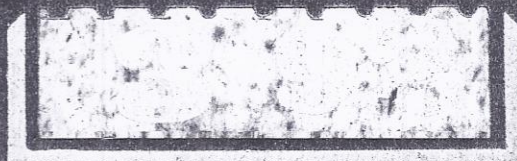


ISSN 0536-1028

Известия  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

# ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ

ВЫХОДИТ ЕЖЕМЕСЯЧНО



поверхности скольжения приводит к образованию растягивающих напряжений. Сами же напряжения быстро затухают при удалении от поверхности скольжения в направлении нормали.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецов С. В. Общие закономерности и характерные особенности перераспределения напряжений в массивах горных пород при развитии выработанного пространства // ФТПРПИ.— 1988.— № 6.— С. 18—31.
2. Мухелишвили Н. И. Некоторые основные задачи математической теории упругости.— М.: Наука, 1966.— 707 с.
3. Черепанов Г. П. О развитии трещин в сжатых телах // ПММ.— Т. 30.— С. 82—93.

Рекомендована кафедрой  
геомеханики ДПИ

Поступила в редакцию  
25.05.90

УДК 622.625.1 : 539.4

## ДИНАМИКА ПОДЗЕМНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ, ПОДКРЕПЛЕННОЙ ПРОДОЛЬНЫМИ РЕБРАМИ ЖЕСТКОСТИ, ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОДВИЖНЫХ НАГРУЗОК

Проф. В. И. ПОЖУЕВ, инж. М. ЖИБИГАЙ  
(Запорожский индустриальный институт)

В работе [1] рассмотрена пространственная задача о вынужденных установившихся колебаниях бесконечно длинных балок, расположенных в упругой среде, под действием подвижных нагрузок. При этом решение получено в виде интегралов и рядов Фурье.

Здесь исследуется нестационарное состояние бесконечно длинной цилиндрической оболочки радиусом  $a$ , подкрепленной в осевом направлении произвольным числом ребер жесткости и находящейся в цилиндрической полости в массиве грунта. Движущиеся с постоянной скоростью сосредоточенные нагрузки передаются на оболочку только через ребра. Кроме того, в общем случае на оболочку может передаваться со стороны среды произвольное нормальное давление. Контакт между оболочкой и массивом грунта, а также между балками и оболочкой предполагается скользящим, а связь двусторонней. Задача сводится к совместному интегрированию дифференциальных уравнений движения оболочки, балок и массива грунта, при выполнении условий контакта между этими телами. Неосесимметричное движение оболочки описывается линейными уравнениями, основанными на гипотезах Кирхгофа — Лява, дополненных членом, учитывающим нормальную реакцию со стороны среды:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{1-\nu_1}{2a^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \theta^2} + \frac{1+\nu_1}{2a} \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial \theta} + \frac{\nu_1}{a} \frac{\partial w}{\partial x} &= \rho_1 \frac{1-\nu_1}{2G_1} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}; \\ \frac{1+\nu_1}{2a} \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial \theta} + \frac{1-\nu_1}{2} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{1}{a^2} \frac{\partial^2 v}{\partial \theta^2} + \frac{1}{a^2} \frac{\partial w}{\partial \theta} &= \rho_1 \frac{1-\nu_1}{2G_1} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}; \\ \frac{\nu_1}{a} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{a^2} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{h^2}{12} \nabla^2 \nabla^2 w + \frac{w}{a^2} &= -\rho_1 \frac{1-\nu_1}{2G_1} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + \frac{1-\nu_1}{2G_1 h} (p^* + p_c - p_{ст}). \end{aligned} \quad (1)$$

Колебания балок подчиняются дифференциальным уравнениям

$$E_{\text{бк}} I_{\text{бк}} \frac{\partial^4 y_k}{\partial x^4} + \rho_{\text{бк}} F_{\text{бк}} \frac{\partial^2 y_k}{\partial t^2} = P_{\text{бк}}(x, t) - q_{\text{ок}}(x, t), \quad k = 1, \dots, l. \quad (2)$$

