

Ер. 6.7  
451

TALLINNA  
POLÜTEHNILISE INSTITUUDI  
TOIMETISED

451

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО  
ИНСТИТУТА

TALLINN

ТРИ  
'78

ПРОБЛЕМЫ  
ПОДЗЕМНОЙ  
И ОТКРЫТОЙ  
РАЗРАБОТКИ  
ГОРЮЧИХ  
СЛАНЦЕВ  
И НЕРУДНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ





Ер. 6.7

451

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

**ТРИ  
'78**

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 451

● ПРОБЛЕМЫ  
ПОДЗЕМНОЙ  
И ОТКРЫТОЙ  
РАЗРАБОТКИ  
ГОРЮЧИХ  
СЛАНЦЕВ  
И НЕРУДНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ

Горное дело.  
Сборник статей 1X

Таллин 1978

622

NSV  
Teaduslik  
Raamatukogu  
IV  
Teaduste Akadeemia

УДК 553.54

А. Х. Рейер, Л. Г. Талве

ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД ПЛАСТА  
ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ И ПОРОД НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ  
КРОВЛИ ЭСТОНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Литологические исследования пласта горючих сланцев неоднократно проводились различными авторами при помощи различных методов и с различной целью. Но до сих пор не пытались связывать литологический состав как сланцевых, так и известняковых слоев с их механической прочностью и устойчивостью целиков и обнажений. В то же время наблюдения на шахтах показывают, что такая связь несомненно имеет место. Поэтому в данной работе впервые делается попытка изучать такую связь.

Как известно, по минералогическому составу все прослойки, слагающие рабочий пласт горючих сланцев эстонского месторождения, состоят из трех разных по составу и механической прочности компонентов: органического вещества (керогена), карбонатного вещества и терригенного компонента. Содержание указанных компонентов в отдельных слоях варьируется в широких пределах в разных районах месторождения. В табл. I приведены сводные данные о распределении керогена, карбонатов и терригенного вещества в отдельных слоях, полученные при помощи классических методов анализа.

Кероген представляет собой смесь сложных твердых органических соединений, средний элементарный состав которого следующий:

C	-	77,0	
H	-	9,7	
N	-	0,4	Соотношение C:H = 7,94
Cl	-	0,7	

Таблица I

Состав слоев непосредственной кровли и пласта  
горючих сланцев

Индекс слоя	Керо- ген, %	Карбо- наты, %	Терри- генный мате- риал, %	Индекс слоя	Керо- ген, %	Карбо- наты, %	Терри- генный мате- риал, %
I/H'	3,5	85,8	10,7	F	<u>23,8</u> 15,4	<u>56,8</u> 63,3	<u>19,4</u> 21,3
H'	6,8	79,6	13,6	F/E	<u>27,1</u> 28,4	<u>58,5</u> 49,6	<u>14,4</u> 22,0
H'/H	2,7	87,0	10,3	E	<u>40,6</u> 31,0	<u>38,1</u> 44,1	<u>21,3</u> 25,0
H	48,2	29,7	22,1	E/D	<u>12,4</u> 5,8	<u>75,6</u> 80,5	<u>12,0</u> 13,7
H/G	0,7	87,8	11,5	D	<u>27,5</u> 20,8	<u>40,7</u> 47,0	<u>31,8</u> 32,2
G	28,8	53,5	17,7	D/C	<u>1,9</u> 0	<u>84,9</u> 86,0	<u>13,2</u> 15,0
G/F <sub>5</sub>	6,5	76,5	17,0	C	<u>26,7</u> 27,6	<u>54,2</u> 40,8	<u>19,1</u> 31,6
F <sub>5</sub>	3,2	78,7	18,1	C/B	<u>8,5</u> 5,4	<u>84,5</u> 83,3	<u>7,0</u> 11,3
F <sub>5</sub> /F <sub>4</sub>	0	87,6	12,4	B	<u>35,2</u> 44,6	<u>48,4</u> 26,4	<u>16,4</u> 28,9
F <sub>4</sub>	9,2	62,2	28,6	B/A'	<u>5,7</u> 2,5	<u>76,3</u> 74,4	<u>18,0</u> 23,1
F <sub>4</sub> /F <sub>3</sub>	0	86,5	13,5	A'	<u>26,0</u> 25,4	<u>32,4</u> 25,6	<u>41,6</u> 49,0
F <sub>3</sub> <sup>''</sup>	0,9	81,3	17,8	A'/A	<u>8,5</u> 5,4	<u>77,7</u> 78,8	<u>13,9</u> 15,8
F <sub>3</sub> <sup>'</sup>	18,9	59,4	21,7	A	<u>44,3</u> 44,2	<u>28,6</u> 23,4	<u>27,1</u> 32,4

Примечания:

1. Состав слоев кровли (от F'' по I/H) характеризует центральный район месторождения;

2. Состав пласта сланца (слои A по F) приведен для двух районов - западного (числитель) и центрального (знаменатель).

S - 1,7  
O - 10,5

Механическая прочность керогена низкая, но по-видимому, не зависит от влажности.

Карбонатная часть слоев представлена главным образом кальцитом  $\text{CaCO}_3$ , роль доломита  $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$  незначительная и не превышает 5%.

Терригенный материал имеет достаточно постоянный состав: около 66%  $\text{SiO}_2$ , 16%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 7,5%  $\text{K}_2\text{O}$ , 6%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , остальные компоненты  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MnO}$ . По исследованиям Н.Д. Дилакторского и Е.А. Галибиной [1955] в терригенном материале преобладают мелкообломочный кварц (45-50%), слюды и глинистые минералы типа гидрослюд (35-40%), ортоклаз (10-15%).

Микроскопическое исследование шлифов и аншлифов пород отдельных слоев позволило выявить структурно-текстурные особенности их. Все известняковые слои представлены органо-детритовым известняком, в котором встречаются остатки известковых скелетов фауны различной сохранности и пелитоморфный мелкокристаллический (в среднем 0,05 мм) кальцит. Нередки и более крупные сгустки кристаллов кальцита - очевидно продукта перекристаллизации. Кероген в известняковых слоях представлен в виде округлых, в вертикальном срезе несколько сплюснутых непрозрачных сгустков диаметром около 0,02-0,05 мм. Местами пелитоморфный кальцит также пропитан органическим веществом желтовато-коричневого цвета. Терригенный материал в известняковых слоях встречается в рассеянном виде среди мелкозернистого кальцита и почти не заметен, за исключением отдельных угловатых зерен кварца.

Сланцевые слои отличаются от известняковых слоев главным образом по количественному содержанию основных компонентов. Более существенны текстурные особенности.

Текстура известняковых слоев чаще всего контруктивная, при которой нельзя выделить определенной ориентации составных частей. Лишь в слоях, более богатых керогеном, а именно E/D, F/E и F<sub>3</sub>' хорошо заметно послойное расположение сгустков органического вещества и по-

видимому также терригенного материала, что вызывает анизотропность прочностных свойств. С точки зрения устойчивости обнажений важное значение имеет слоистая текстура слоя  $F'_3$ , который склонен к расслаиванию.

Текстура сланцевых слоев в большинстве случаев явно слоистая. Послойно в них расположены не только сгустки керогена, но и кристаллы кальцита и обломки створок фауны. Лишь в слоях С и F, более богатых карбонатами, слоистая текстура плохо заметна. В этих слоях карбонатное вещество часто играет роль скелета, промежутки которого заполнены керогеном и терригенным материалом. Механическая прочность этих слоев поэтому сравнительно высокая. Из-за слоистой текстуры сланцевые слои кровли G и H склонны к расслаиванию.

Влияние трех основных компонентов слоев на их прочность различная. Прочность известковых слоев определяется карбонатом, который составляет почти во всех слоях сплошной каркас. Лишь в некоторых слоях с высоким содержанием керогена каркас иногда прерывистый (слои  $F'_3$ , отчасти E/D и E/D) и поэтому в этих слоях в местах скопления прослоек керогена возможно расслаивание. Терригенный компонент в известняковых слоях распределен равномерно и поэтому существенного влияния на прочность слоев не оказывает.

Прочность сланцевых слоев определяется в основном прочностью керогена, а в отдельных слоях, обогащенных карбонатами, последние образуют скелет, который должен увеличивать и прочность (слои С и F).

По имеющимся данным можно предполагать, что терригенный компонент в сланцевых слоях должен существенно влиять на их реологические свойства. Это связано с присутствием в терригенном компоненте глинистого вещества, главным образом гидрослюдистых минералов. Следовательно, терригенный материал, находящийся между сгустками керогена, играет роль своеобразной смазки, уменьшающей сцепление. При достижении определенного критического предела терригенного материала в некоторых сланцевых слоях появляются пластические свойства.



Рассматривая таблицу, можно заметить, что в западных районах месторождения пластические свойства должны появляться в слоях А, А' и D, а в центральном районе практически во всех сланцевых слоях, так как все слои в южном районе значительно обогащены терригенным компонентом. Интересно отметить, что такое обогащение в верхней части пласта, начиная от слоя D происходит за счет обеднения слоев керогеном, в нижней же части пласта за счет уменьшения содержания карбонатов. Такое изменение количественных показателей слоев объясняется изменением палеогеографической обстановки осадконакопления. Южная часть сланцевой толщи накопилась в береговой зоне среднеордовикского бассейна, где привнос терригенного материала произошел более интенсивно.

В заключение можно отметить, что литологические характеристики слоев позволяют прогнозировать реологическое поведение целиков и обнажений. Для уточнения и проверки указанных выводов необходимо в дальнейшем вести тщательные исследования минералогопетрографического состава терригенного компонента слоев, особенно в южной части Эстонского месторождения горючих сланцев.

#### Л и т е р а т у р а

И. Д и л а к т о р с к и й Н. Л., Г а л и б и н а Е. А. К вопросу о процессах минерало-образования, протекающих при нагревании сланцевой золы и твердении гидратизированных продуктов обжига. Сб. "Сланцезольные материалы в строительстве". Пр. 2-го совещания по расширению использования в строительстве неорганической части сланцакукерсита. Изд. АН ЭССР, 1955.

Lithological Characteristics of the Oil Shale  
Stratum and the Overlying Rocks of the Estonian  
Field

Summary

The oil shale stratum of the Estonian field, consisting of oil shale layers, is composed mainly of carbonate, kerogen and clastic materials. The durability and rheological qualities of the layers are greatly dependent upon their composition.

Mineralogical and lithological investigations of the composition of the layers, allowing to point out the most feeble layers in the oil shale stratum and the overlying rocks, are of great practical value.

УДК 622.23.02

Х.Х. Арукюла

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ПЕСЧАНИКА ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПИУЗА

При использовании старых песчаных шахт под хранилище овощей и фруктов необходимо оценить устойчивость целиков и кровли. При оценке устойчивости требуется знание физико-механических свойств пород и в первую очередь, вынимаемого пласта. Пласт разрабатывали камерной системой разработки.

Вынимаемая мощность пласта составляла 3,5...5,9 м, глубина залегания 4,6...13,8 м, площадь поперечного сечения целиков 6,1...25,7 м<sup>2</sup>, коэффициент поддержания 0,180...0,348, площадь исследуемой части шахтного поля 2167 м<sup>2</sup>. Покрывающие породы представлены песчаниками, которые сверху покрыты четвертичными глинистыми песками, средней мощностью 1,1 м.

Из физико-механических свойств песчаника были определены плотность, влажность, угол естественного откоса, пределы прочности на одноосное сжатие, сдвиг и растяжение, коэффициент фильтрации. Пробы были отобраны из 15 мест по всей площади исследуемой части шахтного поля, из стен целиков или выработок на различной высоте, чтобы определить изменение показателей по площади и высоте.

Количество проб указано в таблице I.

Более существенными физико-механическими свойствами, определяющими устойчивость целиков и обнажений, являются пределы прочности на сжатие и сдвиг. Поэтому увеличили количество проб по этим показателям (на сжатие 127 и сдвиг 48).

Поперечное сечение выработок сводчатое и следовательно, напряжения растяжения в целиках и в кровле выработок либо отсутствуют, либо минимальные. Этим и объясняется меньшее количество проб (5) для определения прочности песчаника на растяжение.

На прочность песчаника и устойчивость целиков и обнажений влияет водный режим, для исследования которого были определены влажность и коэффициент фильтрации.

Поскольку песчаник из вынимаемого пласта шахты "Тарбеклаас" (Шуза) слабосвязанный, рыхлый, то для определения физико-механических свойств применяли полевую лабораторию Литвинова [1]. Пробы были отобраны из стен выработок при помощи гильз, ножа и проволоки, цилиндрических или призматических образцов.

По методике автора [2] по всем показателям физико-механических свойств была определена точность определения исходя из точности измерения отдельных величин на уровне значимости 95%, чтобы определить количество значащих цифр (доверительных знаков) и точность расчетов.

Путем статистической обработки определены минимальные максимальные и средние значения показателей, 95% доверительный интервал для среднего, стандартное отклонение и коэффициент вариации (табл. 1, 2).

Нарушения в геологическом строении песчанистого пласта, наличие красно-коричневых пропластков и линз, а также трещин на плотность пород практически не влияли, но изменили влажность, которая была выше в зоне нарушений.

Плотность песчаника была устойчивая, коэффициент вариации 1,8% и поэтому точность оценки среднего показателя высокая 1,66...1,70 г/см<sup>3</sup>. Значительно больше колебались значения влажности песчаника (от 0,5 до 16,8%), как по площади, так и по высоте.

Пробы для определения прочности на сжатие имели призматическую форму с поперечным сечением 5,5...63,9 см<sup>2</sup> и высотой 26...105 мм. Допускаемая несимметричность  $\pm 0,5$  мм. Большинство проб - 107 испытали в течение одного часа после взятия, т.е. с естественной влажностью, 20 проб были

Показатели физико-механических свойств песчанника из шахт "Тарбклас" (Пууза)

Показатели	Число проб	Точность определения	Минимальное	Максимальное	Среднее	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	11	0,003	1,64	1,73	1,68	0,03	1,8
Влажность w, %	29	0,1	0,5	16,8	4,4	4,3	97,2
Угол естественного откоса $\alpha^{\circ}$	4	0,5	31,3	34,2	32,7	1,6	5,4
Пределы прочности, кгс/см <sup>2</sup> :							
на сжатие $\sigma_{сж}$	127	0,011	0,06	6,8	1,08	1,4	95,3
на растяжение $\sigma_{р}$	5	0,08	0,04	0,36	0,21	0,12	56,2
на сдвиг $\tau$ , кгс/м <sup>2</sup>							
$\tau_L$ при $P_B = 0,5$ кг	4		2,9	5,4	4,3	1,2	29,6
$\tau_L$ при $P_B = 1,0$ кг	4	0,07	0,7	2,9	1,5	0,6	38,8
$\tau_L$ при $P_B = 2,0$ кг	4		1,7	5,1	3,2	2,3	73,1
$\tau_M$ при $\beta = 30^{\circ}$	15	0,06	0,05	5,45	0,32	0,31	97,0
$\tau_M$ при $\beta = 45^{\circ}$	21		0,08	2,60	0,21	0,18	85,5
Коэффициент фильтрации $k_f$ , м/сутки	3	0,02	0,88	1,27	1,03	0,22	21,3

 $\tau_L$  - предел прочности на сдвиг по лаборатории Литвинова $P_B$  - вертикальная нагрузка $\tau_M$  - предел прочности на сдвиг матрицами $\beta$  - угол наклона матриц.

