

С.С. Гребёнкин, В.В. Косарев,
С.Е. Топчий, Н.И. Стадник,
В.И. Зензеров, В.В. Стеблин,
Б.А. Перепелица, В.Н. Поповский

ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ И ЭФФЕКТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ОЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Монография

*Под общей редакцией Академика АГН Украины,
докт. техн. наук, профессора С.С. Гребенкина и
Академика АГН Украины, Лауреата Госпремии Украины,
канд. техн. наук В.В. Косарева*

г. Донецк
2009

ББК 65.9(4Укр)30
УДК 622.48

**О-74 ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ И ЭФФЕКТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ
СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ОЧИСТНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ: [моногр.] /**

[С.С. Гребёнкин, В.В. Косарев, С.Е. Топчий, Н.И. Стадник, В.И. Зензеров,
В.В. Стеблин, Б.А. Перепелица, В.Н. Поповский]; под общей редакцией
Гребенкина С.С. и Косарева В.В. – Донецк: «ВИК», 2009. – 372 с.

*Рекомендовано к печати Научно-техническим Советом
ГП «Донгипроуглемаш»
(протокол №7-08 от 12 ноября 2008 г.)*

Рецензенты: **Самуся В.И.**, доктор технических наук, профессор
(Национальный горный университет,
г. Днепропетровск),
Павлыш В.Н., доктор технических наук, профессор
(Национальный технический университет,
г. Донецк)

В монографии приведены сведения об основах проектирования и создания систем жизнеобеспечения очистного оборудования для угольных шахт Украины. Изложены геомеханические принципы взаимодействия механизированных комплексов и агрегатов с горным массивом. Приведены, в обобщенном виде, современные принципы конструирования машин указанного класса.

Для научных и инженерных работников, занятых в области создания и эксплуатации горнодобывающей техники для угольных шахт Украины. Может быть полезна преподавателям, аспирантам и студентам горных ВУЗов.

ISBN 966-430-061-6

ББК 65.9(4Укр)30

© С.С. Гребёнкин, В.В. Косарев, С.Е. Топчий,
Н.И. Стадник, В.И. Зензеров, В.В. Стеблин,
Б.А. Перепелица, В.Н. Поповский, 2009.

Содержание

Введение.....	7
РАЗДЕЛ 1. КОНЦЕПЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ШАХТ УКРАИНЫ.....	9
1.1. Состояние угольной промышленности Украины.....	9
1.1.1. Горношахтное оборудование нового технического уровня – база для концентрации горных работ и вывода отрасли из кризиса	10
1.1.2. Программа технического переоснащения перспективных шахт Украины.....	13
1.1.3. Основные факторы обеспечения роста нагрузок на комплексно-механизированные очистные забои на период до 2008 года.....	30
1.1.4. Основные принципы технического переоснащения	31
1.1.5. Ожидаемые результаты от внедрения программы технического переоснащения.....	32
1.2. Технология очистных работ в комплексно-механизированных очистных забоях при разработке пологих и наклонных угольных пластов.....	33
1.2.1. Структура технологии выемки угля и компоновка оборудования в очистном забое.....	33
1.2.2. Технология выемки угля на пологих пластах комбайнами с механизированной крепью	41
Выводы.....	50
Литература по разделу 1.....	51
РАЗДЕЛ 2. ОСОБЕННОСТИ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КОМПЛЕКСНО-МЕХАНИЗИРОВАННЫХ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ.....	52
2.1. Управление горным давлением.....	52
2.2. Критерии качества управления кровлей	58
2.4. Исследование конвергенции боковых пород в лаве	84
2.5. Общие принципы и правила управления кровлей	88
Выводы.....	89
Литература к разделу 2.....	90
РАЗДЕЛ 3. ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ СОЗДАНИИ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ ОЧИСТНЫХ КОМПЛЕКСОВ И АГРЕГАТОВ	91
3.1. Классификация механизированных крепей очистных комплексов по признакам формирования их внешних связей	91

	3.2. Рациональные проектно-компоновочные решения для механизированных крепей очистных комплексов.....	98
	3.3. Критерии качества и рациональные компоновочно-конструкторские решения структурных элементов механизированных крепей очистных комплексов	115
	3.4. Механизированные крепи очистных комплексов высокого технического уровня для тонких и средней мощности пластов.....	127
	3.5. Рациональные проектно-конструкторские решения механизированных крепей очистных агрегатов.....	130
	Выводы по разделу 3	143
	Литература к разделу 3.....	145
РАЗДЕЛ 4.	ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К МЕХАНИЗИРОВАННЫМ КРЕПЯМ ОЧИСТНЫХ КОМПЛЕКСОВ И АГРЕГАТОВ.....	146
	4.1. Конструктивные схемы механизированных крепей.....	146
	4.2. Технические требования к костровым и рамным крепям поддерживающего типа	151
	4.3. Технические требования к щитовым крепям.....	154
	4.4. Технические требования к механизированным крепям, работающим с закладкой выработанного пространства.....	159
	4.5. Технические требования к механизированным крепям для наклонных пластов	165
	4.6. Технические требования к перекрытию поддерживаемого пространства и межсекционных зазоров.....	172
	4.7. Технические требования к основанию секций щитовой крепи	177
	Выводы по разделу 4	180
	Литература к разделу 4.....	183
РАЗДЕЛ 5.	ВЗАИМОСВЯЗЬ КОНВЕРГЕНЦИИ БОКОВЫХ ПОРОД И СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ.....	184
	5.1. Взаимосвязь между опусканием кровли в призабойном пространстве и сопротивлением механизированной крепи	184
	5.2. Особенности взаимодействия механизированных крепей очистных комплексов с боковыми породами при отработке наклонных пластов	190
	5.3. Особенности взаимодействия механизированных крепей очистных агрегатов с боковыми породами при отработке крутых и крутонаклонных пластов	200

	Выводы по разделу 5	202
	Литература к разделу 5	203
РАЗДЕЛ 6.	ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ С ВМЕЩАЮЩИМИ ПОРОДАМИ В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ ...	204
	6.1. Особенности работы гидрофицированной крепи в очистном забое	204
	6.2. Расчет механизированной крепи очистных комплексов при разработке пологих пластов	209
	6.3. Расчет нагрузки на механизированную крепь очистных забоев при разработке пластов с трудноуправляемыми кровлями	225
	Выводы по разделу 6	248
	Литература к разделу 6	249
РАЗДЕЛ 7.	ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ НА СТАДИИ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ	250
	7.1. Выбор и обоснование рациональных значений сопротивления секций и коэффициента начального распора гидростоек	250
	7.2. Обоснование рациональных значений коэффициента начального распора гидростоек крепи и удельного сопротивления на конце передней консоли перекрытия секции	256
	7.3. Синтез основных силовых параметров секций крепей при проектировании	267
	Выводы к разделу 7	275
	Литература к разделу 7	276
РАЗДЕЛ 8.	ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ СИЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЕКЦИЙ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ ОЧИСТНЫХ КОМПЛЕКСОВ И АГРЕГАТОВ	277
	8.1. Требования к механизированным крепям по конструированию основных силовых элементов секций	277
	8.2. Особенности конструирования и прочностных расчетов силовых гидроцилиндров и металлоконструкций секций крепи	280
	8.3. Выбор рациональных кинематических параметров ограждений секций щитовых крепей	299
	Выводы по разделу 8	308
	Литература к разделу 8	309
РАЗДЕЛ 9.	КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ КРЕПЯМИ НА НАКЛОННЫХ, КРУТОНАКЛОННЫХ И КРУТЫХ ПЛАСТАХ	310

9.1.	Методика аналитической оценки устойчивости и обеспечения направленности передвижения секций механизированной крепи на наклонных пластах.....	310
9.2.	Оценка результатов теоретических исследований процессов передвижения секций механизированных крепей на наклонных пластах.....	320
9.3.	Динамические процессы в гидросистеме механизированной крепи при передвижении её секций.....	328
9.3.1.	Разработка математической модели гидросистемы секций механизированной крепи.....	328
9.3.2.	Алгоритм численной реализации модели и методика математического моделирования динамики работы гидросистемы механизированной крепи.....	337
9.3.3.	Оценка результатов математического моделирования динамических процессов в гидросистеме при выполнении секциями механизированной крепи операций технологического цикла.....	346
9.4.	Системы управления механизированными крепями для крутых пластов.....	348
	Выводы по разделу 9.....	368
	Литература к разделу 9.....	369
	Заключение.....	371

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время отечественными и зарубежными проектными организациями и промышленными предприятиями разрабатываются и внедряются высокопроизводительные комплексы оборудования и агрегаты для добычи полезных ископаемых.

Их эксплуатация осуществляется в условиях весьма сложной горно-геологической и горно-технической обстановке на больших (более 1000 м) глубинах отработки месторождений.

Основными причинами, сдерживающими техническое перевооружение очистных забоев угольных шахт, являются:

- отсутствие научно-обоснованных принципов, подходов к проектированию и созданию добывающей техники для сложных и весьма сложных горно-геологических условий отработки угольных пластов на больших глубинах;

- отсутствие научно-обоснованных и подтвержденных практикой рекомендаций технологического характера по эффективному использованию шахтами созданного парка машин и оборудования.

Предлагаемая читателям монография впервые в отечественной технической литературе систематизирует и обобщает накопленный опыт проектирования и эффективной эксплуатации очистных комплексов и агрегатов на угольных шахтах.

В ней изложены результаты комплексных исследований и проектно-конструкторских работ в области проектирования и эффективной эксплуатации очистных комплексов и агрегатов, базирующиеся на последних достижениях науки академических, отраслевых и учебных институтов горного профиля.

Кроме того, в книге обобщены собственные работы авторов в указанной области, которые они выполняли на протяжении последних 30 лет в ведущих научно-исследовательских и проектно-конструкторских институтах угольной промышленности Украины.

Материал книги, структура ее построения, содержание разделов и подразделов представляются таким образом, что она также может использоваться в качестве учебного пособия для высших учебных заведений страны горного профиля.

Монография может быть полезна работникам отраслевых научно-исследовательских и проектно-конструкторских институтов, занимающихся созданием техники и оборудования для ведения очистных работ на угольных шахтах, а также инженерно-техническому

персоналу, работающему на горнодобывающих предприятиях Украины.

Авторы выражают благодарность рецензентам книги, докторам технических наук, профессорам Павлышу В.Н. (ДонНТУ), Самусе В.И. (НГУ Украины) за методическую помощь и указания, сделанные при рецензировании рукописи монографии.

РАЗДЕЛ 1. КОНЦЕПЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ШАХТ УКРАИНЫ

1.1. Состояние угольной промышленности Украины

Современное состояние угольной промышленности Украины в значительной степени обусловлено политикой, которая проводилась в области топливно-энергетического комплекса за последние 20-25 лет существования СССР, когда основные финансовые и материально-технические ресурсы направлялись на развитие нефтяных и газовых месторождений восточных регионов, вследствие чего, начиная с конца 80-х годов, угольная отрасль вошла в состояние самого тяжелого кризиса за всю послевоенную историю.

Состояние дел в угольной промышленности сейчас остается крайне неудовлетворительным, несмотря на то, что за последние три года удалось стабилизировать добычу угля на уровне 80 млн. т в год. При этом дефицит отечественной угольной продукции, при условии полного замещения импортированных угля и газа для энергетики, удовлетворения спроса металлургического комплекса, других отраслей экономики и коммунальных потребителей, составляет более 20 млн. т.

За последнее десятилетие объемы капитального строительства угольной промышленности уменьшились в 3,5 раза. Это привело к значительному спаду производственных мощностей шахт.

С 1992 по 2002 годы допущено снижение производственных мощностей со 183,4 до 104,1 млн. т в год или на 43,2%, а объемов добычи угля со 133,6 до 81,8 млн. т или на 38,8%.

Износ промышленно-производственных фондов угледобывающих предприятий в настоящее время находится на уровне 65-70%. Из 10 тысяч единиц основного стационарного оборудования четверть полностью исчерпала свой нормативный ресурс эксплуатации. Все это ведет к резкому возрастанию аварийности и потерям добычи угля.

В общем парке действующего забойного оборудования удельный вес очистных механизированных комплексов и проходческих комбайнов нового технического уровня составляет только 20%, а ленточных конвейеров – менее 15%. В наиболее продуктивных пластах мощностью более 1,2 м примерно 90% комплексно-

механизированных забоев очистное оборудование относится к категории морально устаревшего, малонадежного и непригодного для работы в сложных горно-геологических условиях. Это рамные и кустовые крепи (М87, М88, МТ и др.); забойные конвейеры с калибром цепей тяговых органов 18-20 мм (СП202, СП250, СП291 и др.), имеющие низкую (110 кВт) энерговооруженность приводных блоков; очистные комбайны, уступающие современным зарубежным аналогам по производительности, ресурсу, надежности в 2-5 раз, многие из которых требуют подготовки ниш, имеют низконадежные и небезопасные цепные механизмы подачи (1К101У, КШ1КГ, 1ГШ68 и др.). На шахтах, где разрабатываются угольные пласты крутого падения, около 70% добычи до сих пор осуществляется отбойными молотками. Каждая третья лава в отрасли обрабатывается "дедовским способом" за счет применения индивидуальных стоек крепления и огромных объемов ручного труда шахтеров, при производительности труда в 3-10 раз ниже, чем в комплексно-механизированных забоях.

1.1.1. Горношахтное оборудование нового технического уровня – база для концентрации горных работ и вывода отрасли из кризиса

Анализ стратегических мер, которые предпринимались при выведении угольных отраслей из кризисного состояния в развитых угледобывающих странах (Великобритания, Германия, Польша), свидетельствует, что в основе этого процесса заложен, прежде всего, принцип эффективного использования современной техники и технологии, концентрации горных работ и интенсификации подземного производства на их базе. Причем, технология постоянно ориентировалась на максимальное использование потенциала техники, а техника, в свою очередь, постоянно совершенствовалась и максимально адаптировалась под горно-геологические и горнотехнические условия шахт.

В угольной промышленности Украины за последние годы наметен позитивный процесс роста нагрузок на комплексно-механизированные очистные забои. Только за счет внедрения 78 очистных комплексов на базе современных отечественных щитовых крепей типа КД90 за 1995-2002 годы обеспечен рост нагрузок более чем в 2 раза: с 356 т/сут. до 728 т/сут.