Движение грунта описывается моделью Власова — Пастернака [2] в модификации, предложенной В. М. Львовским [3]. Эта модель основана на интегральных условиях динамического равновесия элемента массива, понимаемых как принцип возможных перемещений. При этом для неосесимметричной задачи перемещения границы полости и приложенная к ней нормальная нагрузка связаны зависимостью

$$-2c_0 \left( \frac{1}{a^2} \frac{\partial^2 W}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right) + k_0 W + m_0 \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = q_c. \quad (3)$$

В уравнениях (1) — (3) приняты следующие обозначения:  $u, v, w$  — перемещения точек срединной поверхности оболочки;  $p, p_c$  — нормальное внутреннее давление и реакция со стороны грунта;  $p_{\text{ст}}$  — внешнее нормальное давление, действующее на оболочку со стороны среды;  $\rho_{\text{бк}}, E_{\text{бк}}$  — плотность и модуль упругости для балок;  $I_{\text{бк}}, F_{\text{бк}}$  — момент инерции и площадь поперечного сечения каждого ребра;  $P_{\text{бк}}$  — интенсивность нормальной нагрузки на балку;  $q_{\text{ок}}$  — давление со стороны оболочки на погонную единицу длины  $k$ -го ребра;  $y_k$  — прогиб  $k$ -й балки;  $W$  — радиальные перемещения поверхности цилиндрической полости;  $k_0, c_0, m_0$  — интегральные характеристики работы основания на сжатие и на сдвиг и приведенная погонная масса основания толщиной  $H$ ;  $l$  — число ребер в оболочке.

Следуя [3],  $k_0, c_0$  и  $m_0$  определяем по формулам:

$$k_0 = \frac{E_0}{1 - \nu_0^2} \int_a^{a+H} \psi'^2(r) dr; \quad c_0 = \frac{E_0}{4(1 + \nu_0)} \int_a^{a+H} \psi^2(r) dr; \quad m_0 = \bar{m} \int_a^{a+H} \psi^2(r) dr, \quad (4)$$

где  $E_0, m$  — постоянные модуль упругости и плотность грунта;  $\nu_0$  — коэффициент Пуассона;  $\psi(r)$  — функция, определяемая из условий, что основание допускает только радиальные деформации, и зависящая от характера воздействия заданной нагрузки на основание.

Условия на границе контакта оболочки и массива грунта имеют вид: при

$$r = a \Rightarrow w = W \quad p_c = -q_c. \quad (5)$$

Если принять, что контакт между ребрами и оболочкой происходит по прямым линиям (осям балок), то должны удовлетворяться следующие условия сопряжения. Внутреннее давление на оболочку

$$p(x, \theta, t) = a^{-1} \sum_{k=1}^l q_{\text{ок}}(x, t) \delta(\theta - \theta_k). \quad (6)$$

При  $\theta = \theta_k$  прогибы оболочки равны прогибам балок:  $w(x, \theta_k, t) = y_k(x, t)$ .

С учетом граничных условий (5) для случая  $m_0 = \text{const}, E_0 = \text{const}$  можно записать [3]:

$$\psi(r) = \cos \frac{\pi}{2H} (r - R). \quad (7)$$

Начальные условия задачи принимаются ненулевыми:

$$t = 0 \Rightarrow u = \frac{\partial u}{\partial t} = v = \frac{\partial v}{\partial t} = w = \frac{\partial w}{\partial t} = 0. \quad (8)$$

Переписывая уравнение (2), с учетом (4), (7) и (5) получаем зависимость между реакцией основания и поперечными перемещениями оболочки:

$$p_c(x, \theta, t) = \frac{G_0 H}{2} \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{G_0 H}{2a^2} \frac{\partial^2 \omega}{\partial \theta^2} - \frac{G_0 \pi^2}{4H(1-\nu_0)} \omega - \frac{\bar{m}H}{2} \frac{\partial^2 \omega}{\partial t^2}. \quad (9)$$

