

Д-р техн. наук Н.Н. Касьян,  
асп. Н.Н. Малышева,  
канд. техн. наук И.Г. Сахно  
(ДонНТУ)

## **ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОХРАННЫХ СООРУЖЕНИЙ С РАСПОРНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ**

У статті представлені результати лабораторних досліджень нових способів охорони виробок, які підтримуються після проходження очисного вибою, що зводяться з елементом, котрий сприяє саморозпору цих конструкцій після моменту їхньої установки. Отримані результати показали працездатність цих способів у межах тиску, який витримують способи охорони на сучасних глибинах, досягнутих вугільними підприємствами Донбасу.

## **LABORATORY RESEARCHES OF BEARING STRENGTH OF THE GUARD BUILDINGS WITH SPACER**

The results of laboratory researches of new methods of guard of making, supported after the passage-way of cleansing longwall are presented in the article, which are erected with an element, which enable active setting load themselves after the moment of setting of these constructions. The got results appeared the capacity of these methods within the limits of pressures, which test the methods of guard on modern depths, attained the coal enterprises of Donbass.

Анализ существующего положения в угольной отрасли Украины показывает, что в последние годы вновь намечена тенденция увеличения долевого участия систем разработки с проведением выработок вслед за лавой. В основном это классическая сплошная система разработки лава-ярус, а также различные комбинированные системы разработки. Одной из важнейших производственных задач при применении таких систем разработки является поддержание участков выработок, оформляемых после прохода очистного забоя. Эксплуатационное состояние подготовительных выработок, проводимых вслед за лавой, обуславливается в основном эффективностью работы окоштрекового охранного сооружения (полосы). Традиционно применяемые способы охраны выработок проводимых за лавой – бутовые полосы, полосы из костров, бутокостров, БЖБТ и других искусственных материалов. Несмотря на различие в технологии сооружения, и разную жесткость охранных полос, все они вступают в работу не сразу после возведения, а после исчерпания зазоров и определенного сжатия (усадки) полосы, которое реализуется за счет сближения кровли и почвы. При этом несущая способность полос возрастает со временем, и достигает рабочего режима работы на значительном расстоянии от лавы.

Отсутствие существенного сопротивления смещениям пород кровли в направлении извлеченного лавой пласта приводит к их прогибу, расслоению, вызывает рост зоны разрушения вглубь массива, что обуславливает асимметричное нагружение крепи выработки и значительную потерю ее высоты. Это приводит к необходимости проведения дополнительных мероприятий, направленных на обеспечение эксплуатационного состояния выработок.

Таким образом, разработка новых и модернизация существующих способов охраны и поддержания горных выработок после прохода очистного забоя, позволяющих минимизировать или ликвидировать указанные недостатки, является