предварительно высушены, чтобы определить влияние влажности на прочность.

Т а б л и ц а 2

Доверительные интервалы для средних показателей физико-механических свойств песчаника из шахты "Тарбеклаас" (на уровне значимости 95%)

Показатели	Граница доверительного интервала среднего	
	нижняя	верхняя
Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	1,66	1,70
Влажность $w$ , %	2,8	6,0
Пределы прочности, кгс/см <sup>2</sup>		
на сжатие $\sigma_{сж}$	0,81	1,35
на сдвиг		
$\tau_m$ при $\beta = 30^\circ$	0,14	0,50
$\tau_m$ при $\beta = 45^\circ$	0,13	0,29

Распределение прочности проб песчаника асимметричное, большинство проб показали прочность на сжатие ниже 0,5 кгс/см<sup>2</sup>. Наибольшие средние значения прочности на сжатие наблюдались в районе большой тектонической трещины 4,08 кгс/см<sup>2</sup> и на самой северной точке взятия проб 2,67 кгс/см<sup>2</sup>.

По высоте наименьшие средние значения прочности на сжатие наблюдались у почвы выработок 0,17 кгс/см<sup>2</sup>.

Средняя прочность на сжатие с увеличением влажности песчаника возросла. Средняя крепость песчаника на сжатие перпендикулярно напластованию была в шесть раз выше, чем параллельно напластованию, что показывало анизотропию по этому свойству.

При высушивании глинистых проб песчаника прочность на сжатие увеличилась, а у остальных проб уменьшилась (часть из них рассыпалась).

Прочность песчаника на сдвиг определяли лабораторией Литвинова и матрицами. Пробы были цилиндрические и имели диаметр соответственно 56,4 и 20 мм, высоту 20 и 38 мм с допустимым отклонением  $\pm 0,5$  мм.

При испытании проб в полевой лаборатории Литвинова вертикальная нагрузка составила 0,1...3,0 кгс и горизонтальная 0,1...6,8 кгс.

Прочность проб песчаника на сдвиг была весьма различной. Более мягкие пробы песчаника разрушились при вертикальной нагрузке 1,0...3,0 кгс более крепкие пробы при этих нагрузках разрушить не удалось, поскольку горизонтальная нагрузка была ограничена 7,0 кгс. Поэтому для этих проб вертикальную нагрузку снизили до 0,1...0,5 кгс. Но дальше при вертикальной нагрузке 0,5 кгс средняя прочность на сдвиг 4,3 кгс/см<sup>2</sup> крепких песчаников была выше, чем мягких при вертикальной нагрузке 1,0 и 2,0 кгс (см. табл. I).

При испытании проб матрицами угол наклона матрицы был принят  $\beta = 30^\circ$  и  $\beta = 45^\circ$ . Средние прочности песчаника на сдвиг составили 0,32 кгс/см<sup>2</sup> (при  $\beta = 30^\circ$ ) и 0,21 кгс/см<sup>2</sup> (при  $\beta = 45^\circ$ ).

Распределение значений прочности на сдвиг несимметричное, большинство проб показали прочность ниже 0,2 кгс. Наименьшие значения средней прочности на сдвиг 0,1 кгс/см<sup>2</sup> наблюдались у почвы выработок, наибольшие значения 5,15 кгс/см<sup>2</sup> на высоте 4 м в районе значительного изменения структуры и влажности песчаника по высоте.

С увеличением влажности песчаника средняя прочность на сдвиг возросла.

По среднему значению коэффициента фильтрации 1,03 м/сутки песчаники месторождения Пиуза относятся к породам средней водопроницаемости.

Средний угол естественного откоса песка составил в сухом виде  $34^\circ$  и увлажненном виде  $31^\circ 30'$ . Более устойчивыми показателями физико-механических свойств песчаника были плотность и угол естественного откоса, наибольшее рассеивание показали влажность (коэффициент вариации 97,2%) и прочность на сжатие (коэффициент вариации 95,3%).

Применяемая в данной работе методика может быть использована при определении физико-механических свойств на других песчаных шахтах Эстонской ССР, а сами показатели для сравнительной оценки устойчивости целиков и обнажений. Для

определения абсолютных показателей устойчивости нужно дополнительно изучать влияние масштабного эффекта на прочность песчаника и найти переходные коэффициенты для перехода от показателей образцов к массиву песчаника с учетом многоосного напряженного состояния и трещиноватости.

По расчетным данным нагрузка на целики составляет до  $11,8 \text{ кгс/см}^2$ , что значительно больше прочности на одноосное сжатие образцов песчаника, т.е. влияние масштабного эффекта и многоосного напряжения состояния, велико.

### Л и т е р а т у р а

1. Инструкция по исследованию строительных свойств грунтов полевой лабораторией системы И.М.Литвинова ПЛД-9. Харьков, "Прапор", 1966.

2. А р у к в л а Х.Х., Р е й е р А.Х. Основы теории инженерного экспериментирования в горном деле. ТПИ, Таллин, 1973.

H. Aruküla

#### Determination of Physical-Mechanical Properties of Sandstone from Deposit Piusa

#### Summary

The following physical-mechanical properties of sandstone have been determined and statistically estimated: density, moisture, limit of strength by one axis pressure, push, pull and the constant of filtration. The properties can be used by estimating the roof and pillar strength of sandstone.



УДК 531(001.57)

Э. А. Крипсаар

### К АНАЛИЗУ ВЗАИМНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ БЕРЕГОВ ТРЕЩИН

Для сохранения условий безопасности ведения горных работ при работе в сложных геологических условиях контроль и прогноз поведения целиков может быть осуществлен только на основе закономерностей процесса разрушения [1].

Известно, что при сжатии тела образование новой поверхности может начинаться около концов нераскрытой трещины по мере взаимного касательного перемещения ее берегов. Исследованиями на модели такого процесса образования новой поверхности при сжатии установлено, что пока у нагруженного тела отсутствует касательное перемещение берегов трещин, натяжение возрастает пропорционально нагрузке. Перемещение (скольжение) берегов сопровождается перераспределением натяжения, результатом которого и является концентрация положительного натяжения у концов трещины. Последнее явление вызывает образование новой поверхности и разрушение при длительном нагружении от нагрузки, имеющей значение ниже предела прочности при кратковременном нагружении.

В ходе очистных работ на целиках прямыми измерениями определимы только перемещения, на основе которых могут быть вычислены изменения главных деформаций и их соотношение между замерами. Ввиду этого физическую сущность явления удобно математически описать на основе анализа модели взаимного перемещения материальных частиц, разработанной в [2], если коэффициент Пуассона заменить соотношением экстремальных главных деформаций нагружаемого тела, взятых с обратным знаком, т.е.

$$k = -\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_3} = -\frac{\omega_1}{\omega_3}.$$

При сжатии сплошного тела на берегах нераскрытой трещины, не имеющей взаимного касательного перемещения берегов, действует такое же натяжение, как в других точках. Как частный случай, главные натяжения и деформации сплошного элемента тела равны, т.е.  $\omega_1 = \varepsilon_1$ ,  $\omega_2 = \varepsilon_2$  и  $\omega_3 = \varepsilon_3$ . На других плоскостях при угле  $\alpha$  между нормалью к поверхности трещины и главной осью 3 нормальный компонент натяжения

$$\omega_u = (\cos^2 \alpha - k \sin^2 \alpha) \varepsilon_3 \quad (1)$$

и касательный компонент натяжения

$$\eta_{uv} = \frac{1+k}{2} \sin 2\alpha \varepsilon_3. \quad (2)$$

В общем случае на берегах трещины, имеющих угол  $\alpha > \alpha_\eta = \text{arcctg} \sqrt{k}$  и не имеющих взаимного перемещения берегов, касательное натяжение

$$\eta_{uv} = \eta_{uv}^\xi + \eta_c + \eta_\omega, \quad (3)$$

где  $(\eta_c + \eta_\omega)$  — касательное натяжение, сохраняемое при отсутствии образования новой поверхности на берегах трещин;

$\eta_{uv}^\xi$  — касательное натяжение, которое может реализоваться во взаимное касательное перемещение берегов трещины.

Значение  $\eta_c$  не зависит от ориентации трещины. Влияние  $\eta_\omega$  появляется при  $\omega_u < 0$  и определяется по формуле

$$\eta_\omega = f \omega_u, \quad (4)$$

где  $f$  — коэффициент пропорциональности.

У потенциальных трещин ( $\alpha > \alpha_\eta$ )  $\eta_\omega = 0$ , так как  $\omega_u > 0$ , а у раскрытых трещин на берегах  $\eta_\omega = 0$  и  $\eta_c = 0$ .

Подставим в уравнение (3) величины (1), (2), (4) и определяем значение  $\eta_{uv}^\xi$ :

$$\eta_{uv}^\xi = m_{uv} \varepsilon_3 - \eta_c, \quad (5)$$

где коэффициент влияния главной деформации

$$m_{uv} = \frac{1+k}{2} \sin 2\alpha - f(\cos^2\alpha - k\sin^2\alpha). \quad (6)$$

Начало взаимного касательного перемещения берегов трещины возможно при  $\max \eta^{\xi} > 0$ , т.е. при условии

$$\varepsilon_3 > \varepsilon_{3c} = -\frac{\eta_c}{\max m}, \quad (7)$$

где  $\varepsilon_{3c}$  - порог скольжения.

Максимальное значение компонента напряжения  $\eta_{uv}^{\xi}$  согласно исследованию уравнения (5) с учетом (6) будет на берегах трещины с углом

$$\alpha_{\max m} = \frac{1}{2}(\pi - \text{arccctg} f). \quad (8)$$

При  $f=0$   $\alpha_{\max m} = \pi/4$ . По мере роста  $f$  значение  $\alpha_{\max m}$  возрастает. При угле  $\alpha = \alpha_{\eta}$  натяжение  $\omega_u = 0$  и определение коэффициента  $f = f_{\eta}$  по порогу скольжения становится невозможным.

В результате анализа значений  $\max m$ , вычисленных по (6) при различных соотношениях  $k$  с учетом, что угол  $\alpha_{\eta} = \text{arccctg} \sqrt{k}$ , установлено:

1) при значении  $f = f_{\eta}$

$$\max m = \frac{1}{2}(1+k) \sin 2(\text{arccctg} \sqrt{k}) = \sqrt{k};$$

2) при  $0 \leq f = \text{const.} < f_{\eta}$  линия  $\max m$  является касательной к параболе (9). Уравнения касательных имеют вид

$$\max m = \max m_0 + \frac{1}{4\max m_0} k, \quad (10)$$

где значение  $\max m$  при  $k=0$  с учетом формулы (8) принимает вид

$$\max m_0 = \frac{1}{2}(\sqrt{1+f^2} - f). \quad (11)$$

Если испытание образцов проведено при двух различных значениях  $k$ , т.е. при двух напряженных состояниях, то согласно формуле (7)

$$\frac{\max m_{(1)}}{\max m_{(2)}} = \frac{\varepsilon_{3c(2)}}{\varepsilon_{3c(1)}} = a \quad (12)$$

и в уравнении (10) значение

$$\max m_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\alpha K_{(2)} - K_{(1)}}{1 - \alpha}}. \quad (13)$$

Решая совместно (11) и (13), получим

$$f = \frac{1 - \alpha(1 - K_{(2)}) + K_{(1)}}{2\sqrt{(1 - \alpha)(\alpha K_{(2)} - K_{(1)})}}. \quad (14)$$

Все величины, входящие в выражение (14), определимы экспериментально. Определив значение коэффициента  $f$ , можно по формуле (8) найти значение  $\alpha_{\max m}$ , по формуле (6)  $\max m$  и по условию (7) значение  $\eta_c$  при любом значении  $K$ .

Используя то обстоятельство, что напряжения и натяжения описываются одинаковыми уравнениями, можно подобно кругам напряжения (Мора) построить круги натяжения [2] в координатах  $\omega_{1,3} = \varepsilon_{1,3} - \eta_{uv}$ . Построив круги натяжения в случае одинакового значения компонента касательного натяжения  $\eta_{uv}^{\xi}$  при различном значении коэффициента  $f$  и соотношения  $K$ , можно заметить, что:

1) если коэффициент  $f < f_{\eta}$ , то  $\operatorname{tg} \varphi = f$ , где  $\varphi$  - угол подъема касательной к кругам натяжения;

2) отрезок  $OS$  выражает в масштабе сумму  $\eta_{uv}^{\xi} + \eta_c$ ;

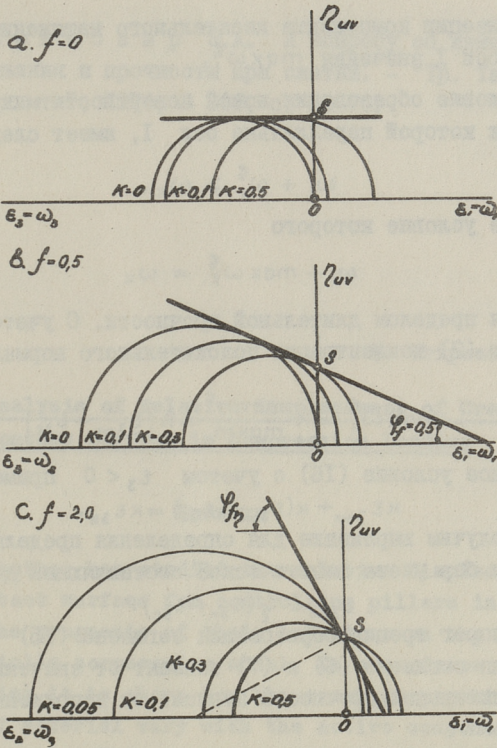
3) если  $\eta_{uv}^{\xi} + \eta_c = \text{const.}$ , то с осью  $\eta_{uv}$  в точке  $S$  пересекаются при условии  $f \leq f_{\eta}$  - касательные к кругам натяжения (фиг. I, а, в), при условии  $f > f_{\eta}$  - круги натяжения (фиг. I, с).

При отсутствии в ходе нагружения взаимного касательного перемещения берегов трещин трещинообразование происходит отрывом. Согласно [3] порог трещинообразования отрывом

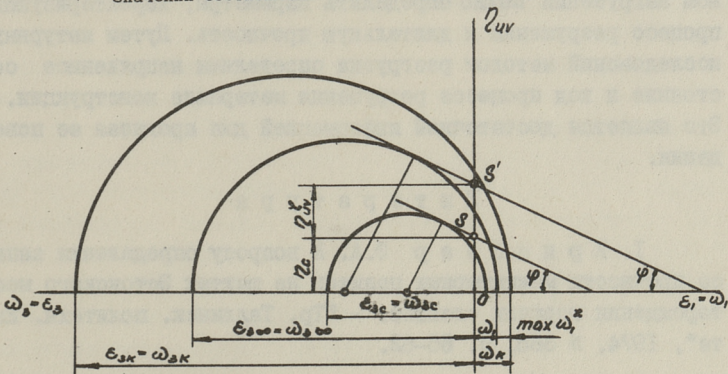
$$\varepsilon_{3k} = -\frac{\omega_k}{K}, \quad (15)$$

где  $\omega_k$  - критическое натяжение образования трещин отрывом.

