

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК УЗЛОВ ПОДАТЛИВОСТИ РАСПОРНО-ПОДАТЛИВОЙ КРЕПИ

*Г.В. Бабиюк, А.А. Леонов, Донбасский государственный технический университет, Украина*

Путем лабораторных испытаний натуральных образцов на прессе ИПС-500 получены диаграммы деформирования узлов податливости из шахтного спецпрофиля без установки и с установкой регулировочных вкладышей. Обоснована рациональная форма вкладыша.

**Постановка проблемы.** Основным средством поддержания подготовительных выработок на угольных шахтах Донбасса является арочная податливая крепь (КМП-А3, А4, А5) из шахтного специального профиля (СВП-22, 27 и 33) с поперечным сечением выработки 10-16 м<sup>2</sup>, плотностью установки рам 1-2 рамы и расходом металла 600-1000 кг на погонный метр выработки.

В основу выбора параметров податливой крепи положен принцип определения площади поперечного сечения выработки с запасом на осадку пород за весь срок ее службы. Обычно считается, что данная крепь способна с сопротивлением, которое задают узлы податливости (ЗПП –  $N_s=130-230$  кН; ЗСД –  $N_s=160-320$  кН; ЗПК –  $N_s=190-340$  кН), без существенных деформаций профиля компенсировать от 400 до 1000 мм смещений пород. На рабочее сопротивление крепи в податливом режиме влияет ряд факторов: условия контактирования крепи с окружающим выработку массивом горных пород, наличие забутовки закрепного пространства, тип узла податливости и особенности его установки.

В шахтных условиях при установке металлической крепи из спецпрофиля усилие зажатия гаек на хомутах не фиксируется. Поэтому в ряде случаев гайки на хомутах оказываются зажатые до такой степени, что крепь работает в жестком режиме, при этом она деформируется и выходит из строя еще до наступления податливости в узлах. И, наоборот, часто узел зажимают настолько слабо, что рама смещается без сопротивления и несущая способность крепи не используется.

Кроме того, на практике устанавливают крепь с большим монтажным зазором между аркой и породным обнажением и, как правило, без заполнения пустот. В результате этого арка долгое время не контактирует с породным обнажением, не создает отпора смещающимся в выработку породам и не предотвращает их разрыхление в зоне неупругих деформаций. Даже при взаимодействии рамы с разрушенными породами крепь не имеет плотного контакта с породным контуром выработки, загружена неравномерной и асимметричной нагрузкой и практически не оказывает влияние на дальнейшее развитие геомеханических процессов, так как она имеет малое сопротивление узлов соединения элементов и избыточную податливость.

Такой принцип крепления выработок является характерным примером экстенсивного и ресурсозатратного подхода к решению проблемы обеспечения устойчивости выработок, при котором в очень малой степени используется собственная несущая способность пород. С позиций ресурсосбережения основным несущим элементом при обеспечении устойчивости выработки должна быть не крепь, а сами горные породы, в которых она сооружается, то есть должна более полно использоваться собственная несущая способность пород. Крепь следует применять, прежде всего, как средство управления геомеханическими процессами и для повышения сопротивления разрушенных пород в условиях интенсивного проявления горного давления. При этом, в связи с изменчивыми и во многом неопределенными условиями проведения и поддержания выработок, крепь должна быть не только податливой, но и обладать распорными функциями для формирования надлежащих условий взаимодействия крепи с породным контуром выработки, создания активного подпора смещающимся породам и уплотнения разрушенных пород в зоне неупругих деформаций. Для реализации такого подхода разработана распорно-податливая крепь [1], которая позволяет регулировать деформационно-силовые параметры крепи с помощью специальных вкладышей в течение всего сро-

ка службы выработки.

**Анализ исследований.** Основной характеристикой металлической податливой крепи из спецпрофиля является зависимость между несущей способностью крепи в податливом и жестком режимах работы и смещениями узлов податливости и арки (рамы) в целом. Получение такой характеристики строгими теоретическими методами наталкивается на серьезные трудности, что вызывает необходимость в принятии гипотетических предпосылок и разработке приближенных методов. Проверить получаемые при этом результаты можно лишь путем непосредственных испытаний крепи, которые проводят на стендах в лабораторных условиях.

Стендовые испытания предполагают наличие специального оборудования [2, 3], которое имеется лишь в специализированных организациях, а изготовление крепи в натуральную величину требует дополнительных затрат. Поэтому исследования были проведены на полномасштабных образцах узлов податливости, изготовленных из натуральных деталей, которые испытывались на прессе для испытания строительных конструкций, что позволило получить искомые рабочие характеристики узлов податливости как без, так и с регулировочными вкладышами с минимальными затратами. Следует отметить, что при испытаниях криволинейный профиль арочной крепи был заменен прямолинейными отрезками. Это вносит некоторые изменения в реальную схему работы узла податливости, но при больших радиусах закругления звеньев (верхняка и стойки) вполне допустимо.