В 2002 году этими очистными комплексами было добыто уже 26,4 млн. т угля при их среднедействующем количестве 55 единиц.

Для сравнения: за этот же период из всех 414 среднедействующих забоев (в том числе 261 – комплексно-механизированных) было добыто 72,9 млн. т угля. Среднесуточная нагрузка на комплекс типа МКД90 достигла 1381 т/сут., что в 3 раза превышает нагрузку на среднедействующий очистной забой (485 т/сут.).

По данным отраслевой статистики эксплуатация 5-ти комплексов МКД90 с соответствующей проходческой техникой и транспортными средствами дает годовой прирост добычи угля не менее 1,3 млн. т. Это равносильно вводу новой шахты со стоимостью строительства 1,5-2 млрд. грн.

Однако до 2003 года темпы технического перевооружения лав украинских шахт были крайне низки и составляли 3-5% в год, несмотря на очевидные положительные результаты от внедрения очистных комплексов нового поколения.

В 2002 году 79% действующих комплексно-механизированных очистных забоев были все еще оснащены устаревшими механизированными крепями, а в 95% из них применялись морально устаревшие очистные комбайны и забойные скребковые конвейеры, расчетный ресурс которых составляет 2,5-5 тыс. ч, а производительность и надежность в 3-5 раз уступает зарубежным аналогам.

Наряду с этим, за последние 3 года украинскими машиностроительными заводами освоены в производстве все базовые виды очистного, проходческого и транспортного оборудования, отвечающего современным требованиям по производительности, безопасности, эргономике, надежности, расчетный ресурс которого составляет 15-40 тыс. ч, то есть как минимум в 3 раза выше, чем у заменяемых аналогов.

За счет концентрации научного, конструкторского и производственного потенциала Донецкой, Луганской, Днепропетровской, Харьковской областей и г. Киева удалось в кратчайшие сроки освоить выпуск:

- нового поколения двухстоечных щитовых крепей ДМ, КДД и ДТ со сроком службы до капитального ремонта не менее 8 лет, с повышенной несущей способностью и раздвижностью практически для всех возможных к промышленной отработке шахтопластов Украины в диапазоне свыше 0,85 м (Дружковский машзавод);
- типового ряда двухскоростных скребковых забойных конвейеров типа КСД с энерговооруженностью приводных бло-

- ков 160, 200 и 350 кВт, способных при ресурсе 3 млн. т горной массы обеспечить стабильную работу высоконагруженных лав до 10 тыс. т в сутки при их длине 250-350 м (Донецкгормаш);
- высокопроизводительных очистных комбайнов УКД300, КДК500 и КДК700 с принципиально новыми электрическими бесцепными системами подачи на базе частотно-регулируемого привода для диапазона пластов от 0,85 м до 4,2 м и производительностью от 10 до 24 т/мин. (Горловский машзавод);
 - энерговооруженных проходческих комбайнов легкого и среднего классов КПД и КПУ для пород крепостью до 120 МПа, оснащенных средствами пылеулавливания и высоконапорного орошения, устройствами для возведения анкерного и арочного крепления (Горловский машзавод);
 - типового ряда ленточных конвейеров Л800Д, Л1000Д и Л1200Д, в том числе грузопассажирского исполнения с повышенной приспособляемостью к грузопотокам, оснащенных пожаробезопасными станциями, системами управления, защит, контроля и диагностики на базе микропроцессорной техники (Донецкгормаш).

Конструктивные решения, технические характеристики и параметры нового поколения очистной, проходческой и транспортной техники максимально соответствуют ее комплексному применению в условиях украинских шахт, адаптированы под менталитет персонала наших шахт и уровень обслуживания.

Таким образом, сегодня создана техническая основа для перевооружения предприятий угольной отрасли на базе передовой отечественной техники. Однако, для достижения максимального экономического эффекта от использования этой техники необходим системный подход к решению проблем ее внедрения.

Максимальная отдача от новой высокоресурсной и производительной очистной, проходческой и транспортной техники будет получена при разработке и реализации долговременной 5-летней программы технического перевооружения угольных шахт Украины. Только концентрация усилий горных ученых, технологов, шахтостроителей, экономистов и машиностроителей, совместно с эксплуатационниками, позволит за счет прогрессивных технологий, правильного раскрытия шахтных полей, своевременного устранения узких мест по каждой перспективной шахте и научно-технического сопровожде-

ния в процессе эксплуатации всех новых комплексов обеспечить ускоренную концентрацию горных работ и интенсификацию производства и выйти на рентабельную добычу угля перспективной группе шахт.

1.1.2. Программа технического переоснащения перспективных шахт Украины

Во исполнение решения Коллегии Минтопэнерго Украины от 15 марта 2003 года "О мерах финансово-экономического оздоровления предприятий угольной отрасли" распоряжением Министра №44-Р от 7 апреля 2003 года создана рабочая группа из специалистов Минтопэнерго и 10 научно-исследовательских и проектных институтов.

Специфика работы этих научных организаций максимально приближена к решению проблем, накопившихся в угольной отрасли Украины за последние десятилетия.

Одной из основных задач рабочей группы является разработка долговременной целевой комплексной, научно обоснованной программы технического переоснащения перспективных шахт Украины на 2004-2008 годы, как одной из радикальных мер по выведению угольной отрасли из кризиса.

Основные цели программы:

1. Обеспечение объемов подземной добычи угля в Украине на уровне 105-110 млн. т за счет концентрации горных работ и интенсификации производственных процессов на базе новой высокопроизводительной, ресурсной и безопасной горной техники.
2. Перевод перспективной группы шахт (45-65 единиц) в экономически рентабельные, бездотационные предприятия за счет резкого повышения производительности труда и снижения себестоимости добычи угля.

Анализ статистических данных 1995-2002 годов показывает, что при ежегодных средних темпах сокращения очистных забоев 12% и комплексно-механизированных забоев 6%, при сохранении этой тенденции даже на уровне 3-6% к концу 2008 года, их количество составит 240 и 205 единиц соответственно (рис. 1.2). Несмотря на увеличение количества среднедействующих лав с современными комплексами к 2008 году при достигнутых за последние годы темпах их внедрения до 100-105 единиц и нагрузках на них 1300-1400 т/сут., годо-

вой объем добычи из этих очистных забоев по расчетам составит 52 млн. т, а из всех очистных забоев в отрасли только 72 млн. т, что ниже уровня добычи 2002 года. Такой вариант технического перевооружения не может быть принят для выхода угольной отрасли из кризиса.

Намеченные по проекту "Программы..." темпы технического перевооружения в 2-2,5 раза должны превысить темпы последних лет, когда в среднем за год вводилось 10-12 лав с новыми очистными комплексами на базе современных щитовых крепей.

Кроме того, повышенные в 2-3 раза эксплуатационные показатели новых выемочно-доставочных машин по производительности, энерговооруженности, надежности позволят обеспечить переход на увеличенные до 250-450 м длины лав, вести отработку лав в тонких пластах без присечек боковых пород, резко сократить трудозатраты концевых операций в очистных забоях, что, в конечном счете, приведет к росту средних нагрузок на такие комплексы до 1700-1800 т/сут. Техничко-технологические меры по обеспечению вышеуказанных средних нагрузок на современные очистные комплексы представлены на рис. 1.3.

По этому варианту развития угольной отрасли возможно к концу 2008 года при наличии 175 среднедействующих очистных комплексов, в своем большинстве соответствующих мировому уровню, получить только на них объем добычи 93 млн. т. Такой подход даст возможность в ближайшие 5 лет выйти на объемы подземной добычи до 110 млн. т даже при существующих темпах сокращения их количества. При этом будет практически полностью вытеснено морально и физически изношенное оборудование.

По предварительной оценке для ускоренного техперевооружения шахт новой, отвечающей требованиям мирового уровня, очистной, проходческой и транспортной техникой, необходимо ежегодное выделение перспективной группе шахт 1,8-2,3 млрд. грн., в том числе на изготовление современного горношахтного оборудования – 1,1-1,3 млрд. грн.

Уровень развития любой суверенной страны и возможности ее дальнейшего ускоренного экономического роста непосредственно зависят от обеспеченности основными видами энергии как в текущий момент времени, так и в перспективе. Обеспечение Украины энергией и выход экономики страны из кризисного состояния во многом зависят от неотложного и скорейшего решения сложных проблем топ-

тивно-энергетического комплекса (ТЭК). Дефицит энергоресурсов в Украине обусловлен такими постоянно действующими факторами, как отсутствие значительных собственных запасов нефти и газа, социальные и экологические проблемы дальнейшего развития атомной энергетики, невозможность в ближайшей перспективе ориентации на использование в широких масштабах нетрадиционных источников энергии и др.

В настоящее время единственным реальным энергоносителем в стране, с помощью которого можно разрешить проблемы ТЭКа, является уголь, запасов которого в недрах Украины достаточно на сотни лет. Однако полноценному удовлетворению энергетических потребностей страны препятствует неудовлетворительная работа угольной промышленности из-за запущенности шахтного фонда, практического отказа от реконструкции старых и строительства новых шахт, медленного и неэффективного технического переоснащения большинства угольных предприятий в усложняющихся горно-геологических условиях, нерешенности многих экономических, социальных, экологических и других проблем.

Одними из основных причин низкой эффективности работы угледобывающих предприятий являются:

- высокая степень физического и морального износа оборудования для очистных и подготовительных работ, подземного транспорта, стационарного оборудования;
- недостаток средств на приобретение новой техники, особенно нового технического уровня.

Так, в очистных забоях около 75% механизированных комплексов не соответствуют современному техническому уровню, малонадежны и не приспособлены для работы в сложных горно-геологических условиях. Тенденция, сложившаяся за последние годы со снижением объемов проведения подготовительных выработок, привела к ситуации, при которой темпы отработки запасов угля в 1,5 раза превышают темпы их подготовки, то есть отсутствует воссоздание фронта очистной линии забоев, что ведет к снижению объемов подготовленных запасов угля. Более 30% основного стационарного оборудования (от состояния которого зависит не только работоспособность угольных предприятий, но и жизнь горняков) полностью исчерпало нормативный ресурс эксплуатации и требует срочной замены.

Бесспорно, что в такой ситуации особенно важно определить стратегию развития, техническую политику государства и незамедли-

тельно приступить к реализации этой политики с привлечением всех возможных средств при использовании элементов государственного управления.

Распоряжением Президента Украины "О разработке Энергетической стратегии Украины на период до 2030 года и дальнейшую перспективу" от 27 февраля 2001 года №42/2001-рп поставлены задачи определения основных принципов и приоритетов государственной политики Украины в энергетической сфере, обеспечения эффективного функционирования отраслей топливно-энергетического комплекса

Одной из основных составляющих энергетического развития государства является стратегия развития угольной отрасли. Ее разрабатывали ведущие ученые научно-исследовательских академических и отраслевых институтов, руководители и специалисты министерств и ведомств.

При разработке Стратегии развития угольной отрасли был проанализирован опыт угледобывающих стран – прежде всего Германии, Великобритании, Польши, России. Анализ свидетельствует, что в основе успешного развития угольной промышленности этих стран лежит, прежде всего, эффективное использование современной техники и технологии, концентрация и интенсификация горных работ. Причем технология ориентируется на максимальное использование потенциала техники, а техника постоянно совершенствуется и максимально приспособляется под горно-геологические условия конкретных шахт.

В последние годы в угледобывающей отрасли Украины идет процесс повышения одного из основных показателей подземного производства – нагрузок на комплексно-механизированные очистные забои. Во многом благодаря внедрению созданных очистных комплексов на базе современных щитовых крепей за 1996-2003 годы обеспечен рост нагрузок более чем в 2 раза: с 357 т/сут. до 763 т/сут. (рис. 1.1). В 2003 году среднесуточная нагрузка на комплексы на базе современных крепей достигла 1205 т, что почти в 2,3 раза превышает нагрузку на среднедействующий очистной забой 518 т/сут. В 2003 году из лав, оснащенных мехкомплексами нового уровня, добыто 27,2 млн. т угля (44,2% от общей добычи из КМЗ) при их среднедействующем количестве 61,2 единицы (28,3% от общего количества лав). По данным отраслевой статистики, эксплуатация пяти комплексов с современными крепями дает годовой прирост добычи угля не менее 1,2 млн. т.