При  $|\varepsilon_{3c}| < |\varepsilon_3| < |\varepsilon_{3k}|$  происходит взаимное касательное перемещение берегов трещин и увеличивается концентрация положительного натяжения у концов трещин, достигая после пол-



Фиг. 1. Круги натяжения в случае одинакового значения компонента касательного напряжения  $\max \tau_{uv}^*$  реализуемого во взаимное касательное перемещение берегов трещины, при различном значении соотношений  $\kappa$  и коэффициента  $f$ .



Фиг. 2. Круги натяжения, соответствующие пределу длительной прочности.

ной реализации компонента касательного натяжения  $\eta_{uv}^{\xi}$  по главной оси I значения  $\max \omega_i^{\xi}$ .

Условие образования новой поверхности микротрещиной, нормаль к которой параллельна оси I, имеет следующий вид (фиг. 2)

$$\omega_i + \omega_i^{\xi} \geq \omega_k,$$

граничное условие которого

$$\omega_i + \max \omega_i^{\xi} = \omega_k \quad (I6)$$

является пределом длительной прочности. С учетом уравнений (6) и (7) концентрация положительного нормального натяжения

$$\max \omega_i^{\xi} = k \frac{\max \eta^{\xi}}{\max m} = k (\varepsilon_{3\infty} - \varepsilon_{3c})$$

и граничное условие (I6) с учетом  $\varepsilon_3 < 0$  примет вид

$$k\varepsilon_{3\infty} + k(\varepsilon_{3\infty} - \varepsilon_{3c}) = k\varepsilon_{3k},$$

откуда получим выражение для определения предела длительной прочности без учета пластической составляющей деформации

$$\varepsilon_{3\infty} = \frac{1}{2}(\varepsilon_{3k} + \varepsilon_{3c}).$$

Так как порог трещинообразования согласно (I5) и порог скольжения согласно (6) и (7) зависят от значения  $k$ , то предел длительной прочности зависит от напряженного состояния.

Таким образом, исследуя процесс разрушения материала при сжатии в различном напряженном состоянии при недлительном нагружении можно определить параметры, характеризующие процесс разрушения и длительную прочность. Путем натурных исследований методом разгрузки определимы напряженное состояние и ход процесса разрушения материала конструкции. Это является достаточной информацией для прогноза ее поведения.

#### Л и т е р а т у р а

1. К р и п с а р Э.А. К вопросу определения запаса прочности межкамерных целиков на шахтах Эстонского месторождения горючих сланцев. - "Тр. Таллинск. политехн. ин-та", 1974, № 368, с. 55-62.

2. О л л и к К.К. Корпускулярная модель материала в сопротивлении материалов. "Тр. Таллинск. политехн. ин-та", 1965, № 227, с. 3-40.

3. К р и п с а а р Э.А. К вопросу об изменении трещинообразования и прочности при сжатии. - "Тр. Таллинск. политехн. ин-та", 1974, № 368, с. 63-70.

E. Kripsaar

Analysis of Relative Displacement of Crack  
Contact Surface in Compression Loading

Summary

The author has studied the relative displacement of crack contact surface for controlling pillars in the mines and for the prognosis of their behaviour on the basis of the material's corpuscular model. In accordance with pattern testing it is shown how the crack propagation and fracture of material vary with the active component of tangential tension. The parameters for this process and for long-time strength should be obtained experimentally.





УДК 622.83I.I

Л.Г.Талве

ПРОВЕРКА ФАКТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАМЕРНО-  
СТОЛБОВОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ НА СЛАНЦЕВЫХ  
ШАХТАХ ЭСТОНСКОЙ ССР

Общие положения

Проверка параметров системы разработки применяется: а) в ходе ведения очистных работ в качестве текущей проверки фактических значений параметров с проектными; б) при математическом анализе фактических значений параметров после отработки камерного блока или его части. Текущая проверка технологических параметров системы разработки позволяет техническому надзору в качестве обратной связи постоянно количественно оценивать соответствие фактических значений параметров системы разработки проектным. При необходимости можно оперативно осуществить плавное корректирование размеров щеликов новых образуемых поперечных рядов с таким расчетом, чтобы на определенной расчетной площади средние значения размеров щеликов и камер были в допустимых пределах. Разработаны критерии допустимых отклонений параметров по сравнению с проектными величинами. Текущую проверку параметров осуществляют как при принятых технологических схемах, так и при испытаниях новых вариантов камерно-столбовой системы разработки с обрушением. Корректирование технологических параметров осуществляется по данным маркшейдерской съемки, выполняемой 1-2 раза в месяц. Статистический анализ фактических параметров камерных блоков позволяет сравнивать качество управления массивом в разных камерных блоках и в разных шахтах, изучать причины стихийных обрушений, выявлять резервы для уменьшения технологических потерь и т.п.

За основу данной методики проверки параметров камерной системы разработки принято предположение, что необходимой и достаточной предпосылкой избежания развития обрушения до земной поверхности в пределах отработанной части камерного блока является условие обеспечения устойчивости целиков в пределах любой произвольно выбранной определенной минимальной отработанной площади – критического контура за заданный срок поддержания целиков. На основе экспериментальных данных в условиях эстонских сланцевых шахт за критическую площадь принимается квадратный контур с размерами 70x70 м, в пределах которого размещается в среднем 5 рядов целиков. Критическая площадь обрушения зависит от мощности толщи покрывающих пород, физико-механических и реологических свойств пласта и покрывающих пород, конфигурации целиков и характера развития систем неупругих деформаций в покрывающей толще на отработанной площади.

Условие устойчивости целиков обеспечивается в свою очередь допустимым отклонением фактических значений параметров системы разработки от проектных при предположении, что проектные значения параметров соответствуют объективно местным геологическим и технологическим условиям. Обоснованность проектных значений параметров системы разработки проверяется по характеристикам конвергенции на данном участке. Таким образом, проверка параметров камерной системы разработки двухстадийная. Во первых, проверяют соответствие проектных параметров системы разработки местным горногеологическим условиям и во вторых, проверяют степень отклонения фактических параметров относительно проектных.

Критическая площадь обрушения зависит от мощности и физико-механических и реологических свойств пласта и покрывающих пород, а также от технологических параметров системы разработки (размеры целиков и камер, скорость перемещения фронта отработки и др.), обуславливающие совокупно характер реологического поведения массива на отработанной площади (развитие системы неупругих деформаций и т.п.).

При ширине крыла до 100 м при проверке скользящий контур с размером стороны 70 м имеет свободу перемещения только в одном направлении – вдоль длинной оси крыла камерного блока (на эстонских сланцевых шахтах оставляют возле сбор-

ного и бокового штрека один ряд усиленных целиков). При ширине крыла более 100 м скользящий контур имеет при перемещении уже две степени свободы, т.е. он может перемещаться в продольном, а также в поперечном направлении относительно длинной оси крыла. Поэтому необходимо проверить условия устойчивости по всем возможным положениям скользящего контура в пределах крыла камерного блока. При упрощенных расчетах крыло разбивают на две или три продольные полосы в зависимости от его ширины.

Методика определения коэффициентов поддержания  
и условной мощности

При проектировании, а также в ходе ведения очистных работ необходимо совокупность технологических параметров камерной системы разработки можно обеспечить посредством коэффициента поддержания  $k$ . Последний устанавливает взаимосвязь между размерами целиков и потолочин при определенной конфигурации целиков. Коэффициент поддержания определяется по формуле [1]

$$k = \frac{\sum S_1}{\sum S_2} = \frac{\sum a \cdot b}{\sum (a+c)(b+d)},$$

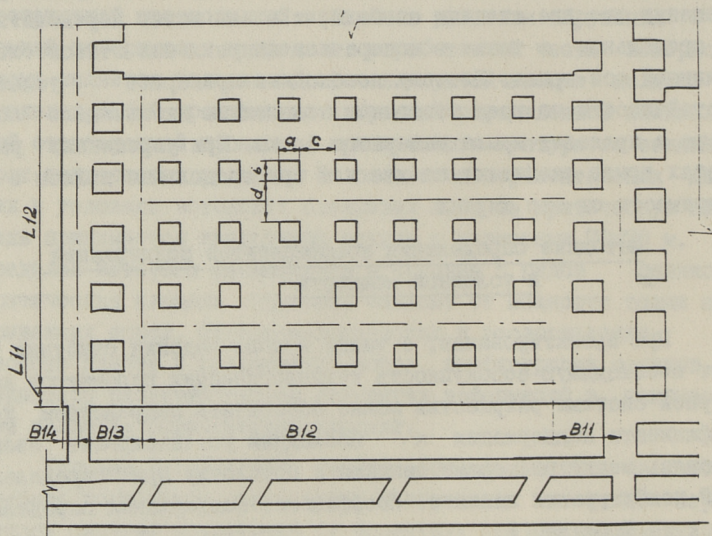
- где  $S_1$  - площадь поперечного сечения целика,  $m^2$ ;  
 $S_2$  - площадь кровли, поддерживаемая данным целиком,  $m^2$ ;  
 $a$  - ширина целика,  $m$ ;  
 $b$  - длина целика,  $m$ ;  
 $c$  - ширина продольной камеры,  $m$ ;  
 $d$  - ширина поперечной камеры,  $m$ .

При необходимости сравнения технологических параметров системы разработки или реологического поведения целиков при различной мощности  $H$  покрывающих пород целесообразно пользоваться дополнительно понятием условной мощности  $C$

$$C = \frac{H}{k}, \text{ м.}$$

В ходе ведения очистных работ фактические параметры камерных блоков определяются на основе маркшейдерских замеров по схеме, приведенной на фиг. 1. Замеры проводят раз в месяц, но не реже, чем после образования второго поперечного ряда целиков от последнего замера. В обратном случае терется практически основание (обратная связь) при необходи-

мости эффективно корректировать параметры образуемых рядов целиков.



Фиг. 1. Схема обозначений геометрических элементов камерного блока.

По результатам замеров определяют следующие значения коэффициентов поддержания:

а) коэффициент  $K_{0n}$  поддержания по отдельным целикам данного поперечного ряда целиков

$$K_{0n} = \frac{S_{1n} \cdot N}{\sum S_2} = \frac{S_{1n} \cdot N}{B_{12} \cdot L_n}$$

где  $N$  - число целиков в ряду, шт;

$B_{12}$  - ширина центральной части крыла, м;

$L_n$  - длина полосы кровли данного ряда целиков, м.

б) коэффициент поддержания  $K_{1n}$  по данному поперечному ряду

$$K_{1n} = \frac{\sum S_1}{\sum S_2} = \frac{\sum S_1}{B_{12} \cdot L_n}$$

в) коэффициент поддержания  $K_{5n}$  по пяти поперечным рядам целиков

$$K_{5n} = \frac{\sum_{n-2}^{n+2} S_1}{\sum_{n-2}^{n+2} S_2} = \frac{\sum_{n-2}^{n+2} S_1}{\sum_{n-2}^{n+2} L_n B_{12}}$$

При составлении характеристик коэффициентов поддержания или условных мощностей откладывают значения  $k$  и  $C$  по вертикальной оси, а по горизонтальной оси соответствующую возрастающую длину  $L$  и порядковый номер полос поперечных рядов целиков.

Мощность  $H$  покрывающих пород для данного поперечного ряда целиков определяют по формуле

$$H = H' - (H'' + m),$$

где  $H'$  - отметка земной поверхности, м;  
 $H''$  - отметка подошвы сборного штрека, м;  
 $m$  - мощность пласта, м.

При обработке данных на ЭЦВМ группируется три массива: I - постоянные параметры для всего камерного блока, II - площади поперечного сечения целиков, III - постоянные параметры для данного поперечного ряда целиков.

Определение доверительного интервала для  
коэффициента поддержания при заданной надежности  
оценки

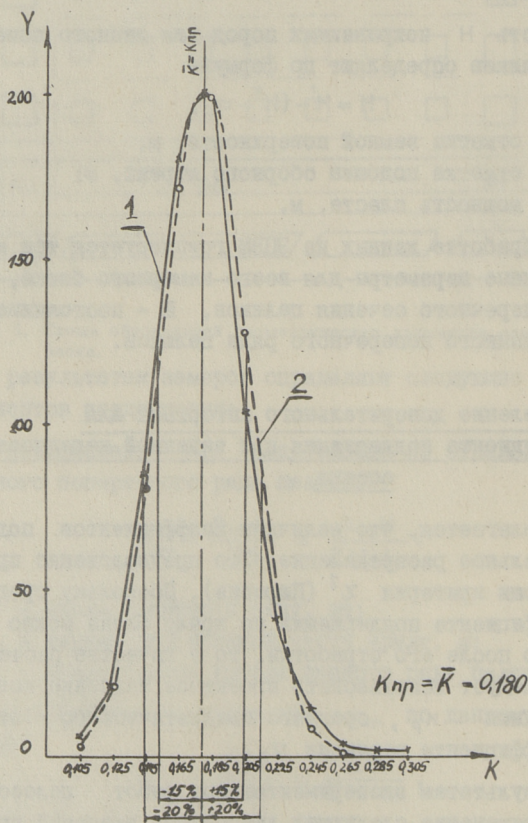
Предполагается, что величины коэффициентов поддержания имеют нормальное распределение. Это предположение проверяется при помощи критерия  $\chi^2$  (Пирсона). Поскольку среднее значение коэффициента поддержания по крылу блока можно определить только после его отработки, то в качестве расчетных параметров следует использовать проектное значение коэффициента поддержания  $k_p$ , среднего квадратического отклонения  $\sigma_p$  и коэффициента вариации  $v_p$ .