**Цель работы** заключалась в получении диаграмм деформирования узлов податливости путем лабораторных испытаний натурных образцов.

**Методика проведения лабораторных испытаний узлов податливости.** Исследование несущей способности узлов податливости проводилось в лабораторных условиях на прессе ИПС-500. Пресс обеспечивает усилие нагружения до 500 т, а при нагружении образцов узлов податливости отсчеты 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 прессы). Измерение перемещений в узлах податливости и прогиба вкладыша про-

изводилось прогибомерами 6ПАО с точностью до 0,01 мм.

Для испытаний использовался профиль трех типоразмеров: СВП-22, СВП-27 и СВП-33. Образцы узлов податливости изготавливали из прямолинейных отрезков, длиной 1000 мм, которые соединяли с нахлесткой 400 мм крепежными 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  $\pm 4\%$ .

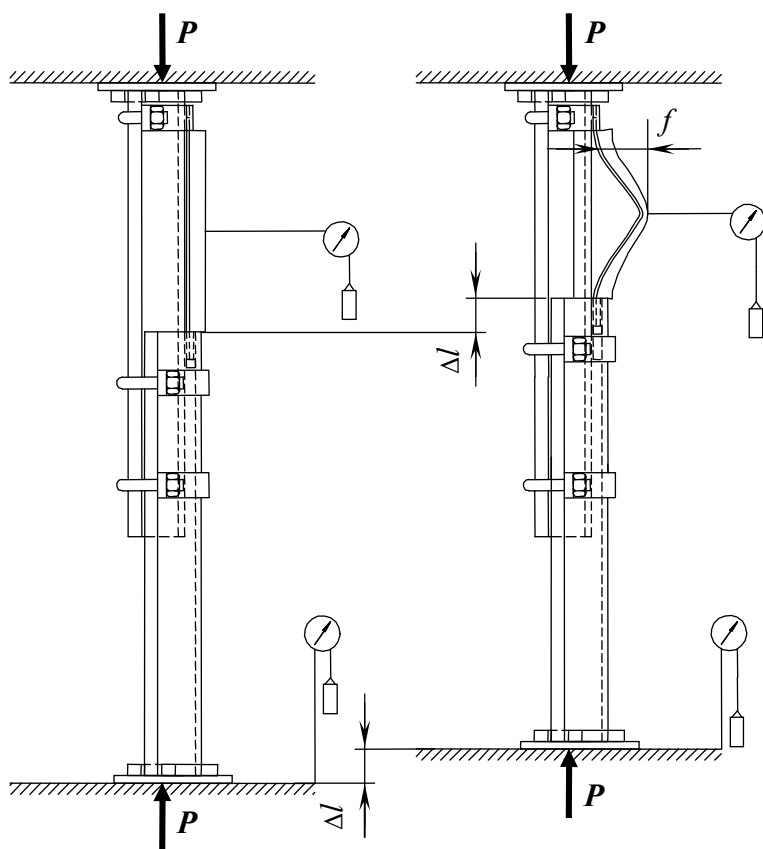


Рис. 1. Схема испытания узлов податливости на прессе

Схема устройства для проведения испытаний узлов податливости представлена на рис. 1. Сущность метода исследований заключалась в измерении величины продольных перемещений  $\Delta l$  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, при необходимости устанавливали регулировочные вкладыши различной длины и формы (в виде прямоугольника, 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, при этом для надежной и безопасной фиксации образцов на верхний и нижний торцы профилей надевали съемные опорные башмаки. Нагрузку на образцы прикладывали плавно и фиксировали по заданным перемещениям в узлах податливости с интервалом 0,5 мм.

**Закономерности деформирования узлов податливости без вкладышей.** В соответствии с отраслевыми нормативными документами [4, 5] для обеспечения рабочего сопротивления затяжка гаек типовых узлов податливости должна проводиться до момента начала изгиба прямых планок. При этом закручивание гаек производят на шахтах вручную. Как показала практика, создаваемого таким образом усилия затяжки гаек недостаточно, чтобы обеспечить нормативное сопротивление крепи в податливом режиме.

Так как затягивание гаек узла податливости крепи является основным фактором, влияющим на трение между сопрягаемыми спецпрофилями, а, следовательно, на величину воспринимаемой крепью нагрузки, то при эксперименте усилие затяжки гаек увеличено до 400 кН и обеспечена фиксация величины крутящего момента за счет применения динамометрического ключа с увеличенным рычагом.