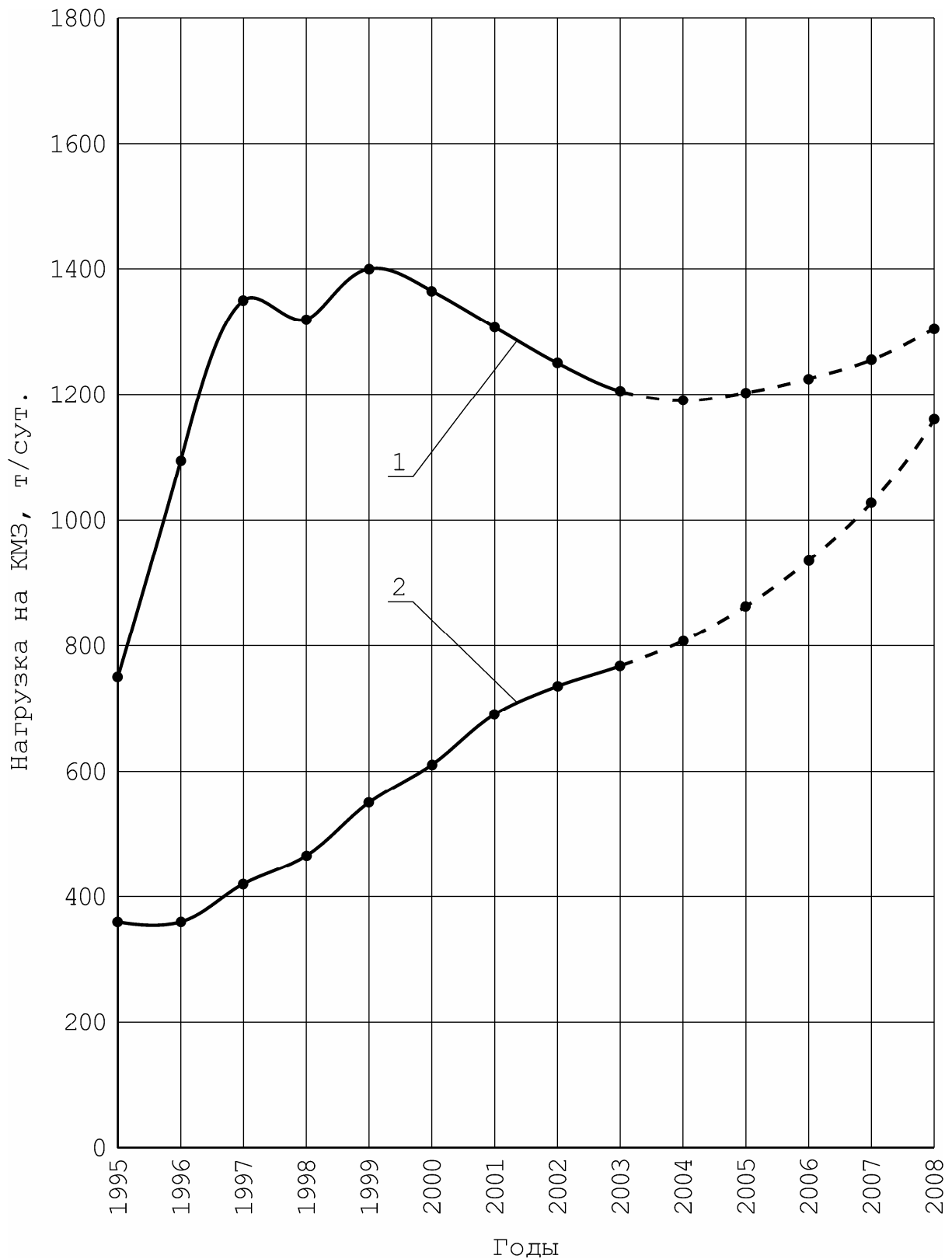


Рис. 1.1. Изменение нагрузок на КМЗ и их количества за 1995-2003 годы и прогноз до 2008 года:
 1 – нагрузка на КМЗ с комплексами нового уровня;
 2 – нагрузка на среднестатистический КМЗ

Однако до середины 2003 года темпы технического перевооружения лав украинских шахт были крайне низки и составляли 3-5% в год, несмотря на очевидные положительные результаты от внедрения очистных комплексов нового поколения. Так, к началу 2003 года большинство (76%) действующих комплексно механизированных очистных забоев было все еще оснащено устаревшими механизированными крепями, а в 95% из них применялись морально устаревшие очистные комбайны и скребковые конвейеры разработки более чем 30-летней давности, расчетный ресурс которых составляет 2,5-5 тыс. ч.

Анализ статистических данных за 1995-2003 годы показывает, что при ежегодных средних темпах сокращения очистных забоев 12% и комплексно-механизированных 6% к концу 2008 года их количество составит 240 и 210 соответственно (рис. 1.2). На ближайшие пять лет возможно прогнозировать два варианта технического перевооружения украинских шахт.

I вариант. Несмотря на увеличение к 2008 году количества среднедействующих лав с современными комплексами до 100-105 единиц при достигнутых за последние годы темпах их внедрения 10-12 единиц и нагрузок на них 1000-1200 т/сут., годовой объем добычи из этих очистных забоев по расчетам составит 38,8 млн. т, а из всех забоев в отрасли только 65,5 млн. т (рис. 1.2), что ниже уровня добычи 2002 года. Такой вариант технического перевооружения не может быть принят для выхода угольной отрасли из кризиса.

II вариант. Намеченные по проекту "Программы технического перевооружения шахт Украины очистными комплексами, проходческим и транспортным оборудованием на 2004-2008 годы" темпы технического перевооружения в 2-2,5 раза должны превысить темпы последних лет. При этом в среднем за год должно вводиться 20-25 лав с новыми очистными комплексами на базе современных щитовых крепей, очистных комбайнов и забойных скребковых конвейеров.

Повышенные в 2-3 раза эксплуатационные показатели новых машин по производительности, энерговооруженности, надежности позволят обеспечить переход на увеличенные до 250-450 м длины лав, вести отработку тонких пластов без присечек боковых пород, резко сократить трудозатраты на концевых операциях в очистных забоях, что, в конечном счете, позволит обеспечить рост нагрузок на комплексы до 1200-1400 т/сут. Техничко-технологические меры по обеспечению указанных средних нагрузок на современные очистные комплексы представлены на рис. 1.3.

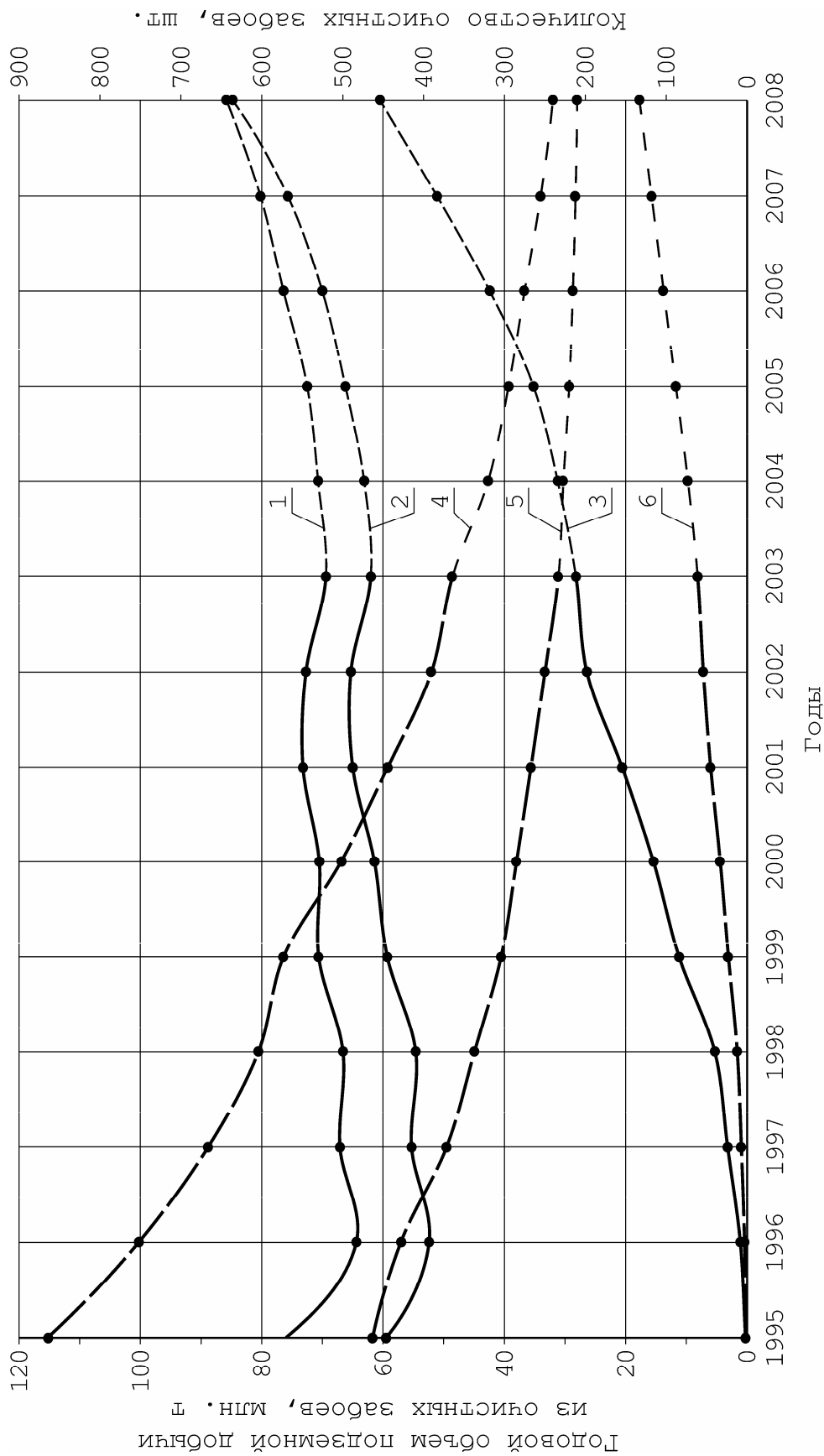


Рис. 1.2. График изменения объемов добычи угля из очистных забоев и их количество за 1995-2003 годы и прогноз до 2008 года:

- 1 – добыча общая подземная из очистных забоев; 2 – добыча из КМЗ; 3 – оснащенных современных временными комплексами; 4 – среднеедействующее количество очистных забоев; 5 – среднеедействующее количество КМЗ; 6 – среднеедействующее количество КМЗ, оснащенных современными комплексами

2250 т/сут.		1730 т/сут.		1440 т/сут.		1205 т/сут.		510 т/сут.	
Средняя нагрузка на лаву с современными шитовыми креплениями, средствами механизации концевых операций, современными скребковыми конвейерами и очистными комбайнами УКД300 и КДК500		Средняя нагрузка на лаву с современными шитовыми креплениями, средствами механизации концевых операций, современными скребковыми конвейерами типа КСД и устаревшими очистными машинами		Средняя нагрузка на лаву с современными шитовыми креплениями и со средними механизации концевых операций и устаревшими выемочно-доставочными машинами		Средняя нагрузка на лаву с современными шитовыми мехкреплениями (КД90, КД90Т, КДД, ДМ) и устаревшими выемочно-доставочными машинами		Средняя нагрузка на лаву со среднестатистическим комплексом устаревшего типа (на 2003 г. - 68%)	
Переход на очистные комбайны современного уровня		Оснащение лав современными скребковыми конвейерами		Механизация концевых операций на сопряжении "лава-штрек"		Переход на шитовые мехкрепления			

Технико-технологические меры по повышению нагрузок

Рис. 1.3. Комплекс мер по повышению нагрузок на лавы перспективных украинских шахт

По этому варианту развития угольной отрасли к концу 2008 года при наличии 133 среднедействующих очистных комплексов, соответствующих мировому уровню, можно получить только на них объем добычи 60,5 млн. т, а 24,3 млн. т. будут добыты из лав, оснащенных очистными комплексами на базе щитовых крепей, прошедших капремонт, и модернизированных очистных комбайнов и конвейеров традиционно применяемых на шахтах Украины, еще 1 млн. т. будет получен из лав с устаревшей техникой. Такой подход даже при существующих темпах сокращения количества действующих забоев позволяет в ближайшие 5 лет выйти на объемы подземной добычи до 91-93 млн. т (с учетом 5-7 млн. т. из проходческих забоев), необходимых для удовлетворения нужд национальной экономики. При этом будет практически полностью вытеснено морально и физически изношенное оборудование (рис. 1.4 и 1.5), которое эксплуатируется сегодня и поставлено на серийное производство 25-40 лет назад (комбайны с цепными системами подачи 1К101У, 1ГШ68, КШ1КГ, КА80, 1К103М; скребковые конвейеры с калибром тяговых цепей 18 мм – СП250; мехкрепь комплектные, рамные и кустовые (МК97, М87, М88, МТ). Такое оборудование с ресурсом, достаточным для обработки только одной ограниченной по длине лавы 170-200 м и длине выемочного столба до 1 км с проектными нагрузками 600-700 т/сут., уже 15-20 лет назад снято с производства во всех развитых угледобывающих странах.

Применение более дешевых отремонтированных щитовых мехкрепей взамен низкоресурсных комплектных, рамных и кустовых позволит не только увеличить добычу угля, производительность труда рабочих, повысить безопасность труда, но и продлить экономически целесообразный срок жизнедеятельности большой группы шахт, не попавших в число перспективных и не получающих бюджетную поддержку на техпереоснащение.

За последние три года украинскими машиностроительными заводами освоены в производстве все базовые виды очистного, проходческого и транспортного оборудования, отвечающего современным требованиям по производительности, безопасности, эргономике, надежности, расчетный ресурс которого составляет 15-40 тыс. ч, то есть минимум в 3 раза выше, чем у заменяемых аналогов.

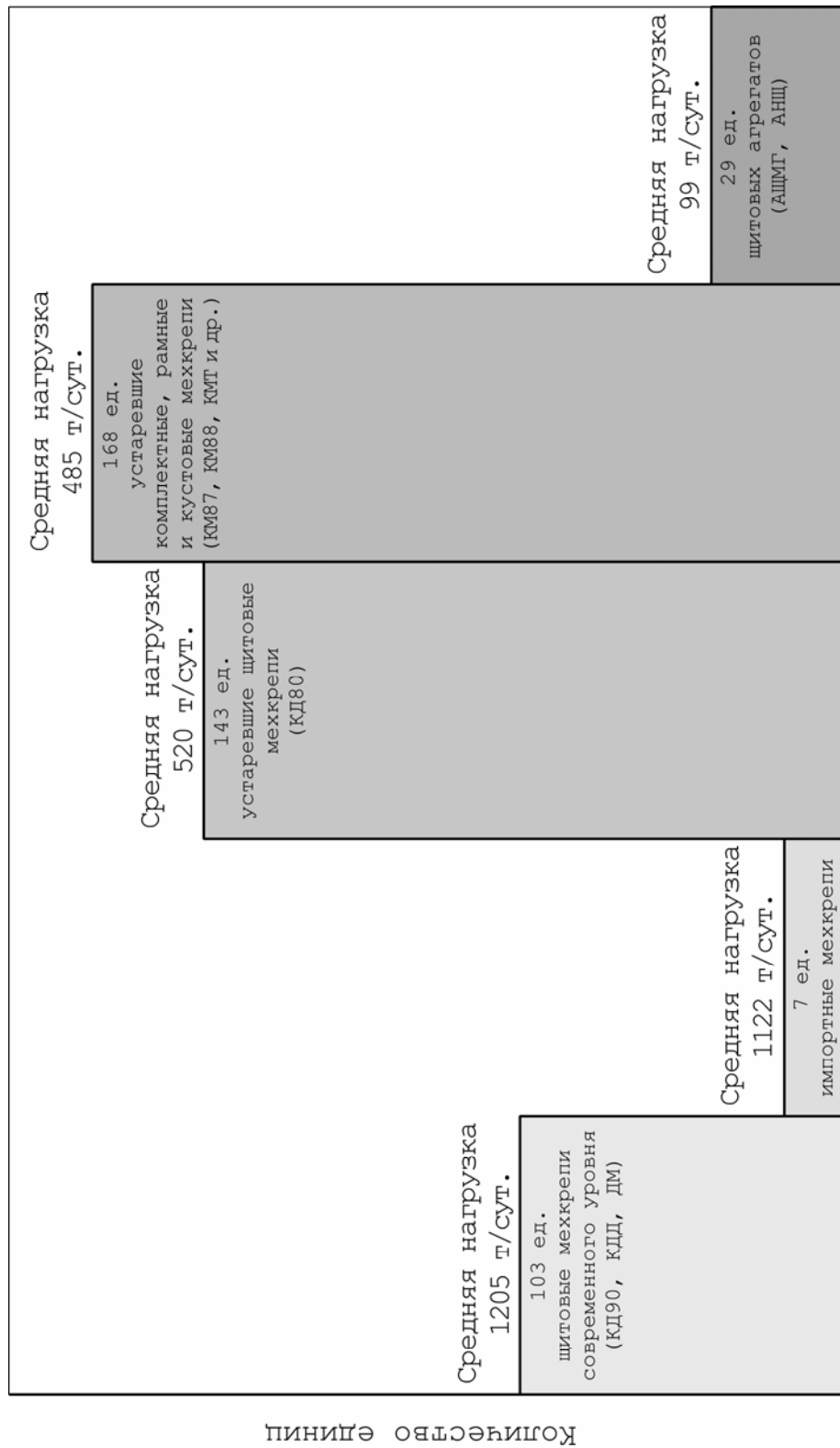


Рис. 1.4. Структура парка механизированных комплексов
в Украине на конец 2003 года