По результатам экспериментальных работ целесообразным является применение следующих диапазонов значений предельных коэффициентов вариации: по отдельным целикам  $v_{p0} = 10-13\%$ , по отдельным поперечным рядам целиков  $v_{p1} = 6-8\%$ , по пяти поперечным рядам целиков  $v_{p5} = 3-4\%$ . По предельным значе-

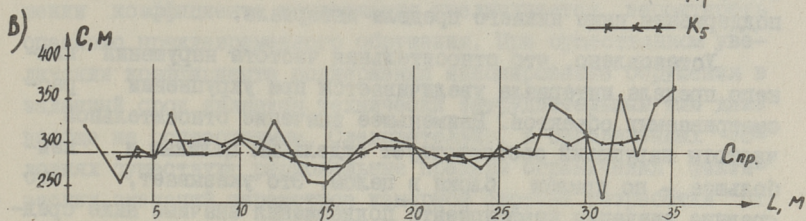
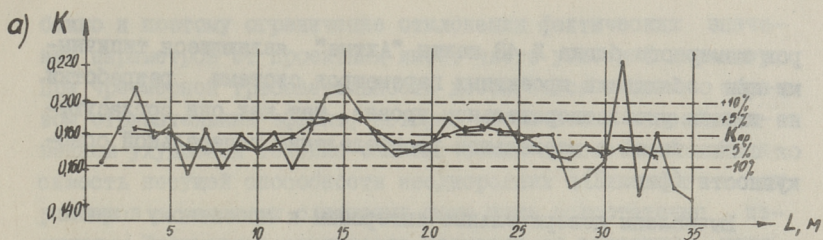
ниями среднего квадратического отклонения определяют доверительный интервал для коэффициентов поддержания при заданной надежности оценки

$$k_p - t \cdot \sigma_p < k < k_p + t \cdot \sigma_p.$$

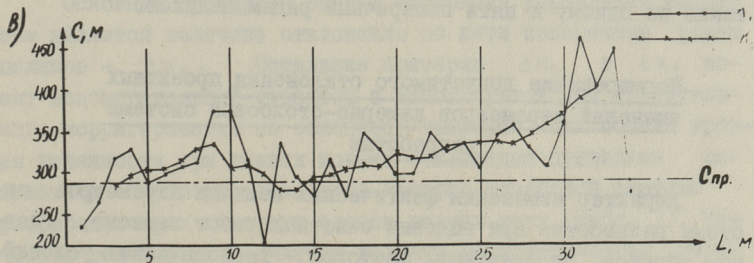
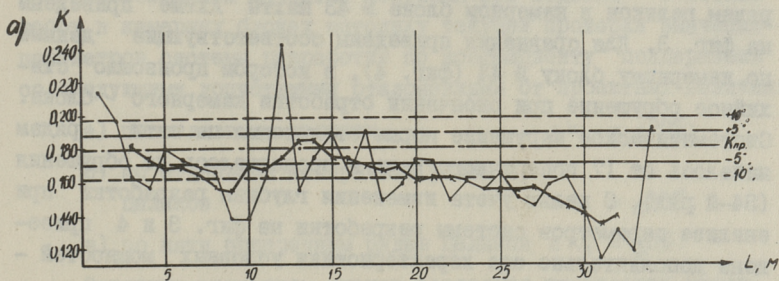
Проверка значимости различия между фактическими и проектными средними и среднеквадратическими отклонениями осуществляется по статистическим критериям. В качестве примера приведены результаты математической обработки парамет-



Фиг. 2. Кривые распределения коэффициентов  $k_0$  по отдельным целикам камерного блока шахты "Ахтме".  
1 - эмпирическая; 2 - теоретическая.



Фиг. 3. Характеристики коэффициентов поддержания (а) и условных мощностей (б) левого крыла камерного блока № 43 "Ахтме".



Фиг. 4. Характеристики коэффициентов поддержания (а) и условных мощностей (б) левого крыла камерного блока № 44 "Ахтме".

ров камерного блока № 43 шахты "Ахтме", являющиеся типичными при соблюдении проектных параметров системы разработки на вполне удовлетворительном уровне, так как они согласуются с гипотезой о нормальном распределении генеральной совокупности (фиг. 2).

Вычислены доверительные интервалы к проектному значению коэффициента поддержания заданной надежностью и определены, во сколько раз величины фактических коэффициентов поддержания ниже нижнего предела интервала.

Установлено, что относительная частота нарушений нижнего предела интервала увеличивается при укрупнении рассматриваемых объектов. Наименьшее значение относительной частоты нарушений соответствует отдельным целикам и наибольшее — по крылам блока в целом. Это указывает, что средние значения коэффициента поддержания значимо ниже средних и эта значимость увеличивается при укрупнении объектов наблюдений.

Доверительные интервалы по отдельным и пяти поперечным рядам целиков в камерном блоке № 43 шахты "Ахтме" приведены на фиг. 3. Для сравнения приведены соответствующие данные по камерному блоку № 44 (фиг. 4), в котором произошло стихийное обрушение при окончании отработки камерного блока. Систематическое нарушение нормы отклонения по пяти рядам началось от Г7 поперечного ряда и продолжалось до обрушения (34-й ряд). С целью учета изменения глубины разработки при анализе параметров системы разработки на фиг. 3 и 4 приведены дополнительно еще характеристики условных мощностей — также по одному и пяти поперечным рядам целиков.

#### Нормирование допустимого отклонения проектных значений параметров камерно-столбовой системы разработки

Характер изменения фактических величин параметров системы разработки при ведении очистных работ зависит, главным образом, от следующих факторов — геологических условий, специфики применяемой технологической схемы, культуры производства и качества маркшейдерской съемки. Отклонение фактических параметров системы разработки от расчетных неиз-



бежно и поэтому ограничение отклонения фактических значений параметров от проектных имеет чисто условный характер. При чрезмерной требовательности достигается главным образом отрицательный эффект, который заключается в необоснованном ухудшении технико-экономических показателей. Зависимость несущей способности неоднородных целиков от их размеров в условиях сланцевых шахт пока недостаточно изучена. Чрезмерное отклонение размеров от расчетных нарушает принцип управляемости массивом. При чрезмерном уменьшении коэффициента поддержания увеличивается вероятность опасного преждевременного обрушения. При существенном увеличении коэффициента поддержания инициирование обрушения в заданный срок является технически затруднительным или даже вообще не осуществимым. Следовательно, в определенных условиях существуют рациональные пределы ограничения фактических значений параметров камерной системы разработки от проектных.

На основе изложенных выше соображений и имеющихся результатов обработки технологических параметров предлагаем в целях повышения качества контроля при ведении очистных работ в камерных блоках методику текущей проверки значений параметров системы разработки по коэффициенту поддержания со следующими допустимыми отклонениями от проектных величин:

- а) по отдельным целикам  $\Delta k_c = \pm 20\%$ ;
- б) по отдельным поперечным рядам целиков  $\Delta k_1 = \pm 10\%$ ;
- в) по пяти поперечным рядам целиков  $\Delta k_5 = \pm 5\%$ .

Основным критерием оценки состояния управления массивом является величина отклонения по пяти поперечным рядам целиков —  $\Delta k_5$ . Остальные критерии  $\Delta k_0$  и  $\Delta k_1$  носят вспомогательный характер и используются для сознательного корректирования по основному критерию. Для оценки уровня надежности при данных нормах отклонения приведены результаты обработки параметров камерно-столбовой системы разработки трех камерных блоков разных шахт (табл. I). Качество реализации расчетных величин технологических параметров по экспертной оценке следующее:

- а) блок № 43 шахты "Ахтме" — хорошее;

б) блок № 202 шахты "Эстония" - удовлетворительное;

в) блок № 8I-ю шахты "Виру" - неудовлетворительное; так как в ходе отработки произошло стихийное обрушение покрывающей толщи.

В табл. I приведены четыре уровня надежности - 0,80, 0,85, 0,90 и 0,95. В камерном блоке № 43  $K_0$  колеблется от 12,8-19,6% < 20%, что соответствует надежности 0,95. При надежности 0,95  $\Delta K_1 = 10,9\%$ , т.е. превышает норму только на 9%. По пяти поперечным рядам целиков соответствует норма 5% надежности 0,80. При надежности 0,85  $\Delta K_5 = 5,6\%$  (12% больше нормы), при надежности 0,90  $\Delta K_5 = 6,3\%$  (превышение на 26%) и при надежности 0,95  $\Delta K_5 = 7,6\%$  (превышение на 52%). По приведенным данным видно, что для обеспечения надежности 0,90 по пяти рядам целиков надо было бы увеличить несколько норму, например, до 6%. Но мы предполагаем, что внедрение данной методики требует усвоения определенного опыта применения. При наличии опыта и явной обратной связи в виде текущего значения коэффициента поддержания  $\Delta K_5$  имеются предпосылки для существенного повышения качества соблюдения расчетных параметров системы разработки.

По камерному блоку № 202 ("Эстония")  $\Delta K_c$  соответствует надежности 0,90, а по отдельным поперечным рядам  $\Delta K_1$  ниже 0,80. По пяти рядам  $\Delta K_5$  практически равняется соответствующим значениям в зависимости от степени надежности в камерном блоке № 43 ("Ахтме"). Следовательно, на шахте "Эстония" необходимо особое внимание обратить на образование целиков в отдельных поперечных рядах.

По данным камерного блока № 8I ("Виру") можно только судить о том, каких предельных значений достигают отклонения коэффициентов при аварийной ситуации при обрушении в отработываемом камерном блоке. При надежности 0,90  $\Delta K_0$  превышал норму на 25%,  $\Delta K_1$  на 43% и  $\Delta K_5$  даже на 94%. Необходимо учесть, что на камерных блоках № 43 и 8I проектные параметры были определены обоснованно в зависимости от потребного срока поддержания. На шахте "Эстония" проектный коэффициент поддержания был явно превышен.

Отклонения коэффициентов поддержания при различной надежности

Шагв. камерный блок	Кoeffи- циент поддер- жания	P = 0,80		P = 0,85		P = 0,90		P = 0,95	
		I, 29σ	%	I, 44σ	%	I, 65σ	%	I, 96σ	%
"Ахтисе" № 43	Δ K <sub>0</sub>	0,018	12,8	0,026	14,4	0,030	16,5	0,035	19,6
	Δ K <sub>1</sub>	0,010	7,2	0,014	8,0	0,017	9,9	0,020	10,9
	Δ K <sub>5</sub>	0,007	5,0	0,010	5,6	0,012	6,3	0,014	7,6
"Эстония" № 202	Δ K <sub>0</sub>	0,032	15,8	0,036	17,6	0,041	20,2	0,048	23,9
	Δ K <sub>1</sub>	0,021	13,4	0,031	15,0	0,035	17,1	0,042	20,5
	Δ K <sub>5</sub>	0,008	5,1	0,012	5,7	0,013	6,5	0,016	7,8
"Вигу" № 81-Д	Δ K <sub>0</sub>	0,035	19,6	0,029	21,8	0,044	25,0	0,053	29,7
	Δ K <sub>1</sub>	0,020	11,2	0,022	12,4	0,026	14,3	0,030	17,0
	Δ K <sub>5</sub>	0,010	7,3	0,015	8,4	0,017	9,7	0,020	11,5

## З а к л ю ч е н и е

Данная методика проверки параметров камерно-столбовой системы разработки по коэффициенту поддержания:

а) характеризует динамически состояние соблюдения проектных значений параметров системы разработки в течение отработки всего камерного блока;

б) позволяет как качественно, так и количественно оценить величину и частоту нарушений установленных норм отклонения;

в) дает критерии, которые выполняют роль обратной связи для корректирования параметров при недопустимых отклонениях коэффициента поддержания по отдельным рядам целиков;

г) решает вопрос формальной проверки соответствия фактических величин параметров системы разработки к проектным, причем соответствие проектных параметров к местным горно-геологическим условиям проверяется систематически по характеристикам конвергенции.

Применение объективной текущей проверки параметров камерной системы разработки позволяет технологические потери горючих сланцев от существенного уровня 18-23% снизить до 14-16%.

В конечном счете улучшение качества текущей проверки соблюдения проектных значений параметров камерно-столбовой системы разработки создает необходимые предпосылки для обоснованного управления процессом обрушения толщи покрывающих пород.

## Л и т е р а т у р а

1. T a l v e, L. Versuche zur Senkung der Abbauverluste im Ölschieferbergbau der Estnischen SSR. - "Neue Bergbautechnik", Heft I, 1977.

Die Kontrolle der faktischen Parameter des  
Kammerpfeilerbruchbaus im Ölschieferbergbau  
der Estnischen SSR

Zusammenfassung

Die Leitbarkeit des Zustandes des Massivs der Deckschichten beim Kammerpfeilerbruchbau ist möglich unter der Bedingung, daß bei den Gewinnungsarbeiten die projektierten Systemparameter mit den zulässigen Abweichungen beachtet werden. Die gegebene Kontrollmethodik der faktischen Systemparameter des Kammerpfeilerbruchbaus, ausgearbeitet auf Grund des Stützungskoeffizienten, ermöglicht in Form der Rückbindung bei Bedarf die Durchführung der örtlichen Korrektur der Systemparameter. Die Abweichungen der faktischen Grössen der Systemparameter sind normiert. Ob die projektierten Parameter den örtlichen geologischen Bedingungen entsprechen, wird zusätzlich nach den Konvergenzcharakteristiken geprüft.



ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЦЕЛИКОВ И ОБНАЖЕНИЙ В  
ПЕСЧАНОЙ ШАХТЕ "ПИУЗА"

Геологические условия

Песчаные шахты "Пиуза" располагаются в юго-восточной части Эстонии около железнодорожной станции Пиуза. Шахтами разрабатывали верхнедевонские отложения песка мощностью 1,0-19,0 м (Гауйский горизонт). Мощность четвертичных отложений 0,5-2,5 м. В пределах исследованного шахтного поля бывшей шахты "Тарбеклаас" размерами 100 x 50 м, вскрытого штольней, вынимаемая мощность пласта колеблется от 4 до 6 м. Промышленный пласт песка состоит из отдельных пачек мощностью 0,5-0,8 м и залегает в основном под углом 10-20° в южном направлении. Монолитность пласта нарушена тектонической трещиноватостью и геологическим нарушением в виде открытой вертикальной трещины, доходящей до земной поверхности. Пески мало цементированы, в результате чего их временное сопротивление одноосному сжатию составляет в среднем 0,9 кгс/см<sup>2</sup>, а при трехосном сжатии временное сопротивление массива достигает до 200кгс/см<sup>2</sup> [1].