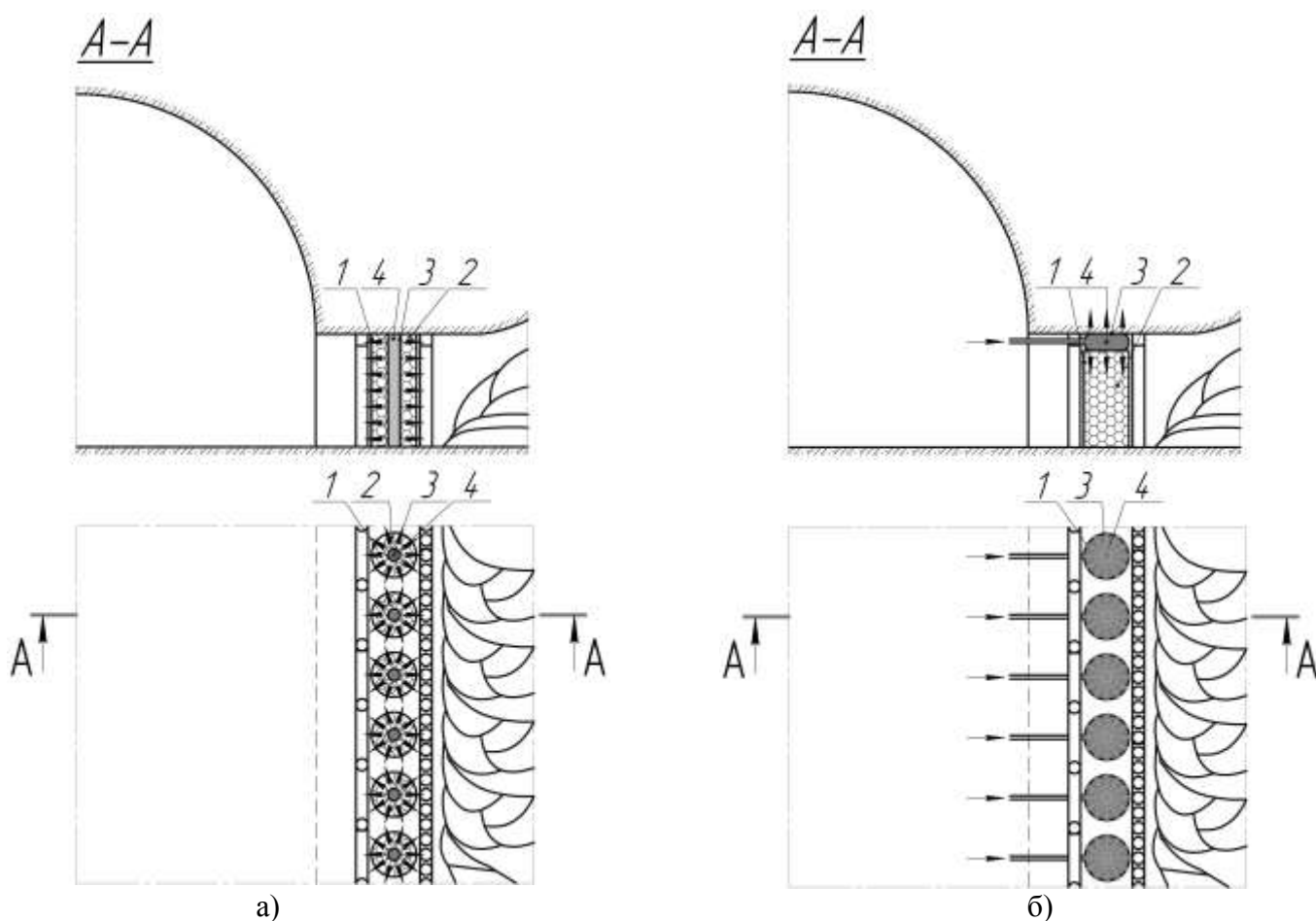
одной из актуальных задач. В этом ключе одним из перспективных направлений является разработка и внедрение охранных сооружений содержащих в своей конструкции распорные элементы. Достоинством таких сооружений является быстрое включение в работу, а при необходимости возможность создания активного предварительного распора.

В данной работе представлены исследования охранных сооружений в качестве несущего элемента, в которых применяется порода, содержащих распорный элемент.

Первый вариант представляет собой охранный элемент, которая включает установку опалубки, заполнение ее закладочным материалом, и принудительный распор закладочного материала. Общие сведения об этой конструкции приведены в патенте на изобретение [1].

Рассмотрим один из ее вариантов. В предлагаемом варианте опалубка представлена металлической цилиндрической обоймой.

Способ реализуется следующим образом (см. рис. 1).



а) – вариант 1, б) – вариант 2

1 – металлическая цилиндрическая обойма, 2 – порода, 3 – секционная эластичная оболочка, 4 – саморасширяющийся быстротвердеющий материал

Рис. 1 – Способ охраны подготовительной выработки с помощью охранный сооружения с распорным элементом:

На сопряжении очистного забоя с подготовительной выработкой, устанавливают металлические цилиндрические обоймы и заполняют их породой. На

поверхность породы выкладывают секционную эластичную оболочку, снабженную загрузочным клапаном для заливки саморасширяющегося быстротвердеющего раствора. В оболочку заливают саморасширяющийся быстротвердеющий раствор, в качестве которого может применяться неорганическое гидравлическое вяжущее вещество с ускорителем твердения с добавлением невзрывчатого разрушающего материала. Заливку прекращают после распора оболочки между нижним слоем охранного сооружения и кровлей. После этого производят герметизацию оболочки установкой зажимного устройства.