<p>225 ед. с нагрузкой 1450 т/сут.</p>	<p>Очистные комплексы на базе современных шитовых крепей (КД90, КДД, ДМ, ДТ) со средней нагрузкой 1200 т/сут.</p>	<p>в том числе: 100 ед. с современными очистными комбайнами (УКД300, КДК500, КДК700) со средней нагрузкой 1760 т/сут.</p>
<p>90-100 ед. с нагрузкой 600 т/сут.</p>		<p>Очистные комплексы на базе шитовых крепей КД90, КД80, прошедших ремонт, и модернизированных комбайнов</p>
<p>Вид комплекса</p>		<p>Вид комплекса</p>

КОЛИЧЕСТВО ЕДИНИЦ

Рис. 1.5. Структура механизированных комплексов в Украине на конец 2008 года (прогноз)

Создание оборудования нового технического уровня происходит при концентрации усилий ученых, конструкторов и машиностроителей многих отраслей страны, в том числе аэрокосмического комплекса и конверсионных предприятий военной промышленности. Благодаря их совместным усилиям удалось в кратчайшие сроки освоить выпуск:

- нового поколения двухстоечных щитовых крепей ДМ, КДД и ДТ со сроком службы до капитального ремонта не менее 8 лет, с повышенной несущей способностью и раздвижностью практически для всех возможных к промышленной отработке шахтопластов Украины в диапазоне свыше 0,85 м;
- типового ряда двухскоростных скребковых забойных конвейеров типа КСД с энерговооруженностью приводных блоков 160, 200 и 350 кВт, способных при ресурсе 3 млн. т горной массы обеспечить стабильную работу высоконагруженных лав до 10 тыс. т в сутки при их длине 250-350 м;
- высокопроизводительных очистных комбайнов УКД300, КДК500 и КДК700 с принципиально новыми электрическими бесцепными системами подачи на базе частотно-регулируемого привода для диапазона пластов от 0,85 м до 4,2 м и производительностью от 10 до 24 т/мин.;
- энерговооруженных проходческих комбайнов легкого и среднего классов КПД и КПУ для пород крепостью до 120 МПа, оснащенных средствами пылеулавливания и высоконапорного орошения, устройствами для возведения анкерного и арочного крепления;
- типового ряда ленточных конвейеров Л800Д, Л1000Д и Л1200Д, в том числе грузопассажирского исполнения с повышенной приспособляемостью к грузопотокам, оснащенных пожаробезопасными станциями, системами управления, защиты, контроля и диагностики на базе микропроцессорной техники.

Конструктивные решения, технические характеристики и параметры нового поколения очистной, проходческой и транспортной техники максимально соответствуют ее комплексному применению в условиях украинских шахт.

В 2003 году, согласно программе "Государственная поддержка строительства и технического переоснащения предприятий по добыче каменного угля, лигнита (бурого угля) и торфа" (горно-шахтное обо-

рудование), впервые на техническое переоснащение шахт было выделено 756 млн. грн., график выплаты которых полностью выдерживался в течение года. В этом большая заслуга Кабинета Министров и Верховной Рады (особенно комитетов по вопросам бюджета и по вопросам топливно-энергетического комплекса, ядерной политики и ядерной безопасности). За эти средства на 01 января 2004 года введено 62 лавы и в январе 2004 года намечено к вводу еще 5 лав.

Из 62 введенных лав 17 оборудованы мехкрепями современного уровня типа КД90, КД90Т, КДД и ДМ и семь лав полностью оснащены высокопроизводительной техникой нового поколения.

Объем добываемого угля из лав, оснащенных за счет бюджетных средств 2003 года, в 2004 году должен составить 21,8 млн. т, что будет составлять около 27% годового задания. При этом из лав с современными щитовыми крепями будет добываться 17,2 млн. т или чуть менее 20% годового задания.

В настоящее время на шахтах Украины внедряется новое поколение отечественной энерговооруженной и производительной горной техники. Несмотря на имеющиеся объективные трудности, присущие периоду освоения опытных образцов, при промышленных испытаниях получены положительные результаты, подтвердившие правильность принципиальных конструкторских решений и технические характеристики оборудования. Очистными комбайнами КДК500 достигнуты средние нагрузки 1150-1870 т/сут., при максимальной – 3200 т/сут. (ш. "Южнодонбасская №3"), комбайнами УКД300 в условиях маломощных пластов – средние нагрузки 1100-1300 т/сут., а максимальная – 1800 т/сут. (ш. "Павлоградская"). Лава, оснащенная очистным комбайном КДК700, работает прямым ходом и этим очистным комбайном впервые в Украине ведется обработка примыкающих к лаве штреков, что исключает применение двух проходческих комбайнов и двух проходческих бригад. Механизированной крепью ДМ на ш. "Родинская" ведется проходжение геологического нарушения, преодоление которого ранее на этой шахте не обеспечивалось традиционно применяемой техникой. На ш. "1/3 Новогородовская" скребковый конвейер КСД27 в лаве длиной 320 м работает с нагрузками 1800-2300 т/сут. Внедрение техники современного уровня позволяет получать нагрузки, превышающие ранее полученные в аналогичных условиях устаревшими серийными машинами, при резком снижении объемов ручного труда, повышении производительности и безопасности работающего персонала.

Таким образом, сегодня можно с уверенностью сказать, что создана техническая основа для перевооружения предприятий угольной отрасли на базе передовой отечественной техники. Однако, для достижения максимального экономического эффекта от использования этой техники необходим системный подход к решению проблем ее внедрения.

Наибольшая отдача от новой высокоресурсной и производительной очистной, проходческой и транспортной техники будет получена при разработке и реализации долговременной пятилетней программы технического перевооружения угольных шахт Украины. Только объединение усилий горных ученых, технологов, шахтостроителей, экономистов и машиностроителей, совместно с эксплуатационниками, позволит за счет прогрессивных технологий, правильного раскрытия шахтных полей, своевременного устранения "узких" мест по каждой перспективной шахте и научно-технического сопровождения в процессе эксплуатации всех новых комплексов обеспечить ускоренную концентрацию горных работ и интенсификацию производства и выйти на рентабельную добычу угля перспективной группе шахт.

Во исполнение решения Коллегии Минтопэнерго Украины от 15 марта 2003 года "О мерах финансово-экономического оздоровления предприятий угольной отрасли" распоряжением Министра №44-Р от 7 апреля 2003 года создана рабочая группа из специалистов Минтопэнерго и 10 ведущих научно-исследовательских и проектных институтов.

Специфика работы этих научных организаций максимально приближена к решению проблем, накопившихся в угольной отрасли Украины за последние десятилетия.

Одной из основных задач рабочей группы является разработка в рамках Энергетической стратегии долговременной целевой комплексной, научно обоснованной программы технического переоснащения перспективных шахт Украины на 2004-2008 годы, как одной из радикальных мер по выведению угольной отрасли из кризиса.

Основные цели программы:

1. Повышение эффективности работы угледобывающих предприятий и обеспечение объемов подземной добычи угля в Украине на уровне 91-93 млн. т за счет концентрации горных работ и интенсификации производственных процессов на ба-

зе новой высокопроизводительной, ресурсной и безопасной горной техники.

2. Перевод перспективной группы шахт (45-65 единиц) в экономически рентабельные, бездотационные предприятия за счет резкого повышения производительности труда и снижения себестоимости добычи угля.

При разработке программы технического перевооружения шахт рабочей группой с привлечением специалистов угольных предприятий были проведены:

- оценка пропускной способности основных технологических звеньев каждой перспективной шахты при ее техперевооружении горной техникой нового поколения;
- разработаны предложения по устранению "узких" мест на шахтах;
- проведен анализ горно-геологических факторов, ограничивающих добычу угля новой техникой и разработаны мероприятия по их устранению либо снижению негативного влияния (предварительная дегазация, прогрессивные системы крепления выработок, разгрузка горного массива, прогрессивные противовыбросные мероприятия и др.);
- выбраны оптимальные варианты техперевооружения с учетом графиков ввода-выбытия очистных забоев в 2004-2008 годах по каждой шахте и определены научно-обоснованные комплексы мер по их развитию;
- разработаны предложения по приоритетным направлениям государственных капитальных вложений и государственной поддержки с целью эффективного, научно-обоснованного использования бюджетных средств, направляемых на развитие угольной отрасли и др.

С целью предотвращения распыления средств инвестиционных ресурсов, недопущения дальнейшего снижения производственных мощностей и спада объемов добычи угля Стратегией развития угольной отрасли Украины до 2030 года предусмотрена концентрация средств государственной поддержки, в первую очередь, на поддержании производственных мощностей действующих шахт, их техническом перевооружении, подготовке запасов угля для отработки. Эти положения Стратегии были учтены при составлении проекта "Программы...".

Проект "Программы..." предусматривает использование отечественных научно-технических достижений и машиностроительного потенциала Украины; разработку и выпуск нового отечественного оборудования для замены применяющегося импортного производства, в том числе и российского.

С целью получения максимально возможных результатов проектом "Программы..." предусмотрено техническое переоснащение, в первую очередь, более мощных шахт, способных обеспечить суточные нагрузки на лаву не менее 1200-1500 т/сут. и эффективную эксплуатацию новой техники в течение последующих лет.

Общий годовой объем добычи от внедрения современных очистных комплексов, стоимость оборудования, количество очистных и проходческих забоев приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Наименование	Годы				
	2004	2005	2006	2007	2008
Стоимость очистного и проходческого оборудования, млн. грн.	947,7	947,7	1171,6	1113,6	870,7
Количество очистных забоев, ед.	64	44	45	43	37
Количество мехкрепей, ед.	60	41	43	40	33
Количество проходческих забоев, ед.	47	84	67	49	33
Количество проходческих комбайнов, ед.	26	45	50	33	21
Суммарная среднесуточная нагрузка на лавы, оснащенные за бюджетные средства, т/сут.	79434	55100	66820	58050	46670
Годовой объем добычи от внедрения очистных комплексов за бюджетные средства, млн. т	9,1	6,3	7,7	6,7	5,4
Общий объем добычи от внедрения очистных комплексов за бюджетные средства с учетом добычи в предыдущие годы, млн. т	9,1	22,5	35,1	47,7	58,2

Успешная реализация "Программы..." возможна только при всестороннем решении проблем угольного производства, в том числе

увеличения объемов проходческих работ для воссоздания фронта очистной линии забоев, замены стационарного оборудования основных технологических комплексов и финансирования развития шахт. В проекте "Программы..." предусмотрен комплексный подход к техническому перевооружению каждого перспективного угольного предприятия: наряду с поставкой очистного оборудования современного уровня планируется оснащение шахты проходческим, стационарным и транспортным оборудованием, что позволит получить более эффективные технико-экономические показатели работы переоснащаемых шахт.

Источниками финансирования "Программы..." являются бюджетные средства господдержки, привлеченные средства инвесторов и собственные средства угольных предприятий.

По предварительной оценке для ускоренного техперевооружения шахт новой, отвечающей требованиям мирового уровня, очистной, проходческой и транспортной техникой, необходимо ежегодное выделение переоснащаемой группе шахт 1,8-2,3 млрд. грн. бюджетных средств господдержки, в том числе – на изготовление современного горно-шахтного оборудования 1,1-1,3 млрд. грн. Конкретные объемы финансирования и номенклатура оборудования будут ежегодно уточняться при приемке бизнес-планов шахт.

Предлагаемая программа и меры ее реализации позволят в пределах коротких сроков не только дать новый импульс росту производительности труда в угольной отрасли, интенсификации добычи угля при дальнейшей концентрации горных работ, повысить качество добываемого угля, но и резко повысить безопасность горняцкого труда, снизить социальную напряженность в шахтерских коллективах за счет полной ликвидации трудоемких ручных операций и техногенных катастроф.

Широкомасштабное внедрение новых очистных комплексов, проходческих комбайнов и ленточных конвейеров позволит снизить себестоимость добычи угля переоснащаемой группе шахт и выйти на бездотационную работу, обеспечить выживаемость большой группы украинских шахт, в том числе отработывающих тонкие пласты.

Реализация программы должна обеспечить энергетическую безопасность в условиях перехода страны к рыночной экономике и заложить основы долгосрочного, стабильного энергообеспечения хозяйственного механизма Украины.

1.1.3. Основные факторы обеспечения роста нагрузок на комплексно-механизированные очистные забои на период до 2008 года

Переход на щитовые механизированные крепи взамен устаревших рамных, кустовых и комплектных крепей резко сокращает вероятность вывалообразования и обрушения кровли в рабочее пространство лавы, что позволяет поднять коэффициент машинного времени комбайна с 0,15 до 0,35-0,4.

В настоящее время очистные забои, оснащенные очистными комплексами на базе устаревших крепей (М87, М88, МТ, МК98), работают со средней нагрузкой 510 т/сут. Нагрузка на современные механизированные комплексы на базе щитовых крепей КД90, КД90Т, КДД и ДМ составила за последние три года 1350 т/сут.

