

УДК 622.28.043.23

к.т.н. *Леонов А. А.*
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, leonand@ya.ru)

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАСПОРНО-ПОДАТЛИВОЙ КРЕПИ

Путём лабораторных испытаний натуральных образцов на прессе ИПС-500 получены диаграммы деформирования узлов податливости с регулировочными вкладышами. Установлены экспериментальные регрессионные модели для определения несущей способности узлов податливости ЗПП и ЗПК с вкладышами в зависимости от усилия затяжки гаек, типа спецпрофиля и длины вкладыша.

Ключевые слова: *подготовительная выработка, рамная крепь, узел податливости, регулировочный вкладыш, диаграмма деформирования, рабочее сопротивление, несущая способность.*

Актуальность, цель и задачи исследований. Одной из актуальных проблем угольной отрасли является поддержание подготовительных выработок при интенсивном проявлении горного давления. На данный момент параметры крепи (сечение выработки, сопротивление в податливом режиме, тип спецпрофиля, плотность установки рам, число узлов и конструктивная податливость) назначаются на стадии проектирования выработки, а корректировать их в процессе её эксплуатации невозможно. Поэтому при изменении геомеханической ситуации крепь деформируется, а выработку приходится ремонтировать.

Для ликвидации отмеченных недостатков в ДонГТУ предложена конструкция распорно-податливой крепи [1, 2]. Данная крепь оснащена распорно-податливыми узлами, которые позволяют изменять параметры крепи при эксплуатации выработки. В состав узлов входят регулировочные вкладыши, которые увеличивают сопротивление крепи в податливом режиме и деформируются вследствие потери устойчивости. Вкладыши одним концом устанавливаются в зазор между днищами профилей несущих элементов соединительного узла и опираются на торец стойки, а другим входят в зазор между фигурной планкой съёмного упора и профилем верхняка и торцом опираются на планку.

Для реализации распорного режима работы на верхняк и стойку крепи с помо-

щью быстроразъёмных эксцентриковых захватов навешивают шток и корпус силового гидроцилиндра, который снимается после распора арки. Режим работы крепи регулируется за счёт изменения формы, длины и момента сопротивления вкладышей в узлах податливости.

Цель работы состоит в обосновании параметров распорно-податливой крепи путём лабораторных испытаний натуральных образцов узлов податливости с регулировочными вкладышами.

Идея работы заключается в регулировании параметров рамной крепи за счёт замены деформированных вкладышей, устанавливаемых в узлах податливости, и учёте их влияния на величину сопротивления замковых соединений ЗПП и ЗПК в податливом режиме работы крепи.

Объект исследований — узел податливости рамной крепи из спецпрофиля с вкладышами различной формы.

Предмет исследований — рабочее сопротивление замковых соединений ЗПП и ЗПК с вкладышами в податливом режиме.

Задачи исследований заключаются в проведении экспериментальных испытаний узлов податливости с вкладышами, установлении закономерностей их деформирования под нагрузкой и разработке математической модели для определения сопротивления соединения элементов распорно-податливой крепи из спецпрофиля в рабочем режиме.

Методика проведения лабораторных испытаний узлов податливости. Исследование несущей способности узлов податливости с вкладышами проводилось в лабораторных условиях на прессе ИПС-500, который обеспечивает усилие нагружения до 500 т. При нагружении образцов узлов податливости отсчёты брались по шкале с пределом измерения от 0 до 100 т и ценой делений 0,2 т. Погрешность измерения не превышала 1 % от величины нагрузки (согласно данным тарировки пресса). Измерение перемещений в узлах податливости и прогиба вкладыша производилось прогибомерами 6ПАО.

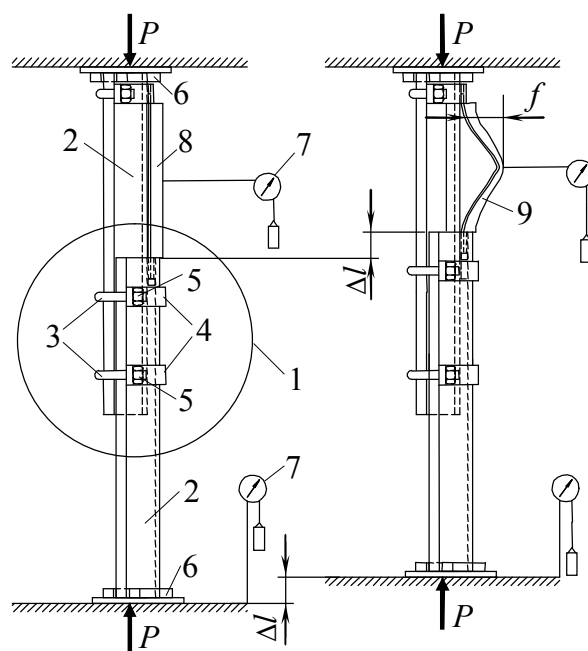
Для проведения испытаний использовался специальный профиль трёх типоразмеров: СВП-22, СВП-27 и СВП-33. Образцы узлов податливости изготавливали из прямолинейных отрезков профилей длиной 1000 мм, которые соединяли с нахлесткой 400 мм крепёжными деталями узлов податливости двух видов: с прямой планкой (ЗПП) и с облегчающей фигурной планкой (ЗПК). Гайки замков затягивали с одинаковым крутящим моментом 100, 200, 300 и 400 Н·м, который контролировался с помощью динамометрического ключа предельного типа серии 690. Механизм регулирования значения крутящего момента силы, при которой происходит срабатывание предельного механизма, обеспечивает относительную погрешность до ± 4 %.