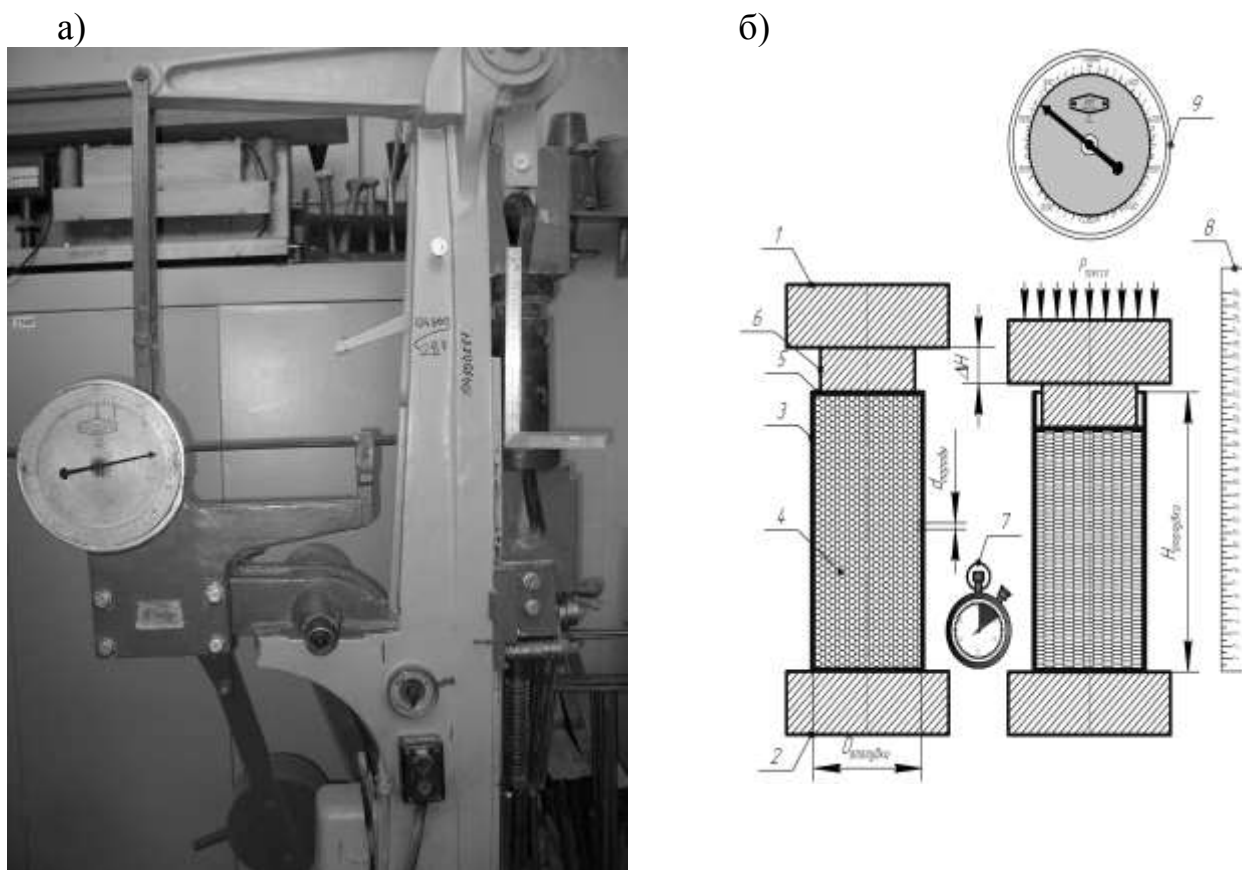
Твердение саморасширяющегося раствора, заключенного в оболочку, происходит в условиях ограниченного расширения, что приводит к активному распору охранного сооружения между кровлей и почвой, что позволяет включить его в работу по предотвращению расслоений пород на участке сопряжения в течение времени набора прочности вяжущим.

Для определения влияния распорного элемента, на режим работы охранного сооружения, были проведены лабораторные исследования, в ходе которых соблюдали следующие критерии подобия [3, 4]: геометрическое подобие, равенство угла внутреннего трения, подобие механических характеристик материала модели и натуре.