Таким образом, только переход очистных комплексов на новые щитовые крепи при сохранении выемочно-доставочной техники прежнего уровня обеспечивает рост нагрузки на лаву в $1350 : 510 = 2,65$ раза.

Механизация вспомогательных работ. Применение крепей сопряжения УКС и МКС; штрековых перегружателей на базе конвейеров ряда КСД с конвейерными дробилками; специальных концевых секций механизированных крепей с обратными консолями; концевых секций крепи, обеспечивающих крепление в зоне приводных блоков скребкового конвейера и их передвижку, сокращает трудоемкость на сопряжении "лава-штрек" (70% от всей трудоемкости по лаве) и тем самым обеспечивает рост нагрузок на комплексно-механизированные очистные забои минимум на 10-20% за счет роста коэффициента машинного времени добычной техники.

Механизация вспомогательных операций на добычном участке позволит, как минимум в 1,15 раза повысить нагрузки на лаву и довести их в среднем до $1350 \times 1,15 = 1550$ т/сут.

Оснащение современных комплексов типа МКД90 новыми двухскоростными энерговооруженными и высокоресурсными скребковыми конвейерами типа КСД позволит повысить длину лав в среднем на 25%, сократить объемы подготовительных работ и удельные затраты на концевых операциях. Суточные нагрузки на современных комплексах только от увеличения средней длины лав с 200 до 250 м ориентировочно возрастут на 15-25% (расчетно).

Переоснащение очистных комплексов типа МКД90 энерговооруженными добычными комбайнами современного уровня УКД300, КДК500 с повышенной в 1,5-2,5 раза производительностью при коэффициенте машинного времени 0,4 позволит повысить нагрузку на вводимые лавы в 1,2-1,4 раза (расчетно).

Таким образом, переход на новое поколение выемочно-доставочной техники в лаве позволит повысить среднюю нагрузку на забой до $1550 \times 1,2 \times 1,3 = 2400$ т/сут.

Повышение темпов проходки. Высокая скорость отработки лав, оснащенных современными очистными комплексами, требует повышения темпов проходки, которые в настоящее время в среднем составляют 105 м/мес.

Применение комбайновой технологии проходки с помощью современных проходческих комбайнов типа КПД, КПУ позволит обеспечить высокие темпы проведения подготовительных выработок до 200-450 м в месяц за счет повышения скорости обработки забоя, механизации работ по креплению выработок, существенного снижения запыленности на рабочих местах проходчиков.

Использование ленточных конвейеров нового типажного ряда 1Л800Д и 1Л1000Д, надежность и ресурс которых повышены в 1,7 раза, экономичность по удельным энергозатратам – в 1,5 раза, бесперегрузочная длина транспортирования – в 1,5 раза, позволит обеспечить стабильную работу транспортных цепей высоконагруженных лав при увеличении площади шахтных полей за счет прирезки ранее законсервированных запасов угля и оставшихся запасов от закрываемых шахт.

1.1.4. Основные принципы технического переоснащения

Учитывая передовой зарубежный опыт и однозначность пути выхода базовой угольной отрасли Украины из кризиса путем технического переоснащения шахт современными высокопроизводительными очистными комплексами, необходим новый подход к изготовлению и поставке горной техники при техперевооружении наших шахт, основные принципы которого:

- разработка индивидуальных проектов добычных и подготовительных участков с учетом конкретных горно-геологических и горнотехнических условий шахт на базе нового поколения высоконадежных забойных машин, систем силового оборудова-

ния на напряжение 1140В и аппаратуры управления, контроля и диагностики на базе микропроцессорной техники, в том числе, с привлечением технологий аэрокосмического комплекса;

- освоение в производстве в течение одного года и масштабное внедрение всей номенклатуры оборудования, необходимого для обеспечения полной механизации всех технологических процессов, а также техники для дегазации и высокоэффективного проветривания на высоконагруженных добычных участках (1000 т/сут. и более) и высокоскоростных проходческих забоях (200 м/мес. и более);
- комплексная поставка оборудования добычному участку в строгом соответствии с проектом, согласованным с органами Госнадзорохрантруда Украины, от одного завода-изготовителя (например, Дружковского машзавода, который в 60-80-е годы поставлял очистные комплексы производства нескольких заводов угольного машиностроения всем шахтам СССР, учитывая особую сложность и ответственность с позиций безопасности этих изделий).

1.1.5. Ожидаемые результаты от внедрения программы технического переоснащения

Предлагаемая программа и меры ее реализации позволят в предельно короткие сроки не только дать новый импульс росту производительности труда в угольной отрасли, интенсификации добычи угля при дальнейшей концентрации горных работ, а следовательно, и снижению себестоимости угля, но и резко повысить безопасность горняцкого труда, снизить социальную напряженность в шахтерских коллективах за счет полной ликвидации трудоемких ручных операций и техногенных катастроф.

Широкомасштабное внедрение новых очистных комплексов, проходческих комбайнов и ленточных конвейеров позволит снизить себестоимость добычи угля перспективной группе шахт и выйти на бездотационную работу, обеспечить выживаемость большой группы украинских шахт, в том числе отрабатывающих тонкие пласты.

Намеченные по программе темпы технического перевооружения перспективных шахт Украины позволят за 5 лет сформировать парк современных производительных и высокоресурсных очистных ком-

плексов в 225 единиц и стабильно добывать ими 110 млн. т угля в год, достаточных для энергетической безопасности и развития промышленного комплекса страны.

1.2. Технология очистных работ в комплексно-механизированных очистных забоях при разработке пологих и наклонных угольных пластов

1.2.1. Структура технологии выемки угля и компоновка оборудования в очистном забое

Технология выемки угля в длинных очистных забоях (забои, у которых длина больше ширины рабочего пространства в 10 и более раз) имеет гибкую структуру. Число элементов, слагающих структуру, может изменяться в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий. При любых изменениях структуры постоянными элементами остаются отбойка и погрузка угля, транспортирование угля вдоль забоя, крепление рабочего пространства и управление горным давлением, передвижка забойного конвейера, концевые операции.

Средства механизации производственных процессов включают: выемочную машину, забойный конвейер, механизированную крепь, в отдельных случаях – крепь сопряжения на концевых участках лавы. Рабочее место выполнения производственных процессов и операций в очистном забое характеризуется делением на технологические зоны (рис. 1.6). В рабочем пространстве лавы и на сопряжении ее с подготовительными выработками выделяют следующие зоны: I – зона установки призабойной крепи; II – зона передвижки посадочной крепи (сокращения рабочего пространства); III – зона крепления ниши и части лавы до привода конвейера; IV – зона крепления на участке приводной головки конвейера; V – зона крепления бровки лавы; VI – зона крепления для выполнения мероприятий по охране подготовительной выработки; VII – зона крепления сопряжения подготовительной выработки с лавой; VIII – зона усиления крепи выработки впереди лавы; IX – зона усиления выработки за лавой. Диапазон применения того или иного типа механизированной крепи определяется нижним и верхним пределом колебания вынимаемой мощности пласта по длине выемочного поля.

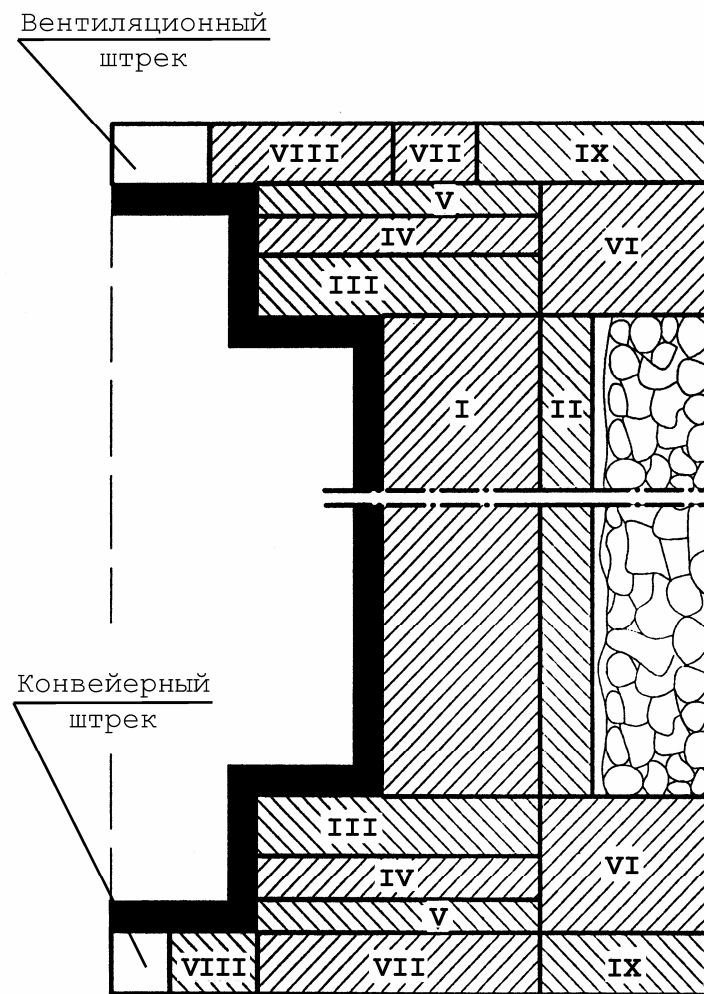


Рис. 1.6. Схема компоновки технологических зон в очистном забое

Компоновка механизированной крепи зависит от способа управления горным давлением в очистном забое. При способе управления горным давлением полным обрушением ширина рабочего пространства очистного забоя активно влияет на обрушение пород в выработанном пространстве. Ширина рабочего пространства не может быть меньше, чем шаг обрушения пород.

Удельное сопротивление механизированной крепи зависит от ширины рабочего пространства, максимальной зоны разрушения угля и прочностных свойств вмещающих пород. Задний ряд крепи должен обладать такой способностью, чтобы обеспечить разлом пришедших в движение горных пород при посадке основной кровли.

Выбор способа отбойки угля зависит от физико-механических свойств угольного пласта; состояния угольного массива и вмещающих пород; наличия соответствующих средств; требований к качеству угля и затратам на выемку угля.

Процесс выемки угля сочетает в себе разрушение угольного массива и погрузку отбитого угля на забойный конвейер. В очистном забое этот процесс может выполняться:

- одной выемочной машиной;
- несколькими выемочными машинами.

Угольные комбайны производят разрушение полосы угольного пласта с фланга очистного забоя, перемещаясь вдоль его линии. Таким образом, осуществляется фланговая выемка угольной полосы (рис. 1.7).

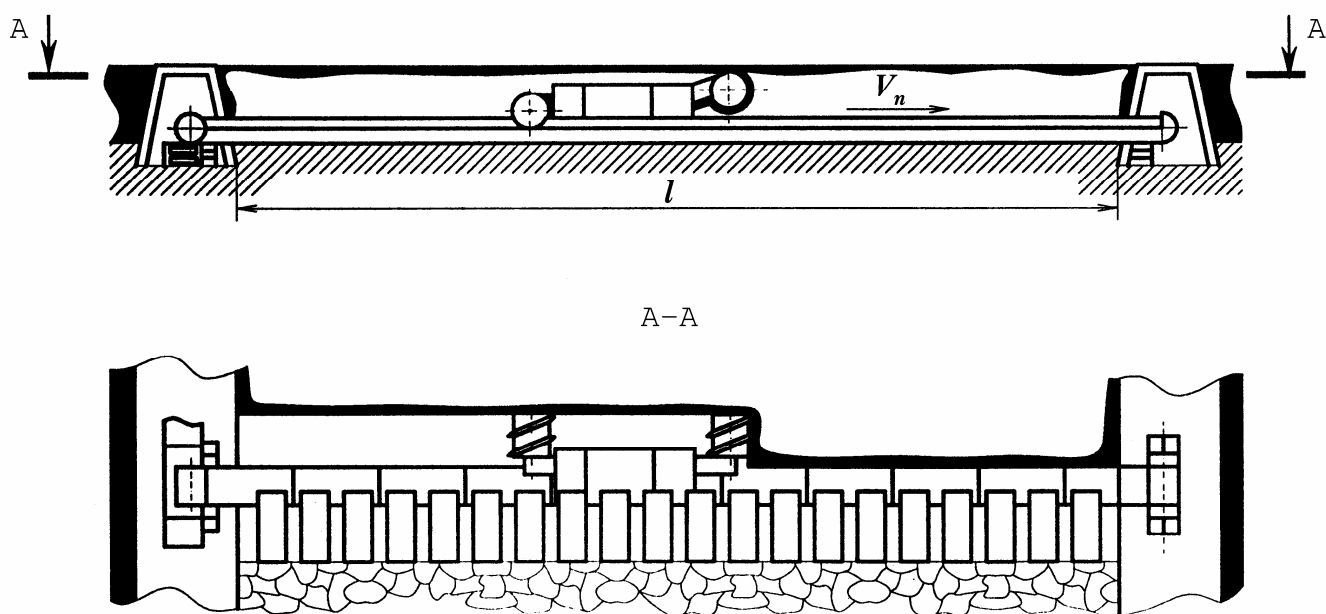


Рис. 1.7. Схема фланговой выемки угольной полосы

Отбитый уголь грузится на забойный конвейер исполнительным органом угольного комбайна. Оставшаяся отбитая часть угля, находящаяся на почве пласта, загружается на конвейер при помощи лемехов, которые закреплены на корпусе комбайна.

Способ зарубки зависит от конструктивного исполнения комбайна и может выполняться косыми заездами, фронтально и с ниши. Зарубка комбайна в пласт косыми заездами применима практически всеми типами комбайнов (рис. 1.8). Фронтальная зарубка комбайна в пласт возможна при наличии исполнительных барабанных органов (рис. 1.9).