В качестве примера на рис. 2 представлены результаты экспериментальных исследований сопротивления узлов податливости ЗПП и ЗПК для спецпрофиля СВП-22. Аналогичные диаграммы деформирования получены для СВП-27 и СВП-33. По мере перемещения спецпрофилей в нахлестке относительно друг друга нагрузка, воспринимаемая узлом податливости за счет трения сопрягаемых поверхностей, возрастает, причем максимальный прирост усилия наблюдается при перемещениях до 1 см. Далее, при проскальзывании профилей сопротивление несколько стабилизируется, причем общая тенденция случайным образом нарушается вторичными эффектами, связанными с вдавливанием, вытяжкой, разворотом и подвижками П-образных скоб из круглых прутков, особенно для узла податливости ЗПП, что обуславливает некоторую изменчивость показателей. Сравнение графиков показало, что для всех типов спецпрофилей сопротивление узла податливости ЗПК значительно выше аналогичного показателя для типового узла, причем по мере увеличения затяжки гаек разница увеличивается. Минимальное сопротивление характерно для спецпрофиля СВП-22, а максимальное – для СВП-33. С ростом момента затяжки гаек сопротивление увеличивается для обоих узлов, причем для замков ЗПК в большей степени. Абсолютный максимум сопротивления наблюдается для узла податливости ЗПК и спецпрофиля СВП-33 при усилии затяжки гаек 400 Н·м и составляет  $P=380$  кН при перемещениях 9 см.

Если аппроксимировать диаграммы кусочно-линейными зависимостями, представленными на рис. 3, то на графиках можно выделить три характерных участка с различным наклоном прямых. Первый участок является практически линейным, он характеризует жесткость конструкции узла в начальный момент нагружения и наблюдается до тех пор, пока действующая нагрузка не превысит трение взаимодействующих профилей. Этот участок диаграммы деформирования хорошо аппроксимируется прямой, выходящей из начала координат со средним углом наклона  $\alpha=88^\circ$  и средней жесткостью для замка ЗПП – 28,9 МН/м и для замка ЗПК – 35,6 МН/м. Аппроксимационная прямая первого участка характеризуется малыми перемещениями  $l_1$  (от 0,21 см до 1,24 см) и ограничивается значением усилия  $P_1$  (от 22 кН до 140 кН), которое свидетельствует о начале срабатывания узла податливости. В пределах этого