Оценка условий устойчивости целиков

При добыче песка применяли камерную систему разработки со столбчатыми целиками. Как продольные, так и поперечные камеры имели сводчатое поперечное сечение. Центральная продольная камера выполняла функцию штольни, которая разделила шахтное поле на левое и правое крылья. Площадь поперечного сечения целиков колебалась от 6,1 до 25,7 м<sup>2</sup>, их высота от 3,4 до 5,6 м (табл. I). Первая и вторая попереч-

## Параметры целиков

№ по- речно- го ряда	№ це- ли- ка	Расчет- ный пе- риметр, Р, м	Площадь поле- речного сечения, $S_1, м^2$	Площадь кровли над це- ликом, $S_2, м^2$	Кoeffи- циент поддер- жания, К	Высота целика, h, м	Гидрав- лический радиус, R, м	Мощность покрывай- ших пород, Н, м	Условная мощность, С, м	Среднее на- пряжение на сжатие, $\sigma, кгс/см^2$
I	2	10,8	6,4	24,5	0,262	4,7	0,65	5,5	20,9	3,55
I	I л	10,3	6,2	31,0	0,200	5,4	0,61	4,8	24,0	4,08
I	I п	10,1	6,1	30,4	0,201	5,6	0,61	4,6	23,0	3,91
2	3 л	15,1	13,4	54,6	0,260	4,3	0,98	6,3	24,2	4,12
2	2 л	12,5	8,7	42,3	0,206	4,3	0,70	7,1	34,6	5,88
2	I л	10,6	6,7	31,8	0,211	6,2	0,63	5,7	27,1	4,61
2	I п	10,1	6,5	36,1	0,180	4,8	0,67	7,3	40,7	6,92
2	2 п	11,8	7,2	38,3	0,188	3,7	0,64	8,6	45,8	7,79
3	2 л	21,1	25,7	74,0	0,348	3,4	1,23	9,8	28,1	4,78
3	I л	16,5	16,9	60,0	0,282	4,4	1,02	9,8	34,7	5,91
3	I п	12,9	10,3	48,4	0,213	4,2	0,78	9,7	45,6	7,77
4	I л	13,3	10,0	45,6	0,220	4,3	0,82	12,0	54,6	9,30
4	I п	10,6	7,4	40,0	0,185	4,0	0,71	11,8	63,8	10,80



Продолжение таблицы I

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	2 Л	13,2	11,1	49,5	0,265	4,5	0,87	10,8	40,8	6,94
5	1 Л	14,6	13,1	46,6	0,238	4,8	0,93	11,7	49,2	8,36
5	1 П	13,3	10,1	38,7	0,261	4,1	0,82	12,7	48,7	8,27
6	2 Л	11,0	7,8	42,3	0,185	4,3	0,74	11,5	62,2	10,60
6	1 Л	15,0	12,5	55,0	0,228	4,3	0,87	12,4	54,5	9,26
6	1 П	12,5	8,9	45,0	0,198	4,1	0,68	12,8	64,7	11,00
6	2 П	11,2	8,1	38,2	0,212	4,3	0,66	12,4	58,5	9,96
7	1 Л	15,6	14,2	55,6	0,256	4,2	0,92	12,6	49,2	8,36
7	1 П	15,7	15,2	58,0	0,262	4,5	0,98	12,6	48,2	8,18
9	1 Л	17,1	19,0	70,0	0,272	4,4	1,13	13,8	50,8	8,62

ные камеры имели среднюю ширину 2,58 м при высоте свода 5,44 м. Остальные поперечные камеры (III-X) имели среднюю ширину 3,55 м при высоте свода 4,11 м.

При оценке устойчивости системы целик-обнажение рассмотрим условия устойчивости целиков первичными и условия устойчивости обнажений вторичными. Основные факторы устойчивости целиков можно разделить на четыре группы: а) геологические, б) геометрические, в) нагрузочные и г) возрастные. Ниже рассматриваются условия устойчивости, поскольку они влияют на расчетный срок поддержания целиков. Дана оценка устойчивости по каждому целику по отдельным факторам.

При описании рассмотрены только те целики, которые по всему периметру отделены от массива. Всего целиков 23 и они располагаются в трех продольных и восьми поперечных рядах. Из геологических факторов наибольшее значение при уменьшении устойчивости имеют вертикальные и наклонные трещины, которыми особенно ослаблены целики 2-I л, 6-I л, 6-I п, 6-2 п, 7-I л, 5-I л и 7-I п. Остальные целики имеют обрушения небольшого объема. Форма целиков хорошо восстанавливается путем заглаживания поверхности. Большинство вертикальных трещин имеют азимут 100-110°. В результате этого обрушены в основном углы целиков С-В и Ю-З направления, особенно в верхней части целика.

Из геометрических факторов оценена устойчивость целиков в зависимости от формы поперечного сечения и стройности. При постоянной площади поперечного сечения устойчивость целика увеличивается по мере уменьшения периметра. Это условие можно учесть посредством гидравлического радиуса  $R$  из отношения

$$R = \frac{S_1}{P},$$

где  $S_1$  - площадь поперечного сечения целика, м<sup>2</sup>;  
 $P$  - периметр целика, м.

При подобных поперечных сечениях целиков гидравлический радиус  $R$  уменьшается по мере уменьшения площади их поперечного сечения. По данным табл. I по гидравлическому радиусу устойчивость целиков увеличивается в следующей последовательности, начиная от минимальной: I-I л - 0,61 м;

I-I п - 0,61 м; 2-I л - 0,63 м; 2-2 п - 0,64 м; I-2 л - 0,65 м; 6-2 п - 0,66 м; 2-I п - 0,67 м.

Влияние стройности целика на его устойчивость можно учесть на энергетическом принципе формулой [2]

$$W = \frac{S_1 \cdot h^2 \cdot \gamma}{2},$$

где  $W$  - энергетическая неустойчивость целика, кгс·м;  
 $h$  - высота целика, м;  
 $\gamma$  - объемная масса массива, кгс/м<sup>3</sup>.

Рассматриваемые целики можно по высоте разделить на две группы. По всему периметру являются высокими 4 целика (I-2 л, I-I л, I-I п, 2-I л), у которых средняя высота  $h_k = 5,48$  м. Остальные, т.е. "низкие" целики имеют среднюю высоту  $h_m = 4,26$  м. Так как энергетическая неустойчивость увеличивается прямо пропорционально квадрату высоты, следовательно, устойчивость "высоких" целиков уменьшается прямо пропорционально отношению квадратов высот, т.е.

$$\frac{h_k^2}{h_m^2} = \frac{5,48^2}{4,26^2} = 1,65 \text{ раза}$$

При стройности критическими параметрами являются площадь поперечного сечения  $S_1$  и высота  $h$  целика. Соответственно стройности целики по степени неустойчивости распределяются в следующей последовательности: I-I п, I-I л, I-2 л.

Нагрузочным параметром принимается среднее напряжение на минимальной площади поперечного сечения, которая располагается у различных целиков от подошвы выработок на высоте 0,2-I,4 м. Площадь  $S_2$  кровли, приходящаяся на данный целик, колеблется по данным табл. I 24,5-74,0 м<sup>2</sup> и соответственно площадь  $S_1$  поперечного сечения целиков 6,1-25,7 м<sup>2</sup>. Мощность  $N$  покрывающих пород минимальна у устья штольни, (4,6м) и увеличивается до четвертого поперечного ряда и дальше остается практически постоянной до восьмого ряда, колеблясь в пределах 10,8-12,8 м. Максимальное значение имеет  $N$  у девятого ряда, где  $N_{max} = 13,8$  м. Коэффициент поддержания  $k$  определяется по формуле [2]

$$k = \frac{S_1}{S_2}$$

и условная мощность  $C$  покрывающей толщи соответственно

$$C = \frac{H}{k}.$$

Среднее напряжение  $\sigma$  на сжатие в целиках определено формулой

$$\sigma = 0,1 \cdot C \cdot \gamma, \text{ кгс/см}^2,$$

где  $\gamma = 1700 \text{ кгс/м}^3$  - объемная масса песка.

По приведенным данным коэффициент поддержания колеблется в пределах 0,180-0,348 и условная мощность 20,9 - 64,7 м. Для сравнения в бывшей сланцевой шахте Кява-2 при мощности  $H$  покрывающих пород 15 м коэффициент  $k$  равнялся 0,140 и соответственно условная мощность  $C$  107 м.

Критерием напряженного состояния целиков принято напряжение  $\sigma$  на сжатие. Предполагая, что покрывающая толща нагружает целики по всей высоте, изменяется напряжение  $\sigma$  у первых трех рядов целиков от 3,55-7,79 кгс/см<sup>2</sup> и у остальных рядов колеблется в пределах 6,93-11,0 кгс/см<sup>2</sup>. Степень нагруженности целиков возрастает в следующей последовательности: 6-1 п - 11,0 кгс/см<sup>2</sup>, 4-1 п - 10,8 кгс/см<sup>2</sup>, 6-2 л - 10,6 кгс/см<sup>2</sup>, 6-2 п - 9,96 кгс/см<sup>2</sup>, 4-1 л - 9,30 кгс/см<sup>2</sup>, 6-1 л - 9,25 кгс/см<sup>2</sup>.

В целях комплексной оценки относительной устойчивости целиков составлены табл. 2 и 3. В табл. 2 приведены ряды напряжения по четырем факторам и в таблице 3 ряд целиков в результате совместного влияния факторов. У первых двух целиков учтены одновременно по три, у остальных по два фактора.

По табл. 2 и 3 можно сделать следующие выводы:

- а) наиболее нагруженными являются все целики четвертого и шестого поперечных рядов. При этом в шестом ряду находятся 3 целика, которые максимально ослаблены трещинами;
- б) наиболее стройные целики располагаются в районе устья штольни, но они не нагружены максимально.

Состояние целиков четвертого ряда относительно хорошее. В условиях длительной эксплуатации горных выработок

в качестве хранилища следует периодически наблюдать за изменением состояния всех целиков, обращая особое внимание на целики, приведенные в табл. 3.

Т а б л и ц а 2

Ряды относительной устойчивости целиков

Тектоническая трещиноватость	Гидравлический радиус, R, м	Стройность	Напряжение на сжатие $\sigma$ , кгс/см <sup>2</sup>
2 - I л	I - I л	2 - I л	6 - I п
6 - I л	I - I п	I - I п	4 - I п
6 - I п	2 - I л	I - I л	6 - 2 л
6 - 2 п	2 - 2 п	I - 2 л	6 - 2 п
7 - I л	I - 2 л	5 - I л	4 - I л
5 - I л	6 - 2 п	7 - I п	6 - I л

Т а б л и ц а 3

Ряд совместной относительной устойчивости целиков

Шифр целика	Факторы, уменьшающие расчетный возраст целиков
2-I л	трещиноватость, гидравлический радиус, стройность
6-2 п	трещиноватость, гидравлический радиус, стройность
I-I л	гидравлический радиус, стройность
I-I п	гидравлический радиус, стройность
2-I п	гидравлический радиус, стройность
6-I п	трещиноватость, напряжение на сжатие
6-I л	трещиноватость, напряжение на сжатие
I-2 л	гидравлический радиус, стройность
5-I л	трещиноватость, гидравлический радиус

#### Оценка устойчивости обнажений

Состояние устойчивости обнажений можно наиболее объективно оценить на основе наблюдений, проведенных в горных выработках. Обнажения можно разделить по их расположению на три группы - подошва, стенки и потолочина. Высотой стенок считаем условно  $2/3$  высоты свода камер. На основе принятого принципа деления поверхностей состояние подошвы и контурных стенок хорошее. В наиболее трудных условиях является по-

толочина, которая подвергается действию следующих факторов:

а) пересечение плоскостей тектонических трещин геометрическими плоскостями горных выработок, б) концентрация напряжений в области замка свода, в) наличие горизонтальных глинистых прослойкой.

Факторы первой группы вызывают деформацию формы свода, в первую очередь, самых верхних углов целиков. Объем таких обрушений ограничен и форма целика хорошо восстанавливается путем сглаживания поверхности потолочин. Состояние потолочины ухудшается, если тектоническая трещина направлена вдоль камеры, особенно при наличии двух или трех параллельных трещин, например, обрушение у целика 7-1 л. Обрушения от продольных трещин можно тоже отремонтировать путем сглаживания, но объем отдельных обрушений уже существенно увеличивается. В целях некоторого восстановления формы свода необходимо кроме сглаживания поверхности при- менять дополнительно торкретбетон.

Обрушение второго типа в районе замка сводов имеют ограниченные объемы. Эти обрушения располагаются вдоль камер, особенно в местах пересечения камер. Формы целиков при этом легко восстанавливаются.

Глинистые прослойки, в основном горизонтальные или полные, обуславливают концентрацию влаги над прослойками, в результате чего по этим прослойкам происходят обрушения в районе замка свода. Эти обрушения имеют плоскую поверхность коричневого цвета. Обрушения данного типа имеют ограниченные площади и поэтому форма целиков легко восстанавливается путем сглаживания на поверхности.

Наиболее сложными являются очаги обрушения комбинированного происхождения. Например, в конце восьмой поперечной камеры правого крыла имеется сложное обрушение большого объема (более  $10 \text{ м}^3$ ), такое обрушение целесообразно изолировать путем выкладки кирпичных стенок.

Часть потолочин (25-30%) сохранилась в очень хорошем состоянии благодаря отсутствию в этих районах как тектонических трещин, так и глинистых прослойков.

## З а к л ю ч е н и е

Благодаря наличию сводчатой формы камер в песчаной шахте потолочины имеют сравнительно высокую степень естественной устойчивости, которая ослаблена главным образом отдельными и параллельными тектоническими трещинами. Общее состояние и прогноз сохранения устойчивости потолочин хорошие.

При оценке устойчивости целиков применяли комплексную относительную методику, при которой учитываемыми факторами являлись геологические, геометрические, нагрузочные и возрастные. При оценке учитывается состояние каждого целика. Основным фактором, снижающим устойчивость целиков, является также тектоническая трещиноватость.

Прогноз использования горных выработок песчаной шахты в качестве хранилищ положительный при обеспечении сохранности естественной устойчивости целиков и потолочин в ходе эксплуатации хранилищ. В качестве искусственных мероприятий рекомендуется: армированный торкретбетон для защиты целиков, торкретбетон для ремонта обнажений, нарушенных тектоническими трещинами и покрытие обнажений цементным молоком в качестве индикатора при контроле состояния выработок.

## Л и т е р а т у р а

1. А р у к ю л а Х.Х. Определение физико-механических свойств песчаника из месторождения Пиуза. См. наст. сб., с. 9.

2. Т а л в е Л.Г. Управление обрушением при камерной выемке по характеристикам конвергенции. - "Тр. Таллинск. политехн. ин-та", 1974, № 368, с. 37.

Die Wertung der Standfestigkeit der Pfeiler und  
der Firste in der Sandgrube "Piusa"

Zusammenfassung

Die Hohlräume der alten Gruben kann man im Interesse der Staatswirtschaft brauchen unter der Bedingung, daß die Standfestigkeit der Pfeiler und Firste während der erforderlichen Standdauer des unterirdischen Bauobjekts gesichert ist. In der Sandgrube "Piusa" haben die Kammern gewölbeartige Querschnittflächen, wodurch auch die entsprechende Form der Pfeiler bedingt ist. Im Artikel ist die allseitige Wertung der Standfestigkeit jeden Pfeilers auf Grund der tektonischen Rissigkeit, der Schlankheit, der Form der Querschnittfläche und der Belastungsbedingungen angeführt.

Der Zustand der Firste wird auf Grund der tektonischen Rissigkeit und des Vorhandenseins der horizontalen lehmhaltigen Schichten bewertet. Der Zustand der Pfeiler und der Firste ist meistens zufriedenstellend und entsprechend ist die Anwendung der Hohlräume als Aufbewahrungsstelle positiv.



УДК 624.193

А.Х.Рейер, Л.Г.Талве,  
Х.Х.Арукюла

О ВОЗМОЖНОСТЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫРАБОТОК  
ПЕСЧАНОЙ ШАХТЫ ПОД ОБОЩЕХРАНИЛИЩА

Бывшая песчаная шахта "Пиуза" (б. "Тарбеклаас") – одна из групп подземных выработок месторождения Пиуза, находится в Пылваском районе вблизи железнодорожной станции Пиуза на линии Валга–Псков. Сводчатые подземные выработки – камеры бывшей шахты хорошо сохранились и являются практически сухими, поэтому их можно использовать для хранения разных пищевых продуктов, в первую очередь, картофеля. Авторами данной статьи с участием вспомогательного персонала кафедры горного дела ТПИ и студентов были проведены работы по исследованию условий приспособления старой песчаной шахты в качестве подземного хранилища.