Схема устройства для проведения испытаний узлов податливости представлена на рисунке 1. Сущность метода исследований заключалась в измерении величины продольных перемещений Δl в нахлестке отрезков спецпрофиля, а также прогибов f регулировочного вкладыша различной формы и длины в зависимости от нагрузки P , передаваемой прессом при заданных усилиях затяжки скоб.

Перед испытанием отрезки спецпрофилей соединяли между собой с помощью деталей испытываемого узла податливости, устанавливали регулировочные вкладыши различной длины и формы (в виде прямо-

угольника, сваренного из отдельных полос, тавра из двух прокатных уголков и швеллера) и затягивали гайки с требуемым крутящим моментом. Собранный образец узла податливости устанавливали вертикально между опорными плитами пресса. Для надёжной и безопасной фиксации образцов на верхний и нижний торцы профилей надевали съёмные опорные башмаки. Нагрузку на образцы прикладывали плавно и фиксировали по заданным перемещениям в узлах податливости с интервалом 1 мм.

Закономерности деформирования узлов податливости с регулировочными вкладышами прямоугольной формы. Исследования процесса деформирования узлов с вкладышами проводились, прежде всего, с целью обоснования рациональной формы поперечного сечения вкладышей и установления зависимости сопротивления усиленного узла податливости от влияющих факторов.



1 — узел податливости; 2 — отрезок спецпрофиля; 3 — скоба; 4 — планка; 5 — гайка; 6 — опорный башмак; 7 — прогибомер; 8 — вкладыш; 9 — деформированный вкладыш

Рисунок 1 Схема испытания узлов податливости на прессе

Вначале испытывали вкладыши с поперечным сечением в форме составного прямоугольника, сваренного из двух (50×8 мм) или четырёх (50×16 мм) полос толщиной 4 мм каждая. Вкладыши устанавливали в узлы податливости ЗПК, а испытания проводили по схеме, представленной на рисунке 1.

Эксперименты выполнены для трёх типов спецпрофилей (СВП-22, СВП-27 и СВП-33) при усилии затяжки гаек 100 Н·м. Факторами, с помощью которых регулировали сопротивление вкладыша, приняты его длина, причём ей придавали два значения (25 и 50 см), и толщина, равная 8 и 16 мм и

используемая для вариации площадью поперечного сечения вкладыша (4 и 8 см²). Геометрические параметры вкладышей выбраны исходя из параметров зазора между сопрягаемыми в нахлестке спецпрофилями.

Результаты исследований для СВП-22 представлены на рисунке 2 в виде зависимостей нагрузки P от перемещения Δl профилей в нахлестке при различной длине и толщине прямоугольной пластины. На рисунке для наглядности зависимости для узла податливости с вкладышами сопоставлены с аналогичной зависимостью деформирования узла податливости без вкладыша.

