

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
БЕСКОНСОЛЬНЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ
ОЧИСТНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

Монография

**Днепропетровск
НГУ
2014**

УДК 622.284

ББК 33.141

О22

Рекомендовано до друку вченою радою Державного ВНЗ «НГУ» (протокол № 6 від 02.07.2013).

Рецензенти:

С.С. Гребьонкін – доктор технічних наук, професор кафедри гірництва і транспорту Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (м. Луганськ);

В.І. Голінько – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри аерології та охорони праці ДВНЗ «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ);

Л.Н. Ширін – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри транспортних систем і технологій ДВНЗ «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ).

Автори: В.І. Бузило, В.П. Сердюк, О.Г. Кошка, О.О. Яворська, Є.А. Коровяка, А.В. Яворський.

Обоснование параметров и области применения бесконсольных механизированных крепей очистных комплексов: монография / В.И. Бузило, В.П. Сердюк, А.Г. Кошка, Е.А. Яворская, Е.А. Коровяка, А.В. Яворский; М-во образования и науки Украины; Нац. горн. ун-т. – Д. : НГУ, 2014. – 95 с.

ISBN 978–966–350–498-8

Посвящена вопросам установления закономерностей взаимодействия элементов системы "крепление - боковые породы - краевая часть пласта" для обоснования области применения бесконсольных механизированных крепей очистных комплексов, при использовании которых в условиях тонких пологих пластов будет повышена производительность, обеспечена безопасность обслуживающего персонала, снижена зольность и себестоимость добытой горной массы.

Разработаны рекомендации по совершенствованию технологии крепления лав с неустойчивыми кровлями, обоснована область применения бесконсольных механизированных крепей, которые будут использованы при создании очистных комплексов для сложных горно-геологических условий.

Для студентов, инженерно-технических работников, сотрудников высших учебных заведений, научно-исследовательских институтов и проектных организаций угольной промышленности.

Ил. 41. Библиогр.: 108 назв.

УДК 622.284

ББК 33.141

ISBN 978–966–350–498-8

© В.І. Бузило, В.П. Сердюк,
О.Г. Кошка, О.О. Яворська,
Є.А. Коровяка, А.В. Яворський, 2014
© ДВНЗ «Національний гірничий
університет», 2014

ВВЕДЕНИЕ

С уходом очистных работ на большие глубины горно-геологические условия отработки угольных пластов ухудшаются. В Донбассе таких пластов около 80%. Из-за частых вывалов пород в лавах снижаются нагрузки на очистные забои, ухудшается качество угля, растет травматизм рабочих и трудоемкость рабочих процессов.

Применяемые в отрасли серийные очистные механизированные комплексы, в том числе и нового технического уровня не полностью перекрывают кровлю в рабочем пространстве лавы и не устраняют вывалов пород. Разработанные в последнее время комплексы КД90, ДМ, КДД, ДТ и другие также не решают эту проблему.

В результате многолетних исследований характера взаимодействия перекрытий крепей с неустойчивыми боковыми породами и других работ, ДГИ (ныне НГУ), совместно с ДонУГИ и Донгипроуглемашем было предложено ликвидировать бесстоечное пространство в лаве, то есть установить дополнительную силовую опору у забоя и таким образом исключить консольную часть перекрытия секции механизированной крепи без уменьшения размеров последней. Это позволило создать бесконсольную крепь и, соответственно, увеличить реакцию перекрытия крепи у забоя. Предложены два способа ликвидации бесстоечного пространства и образования бесконсольных механизированных крепей. Первый - установка силовой опоры на почву пласта у его забоя, второй - установка этой опоры на угольный уступ в опережающем под кровлей пласта врубе.

Второй способ ликвидации бесстоечного пространства был реализован институтами ДонУГИ, ДГИ и Донгипроуглемашем в комплексе "Западный Донбасс". Передняя часть перекрытий секций у этого комплекса посредством силового механизма опирается на угольный уступ, образованный исполнительным органом комбайна. Для проверки работоспособности предложенной конструкции крепи проведены стендовые и шахтные испытания экспериментального образца комплекса "Западный Донбасс". Испытания подтвердили работоспособность крепи, так как вывалов и высыпаний неустойчивых пород кровли в рабочее пространство лавы, оборудованной экспериментальным комплексом, не происходило.

Характер поведения угольных уступов, используемых в качестве опоры для силовых механизмов крепи, и область применения бесконсольных крепей не были изучены, что затруднило решение вопросов, связанных с изготовлением комплексов и установлением перспективы их распространения.

В проведении экспериментальных исследований участвовали сотрудники кафедры подземной разработки месторождений Государственного ВУЗ «НГУ» и работники шахт производственных объединений «Павлоградуголь», «Макеевуголь», «Донецкуголь», «Селидовуголь», «Луганскуголь». Всем им авторы выражают искреннюю признательность и благодарность. Отдельная благодарность студентам Государственного ВУЗ «НГУ» Малашкевичу Д.С. и Ковбасе В.В. за помощь в оформлении монографии.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Краткая характеристика объектов исследований

С уходом очистных работ на большие глубины горно-геологические условия выемки угольных пластов ухудшаются, появляется большое число пластов с неустойчивыми кровлями. Только в Донбассе насчитывается 116 угольных пластов пологого падения с неустойчивыми нижними слоями кровли, в том числе: в Украинском Донбассе – 93; Восточном Донбассе – 13; Западном Донбассе – 10. По бассейнам процент лав с неустойчивыми кровлями следующий: Украинский Донбасс – 72,1%; Восточный Донбасс – 21,6%, Западный Донбасс – 70,5% [37].

Неустойчивые кровли в основном представлены слабоустойчивыми глинистыми и песчано-глинистыми сланцами. На рис. 1.1 (а) приведена гистограмма распределения количества шахтопластов по восьми производственным объединениям Донбасса в зависимости от мощности ложной кровли. По этим же объединениям на рис. 1.1 (б) приведена гистограмма распределения шахтопластов. Как следует из рис. 1.1 (а), (б) основные запасы сосредоточены на пластах малой мощности, а мощность непосредственной кровли в большинстве составляет 0,2-0,4 м.

В связи с ухудшением горно-геологических условий отработки (глубина, температура, выбросы) и уменьшением запасов в центральных районах Донбасса удельный вес добычи шахт Западного Донбасса будет постоянно увеличиваться. Распределение запасов между пластами различной мощности на действующих, строящихся и проектируемых шахтах Западного Донбасса представлено на гистограмме рис. 1.2. Из рис. 1.2 следует, что основные запасы угля сосредоточены в пластах мощностью 0,6-1,2 м (91,8% всех запасов). Это в основном крепкий и вязкий уголь с коэффициентом крепости по шкале М.М.Протоdjаконова $f=3-4$. Что подтверждает приведенная на рис. 1.3 гистограмма распределения действующих очистных забоев Западного Донбасса в зависимости от крепости угля. Строение угольных пластов района преимущественно простое. Кровля и почвы представлены слабоустойчивыми глинистыми и песчано-глинистыми сланцами.

Сложная гипсометрия пластов Западного Донбасса, наличие ложной непосредственной кровли, способной обрушаться вслед за проходом исполнительного органа комбайна, большого числа мелких нарушений, воды и крепкого угля создают основные трудности при выемке угольных пластов. В связи с этим имеют место продолжительные простои лав, их завалы, травматизм рабочих и т.д.

Вывалы и обрушения пород в рабочее пространство лав имеют место в большинстве шахт Донбасса и всех действующих шахтах Западного Донбасса, независимо от типа применяемых выемочных машин. Особенно их много в лавах, оснащенных механизированными комплексами. На шахтах только «Западного Донбасса» по внутрилавым причинам простои лав в год

составляют 37 – 38 тыс. часов рабочего времени, в том числе 16 - 17 часов вследствие ликвидации вывалообразований. Потери добычи угля по этой причине составили около 500 тыс. т.

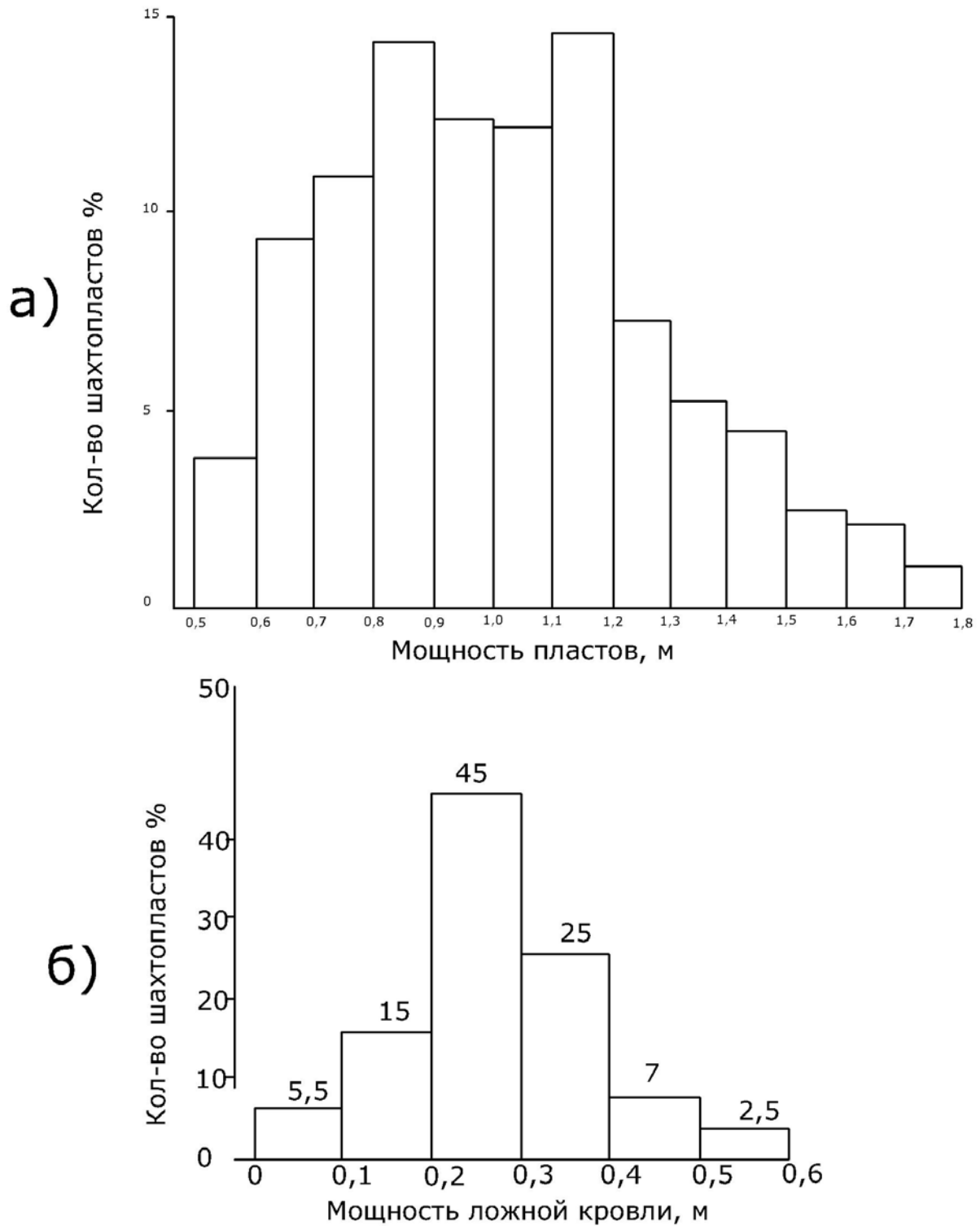


Рисунок 1.1 - Гистограммы распределения шахтопластов по 8 производственным объединениям Донбасса в зависимости от мощности: пластов (а) и ложной кровли (б)

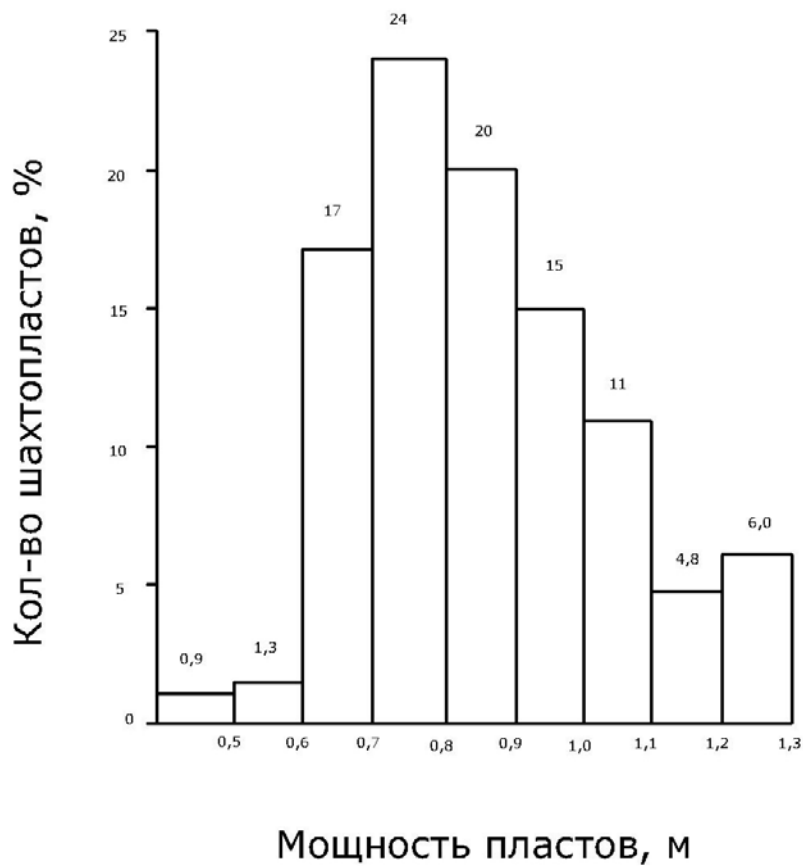


Рисунок 1.2 - Распределение запасов угля в Западном Донбассе по мощности пластов

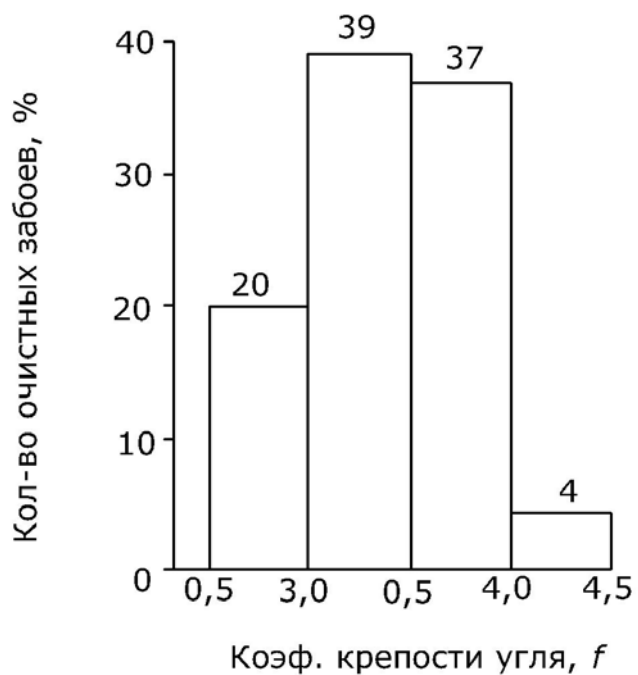


Рисунок 1.3 - Распределение очистных забоев Западного Донбасса по крепости угля

При отработке пластов с неустойчивыми боковыми породами в Донбассе применяют следующие меры борьбы с вывалообразованием пород:

- оставление пачки более прочного угля у кровли пласта;
- установка в лаве, оснащенной механизированной крепью, индивидуальной крепи у забоя;
- введение металлических или деревянных анкеров в пробуренные из очистного забоя опережающие шпуры;
- уменьшение захвата выемочного комбайна до 0,4 м и др.

Зачастую для перехода зон вывалов способ подхвата необрушенных пород клетями, возводимыми над перекрытием крепи у забоя. Такие работы трудоемки и опасны. Исследователями ДонУГИ [58] установлено, что наибольшее число случаев травматизма происходит в призабойных частях лав.

Опыт отработки пластов с неустойчивыми кровлями, например, на шахтах Западного Донбасса показывает, что механизированных крепей, надежно работающих в лавах с неустойчивыми боковыми породами, пока нет, а применяемые крепи очистных комплексов КД80, КД90, КМ103, ДМ и др. не полностью отвечают требованиям сложных горно-геологических условий.

Таким образом, сложные условия залегания пластов создают значительные трудности для добычи угля современной горной техникой.

Начиная с 1972 года НГУ(ДГИ) совместно с ДоУГИ проводили систематические исследования проявлений горного давления в лавах, оборудованных различными средствами добычи угля [33,40,69]. На основании этих исследований был сделан вывод о том, что наибольшее количество и объем вывалов имеют место в призабойной части лавы, где современные механизированные крепи не обеспечивают надежного поддержания кровли. Для предотвращения вывалов было предложено ликвидировать бесстоечное пространство у забоя путем установки дополнительной силовой опоры: либо на уступ, образованный исполнительным органом комбайна; либо на почву у забоя. Это позволит исключить появление растягивающих напряжений в призабойной части кровли и, как следствие, ликвидировать вывалообразование [45,69,76].

При изготовлении экспериментального образца такого комплекса за базовые были взяты крепь «Донбасс» и комбайн МК67. На рис. 1.4 показана схема экспериментального образца очистного комплекса «Западный Донбасс» с бесконсольной механизированной крепью. Испытания этого комплекса в условиях пласта С₅ «Терновская» ПО «Павлоградуголь» показали его работоспособность – вывалов пород кровли в призабойное пространство не наблюдалось. Также было установлено, что отработка пласта с опережающим под кровлей врубом, по сравнению с выемкой прямолинейным по вертикали забоем, привела к снижению нагрузки на двигатель комбайна и соответственно уменьшению энергоемкости добычи угля.

Кроме этого значительно уменьшен выход штыба и увеличен выход крупных классов угля.

Все это подтверждает целесообразность применения бесконсольных крепей и выемки пластов с опережающим врубом.

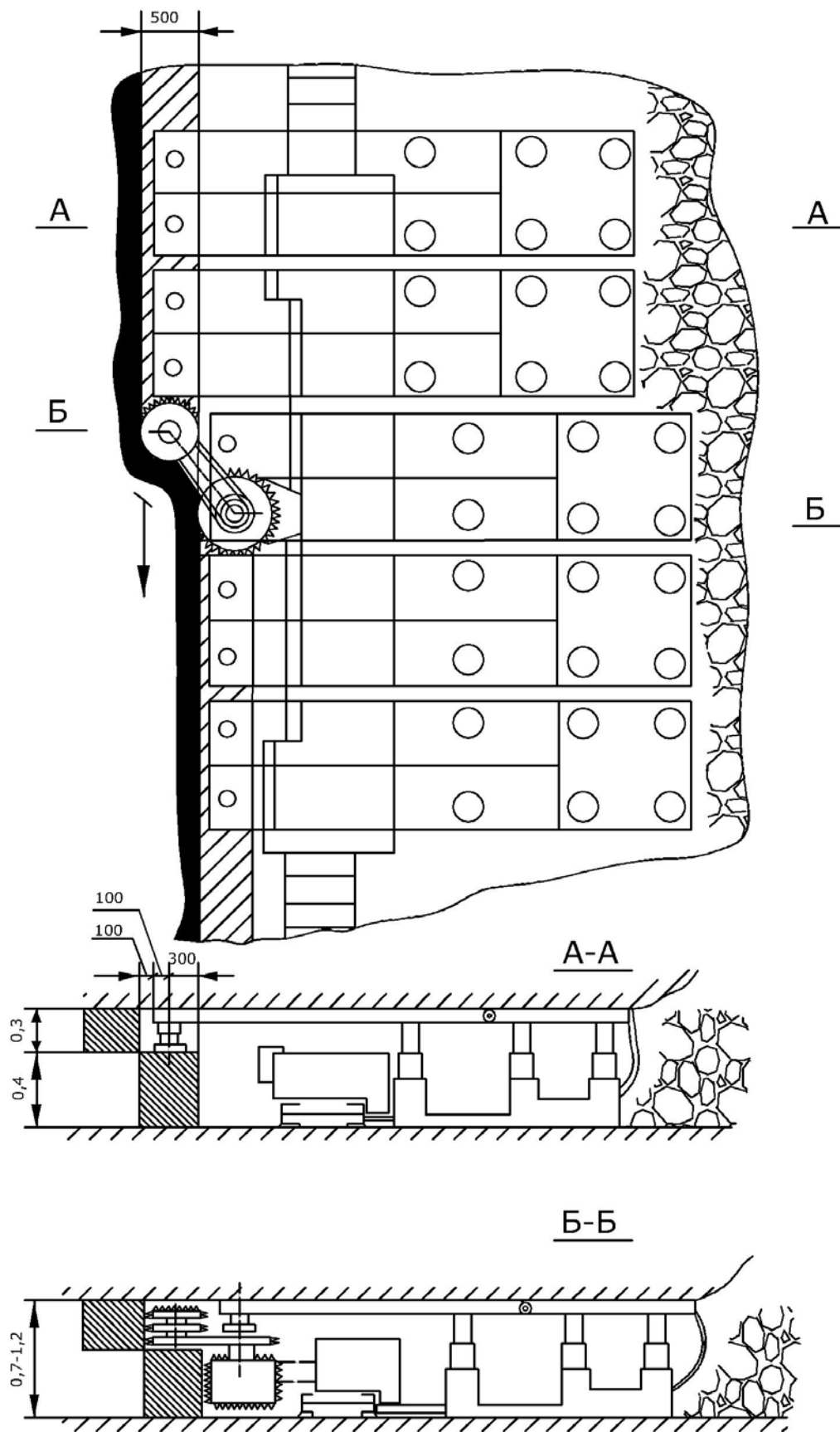


Рисунок 1.4 - Экспериментальный образец комплекса «Западный Донбасс»

1.2 Анализ работ, посвященных вопросам исследований краевых частей пологих угольных пластов

В настоящее время число лав, отрабатывающих пласты с ложной неустойчивой кровлей, составляют более 40 % [52]. С уходом очистных забоев на большие глубины количество таких пластов будет увеличиваться [92]. Попытки применить для этих условий комплексы машин, предназначенные для выемки пластов с кровлями устойчивыми и средней устойчивости, были неудачными. Это объясняется не полным соответствием параметров крепей указанных комплексов условиям надежного поддержания легкообрушаемых и неустойчивых кровель.

В нашей стране и за рубежом велись и ведутся работы по созданию механизированных крепей для неустойчивых боковых пород. В литературе имеется достаточное количество работ, посвященных исследованиям и обоснованию основных параметров механизированных крепей для пластов с неустойчивыми боковыми породами. Зачастую эти работы разнообразны и противоречивы, так одни ученые [22, 83, 57] считают, что для предотвращения вывалообразования в призабойной части сопротивление стоек крепи должно составлять в пределах 300 + 400 кН, другие же [30, 31, 51, 53, 62, 63, 100] считают, что при меньших величинах несущей способности стоек удастся лучше сохранить непосредственную кровлю в компактном состоянии.

Разнообразны мнения ученых и в отношении конструктивного исполнения верхнего перекрытия крепей для неустойчивых боковых пород. Так, К.А. Ардашев [6] предлагает перекрытия делать гибкими, податливыми, хорошо приспособляющимися к неровностям кровли. Для этого он рекомендует на перекрытия устанавливать "подушки" с жидкостью, а В.М. Казьмин [35] считает, что перекрытие должно быть жестким. Г.А. Крупенников [48] рекомендует устанавливать на перекрытиях эластичные накладные, а В.Н. Хорин [96] считает, что перекрытие должно быть жестко-шарнирным, или жестким.

Таким образом, сопоставляя мнения специалистов, можно сделать вывод, что разнообразие мнений, прежде всего, объясняется разнообразием горно-геологических условий применения крепей, различными целями и задачами исследователей.

Известно, что одним из способов уменьшения вывалообразования в призабойной части пластов с неустойчивой кровлей является передвижение секций крепи с подпором. Однако до сих пор не создана надежная крепь для тонких пластов, обеспечивающая активный управляемый подпор при передвижке секций, что объясняется сложностью реализации замыслов ученых. Анализ эпюр распределения напряжений в кровле пласта в результате применения различных типов перекрытий [51, 89, 90, 100] позволяет сделать вывод: реакция перекрытий крепи у забоя мала и крепи неудовлетворительно поддерживают призабойную полосу неустойчивой кровли. Также разнообразны мнения ученых и в отношении реакций крепи у забоя. В.Л. Попов [67] и Н.П. Долотов [21] считают, что реакция крепи у забоя должна составлять 9,8 –

19,6 кН, а И.А. Кияшко [40] считает, что для предотвращения вывалообразования необходимо, чтобы реакция крепи у забоя достигала 196 – 294 кН. Для повышения реакции перекрытий крепи у забоя разрабатывались различные устройства и конструкции. Предлагалось применять: специальные подвижные механизмы [100]; перемещение равнодействующей сопротивления ближе к забою [51]; установку дополнительной индивидуальной крепи и т.д. Эти предложения лишь частично решают проблему поддержания неустойчивых боковых пород.

Как отмечено ранее, на основании многолетних исследований ученых НГУ и ДонУГИ было предложено существенно поднять реакцию крепи в призабойной части за счет установки силовых опор крепи на специально подготовленный для этой цели угольный уступ [40, 69, 76].

По вопросам несущей способности, деформации, характеру разрушения угольных уступов и проявлению горного давления в краевой части пласта авторами изучена литература начиная с 1955 г. При этом детально изучались работы, посвященные исследованиям прочностных характеристик угольных уступов, угля и пород, влиянию опорного давления на краевую часть пласта.

В связи с кратковременностью существования угольного уступа (очистная выработка) исследования геологических свойств угля и обзор литературных источников в этом направлении авторами не проводились.

Исследованиями прочностных характеристик горных пород занимаются ученые различных институтов и организаций. Одна часть ученых исследовала прочность угля в образцах, другая – в массиве. Так, С.Е. Чирков и др. [98] исследовали влияние размеров образцов угля на их прочность при одноосновном сжатии. Чем подтверждено наличие масштабного эффекта для угля. Уголь с крупными и редкими трещинами будет давать повышенную прочность в лабораторных образцах, в то время как уголь с мелкими трещинами при меньшей прочности лабораторных образцов будет лучше стоять в целиках. Авторами также отмечается, что влияние масштабного фактора в различных углях не может быть описано одной зависимостью. Р. Квапил [102] в результате изучения механизма разрушения и несущей способности разрушенных конструкций горного массива отмечал, что частично разрушенное тело еще сохраняет несущую способность, величина которой зависит от следующих факторов: размеров зон разрушения и рыхления, величины, формы, положения трещин, разрывов и образовавшихся пустот и перераспределившегося напряженного состояния; величины, формы и прочности блоков, кусков плит разрушенного массива; вида контактов между блоками, кусками и др.; величины, формы и функций разрушенного массива; величины статического трения, вида и величины нагрузки.

М.Ф. Кунтыш [23] отмечает, что при определенных условиях несущая способность отдельных элементов разрушенного массива практически может быть такой же, как и неразрушенного массива.

И.Г. Ишук и др. [34] подтверждает, что хрупко-пластические свойства угля зависят от степени его углефикации. В условиях как статического, так и динамического вдавливания наиболее пластичными оказались угли средней

стадии метаморфизма (коксовые, жирные). Наибольшей хрупкостью обладают антрациты. Газовые и длиннопламенные угли ведут себя как тела более хрупкие и менее пластичные по сравнению с жирными и коксовыми углями.

В.Л. Свержевский, В.П. Субботин [79] для углей Донбасса определяли предел прочности методом раздавливания образцов. В результате этих работ ими установлена корреляционная зависимость между пределом прочности $[\sigma]_{сж}$ углей и коэффициентом их крепости. Полученная авторами зависимость не может быть использована нами для определения прочности и несущей способности угольных уступов в связи с тем, что работа выполнена с другой целью и соответственно не учитывался масштабный фактор и строение угольных пластов.

И.А. Закутский [23] в обзоре результатов исследований сопротивления пород вдавливания крепи и штампов отмечает, что при прочных и очень слабых почвах форма опорной поверхности сравнительно влияет на сопротивление пород вдавливания.

Натурные исследования механических свойств угольных целиков и уступов проводились в основном при решении проблемы внезапных выбросов, горных ударов и обоснования параметров целиком при выемке пластов.

З.Т. Бинявски [101] в результате исследования механизма разрушения угля в натуральных условиях на образцах различных размеров отмечает, что характерным для малых и отдельных средних образцов явилось их взрывообразное разрушение при приложении критических нагрузок. Разрушение средние (до 455 мм) и больше (до 1500 мм) образцы имели форму двоянной пирамиды.

В каталоге механических свойств горных пород [36] отмечено, что установлены факты разрушения угольных уступов с отклонением плоскости среза от площадок действия максимальных касательных напряжений, которые можно объяснить с помощью модельных представлений о статически распределенных в реальном угольном пласте микродефектах (трещин эндогенного и экзогенного кливажа и т.д.), являющихся причиной возникновения микроплощадок сдвига. Идея о распределенных дефектах использована во многих статистических теориях прочности [73, 81, 84].

А.Я. Бич и др. [10, 11] привели результаты испытаний механических свойств угольных пластов на шахте Кузбасса. Исследования проводили с помощью давящей установки на обнажениях пластов в подготовительных выработках. В результате этих исследований авторами установлены, характер разрушения краевой части пластов и сделаны выводы о том, что поведение пластов под нагрузкой вблизи обнажения определяется механическими свойствами отдельных пачек угля. Авторы отмечают, что при оценке прочностных свойств угольных пластов, особенно необходимо различать прочность сравнительно небольших образцов, прочность отдельных пачек и прочность пласта в целом.

Кузнецов Г.Н и др. [49] предлагают прочность многослойного целика ослабленного влиянием мягких прослоек рассчитывать по формуле

$$R_{nn} = \frac{R_k}{1 + \left(\frac{R_k}{R_m} - 1\right) \frac{m}{M}},$$

где R_{nn} – прочность пласта в целом; R_k – средневзвешенная прочность крепких прослоек; R_m – средневзвешенная прочность мягких прослоек; m – суммарная мощность мягких прослоек; M – общая мощность пласта.

Приведенная формула не может быть использована для определения прочности угольного уступа, так как не учитывает место расположения слабого прослойка по высоте уступа.

По этой же причине не может быть использована для определения прочности угольного уступа и предложенная Г.А. Ивановым [25] уточненная формула аналогичного назначения, но учитывая изменение прочности неоднородных целиков при изменении их ширины и высоты.

К.И. Иванов, К.П. Бетанели [26, 27] в результате натурных исследований несущей способности и напряженного состояния столбчатых и ленточных угольных целиков на Красногорском угольном карьере траста «Томусауголь» с целью уменьшения потерь угля в целиках установили, что при достижении предельных нагрузок целик начинал разрушаться с общей разгрузкой системы и нарастанием продольных деформаций. Нарастание деформаций совершалось при постоянной нагрузке, составляющей более 60% от критической, то есть в таких случаях характеристика угольного целика уподоблялась характеристике металлической стойки постоянного сопротивления.

Н.П. Овчинниковыми [60] с целью уточнения возможности использования угольного уступа в качестве несущего элемента для опор механизированных крепей были проведены натурные исследования прочности уступов четырех угольных пластов шахт Донбасса. При этом им не исследовался характер проявления горного давления уступов при определении их прочности. Им в результате моделирования на оптически активных материалах получена формула, связывающая геометрические размеря уступа (a – высота щели, m – мощность пласта) с допустимыми касательными напряжениями $[\tau]$ и местом установки опор крепи (b)

$$b = \frac{1,5}{[\tau]}(m - a)$$

Эта формула не учитывает возможность откола угольного уступа от массива и поэтому не может быть использована в конкретных расчетах.

При использовании угольного уступа в качестве несущего элемента для опор механизированных крепей целесообразно учитывать характер горного давления в краевой части пласта. Опорное давление впереди очистного забоя оказывает значительное влияние на прочность и деформируемость краевой части пласта. Величины этих деформаций по данным различных авторов различны.

Н.А. Белан [9] в результате инструментальных измерений зоны опорного давления на шахтах ПО «Селидовуголь» установил, что за 50 м до подхода лавы начинается оседание пород надугольной толщи и сжатие угольного

пласта. Величина этого сжатия при приближении очистного забоя достигает 30 – 50 мм.

Н.Т. Гришко и др. [18] на основе исследования проявлений горного давления в условиях шахт Западного Донбасса установили, что опускание подработанной толщи начинается на расстоянии 12 – 15 м впереди движущегося забоя лавы, то есть на границе зон упругих и пластических (псевдопластических) деформаций. Величина опускания реперов, установленных на высоте 3 м от пласта в средней части лавы, достигает 132 мм. На такие же величины опускались и реперы, заложенные в почву пласта. Это дает право предполагать, что опускание пород кровли впереди забоя лавы происходит в основном за счет сжатия пород почвы, сопровождающегося псевдопластическими деформациями.

Г. Кратч [47] отмечает, что на расстоянии от 25 – 200 м впереди очистного забоя начинает наблюдаться оседание пород кровли, которое увеличивается с приближением очистного забоя. Причиной конвергенции впереди очистного забоя является опорное давление, под действием которого сравнительно слабый угольный пласт сжимается и выдавливается в выработанное пространство до 10 см. При этом породы кровли оседают до 10 см на столько, на сколько деформируется пласт. Автор отмечает, что у кромки забоя, а затем в лаве происходит также поднятие пород почвы вследствие упругой разгрузки или в результате водопоглощения. Величина этого поднятия почв пределах призабойного пространства может достигать 10-20 см.

Таким образом, по мнению ряда указанных авторов и др. [15, 20, 46], выемка угольного пласта приводит к деформациям пород почвы или краевой части пласта. Это, по нашему мнению, оказывает влияние на устойчивость и несущую способность угольных уступов, используемых в качестве опоры для несущих элементов механизированных крепей.