На основе маркшейдерско-геодезической съемки был составлен план шахты, были проведены геологические и гидро-геологические исследования шахтного поля, исследованы физико-механические свойства пород и оценена устойчивость целиков и обнажений, а также был исследован микроклимат в подземных выработках как в естественных условиях, так и при использовании принудительной вентиляции.

Горными выработками шахты вскрыта нижняя часть гауйского горизонта верхнего девона, представленная светлосерыми и белыми мелкозернистыми (до 90% фракции 0,1 до 0,5 мм) слабосцементированными песчаниками. Песчаники пронизаны редкой сетью красноватых прослоек. Красные прослойки пересекают песчаники обычно в наклонном направлении под углом от 10° до 70° к югу или юго-западу. В песчаниках встречаются отдельные вертикальные тектонические трещины, заполненные песчано-глинистым материалом.

По данным четырех скважин, пробуренных для выявления гидрогеологических условий в пределах шахтного поля, здесь наблюдаются два горизонта подземных вод. Верхний горизонт временный и связан с перекрывающими гауьский горизонт моченинами. Воды этого горизонта ввиду экранярующлх свойств верхней части гауьского горизонта в горные выработки не проникают. Нижний горизонт подземных вод связан с низами гауьского горизонта и уровень их ниже уровня почвы горных выработок в среднем на 7 м. Учлтывая данные режимных исследований, согласно которым амплитуда колебания уровня вод нижнего горизонта составляет 2-3 м, воды в горные выработки не проникают.

#### Флзико-механические свойства песчаника

Для изучения флзико-механических свойств пород шахты была использована полевая лаборатория и стандартная методика. Образцы были взяты из выработок в 15 точках, а в каждой точке по всей высоте выработки.

Были определены следующие показатели:

Объемная масса песчаника стабильная -  $1,70 \text{ г/см}^3$ . Естественная влажность в среднем 4,4%, но колеблется в сравнительно широких пределах - от 0,5 до 16,8%. Повышенная влажность характерна для образцов, взятых вблизи тектонических трещин, что свидетельствует о проникновении влаги в песчаник по трещинам из более высоких горизонтов.

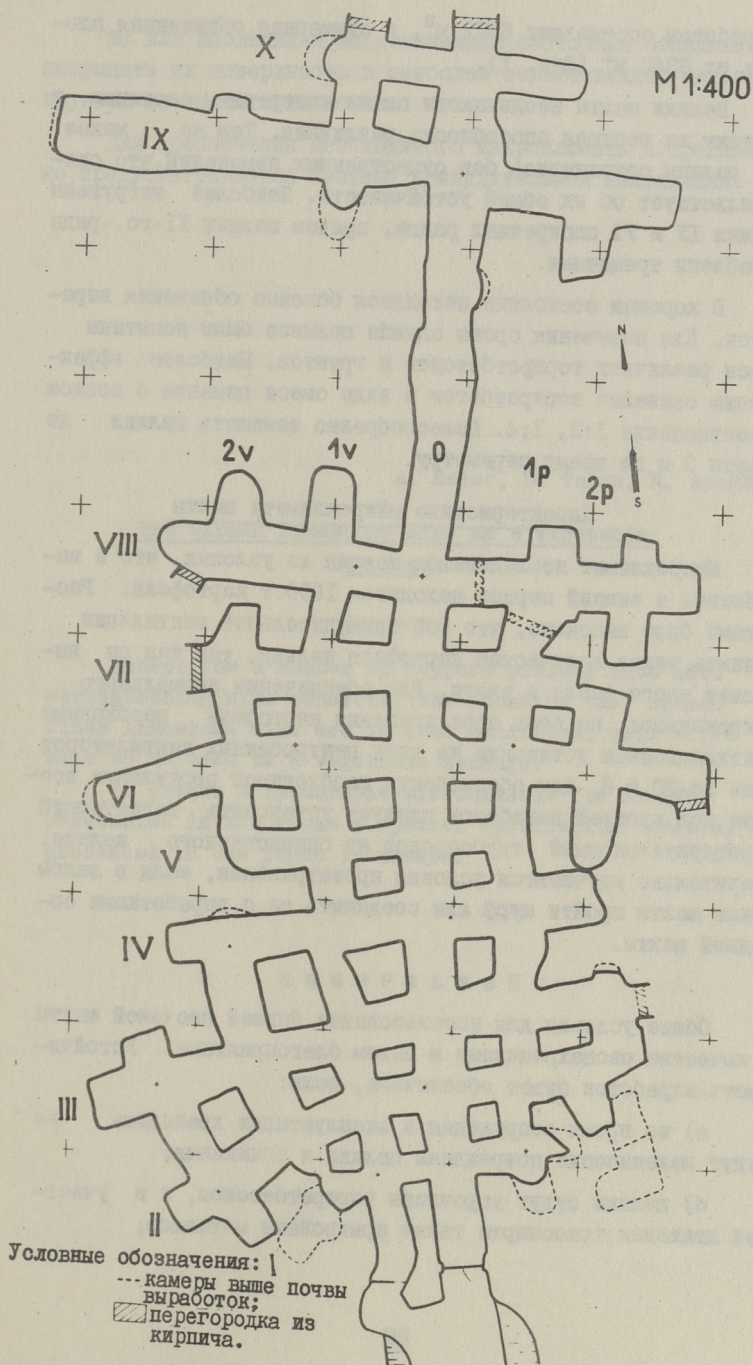
Предел прочности был определен в массиве при помощи прибора английской фирмы "Бейлск". Прочность на сжатие песчаников  $\sigma = 30$  до  $50 \text{ кг/см}^2$ .

Сопротивление сдвигу песчаников колеблется от 0,13 до  $0,50 \text{ кг/см}^2$ .

Коэффициент фильтрации песчаников находится в пределах от 1 до 3 м/сутки.

#### Оценка устойчивости целиков и обнажений

Полезная площадь всех выработок шахты  $1825 \text{ м}^2$ , из них под подъездные пути необходимо оставить  $325 \text{ м}^2$ . Следовательно, полезная площадь шахты, которую можно использовать под хранилище, составляет  $1500 \text{ м}^2$ . Кубатура всех горных



Фиг. 1. План горных выработок песчаной шахты "Пиуза".

выработок составляет 6372 м<sup>3</sup>, а суммарная обнаженная площадь их 6340 м<sup>2</sup> (фиг. I).

Целики шахты неодинаковы по их поперечным сечениям и поэтому их несущая способность различная. Тем не менее, все целики сохранились без существенных изменений, что свидетельствует об их общей устойчивости. Наиболее нагружены целики IV и VI поперечных рядов, причем целики VI-го ряда ослаблены трещинами.

В хорошем состоянии находятся боковые обнажения выработок. Для повышения срока службы целиков были испытаны смеси различных торкретбетонов и грунтов. Наиболее эффективным оказался торкретбетон в виде смеси цемента с песком в соотношении 1:3, 1:4. Целесообразно защищать целики до высоты 3 м по всему периметру.

#### Характеристика микроклимата шахты

Микроклимат исследовался исходя из условия, что в выработках в зимний период находится 1000 т картофеля. Расчетами было выяснено, что без принудительной вентиляции хранить такое количество картофеля нельзя, так как он выделяет много тепла и влаги. Для обеспечения нормального микроклимата на весь срок хранения картофеля необходима вентиляционная установка из двух центробежных вентиляторов типа Ц4-70 № 8. Для обеспечения необходимой циркуляции воздуха под кровлей выработок следует установить нагнетающий и рециркуляционный трубопровод из оцинкованного железа. Значительно улучшатся условия проветривания, если в левом крыле шахты пройти шурф или соединить ее с выработками соседней шахты.

#### **З а к л ю ч е н и е**

Общие условия для использования бывшей песчаной шахты в качестве овощехранилища в целом благоприятные. Устойчивость выработок будет обеспечена, если:

- а) во время сооружения и эксплуатации хранилища не будут механически повреждены целики и обнажения;
- б) целики будут упрочнены торкретбетоном, а в участках движения транспорта также армированы металлом;

в) для наблюдения за изменением состояния обнажений покрывать их поверхность в наиболее ответственных местах грунтом из цементного молока.

Для обеспечения необходимого микроклимата в хранилище предусматривается система принудительной вентиляции.

A. Reier, L. Talve, H. Aruküla

The Closed Limestone Mine as a Vegetable  
Storage

**Summary**

Except for a number of support pillars that need strengthening with concrete, the rooms of the closed Piusa limestone mine are in good condition, well suitable to be used as a vegetable storage.

To ensure a favourable microclimate for storing vegetables in the rooms a special ventilation system, presented in the paper is needed.



УДК 622:62I.3I6

В.Х.Лаурингсон, Ю.Ю.Валтин

О КРИТЕРИЯХ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ  
ПЕРЕДВИЖНЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ  
НА СЛАНЦЕВЫХ ШАХТАХ ЭСТОНИИ

В настоящее время электроснабжение добычных участков (камерных блоков) на сланцевых шахтах Эстонской ССР осуществляется в основном через скважины от комплектных трансформаторных подстанций благодаря неглубокому залеганию пластов (30–60 м). Но эта система обладает рядом определенных недостатков:

1) пониженное напряжение на зажимах двигателей вследствие большой длины кабелей (особенно при пуске мощных электродвигателей врубмаши и комбайнов);

2) большой расход электроэнергии на нагревание магистрального кабеля;

3) большой расход проводниковой меди ввиду большого сечения магистральных кабелей.

В связи с этим представляет определенный интерес, какая выгода может быть получена на эстонских сланцевых шахтах от применения передвижных трансформаторных подстанций, широко внедряемых сейчас на угольных и рудных шахтах. Пока эта проблема в условиях нашего сланцевого бассейна недостаточно изучена.

В данной статье рассматриваются два вопроса участкового электроснабжения:

I. По приведенным годовым затратам проводится сравнение схем электроснабжения с поверхностной комплектной трансформаторной подстанцией и подземной передвижной трансформаторной подстанцией.

2. По условиям экономичности определяется оптимальный шаг передвижки участковой трансформаторной подстанции любого типа.

### Сравнение вариантов участкового электроснабжения

Сравнение вариантов делается на участке от точки под-соединения участковой сети к высоковольтной линии до рас-пределительного пункта РШ-0,66 очистного забоя (фиг. 1).

Приведенные годовые затраты

$$S = S_{\tau} + S_{об} + S_{\phi} + S_{э} + S_{п}, \quad (I)$$

где  $S_{\tau}$ ,  $S_{об}$ ,  $S_{\phi}$ ,  $S_{п}$  - годовые затраты соответственно на трансформаторную подстанцию, электрооборудование, фидерные кабели (высоковольтный и низко-вольтный), перемещение транс-форматорной подстанции, руб.;

$S_{э}$  - стоимость годовых потерь электроэнергии в фи-дерном кабеле н.н., руб.

При сравнении вариантов все необходимые стоимостные и горнотехнические параметры приняты для условий шахты "Ахтме" (их можно принять за средние для п/о "Эстонсланец").

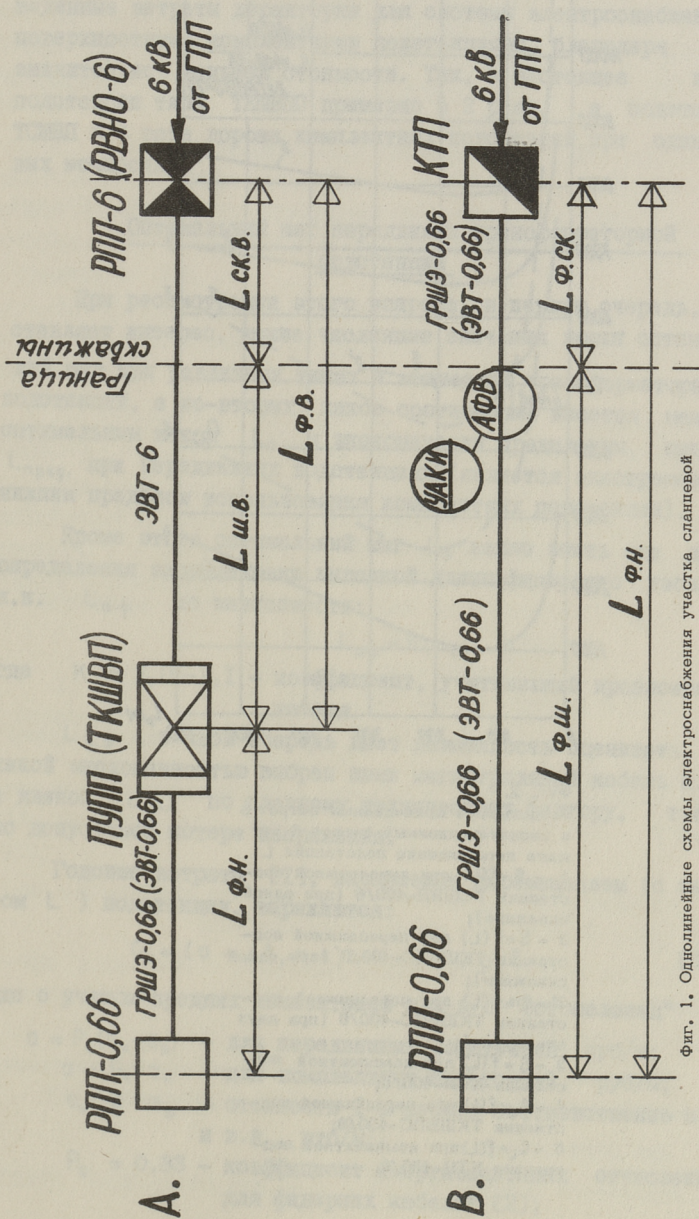
Примерные стоимостные графики при мощности 400 кВА да-ны на фиг. 2.