Вводя безразмерные параметры и раскладывая нагрузки в ряды Фурье по угловой координате, ищем решение уравнений движения оболочки в виде указанных рядов. Преобразуя уравнения (1) с учетом представлений решений в виде рядов Фурье и учитывая зависимость (9), получаем систему дифференциальных уравнений для определения коэффициентов Фурье. Применяя затем к этим уравнениям преобразование Фурье по осевой координате  $x'$  и Лапласа — по времени  $\tau$ , приходим в пространстве изображений к системе алгебраических уравнений относительно  $u_n^{LF}$ ,  $v_n^{LF}$ ,  $w_n^{LF}$ , общее решение которой можно записать в виде

$$\{u_n^{LF}, v_n^{LF}, w_n^{LF}\} = \frac{\{\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3\}}{\det_{n||} a_{ij}(\xi, p)}, \quad ij = 1, 2, 3. \quad (10)$$

Здесь элементы определителя  $\det_{n||} a_{ij}$  получаются из уравнений (1);  $\xi$ ,  $p$  — параметры интегральных преобразований Фурье и Лапласа.

Определители  $\Delta_k$  ( $k = 1, 2, 3$ ) получаем из  $\det_{n||} a_{ij}$  путем замены  $k$ -го столбца с элементами  $(0, 0, (1 - \nu_1^2) \kappa^{-1} (p_n^{LF} - p_{ctn}^{LF}))$ .

Применяя к уравнению (2) преобразование Фурье по осевой координате  $x'$  и Лапласа — по времени  $\tau$ , будем иметь:

$$\left( \xi^4 + \frac{c_{\sigma k}^2}{3(1+\nu_{\sigma k})} \frac{a^2 F_{\sigma k}}{I_{\sigma k}} p^2 \right) y_k^{LF} = \frac{a^4}{I_{\sigma k}} (p_{\sigma k}^{LF} - q_{\sigma k}^{LF}). \quad (11)$$

Граничные условия (6) принимают вид:

$$w'(x', \theta_k, \tau) = y_k'(x', \tau); \quad (12a)$$

$$p'(x', \theta, \tau) = \sum_{k=1}^l \gamma_1 q_{\sigma k}'(x', \tau) \delta(\theta - \theta_k); \quad \gamma_1 = \frac{E_{\sigma k}}{E_1}. \quad (12b)$$

Полагая, что материал и геометрические характеристики балок одинаковы ( $E_{\sigma k} = E_0$ ;  $I_{\sigma k} = I_0$ ;  $F_{\sigma k} = F_0$ ) и ребра находятся на одинаковом расстоянии друг от друга, так что давление со стороны оболочки на каждую из балок одинаково, из (12b) можем записать:

$$p'(x', \theta, \tau) = \gamma_1 q_0'(x', \tau) \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cos(n\theta), \quad (13)$$

где  $a_n$  — коэффициент Фурье функции  $\sum_{k=1}^l \delta(\theta - \theta_k)$ . Нормальное давление на оболочку со стороны среды представим в виде

$$p'_{ct}(x', \theta, \tau) = p'_{ct}(x', \tau) \sum_{n=0}^{\infty} b_n \cos(n\theta), \quad (14)$$

где  $b_n$  — коэффициент Фурье функции, характеризующей распределение статического горного давления по угловой координате.