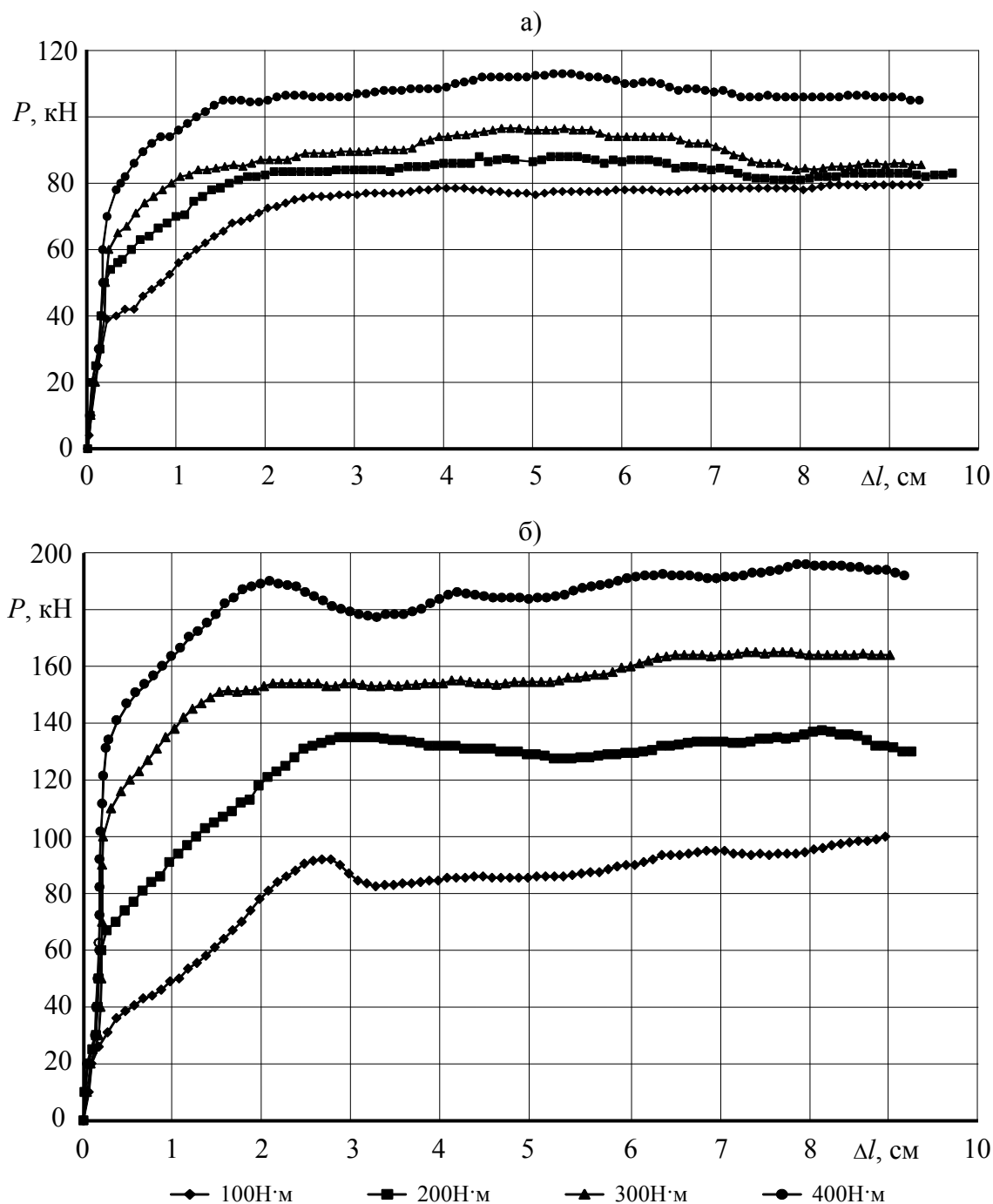


Рис. 2. Диаграммы деформирования узлов податливости ЗПП (а) и ЗПК (б) для СВП-22 с различным усилием затяжки гаек

участка среднее квадратическое отклонение нагрузки  $\sigma_p=3,9$  кН, а коэффициент вариации не превышает 21%. Величина максимального усилия  $P_1$  на первом участке диаграммы в меньшей степени зависит от вида замка и типа СВП, а в большей – от момента затяжки гаек. При этом, чем более возрастает момент  $M$ , тем выше сила трения в нахлестке профилей, что ведет к росту усилия  $P_1$ , при котором начинаются подвижки в узле податливости.

Далее на диаграммах следует нелинейный участок перехода от жесткого режима работы замка в податливый, где зависимость постепенно выполаживается до предельного сопротивления узла. Отрезок кусочно-линейной зависимости, аппроксимирующий этот участок, начинается с точки  $A$ , обусловленной  $P_1$ , и заканчивается в точке  $B$ , месторасположение которой ограничивается вторым пороговым значением перемещений  $l_{II}$ , приблизительно равным для СВП-22 – 2 см, СВП-27 – 3 см и СВП-33 – 4 см. Он характеризуется ограниченным

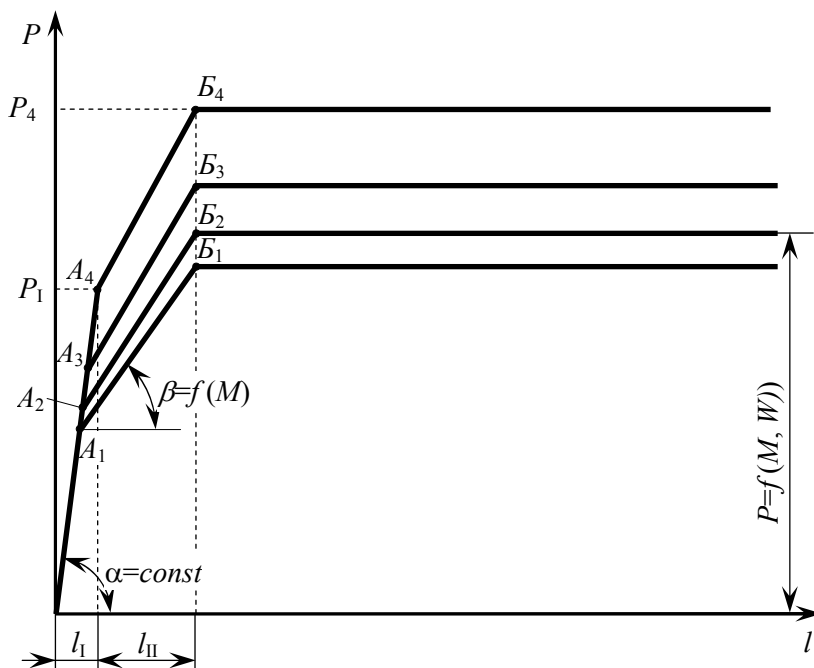


Рис. 3. Кусочно-линейные зависимости для аппроксимации диаграммы деформирования узла податливости

ответствующую среднему значению сопротивления определенного узла податливости с заданным усилием затяжки гаек, изготовленного из того или иного профиля  $P = f(M, W)$ , при различной величине перемещения профилей в нахлестке, тогда как реальные кривые варьируют вокруг этой прямой с коэффициентом вариации 7,7% для замка ЗПП и 10,2% для замка ЗПК.