По анализу приведенных годовых затрат различных систем участкового электроснабжения можно сделать следующие выво-ды:

1) при питании через одну скважину передвижные транс-форматорные подстанции типа ТКШВИС (ТКШВП) в диапазоне мо-щностей 160-400 кВА имеют предельный экономический шаг пе-редвижки  $L_{прег.}$  соответственно от 90 до 60 м, а под-станции типа ТСШВП, благодаря их большей стоимости, имеют этот шаг соответственно от 60 до 40 м;

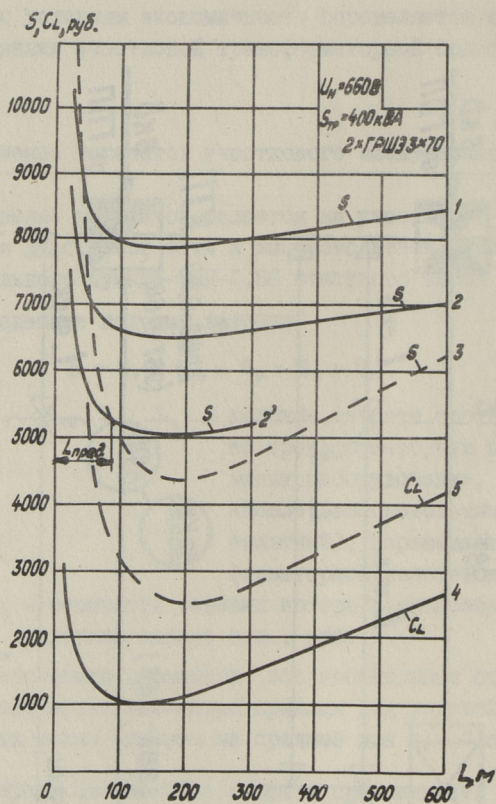
2) при наличии двух скважин электроснабжения (при этом первоначальная длина кабеля 6 кВ в 2 раза меньше) предель-ный экономичный шаг передвижки  $L_{прег.}$  увеличивается в 1,5 раза;





Фиг. 1. Однолинейные схемы электроснабжения участка сланцевой шахты:

А - при использовании подземной передвижной трансформаторной подстанции (ПУПП),  
 Б - при использовании поверхностной комплектной трансформаторной подстанции (КТП).



Фиг. 2.

Зависимости приведенных затрат  $S$  и эксплуатационных затрат  $C_L$  от шага перемещения подстанции  $L$ :

- 1 -  $S = f(L)$  при передвижной подстанции ТСШВП-400/6 (при одной скважине);
- 2 -  $S = f(L)$  при передвижной подстанции ТКШВПС-400/6 (при одной скважине);
- 2' -  $S = f(L)$  при передвижной подстанции ТКШВПС-400/6 (при двух скважинах);
- 3 -  $S = f(L)$  при комплектной подстанции КТП-400/6;
- 4 -  $C_L = f(L)$  при передвижной подстанции ТКШВПС-400/6;
- 5 -  $C_L = f(L)$  при комплектной подстанции КТП-400/6.

3) при всех мощностях трансформаторов наименьшие приведенные затраты характерны для системы электроснабжения с поверхностными комплектными подстанциями, благодаря их значительно меньшей стоимости. Так, в настоящее время подстанции типа ТКШВПС примерно в 2 раза, а подстанции ТСШВП в 4 раза дороже комплектных подстанций при одинаковых мощностях.

### Оптимальный шаг передвижки трансформаторной подстанции

При рассмотрении этого вопроса, в первую очередь, представляет интерес, какие численные значения имеют оптимальный шаг при различных типах и мощностях трансформаторных подстанций, а во-вторых, какое соотношение имеется между оптимальным шагом  $L_0$  и экономически предельным шагом  $L_{прег}$  при передвижных подстанциях (является одновременно нижним пределом использования комплектных подстанций).

Кроме этого оптимальный шаг  $L_0$  важно знать еще для определения экономически выгодной длины фидерного кабеля н.н.  $L_{0.ф}$  по зависимости:

$$L_{0.ф} = K \cdot L_0,$$

где  $K = 1,05 - 1,1$  - коэффициент, учитывающий провисание кабеля.

$L_{0.ф}$  в свою очередь дает возможность оценивать, с какой экономичностью выбран нами магистральный кабель н.н. с длиной  $L_{ф.н}$  по главному техническому фактору, т.е. по допустимой потере напряжения.

Годовые затраты  $[I]$ , вызываемые перемещением (с шагом  $L$ ) подстанции, выражаются:

$$C_L = (a + \Delta A_r \cdot \alpha \cdot c) \cdot L \cdot K + B \frac{L'}{L}, \text{ руб.} \quad (2)$$

где с учетом средних показателей для п/о "Эстонсланец"

- $a = P_a(a_n - a_b)$  - для передвижных подстанций, руб/м;
- $a = P_a \cdot a_n$  - для комплектных подстанций, руб/м;
- $a_n$  и  $a_b$  - стоимость 1 м кабеля соответственно н.н. и в.н., руб/м;
- $P_a = 0,33$  - коэффициент амортизационных отчислений для фидерных кабелей [2];

- с - фактическая стоимость 1 кВт.ч электроэнергии с учетом основной и дополнительной платы,  $c = 0,018$  руб/кВт.ч;
- $\alpha = 0,75$  - коэффициент, учитывающий характер использования максимальной длины фидерного кабеля;
- B - повторные затраты при перемещении подстанции;  $B = 100$  руб. (при передвижных трансформаторных подстанциях);  $B = 430$  руб. (при комплектных трансформаторных подстанциях);
- $L'$  - годовое подвигание забоя,  $L' = 600$  м;
- $\Delta A_r$  - годовые потери электроэнергии в 1 м фидерного кабеля н.н., которые определяют:

$$\Delta A_r = 3J_{\phi}^2 \frac{T_{\max}}{q \cdot S_{\phi \cdot n}} \cdot 10^{-3}, \frac{\text{кВт.ч}}{\text{м.год}}, \quad (3)$$

- где  $J_{\phi}$  - максимальный ток в фидерном кабеле н.н., который можно принимать  $J_{\phi} = J_{\text{тр.н}}$ , А;
- $J_{\text{тр.н}}$  - номинальный ток участкового трансформатора;
- $T_{\max}$  - годовое число часов использования максимума нагрузки,  $T_{\max} = 4000$  ч;
- $q$  - проводимость меди,  $q = 50$  См;
- $S_{\phi \cdot n}$  - сечение кабеля н.н., мм<sup>2</sup>.

Следовательно, оптимальный шаг по минимальным годовым затратам выражается:

$$L_0 = \sqrt{\frac{L' \cdot B}{(a + \Delta A_r \cdot \alpha \cdot c) K}}, \text{ м.} \quad (4)$$

Исследование выражения (3) и графиков приведенных затрат (фиг. 2) приводит к следующим выводам:

I. При передвижных трансформаторных подстанциях предельный экономический шаг  $L_{\text{прег.}}$  всегда меньше оптимального шага передвижки  $L_0$ .

Соотношение  $\frac{L_0}{L_{\text{прег.}}}$  при одной скважине электроснабжения: для подстанций ТКШВПС (ТКШВП) - 2; для подстанций ТСШВП - 3.

При двух скважинах  $\frac{L_0}{L_{\text{прег.}}}$ : для подстанций ТКШВПС (ТКШВП) - 1,5; для подстанций ТСШВП - 2.

2. Так как допустимы колебания оптимального шага в ту или другую сторону до 100 м [1], то можно в существующих условиях принять за оптимальный шаг  $L_{\text{прег}}$ . При этом приведенные годовые затраты получаются на 3–5% больше, чем они были бы при  $L_0$ .

3. Как показывает анализ уравнения (4), для передвижных подстанций наименьшее влияние на величину  $L_0$  оказывает стоимость кабеля. Поэтому в приближенном определении  $L_0$  можно принять  $\alpha = 0$ . При этом получается разница в результатах в среднем на 20%.

4. При комплектных трансформаторных подстанциях значения  $L_0$ , полученные по формуле (4) и по графику приведенных затрат (фиг. 2), практически равны.

5. Предельный экономичный шаг  $L_{\text{прег}}$  нужно принять критерием использования типа трансформаторной подстанции.

При всех длинах магистрального кабеля  $L_{\text{ф.н}} \leq 1,05 L_{\text{прег}}$  экономично использовать передвижные трансформаторные подстанции, а в остальных случаях – комплектные трансформаторные подстанции.

#### Л и т е р а т у р а

1. С е л и щ е в А.Н. Шахтные сухие трансформаторы и передвижные подстанции. М., "Недра", 1968.

2. М у р а в ь е в В.П., П а в л о в с к и й А.А. Мощность трансформаторных подстанций механизированных забоев угольных шахт. Изд-во вузов. "Горный журнал" № 6, 1972.

V. Lauringson, J. Valtin

On Usage Criteria of Transportable Transformer  
Substations in Estonian Oil Shale Mines

Summary

The paper presents economical parameters concerning the effectiveness of usage of transportable transformer substations compared with the above-ground portable substations in the system of a division electricity supply.

The authors of the paper propose an optimum solution to guarantee the minimum cost for the transportation of the transformer substation.

Л.А.Плещанский, В.Г.Белицкий

ДОПУСТИМАЯ НАГРУЗКА МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ  
В УСЛОВИЯХ МЕТРОСТРОЕНИЯ

Суточный график нагрузки трансформаторных подстанций стройплощадок метрополитенов, как показали исследования, не имеет явно выраженных максимума и минимума. Отклонение нагрузки от ее средней величины носит случайный характер. В связи с этим представляется целесообразным нагрузочную способность трансформаторов определять статистическим методом.

Исходя из нормального закона распределения нагрузок, можно получить выражение для определения величины вероятного значения нагрузки длительностью  $T$

$$S_T = \bar{S} \pm \mu \sigma_T, \quad (1)$$

где  $\bar{S}$  - среднемесячная нагрузка трансформатора, кВА;  
 $\mu \sigma_T$  - рассеяние средних нагрузок длительностью  $T$ .

Или в относительных единицах:

$$k_T = \bar{k}_n \pm \mu \bar{\varepsilon}_T, \quad (2)$$

где  $\bar{k}_n = \frac{\bar{S}}{S_n}$  - коэффициент нагрузки трансформатора;  
 $\bar{\varepsilon}_T = \frac{\sigma_T}{S_n}$  - коэффициент изменчивости нагрузок длительности  $T$ .

Согласно [1], постоянная времени обмоток колеблется в пределах  $T_O = 4-7$  мин., а постоянная времени масла равна  $T_O = 2-4$  часа. Установившийся нагрев от данной неизменной нагрузки при этом наступает через время  $t = 4,6 \cdot T_O$ .

Таким образом, установившийся перегрев обмотки над маслом наступает через 20-30 мин., а установившийся перегрев масла над охлаждающей средой спустя 10-18 часов от начала воздействия данной нагрузки.

В [2] продолжительность расчетного максимума принимается равной 30 мин. Исходя из этого и задаваясь некоторым резервом, в дальнейших расчетах принимаем  $t_{\text{обм.}} = 30$  мин,  $t_{\text{м.в.}} = 540$  мин.

Таким образом, режим нагрева трансформатора будет определяться:

а) нагревом обмоток относительными нагрузками 30-минутной продолжительности

$$K_{\text{обм.}} = \bar{K}_H \pm \mu \bar{\epsilon}_{30}; \quad (3)$$

б) нагревом масла относительными нагрузками 9-часовой продолжительности

$$K_{\text{м.в.}} = \bar{K}_H \pm \mu \bar{\epsilon}_{540}. \quad (4)$$

Перегрев обмотки над маслом при нагрузке, отличной от номинальной, можно определить [1]

$$\tau = \theta_{\text{об.у.н.}} \cdot K_{\text{обм.}}^{1,72}, \quad (5)$$

где  $\theta_{\text{об.у.н.}} = 25^\circ\text{C}$  - установившийся перегрев обмотки над маслом при номинальной нагрузке.

Перегрев масла над охлаждающей средой [1]

$$\theta = \theta_{\text{м.в.у.н.}} \left( \frac{1 + \alpha \cdot K_{\text{м.в.}}^2}{1 + \alpha} \right)^{0,8}, \quad (6)$$

где  $\theta_{\text{м.в.у.н.}} = 60^\circ\text{C}$  - установившийся перегрев масла над охлаждающей средой при номинальной нагрузке;

$\alpha = \frac{\Delta P_{\text{к.з.}}}{\Delta P_{\text{х.х.}}}$  - отношение потерь короткого замыкания к потерям холостого хода.

Согласно шестиградусному правилу старения изоляции, выражение определения относительного износа обмотки трансформатора примет вид

$$\begin{aligned} Z_{\text{ил}} &= \varphi(K_{\text{обм.}})_i \cdot \varphi(K_{\text{м.в.}})_l \cdot e^{0,115(\theta_{\text{ил}} - 85)} = \\ &= \varphi(K_{\text{обм.}})_i \cdot e^{0,115(\tau_i - 25)} \cdot \varphi(K_{\text{м.в.}})_l \cdot e^{0,115(\theta_l - 60)}, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $\varphi(K_{\text{обм.}})$  - функция плотности распределения получасовых нагрузок;

$\varphi(K_{\text{м.в.}})$  - функция плотности распределения девятичасовых нагрузок;



$\theta_{iL}$  - перегрев обмотки над охлаждающей средой от совместного воздействия получасовой нагрузки  $\tau_i$  и девятичасовой нагрузки  $\theta_{Li}$ ;

0,115 - коэффициент, учитывающий удвоение скорости старения изоляции при отклонении температуры обмотки на  $6^{\circ}\text{C}$  от номинальной.

Окончательное выражение определения суммарного относительного износа изоляции всего спектра нормально распределенной нагрузки примет вид

$$z = \sum z_{\tau_i} \sum z_{\theta_{Li}}. \quad (8)$$

где  $\sum z_{\tau_i}$  - парциальный износ, вызванный перегревом обмотки над маслом;

$\sum z_{\theta_{Li}}$  - парциальный износ, вызванный перегревом масла над охлаждающей средой.

Задаваясь краткостью меры рассеяния от минус трех до плюс трех, можно получить практически полный спектр частных значений нагрузок и вызванный ими износ изоляции.

Как показали исследования, электрические нагрузки КТП идентичных стройплощадок характеризуются устойчивыми значениями коэффициентов вариации

$$\sigma_{30*} = \frac{\sigma_{30}}{\bar{S}}. \quad (9)$$

Т а б л и ц а I

Параметр	Стационарные тоннели		Перегонные тоннели	
	глубокого заложения	мелкого заложения	глубокого заложения	мелкого заложения
$\sigma_{30*}$	0,300	0,220	0,240	0,320
$\sigma_{540*}$	0,070	0,052	0,057	0,076

Это обстоятельство дает возможность построить кривые старения обмоток трансформатора в зависимости от коэффициента нагрузки.

Поскольку

$$\epsilon_{30} = \frac{\sigma_{30}}{S_n} = \frac{\bar{S} \cdot \sigma_{30*}}{S_n} = K_n \cdot \sigma_{30*}, \quad (10)$$

получим окончательные выражения

$$z_{\tau i} = \varphi(K_{обм})_i \cdot e^{0,115 [25 (K_n + \mu_i \cdot K_n \cdot \sigma_{30ж})^{1,72} - 25]}; \quad (II)$$

$$z_{\theta i} = \varphi(K_{м.в})_i \cdot e^{0,115 \{60 [\frac{1}{6} + \frac{5}{6} (K_n \cdot \mu_i \cdot K_n \cdot \sigma_{540ж})^2]^{0,8} - 60\}} \quad (I2)$$

Трансформатор используется оптимально, если в пределах любого промежутка времени, его относительный износ близок к единице. Исходя из этого, по формулам (8), (II), (I2) получены значения допустимых коэффициентов нагрузки масляного трансформатора в условиях метростроения:

Т а б л и ц а 2

Вид объекта	$K_{н. доп}$
Станции глубокого заложения	0,91
Станции мелкого заложения	0,93
Перегоны глубокого заложения	0,92
Перегоны мелкого заложения	0,89

Таким образом, при проектировании и эксплуатации трансформаторных подстанций определение расчетных нагрузок значительно упрощается и сводится к нахождению среднесменной нагрузки. Учет нагрузочной способности трансформаторов в конкретных условиях метростроения позволяет оптимизировать использование трансформаторного парка управления механизации с учетом динамики нагрузок в ходе строительства.