Выполненный обзор показал, что источников, в которых бы описывались исследования краевой части угольного пласта, как опоры для механизированной крепи, мало. А имеющиеся работы посвящены в основном либо изучению только прочностных характеристик угля и пород, либо исследованию влияния опорного давления на деформацию краевой части пласта.

1.3. Цель, задачи и методы исследований

Цель работы заключается в установлении закономерностей взаимодействия элементов системы "крепь - боковые породы - краевая часть пласта" для обоснования области применения бесконсольных механизированных крепей очистных комплексов, при использовании которых в условиях тонких пологих пластов, будет повышена производительность, обеспечена безопасность обслуживающего персонала, снижена зольность и себестоимость добытой горной массы.

Для достижения цели решены следующие основные задачи:

- исследовано влияние горного давления на краевую часть угольного пласта при отработке его с опережающим врубом у кровли;
- изучен характер разрушения угольных уступов при их внешнем нагружении;
- установлена связь между прочностью в образцах, прочностью и несущей способностью угольных уступов;
- выявлено влияние изменения формы забоя на сортность и энергоемкость добычи угля и др.;
- изучено распределение лав по прочности образцов угля по шести производственным объединениям.

Для решения поставленных задач применен комплексный метод исследований, включающий исследования в шахтах, аналитические и лабораторные исследования методом моделирования на эквивалентных материалах. Проведена также аналитическая интерпретация полученных результатов с использованием методов математической статистики и ПК.

2. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРАЕВОЙ ЧАСТИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА И ВМЕЩАЮЩИХ ЕГО ПОРОД НА МОДЕЛИ ИЗ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

2.1 Общие положения, цель и задачи исследований

Для правильной, более конкретной постановки шахтных исследований влияния горного давления на краевую часть пласта при его выемке с опережающим врубом использован метод моделирования на эквивалентных материалах. С помощью этого метода изучено влияние крепей «Донбасс» и «Западный Донбасс» («ЗД») с различной схемой реализации их силовых параметров на состояние имеющихся пород в процессе выемки пласта.

Моделирование методом эквивалентных материалов основано на применении в модели искусственных материалов, физико-механические свойства которых находятся в определенных соотношениях с физико-механическими свойствами горных пород природы. Основные принципы этого метода достаточно подробно изложены в работах Г.Н. Кузнецова и др. [48]. Этим методом, имеющим достаточно обоснованную теоретическую базу, выполнен ряд крупных работ. Результаты опытов ВНИМИ, ИГД им. А.А. Скочинского, ДонУГИ и др., полученные на моделях, при сопоставлении с данными непосредственных наблюдений на шахтах показывают достаточно хорошую их сходимость с данными природы. Метод моделирования эквивалентными материалами получил широкое распространение для изучения проявлений горного давления при различных способах крепления призабойного пространства, в том числе и с помощью механизированных крепей.

Нами была поставлена задача изучить характер проявления горного давления во вмещающих породах при их взаимодействии с крепью «Донбасс» и с бесконсольной крепью «ЗД». В задачи исследований входило изучение влияния указанных типов крепей, а также различных способов выемки, то есть как с опережающим под кровлей врубом, так и без него на состояние массива горных пород вокруг очистной выработки, характер обрушения и размещения разрушенных пород в выработанном пространстве и распределение зоны опорного давления очистного забоя.

2.2. Методика проведения исследований

Учитывая значительную техническую сложность моделирования и достаточную изученность физико-механических свойств эквивалентных материалов, изготавливаемых из местного сырья, моделирование было проведено в лаборатории ДонУГИ в соответствии с известными методическими указаниями [44, 54, 86, 87, 99].

При исследовании массива горных пород в процессе отработки угольного пласта по И.М. Петухову и др. [65] можно считать, что массив пород вокруг очистной выработки находится в плоском напряженно-деформированном

состоянии. Поэтому изучение состояния массива вокруг очистной выработки на плоской модели является правомерным.

Изготовление и отработку модели производили на плоском стенде З-УМП с общепринятыми размерами: 2 м – высота, 3 м – длина и 0,2 м – толщина. Учитывая то, что экспериментальную бесконсольную крепь «ЗД» с дополнительным силовым механизмом у забоя предполагалось испытывать в горно-геологических условиях пласта C_5 шахты «Терновская» ПО «Павлоградуголь», модель была изготовлена применительно к условиям именно этого пласта.

В соответствии с поставленными задачами на крупномасштабной модели (1:20) изучалась область массива, включающая краевую часть пласта и вмещающие его породы.

Исследование влияния двух типов указанных выше крепей на напряженно-деформированное состояние массива, выполнялось на одной модели, так как изготовление двух моделей с одинаковыми физико-математическими свойствами эквивалентных материалов является технически сложной задачей. Первая половина модели обрабатывалась прямолинейным забоем с использованием модели секций крепи «Донбасс», а вторая половина – почвоуступным забоем с использованием модели бесконсольной секции крепи «Западный Донбасс».

При изготовлении и отработке модели из эквивалентных материалов оценка представительности экспериментов производилась с учетом следующих условий моделирования [44, 48]:

1. Совпадение главных определяющих факторов при формировании специфической ситуации впереди очистного забоя пласта и вмещающих его боковых пород, а именно: силовых характеристик крепей, форм очистных забоев и кинематических схем крепей, скоростей подвигания очистных забоев и размеров выемочных полос.

2. Достаточно полного и надежного выявления искомых закономерностей проявлений горного давления, типа моделирования и масштаба модели, а также продолжительности исследования и масштаба модели, а также продолжительности исследований, требующей не менее двух посадок основной кровли при работе каждой из крепей.

3. Соответствия граничных условий на внешних сторонах модели, которые обеспечивались достаточным расстоянием краев стенда до исследуемых зон, а также минимальной толщиной пород.

Соответствие граничных условий в верхней части обеспечивалось дополнительным механическим пригрузом, в нижней части модели – упругим динамометрическим основанием.

4. Подбором физико-механических характеристик материалов в соответствии с характеристиками горных пород природы, исходя из теории подобия и методических разработок.

При этом расчет напряжений в подобно расположенных точках модели и природы выполнялся по соотношению:

$$\frac{\sigma_n}{\sigma_m} = \frac{\gamma_n}{\gamma_m} \lambda$$

где σ_n, σ_m – напряжения в подобно расположенных точках, соответственно натуре и модели; γ_n, γ_m – объемный вес соответственно горной породы натуре и материала модели; λ – масштаб линейных размеров.

Подобие в характере разрушения слоя пород и эквивалентных материалов обеспечивалось соблюдением постоянства соотношений основных механических характеристик:

$$\frac{\sigma_{сж.н.}}{\sigma_{р.н.}} = \frac{\sigma_{сж.м.}}{\sigma_{р.м.}}; \quad \frac{\sigma_{сж.н.}}{\sigma_{изг.н.}} = \frac{\sigma_{сж.м.}}{\sigma_{изг.м.}},$$

где $\sigma_{сж.н.}, \sigma_{сж.м.}$ – прочность на сжатие, соответственно натуральных горных пород и эквивалентных материалов; $\sigma_{р.н.}, \sigma_{р.м.}$ – прочность на растяжке, соответственно натуральных горных пород и эквивалентных материалов; $\sigma_{изг.н.}, \sigma_{изг.м.}$ – прочность на изгиб, соответственно натуральных горных пород и эквивалентных материалов.

Подобие по структуре достигалось подбором эквивалентных материалов, имитирующих контактные прослойки, и построением модели, обеспечивающей воспроизведение слоистости.

Для обеспечения подобия соблюдались соотношения:

$$\frac{\sigma_{раз.н.}}{\sigma_{раз.м.}} = \frac{c_n}{c_m} = \frac{\gamma_n}{\gamma_m} \lambda;$$

$$\varphi_n = \varphi_m$$

где $\sigma_{раз.н.}, \sigma_{раз.м.}$ – предел прочности на разрыв контактов в направлении, перпендикулярном контакту, соответственно в натуральных горных породах и эквивалентных материалах; c_n, c_m – сцепление на контактах между слоями, соответственно натуральных горных пород и эквивалентных материалов; φ_n, φ_m – угол трения на контактах между слоями, соответственно натуральных горных пород и эквивалентных материалов.

В качестве эквивалентного материала применяли гипсопесочные смеси. Комплекс соответствующих характеристик определяли по опытным данным [87] с последующей проверкой на одноосное сжатие и растяжение образцов из модели.

Исходные данные для расчета физико-механических эквивалентных материалов модели (табл. 2.1) получены по данным бурения близлежащей к

моделируемому участку угольного пласта С₅ шахты «Терновская» ПО «Павлоградуголь», геологической скважины № 1398.

Таблица 2.1 - Исходные данные для расчета эквивалентных материалов модели

№ пп	Наименование пород	Мощность слоя, мм	Предел прочности		Модуль упругости и $E_{упр}, 10^{10}Па$	Характеристики контактных слоев		
			На сжатие $\sigma_{сж}, 10^5Па$	На растяжение $\sigma_p, 10^5Па$		Угол трения По контакту φ , град	предел прочности при отрыве $\sigma_{раз}, 10^5Па$	сцепление $C, 10^5Па$
1	Алевролит (почва)	300	189	28	0,52	24	0,8	1,5
2	Угольный пласт с ₅	85	300	30	1,00	23	1,0	3,5
3	Аргиллит (кровля)	40	154	15	0,50	20	0,2	0,5
4	Углистый аргиллит	20	220	28	0,50	15	0,15	0,1
5	Аргиллит	1350	203	25	0,41	22	0,3	1,0
	Песчаник	120	548	72	1,87	23	1,5	8,0
7	Аргиллит	180	235	52	1,46	20	0,3	1,0
8	Песчаник	200	625	76	2,08	23	1,5	5,0
9	Аргиллит	100	166	21	1,43	20	0,25	0,5
10	Угольный пласт	20	328	33	0,85	23	1,0	1,2
11	Алевролит	120	377	57	1,20	30	5,0	12,0
12	Алевролит	100	292	53	1,26	30	5,2	15,0
13	Аргиллит	560	225	40	1,60	22	1,0	5,0
14	Угольный пласт с ₆	95	350	35	0,90	23	1,0	3,5
15	Алевролит	200	273	38	1,38	24	2,0	3,0

Результаты расчета и фактические показатели физико-механических характеристик эквивалентных материалов модели приведены в табл. 2.2. Крепление очистного забоя имитировали введением в модель специальных устройств, механические характеристики которых в основном обеспечивали их подобие применяемым в шахте крепям. При изготовлении моделей крепей за основу был взят принцип рычажного устройства, описанного Г.Н. Кузнецовым и др. [48] с тем отличием, что модели наших крепей осуществляли взаимодействие не только с породами кровли, но и с породами почвы пласта. Силовая характеристика моделей секций крепей была постоянной.

Таблица 2.2 – Расчетные и фактические показатели материалов модели

№ пп	Наименование пород	Параметры пород	Мощность слоя, см	Предел прочности		Модуль упругости $E_{упр}$, 10^{10} Па	Характеристики контактных слоев		
				на сжатие $\sigma_{сж}$, 10^5 Па	на растяжение σ_p , 10^5 Па		Угол трения по контакту, град	Предел прочности при отрыве, 10^5 Па	Сцепление, 10^5 Па
1	Алевролит (почва)	расч.	15,0	6,81	1,00	0,019	24	0,029	0,054
		факт.	15,1	6,80	1,01	0,018	-	-	-
2	Угольный пласт с ₅	расч.	4,3	10,81	1,08	0,036	23	0,036	0,126
		факт.	4,4	10,80	1,06	0,038	-	-	-
3	Аргиллит (кровля)	расч.	2,0	5,55	0,54	0,018	20	0,007	0,018
		факт.	2,0	5,60	0,56	0,018	-	-	-
4	Углистый аргиллит	расч.	1,0	7,93	1,00	0,018	15	0,005	0,004
		факт.	1,0	7,92	1,01	0,020	-	-	-
5	Аргиллит	расч.	67,5	7,32	0,90	0,015	22	0,011	0,036
		факт.	67,3	7,31	0,88	0,014	-	-	-
6	Песчаник	расч.	6,0	19,75	2,59	0,068	23	0,054	0,288
		факт.	6,0	19,68	2,58	0,070	-	-	-
7	Аргиллит	расч.	9,0	8,47	1,87	0,053	20	0,011	0,036
		факт.	9,2	8,45	1,89	0,055	-	-	-
8	Песчаник	расч.	10,0	22,52	2,74	0,075	23	0,054	0,18
		факт.	9,8	22,49	2,75	0,073	-	-	-
9	Аргиллит	расч.	5,0	5,98	0,76	0,051	20	0,09	0,018
		факт.	5,0	5,99	0,77	0,050	-	-	-
10	Угольный пласт	расч.	1,0	11,82	1,18	0,031	23	0,036	0,043
		факт.	1,1	11,82	1,19	0,030	-	-	-
11	Алевролит	расч.	6,0	13,59	2,05	0,043	30	0,180	0,432
		факт.	5,8	13,61	2,04	0,040	-	-	-
12	Алевролит	расч.	5,0	14,13	1,88	0,045	30	0,187	0,543
		факт.	5,1	14,15	1,85	0,043	-	-	-
13	Аргиллит	расч.	28,0	8,11	1,44	0,058	22	0,036	0,181
		факт.	28,1	8,10	1,45	0,057	-	-	-
14	Угольный пласт с ₆	расч.	4,75	12,61	1,26	0,032	23	0,036	0,012
		факт.	4,8	2,58	1,25	0,030	-	-	-
15	Алевролит	расч.	10,0	9,84	1,37	0,050	24	0,072	0,108
		факт.	10,1	9,83	1,38	0,050	-	-	-

Схема модели крепи «Западный Донбасс» приведена на рис. 2.1. По аналогии изготовлена и модель крепи «Донбасс». Обе модели подобны крепям в натуре геометрически, кинематически и по силовой характеристике.

Силовые параметры моделей крепи подбирались в соответствии с критерием подобия для сосредоточенных сил, к которым относятся и реакции крепи

$$P_M = P_N \frac{\gamma_N}{\gamma_M} \left(\frac{1}{\lambda^3} \right)$$

где P_M , P_N – усилие распора секций механизированной крепи, соответственно в натуре и в модели.

Исследование реакций секций крепи «Донбасс» при выемке угольного пласта С₅ шахты «Герновская» показали, что общая реакция секций крепи составляла около 1200 кН. В соответствии с формулой (2.1) и при масштабе моделирования 1:20 распор модели трех секций крепи, имитирующих крепь «Донбасс», составил 315 Н.

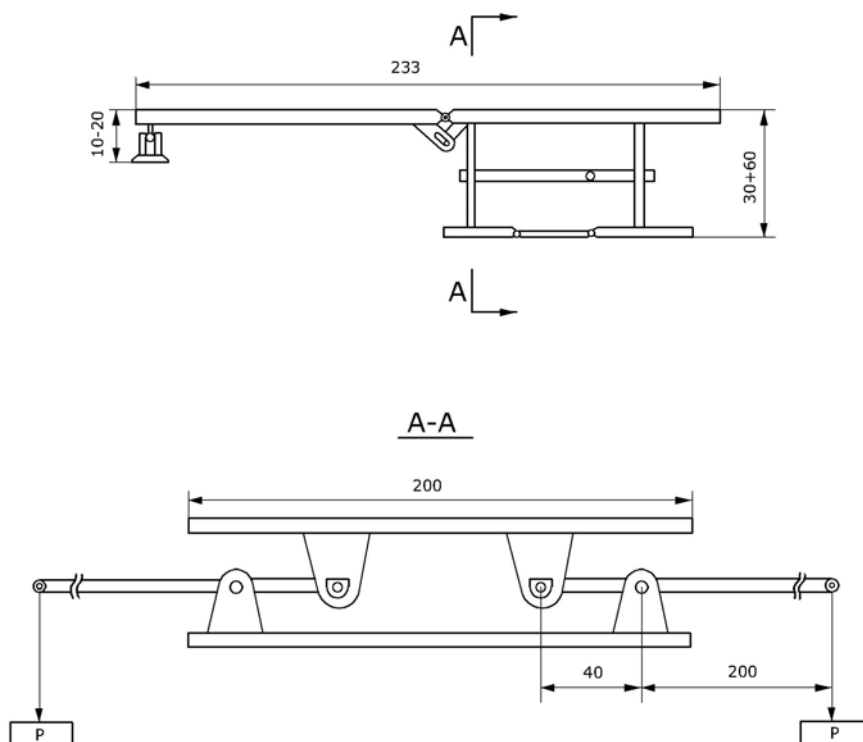


Рисунок 2.1 - Схема модели секции крепи «Западный Донбасс»

Модель секций крепи «Западный Донбасс» отличалась от модели серийной крепи «Донбасс» наличием на конце перекрытия у забоя силового элемента с реакцией (рассчитанной по формуле 2.1) в 52,5 Н. Усилие распора модели создавалось грузами посредством рычагов с двух сторон секции. Соотношение плеч рычагов составляло 1:5, поэтому вес каждого из грузов был в 10 раз меньше усилия распора модели.

5. Выбора режимов подвигания очистных выработок на основе соответствия масштабов времени деформаций и смещений окружающих очистной забой пород в натуре и модели. Наиболее распространенным способом определения масштаба времени в модели является сравнение продолжительности отрезков времени, в течении которых наблюдается влияние выемки угля на характер смещения пород кровли в рабочем пространстве лавы в натуральных условиях и в модели. Масштаб времени определяли опытным путем, исходя из условия затухания процесса деформации пород кровли модели и природы после технологической операции по выемке угля следующим образом.

В модели после выемки очередной полос наблюдалось интенсивное, в течении 15-20 мин, сдвижение пород кровли. Затем сдвижение пород уменьшалось и стабилизировалось. В шахтных условиях интенсивное влияние

очистной выемки, по данным ВНИМИ, ДонУГИ, ДГИ и других институтов проявлялось в течении 1,5 – 2 часов. В связи с этим масштаб времени будет 1:6, то есть продолжительность суток в модели соответствует 4 часам.

При отработке модели с крепями двух типов промежутки времени между отдельными циклами выемки угля были равными и составляли 30 мин. Это обеспечило хорошую сопоставимость результатов.

6. Соответствия средств наблюдений и измерений изучаемым показателям процесса.

Измерения на модели смещений и деформаций вмещающих пласт пород выполняли с помощью зеркальных тензометров (ЗТ) со средней погрешностью измерения 0,02%, расположенных в почве, пласте, непосредственной и основной его кровлях. Схема установки измерительных приборов на модели приведена на рис. 2.2.

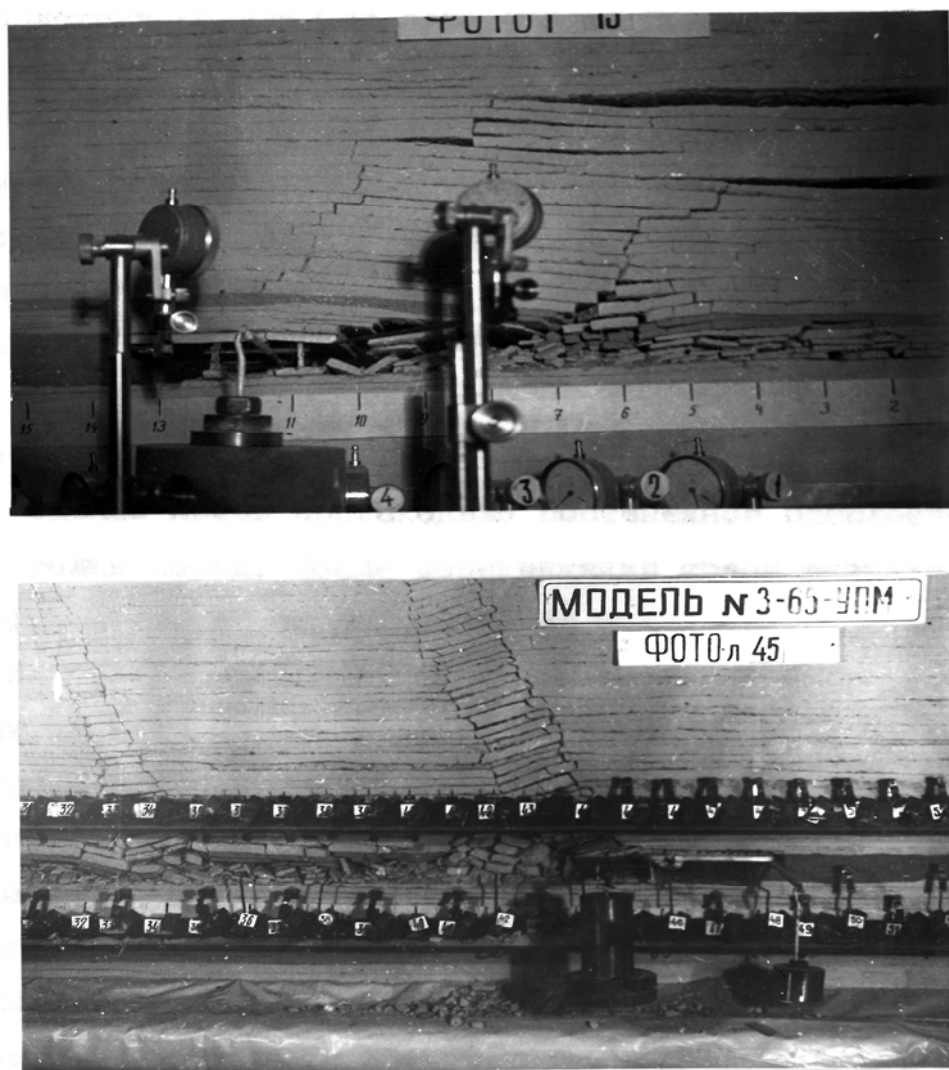


Рисунок 2.2 - Размещение измерительных приборов на модели

Перераспределение давления в процессе выемки пласта замеряли в плоскости почвы упругим динамометрическим основанием с индикаторами часового типа, цена деления которых 0,01 мм. Исследования «упругого

основания» показали, что модуль его упругости составляет $0,29 \cdot 10^{10}$ Па [86] и отличается от модуля упругости эквивалентного материала, имитирующего породы песчаника при масштабе моделирования 1:20 ($2,08 \cdot 10^{10}$ Па), примерно на один порядок. Это обеспечивает удовлетворительное соблюдение граничных условий в нижней части модели.

Снятие отсчетов по приборам выполнялось после каждого цикла выемки.

Во время отработки модели регулярно проводили зарисовки, фотографирование и запись характерных картин разрушения и размещения пород в выработанном пространстве.

2.3. Результаты исследования проявлений горного давления

2.3.1. Характер разрушения пород надугольной толщи и распределения зоны опорного давления в процессе выемки пласта

Первую половину модели (то есть первые два цикла посадки основной кровли) обрабатывали, используя для крепления очистного пространства крепь «Донбасс», а последние два цикла – крепь «ЗД». В первом случае выемку пласта производили полосами по 5 см (1 м в натуре), во втором случае – по 2,5 см (0,5 м в натуре), при этом суточные скорости подвигания очистных забоев были одинаковыми.

Наблюдения за взаимодействием крепей и боковых пород показывали следующую картину обрушения пород и размещения их в выработанном пространстве. После очередного цикла по выемке пласта и передвижке обеих моделей крепи происходило постепенное расслоение и оседание всей толщи пород. После передвижения крепи вначале обрушалась непосредственная кровля отдельными слоями, образуя зону беспорядочного обрушения высотой равной мощности пласта (рис. 2.3). Затем обрушалась вышележащая, более прочная часть толщи пород, в виде отдельных небольших блоков (зона упорядоченного обрушения). По Г.Н. Кузнецову это зона многозвенно-шарнирной системы блоков. Размеры этих блоков, в пересчете на натуре, были равны 2-6 м.

При дальнейшем подвигании забоя закалывалась, а затем обрушалась и основная кровля. Первая посадка кровли произошла после отхода забоя от разрезной печи на расстояние 70 см (35 м в натуре). По мере подвигания очистного забоя, независимо от модели крепи, при длине выработанного участка равной 45-50 см (9-10 м в натуре) происходило сдвигание пород основной кровли блоками «А» (рис. 2.4) по трещинам. Угол наклона трещин (α) был равен $65-70^\circ$ к плоскости напластования. По контакту между блоками находились зоны – 1, перемятых пород толщиной 2,5-10 см (0,5-2 м в натуре).

Характер разрушения пород в модели при работе обоих типов крепей различался только размерами отдельностей пород непосредственной кровли. При крепи «Донбасс» они составляли 1-5 см (0,2 - 1 м в натуре), а при крепи «Западный Донбасс» - 1-2,5 см (0,2 – 0,5 м в натуре), то есть максимальный размер отдельностей соответствовал глубине захвата выемочной машины.



Рисунок 2.3 - Характер обрушения пород кровли

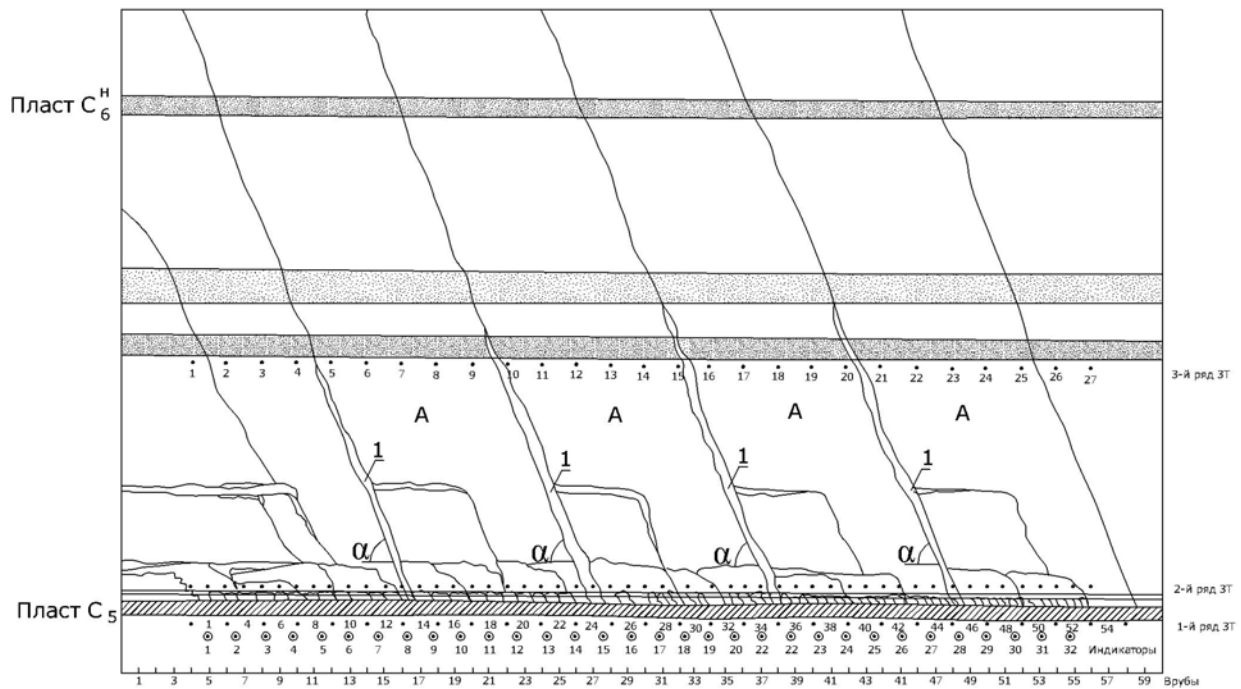


Рисунок 2.4 - Схема отработки модели

Характер обрушения пород непосредственной и основной кровли в модели фактически соответствовал характеру обрушения пород кровель в очистных забоях пласта C_5 шахты «Терновская». Это подтверждает хорошую сходимость механических свойств материалов модели и пород природы.

Выемка пласта и формирование блоков обрушения основной кровли вызывали изменение величин опорного давления и перемещение его

максимума по отношению к забою. Зону опорного давления при подвигании очистного забоя определяли с помощью упругого основания по индикаторам часового типа, установленными в тыльной стороны модели (рис. 2.3) на расстоянии 8 см друг от друга.

Опорное давление впереди очистного забоя характеризовали коэффициентом концентрации опорного давления

$$K = \frac{P + P_{дон.}}{P}$$

где P – первоначальное давление на упругое основание; $P_{дон.}$ – дополнительное давление на упругое основание, создаваемое перераспределением первоначального давления при выемке пласта.

Отсчеты по индикаторам пропорциональны величине деформации упругого основания, характеризовавшего зону опорного давления. Зона опорного давления распространялась впереди забоя на 110 см (22 см в натуре). Характер опорного давления для обоих типов крепей был одинаков, а по величине для крепи «Донбасс» был на 4-10% больше, что объясняется большей шириной захвата комбайна при использовании крепи «Донбасс». Максимум опорного давления находился на 10-20 см (2-4 м в натуре) от забоя и составлял для крепей «Донбасс» перед посадкой основной кровли, соответственно, 2 и 2,1, после посадки 1,75 и 1,85 (рис. 2.5). При этом перед посадкой основной кровли максимум зоны опорного давления при использовании как одной, так и второй модели крепи смещался в сторону забоя на 5 см (1 м в натуре).

Смещение зон опорного давления на 10-16 см (2-3 м в натуре) в сторону выработанного пространства обусловлено наличием между пластом и упругим основанием слоя 15 см (3 м в натуре).

2.3.2. Смещение боковых пород и краевой части пласта при его выемке

Смещение пласта и его почвы замеряли по первому ряду зеркальных тензометров, установленных с интервалом в 5 см (1 м в натуре) (рис. 2.2). Четкие тензометры были заложены в средней части пласта, а нечетные - в его почве на расстоянии 2 см (0,4 м в натуре) от пласта.

Опускание непосредственной кровли замеряли по второму ряду тензометров, заложенных в непосредственной кровле с интервалом в 5 см на расстоянии 5 см от пласта.

Графики смещений зеркальных тензометров, расположенных в почве пласта (крепь «Донбасс»), в начале (кривая «б») и в конце (кривая «а») области обрушения основной кровли в зависимости от расстояния тензометров до забоя представлены на рис. 2.5 (1). Аналогичные графики представлены на рис. 2.6 (II), но уже для крепи «Западный Донбасс».