Для СВП-22 наименьшее значение абсолютной величины сопротивления узлов податливости  $P$  в пределах 72,5...79,5 кН обеспечивается узлом податливости ЗПП, а наибольшее 179...196 кН соответствует замку ЗПК. Для СВП-27 минимальные пределы варьирования  $P$  соответственно составляют 71,2...94,3 кН для ЗПП, а максимальные 212,3...300,1 кН для ЗПК. И, наконец, для СВП-33 минимальные пределы варьирования  $P$  равны 92,6...112,8 кН для ЗПП, а максимальные – 292,6-379 кН для ЗПК, причем, независимо от типа замка, минимальные значения сопротивления соответствуют крутящему моменту 100 Н·м. Сравнивая между собой замковые соединения ЗПП и ЗПК, можно отметить, что во всех случаях аналогичный показатель у замка ЗПК выше, чем показатель у замка ЗПП. При этом для СВП-22 это отношение для усилия затяжки гаек 100, 200, 300 и 400 Н·м соответственно составляет 1,15, 1,56, 1,75 и 1,74, тогда как для СВП-33 сопротивление узла ЗПП соответственно в 1,44, 1,96, 2,19 и 2,17 раз. Следовательно, чем выше крутящий момент, тем эффективнее узел податливости ЗПК по сравнению с ЗПП.

**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.

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

интервалом перемещений (от 0,8 см до 1,7 см для замка ЗПП и от 1,1 см до 3,5 см для замка ЗПК) и углом наклона аппроксимационной прямой  $\beta=67^\circ$  для замка ЗПП и  $\beta=73^\circ$  для замка ЗПК. В пределах этого участка среднее квадратическое отклонение нагрузки  $\sigma_p = 6,66$  кН, а коэффициент вариации не превышает 2,6%.

Третий участок соответствует устоявшемуся перемещению профилей в узле податливости с постоянным сопротивлением, равным его несущей способности. Идеализированные аппроксимационные зависимости на этом участке представляют собой горизонтальную прямую, со-

Эксперименты выполнены для трех 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, причем 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 см<sup>2</sup>). Геометрические параметры вкладышей выбраны исходя из параметров зазора между сопрягаемыми в нахлестке спецпрофилями.

Результаты исследований для СВП-22 представлены на рис. 4 в виде зависимостей нагрузки  $P$  от перемещения  $\Delta l$  профилей в нахлестке при различной длине и толщине прямоугольной пластины. На рисунках для наглядности зависимости для узла податливости с вкладышами сопоставлены с аналогичной зависимостью деформирования узла податливости без вкладыша.

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 их суммирования сопротивлений демонстрируется на рис. 5.

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 путем 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 боль-