Лабораторные испытания модели охранного сооружения без распорного элемента, проводили следующим образом. В качестве материала модели использовали породу прочностью 30-40 МПа, которую засыпали в полый металлический цилиндр с приваренной с одного торца металлической пластиной. Размеры цилиндра: высота - 22 см, диаметр - 10 см и толщина стенок - 2 мм. Модель устанавливали на 5-тонный пресс («ЗИМ» тип Р5), сверху накрывали цельным металлическим цилиндром, внешний диаметр которого был на 3 миллиметра меньше внутреннего диаметра полого цилиндра, таким образом, трение цилиндров друг о друга отсутствовало. Рядом с моделью располагали измерительную шкалу, с помощью которой фиксировали абсолютную деформацию породы в цилиндре при ее нагружении с точностью до  $3,3 \cdot 10^{-3}$  мм (см. рис. 2). Нагружение модели осуществляли в течение нескольких секунд, таким образом, чтоб за это время абсолютная деформация породы составила 1 мм. Через 1 минуту нагружение повторяли. В ходе нагружения фиксировали давление, передаваемое на породу, в начале и конце шага нагружения. Количество шагов нагружения, в основном, - 30. Это количество корректировали таким образом, чтобы максимальное давление, развиваемое на прессе, не достигало предельного в 5 тонн.

Лабораторные испытания модели с распорным элементом, расположенным внутри, проводили следующим образом. Элемент моделировали тонкой бумажной оболочкой цилиндрической формы диаметром 1,6 см и высотой, равной высоте опалубки охранного сооружения. Бумажную оболочку устанавливали внутрь опалубки охранного сооружения и располагали по центру. Внутри оболочки заливали НРС, после чего оставшееся пространство между стенками оболочки и опалубки охранного сооружения засыпали породой, сверху накрывали цельным металлическим цилиндром и устанавливали на пресс, где выдерживали 20 часов без дополнительной пригрузки. Через 20 часов, нагружение модели

осуществляли так же, как и в предыдущем опыте. Результаты опытов показали, что прочности тонкой бумажной оболочки достаточно для того, чтобы она не рвалась об острые грани породы до тех пор, пока не уступит давлению от увеличения объема НРС.



а) – общий вид стенда с моделью, б) – принципиальная схема модели без распорного элемента

1 – верхняя плита пресса, 2 – нижняя плита пресса, 3 – стальной полый цилиндр, 4 – порода, 5 – стальной диск, 6 – шток, 7 – секундомер, 8 – линейка, 9 – манометр на прессе

Рис. 2 – Ход лабораторного моделирования

Лабораторные испытания модели с распорным элементом, расположенным сверху, проводили следующим образом. Изменение места расположения повлекло за собой изменение размеров элемента с НРС, таким образом, чтобы он мог полностью покрывать поверхность охранного сооружения, но оставаться в пределах его опалубки. Изменение размеров привело к изменению материала оболочки элемента с НРС. В качестве материала использовали эластичную ткань, внутрь которой заливали НРС (количество НРС такое же, как и в предыдущем опыте), после чего оболочку завязывали и укладывали сверху охранного сооружения, внутрь которого уже была насыпана порода, и оставалось место для размещения элемента с НРС. Нагружение модели осуществляли так же, как и в предыдущем опыте.

В ходе моделирования, как было сказано выше, фиксировались абсолютная вертикальная деформация охранного сооружения, давление, передаваемое на охранное сооружение, в начале и конце периода нагружения и время цикла

нагрузки (1 минута). Полученные значения использовались для определения относительной деформации течения и предела текучести охранного сооружения.

Относительная деформация течения охранного сооружения определялась следующим образом:

$$\varepsilon = \frac{dH_{\text{опалубки}}}{H_{\text{опалубки}}}$$

где  $dH_{\text{опалубки}}$  - абсолютная деформация охранного сооружения, м;  $H_{\text{опалубки}}$  - высота охранного сооружения, м.