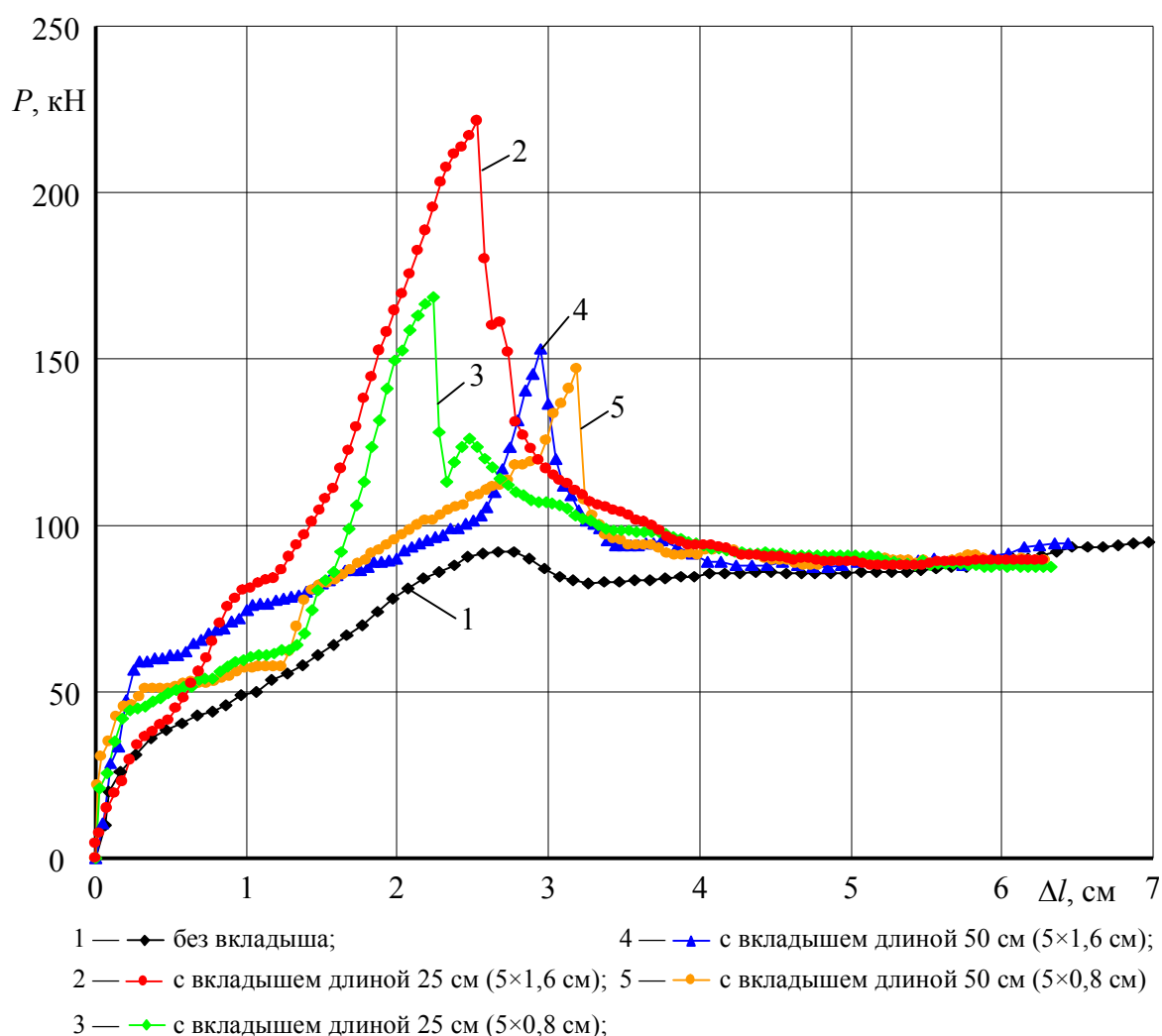


Рисунок 2 Диаграммы деформирования узла податливости ЗПК для СВП-22 при усилии затяжки гаек 100 Н·м без вкладыша и с вкладышем в виде прямоугольной пластины различной длины и толщины

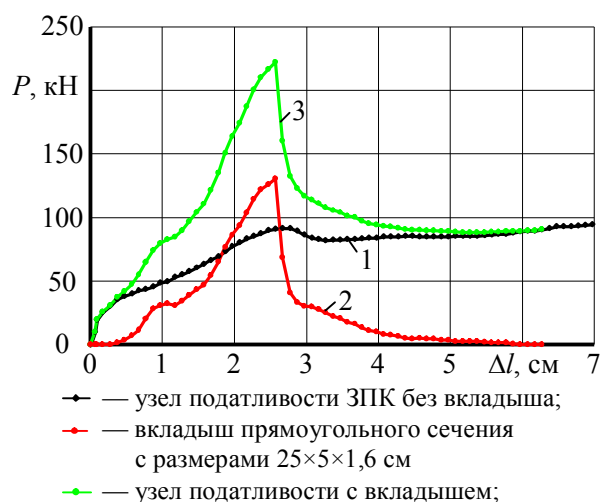


Рисунок 3 Диаграммы деформирования узла податливости с замком ЗПК для СВП-22 (1), вкладыша (2) и узла податливости, усиленного тем же вкладышем (3)

В результате анализа зависимостей установлено, что узел податливости с замком ЗПК и вкладыш работают совместно в единой системе, нагруженной от плит пресса заданной нагрузкой, которая определяется суммированием сопротивлений узла и вкладыша. Принцип суммирования их сопротивлений демонстрируется на рисунке 3.