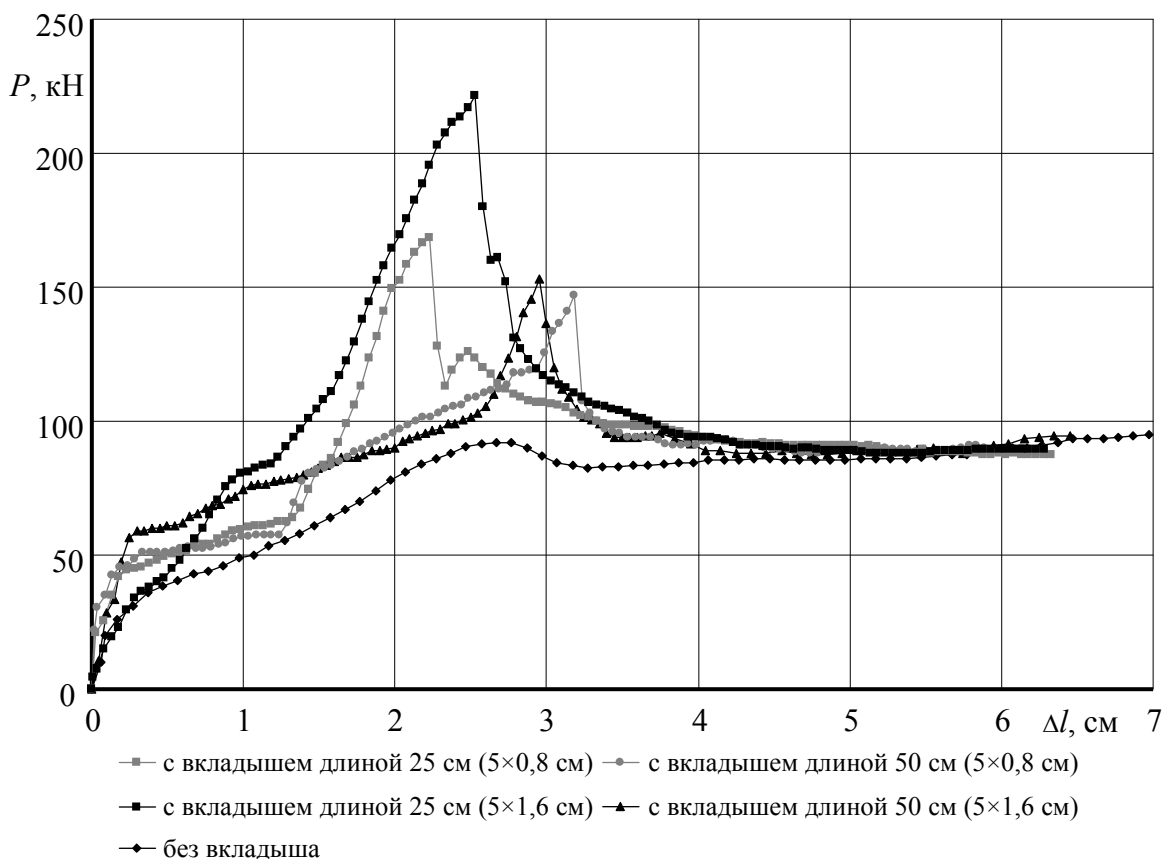


Рис. 4. Диаграммы деформирования узла податливости ЗПК для СВП-22 при усилии затяжки гаек 100 Н·м без вкладыша и с вкладышем в виде прямоугольной пластины различной длины и толщины

шую крутизну, чем восходящий участок диаграммы узла податливости. Потеря устойчивости вкладыша реализуется при нагрузке, которая для данного конкретного примера превышает сопротивление узла в податливом режиме работы. Следует заметить, что вкладыш таких

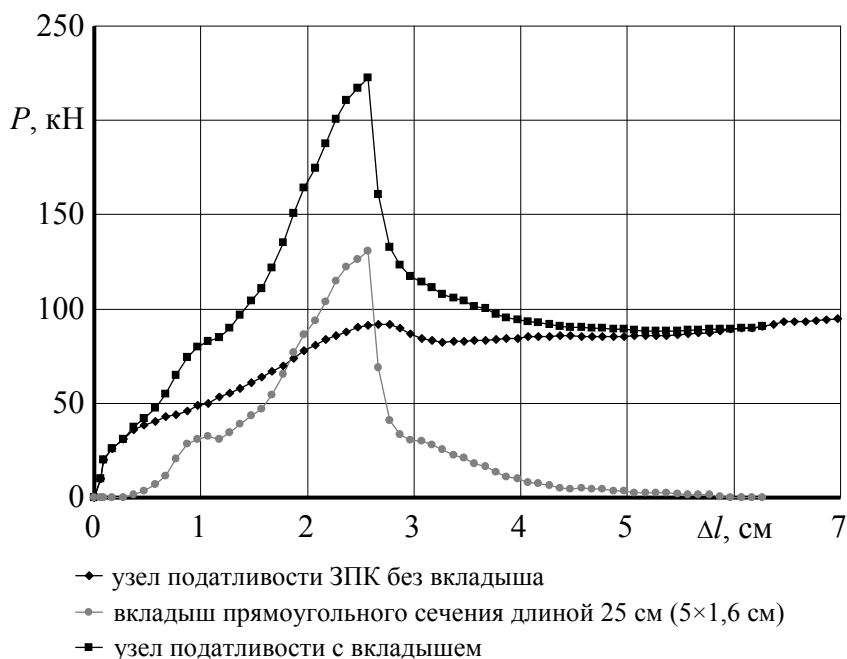


Рис. 5. Диаграммы деформирования узла податливости с замком ЗПК для СВП-22 (1), вкладыша (2) и узла податливости, усиленного тем же вкладышем (3)

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 сов-

местную диаграмму деформирования узла податливости, так как потеря устойчивости вкладыша происходила еще до выхода на податливый режим работы узла. Только для СВП-22 отмечено повышение нагрузки за счет 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 регулировочными 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 регулировочных вкладышей выполнены для трех типов спецпрофилей (СВП-22, СВП-27 и СВП-33), причем испытания 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 рис. 6 в качестве примера представлены 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 жестком режиме. На этом участке жесткость узла с вкладышем практически совпадает с жесткостью узла без вкладыша, но его предельное сопротивление в несколько раз превышает сопротивление узла в податливом режиме. После потери устойчивости вкладыша вследствие продольного