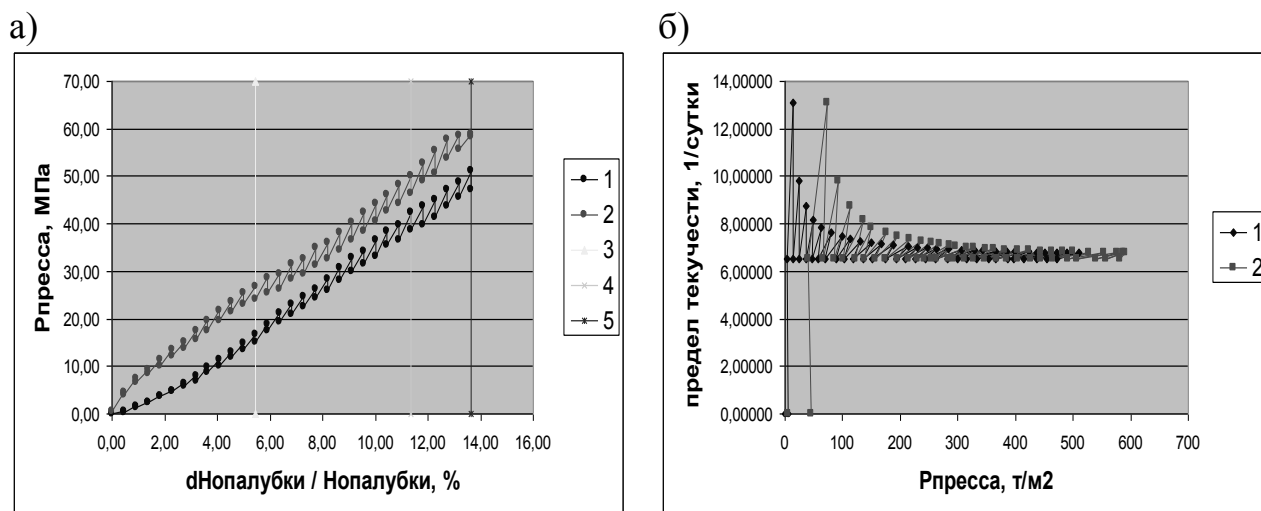
Предел текучести охранного сооружения рассчитывался следующим образом:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{dH_{\text{опалубки}}}{H_{\text{опалубки}} \Delta t} \cdot \frac{1}{\text{сутки}}$$

где  $\Delta t$  - время, в течение которого была приложена нагрузка, сутки.

Для каждого испытания строились графики относительной деформации течения охранного сооружения от времени нагружения, предела текучести охранного сооружения от прилагаемой нагрузки.

Графики, полученные после первых двух испытаний, целью которых было определение влияния распорного элемента (вариант 1) на несущую способность охранного сооружения, представлены на рисунках 3, 4.



а) – модуль деформации, б) – предел текучести

1 – без распорного элемента, 2 – с распорным элементом (вариант 1),

3 – граница начального этапа нагружения, 4 – граница промежуточного этапа нагружения, 5 – граница конечного этапа нагружения

Рис. 3 – Результаты эксперимента

Анализ графиков на рис. 3 позволяет сделать следующие выводы.

По скорости изменения несущей способности (наклону графика) время, в течение которого производилось нагружение модели, можно разделить на три этапа:

- начальный этап нагружения (скорость изменения несущей способности в конце этапа 3,071; 4,928 МПа/%) – относительная деформация охранного сооружения - 0-5,45%;

- промежуточный этап нагружения (скорость изменения несущей способности в конце этапа 3,721; 4,400 МПа/%) – относительная деформация охранного сооружения - 5,45-11,36%;

- конечный этап нагружения (скорость изменения несущей способности в конце этапа 3,746; 4,325 МПа/%) – относительная деформация охранного сооружения – 11,36-13,64%.