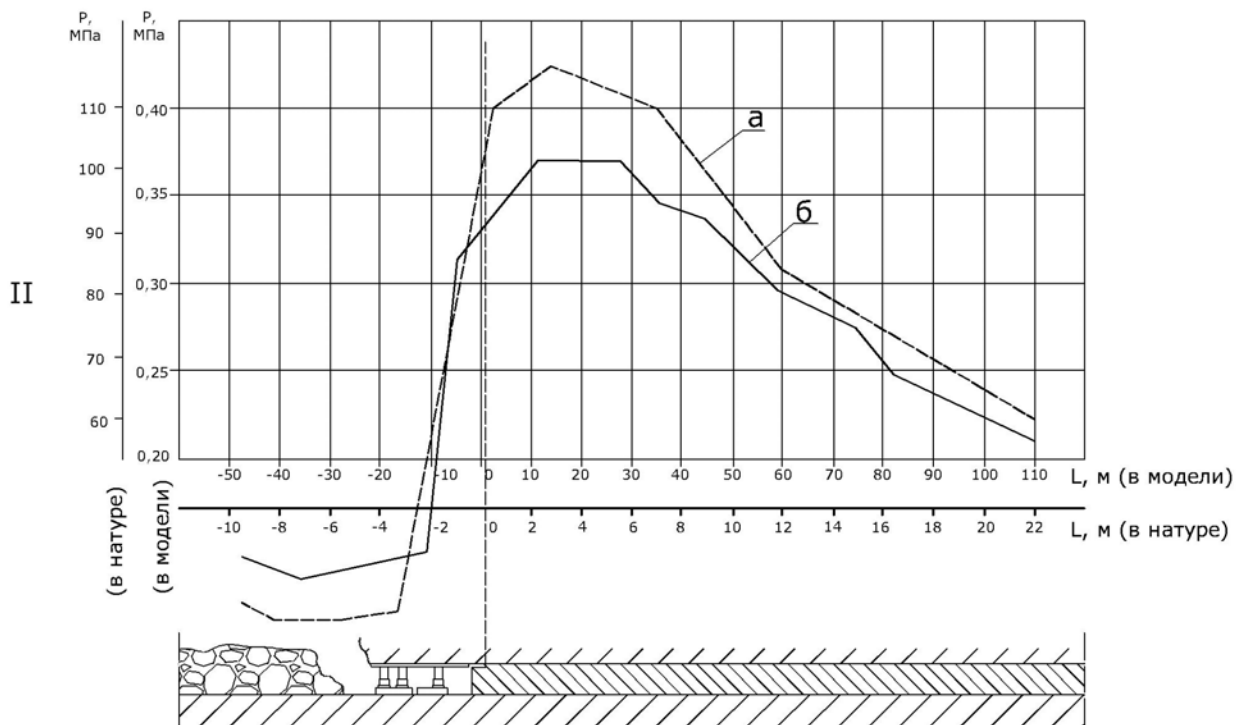
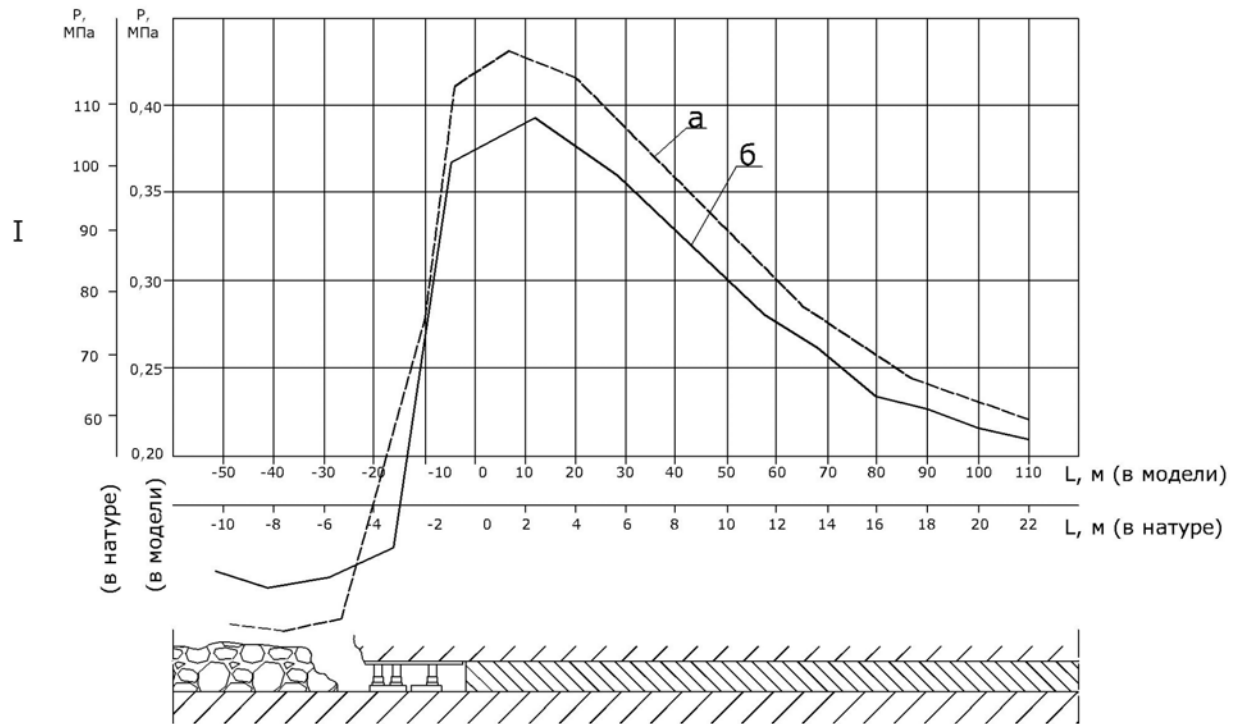


Рисунок 2.5 - Графики распределения зоны опорного давления в почве пласта при подвигании очистного забоя оснащенного крепями «Донбасс» (I) и «Западный Донбасс» (II)
а) перед обрушением основной кровли;
б) после обрушения основной кровли

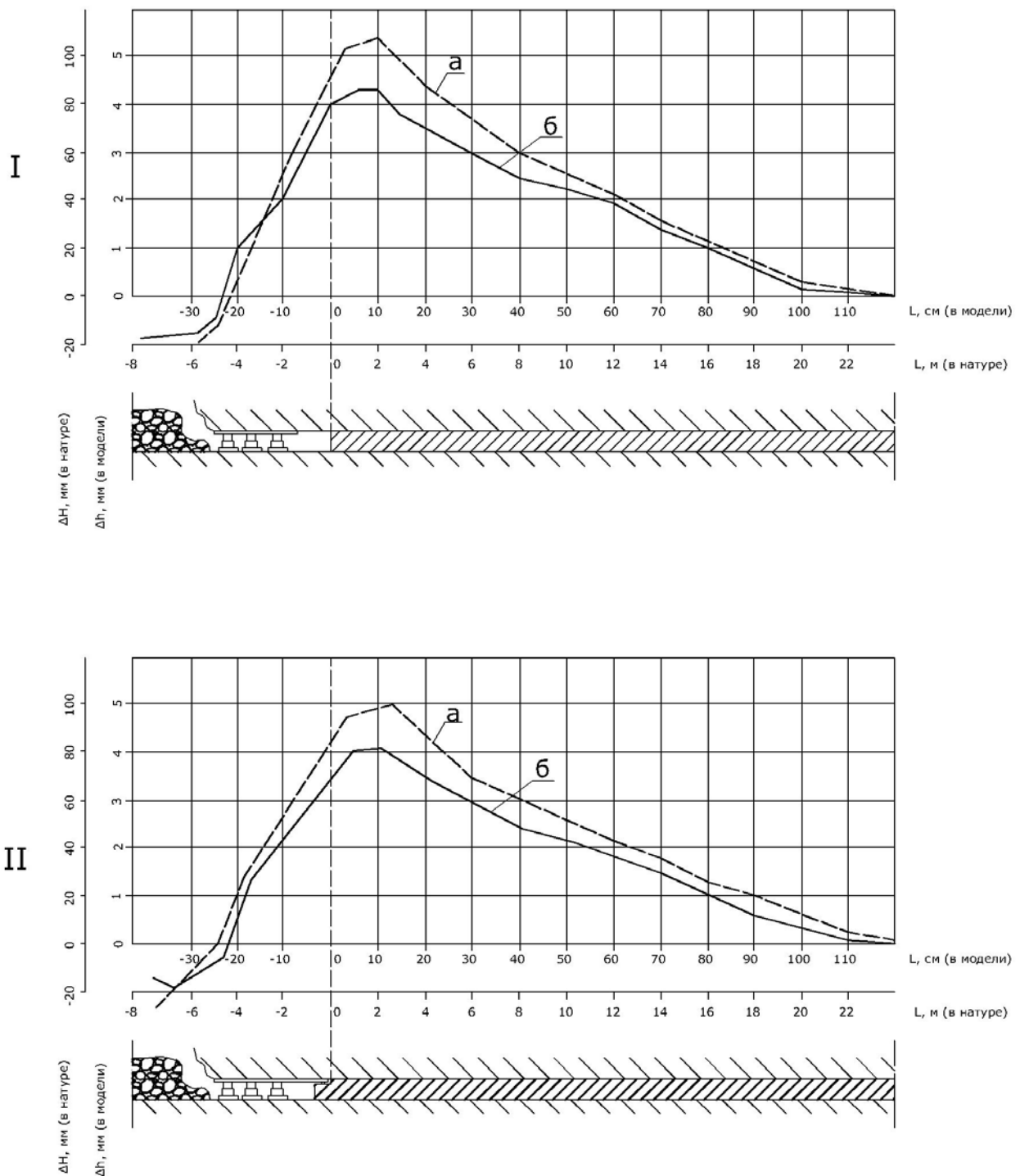


Рисунок 2.6 - Графики перемещения реперов почвы пласта при подвигании очистного забоя, оснащенного крепями «Донбасс» (I) и «Западный Донбасс» (II):
а) перед обрушением основной кровли;
б) после обрушения основной кровли

Из графиков (рис. 2.6) следует, что по мере приближения очистного забоя к «контрольным» тензометрам, расположенным в начале и конце области обрушения пород основной кровли, происходило опускание почвы пласта.

При использовании обоих типов крепей максимальное опускание почвы составило 80-100 мм (в пересчете на натуре) и заканчивалось на расстоянии 2 м

от груди забоя в массиве. При дальнейшем подвигании очистного забоя начинала подниматься и на расстоянии 6 м от забоя в сторону выработанного пространства величина поднятия составила 100-120 мм. То есть величина поднятия почвы была на 20 мм больше, чем ее опускание при приближении очистных работ. Это объясняется снятием пригрузки вышележащих пород с почвы в результате выемки пласта. Опускание тензометров почвы, расположенных в конце области обрушения основной кровли, при использовании обеих моделей крепей, на 10-20% больше чем опускание тензометров, расположенных в начале области обрушения блока основной кровли. Из графиков следует, что впереди очистного забоя с крепью «Донбасс» почва опускается на 4-10% больше, чем с крепью «Западный Донбасс». Это объясняется большим захватом комбайна МК-67 и, как следствие, большой величиной опорного давления.

Характеры опускания пласта и его почвы, как показали измерения, были аналогичны.

Графики опускания зеркальных тензометров, заложенных в непосредственной кровле, при применении обоих типов крепей представлены на рис. 2.7.

Из графиков следует, что впереди движущегося очистного забоя, начиная с расстояния около 100-120 см (20-22 м в натуре), непосредственная кровля опускается практически синхронно с пластом и его почвой. У краевой части пласта в лаве с крепью «Западный Донбасс» непосредственная кровля опускается менее интенсивно (рис. 2.7, II), чем с крепью «Донбасс» (рис. 2.7, I). Это объясняется меньшей шириной захвата комбайна МК-67 ЗД, а также наличием у крепи «Западный Донбасс» в призабойной части перекрытия дополнительной силовой опоры, которая уменьшает интенсивность опускания кровли в призабойной части лавы.

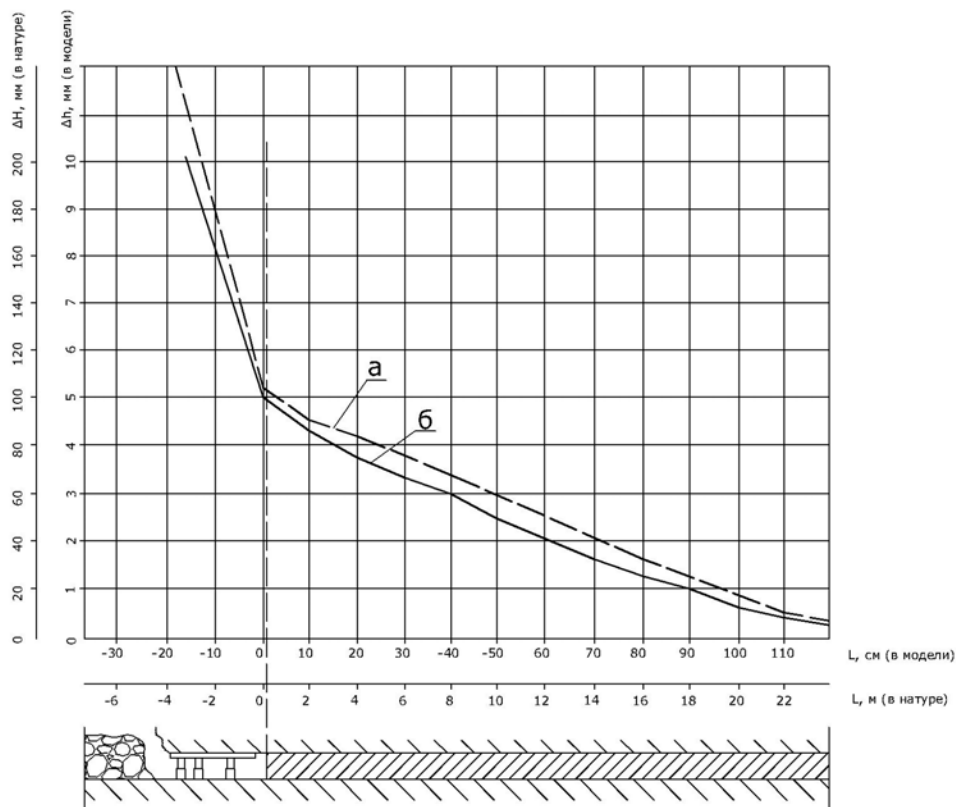
В табл. 2.3 приведены данные по сближению пород почвы и кровли в характерных точках, расположенных на расстоянии 1-3 м от забоя. Для сравнения в таблице приведены также данные натуральных исследований конвергенции боковых пород, полученные позже.

Из анализа табл. 2.3 следует, что установка силовых опор у груди забоя снижает конвергенцию боковых пород особенно в призабойной части пласта.

Сопоставление данных, полученных в натуральных условиях и на модели, показывает удовлетворительную их сходимость. Разница составляет не более 40%, что свидетельствует о совпадении качественных картин модели и природы.

Измерения величин опускания основной кровли модели с помощью тензометров, расположенных на расстоянии 70 см (14 с в натуре) от пласта показали, что при приближении очистного забоя характер ее опускания соответствует опусканию пород непосредственной кровли, пласта и его почвы и не зависит от типа применяемой крепи. После выемки пласта интенсивность опускания пород основной кровли в зоне выработанного пространства более выражена, чем над нетронутым массивом (рис. 2.8).

I



II

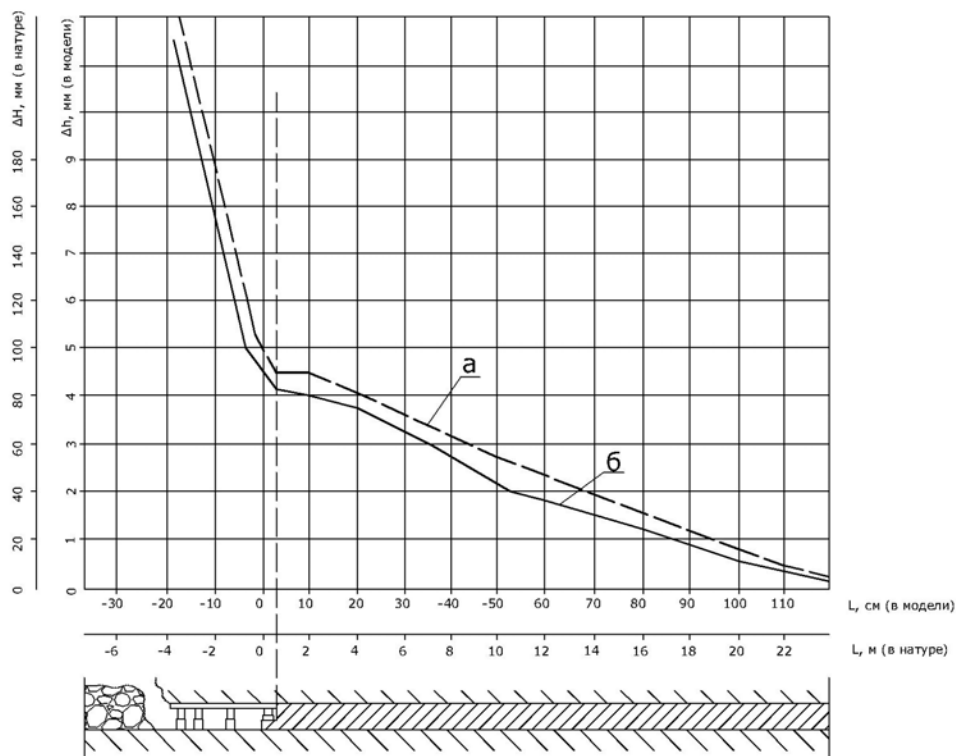


Рисунок 2.7 - Графики опускания реперов непосредственной кровли при подвигании очистного забоя, оснащенного крепями «Донбасс» (I) и «Западный Донбасс» (II):

- а) перед обрушением основной кровли;
- б) после обрушения основной кровли

Таблица 2.3 - Данные по сближению пород почвы и кровли в характерных точках, расположенных на расстоянии 1-3 м от забоя.

Модель крепи	Соотношение основной кровли	Сближение, мм									
		почвы в модели на расстоянии от груди забоя				кровли в модели на расстоянии от груди забоя				общее	
		1 м	3 м	1 м	3 м	1 м	3 м	1 м	3 м	1 м	3 м
«Донбасс»	после посадки	20	49	32	120	52	169	47	148		
	перед посадкой	21	54	38	138	59	193	65	170		
«Западный Донбасс»	после посадки	12	40	16	117	30	157	32	137		
	перед посадкой	14	48	19	132	33	180	50	148		

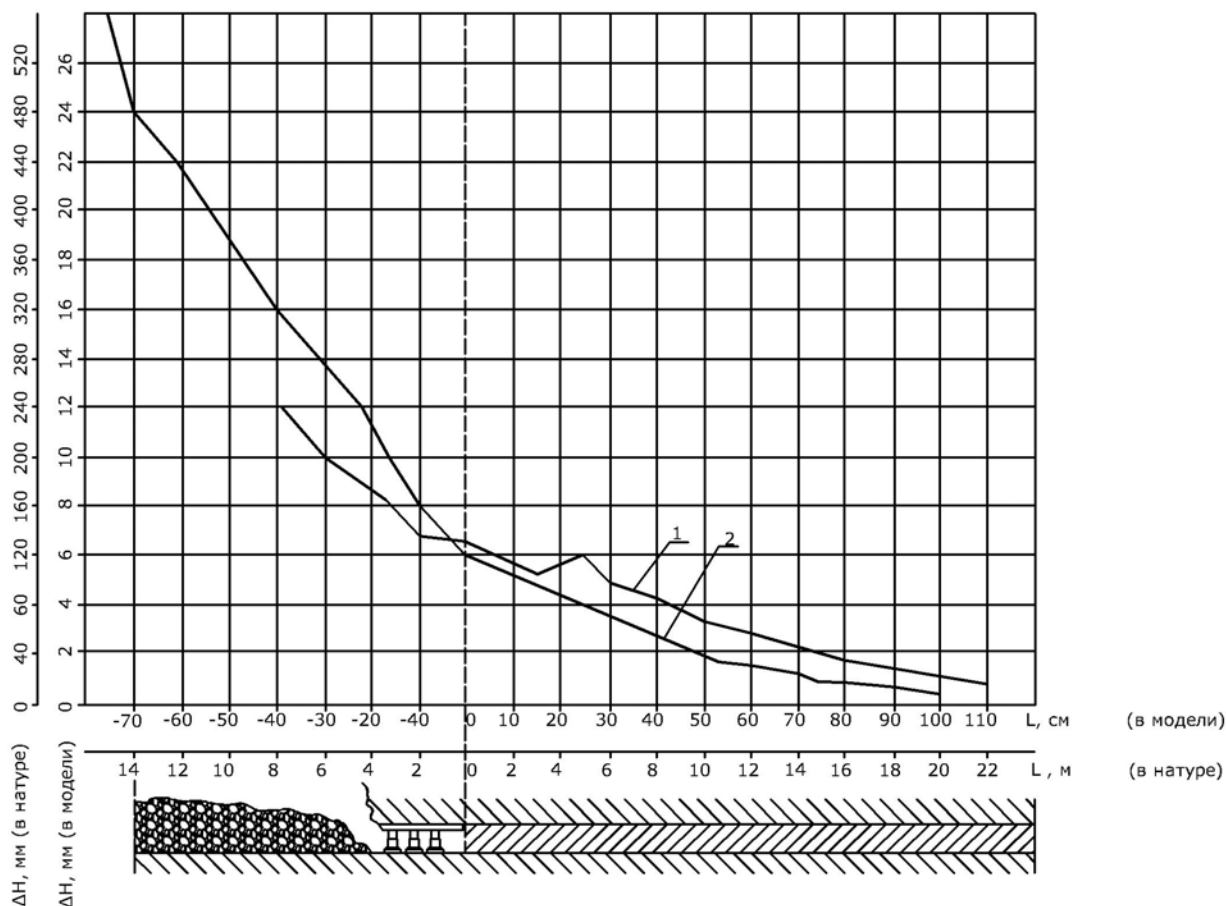


Рисунок 2.8 - Графики опускания основной кровли

Тензометры показали, что после выемки пласта происходит опрокидывание блока основной кровли в выработанное пространство.

Выводы

На основе исследований состояния и поведения краевой части угольного пласта и вмещающих его пород на модели (масштаб моделирования 1:20) из эквивалентных материалов с крепями «Донбасс» и «ЗД» установлено:

- наличие у крепи «ЗД» дополнительной опоры у груди забоя позволило уменьшить сближение боковых пород в призабойной части лавы;
- зона опорного давления распространялась на расстояние 20 м (в пересчете на натуре) впереди очистного забоя и ее максимум для обеих моделей крепей находился на расстоянии 2-4 м (в натуре) от груди забоя, причем максимум опорного давления для крепи «ЗД» смещен вглубь массива на величину опережающего вруба;
- впереди очистного забоя в зоне проявления опорного давления происходило опускание пласта и вмещающих его пород. Максимальная величина этого опускания составляла 100-120 мм;
- в призабойном пространстве происходило поднятие почвы, что может привести в натуре к отколу угольного уступа от массива пласта.

3. ШАХТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ «БОКОВЫЕ ПОРОДЫ – УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ – КРЕПЬ»

3.1 Общие положения

Для получения полной и детальной картины процессов, происходящих в массиве вокруг очистной выработки и уточнения выводов, полученных в результате лабораторных исследований, проводились натурные исследования взаимодействия системы «боковые породы – пласт – крепь».

Цель шахтных исследований являлась изучение породы процессов, протекающих впереди очистного забоя и в краевой части угольного пласта с почвоустойчивой формой забоя, а также ее влияние на эффективность отработки пласта.

Поставленная цель достигалась решением следующих задач: установлением проявлений горного давления в краевой части угольного пласта; исследованием зоны опорного давления впереди движущегося очистного забоя; изучением характера конвергенции боковых пород в очистном забое; выявлением влияния опережающего под кровлей пласта вруба на сортность и энергозатраты добычи.

Как отмечалось ранее, НГУ, ДонУГИ и Донгипроуглемашем на основе многолетних исследований особенностей проявлений горного давления в условиях слабых неустойчивых кровель очистных забоев шахт Западного Донбасса сделаны выводы о необходимости увеличения реакции крепей в призабойной их части. На этой основе предложена конструкция крепи у которой отсутствует бесстоечное пространство (комплекс «ЗД»).

Экспериментальный образец комплекса «ЗД» испытывался в 509 лаве пласта С₅ шахты «Герновская» ПО «Павлоградуголь». Этот пласт является типичным пластом с неустойчивыми боковыми породами. В его лавах имеют место частые вывалы пород непосредственной кровли, завалы и т.д.

С целью более глубокого изучения взаимодействия боковых пород, пласта и крепи и влияния их на несущую способность угольного пласта на этом же пласте проводились исследования взаимодействия с боковыми породами и серийной крепи комплекса «Донбасс».

Исследования взаимодействия элементов системы «боковые породы – пласт – крепь» проводились по специально разработанной методике. Эта методика предусматривала изучение устойчивости угольных уступов, перемещений боковых пород и краевой части пласта относительно друг друга, исследования зоны опорного давления впереди очистного забоя и характера конвергенции боковых пород при его подвигании, а также влияние формы очистного забоя на эффективность выемки пласта. Методика разработана на основе «Методических указаний по исследованию горного давления в угольных и сланцевых шахтах» [55] и др. работ [5].

3.2. Краткая горно-геологическая характеристика пласта с₅

Горно-геологические и горнотехнические параметры лавы, где проводились испытания серийного и экспериментального образцов комплексов, приведены в табл. 3.1. Структурная колонка вмещающих пласт С₅ пород изображена на рис.3.1.

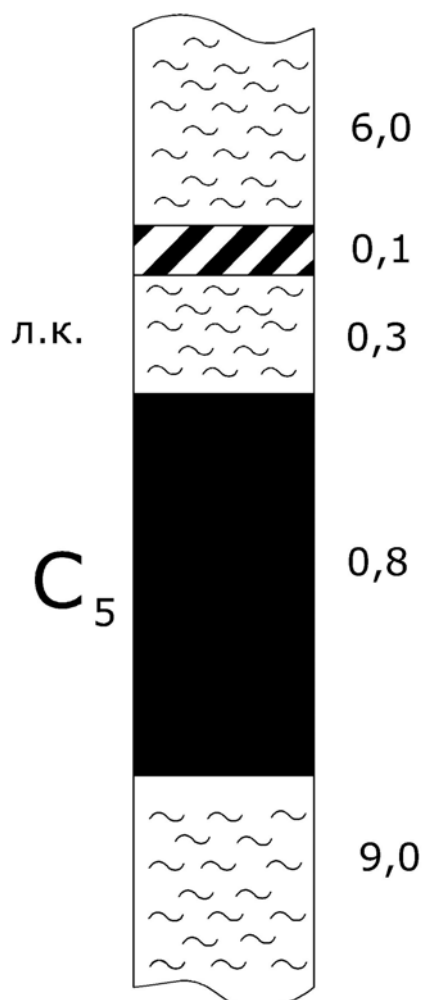


Рисунок 3.1 - Структурная колонка пласта С₅

Уголь каменный, полублестящий, тонко-полосчатый, вязкий, крепкий (коэффициент крепости по М.М. Протодяконову по данным шахты $f = 3 - 3,5$), разбит двумя взаимно перпендикулярными системами трещин. Экзогенные трещины заполнены кальцитом, образующим пленки толщиной до 1 мм.

Непосредственная кровля угольного пласта мощностью 0,30 - 0,50 м представлена тонко-горизонтальным аргиллитом серого цвета, расчлененным с вышележащим массивом прослоем трещиноватого углистого аргиллита мощностью 0,1 - 0,3 м, по контактам которого (особенно по нижнему) отсутствует послойная связь. Коэффициент крепости пород непосредственной кровли по М.М. Протодяконову $f = 2$. Кровля склонна к высыпаниям и вывалообразованиям.

Вышеležающие слои кровли представлены серым аргиллитом средней устойчивости.

Таблица 3.1 - Горно-геологические и горнотехнические параметры
509 лавы пласта С₅

Показатели	Единица измерения	Значения
Длина лавы:		
- комплекс «Донбасс»	м	150
- экспериментальный комплекс	м	75
Мощность пласта: минимальная	м	0,69
максимальная	м	0,95
средняя	м	0,80
вынимаемая	м	1,10
Угол падения	град.	0-3
Длина выемочного столба:		
- комплекс «Донбасс»	м	670
- экспериментальный комплекс	м	180
Система разработки		столбовая
Газообильность пласта	м ³ /т сут	4,0
Сопроотивление угля резанию	кН/м	270
Строение пласта		простое полное
Способ управления кровлей		обрушение
Глубина разработки	м	250
Гипсометрия пласта		спокойная
Водоносность	м ³ /час	лава сухая

3.3. Исследование устойчивости угольных уступов

Под устойчивостью уступа подразумевается способность угольного уступа в течение срока его существования сохранять первоначальное положение (размеры и углы наклона плоскостей обнажений).

В результате лабораторных исследований на эквивалентных материалах выдвинуто предложение о возможности откола угольного уступа от массива пласта при его отработке с опережающим врубом. Для уточнения этого вывода, а также изучение причин откола и устойчивости отколовшихся уступов были проведены исследования в лавах пл. С₅, оснащенных как экспериментальным комплексом (509 лава), так и комбайном «Кировец» с индивидуальной крепью (506 лава).

Выбор лавы 506 объясняется тем, что для устройства вручную опережающего вруба необходимо время, около 6 часов. Поэтому для этих исследований была выбрана лава с широкозахватным комбайном и индивидуальной крепью, где продолжительность цикла очистных работ более шести часов.

Исследования устойчивости угольных уступов проводили в два этапа. Первый этап выполняли без нагружения уступа, второй – с нагружением его гидростойками давяльной установки, или силовыми механизмами экспериментальной крепи.

Исследование устойчивости уступа на первом этапе осуществляли в 506 лаве следующим образом. На замерной станции, в средней части лавы, до образования опережающего вруба под кровлей пласта, посередине длины намечаемого уступа (позиция 1, рис. 3.2) были пробурены на глубины 1,5 м два параллельных шпура (2), расположенных в плоскости пласта и делящих уступ по его высоте на три примерно равные части. В каждый из шпуров был вставлен анкер, один конец которого заклинили на дне шпура. К свободному концу анкера был прикреплен кронштейн, передающий перемещение анкера непосредственно на подвижный шток индикатора часового типа. Корпус последнего укреплен на кондукторе, жестко заклиненном в устье шпура. Индикаторы и свободные концы анкеров были защищены металлическими кожухами от попадания кусков угля при устройстве опережающего вруба.

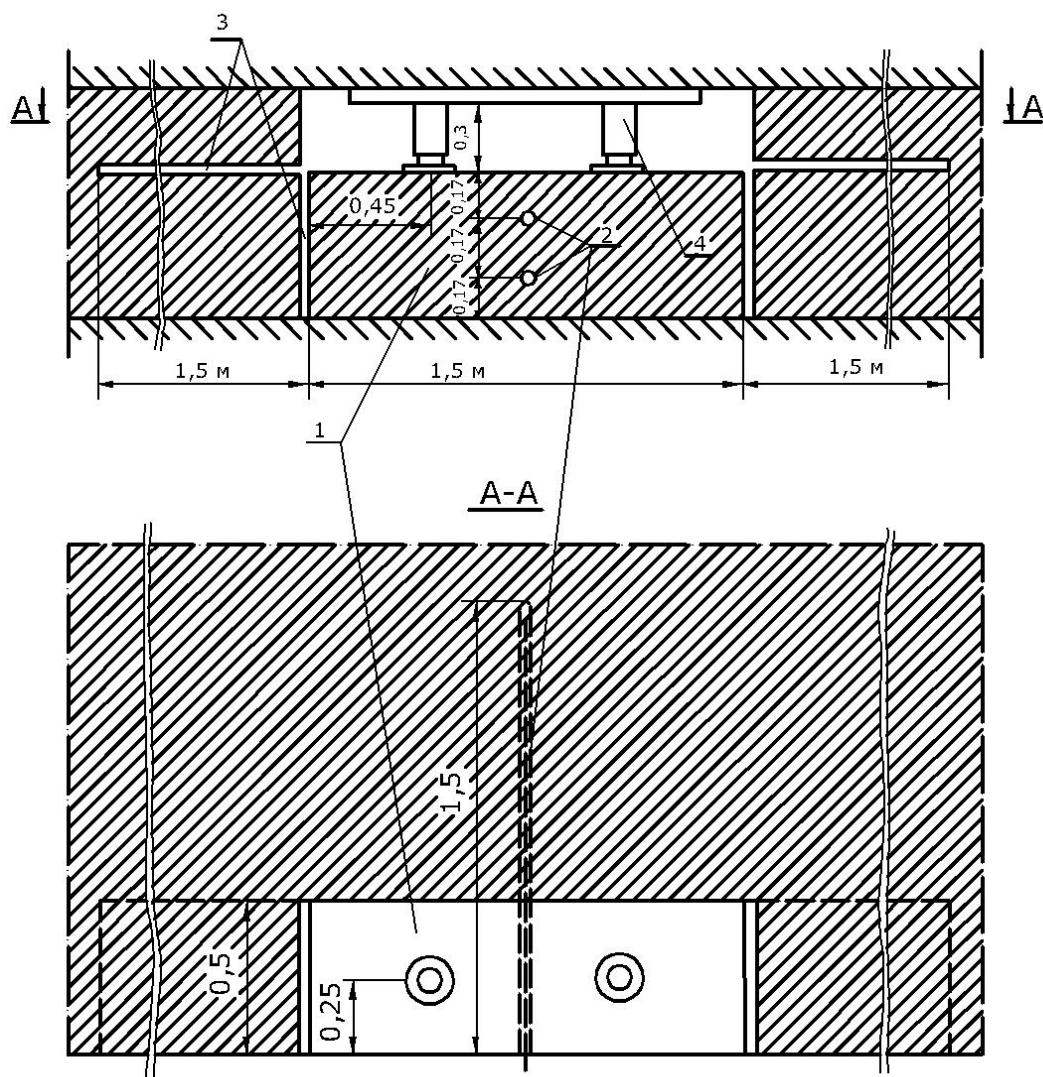


Рисунок 3.2 - Схема уступа и размещения измерительной аппаратуры

Таким образом, при отколе уступа от массива пласта и его горизонтальном перемещении, кронштейн анкера воздействовал на индикатор, который указывал величину перемещения уступа еще в период его устройства.

После установки анкеров и измерительных индикаторов, а также взятие первоначальных отчетов устраивали уступы длиной 1,5 м. Глубина вруба составляла 0,5 м, высота 0,3 – 0,4 м. До устройства уступа для исключения влияния краевого эффекта ненарушенной части пласта место будущего уступа с обеих сторон оконтуривали разгрузочными щелями как по нормали к пласту, так и в его плоскости (3). Регистрацию показаний выборок уступа производили с момента начала его устройства через 10 – 20 минут в течение всего эксперимента.

На втором этапе исследования устойчивости угольных уступов проводили методом их внешнего нарушения по двум направлениям. По первому направлению изучали горизонтальные перемещения уступов (506 лава), а по второму направлению изучали их вертикальные перемещения (509 лава) и перемещение включающих пласт пород.

Сущность первого направления исследований заключалась в том, что на расстоянии 0,25 м от кромки устанавливали два гидропатрона (4), способных развивать усилие до 80 кН каждый и влиять на устойчивость уступа. Перед проходом очистного комбайна гидропатроны и приборы с уступов снимали.

Полученные данные обработаны и по ним построен график (рис. 3.3). Из графика следует, что в период образования разгрузочных щелей горизонтальное движение угольного пласта было незначительным и составило 0,6 мм. После оконтуривания и до конца образования опережающего вруба имел место интенсивный рост движения оконтуренной части угольного пласта. Это объяснялось разгрузкой краевой части пласта и подстилающих пород почвы от напряжений. За этот период интенсивность горизонтального смещения уступа увеличилась и суммарная величина его составляла 3,7 мм.

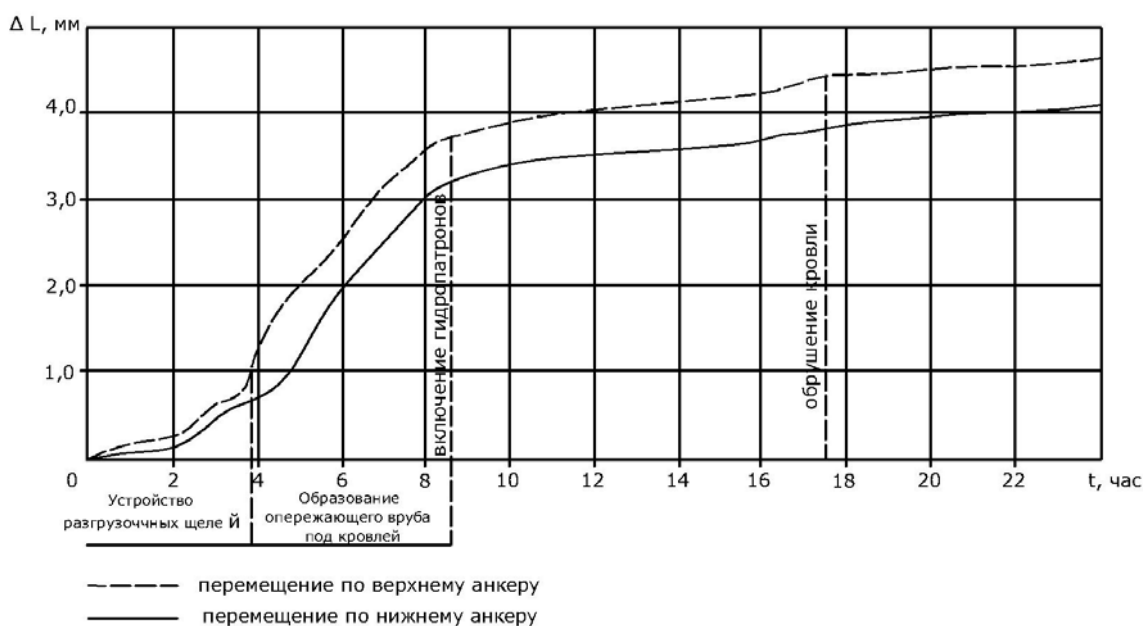


Рисунок 3.3 - Графики горизонтального перемещения уступа

После окончания устройства вруба производили установку двух гидропатронов с усилием каждого по 80 кН, что уменьшило интенсивность горизонтальных смещений уступа.