Применяя к (12a), (13) и (14) преобразования Фурье и Лапласа, из (10) определяем поперечное перемещение оболочки в виде

$$\omega'^{LF}(\xi, p) = \frac{1 - \nu_1^2}{\kappa} \left\{ \gamma_1 q_0'^{LF}(\xi, p) \sum_{n=0}^{\infty} a_n \frac{\Delta_3 \cos(n\theta)}{\det_n \| a_{ij} \|} - p_{\text{ст}}'^{LF}(\xi, p) \sum_{n=0}^{\infty} b_n \frac{\Delta_3 \cos(n\theta)}{\det_n \| a_{ij} \|} \right\}. \quad (15)$$

Принимая во внимание условие (12а), имеем

$$y'^{LF}(\xi, p) = \frac{1 - \nu_1^2}{\kappa} \left\{ \gamma_1 q_0'^{LF}(\xi, p) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Delta_3 a_n \cos(n\theta_h)}{\det_n \| a_{ij} \|} - p_{\text{ст}}'^{LF}(\xi, p) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Delta_3 b_n \cos(n\theta_h)}{\det_n \| a_{ij} \|} \right\}. \quad (16)$$

В силу геометрической и физической симметрии ребер их прогибы одинаковы, так что  $y_k'^{LF} = y'^{LF}$ . Определив из (16)  $q_0'^{LF}$  через  $y'^{LF}$  и подставив полученное выражение в (11), находим прогибы балок, вызванные движущимися нагрузками:

$$y'^{LF} = \frac{1 - \nu_1^2}{\kappa} \frac{a^4}{I_6} \frac{\gamma_1 p_6'^{LF} \sigma_1 - p_{\text{ст}}'^{LF} \sigma_2}{((1 - \nu_1^2) \kappa^{-1} \gamma_1 \sigma_1 \varphi(\xi, p) + a^4 / I_6)},$$

где  $\varphi(\xi, p) = \xi^4 + 3^{-1}(1 + \nu_6)^{-1} c_6^2 p^2 a^2 F_6 / I_6$ . Имея  $y'^{LF}(\xi, p)$ , можем найти  $q_0'^{LF}(\xi, p)$  и, подставив  $q_0'^{LF}(\xi, p)$  в (15), находим относительные прогибы оболочки.

В качестве примера проведен расчет железобетонной оболочки, находящейся в грунте и подкрепленной продольными стальными ребрами жесткости. Нормальное давление со стороны среды  $p_{\text{ст}}$  в данном примере не учитывалось. Принимались следующие значения безразмерных параметров:  $\gamma_1 = G_6 / G_1 = 10$ ;  $\kappa = 0,02$ ;  $\nu_0 = \nu_1 = \nu_6 = 0,3$ ;  $a^4 / I_6 = 10^6$ ;  $a^2 F_6 / I_6 = 7 \cdot 10^2$ ;  $c_6 = 0,01$ ;  $H' = 3$ ;  $m_0 = 1$ ;  $G' = 0,01$ . Число ребер жесткости  $l$  варьировалось. Рассмотрено движение вдоль балок сосредоточенных нагрузок типа  $P_6 = p_0 \delta(x - ct)$ .

Обращая преобразование Фурье и принимая во внимание только действительные части, получим в пространстве изображений:

$$\omega_*^L = \omega^L \frac{a G_1}{p_0} = \frac{1 - \nu_1}{2\kappa} \frac{a^4}{I_6} \left( p \int_0^{\infty} \frac{\sigma_3 \cos(\xi x')}{D_0 \beta} d\xi + M_s \int_0^{\infty} \frac{\xi \sigma_3 \sin(\xi x')}{D_0 \beta} d\xi \right), \quad (17)$$

где  $\beta = p^2 + \xi^2 M_s^2$ ;  $D_0 = \frac{1 - \nu_1^2}{\kappa} \gamma_1 \sigma_1 \varphi(\xi, p) + \frac{a^4}{I_6}$ . Аналогично записываются выражения для трансформант осевого и тангенциального перемещения. Имея эти представления, находим трансформанты изгибающего момента и перерезывающей силы.