Узел податливости с замком ЗПК представлен диаграммой, которая имеет два характерных участка: восходящий, характеризующий работу узла до проскальзывания профилей, и горизонтальный, который описывает работу узла в рабочем режиме во время проскальзывания профилей. Характеристика вкладыша, полученная путём вычитания из сопротивления узла податливости, усиленного вкладышем прямоугольного поперечного сечения с размерами 25×5×1,6 см, сопротивления того же узла податливости без вкладыша при одних и тех же перемещениях, имеет совершенно иную форму. Вначале она имеет вогнутую кривую, что характеризует постепенную ликвидацию зазоров в опорах вкладыша. Далее следует участок, описывающий упругую работу вкладыша до потери его устойчивости, который имеет большую крутизну, чем восходящий уча-

сток диаграммы узла податливости. Потеря устойчивости вкладыша реализуется при нагрузке, которая для данного примера превышает сопротивление узла в податливом режиме работы. Следует заметить, что вкладыш таких размеров начинает деформироваться в момент начала работы узла в податливом режиме. Вслед за потерей устойчивости вкладыша прямоугольного поперечного сечения происходит резкое падение его сопротивления, и уже через 2 см перемещения профилей в нахлестке вкладыш практически не влияет на совместное сопротивление усиленного узла податливости.

Подобным образом деформируются все испытанные образцы узла ЗПК с профилями СВП-22, СВП-27 и СВП-33, за исключением маленьких нюансов. Так, длинные вкладыши (50 см) с минимальной толщиной (0,8 см) оказывают весьма незначительное воздействие на совместную диаграмму деформирования узла податливости, так как потеря устойчивости вкладыша происходила ещё до выхода на податливый режим работы узла. Только для СВП-22 отмечено повышение нагрузки за счёт установки вкладыша таких размеров.

Максимальное воздействие оказывает короткий вкладыш (25 см) с наибольшей толщиной (1,6 см). В этом случае максимальная нагрузка на узел с вкладышем в 2,0–2,5 раза превышает сопротивление узла в рабочем режиме без вкладыша. Однако быстрое падение сопротивления за 1–2 см перемещения профилей в нахлестке демонстрирует неэффективность применения вкладышей в виде пластины прямоугольного сечения.

Закономерности деформирования узлов податливости с регулируемыми вкладышами в виде тавра. Вкладыши в виде тавра из двух прокатных уголков 40×40×4 мм устанавливали в узлы податливости ЗПП и ЗПК. Лабораторные исследования процесса деформирования вкладышей выполнены для трёх типов спецпрофилей (СВП-22, СВП-27 и СВП-33), причём испы-

тания проведены при усилии затяжки гаек на двух уровнях (100 Н·м и 400 Н·м). В качестве параметра, позволяющего регулировать сопротивление вкладыша, выбрана его длина, которой в ходе эксперимента придавали два экстремальных значения (25 и 50 см). Геометрические параметры сечения вкладыша приняты постоянными (площадь $F=6,08 \text{ см}^2$, радиус инерции $i=1,23 \text{ см}$), выбраны они исходя из удобства примыкания вкладыша к торцу спецпрофилей.

На рисунке 4 представлены в качестве примера результаты экспериментальных исследований сопротивления узлов податливости ЗПП и ЗПК для спецпрофиля СВП-

22. Аналогичные диаграммы деформирования получены для СВП-27 и СВП-33. Анализ диаграмм показал, что в начале процесса деформирования узел податливости с вкладышем работает в жёстком режиме. На этом участке жёсткость узла с вкладышем практически совпадает с жёсткостью узла без вкладыша, но его предельное сопротивление в несколько раз превышает сопротивление узла в податливом режиме. После потери устойчивости вкладыша вследствие продольного изгиба его сопротивление начинает резко падать, причём чем больше его длина, тем жёсткость узла податливости в запредельной области меньше.