Следует отметить, что опережающий вруб устраивался вне зоны влияния выемки угля комбайном.

Разборка угля в уступах после снятия гидропатронов показала, что на границе между уступом и массивом пласта образовывалась серия трещин, отделяющих угольный уступ от массива пласта.

По второму направлению (изучению вертикальных перемещений уступов) исследования устойчивости пригруженных угольных уступов проводили в лаве 509 при испытании экспериментального комплекса с опорой перекрытий крепи на угольный уступ. Для этого в средней части лавы была оборудована замерная станция, устроенная следующим образом. В средней по высоте части опережающего вруба на глубины 1 м пробурили шпур и на его дне жестко закрепили тонкостенную металлическую трубу. Условно приняв такую трубу неподвижной, на нее с помощью специальных кронштейнов укрепляли индикаторы перемещений. Точность измерения которых 0,01 мм. Схема установки индикаторов перемещений на замерной станции приведена на рис. 3.4. Замеры производили в течение трех очистных циклов.

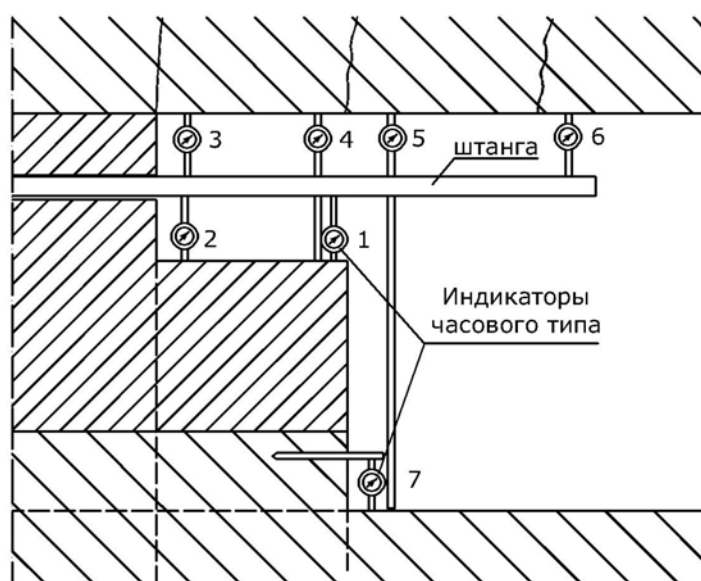


Рисунок 3.4 - Схема установки индикаторов перемещений на замерной станции

В результате проведенных исследований был установлен характер поддувания угольного уступа почвой пласта (рис. 3.5). Из графиков следует, что у кромки (график б) уступ поддувался на большую величину, чем в призабойной части (график а). На скорость поддувания уступа большое влияние оказывали приближающиеся на расстояние 20 м очистные работы и пригрузка уступа силовыми опорными механизмами перекрытий секций крепи. Последнее проявлялось в большой степени. Так, к примеру, при отсутствии процессов по выемке угля в лаве, скорость поддувания кромки уступа

составляла лишь 0,03 мм/час. В то время, как после снятия силовых механизмов крепи с уступа, она достигала 9 мм/час, что привело к вертикальному перемещению уступа на 1,5 мм всего за 10 минут. Затем поддувание уменьшилось и его скорость составляла уже 0,32 мм/час (рис. 3.5, участок 2-3). После повторной установки на уступ силовых опорных механизмов и их распора (рис. 3.5, участок 3-4) уступ был частично, более чем на 0,5 м, вдавлен в почву и затем снова продолжал поддуваться почвой с прежней скоростью – 0,03 мм/час. С приближением менее чем на 20 м к замерной станции работ по выемке пласта интенсивность поддувания угольного уступа возросла, что было особенно заметно при отсутствии распора силового механизма (участок 4-5).

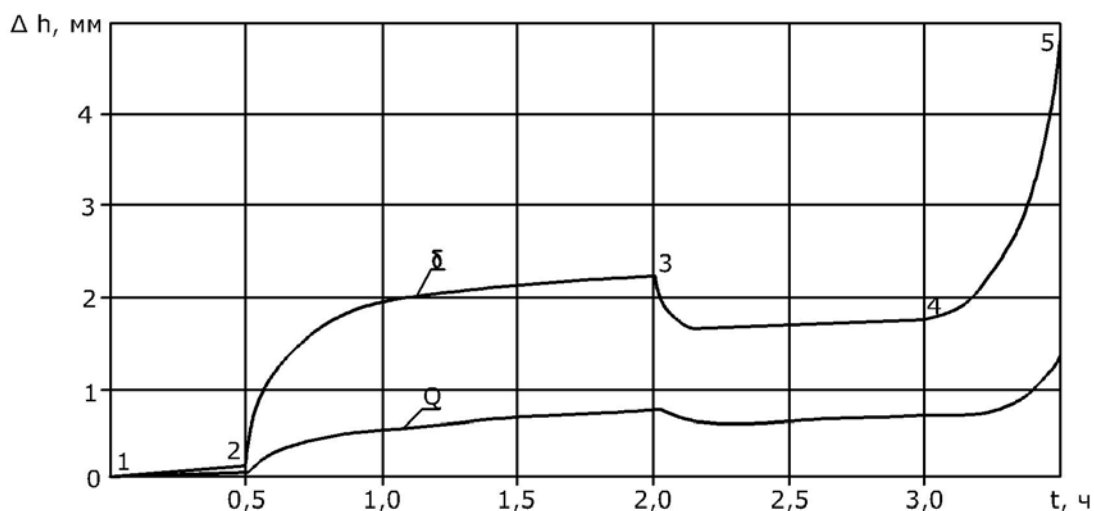


Рисунок 3.5 - Графики поддувания почвой пласта угольного уступа:

а – у массива пласта;

б – у кромки уступа

Анализ величин поддувания угольного уступа свидетельствует о том, что такое движение уступа возможно лишь при его отделении от массива пласта. После разборки части уступа такая трещина была хорошо заметна (рис. 3.6).

Этими исследованиями также установлено, что после прохода очистного комбайна вдоль забоя опережающего вруб, в кровле образовывался закол. Получаемые в результате этого блоки смещались относительно пласта и друг друга. Так, к примеру, при отсутствии технологических процессов в лаве блок, расположенный над угольным уступом, опускался с постоянной скоростью 0,5 мм/час. В случаях, когда силовые элементы крепи были в не разжатом положении, скорость опускания блоков кровли возросла в четыре раза и для вновь образовавшегося блока составляла уже около 2,0 мм/час.

Также было установлено, что между уступом и прилегающей почвой, даже при отсутствии технологических процессов в лаве имеется незначительное смещение, проходящее со скоростью 0,01 мм/час.

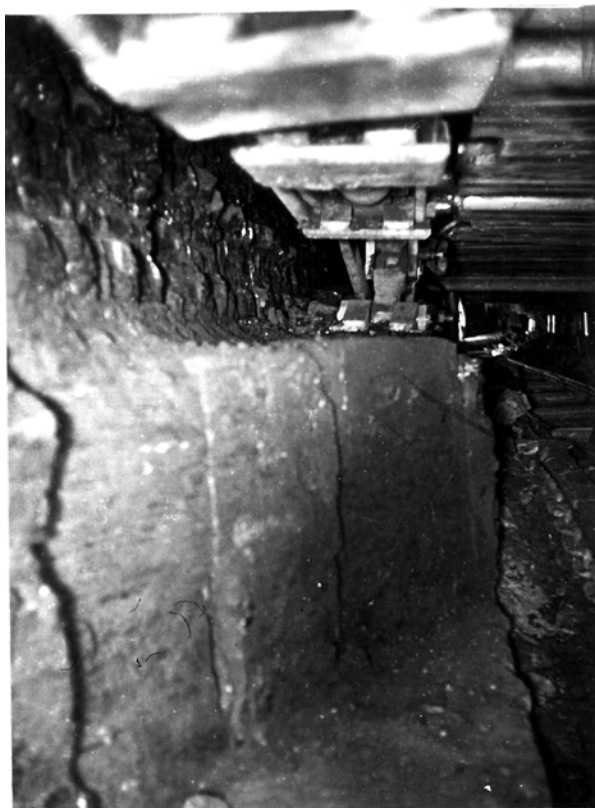


Рисунок 3.6 - Характер откола угольного уступа от массива пласта

Проведенные натурные исследования проявлений горного давления в краевой части пласта подтвердили результаты лабораторных исследований и доказали, что установка силового опорного механизма на угольный уступ уменьшает конвергенцию вмещающих пород в призабойной части лавы и, соответственно, улучшает ее состояние [41].

В результате изучения механизма откола угольного уступа нами было выдвинуто предположение, что одной из причин откола уступа, кроме поддувания почвы, является горизонтальное движение слабых боковых пород вокруг пласта. С целью проверки этого предположения были проведены исследования относительного перемещения боковых пород и краевой части пласта C_5 в лавах 509, 519, 521 шахты «Терновская». Перемещения краевой части пласта и прилегающих к нему пород относительно друг друга измерялись с помощью саморасклинивающихся поворотных реперов, имеющих кинематическую связь с индикаторами перемещения часового типа. Поворотные реперы устанавливались в шпуров глубиной 0,6 м, пробуренные по контакту пласта и непосредственных почвы и кровли на замерной станции в средней части лавы на расстоянии не менее 1 м один от другого. Реперы устанавливались на расстоянии 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 м от устья шпура (рис. 3.7). Во избежание зажатия реперов боковыми породами и для удобства бурения шпуров над кронштейнами реперов в кровле и под ними в почве устраивали углубления.

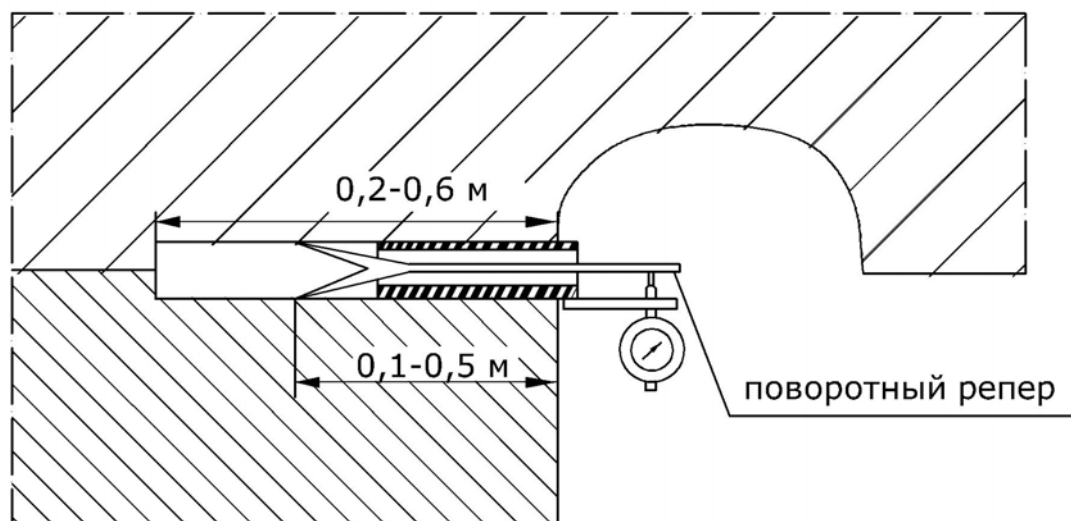


Рисунок 3.7 - Схема установки поворотных реперов

Исследования относительных перемещений краевой части пласта и боковых пород были проведены в лаве 506, оснащенной комбайном «Кировец» с индивидуальным креплением (подвигание лавы до 20 м/месяц) и в лавах 519, 521, оборудованных комплексами «Донбасс» (подвигание лав более 50 м/месяц).

Продолжительность времени наблюдения за поворотными реперами определялась максимальным временем между двумя циклами и составляла в 509 лаве 2 суток, в 519 и 521 лавах – около 1 суток (выходные дни шахты). Эти замеры повторялись 3 раза.

Проведенные исследования показали, что в лавах пласта C_5 , оснащенных как индивидуальной, так и механизированными крепями, имеющими различные скорости подвигания очистных забоев, не зафиксировано относительное перемещение краевой части пласта и пород кровли, или почвы. Следовательно, горизонтальное движение слабых боковых пород относительно пласта, как причина откола угольных уступов в данных условиях исключается.

3.4. Исследование зоны опорного давления впереди очистного забоя и характера конвергенции боковых пород при его подвигании

Так как экспериментальный комплекс с опорой перекрытий на угольный уступ был изготовлен на лаву длиной 75 м, было решено подготовить для его испытаний короткую лаву. Такая лаву была подготовлена путем разделения отрабатываемого столба (пл. C_5 , 509 лаву, оборудована серийным комплексом «Донбасс») на две части штреком, который был проведен навстречу движущемуся очистному забою. Длина штрека 509 «бис» составила 180 м (рис. 3.8).

Методом периодического нивелирования кровли штрека изучали характер опускания кровли штрека по всей его длине в период приближающихся к забою штрека очистных работ и, таким образом, по волне

деформации пород кровли штрека изучали характер распределения зоны опорного давления впереди очистного забоя. Для этого после завершения комбайновой проходки штрека в его кровлю начиная с нулевой отметки, расположенной от груди забоя штрека на расстоянии 150 м с интервалом в 20 м на глубину 1,5 м были пробурены шпурсы и в них закреплены металлические реперы. У груди забоя штрека шесть реперов были заложены через 3-5 м по длине выработки. Во время начала исследований расстояние между забоем штрека и очистным забоем было 80 м. Наблюдение за характером перемещения реперов проводили в течении полутора месяца. В начальный период отсчеты брались с интервалом 3 дня, а при подходе очистных работ и забоя штрека ежедневно. Данные о скорости приближения очистного забоя получали по замерам на бортовом и сборном штреках 509 лавы. Нивелирование осуществляли с помощью нивелира НС-3.

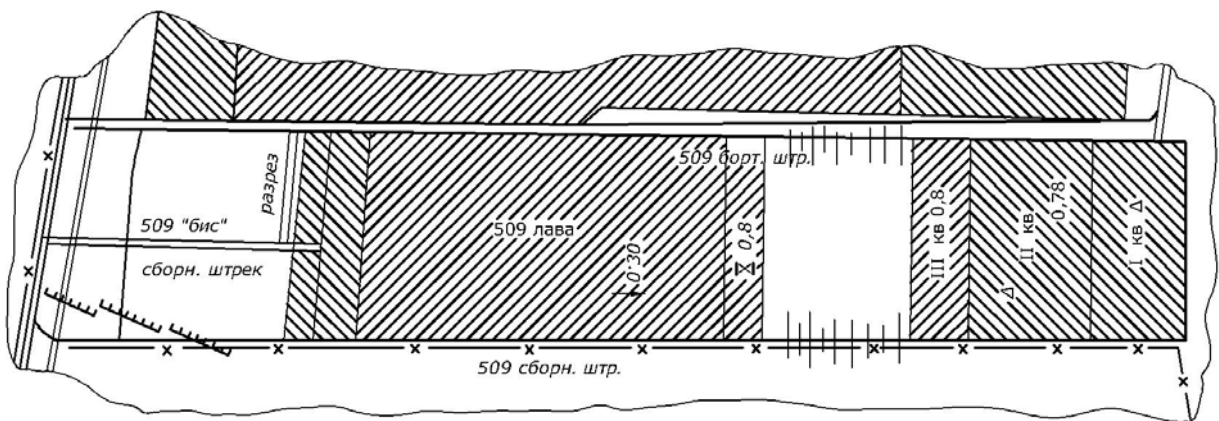


Рисунок 3.8 - Выкопировка из плана горных выработок по пласту С₅ шахты «Терновская»

В результате камеральной обработки полученных результатов нивелирования было зафиксировано равномерное опускание кровли штрека по всей его длине. Лишь с приближением к забою очистных работ на расстояние менее 4-х метров кровля в призабойной части штрека на протяжении около 30 м начала опускаться. График такого опускания кровли приведен на рис. 3.9, где кривая 1 показывает характер результирующего относительного опускания кровли в штреке за 1,5 месяца наблюдений при наличии целика шириною 1,2 м между лавой и забоем штрека. Кривая 2 показывает характер этого опускания кровли уже при отсутствии целика и сбоеке забоев лавы и штрека. Из анализа графиков следует, что при наличии целика между забоями зона опорного давления впереди очистного забоя оказывала слабое воздействие на опускание кровли в штреке (кривая 1). Кровля практически равномерно опускалась почти по всей длине штрека, и лишь на участке около 30 м это опускание было несколько большее. После отработки целика между лавой и забоем штрека кровля в штреке на вышеуказанном участке опустилась на большую величину. В месте примыкания забоев лавы и штрека это опускание составило более 40 мм.

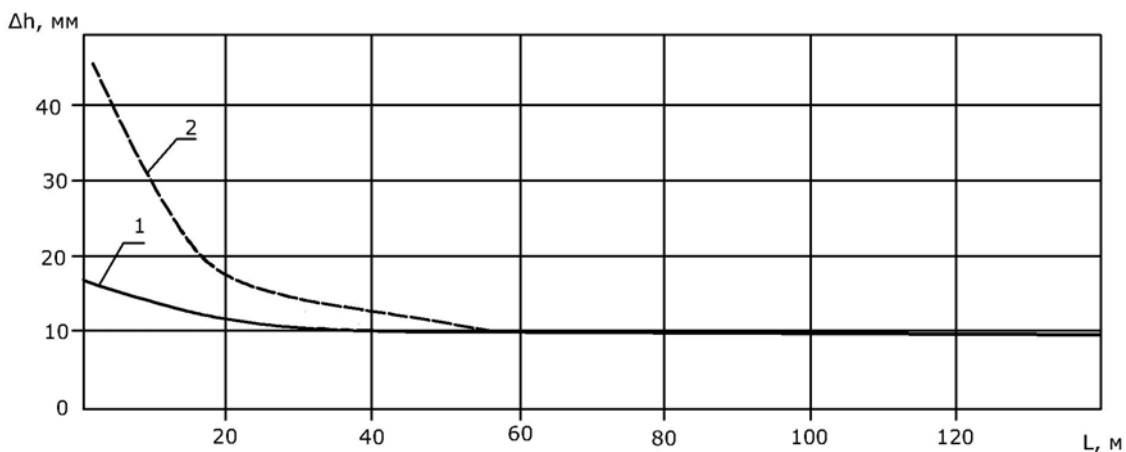


Рисунок 3.9 - Графики опускания кровли в 509 «бис» штреке на различных расстояниях от очистного забоя:
 1 – при наличии целика шириной 1,2 м между забоями лавы и штрека;
 2 – при сбойке забоев лавы и штрека

Таким образом, из анализа опускания кровли в штреке в результате приближающихся очистных работ следует, что зона опорного давления впереди очистного забоя распространялась в штреке на расстояние около 30 м, что качественно еще раз подтвердило результаты моделирования на эквивалентных материалах. Кроме этого, при подходе очистного забоя к забою штрека на расстояние 4 м методом нивелирования (включая гидростатическое нивелирование) определяли характер конвергенции боковых пород движущегося очистного забоя. Для этого в целике шириной 4 м в средней по высоте части пробурили шпур и через него пропустили прозрачную гибкую трубку, наполненную жидкостью. Затем, используя принцип сообщающихся сосудов, сделали привязку реперов, устанавливаемых в почве и кровле лавы, к реперу № 6 в штреке, находящемуся на расстоянии 20 м от забоя штрека. Чтобы исключить влияние штрека на конвергенцию боковых пород в очистном забое, замерная станция в лаве была удалена от оси нового штрека вниз по лаве на расстояние более 15 м, где в почву и кровлю у груди забоя, возле каждого цикла по выемке угля устанавливали 6 пар реперов через 1,35 м. Затем производили нивелирование этих и ранее установленных реперов.

Исследования, проведенные таким образом на протяжении 6 циклов подвигания очистного забоя, показали, что конвергенция боковых пород в очистном забое оснащенном комплексом «Донбасс», составляла в среднем 167 мм. При этом непосредственная кровля опускалась на 114 мм (68 %), а почва поддвигалась на 53 мм (32 %).

Таким образом, проведенные исследования зоны опорного давления впереди очистного забоя пл. С₅ шахты «Терновская» показали, что зона опорного давления проявляется слабо и распространяется на расстоянии около 30 м; менее 70 % в конвергенции боковых пород составляет опускание кровли;

более 30 % в сближении боковых пород составляет поддувание почвы, оказывающее влияние на устойчивость угольных уступов.

Все это подтверждает результаты лабораторных и ранее приведенных натуральных исследований краевой части угольных пластов и включающих их боковых пород.

3.5. Исследование влияния изменения формы забоя на энергозатраты выемки и сортности угля

Угольная промышленность является не только поставщиком энергетического сырья, но и крупным потребителем электрической энергии. На шахтах, например, Западного Донбасса на выемку одной тонны угля расходуется около 1 кВт/час. Следовательно, за год лишь шахты одного ПО «Павлоградуголь» расходует миллион киловатт-часов электроэнергии. Стоимость отправляемого потребителю угля зависит также и от сортности, которая определяется крупностью добываемого угля. Современные узкозахватные очистные комбайны измельчают добываемую горную массу и дают штыба (класса размером 0-6 мм) более 50% от общего объема. Обогащение такой горной массы производится методом флотации, то есть самым дорогим из способов обогащения.

Поиск путей снижения расходов электроэнергии на выемку угля с одновременным повышением выхода крупных классов, снижение расходов на обогащение является актуальным [28], так как он направлен, в итоге, на повышение эффективности работы отрасли.

Использование угольного уступа как опоры для перекрытия крепи привело к изменению формы очистного забоя и, соответственно, условий работы исполнительного органа комбайна. В связи с этим была поставлена задача изучения, каким образом повлияет на энергозатраты и качественные показатели добычи нового комплекса изменение прямолинейной формы забоя на почвоуступную, то есть с опережающим под кровлей врубом. Для этого в 509 лаве, оснащенной очистным комплексом «Донбасс» и имеющей прямолинейную форму забоя, по типовой методике и соответствующим нормативным документам проведены исследования энергозатрат добычи и сортности горной массы. Аналогичные исследования проведены в этой же лаве, но уже имеющей почвоуступную форму забоя при работе экспериментального комплекса. Оба комбайна однотипные – МК67 – отличились только исполнительными органами. Извлекаемая мощность пласта С₅ в обеих лавах одинакова. Горно-геологическая характеристика участка не менялась. Верхняя часть экспериментального исполнительного органа очистного комбайна, создающая опережающий вруб у кровли, занимала 35% мощности пласта и работала в условиях, аналогичных условий работы исполнительного органа обычного серийного комбайна МК67. Нижняя же часть органа, отбивающая большую по высоте часть пласта, не резала угольный пласт, а отказывала и разбивала его, о чем свидетельствует большой выход крупных кусков угля и снижение энергозатрат на это разрушение. Иначе, в верхней части условия

разрушения пласта мало чем отличались от таковых при прямолинейном забое и мощности пласта равной 0,4 м.

Измерения энергозатрат добычи на обоих комбайнах производились самопишущим киловаттметром НЗ79 при различных режимах нагружения электродвигателей комбайнов. При этом варьировали скорость подачи комбайна при постоянной ширине захвата и ширине захвата комбайна при постоянной его скорости.

Обработка результатов замеров показала, что между потребляемой мощностью электродвигателями обоих комбайнов, энергозатратами добычи и скоростью подачи существуют зависимости, графики которых представлены на рис. 3.10. Из анализа этих зависимостей следует, что при увеличении скорости подачи комбайнов удельные затраты отбойки и погрузки горной массы для обоих комбайнов уменьшается. Однако при работе комбайна с почвоуступной формой забоя это уменьшения проявлялось наиболее интенсивно. В испытуемом диапазоне скоростей передачи комбайна МК67 «ЗД» (с экспериментальным исполнительным органом) от 0 до 2,76 м/мин потребляемая мощность изменялась в пределах от 20 до 66 кВт, что значительно меньше паспортной мощности комбайна ($P_{\text{пас}} = 115$ кВт).

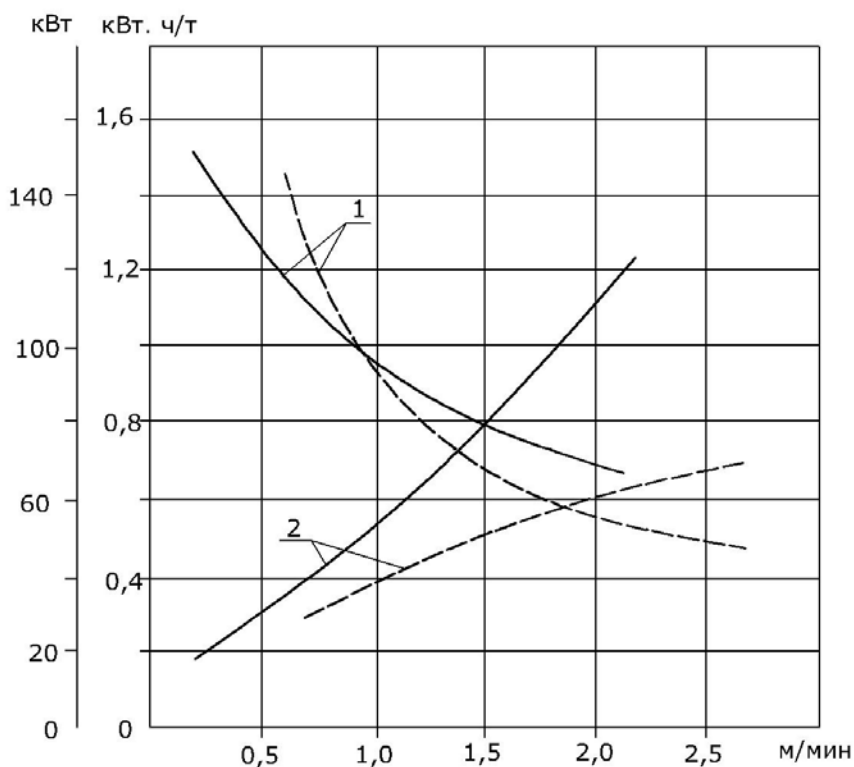


Рисунок 3.10 - Графики энергоемкости добычи (1) и потребляемой мощности электродвигателя комбайнов (2) в зависимости от скорости подачи комбайнов (_____ МК67, ___ МК67 ЗД)

Представляют интерес результаты исследований энергозатрат добычи горной массы и потребляемой мощности электродвигателем комбайна МК67 (серийный) в зависимости от ширины захвата при постоянной скорости подачи равной 1,62 м/мин. Эти исследования показали, что увеличение ширины захвата от 0 до 0,8 м приводит к увеличению потребляемой мощности от 20 до 85 кВт и снижению энергозатрат выемки угля до 0,70 кВт·ч/т. В результате этих исследований также установлено, что при скорости 1,62 м/мин и одинаковой ширине захвата 0,5 м, энергозатраты добычи серийным комбайном составляли 0,92 кВт·ч, а экспериментальным комбайном – 0,66 кВт·ч/т, то есть на 44% ниже, чем при добыче серийным комбайном. При скоростях подачи комбайна более 2 м/мин эта разница увеличилась еще значительно.

Исследование сортности добываемой горной массы производили согласно ГОСТу 2093-69 также при работе указанных выше комбайнов. Результаты этих исследований представлены на гистограмме, приведенной на рис. 3.11.

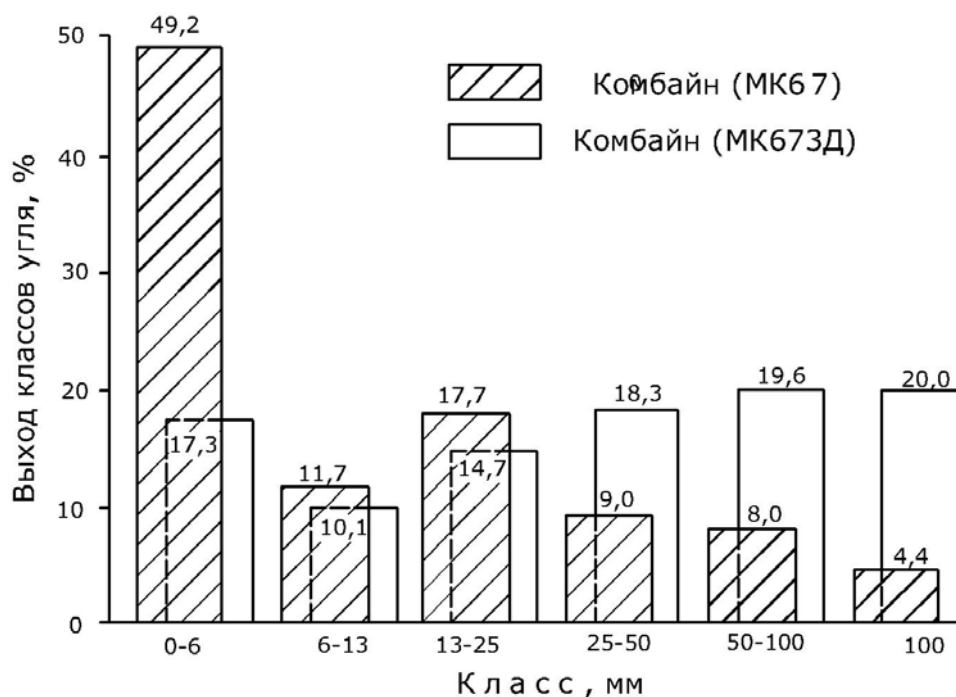


Рисунок 3.11 - Диаграммы выхода разных классов угля при выемке комбайнами МК67 и МК67ЗД

Из рис. 3.11 следует, что при работе серийного комбайна выход горной массы крупностью 0-6 мм составлял более 49%, то есть выход штыба практически был равен половине добычи, тогда как при работе экспериментального комбайна всего лишь около 17%. Выход горной массы крупностью более 25 мм из лавы с новым комбайном составил около 58%, что почти в 2,5 раза больше, чем из лавы оборудованной комбайном МК67. Увеличение выхода крупных фракций при работе экспериментального комбайна происходило за счет отжима угольного уступа почвой пласта и улучшения условий работы исполнительного органа комбайна.

Таким образом, сортность добываемого угля при почвоуступной форме забоя значительно выше, что говорит о перспективности выемки угля с опережающим врубом. При такой форме забоя используются силы горного давления для отделения угля от массива, в результате чего происходит значительное увеличение выхода крупных классов добываемого угля и одновременное снижение энергозатрат на добычу на 0,29 кВт/час на каждой тонне добычи.

Кроме того, изменение прямолинейной формы очистного забоя на почвоуступную позволяет существенно увеличить производительность комбайнов за счет увеличения скорости их подачи и значительно уменьшить энергозатраты на отделение от пласта и разрушение угля.

Выводы

1. На пластах со слабыми почвами устройство под кровлей пласта опережающего вруба приводит как к горизонтальным, так и вертикальным перемещениям угольных уступов, в результате чего они отделяются трещинами от массива пласта.

2. Установка на угольные уступы силовых элементов крепи резко снижает интенсивность перемещений, как самих уступов, так и боковой кровли над ними, чем улучшает состояние кровли в призабойной части лавы.

3. На пласте с прочным вязким углем и прилегающими слабыми породами не зафиксировано обтеканий пласта боковыми породами, по его контакту с ними за время наблюдений 28 часов.

4. При отработке пласта С₅ в условиях шахты «Терновская» впереди движущегося очистного забоя зона опорного давления проявлялась слабо и распространялась на расстояние около 30 м. Это качественно подтверждает результаты лабораторных исследований на эквивалентных материалах.

5. В условиях выемки пл. С₅ менее 70% в конвергенции боковых пород составляла опускание кровли и более 30% поддувания почвы. Последнее являлось основной причиной откола угольных уступов от массива пласта, что подтвердило аналогичное предположение, полученное в результате лабораторных исследований.

6. Изменение прямолинейной формы очистного забоя на почвоуступную позволяет существенно снизить нагрузку на комбайн и увеличить его производительность за счет увеличений скорости подачи.

7. Отработка пласта с опережающим под кровлей врубом и с применением бесконсольной механизированной крепи привела к снижению энергозатрат на выемку пласта и погрузки отбитой горной массы на 0,29 кВт/час на каждой тонне угля, к ликвидации вывалов и уменьшению зольности горной массы. Кроме этого, в 3 раза был уменьшен выход штыба и увеличен выход крупных классов угля, в результате чего улучшена сортность добычи. Это подтверждает перспективность дальнейшей выемки пластов с опережающим врубом и применение бесконсольных механизированных крепей.

4. ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ УСТУПОВ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА МЕТОДОМ СЕТОК

4.1. Общие положения и задачи исследований

В результате проведенных шахтных исследований взаимодействия системы «боковые породы – пласт – крепь» получена информация о характере проявления горного давления в краевой части угольного уступа. Для обоснования области применения механизированных крепей с опорой перекрытий на угольные уступы необходимо провести исследования прочности угольных уступов. В шахте провести оценку прочности угольных уступов различных размеров при разных условиях их нагружения трудоемко и организационно сложно. Аналитические же методы исследования напряженно-деформированного состояния угольных уступов позволяют получить картину распределения поля напряжений в угольных уступах в зависимости от характера их нагружения. Учитывая это, в работе ставилась задача: с помощью одного из аналитических методов исследования построить поля нормальных и максимальных касательных напряжений в угольных уступах различных размеров при разных условиях их нагружения и на этой основе оценить возможность нормативной эксплуатации угольного уступа в качестве несущего элемента для механизированных крепей.