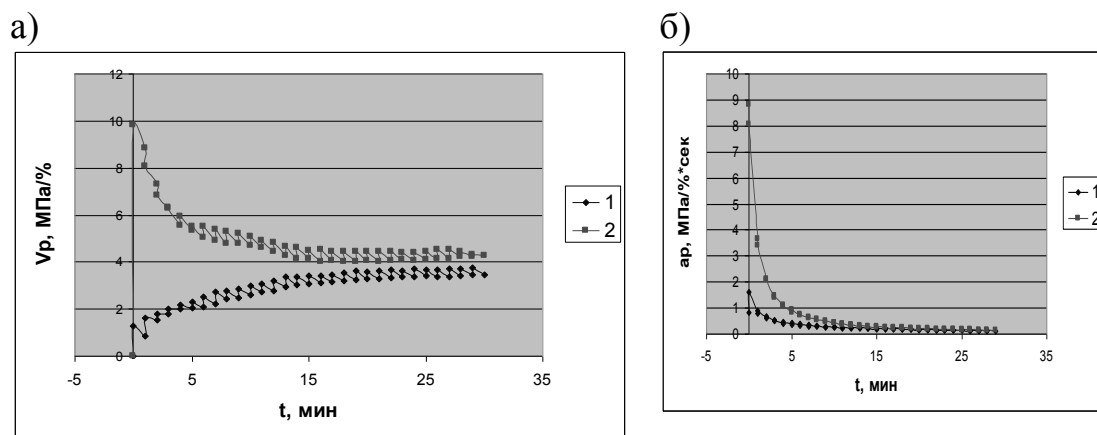
Введение распорного элемента (вариант 1) в конструкцию охранного сооружения (учитывая, что площадь под кривой – несущая способность охранного сооружения) позволяет увеличить его несущую способность:

- на начальном этапе нагружения – в 2,14 раза;
- на промежуточном этапе нагружения – в 1,27 раза;
- на конечном этапе нагружения – в 1,21 раза.

Введение распорного элемента (вариант 1) в конструкцию охранного сооружения (учитывая, что площадь под кривой – импульс сопротивления разрушению охранного сооружения) позволяет увеличить его сопротивление импульсу разрушающей силы:

- на начальном этапе нагружения – в 1,38 раза;
- на промежуточном этапе нагружения – в 1,07 раза;
- на конечном этапе нагружения – в 1,32 раза.

Кроме того, течение охранного сооружения с распорным элементом начинается позже и при нагрузке в 7,5 раз превышающей нагрузку, при которой начинается течение без распорного элемента.



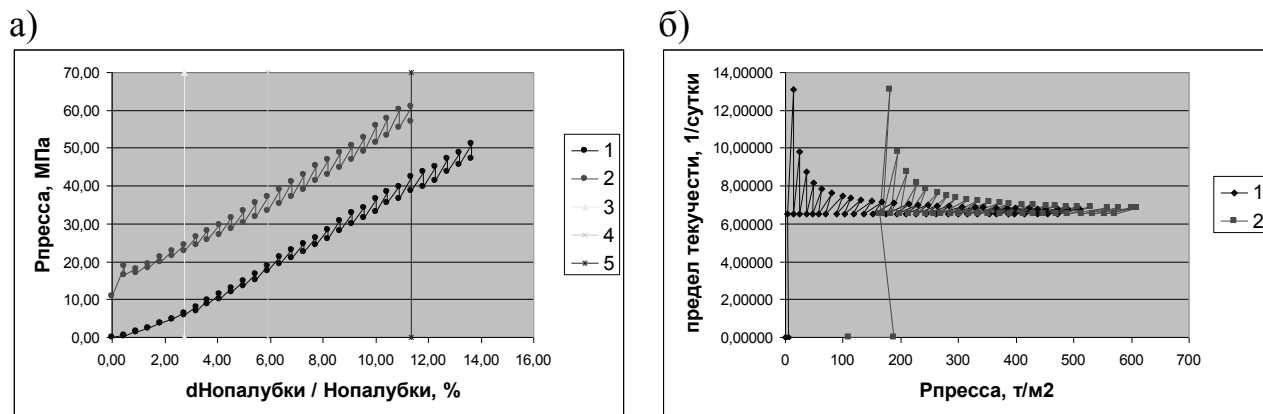
а) – скорость изменения несущей способности,  
б) – ускорение изменения несущей способности,  
1 – без распорного элемента, 2 – с распорным элементом (вариант 1)

Рис. 4 – Результаты эксперимента

Анализ графиков на рис. 4 позволяет сделать следующие выводы.

При введении в конструкцию распорного элемента (вариант 1) скорость изменения несущей способности падает от этапа к этапу с уменьшающимся ускорением.

Графики, полученные после первого и третьего испытаний, целью которых было определения влияния распорного элемента (вариант 2) на несущую способность охранного сооружения, представлены на рисунках 5, 6.