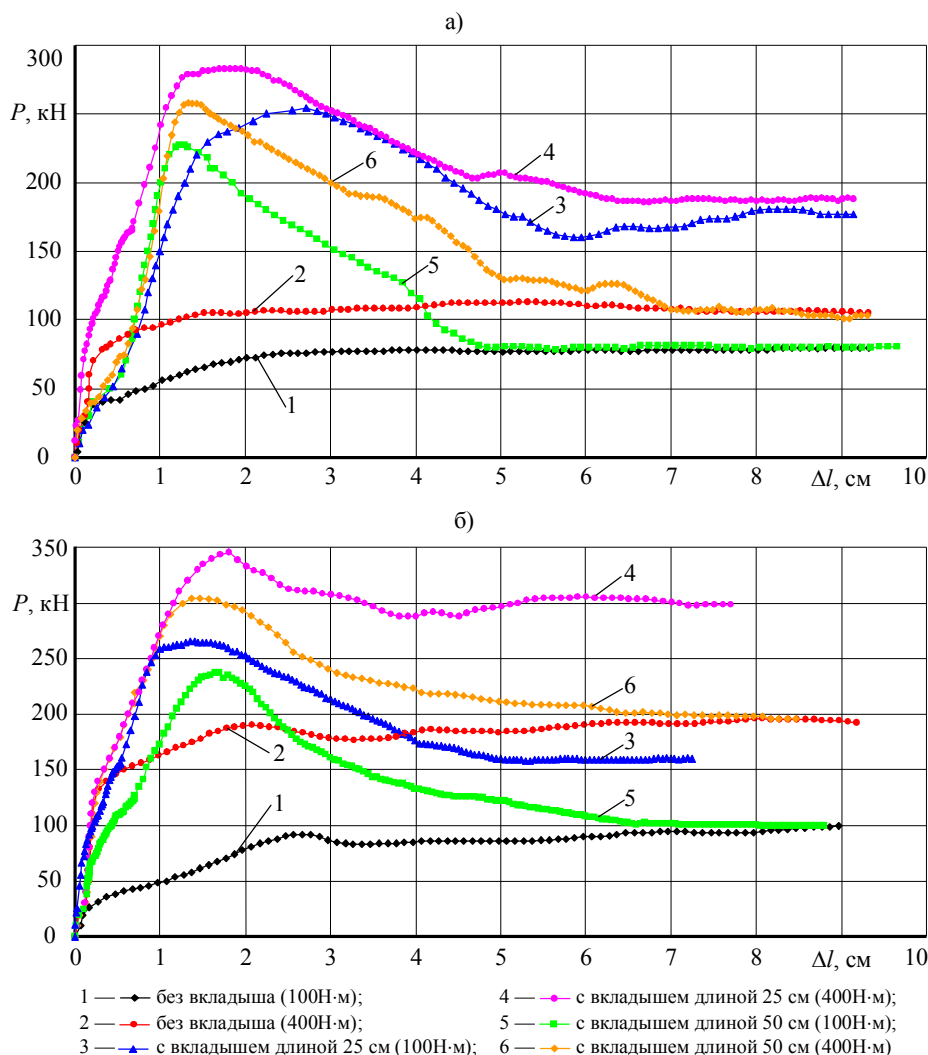


Рисунок 4 Диаграммы деформирования узлов податливости ЗПП (а) и ЗПК (б) для СВП-22 при усилии затяжки гаек 100 Н·м и 400 Н·м без вкладыша и с вкладышем в виде тавра различной длины

Следует отметить, что у узла податливости с длинным вкладышем сопротивление падает почти до несущей способности узла без вкладыша при его работе в податливом режиме, тогда как у узла податливости с коротким вкладышем сопротивление узла в податливом режиме превышает аналогичный показатель у узла без вкладыша. Это объясняется возрастанием доли смятия в работе вкладыша при его деформировании за пределом прочности. Так же как и у обычных узлов податливости, сопротивление узлов с регулировочным вкладышем возрастает с ростом усилия затяжки гаек и момента сопротивления спецпрофиля. Приведённые диаграммы можно аппроксимировать кусочно-линейной зависимостью, представленной на рисунке 5, на которой можно выделить три участка: I — жёсткого деформирования; II — падения сопротивления узла в результате потери устойчивости вкладыша; III — податливого деформирования в рабочем режиме. При этом каждая из отмеченных областей характеризуется своими параметрами.

Первый участок диаграммы представляет собой практически прямолинейный отрезок, наклонённый к горизонтальной оси под углом $\alpha_B = 86-87^\circ$, что всего на один градус меньше угла наклона первого участка диаграмм для узлов податливости без вкладыша. Поэтому средняя жёсткость замков ЗПП и ЗПК ($C_k = 18$ МН/м и $C_k = 21,3$ МН/м) на 10–15 МН/м меньше аналогичного показателя узлов податливости без вкладыша. В пределах этого участка среднее квадратическое отклонение нагрузки для замка ЗПП составляет $\sigma_p = 1,7$ кН и для замка ЗПК — $\sigma_p = 1,0$ кН, а коэффициент вариации соответственно 3,7 % и 4,6 %.

Сверху первый линейный участок ограничивается максимальным сопротивлением узлов податливости, которое зависит в первую очередь от длины вкладыша (L), а также от вида замка (ЗПП или ЗПК), типа СВП (W) и усилия затяжки гаек (M). Для

длинных вкладышей предельный участок диаграмм ограничен малой областью и представляет собой острую вершину, а для коротких вкладышей является более пологим и распространяется в пределах перемещений узла до 1 см. За счёт вкладышей максимальной несущую способность замка ЗПП можно обеспечить в пределах от 227 кН до 324 кН, то есть по сравнению с обычным узлом увеличить в 2,29–3,34 раза, тогда как для замка ЗПК максимальное сопротивление изменяется в диапазоне от 235 кН до 458 кН, что в 1,45–2,95 раза превышает сопротивление замка в рабочем режиме.