Влияние многочисленных горно-геологических и горнотехнических факторов напряженное состояние массива пласта и их учет при аналитических методах исследования приводит к значительным математическим трудностям. Поэтому большинство инженерных задач приходится решать приближенными методами. К числу наиболее распространенных методов относятся метод сеток, вариационно-разностный метод и метод конечных элементов. Все эти методы, по существу, идентичны и тем или иным приемом сводят решения задачи к решению систем алгебраических уравнений или к раскрытию определителей [16, 39].

Применительно к задачам горной геомеханики получил распространение метод конечных элементов. Этим методом С.Н. Комиссаровым [45], Л.В. Новиковой, А.И. Калашниковым [38] и другими решены контактные задачи для системы «крепь – боковые породы – угольный пласт» и определены нагрузки на перекрытие механизированных крепей, взаимодействующих с боковыми породами.

При расчете строительных конструкций широкое распространение получил метод сеток, который также как и метод конечных элементов, прост и в своих математических предпосылках сохраняет физическую картину происходящих в массиве процессов. Метод сеток и метод конечных элементов решает задачи с одинаковой точностью, но метод сеток в некоторых случаях проще и экономичнее, что доказывает в своей работе К. Форсберг [95] после решения одной и той же задачи обоими способами. Поэтому для решения вышепоставленной задачи исследовали метод сеток (метод конечных

разностей), теоретические основы которого описаны в работах многих авторов [16, 77, 92] и др.

Угольный уступ, образуемый с помощью опережающего под кровлей пласта вруба, и опор силового механизма крепи на нем рассматривали как балку-стенку с частичной, равномерно распределенной пригрузкой. При этом снизу на угольный уступ воздействовал отпор почвы пласта.

Решение задачи осуществлялось применительно к крепи, силовые механизмы которой развивали усилия 200 кН. С целью обеспечения возможности сравнения результатов аналитических исследований с данными, полученными в натуре, высоты угольных уступов принимались равными 0,4 м, 0,5 м, 0,6 м и 0,8 м, а их ширина 0,4 м, 0,5 м и 0,8 м.

В табл. 4.1 приведены рассматриваемые варианты нагружений угольных уступов разных геометрических размеров.

Таблица 4.1 - Рассматриваемые варианты геометрических размеров и условий нагружений угольных уступов

№ п/п	Высота уступа (d), м	Глубина уступа (с), м	Ширина опоры (b), м	Расстояние опоры до кромки уступа (a), м	Давление опоры (q), м
1	0,4	0,5	0,2	0,15	5,0
2	0,6	0,5	0,2	0,15	5,0
3	0,8	0,5	0,2	0,15	5,0
4	0,4	0,8	0,2	0,15	5,0
5	0,6	0,8	0,2	0,30	5,0
6	0,8	0,8	0,2	0,30	5,0
7	0,4	0,4	0,1	0,15	20,0
8	0,6	0,4	0,1	0,15	20,0
9	0,8	0,4	0,1	0,15	20,0
10	0,4	0,5	0,1	0,20	20,0
11	0,6	0,5	0,1	0,20	20,0
12	0,8	0,5	0,1	0,20	20,0
13	0,4	0,8	0,1	0,35	20,0
14	0,6	0,8	0,1	0,4	20,0
15	0,8	0,8	0,1	0,4	20,0
16	0,5	0,5	0,1	0	20,0
17	0,4	0,5	0,2	0	5,0
18	0,5	0,5	0,3	0	2,2
19	0,8	0,5	0,1	0	20,0
20	0,8	0,5	0,2	0	5,0
21	0,8	0,5	0,3	0	2,2
22	0,8	0,8	0,1	0	20,0
23	0,8	0,8	0,2	0	5,0
24	0,8	0,8	0,3	0	2,2

При решении принято физико-механическая характеристика наименее прочного угля в условиях Западного Донбасса: $E = 0,12 \cdot 10^5$ МПа; $m = 0,2$; $\gamma = 13,5$ кН/м³; $[\sigma_{сж}] = 21$ МПа; $[\sigma_p] = 2$ МПа [8, 19, 32].

4.2. Основы теории метода сеток, используемые при решении задачи

Напряженное состояние в угольном уступе описывалось известным бигармоническим уравнением [16, 39, 71]

$$\frac{d^4 \varphi}{dx^4} + 2 \frac{d^4 \varphi}{dx^2 dy^2} + \frac{d^4 \varphi}{dy^4} = 0 \quad (4.1)$$

И граничным условиям, приведенными на рис. 4.1 Найдя функцию $\varphi(x,y)$, определяли напряжения в любой точке угольного уступа с помощью известных формул

$$\sigma_x = \frac{d^2 \varphi}{dy^2}, \quad \sigma_y = \frac{d^2 \varphi}{dx^2}, \quad \sigma_{xy} = \frac{d^2 \varphi}{dxdy}, \quad (4.2)$$

Решение данного бигармонического уравнения (4.1) осуществлялось с использованием численного метода, который легко реализуется с помощью ПК. Как было отмечено, одним из наиболее простых и универсальных методов является метод сеток.

Суть этого метода заключается в замене дифференциального уравнения (4.1) системой линейных алгебраических уравнений для узлов сетки, которой разбивается угольный уступ на конечное число малых элементов. Подставив разностные операторы в бигармоническое уравнение, получили приведенное ниже алгебраическое уравнение для точки (i, j) приближенно эквивалентное дифференциальному уравнению для бесконечно малого элемента в окрестности этой точки [16,39]

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\Delta x^4} [\varphi_{(i+2,j)} + \varphi_{(i-2,j)}] - \frac{4}{\Delta x^4} \left(\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right) [\varphi_{(i+1,j)} + \varphi_{(i-1,j)}] - \frac{4}{\Delta y^2} \left(\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right) [\varphi_{(i,j+1)} + \varphi_{(i,j-1)}] + \\ & + 2 \left(\frac{3}{\Delta x^4} + \frac{3}{\Delta y^4} + \frac{4}{\Delta x^2 \Delta y^2} \right) \varphi_{(i,j)} + \frac{2}{\Delta x^2 \Delta y^2} [\varphi_{(i+1,j+1)} + \varphi_{(i+1,j-1)} + \varphi_{(i-1,j+1)} + \varphi_{(i-1,j-1)}] + \\ & + \frac{1}{\Delta y^4} [\varphi_{(i,j+2)} + \varphi_{(i,j-2)}] = 0 \end{aligned} \quad (4.3)$$

Приведенное уравнение, которое содержит 13 неизвестных значений функции напряжений φ , было записано для каждой внутренней точки сеточной области.

На рис. 4.1. показана расчетная схема угольного уступа.

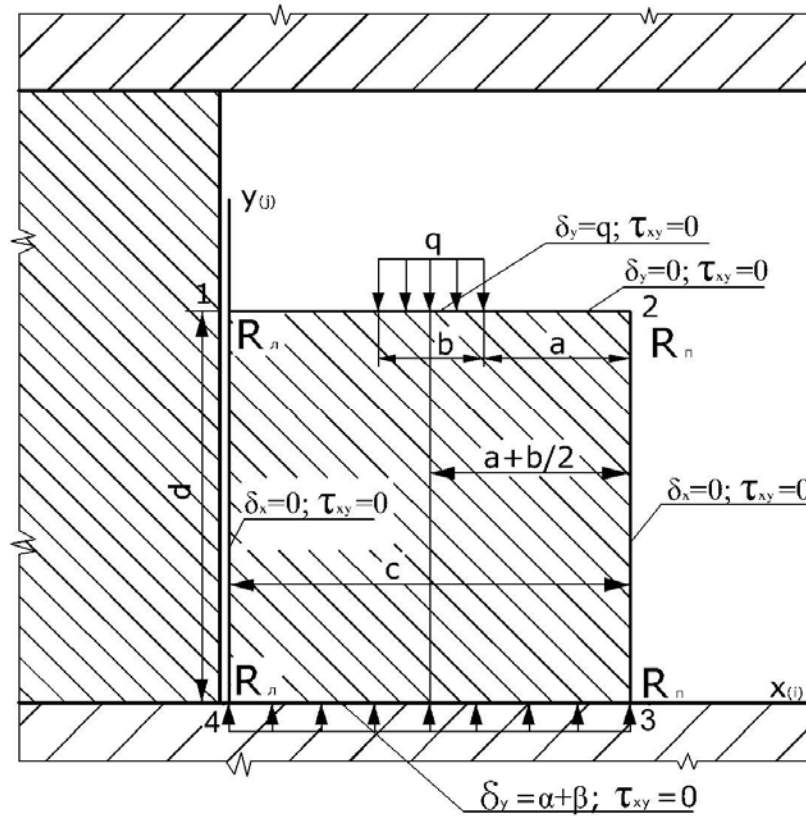


Рисунок 4.1 - Расчетная схема угольного уступа

Схема разбиения угольного уступа сеткой на конечное число малых элементов приведена на рис. 4.2.

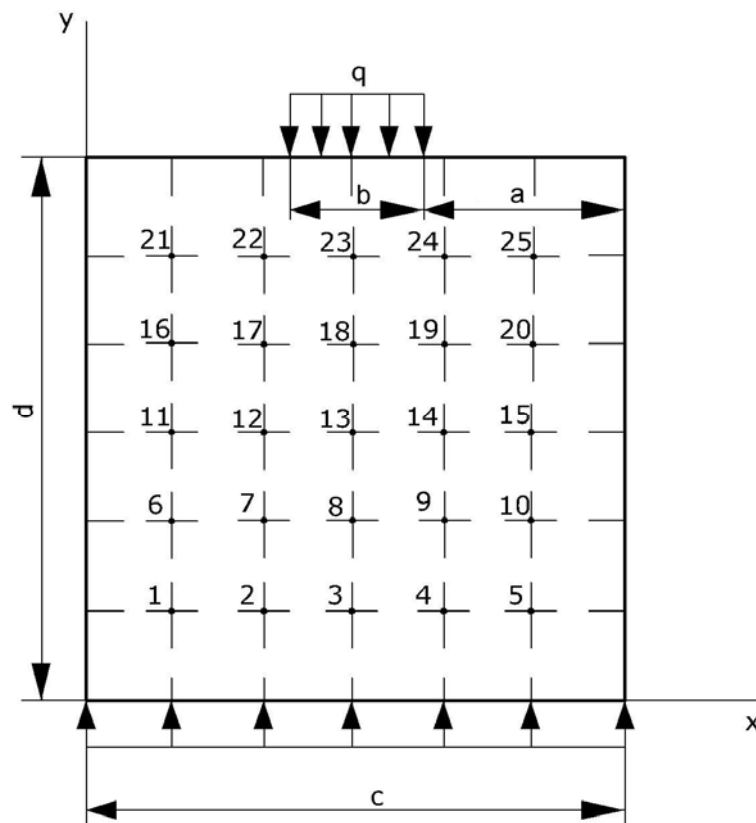


Рисунок 4.2 - Схема разбиения угольного уступа сеткой

Неизвестные значения функции напряжений в контурных и законтурных точках в соответствии с [16,39] выражались через известные значения функции внутри контура, а также через изгибающий момент и продольную силу в условной балке.

Для решения задачи были определены продольные силы в левой и правой стойках условной рамы в моменты в точках верхнего и нижнего ригеля (моменты в левой и правой стойках и продольные силы в ригелях равны 0). Реакции стоек R_L , R_n (рис. 4.1) определялись из уравнений равновесия

$$\Sigma M_1 = qb(c - a - 0.5b) - R_{II} \cdot c = 0$$

$$R_{II} = \frac{qb(c - a - 0.5b)}{c}$$

$$\Sigma M_2 = qb(a + 0.5b) - R_{\Lambda} \cdot c = 0$$

$$R_{\Lambda} = \frac{qb(a + 0.5b)}{c}$$

Принято:

$$N_i^{\Lambda} = -R_{\Lambda} \quad \text{при } i = 1, 2, \dots, 7;$$

$$N_i^{II} = -R_{II} \quad \text{при } i = 1, 2, \dots, 7;$$

Из уравнения равновесия определялись коэффициенты α и β в формуле для распределения σ_y в основании угольного уступа (рис. 4.1). Для этого были решены уравнения:

$$\Sigma M_3 = R_{\Lambda} \cdot c - \int_0^c (\alpha + \beta x) dx (c - x) = 0;$$

$$R_{\Lambda} \cdot c - c \int_0^c (\alpha + \beta x) dx + \int_0^c (\alpha x + \beta x^2) dx = 0;$$

$$R_{\Lambda} \cdot c - c\alpha \cdot c - \beta \frac{c^3}{2} + \alpha \frac{c^2}{2} + \beta \frac{c^3}{3} = 0;$$

$$\Sigma M_4 = R_{II} \cdot c - \int_0^c (\alpha + \beta x) dx \cdot x = 0;$$

$$R_{II} \cdot c - \left[\frac{\alpha x^2}{2} + \beta \frac{x^3}{3} \right]_0^c = 0;$$

$$R_{II} \cdot c - \frac{\alpha \cdot c^2}{2} - \frac{\beta \cdot c^3}{3} = 0.$$

$$\begin{cases} 6R_{II} \cdot c - 3\alpha \cdot c^2 - 2\beta c^3 = 0; \\ 6R_{\Lambda} \cdot c - \alpha \cdot c^2 (6 - 3) - \beta(3 - 2) = 0. \end{cases}$$

$$\begin{cases} 6R_{II} \cdot c - 3\alpha \cdot c - 2\beta c^2 = 0 \\ 6R_{\Lambda} \cdot c - 3\alpha \cdot c - \beta c^2 = 0 \end{cases}$$

$$6(R_{II} - R_{\Lambda}) - \beta c^2 = 0; \quad \beta = \frac{6(R_{II} - R_{\Lambda})}{c^2}$$

$$6R_{\Lambda} - 6(R_{II} - R_{\Lambda}) - 3\alpha \cdot c = 0 \quad \alpha = \frac{4R_{\Lambda} - R_{II}}{c}$$

Момент на нижнем ригеле определяли из уравнения

$$\frac{d^2M}{dx^2} = -(\alpha - \beta x)$$

Затем решалось это уравнение

$$\frac{dM}{dx} = -\alpha \cdot x - \frac{\beta x^3}{2},$$

$$M = -\frac{\alpha \cdot x^2}{2} - \frac{\beta \cdot x^3}{6} + c_2 + c_1 x,$$

при $|M|_{X=0} = 0; \quad c_2 = 0.$

При

$$|M|_{X=C} = -\frac{\alpha \cdot c^2}{2} - \frac{\beta \cdot c^3}{6} + c_1 \cdot c = 0,$$

$$c_1 = \frac{\alpha \cdot c}{2} + \frac{\beta \cdot c^2}{6}$$

При $x = \Delta x_{(i-1)}$; где $i = 1, 2, \dots, 7,$

$$M_i^H = \frac{\alpha}{2} x(c - x) + \frac{\beta}{6} x(c^2 - x^2).$$

Момент на верхнем ригеле

при $x = \Delta x_{(i-1)},$ где $i = 1 \dots 7$ равен:

при $x < c - b - a,$

$$M_i^B = R_{\Lambda} \cdot x;$$

при $c - b - a < x < c - a,$

$$M_i^B = R_{\Lambda} \cdot x - \frac{q(x - c + b + a)^2}{2};$$

при $c - a < x < c,$

$$M_i^B = R_{II}(c - x)$$

Таким образом, учитывая продольные силы в левой и правой стойках и моменты в точках верхнего и нижнего ригелей после записи уравнения (4.3) для всех внутриконтурных точек, с помощью уточненного в соответствии с новыми краевыми условиями алгоритма [39], получена картина распределения

нормальных напряжений (σ_y, σ_x) и максимальных касательных напряжений (τ_{max}) при различном характере нагружения угольных уступов разных размеров.

Решение задачи было осуществлено с использованием ПК на основе модели линейно-упругой среды.

4.3. Анализ напряженного состояния уступов угольного пласта

В результате анализа проведенных на ПК аналитических расчетов напряжений в угольных уступах различных размеров, как при одинаковом так и при разном условии их нагружения силовыми элементами крепи, получены картины распределения нормальных и максимальных касательных напряжений. Наиболее характерные варианты распределений напряжений представлены на рис. 4.3 – 4.8.

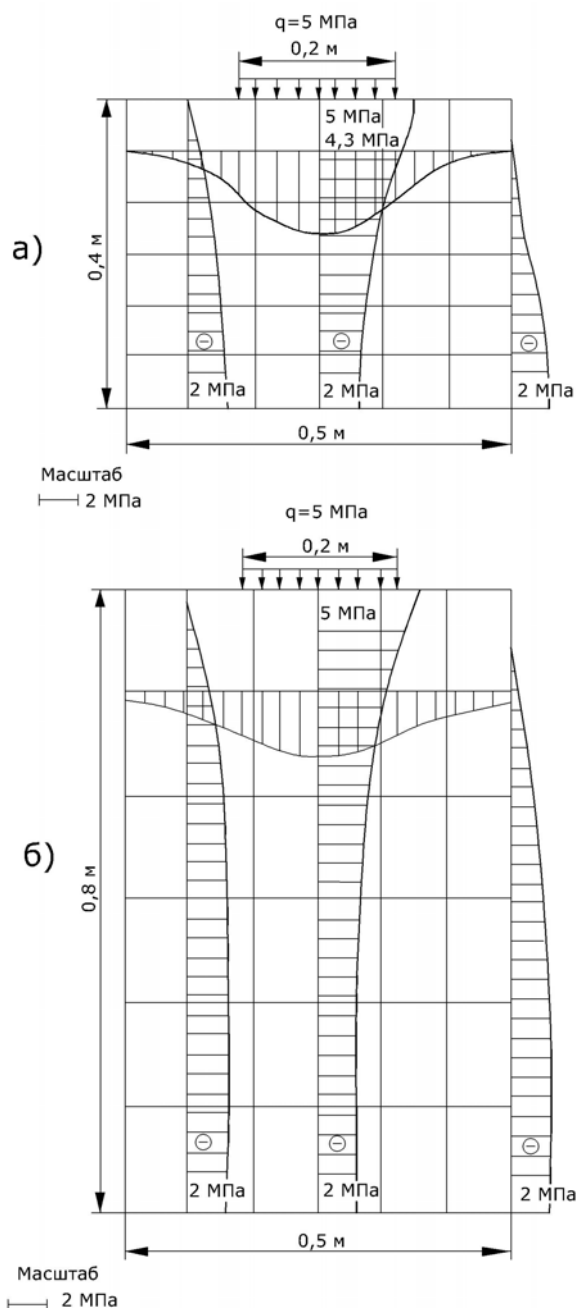


Рисунок 4.3 - Эпюры распределения напряжений σ_y в угольных уступах высотой 0,4 м (а) и 0,8 м (б) при установках опор вдоль осей

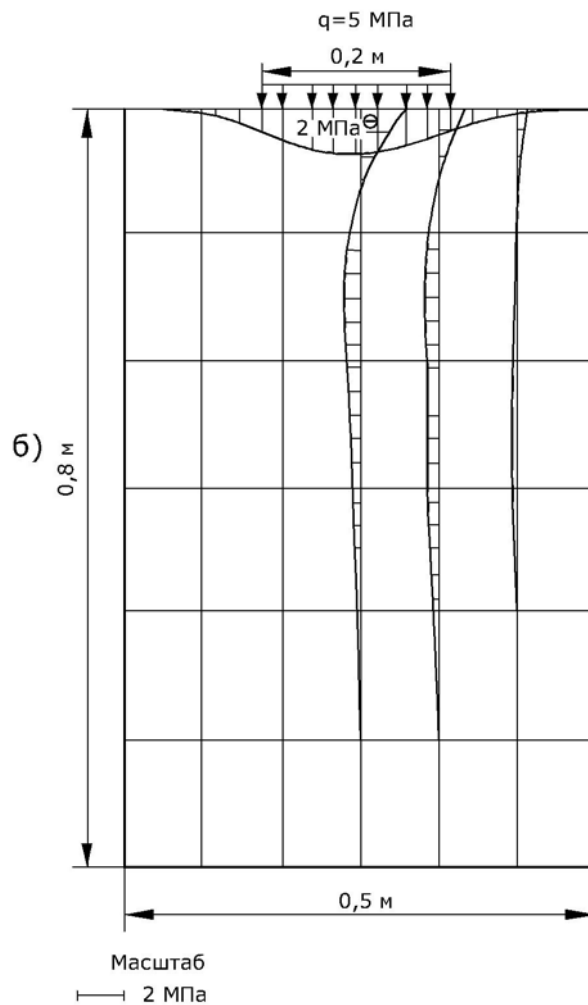
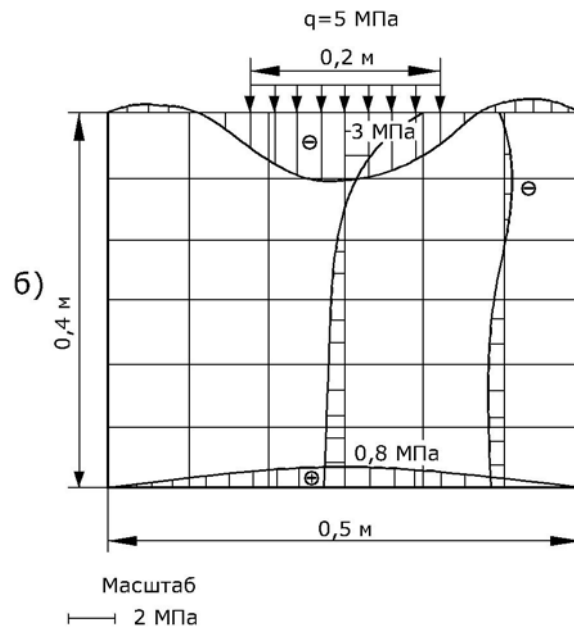


Рисунок 4.4 - Эпюры распределения напряжений σ_x в угольных уступах высотой 0,4 м (а) и 0,8 м (б) при установках опор вдоль осей уступов

Изучение распределения напряжений в угольных уступах равных 0,5 м по ширине и разных по высоте 0,4 м и 0,8 м (соотношения сторон 4/5 и 8/5

соответственно); при одинаковых условиях их нагружения силовыми элементами ($q=5$ МПа, $S=0,04$ м²) позволило установить, что нормальные напряжения σ_y (рис. 4.3) только непосредственно под опорами равны по величине прикладываемой удельной нагрузке. С удалением от опор вглубь уступов, напряжения распределялись более равномерно по всей ширине уступа, и на глубине около 0,4 м, как под опорами, так и по всей ширине уступов были примерно равными 2,0 МПа, то есть равны 40% величин напряжений под опорами. С приближением к почве пласта напряжения σ_y в уступах практически сохраняли эту же величину. Такое распределение напряжений хорошо согласуется с принципом Сен-Венана [77, 85].

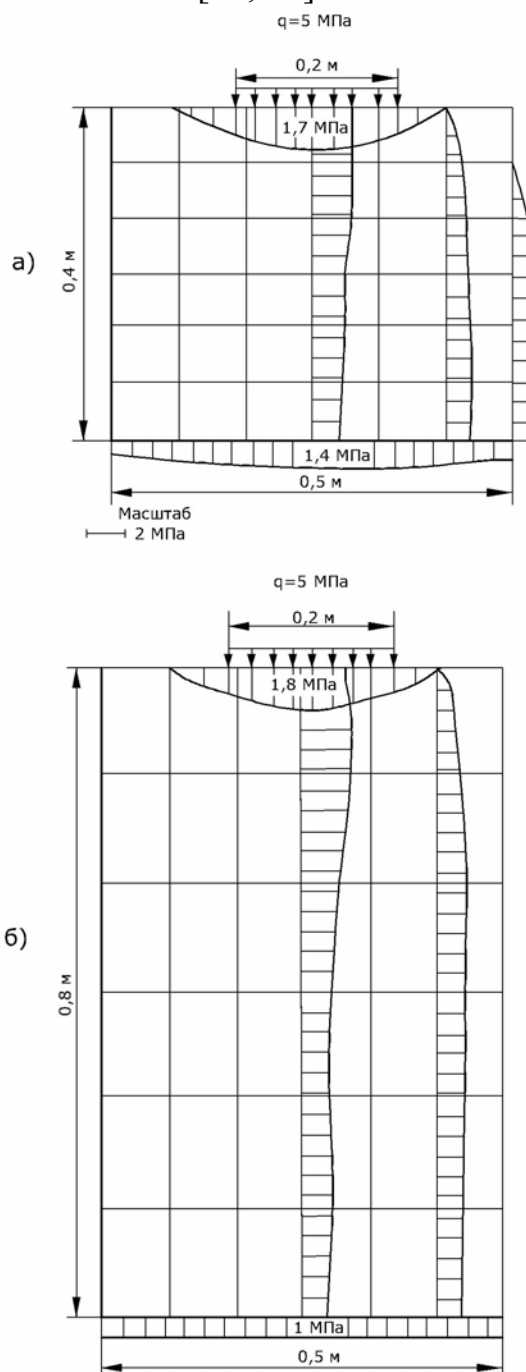


Рисунок 4.5 - Эпюры распределения напряжений τ_{\max} в угольных уступах высотой 0,4 м (а) и 0,8 м (б) при установке опор вдоль осей уступов

Анализируя распределения напряжений σ_x (рис. 4.4) в уступах вышеприведенных размеров следует, что с понижением рассматриваемых сечений уступов до глубины 0,1 м сжимающие напряжения уменьшились до 0, а затем переходили в незначительные по величине растягивающие напряжения, достигая максимальных значений на глубине уступа 0,8 м и у почвы пласта при высоте уступа 0,4 м.

Напряжения τ_{max} (рис. 4.5) под опорами в уступах вышеприведенных размеров составляли 1,7 МПа и 1,8 МПа соответственно при высоте уступов 0,4 м и 0,8 м. С понижением рассматриваемых сечений напряжения τ_{max} уменьшались до середины высоты уступов. Далее, с глубиной, они оставались постоянными, равномерно распределяясь по ширине уступов также, как и напряжения σ_y .

При анализе распределения напряжений в угольных уступах равной высоты (0,4 м), но различной ширины (0,5 м, 0,8 м) при одинаковых условиях их нагружения установлено, что напряжения σ_y , σ_x и τ_{max} , в зависимости от рассматриваемого увеличения ширины уступа свой характер распределения меняли несущественно.

Расчетом также установлено, что увеличение удельных нагрузок на уступ в 4 раза, а именно: с 5,9 МПа до 20,0 МПа (рис. 4.3 а, 4.6, табл. 4.1, варианты 1-10) приводило к увеличению сжимающих напряжений σ_y только непосредственно под опорой. С удалением от поверхности нагружения эти напряжения интенсивно убывали до глубины около 0,3 м.

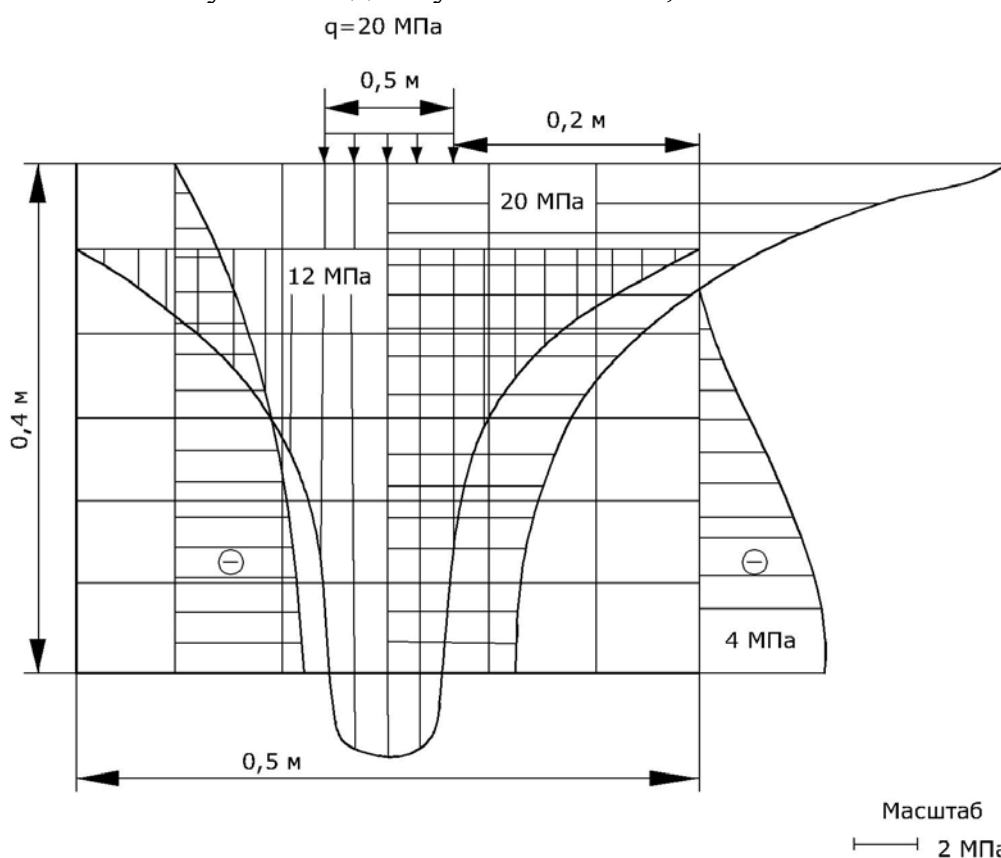
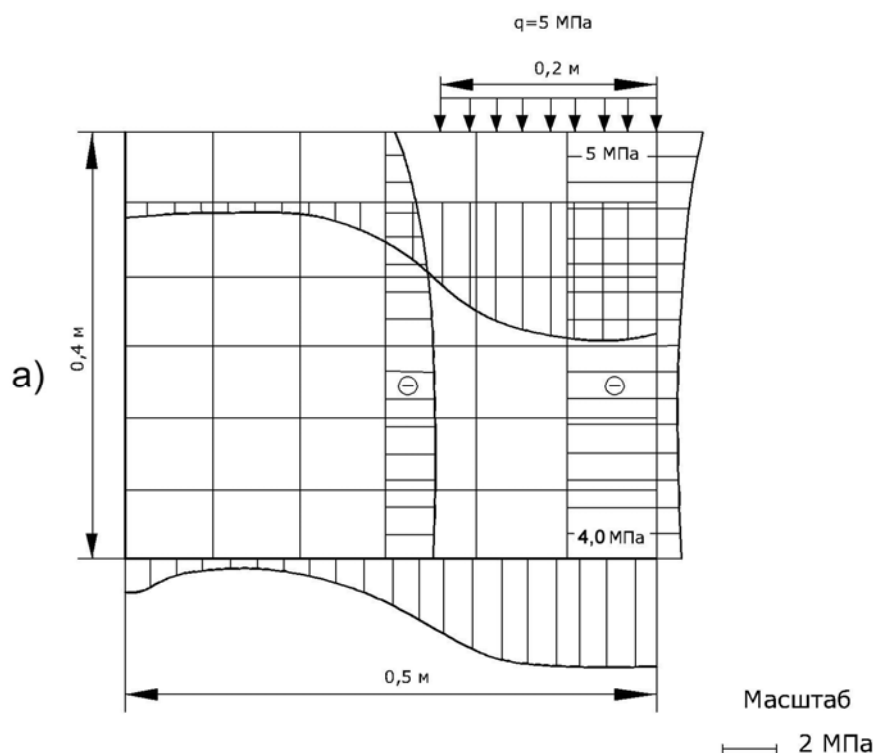


Рисунок 4.6 - Эшюры распределения напряжений σ_y в уступе высотой 0,4 м при установке в средней его части опоры с удельным давлением 20 МПа

Опасными, с точки зрения прочности угольных уступов, являются как нормальные напряжения σ_y , так и касательные напряжения τ_{max} [59, 85]. В результате аналитических исследований установлено, что напряжения σ_y имели свои максимальные значения под опорами и равнялись по величине удельным прикладываемым нагрузкам. Максимальные касательные напряжения имели свои наибольшие значения под опорами на глубине около 0,1 м и составляли около 30% величин удельных нагрузок. Поэтому при установке опор силовых механизмов крепи на угольные уступы необходимо соблюдать условия, чтобы максимальные напряжения σ_y и τ в уступах были меньше допустимых $[\sigma_{с.ж.}]$ и $[\tau]$ для угля уступов.

По мере удаления от опор к почве пласта нормальные напряжения $\sigma_{y\ с.ж.}$ уменьшались до 20-40%, от максимальных своих значений. Поэтому в нижней третьей части угольного уступа могут быть менее прочные пачки угля, допустимые напряжения ($[\sigma_{с.ж.}]$) которых в два раза меньше, чем допустимые напряжения угля в верхней части уступа.

Изучая влияние места установки опоры на характер распределения напряжений в угольных уступах установлено, что при перестановке силовых опор крепи со середины уступа к его кромке характер распределения напряжений в уступе менялся существенно. При этом напряжения в уступе непосредственно под опорой при равных удельных нагрузках одинаковы, но с приближением к почве пласта, как напряжения σ_y , так и напряжения τ_{max} распределялись в глубине уступа неравномерно по его ширине. У почвы уступа напряжения имели ярко выраженный максимум, расположенный под опорой (таблица 4.1, вариант 17; рис. 4.7).



