка устойчивости массива под водным объектом.....	91
<b>Пустобриков В. Н., Джигкаев Х. М.</b> Технология создания ампул, средств заполнения зарядами невзрывчатых разрушающих составов и их подачи в шпур.....	95
<b>Пустобриков В. Н., Джигкаев Х. М.</b> О возможности совершенствования технологии использования невзрывчатых разрушающих составов при проведении выработок.....	101
<b>Дзагоев Л. М., Джигкаев Х. М., Пустобриков В. Н., Петров Ю. С.</b> Теоретические исследования напряжений в моделях массивов горных пород методом математической упругости.....	105
<b>Джигкаев Х. М.</b> Распределение напряжений от действия заряда невзрывчатого разрушающего состава в шпуре, расположенном в шаровом породном массиве .....	112
<b>Джигкаев Х. М., Дзагоев Л. М., Пустобриков В. Н.</b> Исследование напряжений в зонах заложения выработок в зажатой среде с использованием невзрывчатых разрушающих составов.....	117
<b>Лагкуев С. М., Лагкуева С. М.</b> Эффективность применения забойки шпуровых зарядов .....	124
<b>Лагкуев С. М., Лагкуева С. М.</b> Опыт применения устройства для задания направления шпуров и скважин.....	127
<b>Климов Б. Г., Хадонов А. В., Гуриева Е. В.</b> Перспективы совершенствования энергоснабжения горно-рудных предприятий .....	130

## ОБОГАЩЕНИЕ И МЕТАЛЛУРГИЯ

<b>Мишенина И. В.</b> Расчет эффективной энергии активации процесса распада пересыщенных твердых растворов в быстрозакаленных сплавах систем Al – Co – Zr и Al – Fe – Co – Zr .....	135
<b>Таутиева М. А., Гагиева С. Ч., Гутнова Н. А., Хубулов А. Б., Галимов Ю. Б., Алиханов В. А.</b> Синтез и физико-химические свойства координационных соединений рения (V) с производными тиосемикарбазона .....	138
<b>Таутиева М. А., Гагиева С. Ч., Гутнова Н. А., Хубулов А. Б., Галимов Ю. Б., Алиханов В. А.</b> Новые бис-салицилидениминные комплексы титана в полимеризации олефинов.....	139
<b>Дюнова Д. Н.</b> О возможности управления процессом выщелачивания цинковых огарков с использованием косвенных показателей.....	140
<b>Зароченцев В. М., Старикова Т. В.</b> Моделирование динамики	

идеальных технологических реакторов с применением пакета программ MathCAD .....	143
<b>Воропонова Л. А., Яковлева В. Н.</b> Извлечение меди и цинка из сульфатных растворов .....	150
<b>Петров Ю. С., Воропанова Л. А.</b> Повышение эффективности фильтрования неоднородных полидисперсных систем .....	153
<b>Резниченко Л. И.</b> Особенности разделения металлов при электролизе растворов, содержащих значительное количество примесей.....	161
<b>Сабеев К. Г., Кабалоев Ю. Ж., Величко Л. Н.</b> Особенности технологии изготовления кокиля для стеклопосуды .....	164

## ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И МЕХАНИКА

<b>Бузовкин В. Л., Сахаров Д. С.</b> Уровни симметричных составляющих неполнофазных режимов нагрузки городской электрической сети.....	167
<b>Петров Ю. С., Маслов А. А., Саханский Ю. В.</b> Статистическое моделирование граничных параметров электродетонаторов в электро-взрывной цепи .....	173
<b>Петров Ю. С., Саханский Ю. В.</b> Анализ свойств и перспектив применения электродетонаторов различных типов в горной промышленности.....	177
<b>Габараев С. З., Фетисенко К. И.</b> Анализ стоимости строительства волоконно-оптических линий связи городского типа.....	182
<b>Климов Б. Г., Хадонов А. В., Гуриева Е. В.</b> Интенсификация режимов работы скиповых подъемных установок .....	189
<b>Климов Б. Г., Хадонов А. В., Гуриева Е. В.</b> Сравнительная оценка барабанных подъемных машин.....	196
<b>Сабеев К. Г.</b> Теоретические и технологические основы электро-дуговой наплавки деталей машин колеблющимся электродом.....	200
<b>Кабалоев Ю. Ж., Сабеев К. Г.</b> О влиянии гироскопических явлений на износ трущихся поверхностей автомобиля .....	204
<b>Свердлик Г. И., Выскребенец А. С., Рево А. А.</b> Аппарат для нейтрализации газов .....	211
<b>Соколов А. А.</b> Исследование зависимости между гидродинамическим давлением и коэффициентом фильтрации пород (на примере Транскавказской автомагистрали).....	213

## АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

<b>Цаллагов С. Ф.</b> Осетинская церковь Рождества Богородицы .....	216
<b>Цаллагов С. Ф., Цаллагов А. С.</b> Памятник архитектуры – особняк Замкового на ул. Баллаева, 7 в г. Владикавказе .....	217
<b>Цаллагов С. Ф., Цаллагов А. С.</b> Дом Оганова на проспекте Мира, 12, в г. Владикавказе .....	219
<b>Кулов Р. П.</b> Единое устройство для различных испытаний материала на водопроницание.....	223
<b>Манукян А. Х.</b> Особенности расчета железобетонного лотка вибрационного сооружения .....	225

## ТРАНСПОРТ И ДОРОГИ

<b>Груздов Г. Н.</b> Особенности эксплуатации автомобильного транспорта в предгорных и горных районах Кавказа .....	229
<b>Цориев С. О., Абаев А. Х., Цориев В. С.</b> Повышение эксплуатационной надежности некоторых элементов ходовой части автомобиля «Жигули» .....	230
<b>Абаев А. Х., Абаев А. А.</b> Эффективная тормозная система прицепов легковых автомобилей .....	236
<b>Абаев А. Х., Абаев А. А.</b> Способ рекуперативного торможения автопоезда .....	239
<b>Кабалоев Ю. Ж.</b> Устройство для поляризации автомобильного топлива .....	242

## ЭКОЛОГИЯ

<b>Пухаева З. Э.</b> К вопросу о критериях определения экологической опасности рудных образований .....	245
<b>Хоружий Н. А.</b> Технология ликвидации локального загрязнения грунтовых вод Моздокского района нефтепродуктами .....	246
<b>Груздов Г. Н.</b> Утилизация аккумуляторного лома как путь решения экологической проблемы .....	249
<b>Осикина Р. В.</b> Мониторинг экологического состояния городской среды с помощью растений-индикаторов .....	251
<b>Осикина Р. В.</b> Переработка и использование отходов полиэтилентерефталата .....	254

## ПИЩЕВОЕ ПРОИЗВОДСТВО

<b>Тер-Терьян Н. Г., Темираев Р. Б., Кабалоев Т. Х.</b> Повышение качества соевых продуктов путем замачивания в активированной воде с последующим измельчением .....	257
<b>Степкина С. И., Эростова М. А., Василиади Г. К., Малейко Ю. Н.</b> Методы регуляции уровня нитратов в овощеводческой продукции Северо-Кавказского региона .....	263
<b>Тедтова В. В.</b> Изменение пищевой ценности мяса сельскохозяйственных животных и птицы при скармливании им пробиотического препарата .....	267

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

<b>Бергер М. Г.</b> К вопросу о причинах катастрофы на леднике Колка .....	270
<b>Бергер М. Г.</b> Вздутие ледника Колка как предвестник его газодинамического выброса 20 сентября 2002 г. ....	271
<b>Бергер М. Г.</b> Об эффекте газового домкрата и длительности подготовки газодинамического выброса ледника Колка 20 сентября 2002 г. ....	274
<b>Худоян М. В., Клыков Ю. Г.</b> Методы инактивации антипитательных веществ в сое .....	276

<b>Худоян М. В., Клыков Ю. Г.</b> Сравнительная характеристика со- евых семян .....	278
<b>Метревели С. Г., Трегуб А. И.</b> Тёмная энергия и тёмная материя .....	281
<b>Метревели С. Г., Трегуб А. И.</b> Реликтовое излучение .....	283
<b>Метревели С. Г., Трегуб А. И.</b> Большой сверхмощный адронный ускоритель (ЦЕРН).....	284