Интегралы в формулах вида (17) для различных значений параметра преобразования Лапласа  $p$  находили численно по методу Файлона [4]. Для построения оригиналов применялся метод численного обращения преобразования Лапласа с помощью смещенных многочленов Лежандра [5], при этом использовано представление дельта-функции конечным

рядом Фурье с улучшенной сходимостью [6]:  $\delta(\theta) = \pi^{-1} \left[ 0,5 + \sum_{n=1}^{N-1} \frac{N}{n\pi} \sin(n\pi/N) \cos(n\theta) \right]$ . При использовании этого представления коэффициенты  $a_n$  в формуле (13) зависят от числа ребер и вычисляются:

$$a_n = \begin{cases} 0,5\pi^{-1} & \text{при } n=0 \text{ и } l=2, 4, 6, 8 \\ lNn^{-1}\pi^{-2} \sin(n\pi N^{-1}) & \text{при } n=l_j \text{ и } j=1, 2, 3, \dots \\ 0 & \text{при } n \neq l_j \end{cases}$$

Предложенный алгоритм расчета реализован на ЭВМ ЕС-1022 и персональных компьютерах типа РС/АТ. Составлен пакет программ на языке ФОРТРАН, включающий в себя

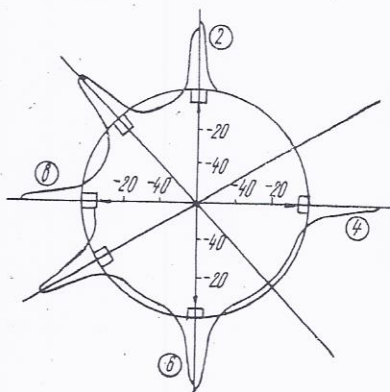


Рис. 1. Распределение прогибов оболочки с балками по окружности

головную программу, а также подпрограммы для вычисления интегралов Фурье по методу Файлона и подпрограмму для численного обращения преобразования Лапласа с помощью смещенных многочленов Лежандра. Пакет реализован для различных значений параметров, проведено сравнение в случае тестовых задач с результатами, получаемыми другими методами, и может быть использован в расчетной практике.

В качестве примера на рис. 1 показано распределение прогибов оболочки с балками по окружности для момента времени  $\tau=1,0$  в сечении  $x'=0,1$  (под нагрузками) для двух, четырех, шести и восьми равномерно расположенных вдоль

оболочки ребер жесткости. При этом в силу симметрии расположения подкреплений для каждого случая построены перемещения на четверти окружности.

Аналогичные картины получены для других моментов времени, проведены расчеты для аналогичной оболочки в вакууме.

Рис. 2 иллюстрирует изменение по длине оболочки в момент времени  $\tau=1,0$  прогибов (1), безразмерного изгибающего момента (2) и перерезывающей силы (3).

Расчеты проводились для случая восьми ребер жесткости и здесь показаны результаты при  $\theta=0$ .

Надежность предложенного алгоритма расчета нестационарного несимметричного деформирования подкрепленных подземных цилиндрических сооружений при действии

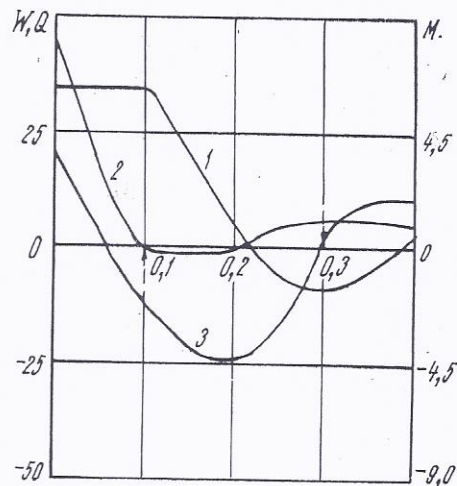


Рис. 2. Изменение по длине оболочки прогибов 1, безразмерного изгибающего момента 2 и перерезывающей силы 3