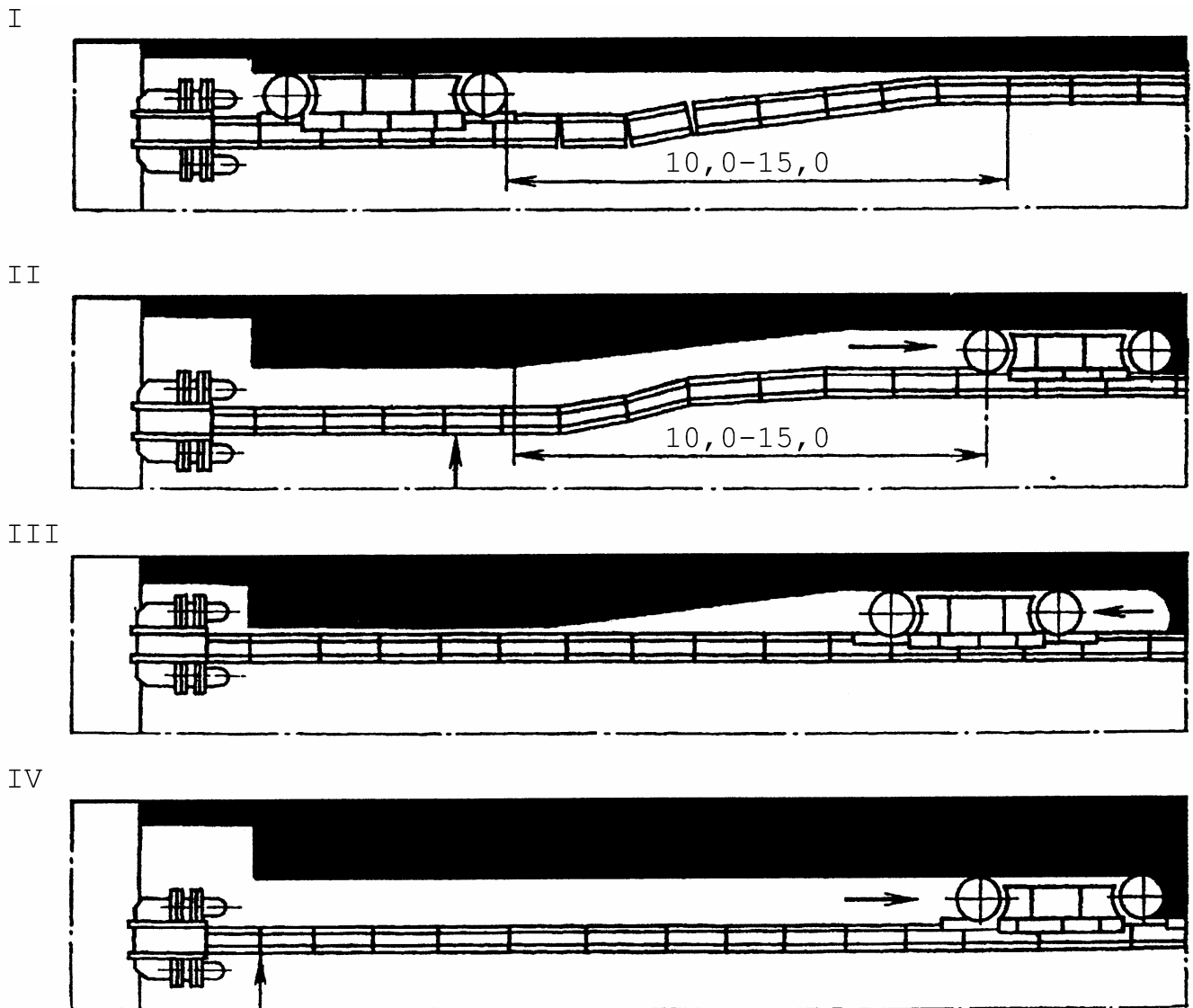


Рис. 1.8. Схема зарубки комбайна в угольный пласт
косыми заездами

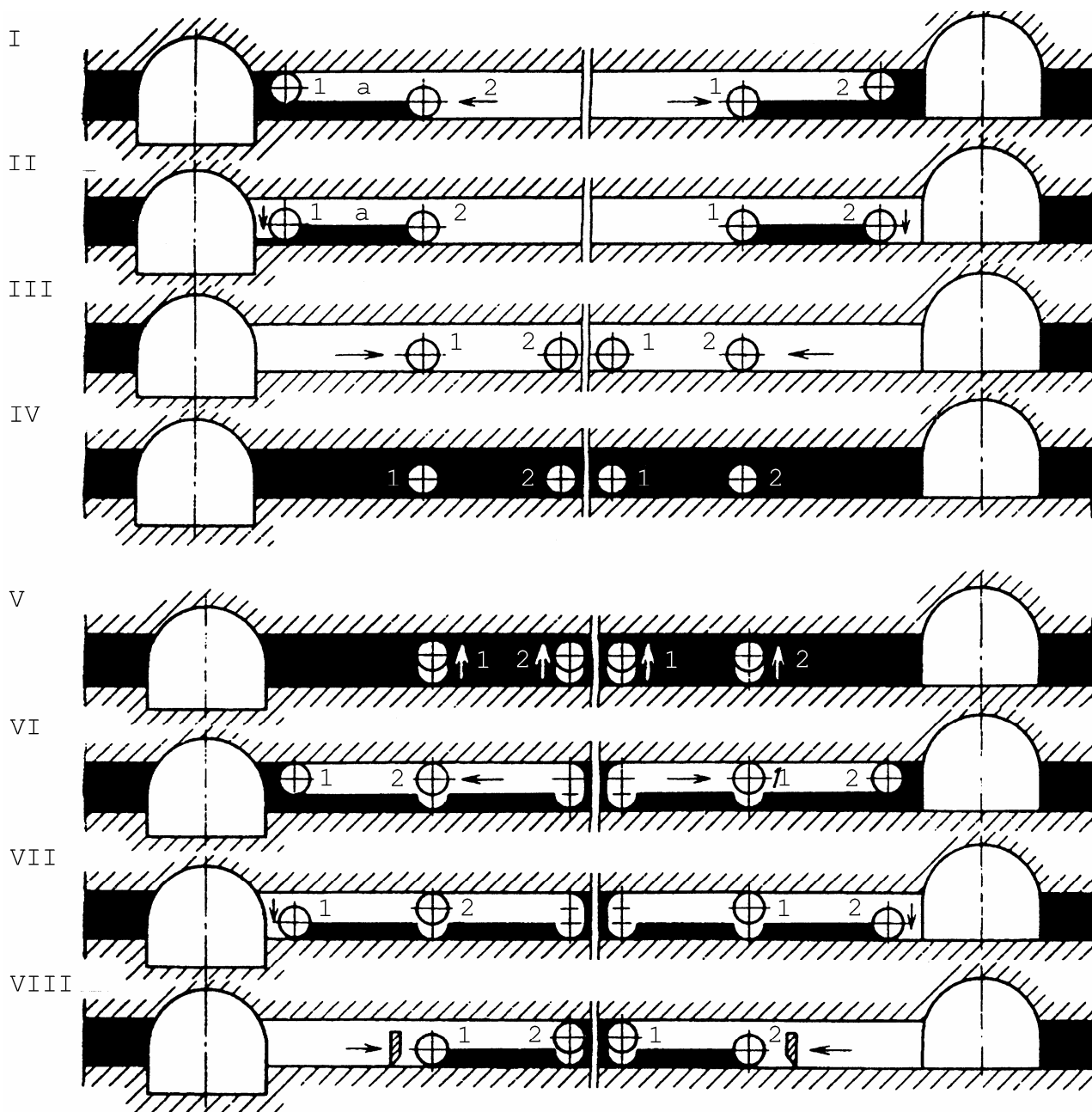


Рис. 1.9. Схема фронтальной зарубки комбайна в угольный пласт

Схема фронтально-флангового способа самозарубки комбайнов в пласт приведена на рис. 1.10. Схема фронтально-флангового способа самозарубки комбайнов на пластах тонких и средней мощности приведена на рис. 1.11.

Зарубка комбайна с ниш состоит в том, что на концевых участках очистного забоя предварительно подготавливают ниши при помощи нишенарезных машин, буровзрывных работ или отбойных молотков (рис. 1.12).

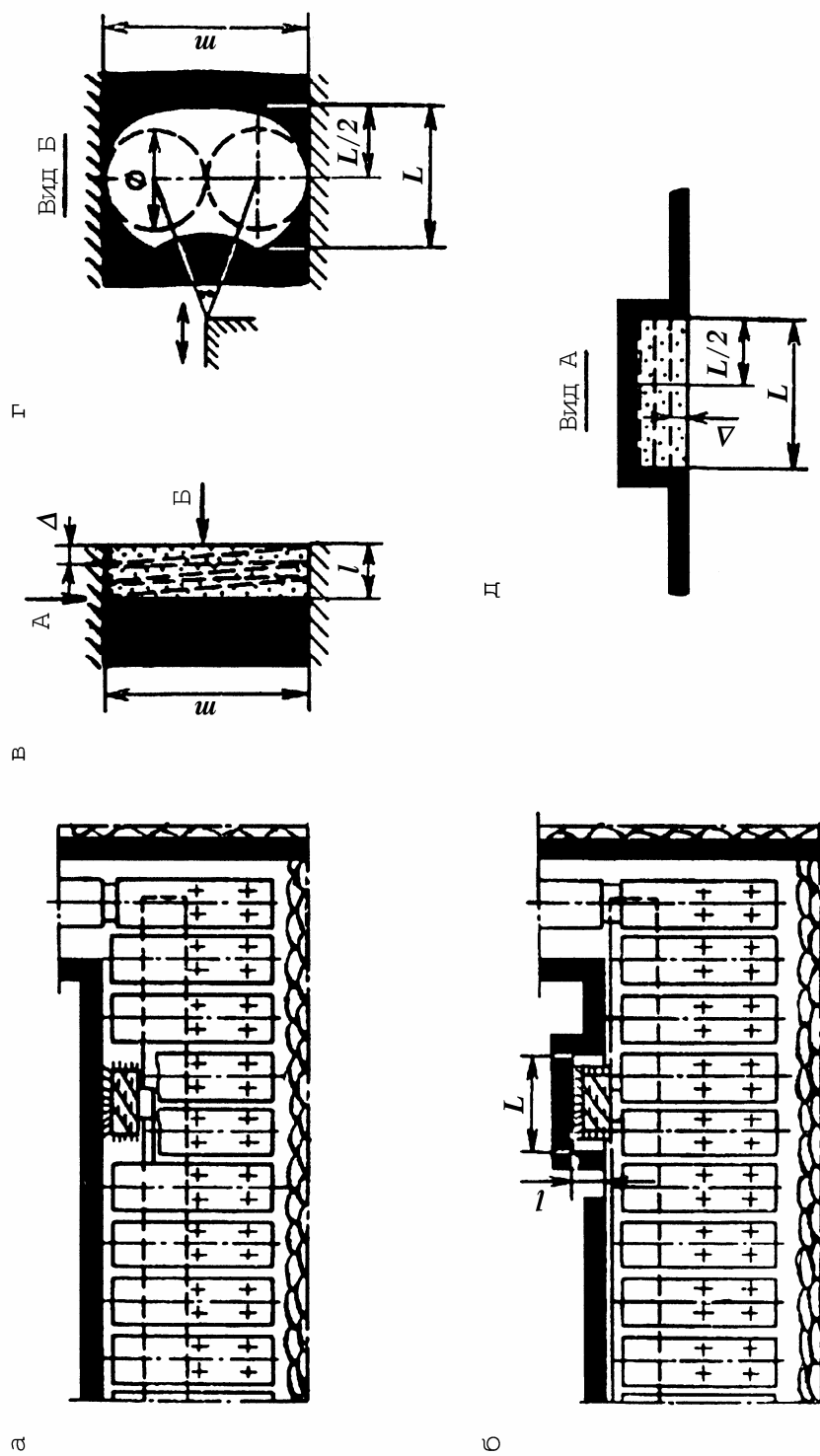


Рис. 1.10. Схема фронтально-флангового способа зарубки комбайнов:

а – начальная стадия, вид сбоку; б – конечная стадия;

в – конечная стадия, вид сверху; г – сечение заборя с фазами самозарубки

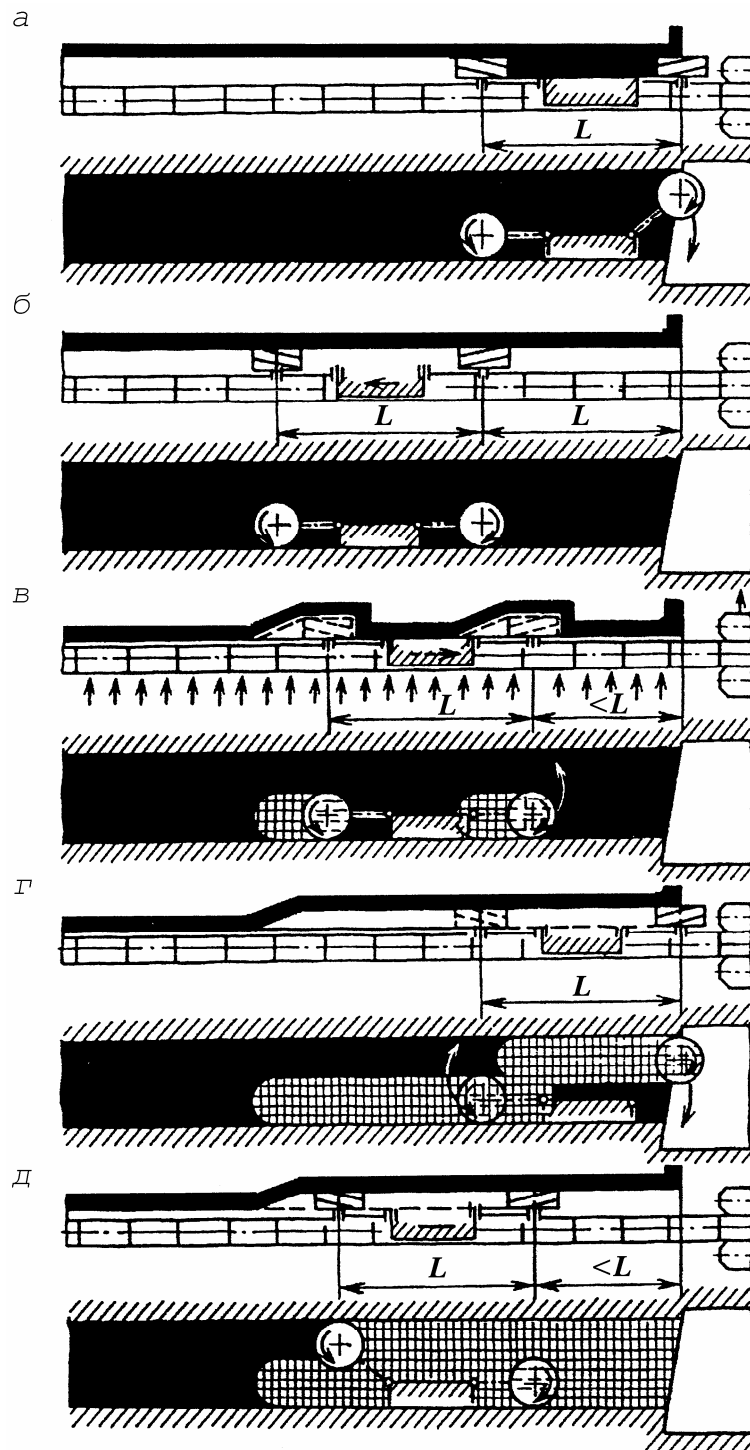


Рис. 1.11. Технологическая схема фронтально-фланговой самозарубки шнекового комбайна 2ГШ68БС