а) – модуль деформации, б) – предел текучести,

1 – без распорного элемента, 2 – с распорным элементом (вариант 2),

3 – граница начального этапа нагружения, 4 – граница промежуточного этапа нагружения, 5 – граница конечного этапа нагружения

Рис. 5 – Результаты эксперимента

Анализ графиков на рис. 5 позволяет сделать следующие выводы.

Время, в течение которого производилось нагружение модели, можно разделить на три этапа:

- начальный этап нагружения (скорость изменения несущей способности в конце этапа 2,312; 0,112 МПа/%) – относительная деформация охранного сооружения - 0-2,73%;

- промежуточный этап нагружения (скорость изменения несущей способности в конце этапа 3,191; 0,159 МПа/%) – относительная деформация охранного сооружения – 2,73-5,91%;

- конечный этап нагружения (скорость изменения несущей способности в конце этапа 3,721; 0,186 МПа/%) – относительная деформация охранного сооружения – 5,91-11,36%.

Введение распорного элемента (вариант 2) в конструкцию охранного сооружения позволяет увеличить его несущую способность:

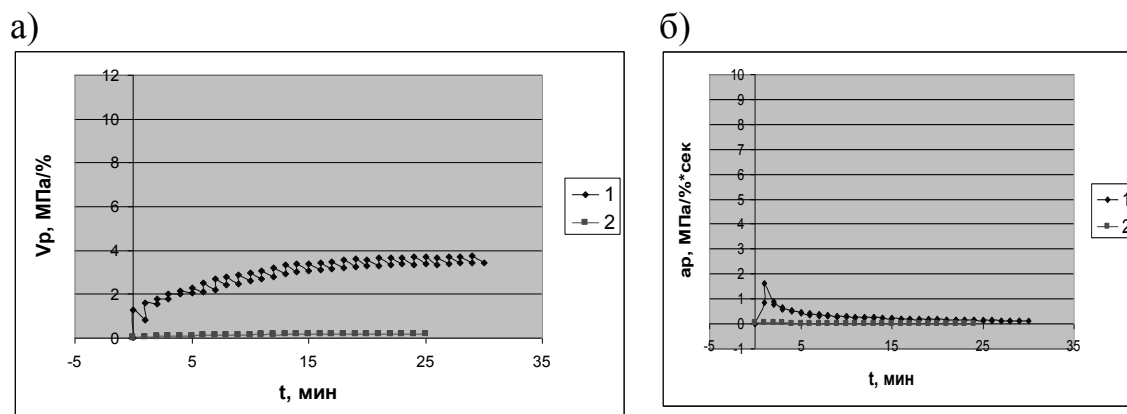
- на начальном этапе нагружения – в 4,91 раза;
- на промежуточном этапе нагружения – в 1,99 раза;
- на конечном этапе нагружения – в 1,55 раза.

Введение распорного элемента (вариант 2) в конструкцию охранного сооружения позволяет увеличить его сопротивление импульсу разрушающей силы:

- на начальном этапе нагружения – в 1,02 раза;
- на промежуточном этапе нагружения – в 1,01 раза;
- на конечном этапе нагружения – в 1,01 раза.

Т.е. сопротивление импульсу разрушающей силы практически не меняется, но течение охранного сооружения с распорным элементом начинается позже и при нагрузке в 31,2 раза превышающей нагрузку, при которой начинается тече-

ние без распорного элемента.



а) – скорость изменения несущей способности,  
б) – ускорение изменения несущей способности,  
1 – без распорного элемента, 2 – с распорным элементом (вариант 2)

Рис. 6 – Результаты эксперимента

Анализ графиков на рис. 6 позволяет сделать следующие выводы.

При введении в конструкцию распорного элемента (вариант 2) скорость изменения несущей способности незначительно растет от этапа к этапу с постоянным ускорением.

Таким образом, использование элемента, способствующего самораспору охранного сооружения, позволит повысить его несущую способность на всех этапах нагружения и отодвинуть момент начала течения его под нагрузкой, что обеспечит устойчивость охраняемой подготовительной выработки за счет создания активного противодействия расслоениям пород кровли над охранным сооружением.