На втором участке в результате деформирования вкладышей сопротивление узла податливости снижается с предельной $P_{пр}$ до остаточной $P_{ост}$ величины, которая определяет сопротивление замка в рабочем режиме. Этот участок диаграммы характеризуется углом наклона φ отрезка ломаной прямой к горизонтали, интервалом l_c спада сопротивления и жёсткостью узла податливости C_k , которая, в отличие от первого участка, имеет отрицательный знак, так как по мере роста перемещений сопротивление узла падает.

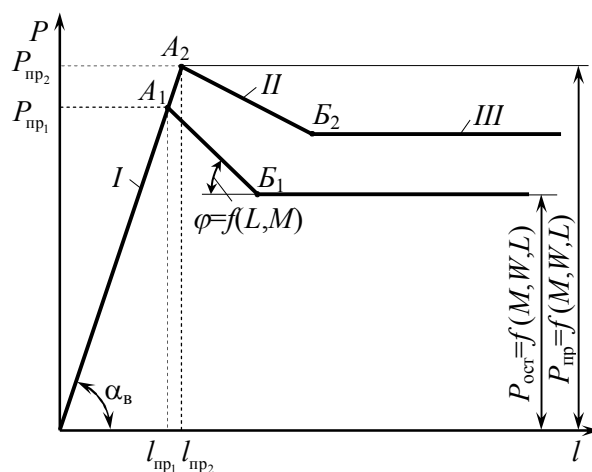


Рисунок 5 Кусочно-линейная зависимость для аппроксимации диаграммы деформирования узла податливости с вкладышем

Угол наклона φ диаграммы связан с интервалом l_c падения сопротивления, причём чем выше угол, тем больше интервал изменения сопротивления и меньше остаточное сопротивление $P_{ост}$, и зависит от длины вкладыша L и усилия затяжки M гаек. При одной и той же длине вкладыша L с ростом крутящего момента M угол φ снижается, причём для коротких вкладышей это падение выражено существенно больше. При постоянной величине затяжки гаек с уменьшением длины вкладыша L угол φ также снижается, причём значимость этого фактора существенно выше, чем для момента M . Для СВП-33, независимо от вида замка, при максимальной затяжке гаек и минимальной длине вкладыша диаграмма выполаживается, то есть второй участок диаграммы практически отсутствует и наблюдается минимальное снижение сопротивления узла податливости с жёсткостью $C_k=0,05$ МН/м для замка ЗПП и $C_k=0,03$ МН/м для замка ЗПК. На этой стадии работы узла стандартное отклонение нагрузки не превышает $\sigma_p=15,8$ кН, а коэффициент вариации — 5,6 %, что свидетельствует о достаточной стабильности работы узла податливости.

После потери устойчивости вкладыша дальнейшее его сопротивление обусловлено в основном смятием материала на площадке текучести. Поэтому в пределах смещений, которые можно было реализовать на прессе, узлы податливости с замками ЗПП и ЗПК деформировались с относительно постоянным сопротивлением, названным остаточным сопротивлением $P_{ост}$ узла податливости с вкладышем, характеризующим третий участок кусочно-линейной диаграммы деформирования.

Наименьшее значение остаточного сопротивления $P_{ост}=80$ кН характерно для СВП-22, замка ЗПП, усилия затяжки гаек 100 Н·м и длины вкладыша 50 см. Наибольшее значение остаточного сопротивления $P_{ост}=456$ кН было отмечено для СВП-33, замка ЗПК, усилия затяжки гаек 400 Н·м и длины вкладыша 25 см. На этом участке диаграммы стандартное отклоне-

ние нагрузки в среднем составляет 6,9 кН для замка ЗПП и 4,7 кН для замка ЗПК, а изменчивость показателя характеризуется коэффициентом вариации 4,1 % для замка ЗПП и 1,9 % для замка ЗПК, что свидетельствует о стабильной работе узлов с вкладышами в виде тавра в податливом режиме. При этом остаточное сопротивление замка ЗПП при коротком вкладыше в среднем в 2,15 раза, а замка ЗПК — в 1,66 раза превышает рабочее сопротивление соответствующих узлов без вкладышей. При длинном вкладыше отношение $P_{ост}$ к сопротивлению узлов податливости без вкладыша P для замка ЗПП в среднем равно 1,06, а для ЗПК — 1,05, то есть вкладыш в виде тавра с $L > 50$ см не вызывает увеличения сопротивления узлов в податливом режиме.