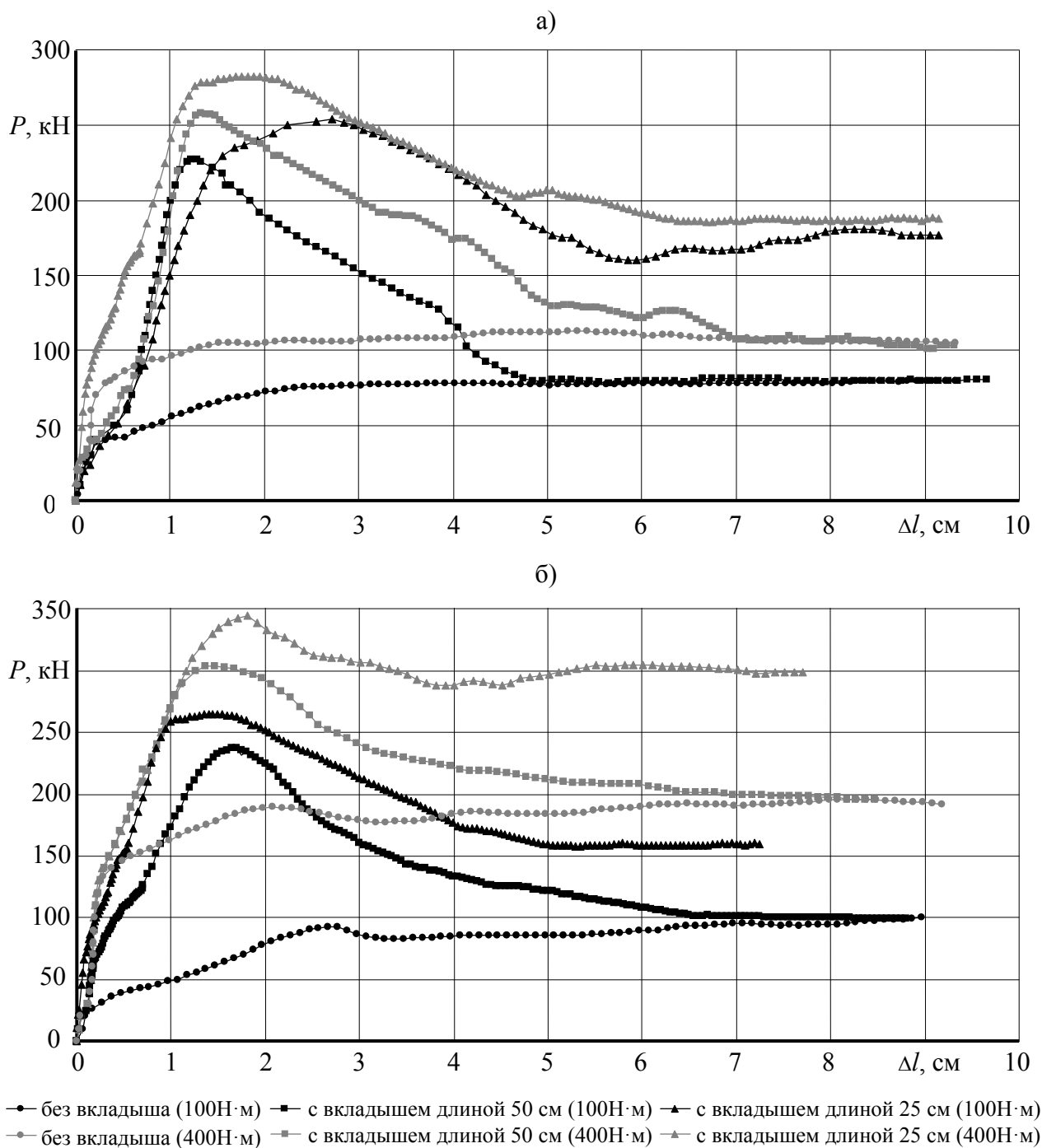


Рис. 6. Диаграммы деформирования узлов податливости ЗПП (а) и ЗПК (б) для СВП-22 при усилии затяжки гаек 100 Н·м и 400 Н·м без вкладыша и с вкладышем в виде тавра различной длины

изгиба его сопротивление начинает резко падать, причем чем больше его длина, тем жесткость узла податливости в запредельной области меньше.

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 усилии затяжки гаек и момента сопротивления спецпрофиля.