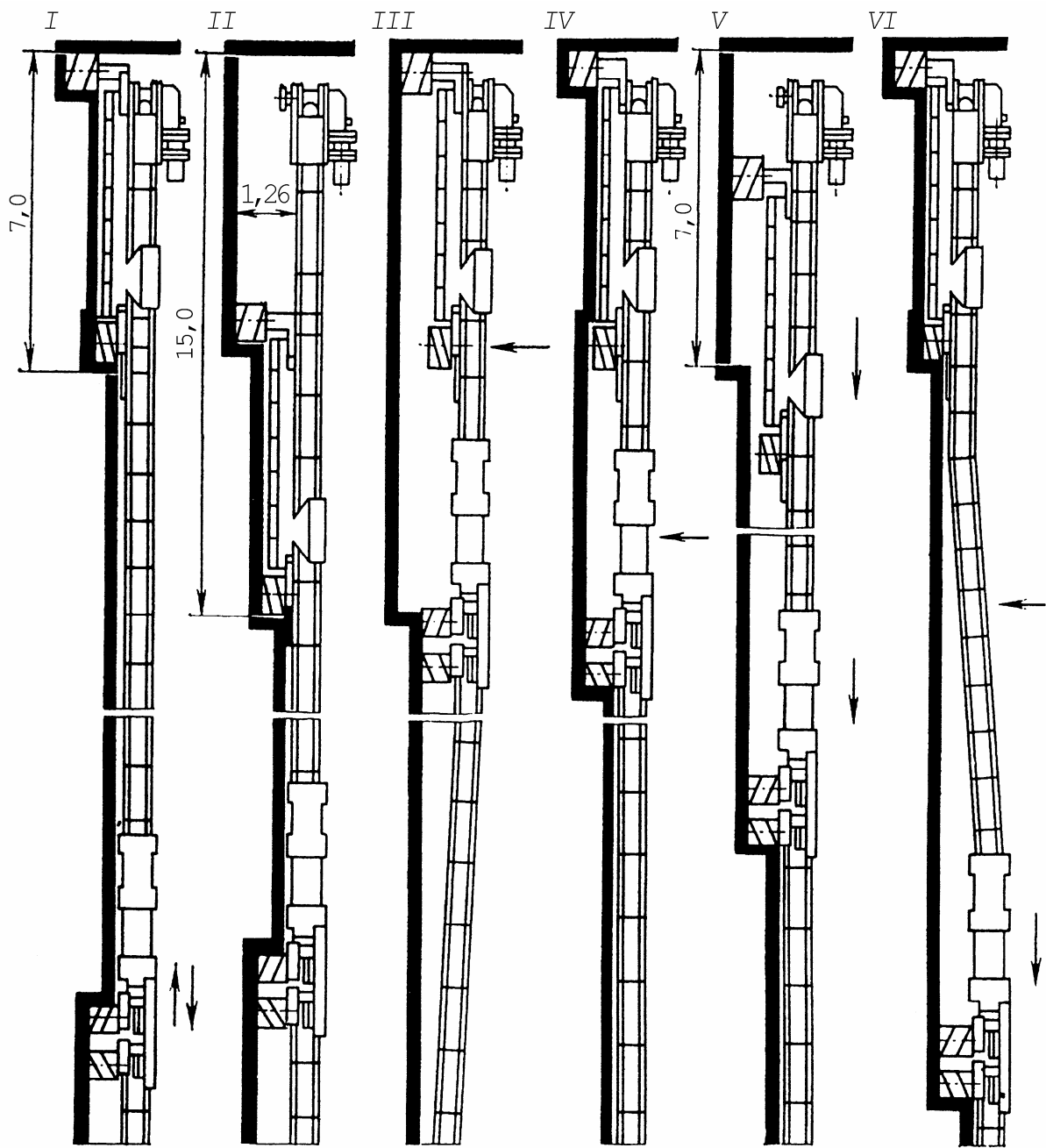


Рис. 1.12. Схема зарубки комбайна с ниш, предварительно подготовленной при помощи нишенарезных машин

На пластах с углами падения $0-35^\circ$ уголь вдоль забоя транспортируется скребковыми конвейерами. Конвейер служит базовой конструкцией, которая направляет и несет комбайн. Забойный конвейер – это основная конструкция, размещенная по всей лаве и соединяющая все забойные машины в один технологический комплекс.

В составе механизированных комплексов нового поколения типа ДМ, КДД, ДТ применяется двухскоростной скребковый конвейер типа КСД с энерговооруженностью приводных блоков 160, 200 и 350 кВт. На пластах с углом падения 18-35° забойные конвейеры оборудуются предохранительными устройствами, которые удерживают их от сползания под действием собственного веса.

В КМЗ процессы крепления и управления горным давлением осуществляются одновременно при передвижке секций крепи. Процесс передвижки секций крепи должен быть хорошо увязан во времени и пространстве с выемкой, транспортировкой угля, передвижкой конвейера и работами на сопряжении. Эффективность очистных работ и качество добываемой продукции во многом зависит от работы механизированной крепи. Характеристика механизированной крепи приведена в табл. 1.2.

1.2.2. Технология выемки угля на пологих пластах комбайнами с механизированной крепью

Технологическая схема очистных работ с узкозахватными комбайнами и механизированными крепями включает процесс выемки угля, его транспортирование вдоль забоя, крепление, передвижку конвейера, управление состоянием горного массива и концевые операции.

Механизированный комплекс включает следующее: узкозахватный комбайн с шириной захвата исполнительного органа 0,63 и 0,8 м; кабелеукладчик, забойный конвейер, гидродомкраты передвижки конвейера, механизированную крепь (рис. 1.13).

Вслед за проходом комбайна секции крепи разгружаются и подтягиваются к ставу конвейера. Для удовлетворительного состояния пород кровли необходимо процесс крепления производить в зоне активного сближения боковых пород, которое вызвано выемкой угольного уступа комбайном. В этот период разгрузка секции крепи и сближение пород происходят в одном направлении. В рабочем пространстве очистного забоя породы деформируются в одном режиме и не разрушаются. При распоре секции стойки крепи быстро выходят на режим несущей способности и препятствуют сближению пород. В большинстве случаев скорость крепления ограничивает скорость подачи комбайна и не дает возможности использовать технические преимущества очистных комбайнов.

Таблица 1.2

Характеристика механизированных крепей

Наименование парметров	Украина				Россия	Польша	Германия
	2КДДН	2КД90	1КД99	КД80			
1. Мощность обслуживаемых пластов, м	1,4-2,7	0,8-1,25	0,8-1,3	0,85-1,2	1,55-2,5	Glinik 08/2202 1,0-2,2	ОВТ 70/150 1,0-1,5
2. Шаг передвижки секций, м	0,63	0,63	0,63; 0,8	0,8	0,63	0,63	0,63
3. Шаг установки секций, м	1,5	1,5	0,8	1,35	1,5	1,5	1,5
4. Удельное сопротивление, кН/м ²	465	514-554	536-573	465-474	450-570	336-482	490-570
5. Сопротивление секций, кН	2600	2988-3217	3030-3240	2592-2637	2460-3180	1605-2250	2690-3130
6. Удельное сопротивление на конце передней консоли, кН/м	85	410-441	412-440	321-327	51	88	378
7. Давление на почву, МПа		1,05-1,13	1,12-1,18	1,49-1,6	0,92-1,2	0,63-0,9	1,3-1,5
8. Максимальное давление в напорной магистрали, МПа	32	32	32	32	32	30	32
9. Давление срабатывания предохранительного клапана, МПа	39	39	39	39	44	38	42
10. Усилие передвижки, Кн: - секции - конвейера	400 250	392 230	304 180	304 180	493 288	339 188	297 161
11. Коэффициент затяжки кровли	0,9	0,9	0,9	0,9	0,85	0,85	0,85
12. Масса секции, кг	8700	7100	6400	5900	9056	8358	7800

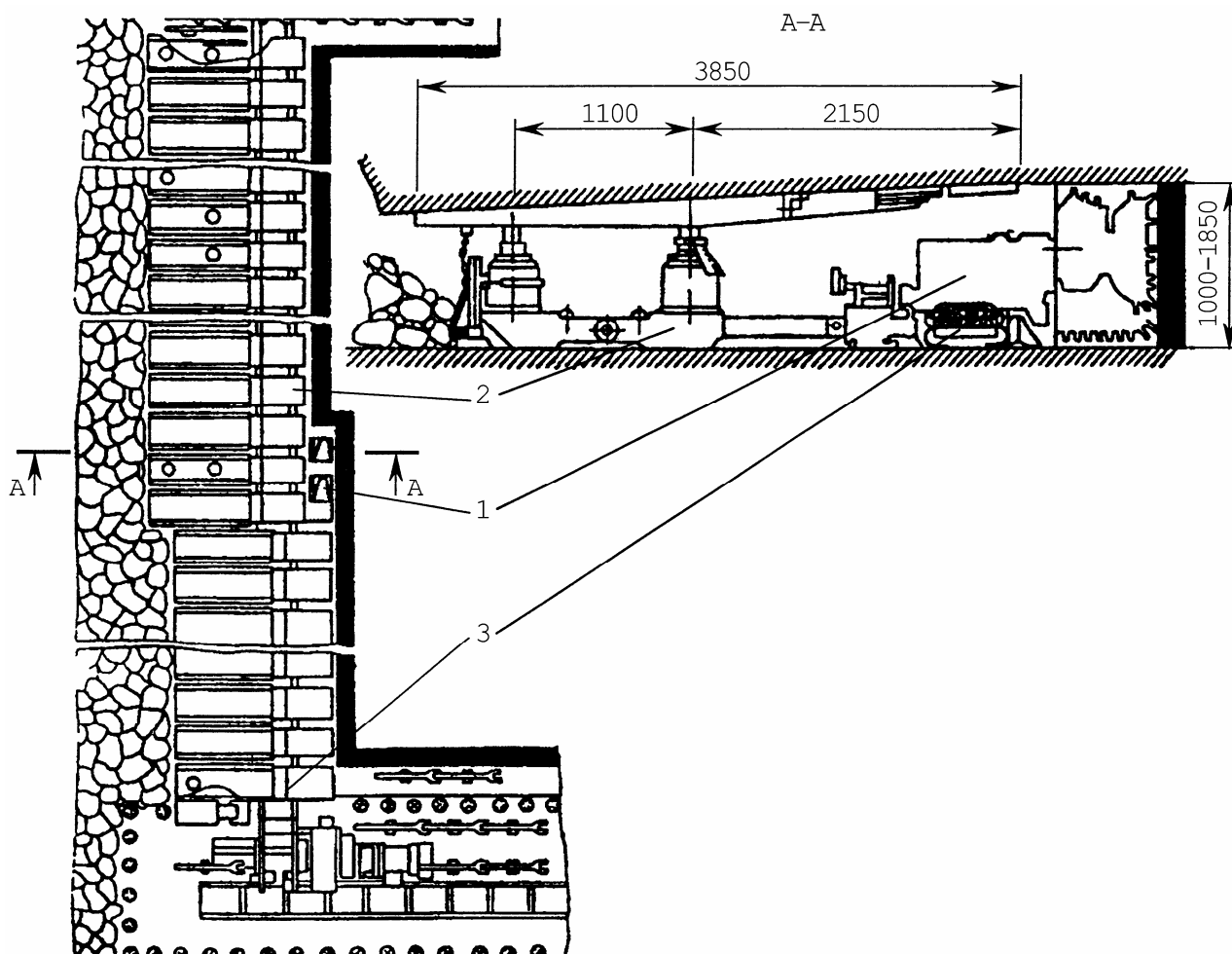


Рис. 1.13. Технологическая схема выемки угля механизированным комплексом:

- 1 – комбайн;
- 2 – механизированная крепь;
- 3 – забойный конвейер

Угольные комбайны

Комбайн 1К101У является самым массовым комбайном, который предназначен для выемки угля в пластах мощностью 0,78-1,3 м с углом падения 0-35° при сопротивлении угля резанию до 300 кН/м. Однако, конструкция комбайна морально устарела. Он не соответствует современному техническому уровню по энерговооруженности и другим параметрам.

Комбайн 1К103М предназначен для выемки весьма тонких и тонких пологих пластов мощностью 0,6-1,4 м. Комбайн имеет два шнековых исполнительных органа и вынесенную цепную систему подачи. Основным достоинством комбайна является небольшая высота корпуса в зоне крепи. Комбайн имеет низкие показатели надежности и ресурса.

Комбайн КДК500 предназначен для механизированной выемки угля в составе очистных комплексов типа МКДД, МКД90, МКД90Т и др., оборудованных конвейерами КСД27, КСД28, КСД210, СПЦ27 и др., в высокопроизводительных очистных забоях пологих и наклонных пластов мощностью 1,35-3,2 м при сопротивляемости угля резанию до 360 кН/м.

Комбайн УКД300 предназначен для механизированной выемки угля в составе очистных комплексов 1МКДД, МДМ, оснащенных конвейером КСД26В, в очистных забоях пологих и наклонных пластов мощностью 0,8-1,5 м при сопротивляемости угля резанию до 360 кН/м. Он имеет встроенную подающую часть с частотным регулированием скорости подачи.

Сравнительные характеристики очистных комбайнов представлены в табл. 1.3 и табл. 1.4.