Зависимости для определения сопротивления узлов податливости в рабочем режиме. Испытания узлов податливости с замками ЗПП и ЗПК и вкладышами в виде тавра позволили получить диаграммы деформирования, которые характеризуются тремя основными параметрами, принятыми в качестве выходных величин (функций отклика) при математическом планировании эксперимента [2, 3], а именно: $P_{пр}$ — предельным сопротивлением узла податливости, кН; C_k — жёсткостью узла на запредельной стадии деформирования вкладыша, кН/м; $P_{ост}$ — остаточным сопротивлением узла в податливой стадии работы крепи, кН. Входными (управляющими) факторами в данном случае служили предельный крутящий момент завинчивания гаек M (Н·м), момент сопротивления СВП W (см³) и длина вкладыша L (см).

Уровни и интервалы варьирования факторов для экстремального эксперимента приведены в таблице 1.

Функции отклика находились в виде полинома с учётом линейных членов и взаимовлияния факторов, а преобразование факторов в безразмерный вид осуществлялось с помощью выражений

$$x_1 = \frac{M-250}{150}; \quad x_2 = \frac{W-104}{29}; \quad x_3 = \frac{L-37,5}{12,5}. \quad (1)$$

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

Наименование фактора и единицы измерения	Обозначение фактора	Уровни			Интервал варьирования
		нижний -1	верхний +1	основной 0	
Предельный момент затяжки гаек, Н·м	x_1	100	400	250	150
Момент сопротивления СВП, см ³	x_2	75	133	104	29
Длина вкладыша, см	x_3	25	50	37,5	12,5

Для максимального сопротивления узлов податливости полученные регрессионные зависимости в нормированных переменных имеют следующий вид:

– для замка ЗПП:

$$y = 272 + 14 \cdot x_1 + 18 \cdot x_2 - 15 \cdot x_3; \quad (2)$$

– для замка ЗПК:

$$y = 344 + 57 \cdot x_1 + 41 \cdot x_2 - 16 \cdot x_3 + 8 \cdot x_1 \cdot x_2. \quad (3)$$

Анализ зависимостей для максимального сопротивления узлов податливости с вкладышами в виде тавра показал, что с ростом длины вкладыша предельное усилие, воспринимаемое узлом податливости с вкладышем, снижается практически по линейным зависимостям, о чём свидетельствует отрицательное значение коэффициента регрессии перед x_3 . При этом с ростом усилия затяжки гаек и увеличением сопротивления профиля изгибу параметр $R_{пр}$ возрастает, о чём свидетельствует знак «+» перед факторами x_1 и x_2 в уравнениях регрессии. Следует отметить, что для замка ЗПП все три фактора (x_1 , x_2 и x_3) равнозначны, так как коэффициенты регрессии близки друг к другу. Для замка ЗПК значимость x_1 и x_2 превышает значимость длины вкладыша (x_3) в 2–3 раза. При одних и тех же значениях факторов у замка ЗПК максимальное сопротивление выше, чем у замка ЗПП.

Для жёсткости узла податливости на предельной стадии деформирования вкладыша регрессионные зависимости в нормированных переменных записываются в следующем виде:

– для замка ЗПП:

$$y = 2 - 0,2 \cdot x_1 - x_2 + 0,7 \cdot x_3 + 0,15 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,1 \cdot (x_1 \cdot x_2 + x_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3); \quad (4)$$

– для замка ЗПК:

$$y = 2 - 0,5 \cdot x_1 - 0,8 \cdot x_2 + 0,7 \cdot x_3 - 0,15 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,35 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,2 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (5)$$

Следует отметить, что параметр C_k характеризует изменение сопротивления узла в запредельной области, то есть крутизну наклона прямой, и является, по сути, тангенсом угла наклона ломаной прямой на втором участке диаграммы деформирования. Чем выше его значение, тем круче диаграмма деформирования, то есть сопротивление падает быстрее. Если $C_k = 0$, то узел податливости с вкладышем деформируется при предельном сопротивлении и его спада не наблюдается.

Для узла податливости с замком ЗПП относительное (на единицу перемещения) сопротивление узла в запредельной области деформирования вкладыша в виде тавра возрастает с увеличением его длины, то есть у длинных вкладышей предельное сопротивление узла падает быстрее. С увеличением момента затяжки гаек параметр C_k возрастает, причём с ростом длины вкладыша диапазон его изменения за счёт момента M сужается. Тогда как у узла податливости с замком ЗПК, наоборот, эффект затяжки гаек снижается при применении коротких вкладышей, так как в этом случае диаграммы выполаживаются, а сопротивление узла объясняется смятием вкладыша.