подвижных и неподвижных нагрузок проверялась численными экспериментами путем варьирования шага и верхнего предела в формулах Файлона, а также изменением числа членов рядов Фурье и Лежандра.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пожуев В. И., Львовский В. М. Пространственная задача о вынужденных колебаниях цилиндрической оболочки в упругой среде // Динамика и прочность машин.— Харьков, 1976.— Вып. 23.— С. 39—44.
2. Власов В. З., Леонтьев Н. Н. Балки, плиты и оболочки на упругом основании.— М.: Физматгиз, 1960.— 492 с.
3. Львовский В. М. К определению приведенной массы и упругих характеристик однослойных и многослойных обобщенных оснований с постоянными и переменными модулями упругости // Изв. вузов. Строительство и архитектура.— 1971.— № 3.— С. 38—46.
4. Крылов В. И., Шульгина Л. Т. Справочная книга по численному интегрированию.— М.: Наука, 1966.— 370 с.
5. Крылов В. И., Скобля Н. С. Методы приближенного преобразования Фурье и обращения преобразования Лапласа.— М.: Наука, 1974.— 224 с.
6. Ланцош К. Практические методы прикладного анализа.— М.: Физматгиз, 1961.—

Рекомендована кафедрой  
теоретической механики ЗИИ

Поступила в редакцию  
10.07.91

УДК 622.011.4 : 620.17

### РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КАЛИЙНОЙ СОЛИ В ОБЪЕМНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ (В ПРИБЛИЖЕНИИ ТЕОРИИ ТЕЧЕНИЯ)

Канд. техн. наук Г. Г. ЗАРЕЦКИЙ-ФЕОКТИСТОВ  
(Санкт-Петербургский горный институт)

Выбор в качестве реологической модели для калийной соли, находящейся в объемном напряженном состоянии при достаточно высоком уровне действующих напряжений, модели течения вязкой жидкости позволяет получить качественное и количественное описание поведения соляных массивов, в частности таких явлений, как затекание выработок в толще массива с течением времени. Линейный вариант такой теории имеет преимущество использования в качестве базового расчета известных решений теории упругости [1].

Использование теории течения вязких жидкостей требует для ее построения оценки величины коэффициента динамической вязкости и области применимости линейного приближения. До настоящего времени вопросы определения коэффициента динамической вязкости горных пород не привлекали широкого круга экспериментаторов, хотя их актуальность в связи с возрастанием глубин залегания горных выработок представляется несомненной. Известные работы, как правило, связаны с оценкой скорости затекания реальных выработок или изменения размеров целиков [2, 3]. Лабораторные исследования при этом ограничиваются случаем одноосного напряженного состояния. Наконец, весьма важным является ограничение области применимости линейного

## СОДЕРЖАНИЕ

### Физические процессы горного производства

Масолов В. Г., Носов В. В. Кинетический подход к оценке состояния массива горных пород по регистрации его сейсмоакустической активности . . . . .	1
Байбатчаев А. Б. Тектонофизический прогноз естественного напряженно-деформированного состояния терригенных пород . . . . .	6
Журавков М. А. Эффективные характеристики структурно-неоднородного породного массива . . . . .	9
Возжеников С. Г., Бельшев Ю. В. О градуировке аппаратуры непрерывного контроля качества горнорудного сырья . . . . .	16
Протасов Ю. И., Городниченко В. И., Трушкин А. Н. Технология снижения удароопасности массивов горных пород электротермическим способом . . . . .	19
Латышев О. Г. Иванова С. С. Влияние трещиноватости горных пород на их деформационные характеристики . . . . .	23

### Математические модели горной технологии и техники

Ситников Н. Б., Макаров Л. В. Математическая модель процесса бескернового бурения скважин . . . . .	27
---	----

### Разработка месторождений полезных ископаемых

Таукелов Р. Н., Нурпеисов Д. Д., Раздыков К. А. Выбор параметров забоя для экскаваторов с инерционным ротором нижней разгрузки . . . . .	35
Леяков И. И., Степченков С. А., Паршкин Э. М. Оценка эффективности применения выемочно-погрузочного оборудования на карьерах . . . . .	38
Барсуков И. М., Кириенко И. С. Нормативы землепользования при формировании намывных массивов на горных предприятиях . . . . .	44
Богатов Б. А., Головач А. А., Куптель Г. А., Поликарпова Н. Н., Халявкин Ф. Г., Яцковец А. И., Зеленый В. А. Производство торфяных питательных брикетов . . . . .	47