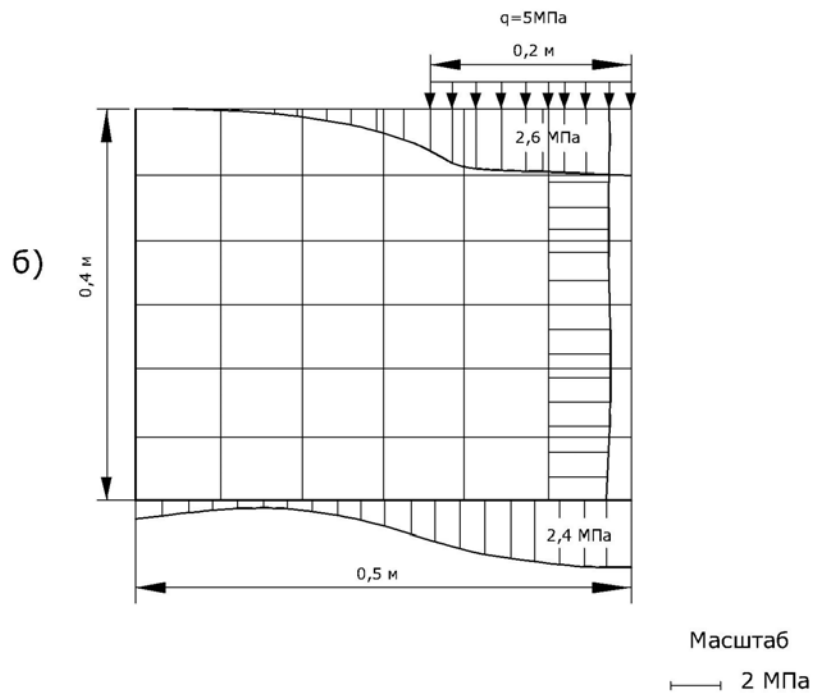
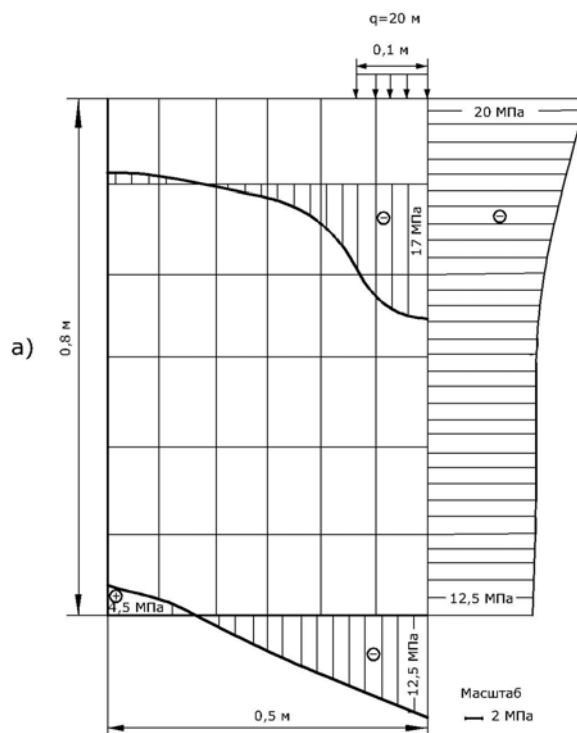


Рисунок 4.7 - Эпюры распределения напряжений σ_y (а) и τ_{max} (б) в уступе высотой 0,4 м при установке опоры у его кромки

При увеличении удельных нагрузок на кромку уступов в последних со стороны противоположной прикладываемой нагрузки появились растягивающие напряжения σ_{yp} . При уменьшении ширины уступа с 0,8 м до 0,5 м величина этих напряжений увеличилась на 45%. Также увеличивались и сжимающие напряжения в уступе под опорой у почвы пласта (рис.4.8 табл. 4.1, варианты 16-22).



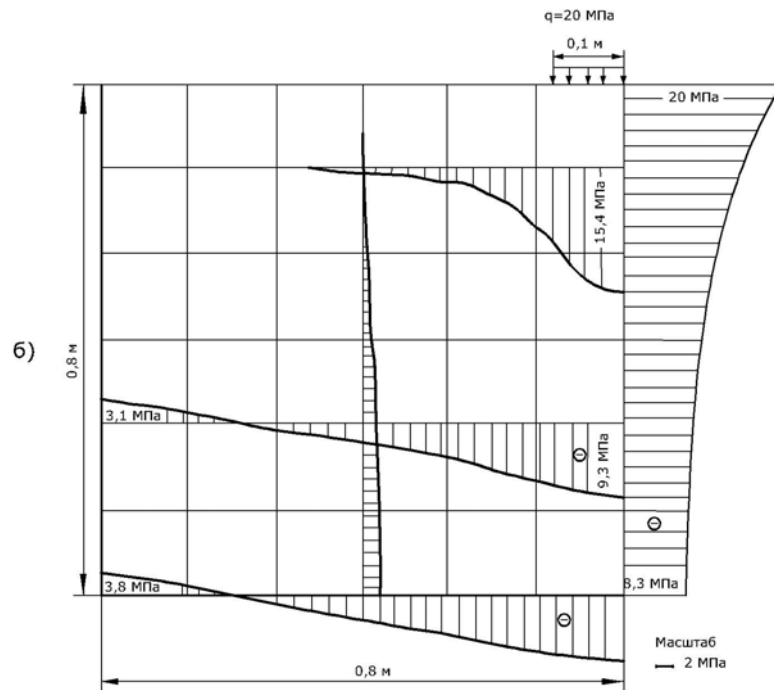


Рисунок 4.8 - Эпюры распределения напряжений σ_y в угольных уступах шириной 0,4 м (а) и 0,8 м (б) при нагрузке их кромки опорой с удельным давлением 20 МПа

Отсюда следует, что в случаях нагружения уступов у кромки, если величины растягивающих напряжений в уступе превысят допустимые значения $[\sigma_p]$ для угля, или величины сжимающих напряжений превысят допустимые значения $[\sigma_{сж}]$ для пород почвы, то уступ может потерять устойчивость или внедрится в почву пласта.

При увеличении до 0,8 м высоты угольного уступа, пригруженного у кромки, характер и величина распределения напряжений σ_y и τ_{max} в уступе меняются незначительно.

Выводы

1. Нагружение середины угольных уступов шириной 0,5 м силовыми опорами механизированной крепи приводило к появлению в уступах под опорами сжимающих напряжений ($\sigma_{y\ сж}$) равных по величине удельным прикладываемым нагрузкам. По мере удаления от опор вглубь уступа, на расстояние более 0,4 м, сжимающие напряжения ($\sigma_{y\ сж}$) и максимальные касательные напряжения (τ_{max}) по ширине уступов распределялись равномерно, что согласовывалось с принципом распределения напряжений Сен-Венана.

2. Увеличение удельных нагрузок на уступы с 5 МПа до 20 МПа способствовало более интенсивному падению напряжений до глубины около 70% от высоты уступа и увеличению сжимающих напряжений ($\sigma_{y\ сж}$) у почвы угольных уступов в 2 раза.

3. Опасными из условия прочности угольных уступов являются как нормальные, так и максимальные касательные напряжения. При установке опор силовых механизмов крепи на середине угольных уступов необходимо соблюдать условие, чтобы сжимающие напряжения под опорами ($\sigma_{y\ cж}$) и максимальные касательные напряжения (τ_{max}) в уступах были меньше допускаемых значений $[\sigma_{y\ cж}]$ и $[\tau_{max}]$ для пачек угля в верхней части уступов (около 70% от высоты). В нижней третьей части по высоте уступов могут быть менее прочные пачки, в которых допускаемые напряжения угля ($[\sigma_{y\ cж}]$) в два раза меньше чем допускаемые напряжения угля в верхней части уступа.

4. При установке силовых опор крепи у кромки уступов в их глубине напряжения σ_y и τ_{max} распределялись неравномерно, а более интенсивно под силовыми опорами крепи. В уступах с противоположной стороны прикладываемой нагрузки появились растягивающие напряжения $\sigma_{y\ p}$, величина которых увеличивалась примерно на 45% при уменьшении ширины угольных уступов с 0,8 до 0,5 м. Учитывая незначительные допускаемые значения растягивающих напряжений для угля ($[\sigma_p]$), силовые опоры крепи целесообразно располагать посередине уступов.

5. Таким образом, учитывая приведенные выше выводы о характере распределения напряжений в угольных уступах, при условии не превышения предельно допустимых напряжений для угля под опорами силовых механизмов крепи, расположенными посередине уступов, последние могут использоваться в качестве несущего элемента для механизированной крепи.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСКОНСОЛЬНЫХ КРЕПЕЙ

5.1 Общие сведения

В результате выполненных аналитических исследований распределения напряжений в угольных уступах различных геометрических размеров, при разных условиях их нагружения силовыми опорами несущих элементов крепей, получены качественные и, в некоторой степени, количественные данные о характере распределения напряжений в уступах. Для формулирования граничных условий использования уступов в качестве несущих элементов и дополнения результатов аналитических исследований и их проверки, были проведены натурные исследования несущей способности и характера разрушения уступов пологих угольных пластов. В результате чего определена основная область применения бесконсольных механизированных крепей, не имеющих бесстоечного пространства лав.

Конструктивно силовой опорный механизм перекрытия секции крепи может быть реализован, как с раздвижностью в пределах высоты опережающего вруба, то есть $h_{max} \leq h_{вр} + a$ (рис. 5.1, а), где a – запас раздвижности, так и с раздвижностью в пределах всей вынимаемой мощности пласта, то есть $h_{max} \geq m_{ПЛ}$ (рис. 5.1, б).

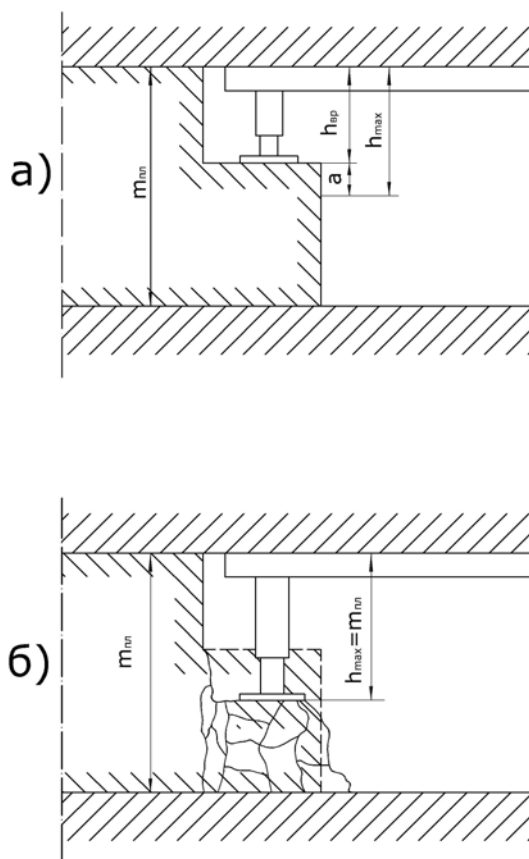


Рисунок 5.1 - Схема установки опорного механизма:
а) с раздвижностью на высоту опережающего вруба;
б) с раздвижностью на полную извлекаемую мощность пласта

Первый вариант силового опорного механизма проверен при шахтных испытаниях экспериментального образца комплекса. Второй вариант найдет применение в случаях, когда прочность угольного уступа недостаточна и он будет разрушаться при установке на него опорных механизмов.

Таким образом, при наличии прочных углей возможно применение крепей с использованием уступа для установки на него опорного механизма, а при слабых углях и во всех остальных случаях – использование второго варианта крепи.

В данной главе с использованием метода планирования эксперимента, в различных районах Донбасса выбраны представительные угольные пласты для установления несущей способности и закономерностей разрушения угольных уступов; приведены результаты этих исследований, сформулированы граничные условия и обоснована область применения механизированных крепей с каждым из указанных выше вариантов силовым опорным механизмом.

5.2. Основные положения методики определения несущей способности угольных уступов и области применения бесконсольных крепей

При обосновании области применения механизированных крепей с опорой перекрытий на угольные уступы необходимо знать фактические значения прочности несущей способности угольных уступов, которые предполагается использовать для опоры силовых механизмов бесконсольных крепей. На этом основании можно определять место установки силовых опор (на уступ или на почву у забоя). Изучение же несущей способности угольных пластов во всех действующих очистных забоях трудоемко и продолжительно во времени. Поэтому исследования несущей способности и характера разрушения угольных уступов должны быть проведены в таких горно-геологических условиях пластов, чтобы их результаты были представительными для всего района Донбасса с учетом обозримой перспективы его развития. В связи с этим вначале нами поставлена задача установить с помощью метода планирования эксперимента минимально возможное, достаточное число представительных угольных пластов с неустойчивыми кровлями, на которых необходимо было провести исследование несущей способности угольных уступов и характера их разрушения (планирование эксперимента приведено ниже в 5.3). Затем на выбранных пластах проводились эти исследования по разработанной авторами для этой цели методике.

Разработанной методикой предусматривалось выполнять исследования на пластах, как простого, так и сложного строения с коэффициентом крепости угля по М.М. Протоdjаконову от 1 до 4. Площадь штампов давилной установки составляла 625 см^2 (25 x 25 см), что позволяло получать удельные давления на уступ, равные 8,3 МПа при усилиях 520 кН. В случаях неразрушения уступов с помощью такого штампа, его площадь уменьшали до 100 см^2 . О глубине внедрения штампа в уступ и начале его разрушения судили

по показаниям индикатора часового типа, жестко прикрепленного с помощью зажима к гидростойке давяльной установки.

Исследованиями ВНИМИ [10, 96] установлено, что результаты, полученные при испытаниях прочности блоков полностью оконтуренных и блоков при трех обнаженных боковых плоскостях, очень близки между собой. Поэтому при исследовании прочности и характера разрушения угольных уступов производилось их оконтуривание с трех сторон.

При разрушении уступа по конечному значению давления в гидросистеме вычислялось удельное разрушающее усилие, которое соответствовало прочности угольного уступа или отдельных его пачек, по следующей его формуле

$$P = q \frac{\pi \cdot d^2}{4S},$$

где q – давление в гидросистеме, Па; d – диаметр плунжера давяльного цилиндра, см; S – площадь опорной плиты, см².

Перед изготовлением угольных уступов согласно [55] производили изучение строения пластов, уступы шириной по 0,5 - 0,6 м, длиной 3 м и высотой от 0,4 до 0,8 м устраивали вручную вне зоны влияния опорного горного давления от подготовительных горных выработок. Расстояние от осей штампов давяльной установки до кромки уступов составляло 0,25 - 0,30 м.

В соответствии с методикой на каждом пласте предусматривалось сделать по два уступа и произвести измерения пределов их прочности не менее двух раз. Следовательно, по каждому пласту предполагалось провести не менее 4-х измерений.

Одновременно с измерениями пределов прочности угольных уступов производились замеры скорости и глубин внедрения штампов и по ним судили о характере разрушений уступов. При этом изучалось влияние расстояния установки штампов от их оси до кромки уступов на несущую способность уступа пласта, и характер его разрушения при наличии в нижней части уступов слабых пачек угля (пород) или слабых пресекаемых пород почвы.

Кроме этого, на пластах, где производились исследования несущей способности угольных уступов, были отобраны образцы в соответствии с [66, 72, 97], из “свежего” угольного забоя, которые затем были испытаны на прочность в лабораторных условиях.

Имея такие материалы и располагая данными о фактической несущей способности уступов, была исследована теснота связи этих параметров методом парной корреляции. Затем на основании этих исследований, анализа горнотехнических характеристик лав и параметров процессов горных работ сделаны выводы по области применения бесконсольных крепей.

5.3. Выбор забоев для проведения исследований несущей способности угольных уступов и характера их разрушения методом планирования эксперимента

В настоящее время накоплен большой опыт применения методов планирования эксперимента в самых различных областях деятельности – в научных исследованиях, в практике промышленного эксперимента, в сельском хозяйстве и т.д. [4, 14.]

Планирование эксперимента – это процедура выбора числа и условий, проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью [3]. При этом существенно следующее: стремление к минимизации общего числа опытов; одновременное варьирование всеми переменными, определяющими процесс по специальным правилам – алгоритмам; использование математического аппарата, формализующего многие действия экспериментатора; выбор четкой стратегии, позволяющей принимать обоснованные решения после каждой серии экспериментов.

Применительно к нашей задаче объектом исследований является угольный уступ, имеющий различные параметры: мощность пласта; коэффициент крепости угля; расстояния между экзогенными трещинами и углами их наклона; толщина и коэффициент крепости слабых пачек угля; высота и глубина опережающего вруба и др.

При описании объекта исследований использована известная кибернетическая система, численная характеристика целей исследований которой обозначена “ y ”, являлась параметром оптимизации. В соответствии с [3] параметр оптимизации должен быть: эффективным с точки зрения достижения цели; универсальным; количественным и выражаться числом; иметь физический смысл, простой легко вычисляемый; существовать для различных состояний систем. Этим требованиям наиболее полно удовлетворяет предел прочности угольных уступов на одноосное сжатие, который и принимался за параметр оптимизации y , МПа.

Воздействие на кибернетическую систему осуществлялось факторами x_j , где j – порядковый номер фактор. Каждый фактор должен быть управляем и однозначен, и может принимать в разное время в различных опытах различные значения.

При планировании эксперимента удовлетворялось требование к совокупности факторов - совместимость и отсутствие линейной корреляции.

Учитывая то, что в процессе выемки угольного пласта изменять параметры опережающего под кровлей вруба и площадь опоры силовых механизмов крепи сложно технически, эти факторы в рассматриваемой нами задаче принимались постоянными. Из-за отсутствия достаточной информации при планировании эксперимента также не учитывались и расстояния между экзогенными трещинами и углами наклона этих трещин.

Основными факторами, которые оказывали решающее влияние на предел прочности угольных уступов, по нашему мнению, являлись: высота угольного уступа, м; коэффициент крепости угля, f ; мощность слабой пачки угольного уступа, м; коэффициент крепости слабой пачки f_{II} .

Таким образом, четыре влияющих фактора определяли факторное пространство объекта исследований, модель которого выражалась в общем виде следующим уравнением

$$y = f(x_1, x_2, x_3, x_4) \quad , \text{ МПа}$$

Зная число влияющих факторов, в соответствии с [3], определяли число опытов одного фактора эксперимента, используя выражение

$$N = 2^k$$

Где N – число опытов; 2 – число уровней; k – число факторов

Исходя из того, что в нашей задаче число факторов равно 4, получили количество опытов полного фактора эксперимента равное 16.

Ограничиваясь линейным приближением, используя дробную (половинную) реплику для планирования эксперимента, число угольных пластов на которых необходимо провести исследования несущей способности и характера разрушения угольных уступов, сокращается до 8. При этом достигается почти тот же результат.

Для проведения корректных исследований была составлена матрица условий проведения экспериментов. Эта матрица отвечала требованиям сформулированным Р.Боксом [3], который доказал, что при выполнении этих требований коэффициенты регрессии матрицы оцениваются с минимальной дисперсией.

Эти требования заключались в том, что: число факторов не должно превышать количество опытов; сумма почленных произведений любых двух векторов-столбцов матрицы равнялась нулю (ортогональность матрицы планирования)

$$\sum_{i=1}^N x_{ji} \cdot x_{ui} = 0 \quad \text{при } j \neq u, \quad \text{где } j, u = 0, 1, 2, \dots, k;$$

Сумма квадратов элементов каждого столбца была равна числу опытов

$$\sum_{i=1}^N x_{ji}^2 = N;$$

алгебраическая сумма элементов векторов столбца была равна нулю (симметричность относительно центра эксперимента)

$$\sum_{i=1}^N x_{ji} = 0;$$

точки в матрице планирования эксперимента подбирались так, чтобы точность предсказания значений параметра оптимизации была одинаковой на равных расстояниях от центра эксперимента, независимо от направления (ротатабельность).

Учитывая то, что факторное пространство многомерно, при составлении матрицы за исходную точку в каждом факторе выбирался основной уровень – точка, лежащая в средней части факторного пространства этой области. Затем указывались интервалы варьирования вокруг основного уровня по каждому фактору. При этом верхний и нижний уровень равнялись соответственно

$$y_b = x_i + S_i, \quad y_n = x_i - S_i,$$

где x_i – основной уровень; S_i – интервал варьирования. В матрице верхний уровень обозначен (+), а нижний (-).

Основные уровни и интервалы варьирования приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1 - Основные уровни и интервалы варьирования факторов

Показатели факторов	Факторы			
	x_1	x_2	x_3	x_4
Основной уровень	0,65	2,0	0,15	1,5
Интервал варьирования	0,15	1,0	0,15	1,0
Верхний уровень	0,8	3,0 и более	0,30	2,5
Нижний уровень	0,5	1,0 и менее	0	0,5

Они выбирались из следующих соображений.

1. Очистную выемку с установок силовых механизмов крепи на угольные уступы предполагалось осуществлять пока, на первом этапе внедрения, на пластах мощностью 0,9-1,2 м. при этом высота опережающего под кровлей вруба составляла 0,4 м. Поэтому основной уровень \tilde{x}_1 (высота уступа) принят 0,65 м, а интервал варьирования – 0,15 м.

2. Запасы углей в Донбассе, в основном, сосредоточены в пластах с коэффициентом крепости f (по Протодяконову М.М.) от 1 до 4. Большая часть запасов заключена в пластах с коэффициентом крепости, равном 1,5. основной уровень \tilde{x}_2 (коэффициент крепости угля уступа) принят 2, а интервал варьирования – 1,0.

3. В угольные уступы зачастую входят пачки слабого угля. Кроме того, уступы могут включать внизу и часть присекаемой до 0,3 м слабой почвы. При выемке тонких пластов наиболее часто встречающаяся толщина слабых пачек угля и подсечек почвы равна 0,15 м. Поэтому основной уровень \tilde{x}_3 (толщина слабой пачки уступа) принят 0,75 м, а интервал варьирования – 0,15 м.

4. Несущая способность уступов в основном должна определяться пределом прочности пачки угля, на которую устанавливается силовая опора крепи. Также существенное влияние на несущую способность угольных уступов могут оказывать более слабые, чем основная, верхняя часть уступа,

пачки в нижней его части. За основной уровень \tilde{x}_4 (крепости слабой пачки уступа) принят 1,5, а интервал варьирования - 1,0

Матрица планирования эксперимента, на основании которой выбраны пласты с соответствующими горно-геологическими и горнотехническими условиями проведения исследований, приведена в табл.5.2.

Таблица 5.2 - Матрица планирования эксперимента

№ пп/п	Производственное объединение шахта, индекс пласта	Факторы				Функция отклика (y)
		1	2	3	4	
1	ПО «Донецкуголь», ш. «Кировская», пл. h_{10}	-	-	+	-	y_1
2	ПО «Павлоградуголь», ш. «Терновская», пл. C_4^H	+	+	+	+	y_2
3	ПО «Селидовуголь», ш. им.Д.С.Коротченко, пл. l_8^1	+	-	-	-	y_3
4	ПО «Павлоградуголь», ш. «Терновская», пл. C_6^H	-	+	-	+	y_4
5	ПО «Макеевуголь», ш. «Октябрьская», пл. k_4^1	-	-	+	+	y_5
6	ПО «Павлоградуголь», ш. «Терновская», пл. C_5	+	+	+	-	y_6
7	ПО «Луганскуголь», ш. «Никанор», пл. l_3	+	-	-	+	y_7
8	ПО «Павлоградуголь», ш. «Благodatная», пл. C_8	-	+	-	-	y_8

Для исключения влияния систематических ошибок, вызванных внешними условиями (глубиной разработки и т.д.) опыты выполнялись в случайной последовательности (рандомизированны во времени).

В соответствии с матрицей планирования эксперимента для проведения исследований в различных районах Донбасса отбирались восемь шахтопластов.

Подробная характеристика отобранных для исследований уступов представлена в табл. 5.3, а структурные колонки пластов с вмещающими породами приведены на рис. 5.2..

Как следует из табл.5.3., горно-геологические характеристики выбранных для исследований пластов являются приемлемыми для большинства шахтопластов Донбасса.

Таким образом, с помощью планирования экспериментов по определению несущей способности угольных уступов и характеров их разрушения удалось значительно сократить число шахтопластов для исследования угольных уступов до восьми, при этом обеспечивается достаточная точность полученных результатов.

Таблица 5.3 - Краткая характеристика исследуемых угольных уступов

Параметры	«Донецк-уголь» ш. «Кировская» 1-я западная лава	«Павлоград-уголь» ш. «Терновская», 319 лава	«Селидов-уголь», ш. им. Коротченко, 2-я северн. лава	«Павлоград-уголь» ш. «Терновская», 636 лава
Индекс пласта	h_{10}	C_4^H	l_8^I	C_6^H
Строение пласта	сложное	простое	сложное	простое
Мощность пласта, м	0,95	0,85	1,20	0,95
Высота уступа, м	0,55	0,72	0,80	0,50
Коэффициент крепости угля f	1	2,5	1,5	3,5
Толщина слабого прослойка, м	0,24	0,18	0,10	0,09
Коэффициент крепости слабого прослойка уступа, f_{II}	1	2	1	2
Непосредственная кровля	аргиллит	аргиллит	аргиллит	аргиллит
Непосредственная почва	алевролит	алевролит	алевролит	алевролит
Индекс пласта	k_4^I	C_5	l_3	C_8
Строение пласта	Сложное	Простое	Простое	Простое
Мощность пласта	0,85	0,85	0,95	1,20
Высота уступа	0,50	0,75	0,75	0,55
Коэффициент крепости угля	0,5	3	1,5	3
Толщина слабого прослойка, м	0,18	0,22	0,1	0,1
Коэффициент крепости слабого прослойка уступа	2	1	2,5	1
Непосредственная кровля	аргиллит	аргиллит неустойчивый	аргиллит	аргиллит неустойчивый
Непосредственная почва	алевролит	алевролит	алевролит	аргиллит слабоустойчивый

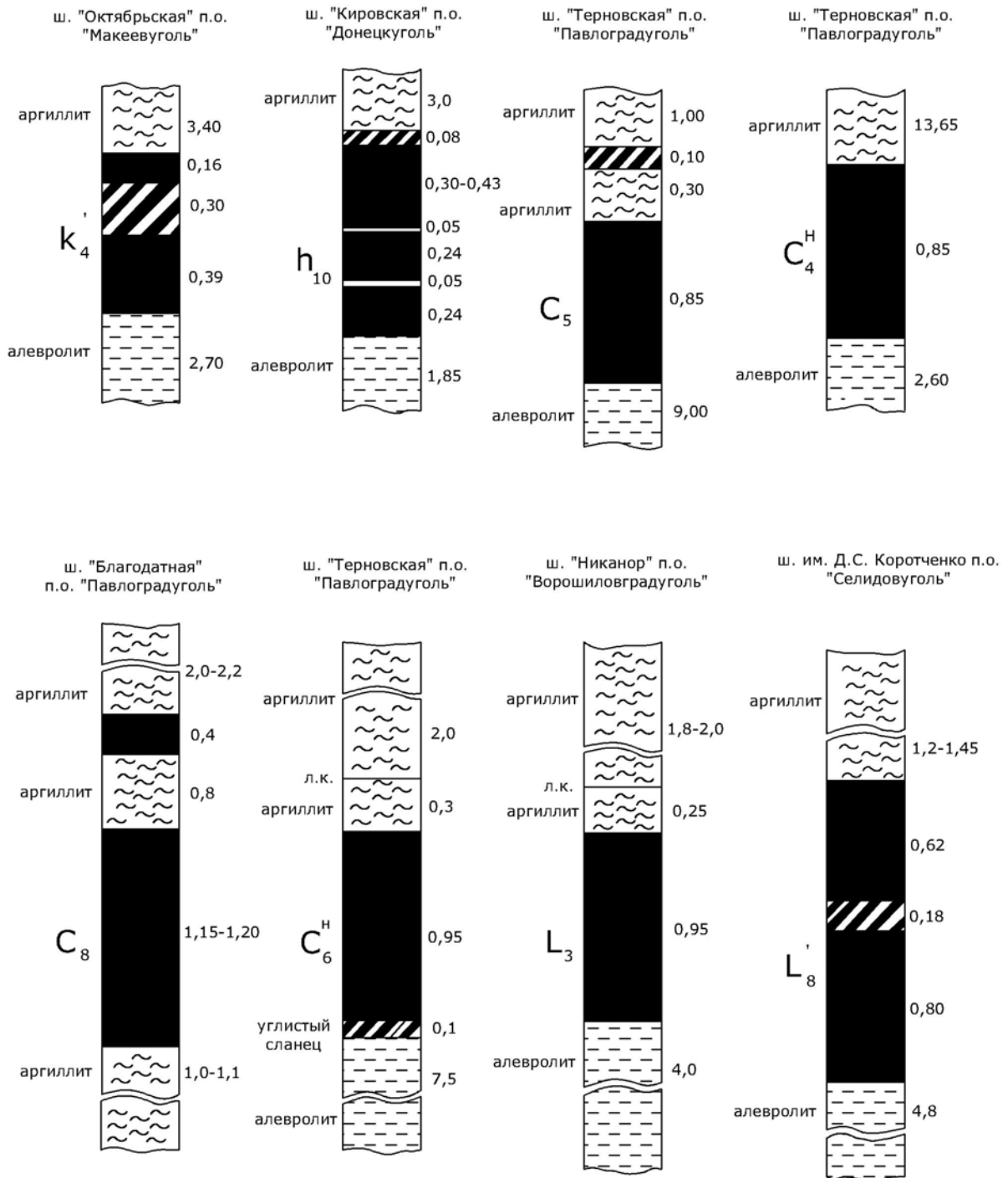


Рисунок 5.2 - Структурные колонки пластов, отобранных для исследований несущей способности уступов

Используя приведенные ниже (табл. 5.4) исходные данные о прочности угольных уступов восьми шахтопластов, проведен анализ модели прочности угольных уступов. Математическая модель уступов в общем виде имеет вид

$$y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + a_4 \cdot x_4, \quad \text{МПа} \quad (5.1)$$

где y – функция отклика (предел прочности угольного уступа), МПа;
 $a_{1,2,3,4}$ – коэффициенты регрессии соответствующих факторов;
 $x_{1,2,3,4}$ – значения факторов;

Таблица 5.4 - Исходные данные

Производственное объединение, шахта	Индекс пласта	Марка угля	Извлекаемая мощность пласта, м	Высота уступа, м	Мощность слабой пачки уступа, м	Площадь опоры двигатель-ной установки, см ²	Коэффициент крепости угля (по данным шахты)	Значение пределов прочности на сжатие, Мпа	
								Угля в уступе	Угля в образце
«Павлоград-уголь», ш. «Герновская»	c_6^H	Г	0,96	0,50	0,09	100	3,5	45,3	38,4
--	c_5	Г	0,85	0,75	0,22	100	3	42,0	31,7
--	c_4^H	Г	0,85	0,72	0,18	100	3	14,2	31,4
«Павлоград-уголь», ш. «Благodatная»	c_8	Г	1,20	0,55	0,10	100	3	22,0	26,3
«Селидовуголь» ш.им. Коротченко	l_8	Г	1,20	0,80	0,10	100	2+2,5	18,4	13,8
«Донецк-уголь», ш. «Кировская»	h_{10}	Г-Н	0,95	0,55	0,24	625	1,5	3,7	9,6
«Макеевуголь» ш. «Октябрьская»	k_4^1	ОС	0,85	0,50	0,18	625	1,3	3,3	4,5
«Луганскуголь», ш. «Никанор»	l_3	Т	0,95	0,75	0,10	100	1,5	20,5	22,6

Коэффициенты регрессии в выражении (5.1) рассчитывались согласно формул [3]

$$a_0 = \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i; \quad a_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_j \cdot x_i; \quad (5.2)$$

где a – коэффициент регрессии; x – значение фактора; $i_{1,2,3,4}$ – номер фактора;

j – номер опыта; N – количество опытов.

После подстановки значений коэффициентов регрессии в уравнение (5.1) последнее приняло следующий вид

$$y = 22.22 + 1.55 \cdot x_1 + 10.76 \cdot x_2 - 6.44 \cdot x_3 - 1.41 \cdot x_4$$

Используя F – критерий Фишера, была проведена проверка адекватности модели по формуле

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_{\{y\}}^2} \quad (5.3)$$

где F – критерий Фишера; S_{ad} – дисперсия адекватности; $S_{\{y\}}$ – дисперсия воспроизводимости параметра оптимизации. Дисперсия адекватности, в свою очередь, определялась по формуле

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_j - \hat{y}_j)^2}{N - k - 1},$$

где \hat{y}_j – значение параметра оптимизации, предсказываемое уравнением для условий j -того опыта; N – количество опытов; k – количество факторов; $N-k-1$ – число степеней свободы.

Дисперсия воспроизводимости опыта вычислялась по формуле

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_j - \bar{y}_j)^2 \cdot n}{N};$$

где n – количество параллельных опытов в i -той строке матрицы; N – количество опытов в матрице; y_j – значение параметра оптимизации j -того опыта; \bar{y}_j – среднее значение из всех опытов в матрице.

Подставив полученные результаты расчетов дисперсии адекватности ($S_{ay}^2 = 160,8$) и дисперсии опыта ($S_{\{y\}}^2 = 222,3$), получили значение критерия адекватности

$$F_{ad} = \frac{12,65}{14,9} = 0,85$$

Для проведенных опытов табличное значение F – критерия Фишера при 3-х степенях свободы и при 5% уровне значимости равно 4.1. Таким образом, $F_{табл} \gg F_{ad}$, то есть расчетные значения критерия не превысили его табличные значения. Таким образом, с соответствующей доверительной вероятностью модель можно считать адекватной.

Проверка значимости коэффициентов регрессии была осуществлена по закону распределения Стьюдента. В соответствии с [3] при использовании полного факторного эксперимента или регулярных дробных реплик доверительные интервалы для всех коэффициентов раны друг другу.

Формула для доверительного интервала записывается в следующей форме

$$\Delta b_j = \pm \frac{t \cdot S_y}{\sqrt{N}},$$

где t – значение критерия Стьюдента (соответствующее доверительным вероятностям при 0,8 $t=1,63$ и при 0,3 $t=0,978$ [3] при трех степенях свободы); S_y – дисперсия опыта.

Доверительный интервал при доверительной вероятности 0,8 будет равен

$$\Delta b_j = \pm \frac{1,63 \cdot 14,9}{2,83} = 8,58,$$

при доверительной вероятности 0,6

$$\Delta b_j = \pm \frac{0,978 \cdot 14,9}{2,83} = 5,4,$$

Коэффициенты регрессии значимы, если их абсолютная величина больше доверительного интервала. Применительно к полученной модели значимыми будут коэффициенты a_2 , a_3 . Отрицательные знаки при коэффициентах регрессии факторов свидетельствуют о том, что увеличение коэффициентов регрессии этих факторов отрицательно влияют на параметры оптимизации.