#### Л и т е р а т у р а

1. Ш н и ц е р Л.М. Нагрузочная способность трансформаторов. М., Госэнергоиздат, 1953.
2. Временные руководящие указания по определению электрических нагрузок промышленных предприятий. М., Госэнергоиздат, 1961.

L. Plashchanski,

V. Belitski

Permissible Load for Oil Transformers in  
Metro Construction

Summary

The article discusses the method of determining the load capacity of oil transformers, the statistic parameters of the load diagram included. The paper reports the results of the electric load at the Metro sites and determines the permissible coefficients of the load for oil transformers.



УДК 622:619.002.5

В.Х.Лаурингсон

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОЙ ПОГРУЗОЧНО-  
ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДРЕНАЖНЫХ  
ШТРЕКОВ НА СЛАНЦЕВЫХ РАЗРЕЗАХ . ЭСТОНИИ

При проведении горных выработок погрузка горной массы и ее транспортирование в вагонетках являются в условиях сланцевых шахт и разрезов весьма трудоемкими производственными процессами. Поэтому достижения последних лет в области транспортных машин вызывают большой интерес с точки зрения их внедрения в сланцевых шахтах Эстонии. Здесь в первую очередь представляют интерес отечественные погрузочно-транспортные машины для упрощения существующей транспортной схемы при проведении дренажных штреков на сланцевых разрезах.

Утвержденный в 1974 г. типаж предусматривает машины двух типов: ковшовые машины ПД с грузоподъемностью от 2 до 10 т и машины с ковшом и кузовом ПТ с грузоподъемностью от 2,5 до 16 т. В десятой пятилетке предполагается закончить освоение серийного производства этих машин.

Существующая схема транспорта при проходке дренажных штреков на сланцевых разрезах отличается многозвенностью (погрузочная машина - электровозный транспорт - скребковый конвейер) и большой затратой тяжелого ручного труда в забое, связанного с обменом груженых вагонетов на порожние и наращиванием рельсовых путей. Общеизвестно, что многозвенность уменьшает надежность транспортной системы, а большой процент ручных работ при погрузке отбитой горной массы является причиной низкого использования всего транспортного

оборудования во времени (например, машинная погрузка с погрузочными машинами составляет всего 20 - 25% от времени погрузки в цикле). В весьма неблагоприятных условиях работает скребковый конвейер СП-63 с перегибами в дренажной шахте, особенно зимой, что приводит к быстрому изнашиванию решеток и цепи конвейера.

В данной статье рассматриваются вопросы, связанные с возможностью внедрения погрузочно-транспортной машины ПТ-4 с грузоподъемностью 4 т (объем кузова  $V_{\text{куз.}} = 1,5 \text{ м}^3$ ), как машины с наиболее подходящими габаритами и с достаточной производительностью. Машина имеет пневмоколесный ход, позволяющий преодолевать подъемы до  $18^\circ$  со скоростью движения машины с грузом  $v_{\text{гр}} = 6 \text{ км/ч}$  и с порожним кузовом  $v_{\text{п}} = 8 \text{ км/ч}$  (при плохом состоянии путей). Нужно подчеркнуть, что для данных условий (потребная длина откатки до 1 км) подходит лишь машина ПТ-4 с дизельным автономным приводом (мощность  $N = 90 \text{ л.с.}$ ).

Сравнение отдельных моделей машины ПТ показывает, что существующее поперечное сечение дренажного штрека ( $7-7,5 \text{ м}^2$ ) при машине ПТ-4 увеличивается всего на 10-15%, в то время как у последующего типоразмера в параметрическом ряду ПТ-6 это увеличение составляет уже в среднем 60%. Хотя производительность погрузочно-транспортной машины ПТ-6 несколько выше, чем у машины ПТ-4, экономическая эффективность ее применения при любой длине транспортировки примерно на 20% меньше благодаря увеличению затрат на буро-взрывные и крепильные работы.

Другая конкурентноспособная машина ПТ-2,5 (емкость кузова  $V_{\text{куз.}} = 1,0 \text{ м}^3$ ), хотя и не вызывает необходимости увеличения площади поперечного сечения штрека, не удовлетворяет эксплуатационным условиям из-за низкой производительности (возможная длина транспортировки до 400 м).

Изучение возможной производительности погрузочно-транспортных машин в зависимости от длины транспортировки было сделано по формуле [1]:

$$Q_{\text{пт}} = \frac{3600 \cdot V_{\text{куз.}} \cdot K_{\text{н}} \cdot \gamma \cdot T_{\text{м}}}{t_{\text{н}} + 3600 L \left( \frac{1}{v_{\text{гр}}} + \frac{1}{v_{\text{п}}} \right) K_{\text{гб}} + t_{\text{р}}}, \quad \text{т/см},$$

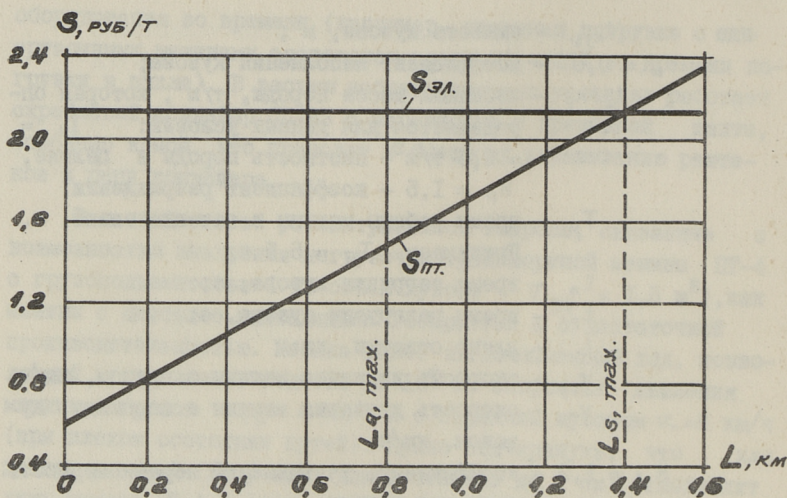
где  $V_{\text{куз.}}$  - емкость кузова,  $\text{м}^3$ ;  
 $K_n = 0,9$  - коэффициент наполнения кузова;  
 $\gamma = \gamma_u / K_p$  - насыпная масса породы,  $\text{т}/\text{м}^3$ , которая определяется для данных условий:  $\gamma_u = 2,5 \text{ т}/\text{м}^3$  - плотность породы в целике,  $K_p = 1,5$  - коэффициент разрыхления;  
 $T_m$  - время работы машины в течение смены, ч.  
 Принимаем  $T_m = 5,5$  ч;  
 $t_n$  - время загрузки кузова, с;  
 $t_p$  - время разгрузки кузова, с;  
 $L$  - длина откатки, км;  
 $v_{\text{гр}}$  - скорость движения машины с грузом, км/ч;  
 $v_n$  - скорость движения машины с порожним кузовом, км/ч;  
 $K_{\text{об}} = 1,2$  - коэффициент, учитывающий неравномерность движения машины.

Для оценки экономичности существующей системы транспорта (погрузочная машина - электровозный транспорт - скребковый конвейер) была использована методика, изложенная в [2]. На фиг. 1 показан график приведенных затрат  $S_{\text{эл}}$  в зависимости от длины откатки  $L$  в условиях разреза "Сиргала".

Экономическая эффективность применения погрузочно-транспортных машин определена по методике в [1], а график  $S_{\text{пт}} = f(L)$  представлен на фиг. 1 для одного забоя.

Проделанный анализ показывает также, что для получения существующей скорости проведения дренажного штрека (2 цикла в смену при среднем шаге цикла  $l_u = 1,3$  м) нужно внедрить вариант с двумя погрузочно-транспортными машинами независимо от типа машин. Поэтому предлагается вариант с двухсторонним проведением штрека относительно дренажной шахты (фиг. 2), который обеспечивает самую простую и экономичную организацию транспорта. В таком случае в каждом забое выгружается в течение смены не менее  $Q_{\text{иц}}^{\text{пт}}$  при длинах транспортирования до 0,8 км с использованием машины ПТ-4 (фиг. 3).

Сравнение погрузочно-транспортной машины ПТ-4 с существующей системой транспорта показывает, что машина ПТ-4 экономически значительно выгоднее существующей системы до предельного расстояния по производительности  $L_{Q_{\text{max}}} = 0,8$  км



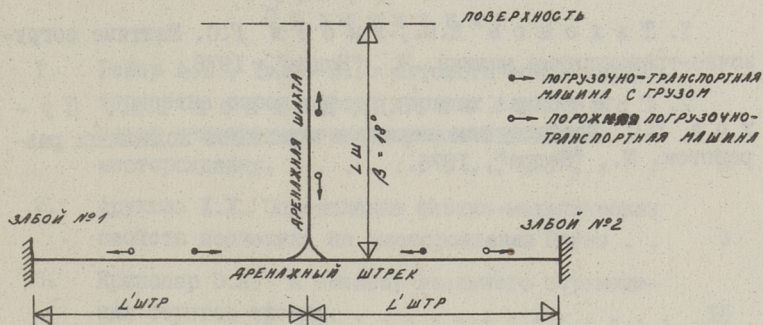
Фиг. 1. Приведенные затраты  $S$  сравниваемых транспортных систем в зависимости от длины транспортирования  $L$  (при шаге проходки за цикл  $l_u = 1,3$  м):

- $S_{эл}$  - приведенные затраты системы погрузочная машина - электро-возный транспорт - скребковый конвейер;
- $S_{пт}$  - приведенные затраты при погрузочно-транспортной машине ПТ-4;
- $L_{э, max}$  - предельная длина откатки погрузочно-транспортной машины ПТ-4 по производительности;
- $L_{с, max}$  - предельная длина откатки погрузочно-транспортной машины ПТ-4 по экономичности.

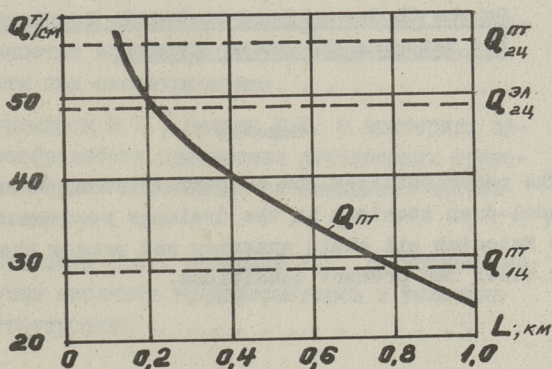
(фиг. I). При этом экономический эффект достигается за счет уменьшения затрат на транспорт и электроснабжение, несмотря на некоторое увеличение затрат на вентиляцию, связанную с выхлопными газами погрузочно-транспортной машины.

Следует также отметить, что при рациональной организации проходческих работ есть возможность увеличить длину транспортирования до экономического предела эффективности использования машины ПТ-4, который составляет 1,4 км (см. фиг. I), не снижая при этом скорости месячного проведения штрека. Такое увеличение длины дренажного штрека тем важнее в случае, когда проходка дренажной шахты связана со значительными трудностями.





Фиг. 2. Схема транспорта при двухстороннем проведении дренажного штрека с использованием погрузочно-транспортной машины ПТ.



Фиг. 3. Сменная производительность  $Q_{ПТ}$  погрузочно-транспортной машины ПТ-4 в зависимости от длины откатки  $L$ .

- $Q_{ЭЛ_{2ц}}$  - сменная производительность забоя при существующей системе транспорта (погрузочная машина - электровозный транспорт - скребковый конвейер) и при двух циклах проходки за смену (шаг проходки за цикл  $l_{ц} = 1,3$  м);
- $Q_{ПТ_{1ц}}$  - сменная производительность забоя при использовании погрузочно-транспортной машины ПТ-4 и при одном цикле проходки за смену (шаг проходки за цикл  $l_{ц} = 1,3$  м);
- $Q_{ПТ_{2ц}}$  - то же, при двух циклах проходки за смену.

## Л и т е р а т у р а

1. Тихонов Н.В., Рысев Г.С. Шахтные погрузочно-транспортные машины. М., "Недра", 1976.

2. Григорьев В.Н., Дьяков В.А., Пухов Ю.С. Транспортные машины и комплексы подземных разработок. М., "Недра", 1976.

V. Lauringson

### On the Choice of Load-haul-dump Machines for the Estonian Oil Shale Quarries

#### Summary

The paper outlines the possibilities of using the load-haul-dump machines in the drainage roadway drivage of the Estonian oil shale quarries and proves their efficiency under the present conditions.

## С о д е р ж а н и е

1. Рейер А.Х., Талве Л.Г. Литологическая характеристика пород пласта горючих сланцев и пород непосредственной кровли Эстонского месторождения. . . . . 3
2. Арукюла Х.Х. Определение физико-механических свойств песчаника из месторождения Пиуза . . . . . 9
3. Крипсаар Э.А. К анализу взаимного перемещения берегов трещин. . . . . 15
4. Талве Л.Г. Проверка фактических параметров камерно-столбовой системы разработки на сланцевых шахтах Эстонской ССР. . . . . 23
5. Талве Л.Г. Оценка устойчивости целиков и обнажений в песчаной шахте "Пиуза". . . . . 37
6. Рейер А.Х., Талве Л.Г., Арукюла Х.Х. О возможностях использования выработок песчаной шахты под овощехранилища. . . . . 47
7. Лаурингсон В.Х., Валтин Ю.Ю. О критериях целесообразности применения передвижных трансформаторных подстанций на сланцевых шахтах Эстонии. . . . . 53
8. Плащанский Л.А., Белицкий В.Г. Допустимая нагрузка масляных трансформаторов в условиях метростроения. . . . . 61
9. Лаурингсон В.Х. К вопросу о выборе целесообразной погрузочно-транспортной машины при проведении дренажных штреков на сланцевых разрезах Эстонии. . . . . 67



ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Труды ТПИ № 451

ПРОБЛЕМЫ ПОДЗЕМНОЙ И ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ  
ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ И НЕРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Труды по горючему делу 1X

Редактор К. Оясте. Техн. редактор В. Ранник

Сборник утвержден коллегией Трудов ТПИ 2 марта 1978 г.

Подписана к печати 26. 06. 1978 г. Бумага 80x90/16

Печ. л. 4,75+0,25 приложение. Уч.-изд. л. 3,7.

Тираж 300. МВ-06264

Ротапринт ТПИ, Таллин, ул. Коскла, 2/9. Зак. № 631

Ц е н а 55 коп.



ТПИ, Таллин, 1978







Цена 55 коп.