Дальнейшие исследования будут направлены на изучение механизма работы предложенных способов охраны, что позволит сформулировать рекомендации по выбору их параметров в конкретных горно-геологических условиях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Пат. № 99054, МПК (2012.01) E21D11/00, E21F15/00 Спосіб охорони підготовчих виробок / І.Г. Сахно, Н.М. Малишева, (Україна). – а201104658; заявл. 15.04.2011, опубл. 10.07.2012, Бюл. № 13. – 5с.: ил.
2. Пат. №52335, МПК(2011.01) E21F15/00 Спосіб охорони підготовчої виробки / М.М. Касьян, І.Г. Сахно, Н.М. Малишева, (Україна). – u 2010 01482; заявл. 25,08.2010, опубл. 12.02.2010; Бюл. №16. – 3 с.: ил.
3. Алексеенко С.Ф. Основы моделирования при решении задач горной геомеханики / С.Ф. Алексеенко, А.Г. Заболотный, Л.А. Штанько – К.: «Техніка», 1996. – 173 с.
4. Моделирование проявлений горного давления / Г.Н. Кузнецов, М.Н. Будько, Ю.И. Васильев [и др.]. – Л.: «Недра», 1968. – 280 с.



**ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ РАДИУСОВ ЖЕЛОБОВ ШКИВА НА  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОДЪЕМНОГО СОСУДА С АРМИРОВКОЙ ПРИ  
МНОГОКАНАТНОМ ПОДЪЕМЕ**

У статті розглянуто та вирішено задачу дослідження впливу відносного перевантаження головних канатів багатоканатної підйомної установки на режими взаємодії підйомних посудин з армуванням. Показано, що навіть при дотриманні нормативних обмежень існує можливість виникнення аварійно небезпечного зниження кінематичних зазорів між запобіжним підкладнем та провідником, що призводить до виникнення небезпечної ударно-контактної взаємодії посудини з армуванням. Отримано розрахункові формули щодо визначення припустимого моменту від канатів, що нахилиє посудину.

**INFLUENCE EFFECTS RADIUSES CHUTE PULLEY FOR  
INTERACTION LIFTING VESSELS WITH MULTIPLE-REINFORCEMENT  
AT RISE**

In the article and the task of studying the influence of relative overload main rope hoist installation on multiple-modes of interaction with reinforcement lifting vessels. Shown that even with regulatory restrictions exist the possibility of a dangerous accident reduction kinematic gap between the relief bedpans and conductor, leading to a dangerous shock-contact interaction vessel with reinforcement. Retrieved formulas to determine the allowable moment from ropes that cant bowl.

**Анализ натяжений головных канатов МК ШПУ**

Характерным физическим явлением в работе многоканатного подъема является постоянно присутствующий разбаланс натяжений головных канатов. По проекту все канаты должны быть одинаково натянуты. Этим обеспечивается то, что линия действия равнодействующей силы их натяжений будет находиться на одной вертикали с силой веса подъемного сосуда и центрировать направляющие башмаки в колее проводников армировки.

На практике, в силу неравномерного износа футеровки желобов ведущего шкива трения и неодинаковой вытяжки канатов в навеске происходит разбалансировка натяжений канатов [1-3]. Согласно п. 439 ЕПБ и п. 399 ПТЭ допускается максимальная относительная перегрузка головных канатов на 25% при верхнем положении сосуда и на 15% при нижнем [4, 5].

При этом в ПТЭ указывается, что если «относительная перегрузка одного из канатов превысила указанные пределы, то установка должна быть остановлена для регулировки распределения нагрузок». В ЕПБ говорится об «относительной перегрузке канатов» и не уточняется их количество. Таким образом, данные формулировки допускают эксплуатацию МК ШПУ с относительными перегрузками нескольких канатов, находящихся по одну сторону от вертикальной оси сосуда, незначительно меньших указанных предельных значений и с такими же ослаблениями с противоположной.

Данные положения разработаны на основании исследований, представленных в работе [1], и направлены на обеспечение непроскальзывания отдельных канатов по шкиву трения во всех возможных режимах работы установки. Каких-либо ограничений на распределение перегрузок между канатами, расположенными по разные стороны от вертикальной оси симметрии сосуда не уста-