В результате анализа влияния каждого фактора на несущую способность угольных уступов сделаны следующие выводы:

1. Положительный знак при коэффициенте регрессии первого влияющего фактора и незначительная его величина свидетельствуют о том, что при данных интервалах варьирования высоты угольных уступов с 0,5 до 0,8 м и ошибке воспроизводимости, фактор x_1 на несущую способность уступов влияет не существенно.

2. Коэффициент регрессии второго фактора имеет положительный знак и наиболее значим. Это свидетельствует о том, что коэффициент крепости угля оказывает наибольшее влияние на несущую способность уступов и его увеличение благоприятно для “у”.

3. Как следует из модели, коэффициент регрессии третьего фактора значим и имеет отрицательный знак. Это свидетельствует о том, что увеличение толщины до 0,3 м слабой пачки уступа в нижней его части неблагоприятно для “у” и существенно уменьшает несущую способность угольных уступов.

4. Коэффициент регрессии четвертого фактора при данных интервалах его варьирования и ошибке воспроизводимости так же, как и коэффициент регрессии первого фактора, существенного влияния на параметр оптимизации не оказывал.

Таким образом, из полученной математической модели вытекает, что для увеличения несущей способности угольных уступов необходимо стремиться к увеличению коэффициента крепости угля в уступе и к уменьшению толщины слабого прослойка в основании уступа. Геометрические же размеры уступа в пределах рассматриваемых величин оказывают незначительное влияние на несущую способность уступа.

5.4. Результаты исследований несущей способности угольных уступов и область применения бесконсольных крепей с опорой перекрытий у забоя

В соответствии с результатами планирования шахтных экспериментов исследования несущей способности и характеров разрушения угольных уступов были проведены на восьми шахтопластах пяти производственных объединений.

Несущую способность и характер угольных уступов ($f_{\text{угля}} \approx 1,5$) сложного строения, включающих прослойки более слабых пород в нижней и средней частях уступов, изучали на пластах k_4^1 шахты «Октябрьская» ПО «Макеевуголь», l_3 шахты «Никанор» ПО «Луганскуголь», l_8 шахты им.Д.С.Коротченко ПО «Селидовуголь» и h_{10} шахты «Кировская» ПО «Донецкуголь». Характер разрушения этих уступов под пригрузкой штампов во многом был сходным. Поэтому более подробно разрушение этих уступов рассмотрено на примерах разрушения наиболее характерных уступов упомянутых пластов k_4^1 и h_{10} .

Несущую способность и характер разрушения уступов пласта изучали в северной лаве шахты «Октябрьская» ПО «Макеевуголь». Коэффициент крепости угля по М.М. Протоdjяконову по данным шахты $f=1,3$. марка угля ОС₆. Уголь имеет ярко стеклянный блеск, однородный, слоистый, в основном представлен клареном, хрупкий, с угловатым изломом без видимых минеральных включений. Прочность в образцах угля 4.5 МПа. Пласт разделен сетью экзогенных трещин, проходящих через 5,0-6,0 см и имеющих углы $\alpha = 80^\circ$ (угол между линией пересечения плоскостей пласта и трещины с направлением плоскости забоя). Почва пласта представлена сланцем песчаным, мелкокомковатым, слабоустойчивым.

Разрушение уступа высотой 0,5 м, из них 0,18 м породы почвы (прочность в образцах 17,5 МПа) производилось давилной установкой посредством квадратного штампа площадью 625 см² (25x25 см). Штмп устанавливали на расстоянии 0,3 м от его оси до кромки уступа. Разрушение уступа происходило при усилии на штампе 220 кН и его внедрении на глубину около 16 мм. При этом предельное давление штампа на уступ было равно 3,3 МПа. Уже после начавшегося разрушения уступа несущая способность его была значительной и составляла 120 кН. При последующем увеличении нагрузки на штмп уголь под ним был полностью разрушен. Слой породы в нижней части уступа был также разрушен по плоскостям скольжения породных отдельностей. Схема разрушения уступа пласта k_1^4 показана на рис 5.3.

Несущую способность и характер разрушения уступов пласта h_{10} изучали в первой западной лаве шахты «Кировская» ПО «Донецкуголь». Коэффициент крепости угля пласта h_{10} , по данным шахты, равен $f=1,5$. Вынимаемая мощность пласта 0,95 м, угол падения 11° . Марка угля ГЖ. Уголь черный, блестящий, блеск смоляной, излом угловатый, отдельность призматическая, полосчатый за счет чередования нитевидных полосок полублестящего матового и блестящего угля. С нижним слоем контакт резкий. Прочность угля в образце 9,6 МПа. На высоте 0,24 м от почвы пласта в уступах был прослойк слабого глинистого сланца толщиной 5 см и пачка угля ($[\sigma_{с.ж.}] = 7,2$ МПа) толщиной 0,19 см, имеющих углы $\alpha = 44^\circ$, $\beta = 80^\circ$ и целой сетью эндогенных трещин.

Разрушение уступа высотой 0,55 м производили давилной установкой посредством квадратного штампа 25x25 см. Штмп устанавливали на расстоянии 0,3 м до его оси от кромки уступа. Под нагрузкой штмп внедрялся в угольный уступ. При усилии на штмп более 110 кН начали раскрываться под

опорой экзогенные трещины. При дальнейшем увеличении нагрузки раскрытие трещин увеличивалось. Разрушение уступа произошло при внедрении штампа на глубину более 8 мм. При этом удельное давление штампа было равно 3,2 МПа. Прослойка породы была разрушена по плоскостям перемещения призмы разрушения угля под штампом и заметного влияния на характер разрушения угля в уступе не оказывал.

Разрушить изучаемые уступы других пластов с более крепким углем, с помощью штампов площадью 625 см^2 было невозможно из-за исчерпания силовых возможностей давяльной установки (500 кН), поэтому уступы разрушали с помощью круглых штампов площадью 100 см^2 .

Схемы разрушения уступов пластов l_3 , l_8 , и h_{10} были аналогичны разрушению уступов пласта k_4^1 (рис. 5.3). Штампы, внедряясь в угольные уступы, формировали под собой ядра уплотнения из разрушенного угля, которые откалывали оставшиеся со стороны свободной поверхности нераздавленные части уступов. После разборки уступов установлено, что под штампами уголь толщиной слоя 2-6 мм разрушен до порошкообразного состояния, а в нижележащей части уступов – до мелких, размером 3-15 мм в поперечнике, призматических отдельностей.

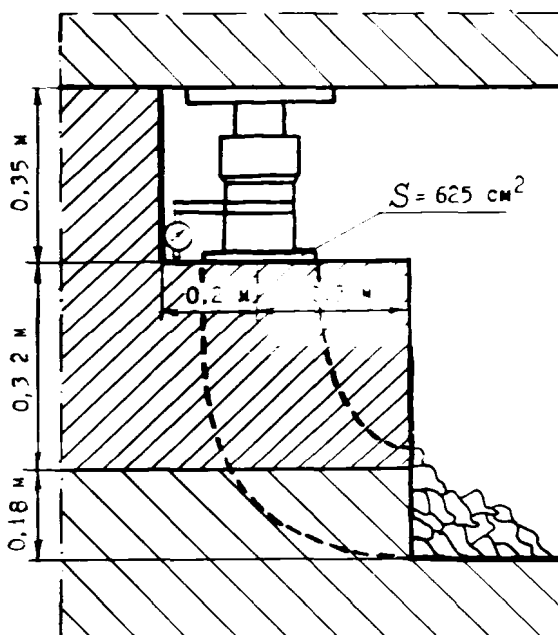


Рисунок 5.3 - Схема разрушения уступов пласта k_4^1

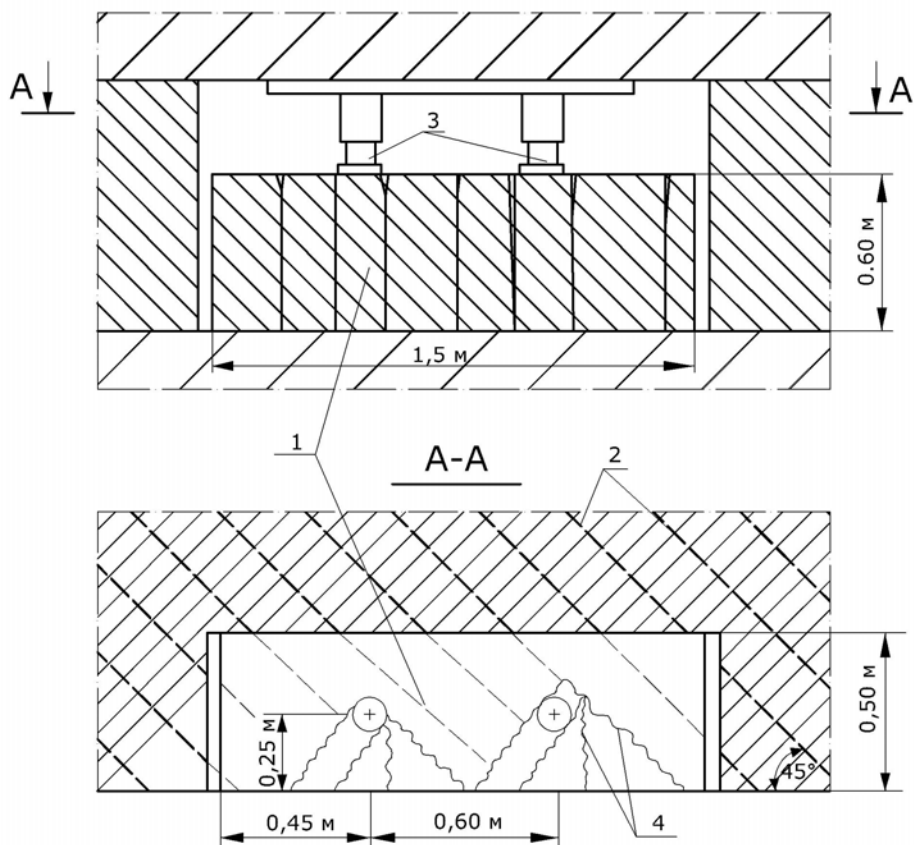


Рисунок 5.4 - Схема расположения стоек давяльной установки и образования трещин в уступах пл. c_5 при их разрушении (1 – уступ; 2 – экзогенные трещины; 3 – давяльные стойки; 4 – раскрытые трещины).

На шахте «Терновская» ПО «Павлоградуголь» в 506 и 509 лавах пласта C_5 простого строения с прочным углем изучали характер разрушения уступов как простого, так и сложного строения, то есть с присечкой слабых пород почвы. Коэффициент крепости угля по Протодяконову М.М. по данным шахты $f=3,5$. Прочность угля в образце 31,7 МПа.

В 506 лаве разрушали уступ штампом площадью 100 см². Схема уступа с нанесением как направлений экзогенных трещин, разгрузочных щелей и расположения давяльной установки, так и трещин разрушения уступа приведена на рис. 5.4.

Пласт C_5 разбит двумя системами тонких взаимно перпендикулярных экзогенных трещин, проходящих на расстоянии 120-150 мм друг от друга. Углы $\alpha = 45^\circ$, $\beta = 85^\circ$. Одно из направлений кливажа выражено более ярче. Трещины заполнены кальцитом толщиной до 1 мм.

Штамп площадью 100 см² под пригрузкой внедряли в угольный уступ. При вдавливании штампа с усилием в 200 кН было зафиксировано потрескивание уступа и начало раскрытия экзогенных трещин. При этом давление штампа составляло 20,0 МПа. При усилении на штамп в 420 кН и его

давлении в 42 МПа штамп внедрялся в уступ, разрушая его. После образования трещин в угле несущая способность уступа снизилась до 350 кН. На этом уровне несущая способность уступа сохранялась в течении 2 часов (период наблюдений был ограничен работами в лаве). Дальнейшее разрушение уступа происходило при повторном увеличении нагрузки на штамп. При критической нагрузке на штамп в 420 кН, кроме раскрытых экзогенных трещин, в угольном уступе начали образовываться трещины разлома. Эти трещины были хорошо заметны и развивались они в направлении от опорной поверхности штампа по нормали к плоскостям экзогенных трещин и вертикальной поверхности уступа (рис. 5.4).

После снятия давящей установки с уступа и его разборки было установлено, что уголь непосредственно под опорой разрушен до порошкообразного состояния и уплотнен на глубину до 7 мм. Глубже, до 45-60 мм уголь разрушен до призматических отдельностей размерами менее 3-5 мм. На большей глубине под штампом разрушение угля в уступе происходило в объеме, ограниченном плоскостями экзогенных трещин. Размеры отдельностей увеличивались к основанию уступа. Таким образом, только часть уступа, на которую воздействовали гидростойки давящей установки, была разрушена.

Аналогичный характер разрушения уступов ($f_{\text{угля}} > 2$) наблюдался и при исследовании несущей способности уступов угольных пластов простого строения C_6^H шахты «Терновская» C_8 шахты «Благodatная» ПО «Павлоградуголь» в случаях присечки незначительной (менее 0,15 м) слабой почвы, которая не оказывала существенного влияния на характер разрушения угля в уступах. При этом отмечалось частичное вдавливание, отделившейся по плоскостям экзогенных трещин ($l > 0,1$ м) от массива уступа призмы угля под штампом в слабые породы почвы.

Характер разрушения уступов, включающих уголь с коэффициентом крепости $f > 2$ и более слабые ($f < 2$), породы почвы мощностью более 0,15 м изучали на уступах пластов C_4^H в 319 лаве и с C_5 в 509 лаве шахты «Терновская».

Уголь пласта C_4^H по данным шахты имеет коэффициент крепости по М.М. Протождяконову равный 3. Вынимаемая мощность пласта 1,15 м угол падения $0-3^0$. Марка угля Г. Уголь каменный, полублестящий, дюрено-клареновый, по наслоению с примазками фюзена, с тонкими полосками витрена, излом неровный, отдельность параллелепипедальная. Контакты с вмещающими породами четкие, сцепление слабое. Прочность угля в образце 31,4 МПа. Пласт имеет простое строение. Разделен двумя системами тонких взаимно перпендикулярных экзогенных трещин. Трещины находились на расстоянии 11-14 см, углы $\alpha = 45^{\circ}$, $\beta = 85^{\circ}$.

Разрушение уступа высотой 0,72 м, из них 0,18 м – породы почвы ($f_{II} = 2$) производили давящей установкой посредством воздействия круглого штампа площадью 100 см^2 , устанавливаемого на расстоянии 0,3 м от кромки уступа. При усилии на штамп около 130 кН началось раскрытие

экзогенных трещин. При дальнейшем увеличении нагрузки раскрытие трещин увеличивалось. Разрушение уступа происходило при внедрении штампа на глубину около 4,5 мм с усилием около 142 кН. Удельные разрушающие усилия составили 14,2 МПа. Характер разрушения угольной части уступа аналогичен как и для пласта C_5 в 506 лаве (рис. 5.4). Но кроме того, отмечалось выдавливание породой более слабой части уступа в стороне свободной его боковой поверхности.

Параметры уступов и результаты исследований их прочностных характеристик приведены в табл. 5.4. Из указанной таблицы следует, что в некоторых случаях прочность угля в уступе равна и даже в некоторых случаях больше прочности этого угля в образце. Это не соответствует известным выводам С.Е. Чирикова и других авторов [98, 68, 29] о том, что прочность угля в массиве меньше его прочности в образце. Это противоречие обусловлено тем, что при определении несущей способности уступов и прочности угля в них нами, в соответствии с нашими задачами, использована своя методика. Отличие этой методики от методик других исследований состоит в том, что другие авторы прикладывали нагрузку на всю поверхность уступа и моментом разрушения его считалось появление трещины в уступе, тогда как мы нагрузку прикладывали на часть уступа и разрушением его считался момент потери несущей способности. В нашем случае под штампом в результате смятия угля образовывалось ядро уплотнения из разрушенного угля, которое передавало воздействие штампа одновременно на несколько призм угля с общей площадью в плане большей, чем площадь опоры штампа.

На рис. 5.5 и 5.6 показаны графики внедрения штампов в изучаемые уступы пластов. Приведенные графики частично сходны по форме с известной типичной кривой: напряжение-деформация, полученной при исследовании трещиновато-пористых массивов [70, 75, 80]. Из приведенных на указанных рисунках кривых следует, что соотношение между нагрузками на штампы и глубиной их внедрения в уступы, до разрушения последних, нелинейные. Начальные, вогнутые вверх области кривых, связанные с обжатием угольных уступов и смятием угля на контакте со штампами, практически одинаковы при изучении всех уступов [43]. Но на уступах пластов (k_4^1, h_{10}, l_8) со слабыми углями эти области кривых вблизи разрушения уступов выражены менее ярко чем на пластах с более крепкими углями. Из анализа кривых также следует, что предельные величины ($\approx 4\text{ мм}$) внедрений штампов в уступы с прочным углем ($f \gg 1,5$) значительно меньше величины (3-16 мм) максимальных внедрений штампов в уступы с менее прочным углем.

Кроме того, из приведенных графиков следует, что во всех случаях при достижении предельных нагрузок на штамп угольные уступы начинали разрушаться с общей разгрузкой системы и штампы продолжали внедряться в уступы на большую глубину.

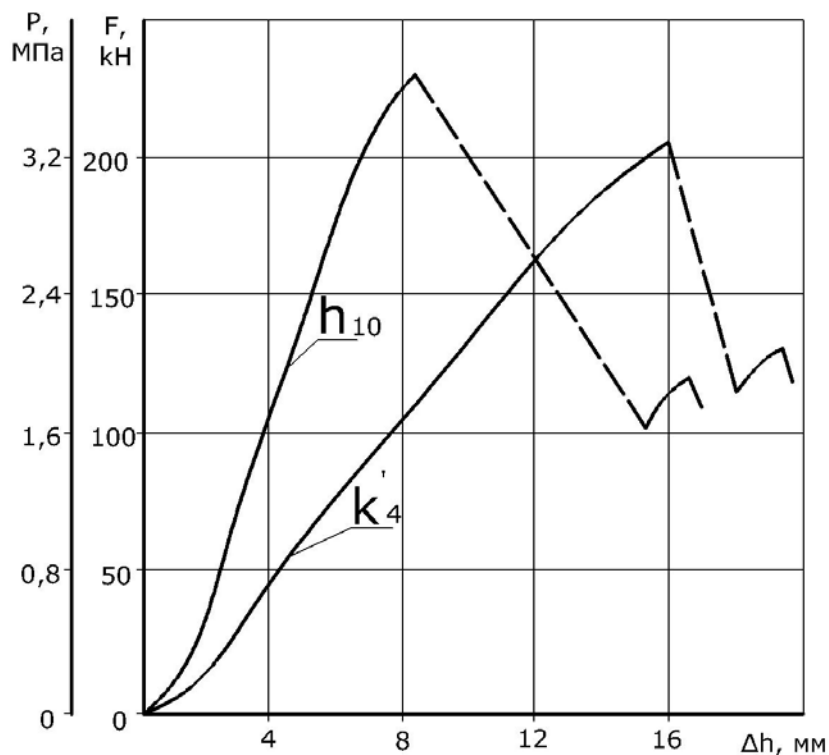


Рисунок 5.5 - Графики внедрения штампов в угольные уступы пластов k_4 и h_{10} в зависимости от действующих нагрузок

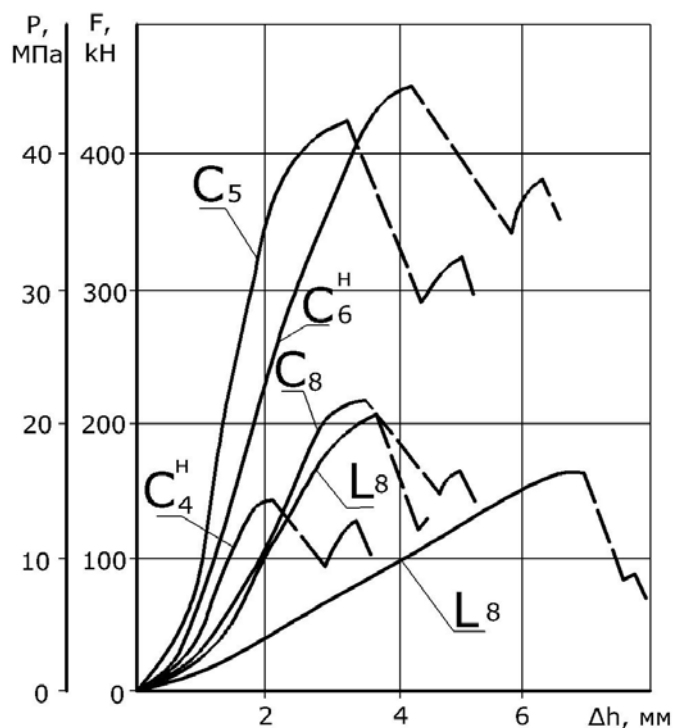


Рисунок 5.6 - Графики внедрения штампов в угольные уступы пластов c_4^H , c_5 , c_6^H , c_8 , l_3 и l_8 в зависимости от действующих нагрузок

Затем несущая способность уступов снова возрастала до новых критических значений, которые составляли в пределах 50-80% своих

первичных предельных нагрузок. Это соответствует известным выводам [23] о том, что разрушенные горные породы способны сохранять значительную несущую способность.

Также необходимо отметить, что во всех случаях разрушения изучаемых уступов с углом коэффициента крепости $f > 2$ и расстоянием между экзогенными трещинами более 10 см после обжатия угольных уступов, при нагрузках на штампы в пределах 100-200 кН, отмечалось потрескивание уступов, свидетельствующее о начале раскрытия экзогенных трещин. И после их раскрытия уступы сохраняли свою несущую способность.

В 509 лаве пл. C_5 шахты «Терновская», кроме изучения прочностных характеристик уступов и их характеров разрушения были выполнены исследования влияния места установки штампов на несущую способность угольных уступов сложного строения и характеров их разрушения. Исследования выполнялись при выемке пласта C_5 почвоуступной формой забоя.

Пласт C_5 в лаве 509 разделен экзогенными трещинами, проходящими через 120-160 мм и имеющих углы $\alpha=30^\circ$, $\beta=85^\circ$ и более мелкой сетью эндогенных трещин. Разрушение уступа высотой 0,75 м, в том числе 0,22 м породы почвы ($[\sigma_{с.ж.}] = 11,5$ МПа), производили давилной установкой посредством круглого штампа площадью 100 см² и квадратного штампа площадью 625 см². Штампы устанавливали на различных расстояниях от кромки уступа.

Графики внедрения штампов площадью 100 см², устанавливаемых на разных расстояниях от кромки в угольные уступы, в зависимости от действующих нагрузок, приведены на рис. 5.7.

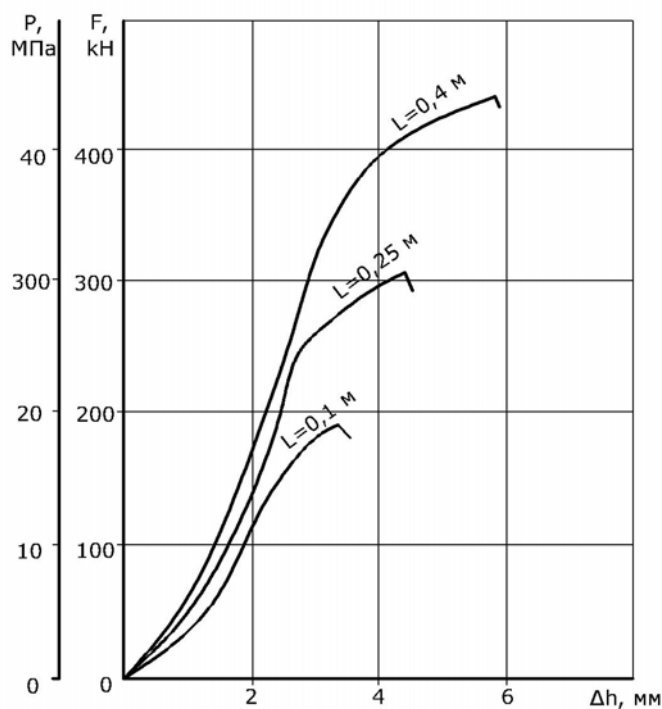


Рисунок 5.7 - Графики внедрения штампов площадью 100 см², устанавливаемых на различных расстояниях от кромки, в угольные уступы (пл. C_5) в зависимости от действующих нагрузок

Как видно из графиков (рис. 5.7), разрушение уступов при воздействии круглого штампа площадью 100 см^2 на расстоянии $0,1 \text{ м}$ от кромки уступа происходило при нагрузке около 200 кН , что соответствовало делению около $20,0 \text{ МПа}$. При этом уголь после раскрытия экзогенных трещин, не разрушаясь под опорой, разрушал породу почвы, которая выдавливалась в сторону обнажения. Схема разрушения таких уступов показана на рис. 5.8, а.

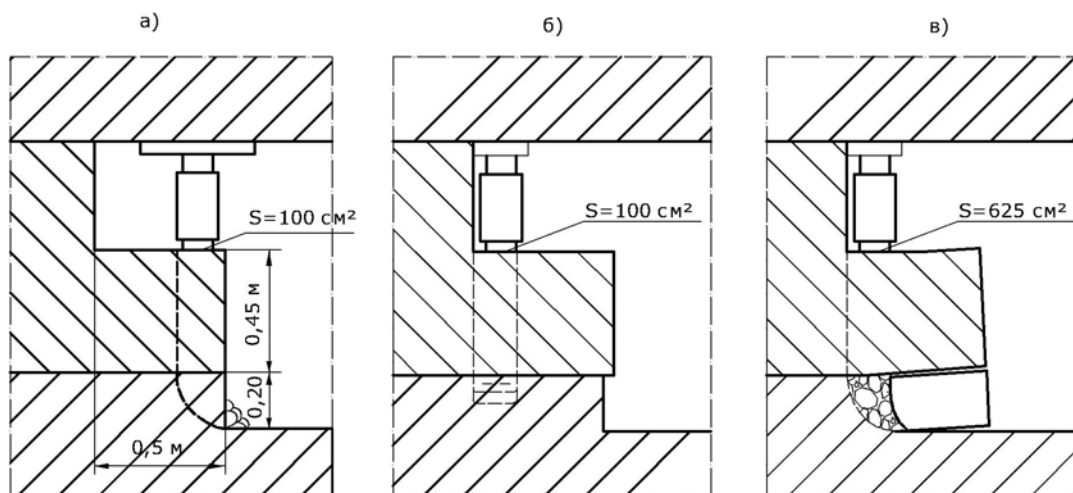


Рисунок 5.8 - Схемы разрушения уступов с прочным углем и слабой присекаемой почвой при воздействии различной площади штампов, устанавливаемых на разных расстояниях от кромок уступов

При воздействии с усилием более 300 кН круглого штампа площадью 100 см^2 на расстоянии $0,4 \text{ м}$ от кромки уступов происходило разрушение уступов под штампом. При вдавливании штампа уголь после раскрытия экзогенных трещин также как и при воздействии штампа на расстоянии $0,1 \text{ м}$ от кромки, не разрушаясь под опорой, внедрялся в породу почвы, разрушая ее. При этом уголь в уступе по плоскости контакта с породой сдвигался в сторону выработанного пространства. Схема разрушения уступа показана на рис. 5.8, б.

При разрушении уступа с помощью квадратного штампа площадью 625 см^2 ($25 \times 25 \text{ см}$), устанавливаемого также на расстоянии $0,4 \text{ м}$ от кромки уступа, разрушение уступа под штампом происходило при нагрузках около 400 кН . При этом уголь после раскрытия экзогенных трещин, разрушая породу почвы под штампом, с внутренней стороны уступа, выдавливал породу в сторону выработанного пространства. В результате этого с внешней стороны уступов между углем и породой, и в нижней породной части уступа, образовывались и раскрывались трещины до 40 мм . Таким образом, происходило как бы опрокидывание неразрушенной части уступа. Схема разрушения такого уступа показана на рис. 5.8, в.

После снятия давящей установки с уступов и их разборки установлено, что уголь непосредственно под опорой разрушен до порошкообразного состояния на глубину $3\text{-}5 \text{ мм}$ и уплотнен. В остальной части уступов под опорой разрушение угля в уступах происходило по плоскостям эндогенных

трещин, увеличивая размеры отдельностей угля к основанию уступа. Порода в уступах под штампом была разрушена и выдавливалась в сторону обнаженной части по наклонной поверхности, имеющей в сечении форму полупараболы. Характер разрушения породы в уступах аналогичен разрушению уступов при воздействии штампов на расстоянии 0,1 м от кромки уступов (рис. 5.8, а).

Методом наименьших квадратов аппроксимирован разброс точек кривой зависимости несущей способности угольного уступа шириной 0,5 м пласта C_5 от расстояния установки оси штампа до кромки уступа. Эта зависимость (коэффициент парной корреляции $R=0,54$) выражается кубической параболой (рис. 5.9), описываемой выражением

$$y = 0,936 + 146,318 \cdot x + 638,897 \cdot x^2 - 2050,641 \cdot x^3,$$

где x – расстояние от оси штампа площадью 100 см^2 до кромки уступа, м.

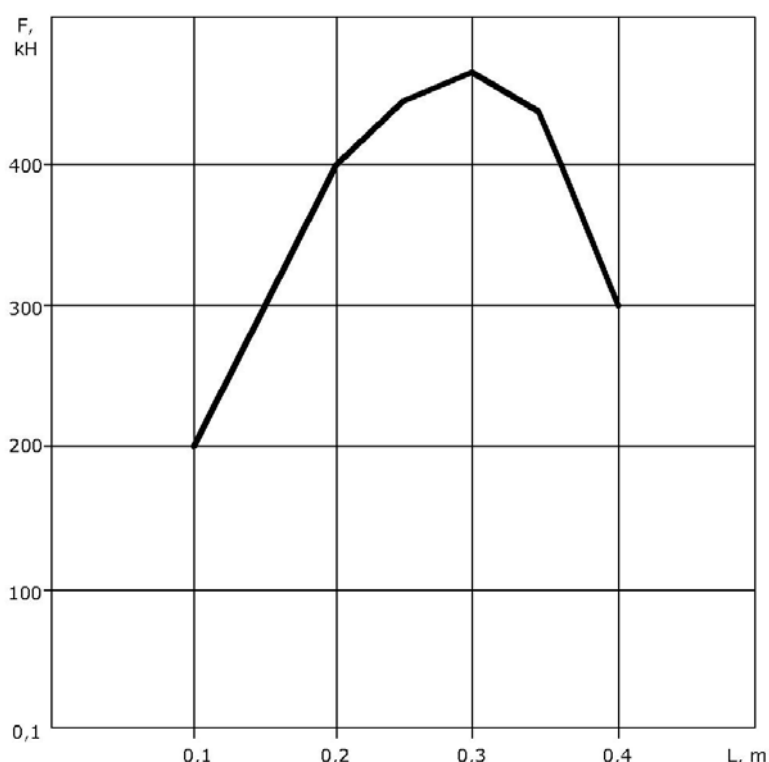


Рисунок 5.9 - График изменения несущей способности угольного уступа шириной 0,5 м (пл. C_5) в зависимости от расстояний установки штампа до кромки уступа

Из анализа этой кривой следует, что угольные уступы шириной 0,5 м наибольшую несущую способность имеют при разрушении их с помощью давящей установки, устанавливаемой не на максимальном удалении от кромки уступа, а на расстоянии 30 см от кромки, то есть вдоль оси угольных уступов со смещением в сторону массива пласта на 10% от ширины. Это объясняется наличием на контакте между уступом и массивом пласта закрытой трещины.

Учитывая, что при устройстве опережаемого под кровлей вруба на контакте угольного уступа и массива пласта появляются трещины, отделяющие

угольный уступ от пласта, правомерно утверждать, что между несущей способностью угольных уступов пологих маломощных пластов и местом установки силовых опор существует зависимость вида

$$y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 - a_3 \cdot x^3,$$

где x – расстояние от оси штампа до кромки уступа; a_0, a_1, a_2, a_3 – коэффициенты пропорциональности.

Таким образом, при общем анализе характера разрушения уступов примерно одинаковых размеров, при наличии в них слабых пород, и анализе графиков внедрения в них штампов, в зависимости от прилагаемой нагрузки (рис. 5.5, 5.6) следует, что несущая способность уступов рассматриваемых размеров определяется в основном: прочностью угля в уступе; прочностью, толщиной и местом расположения слабого прослойка; площадью и местом установки штампа давилльной установки [61].

Исследования несущей способности угольных уступов на восьми представительных шахтопластах (табл. 5.1, 5.4) и анализ прочности образцов угля этих угольных пластов показали, что корреляционная связь между несущей способностью уступа и коэффициентом крепости угольных пластов по Протодяконову, взятыми по горно-геологической документации шахт в диапазоне от $f=1$ до $f=3,5$, очень слабая. Учитывая, что по этим же шахтопластам получены данные о прочности угля в образцах, представилась возможность исследовать тесноту связи несущей способности уступов и прочностью угля в образцах. Аналитические исследования показали, что между рассматриваемыми параметрами существует тесная корреляционная зависимость (корреляционное отношение $R=0,82$). Уравнение, связывающее прочность уступа (y) с прочностью угля в образце (x), для условий пластов Донбасса имеет вид

$$y = -91,3 + 2,8 \cdot x - 0,011 \cdot x^2 + 0,00002 \cdot x^3.$$

Используя это выражение, правомерно устанавливать прочность и несущую способность угольных уступов, соответственно, область возможного применения бесконечных крепей с опорой перекрытий на угольные уступы по результатам испытаний на прочность угольных образцов; так как шахтные исследования несущей способности угольных уступов исключительно трудоемки и их нецелесообразно выполнять на всех пластах прежде всего по экономическим соображениям. Отбор и испытание образцов дают необходимые и достоверные материалы для достижения цели исследований.