Для остаточного сопротивления узлов податливости в податливой стадии работы

крепи регрессионные зависимости в нормированных переменных записываются следующим образом:

– для замка ЗПП:

$$y = 171 + 17 \cdot x_1 + 39 \cdot x_2 - 58 \cdot x_3 + 5 \cdot x_1 \cdot x_2 - 21 \cdot x_2 \cdot x_3; \quad (6)$$

– для замка ЗПК:

$$y = 245 + 67 \cdot x_1 + 66 \cdot x_2 - 51 \cdot x_3 + 15 \cdot x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot x_3 - 21 \cdot x_2 \cdot x_3 + 4 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (7)$$

В уравнениях (6) и (7) фактор x_3 имеет знак минус. Следовательно, с ростом длины вкладыша L сопротивление узлов податливости в рабочей стадии падает. Однако, в отличие от предельного сопротивления, значимость длины вкладыша на остаточное сопротивление существенно выше. При увеличении момента затяжки гаек M со 100 Н·м до 400 Н·м (фактор x_1) сопротивление $P_{ост}$ возрастает. Таким же образом влияет $P_{ост}$ и момент сопротивления профиля изгибу W (фактор x_2).

Полученные зависимости достаточно хорошо соответствуют экспериментальным данным и могут быть использованы при определении сопротивления крепи в рабочем режиме в зависимости от усилия затяжки гаек, типа спецпрофиля и длины

вкладыша, а также для построения номограмм.

Выводы. Проведённые испытания узлов податливости ЗПП и ЗПК с вкладышами позволили сделать следующие выводы.

Вкладыши прямоугольной формы поперечного сечения не рационально применять в распорно-податливой крепи, так как их придётся очень часто менять.

Вкладыши, выполненные в виде тавра, состоящего из двух прокатных уголков, сваренных между собой, обеспечивают при работе арки в податливом режиме его деформирование не только вследствие потери устойчивости, но в большей мере в результате смятия торцовых частей.

Диаграммы деформирования для вкладышей в виде тавра имеют протяжённую ниспадающую часть и высокое остаточное сопротивление в рабочем режиме, приближающееся к несущей способности крепи.

Диаграммы для узлов податливости ЗПП и ЗПК с вкладышами в виде тавра аппроксимированы кусочно-линейными зависимостями, а для сопротивления узлов в податливом режиме получены нелинейные интерполяционные модели в виде полинома с учётом взаимовлияния трёх факторов: усилия затяжки гаек, типа спецпрофиля и длины вкладыша.

Библиографический список

1. Пат. 63550 Украина, МПК⁹ E 21 D 11/14. Адаптивне розпiрно-пiддатливе крiплення [Текст] / Г. В. Бабюк, А. А. Леонов ; заявитель и патентообладатель Донбас. госуд. техн. ун-т. — № u20110376 ; заявл. 25.03.11 ; опубл. 10.10.11, Бюл. № 19. — 5 с.
2. Бабюк, Г. В. Адаптивная распорно-податливая крепь [Текст] / Г. В. Бабюк, А. А. Леонов // Форум гірників – 2012 : матеріали міжнародної конференції. — Днепропетровск, 2012. — Том 2. — С. 31–36.
3. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. — М. : Наука, 1976. — 279 с.
4. Володарский, Е. П. Планирование и организация измерительного эксперимента [Текст] / Е. П. Володарский, Б. Н. Малиновский, Ю. М. Туз. — К. : Вища шк., 1987. — 280 с.

© Леонов А. А.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. СГ ДонГТУ Литвинским Г. Г.,
и.о. гл. инженера филиала «Шахтоуправление „Луганское“»
ГУП ЛНР «Центруголь» Чепурным Д. С.**

Статья поступила в редакцию 11.11.19.

к.т.н. Леонов А. О. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР, leonand@ya.ru)

ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗПІРНО-ПІДДАТЛИВОГО КРІПЛЕННЯ

Шляхом лабораторних випробувань натурних зразків на пресі ІПС-500 отримано діаграми деформування вузлів піддатливості з регулювальними вкладками. Встановлено експериментальні регресивні моделі для визначення несучої здатності вузлів піддатливості ЗПП і ЗПК з вкладками в залежності від зусилля затягування гайок, типу спецпрофілю і довжини вкладки.

Ключові слова: підготовча виробка, рамне кріплення, вузол піддатливості, регулювальна вкладка, діаграма деформування, робочий опір, несуча здатність.

PhD in Engineering Leonov A. A. (DonSTU, Alchevsk, LPR, leonand@ya.ru)

LABORATORY RESEARCHES OF THE PARAMETERS OF SPACER-PLIABLE SUPPORT

By laboratory tests of full-scale specimen on the press IPS-500, the deformation curves of yielding joints with adjustment insets were obtained. Experimental regression models were established to determine the bearing capacity of yielding joints of ZPP and ZPK with insets depending on tightening force of the nuts, such as special profile and insets length.

Key words: preparatory excavation, frame support, yielding joints, adjustment inset, deformation curve, working resistance, load bearing capacity.