### Строительство шахт и подземных сооружений

Левшин А. А., Онедчук Б. И. Напряженно-деформированное состояние массива горных пород с поверхностью скольжения . . . . .	52
Пожуев В. И., Жибига М. Динамика подземной цилиндрической оболочки, подкрепленной продольными ребрами жесткости, под действием подвижных нагрузок . . . . .	56
Зарецкий-Феокистов Г. Г. Реологические свойства каменной соли в объемном напряженном состоянии (в приближении теории течения) . . . . .	61
Константинова С. А., Пепеляева Т. Ф. Учет неоднородности прочностных свойств соляных пород в рамках упруговязкопластической модели . . . . .	67
Лесников В. С., Мирошниченко И. А. Влияние типа разгрузочных элементов на устойчивость подземной горной выработки . . . . .	72

### Маркшейдерское дело

Кашников Ю. А., Якушина Е. М., Ашихмин С. Г. Деформирование скального массива по системам трещин . . . . .	75
--	----

### Рудничная аэрология. Охрана труда

Мохирев Н. Н., Захаров Н. И., Шейко В. В., Молчанов С. Ф., Неверов А. Е. Повышение надежности вентиляции рабочих зон, расположенных в отработанном пространстве . . . . .	81
---	----

### Буровзрывное дело

Боровиков В. А., Сафронова Н. И. Влияние конструкции заряда на спектральные характеристики волны напряжений при взрыве в горных породах . . . . .	83
Баранов Е. Г., Клочко И. И., Петелин Э. А. Действие кумулятивного заряда в горной породе и расчет параметров нагружения . . . . .	88
Гаджиев И. Ш., Татлыев Х. С., Ахундова С. А., Акперова М. Б., Агаев С. Г. Диагностирование критического момента отработки долота . . . . .	92

<b>Рудничный транспорт</b>	
Коптев В. Ю., Кулешов А. А., Марголин И. И., Нечипоренко А. Г. Определение реакций дороги, действующих на колеса автосамосвала БелАЗ-75211 . . . . .	94
<b>Механизация горных работ. Горные машины и комплексы</b>	
Шевченко В. И. Исследование влияния параметров электромеханического привода с цепным тяговым органом на скорость его движения . . . . .	98
Родин Р. А. Об определении работы дробления . . . . .	103
<b>Электрификация горных работ</b>	
Щуцкий В. И., Шевченко Л. П., Гайдашев В. И. Микропроцессорная аппаратура автоматического контроля и диагностики блоков управления шахтных высоковольтных аппаратов . . . . .	110
Попов А. Н. К исследованию динамики движения механизмов с грузом на гибкой подвеске . . . . .	112
<b>Автоматизация производственных процессов</b>	
Сулейменов О. А., Комиссарова Л. В., Нармухамедов Ж. А. Дистанционно-автоматическое управление погрузочными конвейерными комплексами . . . . .	119
Кузякин В. И. Стратегии и структура системы управления эксплуатационной надежностью буровых установок . . . . .	121
Рефераты . . . . .	124

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

А. Е. Троп (главный редактор)  
 К. Н. Адилов, А. И. Арсентьев, В. Ф. Бызов, Г. А. Багаутинов,  
 Н. Ф. Грашенков, А. Н. Данияров, И. В. Дементьев, В. З. Козин,  
 В. Н. Корнилов, А. А. Кулешов, Д. Е. Махно, Б. А. Носырев,  
 Л. Я. Парчевский, Г. Г. Пивняк, В. Л. Попов, Н. М. Проскуряков,  
 Ю. И. Протасов, Л. А. Пучков, В. В. Ржевский, Ю. А. Рыжков,  
 К. Ф. Сапицкий, В. Г. Симанов (зам. главного редактора),  
 Ю. И. Соколов, Г. И. Солод, Л. А. Сорокин (зам. главного редактора),  
 В. Е. Стровский, Ю. И. Туринцев, В. П. Франчук,  
 В. С. Хохряков, В. И. Щуцкий, В. А. Ярцев