Приведенные диаграммы можно аппроксимировать кусочно-линейной зависимостью,



представленной на рис. 7, на которой можно выделить три участка: I – жесткого 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, наклоненный 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 жесткость замков ЗПП и ЗПК ( $C_k = 18 \text{ МН/м}$  и  $C_k = 21,3 \text{ МН/м}$ ) на 10-15 МН/м меньше, аналогичного показателя узлов податливости без вкладыша. В пределах этого участка среднее квадратическое отклонение нагрузки для замка ЗПП составляет  $\sigma_p=1,7 \text{ кН}$  и для замка ЗПК –  $\sigma_p = 1,0 \text{ кН}$ , 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 предельный участок является более пологим и распространяется в пределах перемещений узла до 1 см. За счет вкладышей максимальную 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  $\varphi$  отрезка ломаной прямой к горизонтали, интервалом  $l_c$  спада сопротивления и жесткостью узла податливости  $C_k$ , которая, в отличие от первого участка, имеет отрицательный знак, так как по мере роста перемещений сопротивление узла падает.

Угол наклона  $\varphi$  диаграммы связан с интервалом  $l_c$  падения сопротивления, причем, 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  $\varphi$  снижается, причем для коротких

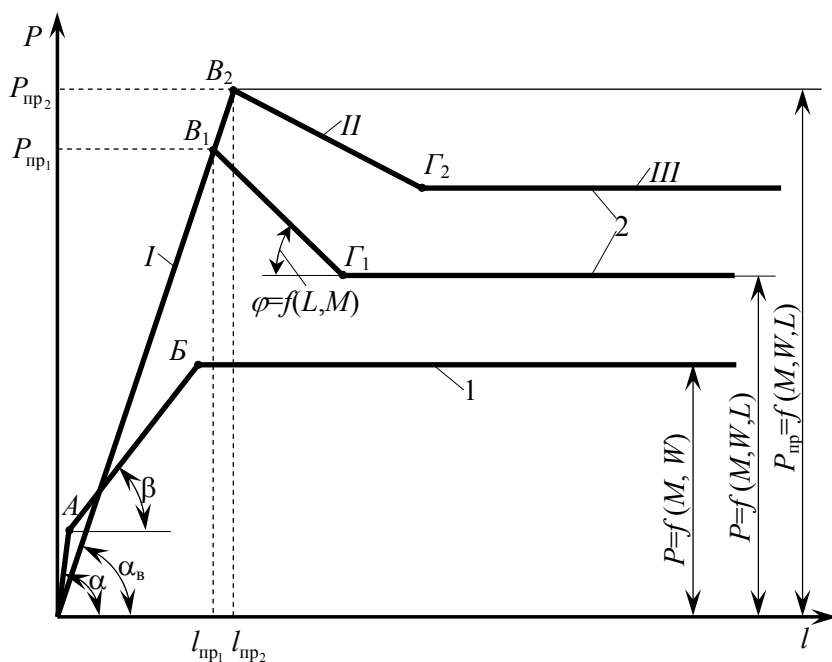


Рис. 7. Кусочно-линейная зависимость для аппроксимации диаграммы деформирования узла податливости с вкладышем

вкладышей это падение выражено существенно больше. При постоянной величине затяжки гаек с уменьшением длины вкладыша  $L$  угол  $\varphi$  также снижается, причем 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 жесткостью  $C_k=0,05 \text{ МН/м}$  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 отклонение нагрузки в среднем составляет 6,9 кН для замка ЗПП и 4,7 кН для замка ЗПК, а изменчивость показателя характеризуется в 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.

**Выводы.** Таким образом, приведенные испытания показали, что вкладыши прямоугольной формы поперечного сечения не рационально применять в распорно-податливой крепи, так как их придется очень часто менять. Путем лабораторных экспериментов установлена оптимальная область изменения параметров вкладышей в виде тавра. Полученные данные можно использовать для вывода математической зависимости сопротивления узлов податливости с вкладышами от основных влияющих факторов.

#### Список литературы

1. Пат. 63550 Україна, МПК9 Е 21 D 11/14. Адаптивне розпірно-піддатливе кріплення / Бабіюк Г.В., Леонов А.О. (Україна); заявник і патентовласник Донбас. держ. техн. ун-т. – №u 20110376, заявл. 25.03.2011; опубл. 10.10.2011, Бюл. №19. – 5с.: іл.
2. Ерофеев Л.М. Повышение надежности крепи горных выработок / Л.М. Ерофеев, Л.А. Мирошникова. – М.: Недра, 1988. – 245с.
3. Кириченко В.Я. Несущая способность штрековых металлокрепей из спецпрофиля СВП / В.Я. Кириченко // Геотехническая механика: научн. техн. сб. – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины, 2009. – № 83. – С.55-65.
4. Отраслевая инструкция по применению рамных и анкерных крепей в подготовительных выработках угольных и сланцевых шахт. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1985. – 145с.
5. Инструкция по выбору рамных податливых крепей горных выработок. – Санкт-Петербург: ВНИМИ, 1991. – 125с.