В литературе кроме данных о прочности образцов угля пластов Донбасса имеются данные о зависимости прочности угольных пластов от степени метаморфизма [78]. Данные, полученные нами по восьми шахтопластам полностью совпадают с приведенными на рис. 5.10.

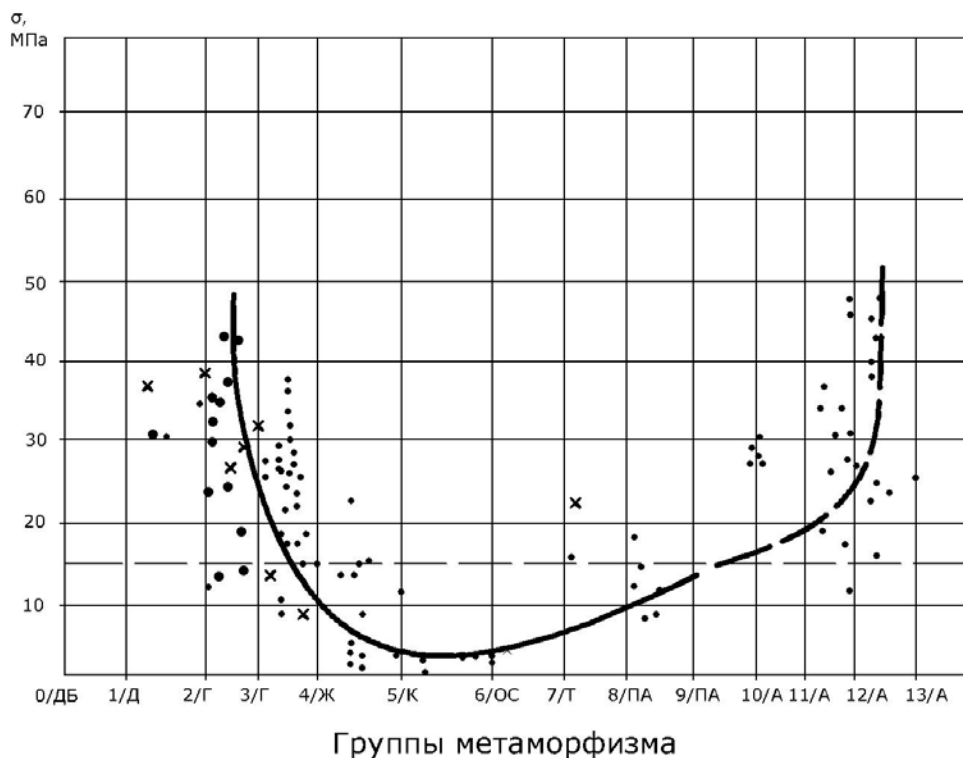


Рисунок 5.10 - Зависимость прочности углей пологопадающих пластов от степени метаморфизма
 x – по данным ДГИ

Анализ кривой (рис. 5.10) свидетельствует о том, что в большинстве пластов метаморфических групп Г, ПА и А угольные уступы имеют прочность, установленную в натуре и по образцам, большую 15,0 МПа, то есть они вполне могут быть использованы для установки силовых опор с ограниченной раздвижностью. По материалам, приведенным в [42] такие пласты в Донбассе имеют широкое распространение. Следует заметить, что не по всем пластам Украины имеются данные о фактической прочности образцов угля, в том числе и отобранном нами шести производственным объединениям.

Таким образом, на основании проведенных исследований и анализа горнотехнических характеристик лав и параметров процессов горных работ установлено, что для механизированных крепей с опорой перекрытий на угольные уступы, с помощью силовых опорных механизмов ограниченной раздвижности, область применения составит 45 шахтопластов. На этих шахтопластах находилось в работе 135 лав с приемлемыми для рассматриваемого комплекса горно-геологическими условиями.

Как было отмечено, изучение несущей способности и характеров разрушений угольных уступов с помощью давилочной установки показало, что после критической нагрузки на угольный уступ, происходило раскрытие экзогенных трещин и частичное разрушение уступа. После чего уголь в уступе под воздействием опоры уплотнялся и уступ продолжал воспринимать нагрузку, составляющую 40-93% от критической. Особенно это проявлялось на пластах с расстояниями между экзогенными трещинами более 10 см, что

присуще большинству пластов Западного Донбасса. Поэтому при применении комплексов, механизированная крепь которых имеет силовые опорные механизмы с подвижностью на всю вынимаемую мощность пласта, вопрос установления области применения по фактору несущей способности угольного уступа теряет смысл, так как силовые опоры могут устанавливаться непосредственно на разрушающийся уступ или почву у забоя.

Следовательно, область применения комплекса, крепь которого имеет опорные механизмы с подвижностью $h = m_{\text{пла}}$, распространяется на все пласты мощностью 0,8 – 1,2 м с неустойчивой кровлей, то есть она будет не меньше чем, например, для комплексов КД80 и КД90.

Выводы

1. Несущая способность угля в уступе определяется в основном: прочностью угля, толщиной и местом расположения слабого прослойка; площадью и местом расположения штампа давяльной установки. Из анализа математической модели прочности угольного уступа следует, что для увеличения его несущей способности необходимо выбирать пласты с большей крепостью угля в уступе и с меньшей толщиной слабого прослойка в основании уступа. Геометрические же размеры уступа (высота и ширина) в пределах рассматриваемых величин (0,4-0,8 м) оказывали незначительное влияние на его прочность.

2. Во всех случаях нагружения уступов штампами при достижении предельных нагрузок угольные уступы разрушались, а штампы продолжали внедряться в уступы при общей разгрузке системы. Затем несущая способность уступов снова возрастала до новых критических значений, которые составляли 50-60% первичных предельных нагрузок.

3. Механизм разрушения уступов на пластах сложного строения сходен, при этом на пластах с расстоянием между экзогенными трещинами менее 10 см и коэффициентом крепости угля $f < 2$ штампы внедрялись в угольные уступы, формируя под собой ядро уплотнения из разрушенного угля, которое отделяло разрушенную часть угля от массива уступа по плоскости полупараболы в сечении уступа. В случаях нагружения уступов пластов сложного строения с расстоянием между экзогенными трещинами более 10 см и коэффициентом крепости угля $f > 2$, происходило отделение призмы неразрушенного угля под опорой по экзогенным трещинам и выдавливание породной, более слабой, части уступа в сторону свободной его боковой поверхности.

4. В большинстве случаев, нагружения уступов, особенно с расстояниями между плоскостями экзогенных трещин более 10 см, штампами происходило вначале раскрытие экзогенных трещин, несмотря на это, несущая способность уступов сохранялась.

5. Несущая способность угольных уступов в зависимости от расстояния установки оси штампа до кромки уступа выражается кубической параболой и максимальное свое значение имеет при установке штампов на середине уступов со смещением 10% от ширины в сторону массива пласта. При установке

штампа на максимальном удалении от кромки уступа, его несущая способность уменьшается из-за наличия трещины, отделяющей угольный уступ от массива пласта.

6. Между коэффициентом крепости угольных пластов по М.М. Протодьяконову, взятыми по горно-геологической документации шахт и прочностью угольных уступов корреляционная связь очень слабая ($R=0,23$). В то время как между прочностью угольных уступов и прочностью угля в образцах существует тесная корреляционная зависимость (корреляционное отношение $R=0,82$).

7. На основании проведенных исследований и анализа горнотехнических характеристик лав и параметров процессов горных работ установлено, что для бесконсольных механизированных крепей с опорой перекрытий на угольные уступы, с помощью силовых опорных механизмов ограниченной подвижности, область применения составит 45 шахтопластов или 135 лав, а область применения комплекса, крепь которого имеет опорные механизмы с подвижностью на всю вынимаемую мощность пласта – 208 лав.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В монографии дано новое решение актуальной научной задачи установления закономерности взаимодействия элементов системы «крепь – боковые породы – краевая часть пласта» для обоснования области применения бесконсольных механизированных крепей очистных комплексов при использовании которых в условиях тонких пологих пластов с неустойчивой кровлей будет повышена производительность, обеспечена безопасность обслуживающего персонала, снижена зольность и себестоимость добытой горной массы.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Достаточно обоснована идея установки дополнительной силовой опоры у забоя на почву или уступ, образованный в пласте исполнительным органом очистного комбайна. Для механизированных крепей с силовыми опорами, устанавливаемыми на угольные уступы область применения составляет 135 лав применительно к горно-геологическим условиям шахт шести производственных объединений Донбасса, а для механизированных крепей с раздвижностью силовых опор в пределах мощности пласта – 206 лав (применительно ко всем лавам шахт Донбасса).

2. Предел прочности угольного уступа прямо пропорционален пределу прочности угля в образце и обратно пропорционален расстоянию от места приложения нагрузки до забоя. В частности, при прочности угля в образцах более 10 МПа опоры крепи площадью более 600 см² можно устанавливать на уступ пласта в средней части уступа. Можно также устанавливать опору крепи на уступ, если в нижней (третьей по высоте) части уступа имеются менее прочные пачки угля с допускаемыми напряжениями более 5 МПа. При меньшей прочности угля опоры крепи необходимо устанавливать на почву пласта у груди забоя.

3. Несущую способность угольного уступа определяют величины и соотношения распределенных в ней нормальных и касательных напряжений, которые зависят от внешних нагрузок, места установки силовых опор и размеров уступа. В частности, при нагружении у кромки уступа шириной 0,5 м, высотой 0,8 м, штампом с удельными давлением 20 МПа с противоположной стороны уступа, в его основании, появляются опасные растягивающие напряжения величиной 4,5 МПа, которые уменьшаются до 3,3 МПа при увеличении ширины уступа до 0,8 м.

4. Опережающий вруб под кровлей пласта уменьшает сопротивляемость резанию угольного уступа и способствует разрушению уступа на крупные части, что можно эффективно использовать для снижения: энергоемкости добычи и выхода мелких фракций угля. В частности, при отработке пласта С₅ с опережающим врубом на шахте «Терновская» энергоемкость выемки и погрузки угля уменьшена на 1,044 кДж/т (0,29 кВт·ч/т), а выход крупных классов угля увеличен в три раза.

5. Установка на угольные уступы силовых элементов бесконсольных крепей уменьшает скорость вертикальных перемещений как самих уступов, так и блоков кровли над ними. В частности, в условиях пласта C_5 шахты «Терновская» скорости перемещений уступов и блоков кровли над ними были уменьшены в 4-10 раз, что предотвратило образование вывалов и снизило зольность угля.

6. Основные положения данной работы использованы при разработке технического задания на очистной комплекс машин, предназначенный для отработки тонких пологих пластов мощностью 0,7 – 1,2 м с неустойчивыми вмещающими породами и крепкими углям.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 року. – К., 2006. – 129 с.
2. Авершин С.В., Интерпретация результатов наблюдений за сдвижением пород, окружающих горную выработку.- Научн.тр. ВНИМИ: Л., 1940, №12, с. 87.
3. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Программированное введение в планирование эксперимента. – М.: Наука, 1971. - 283 с.
4. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента.- М.: Наука, 1969.- 157 с.
5. Ардашев К.А., Ахматов В.И., Катков В.А. Методы и приборы для исследования проявлений горного давления. – м.: Недра, 1981. – 129 с.
6. Ардашев К.А., Крылов В.Ф., Куклов Н.И. и др. Совершенствование управления горным давлением при разработке наклонных и крутых пластов. – М.: Недра, 1967.- 288 с.
7. Барон Л.И., Глатман Л.Б. Влияние площади контакта индикатора с породой на величину разрушающей нагрузки. Горные машины и автоматика, 1963, №2, с.8 – 9.
8. Безазьян А.В. Факторы, влияющие на устойчивость горных выработок шахт Западного Донбасса, и характер их изменения с увеличением глубины залегания. – В кн.: Вопросы развития угольной промышленности Западного Донбасса. – Киев: Техника, 1973, с.51-53.
9. Белан Н.А. Характер сдвижения пород в зоне опорного давления. В сб.: Технология добычи угля подземным способом. ЦНМЭИуголь, 1969, №7, с.27-29.
10. Бич Я.А. Характер деформирования и разрушения угольных пластов под нагрузкой. – В сб.: Труды конференции по разрушению угля и пород. - М.: Высшая школа, 1963, с.54-56.
11. Бич Я.А., Бублик В.П. Об определении прочности пластов угля на сжатие. научн.тр./ ВНИМИ. Л., 1963, № 50, с. 158-161.
12. Борисов А.А. расчеты горного давления в лавах пологих пластов. – М.: Недра, 1964.-275 с.
13. Борисенко С.Г., Комский Е.И. Расчет на прочность элементов блоков при разработке рудных месторождений. – Киев: Техника, 1970.-79 с.
14. Бродский В.З. Введение в факторное планирование эксперимента.- М.: Наука, 1976.-223 с.
15. Вавильченко И.И. Исследование напряженного и газодинамического состояния призабойной части пологих выбросоопасных пластов с целью выбора рациональных элементов технологических схем очистной выемки: Автореф. дис. канд.техн.наук. – М., 1980.- 24 с.
16. Варвак П.М., Варвак Л.П. Метод сеток в задачах расчета строительных конструкций.- М.: Стройиздат, 1977.-160 с.
17. Вопросы развития угольной промышленности Западного Донбасса. Материалы III научно-технической конференции. Киев: Техника, 1970.-299 с.

18. Гришко Н.Т., Гузченко В.Т., Мазур А.С., Архипов Г.Г., Козырь В.С. Охарактере деформации боковых пород у границ очистных работ в условиях шахт Западного Донбасса. Реф. информация о законченных НИР в вузах УССР. Вып.7, Киев: Вища школа, 1973, с. 22-24.
19. Глушко В.Т., Усаченко Б.М., Ваганов И.И. Исследование реологических свойств горных пород Донбасса.- В кн.: Проблемы реологии горных пород.- Киев: Наукова думка, 1970, с.61-68.
20. Докукин А.В., Чирков С.Е., Норель Б.К. Моделирование предельно-напряженного состояния угольных пластов.- М.: Наука, 1981.-150с.
21. Долотов Н.П., Нуждихин Г.И., Перьяков П.П. Повышение безопасности работ на шахтах.- М.: Недра, 1971.- 173 с.
22. Дубов Е.Д. Исследование в шахтных условиях взаимодействия механизированных крепей с боковыми породами на пологих пластах Донбасса: автореф. Дис.... канд.техн.наук. – Донецк, 1969.- 23 с.
23. Закутский И.А., Краткий обзор результатов исследований сопротивления пород сдавливанию крепи и работ по теории штампов. В сб.: физико-механические свойства, давление и разрушение горных пород. М.: 1962, с.83-86.
24. Зорин А.И., Долинина Н.Н., Колесников В.Г. механика управления гетерогенным упруго-наследственным горным массивом.- Киев: Наукова думка, 1981.-184 с.
25. Иванов Г.А. Определение несущей способности неоднородных целиков. В кн.: тезисы выступлений на Всесоюзной научно-технической конференции (17 – 19 ноября 1982 г.).Исследование, прогноз и контроль проявления горного давления.- Л.: ЛГИ, 1982, с.172-173.
26. Иванов К.И., Бетанели К.П. Некоторые результаты натуральных исследований несущей способности и напряженного состояния угольных целиков.- Уголь, 1963, №3, с.
27. Иванов К.И., Бетанели К.П. Исследование деформирования несущей способности и напряженного состояния угольных целиков.- Уголь, 1964, №5, с.
28. Игнатъев А.Д. Исследование устойчивости очистного забоя.- М.: Наука, 1967.- 91с.
29. Ильницкая Е.Е. Определение сопротивления углей сдвигу и разрыву. Сб. трудов ИГД им. А.А.Скочинского. АН СССР, М.: 1954, №51, с. 124-135.
20. Ирресбергер Г. Автоматизация передвижки крепи для улучшения управления кровлей.- Глюкауф, 1973, №12, с.6-16.
30. Ирресбергер Г., Фриц В. Совершенствование крепления лавы с неустойчивой кровлей и улучшение производственных показателей.- Глюкауф, 1971, №12, с.6-13.
32. Исследование физико-механических и геологических свойств пород Западного Донбасса /А.П.Максимов, Ю.М.Кожушко, Л.Я. Парчевский и др.- Киев: Техника, 1970, с.61-72.
33. Исследование работы очистных комплексов в условиях слабых неустойчивых пород шахт Западного Донбасса. Отчет по теме №544, ДГИ. №ГР 73050981; Инв. №Б 415024. – Днепропетровск, 1974.-138с.

34. Ищук И.Г., Чирков С.Е., Аболеватский Б.Н., Тиме А.А. Хрупко-пластические свойства углей различной степени углефикации. - гидравлическая добыча угля, 1966, №3, с.
35. Казьмин В.М. Вероятностный метод анализа контактного взаимодействия забойных крепей с боковыми породами.- М.: Наука, 1974.-119с.
36. Каталог механических свойств горных пород при длительных испытаниях в условиях одноосного сжатия. -Л.: ВНИМИ, 1973.-73 с.
37. Каталог пологих пластов с неустойчивыми кровлями по основным угольным бассейнам СССР.- Л.: ВНИМИ. 1975.- 100 с.
38. Калашников А.И., Новикова Л.В., Онищенко В.И. Формирование матрицы жесткости системы при расчете горного массива с прямоугольной выработкой методом конечных элементов.- Строительство предприятий угольной промышленности. Научн.-техн.реф. сб.-М.: ЦНИЭИуголь, 1977, №11, с.9-11.
39. Кваша Э.Н. Расчет балки-стенки методом сеток на ЭВМ ЕС 1020.- Днепропетровск ДИСИ, 1978.- 18 с.
40. Кияшко И.А., Овчинников Н.П., Пономарев Е.М. О некоторых закономерностях проявления горного давления в очистных забоях шахт Западного Донбасса.- Уголь Украины, 1976, №5, с.14-16.
41. Кияшко И.А., Сердюк В.П. Исследование механизма деформируемости краевой части угольного пласта с учетом действия силовых механизмов крепи.- В сб.: Тезисы выступлений на Всесоюзной научно-технической конференции (17-19 ноября 1982 г.). Исследование, прогноз и контроль проявления горного давления.- Л.: ДГИ, 1982, с.6-7.
42. Кияшко И.А., Сердюк В.П. Обоснование области применения комплекса «Западный Донбасс», предназначенного для очистного забоя шахты будущего.- В сб.: Тезисы докладов на Всесоюзной научной конференции вузов с участием научно-исследовательских институтов (2-5 февраля 1982 г.). – М.: МГИ, 1982, с.69.
43. Кияшко И.А., Харченко В.В., Овчинников Н.П., Сердюк В.П. Исследования несущей способности краевой части угольных пластов.- В сб.: Разработка месторождений полезных ископаемых, вып. 54.- Киев: Техника, 1979, с.58-61.
44. Козина А.М., Рутковская Е.П. Методическое руководство по моделированию взаимодействия механизированных крепей с кровлей очистных выработок. – М.: Изд-во ИГД им. А.А. Скочинского, 1973,-28 с.
45. Комиссаров С.Н. Результаты расчетов напряжений на контакте перекрытия механизированной крепи с породами кровли. - Уголь, 1976, №10, с.8-12.
46. Костомаров Н.Е., Горнов А.С. Исследование деформаций угольного пласта.- Технология добычи угля подземным способом, 1969, №7, с. 34-36.
47. Кратч Г. Сдвигание горных пород и защита подрабатываемых сооружений.- М.: Недра, 1978.- 494 с.
48. Крупенников Г.А. Исходные данные для конструирования крепей применительно к условиям очистных выработок Подмосквовного бассейна.- М.: Углетехиздат, 1954ю- 128 с.

49. Кузнецов Г.Н. и др. Моделирование проявления горного давления.- Л.: Недра, 1968.- 279 с.

50. Кузнецов Г.Н. Предельные состояния твердых горных пород с учетом пространственной ориентировки естественных поверхностей ослабления. Труды Всесоюзного науч.-исслед. маркшейд. ин-та.- Л.: ВНИМИ, 1961, т.43, с.198-221.

51. Кузнецов С.Т., Крылов В.Ф., Глушихин Ф.П. Эксплуатация мехкрепей и пути их совершенствования.- М.: недра, 1976.-183 с.

52. Кузьмич А.С. Состояние горных работ на угольных шахтах и направления их совершенствования. В сб.: Вопросы разработки угольных месторождений подземным способом. Научн. сообщения ИГД им. А.А. Скочинского, Вып. 233, М., 1983, с.3-10.

53. Кун О. Состояние результатов применения механизированной крепи на шахтах Англии и ФРГ.- Глюкауф, 1962, №11, с.714-723.

54. Методические указания по воспроизведению больших глубин на плоских моделях из эквивалентных материалов.- Л.: ВНИМИ, 1980.- 28 с.

55. Методические указания по исследованию горного давления на угольных и сланцевых шахтах.- Л.: ВНИМИ, 1973.-97 с.

56. Методические указания по проведению натурных испытаний механических свойств угля и пород с помощью давящей установки.- Л.: ВНИМИ, 1966.-46 с.

57. Мухин Е.П. Исследование и выбор основных параметров и принципиальной схемы механизированной крепи для тонких пологих пластов с неустойчивой кровлей: Автореф. дис. канд. техн. наук. - Новочеркасск, 1972.- 24 с.

58. Намакштанский В.Я., Котлов Э.С. Безопасность труда в комплексно-механизированных очистных забоях.- М.: Недра, 1979.- 128 с.

59. Оберт Л. Хрупкое разрушение горных пород.- В кн.: разрушение, т.7, ч.1.-М.: Мир, 1976, с.110-120.

60. Овчинников Н.П. Взаимодействие механизированных крепей с неустойчивыми боковыми породами в условиях шахт Западного Донбасса: Автореф. дис... канд. техн. наук. ДГИ, Днепропетровск, 1981.-22 с.

61. Овчинников Н.П., Сердюк В.П. Краевая часть тонкого пологого пласта как опора для перекрытий механизированной крепи. - В сб.: Тезисы докладов на I Всесоюзной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов угольной промышленности. - М.: изд-во ИГД им. А.А. Скочинского, 1979, с.266.

62. Орлов А.А., Баранов С.Г., Биржаков В.В. Взаимодействие механизированных крепей с неустойчивыми кровлями.- Уголь, 1982, №8, с. 9-12.

63. Орлов А.А., Сетков В.Ю., Баранов С.Г., Степаненко О.Т., Ялышев Э.И., Ухалков В.В. Взаимодействие механизированных крепей с кровлей.- М.: Недра, 1976.-366 с.

64. паспорта прочности горных пород и методы их определения (Протодяконов М.М., Койфман М.И., Чирков С.С., Кунтиш М.Ф., Тедер Р.И. - М.: Наука, 1964.-78 с.

65. Петухов И.М. и др. Теория защитных пластов.- М.:Недра,1976.- 223 с.

66. Пиньковский Г.С., Безазьян А.А. Определение прочностных характеристик горных пород при естественной влажности.- Уголь Украины, 1979, №8, с. 21.
67. Попов В.Л., Нуждихин Г.И. О причинах разрушения механизированных крепей.- Уголь, 1971, №8, с.46-48.
68. Радченко Л.М. О масштабном факторе прочности горных пород.- В сб.: Разработка месторождений полезных ископаемых Сибири и Северо-Востока. (Сб. научных трудов). Иркутский политехн.институт.- Иркутск, 1980, с. 39-47.
69. Разработать технологию, Создать и внедрить комплекс очистных машин с опережающим врубом для отработки тонких пологих пластов мощностью 0,7-1,2 м с неустойчивыми боковыми породами (научно-техническое обоснование технического задания на комплекс очистных машин). Отчет по н.и. работе.- ДГИ, тема 544. Т/ГР № 76032770, инв. № Б 821991. Научн.рук. Кияшко И.А., отв. исп. Овчинников Н.П.- Днепропетровск, 1979.- 180 с.
70. Рац М.В., Чернышев С.Н. Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород. – М.: Недра, 197.- 160 с.
71. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород.- М.: Недра, 1973.- 237 с.
72. Результаты исследования физико-механических свойств пород Донбасса и природных факторов, определяющих их поведение в горных выработках. /В.Т.Глушко, А.В. Безазьян, В.Г. Белоконь и др.- Киев: Наукова думка, 1971.- 58 с.
73. Рубец Г.Т. Статистическая оценка экстремальных значений прочности и нагрузки.- В кн.: Механика и разрушение горных пород.- Л.: ВНИМИ, 1969, с.11-15.
74. Румпинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. - М.: Мысль, 1971, с.34.
75. Руппенейт К.В. Деформируемость массивов трещиноватых горных пород.- М.: недра, 1975.-223 с.
76. Саратикянц С.А., Кияшко И.А., Спицын Ю.Г. и др. Стендовые испытания экспериментального комплекса очистных машин «Западный Донбасс».- В кн.: Подземная разработка тонких и средней мощности угольных пластов. – Тула, ТПИ, 1981, с.54-58.
77. Самуль В.И. Основы теории упругости и пластичности.- М.: Высшая школа, 1970.-288 с.
78. Свержевский В.Л., Мажуненко Л.А. Изменения физико-механических свойств карбона в результате катагенических преобразований. – Уголь Украины, 1976, 51, с.49.
79. Свержевский В.Л., Субботин В.П. Связь между коэффициентом крепости и пределом прочности при сжатии пород и углей.- Уголь Украины, 1984, №1, с.45.
80. Свойства горных пород и методы их определения. -М.:Недра, 1969-392 с.

81. Слоним М.Э. Модельное представление трещиновато-пористого массива горных пород.- В сб.: механика горных пород и проявления горного давления. СФТГП ИФЗ АН СССР.- М.: 1977, с.30.

82. Спицын Ю.Г., Кутовой В.И., Левин А.Г. Анализ интенсивности отработки пологих пластов на шахтах, разрабатывающих тонкие пласты.- Донецк, 1980, с.57-59.

83. Спицын Ю.Г., Дубов Е.Д., Мухин Е.П. Основные требования к средствам крепления и управления кровлей для пластов со слабыми и неустойчивыми боковыми породами.- В кн.: Тезисы докладов к Всесоюзному семинару по управлению неустойчивой кровлей пологих угольных пластов механизированными крепями (26-29 июня 1973 г., ВНИМИ).- Л.: Недра, 1976, с.4-6.

84. Ставрогин А.Н. Деформация и разрушение горных пород.- В сб.: некоторые прикладные задачи механики горных пород.- Фрунзе: Илим, 1971, с.47-51.

85. Тимошенко С.П. Соппротивление материалов (т.2). – М.: Наука, 1965.- 381 с.

86. Тихонова Н.В. Исследование на моделях опорного давления впереди движущегося забоя.- Уголь Украины, 1963, №9, с.36-37.

87. Тихонова Н.В. Исследование свойств эквивалентных материалов, применяемых в ДонУГИ для изучения проявления горного давления.- Л.: ВНИМИ, 1962, т.ХIV, с. 94-97.

88. Трофимов В.А. Распределение напряжений в рудном уступе с учетом критерия прочности.- В сб.: Механика горных пород и проявления горного давления СФТГП ИФЗ АН СССР.- М., 1977, с.13.

89. Трумбачев В.Ф., Молодцова Л.С. Применение оптического метода исследования напряженного состояния пород вокруг горных выработок.- М., изд-во АН СССР. 1963.- 93 с.

90. Трумбачев В.Ф., Катков Г.А. Измерение напряжений и деформаций методом фотоупругих покрытий. -М.: наука, 1966.-114 с.

91. Усаченко Б.М. Свойства пород и устойчивость горных выработок.- Киев: Наукова думка, 1979.- 134 с.

92. Филин А.П. Приближенные методы математического анализа, используемые в механике твердого деформируемого тела.- Л.: Стройиздат, 1970.-126 с.

93. Филимонов Н.М., Вдовин К.И., Мавлютов М.Р. К вопросу о развитии трещиноватости в горной породе при статическом вдавливании штампа.- Известия вузов. Горный журнал, 1968, № 12, с.68-70.

95. Форсберг К. Оценка методов конечных разностей и конечных элементов применении к расчету произвольных оболочек.- В сб.: Расчет упругих конструкций с использованием ЭВМ. Т.2 (пер. под ред. А.П.Филина).- Л.: Судостроение, 1974, с.86-92.

96. Хорин В.Н., Кузьмин В.М. и др. О пути повышения сопротивляемости консолей перекрытий механизированных крепей.- В кн.: Научные сообщения . ИГД им. А.А. Скочинского, вып. 106.-М.: Изд-во ИГД им. А.А. Скочинского, с.24-31.

97. Черняк И.Л. Теоретические и экспериментальные исследования устойчивости капитальных и подготовительных горизонтальных выработок: Автореф. дис. ... д-ра техн.наук.- М., 1968.- 50 с.
98. Чирков С.Е. Влияние масштабного фактора на прочность углей.- М.: Наука, 1969.- 114 с.
99. Эверлинг Г. Успехи и современный уровень техники моделирования проявлений горного давления для определения параметров крепи.- Глюкауф, 1982, №11, ч.17-25.
100. Якоби О. Вывалы пород из под кровли в очистных забоях с механизированной крепью и предложения по их предотвращению.- Глюкауф, 1963, № 14, с. 82-89.
101. Bieniawski Z.T. Eine Studie des Bruchmechanismus von Kohle in situ. – Abhandl Dtsch. Akad. Wiss. Berlin. Kl. Bergbau, Hüttenwes und Montangeol. 1968. №2, с.72-80 (нем).
102. Kvapil R. Arten des Bruchmechanismus und Tragfähigkeit von zerstörten Gebirgskonstruktionen. – Abhandl. Dtsch. Akad. Wiss. Berlin. Kl. Bergbau, Hüttenwes und Montangeol. 1968. №2, с.122-127 (нем).
103. Buzylo V.I., Koshka A.G., Serdyk V.P., Morozova T.I. Improvement of Equipment and Methods for Thin Coal Strata Mining in Western Donbass / Materialy Szkoły Eksploatacyj Podzemnej 2008. – Krakow: Wydawnictwo IGSMiE PAN. – P. 617-621.
104. Бузило В.И., Кошка А.Г., Сердюк В.П., Наливайко Я.М., Дяченко А.П. Формирование качества добываемого угля при отработке пласта сложного строения // Матер. междуна. научн.-практ. конф. «Школа подземной разработки». – Д.: НГУ, 2009.
105. Разработка сближенных угольных пластов механизированными комплексами в условиях шахт Львовско-Волынского бассейна [Текст]: моногр./ В.И. Бузило, Я.М. Наливайко, А.Г. Кошка, А.В. Яворский, В.П. Сердюк, Е.А. Яворская – Д.: Национальный горный университет, 2012. – 132 с.
106. Технология селективной отработки тонких угольных пластов [Текст]: моногр./ В.И. Бузило, А.Г. Кошка, В.П. Сердюк и др. – Д.: Национальный горный университет, 2012. – 138 с.
107. Технология отработки тонких пластов с закладкой выработанного пространства [Текст]: моногр./ В.И. Бузило, В.И. Сулаев, А.Г. Кошка и др. - Д.: Национальный горный университет, 2013. – 124 с.
108. Ширин Л.Н., Коровяка Е.А., Дьячков П.А. Обоснование области эффективного применения крутонаклонных конвейеров в условиях шахт Западного Донбасса // Науковий вісник НГУ. – 2007. – № 6. – С. 73-78.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ	4
1.1. Краткая характеристика объектов исследований	4
1.2. Анализ работ, посвященных вопросам исследований краевых частей пологих угольных пластов	9
1.3. Цель, задачи и методы исследований	13
2. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРАЕВОЙ ЧАСТИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА И ВМЕЩАЮЩИХ ЕГО ПОРОД НА МОДЕЛИ ИЗ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ	15
2.1. Общие положения, цель и задачи исследований	15
2.2. Методика проведения исследований	15
2.3. Результаты исследования проявлений горного давления	22
2.3.1. Характер разрушения пород надугольной толщи и распределения зоны опорного давления в процессе выемки пласта	22
2.3.2. Смещение боковых пород и краевой части пласта при его выемке	24
Выводы	30
3. ШАХТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ «БОКОВЫЕ ПОРОДЫ - УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ - КРЕПЬ»	31
3.1. Общие положения	31
3.2. Краткая горно-геологическая характеристика пласта с ₅	32
3.3. Исследование устойчивости угольных пластов	33
3.4. Исследование зоны опорного давления впереди очистного забоя и характера конвергенции боковых пород при его подвигании	39
3.5. Исследование изменения формы забоя на энергозатраты выемки и сортность угля	42
Выводы	45
4. АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ УСТУПОВ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА МЕТОДОМ СЕТОК	46
4.1. Общие положения и задачи исследований	46
4.2. Основы теории метода сеток, используемые при решении задачи	48
4.3. Анализ напряженного состояния уступов угольного пласта	52

Выводы	58
5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСКОНСОЛЬНЫХ КРЕПЕЙ	60
5.1. Общие положения	60
5.2. Основные положения методики определения несущей способности угольных уступов и области применения бесконсольных крепей	61
5.3. Выбор очистных забоев для проведения исследований несущей способности угольных уступов и характера их разрушения методом планирования эксперимента	63
5.4. Результаты исследований несущей способности угольных уступов и область применения бесконсольных крепей с опорой перекрытий у забоя	71
Выводы	83
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	85
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	87

Наукове видання

Бузило Володимир Іванович
Сердюк Володимир Петрович
Кошка Олександр Григорович
Яворська Олена Олександрівна
Коровяка Євген Анатолійович
Яворський Андрій Васильович

**ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА ОБЛАСТІ ЗАСТОСУВАННЯ
БЕЗКОНСОЛЬНИХ МЕХАНІЗОВАНИХ КРІПЛЕНЬ ОЧИСНИХ
КОМПЛЕКСІВ**

Монографія

(Російською мовою)

Друкується в редакційній обробці авторів.

Підп. до друку 07.10.2014. Формат 30х42/4.
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 5,3.
Обл.-вид. арк. 5,3. Тираж 300 пр. Зам. №

Підготовлено до друку та видруковано
у Державному ВНЗ «Національний гірничий університет».
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від 11.06.2004

49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.