Ответственный секретарь редакции Р. К. Бродягина

Старший редактор С. М. Кошелева. Редактор А. В. Беляева  
 Технический редактор Н. Д. Чубарова. Корректор О. Г. Пихтовникова

Сдано в набор 29.10.91. Подп. в печать 20.01.92.  
 Формат 70×108<sup>1/16</sup>. Бум. тип. № 2. Печать высокая.

11,2 усл. печ. л. 11,2 усл. кр.-отт. 11,8 уч.-изд. л.  
 Тираж 1200. Заказ 316. Цена 1 р. 40 к.

Редакция «Изв. вузов. Горный журнал»,  
 620219, г. Екатеринбург, Университетский пер., 9, ГСП-678,  
 тел. 22-46-04.

Типография изд-ва «Уральский рабочий»,  
 620219, г. Екатеринбург, ул. Тургенева, 13.

**Article 4 :** La dynamique d'une coque cylindrique souterraine consolidée par des nervures longitudinales de rigidité, sous l'action des charges mobiles.

Dans le présent article nous avons considéré une coque cylindrique de longueur infinie, raidie dans le sens longitudinal par un nombre quelconque de poutres de rigidité et qui est noyée dans une cavité souterraine de section cylindrique. Les charges mobiles intérieures se déplaçant à vitesse constante sont transmises à la paroi de la coque seulement par l'intermédiaire des poutres. Nous avons également considéré que dans le cas général il peut s'appliquer encore sur la paroi extérieure de la coque, la réaction d'appui du massif de fondation.

La résolution de ce problème se ramène à une intégration commune des équations différentielles caractéristiques de la coque, des poutres et du massif de fondation sur la base du respect des conditions de contact entre ces différents corps.

Les équations caractéristiques de la coque sont obtenues à partir des équations linéaires basées sur les hypothèses de Kirchhoff – Love et qui prennent en compte la réaction d'appui de la fondation. Concernant les poutres nous avons considéré les équations caractéristiques issues de la théorie de l'élasticité pour les poutres.

Le massif de fondation a été décrit suivant le modèle de Vlassov – Pasternak par rapport à la modification suggérée par V. M. Lvovski.

Les conditions aux limites sont les suivantes : le contact entre la coque et les poutres a lieu strictement par rapport aux axes longitudinaux des poutres ; la réaction d'appui de la fondation est l'opposée de la pression intérieure exercée sur la paroi de la coque par la poutre ; aux droits des poutres, la déflexion de la coque est la même que celle des poutres.

Les conditions initiales sont considérées nulles.

Nous avons également retenu que le matériau et les caractéristiques géométriques de toutes les poutres de raidissement sont les mêmes et que les poutres sont disposées à égale distance l'une de l'autre sur le pourtour de la section de la coque.

En guise d'application, nous avons effectué le calcul pour une coque en béton noyée dans un massif de fondation et raidie par des poutres métalliques.

Le présent algorithme a été mis en programme de calcul sur ordinateur de type Système Unique SU – 1022 et sur micro ordinateur de type PC / AT. Le programme de calcul en langage Fortran comprend un programme principal, des sous-programmes pour le calcul des intégrales de Fourier par la méthode de Failone et des sous-programmes pour la conversion numérique de la transformation de Laplace à l'aide des polynômes décalés de Legendre.

Des résultats numériques ont été obtenus et traduits en épures pour des systèmes de 2, 4, 6, et 8 forces ponctuelles appliquées équitablement sur les poutres de raidissement, en considérant la coque dans le massif de fondation et sous vide.

La fiabilité de cet algorithme de calcul a été vérifiée grâce aux multiples expériences numériques faites sur ordinateurs.