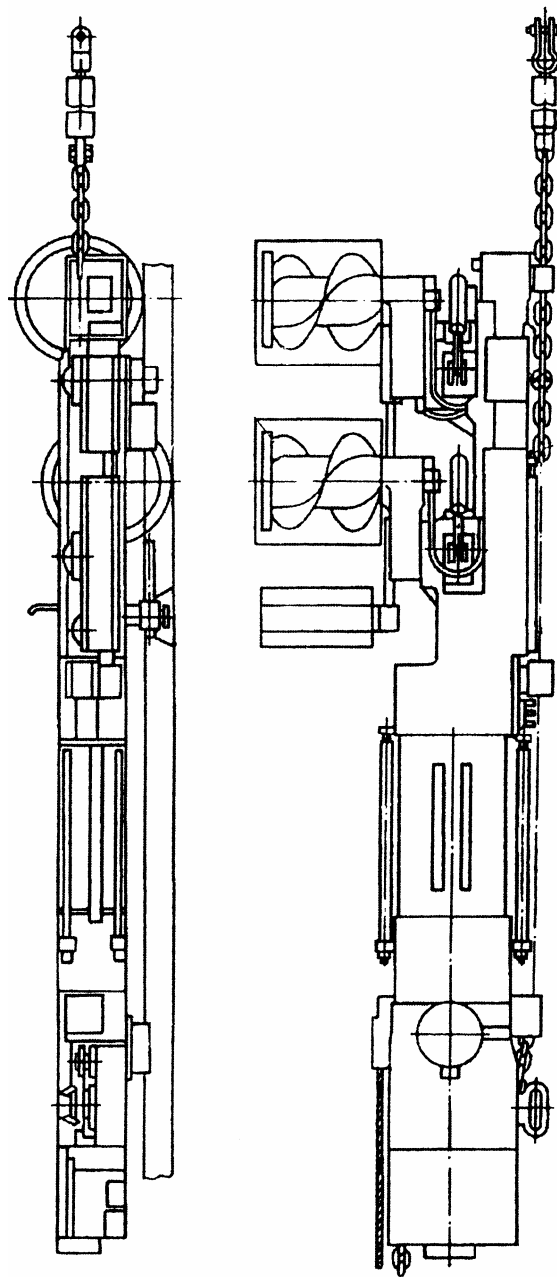


Рис. 1.14. Очистной комбайн 1К101У

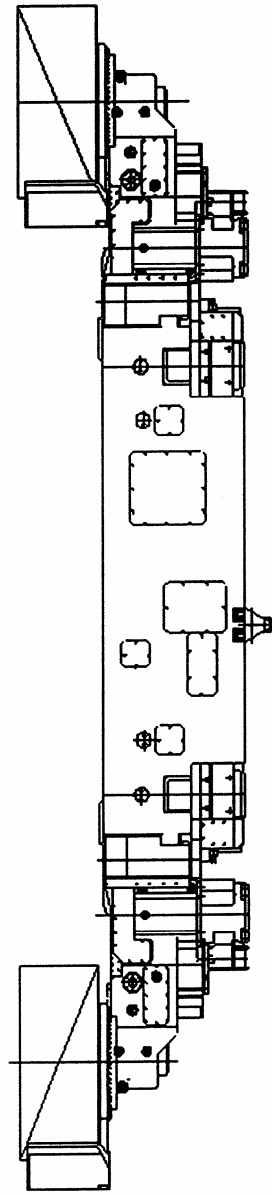
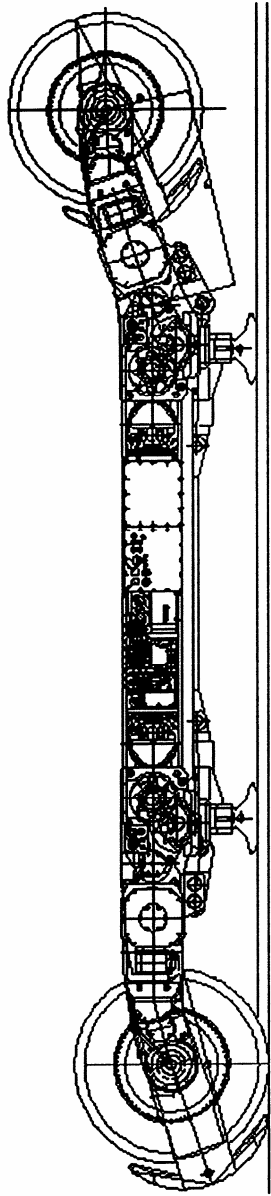


Рис. 1.15. Очистной комбайн КДК500

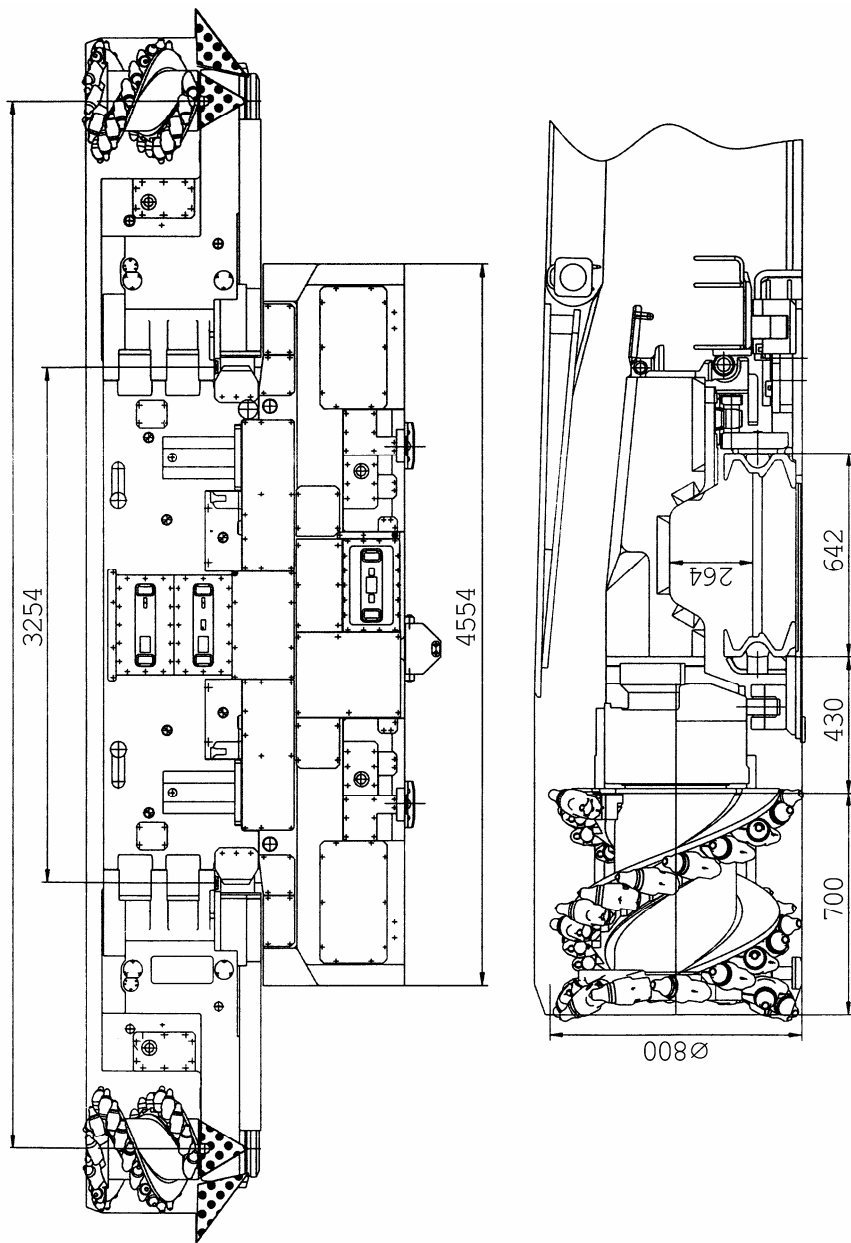


Рис. 1.16. Очистной комбайн УКД300

**Сравнительные характеристики отечественных и зарубежных комбайнов
для выемки пластов мощностью 0,8-1,2 м**

Наименование показателя	Тип комбайна, страна-изготовитель										
	УКД300	КБТ	К 103М	1К101У	1К101УД	КА80	ГШ200В	К85	MB220E	EDW-170LN	EDW-300LN
	Украина										
Производительность, т/мин.	4,0-8,0	3,0-8,0	2,0-3,2	до 2,6	2,7-4,5	2,2-3,3	3,0-5,0	2,7-4,5	нет данных	нет данных	нет данных
Вынимаемая мощность пласта, м	0,85-1,5	0,85-1,2	0,7-1,4	0,95-1,3	0,95-1,3	0,85-1,2	1,05-1,45	0,95-1,5	1,0-1,7	0,75-1,2	1,1-1,7
Номинальная мощность привода, кВт: - исполнительного органа - подачи	2×150 2×30	220 2×22,5	2×90 2×55	110	180 2×55	180 2×55	180 2×55	180 2×55	2×90 2×16	170	2×150 2×17,5
Диаметр исполнительного органа, мм	800	800	800	800	800	950	800	800	850	1050	1000
Номинальная ширина захвата, м	0,63; 0,8	0,63; 0,8	0,63; 0,8	0,8	0,8	0,8	0,63; 0,8	0,8	0,65	0,750	0,8
Тип механизма подачи	БСП	БСП	ВСП	гидравлическая цепная	ВСП	ВСП	ВСП	ВСП	БСП	гидравлическая	БСП
Максимальная рабочая скорость подачи, м/мин.	12,0	12,0	5,0	4,4	5,0	5,0	5,0	5,0	6	4,8/2,4	5,4/8,6
Тяговое усилие, кН	300	250	200	200	200	200	200	200	280	192/384	280/180
Минимальная высота корпуса в зоне крепи, мм	530	520	636	740	740	520	690	660...720	686	605...800	740
Масса, т	17,5	17,0	17,5	11,0	18,5	17,5	15,0	18,0	16,0	24,0	24,0

Таблица 1.4

**Сравнительные характеристики отечественных и зарубежных комбайнов
для выемки пластов мощностью 1,2-2,5 м**

Наименование показателя	Тип комбайна, страна-изготовитель																
	КДК500	2ГШ68Б	РКУ13	ГШ500	К500	КGS-345	КGE-444/С	MB12-2V2P	EDW-150/165-2L	Elektra 550	RLR700	RI"	EDW-230/250-2L-2B				
Производительность, т/мин.	Украина			нет данных													
Вынимаемая мощность, кВт, в том числе:	5,0-12,0	3,6-6,0	4,5-5,2	5,0-11,0	8,0	Россия		Польша		Германия		Украина		Германия			
Суммарная номинальная мощность электропривода, кВт, в том числе:	1,3-3,2	1,4-2,6	1,35-2,6	1,35-2,7	1,5-3,5	1,2-2,7	1,25-3,1	1,4-2,8	1,6-3,8	1,5-3,5	1,8-4,3	2,2-4,85	1,6-4,5				
- исполнительного органа	597,5	300	200/315	564	635	360	291/451	351	351/381	627	430	500	511/551				
- механизма подачи	500	270	200/285	500	500	300	240/400	300	300	550	374	450	460				
- гидросистемы	90	30	30	60	90	60	44	44	46	70	48	50	46				
Диаметр исполнительного органа, мм	7,5	—	4,5	4,5	45	—	7,5	7,5	5	7,5	11,2	—	5				
Номинальная ширина захвата, м	1120	1250	1250	1120	1400	1250	1250	1400	1500	1500	1100	1600	1500;				
Тип механизма подачи	1250	1400	1400	1250	1600	1400	1400	2000	2000	2000	1300	1800	2000	1500;			
Максимальная рабочая скорость подачи, м/мин.	1400	1600	1600	1600	1800	1500	1500	0,63;	0,65;	0,85;	—	0,63;	0,8	0,65;			
Тяговое усилие, кН	0,63;	0,5;	0,63;	0,63	0,8	0,75;	0,8	0,8	0,8	1,0	0,85;	0,8	0,8	1,0			
Минимальная высота корпуса в зоне крепы, мм	0,8	0,63	0,8	0,63	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1,0	0,85;	0,8	0,8	1,0			
Ресурс, млн. т	эл. част. регулир. БСП	гидравлич. БСП	гидравлич. БСП	электрич. муфта ЭМ	гидравлич. БСП	гидравлич. БСП	гидравлич. БСП	электрическая БСП						эл. част. регулир. БСП	эл. част. регулир. БСП	эл. част. регулир. БСП	
Масса, т	16,0	6,0	5,0 (10,0)	6,0	5,0 (10,0)	6,8	6,9	6,8 (11,5)	7,1	15,4	16,75	8; 5,2	14,3	16,0	550	210; 320	550
	550	220	360	390	450 (250)	400	400	400	550	600	360	210; 320	550	1600	550	210; 320	550
	950	950	950	950	1130	930	829	1120	1240	1072	1000	1645; 1845	1350	1600	1600	1645; 1845	1350
	1100	1200	1186	1200	1130	930	829	1120	1240	1072	1000	1645; 1845	1350	1600	1600	1645; 1845	1350
	1,5	0,95	0,69	0,95	0,95	0,95	0,95	нет данных						3,0	0,92	нет данных	нет данных
	30,0	21,0	24,0	22,0	35,0	19,0	15,0	25,0	33,0	40,0	28,0	36,0	35,0	38,0	38,0	36,0	35,0

Выводы

- В общем парке действующего забойного оборудования удельный вес очистных механизированных комплексов нового технического уровня составляет порядка 20%. В наиболее продуктивных пластах мощностью более 1,2 м примерно в 90% комплексно-механизированных забоев очистное оборудование относится к категории морально устаревшего, малонадежного и непригодного для работы в сложных горно-геологических условиях.
- За счет концентрации научного, конструкторского и производственного потенциала удалось в кратчайшие сроки освоить выпуск:
 - нового поколения двухстоечных щитовых крепей ДМ, КДД и ДТ;
 - типового ряда двухскоростных скребковых конвейеров типа КСД;
 - высокопроизводительных очистных комбайнов УКД300, КДК500 и КДК700.
- Максимальная отдача от новой высокоресурсной и производительной техники будет получена при разработке и реализации долговременной 5-летней программы технического перевооружения угольных шахт Украины.
- С целью получения максимально возможных результатов проекта "Программы..." предусмотрено техническое переоснащение, в первую очередь, более мощных шахт, способных обеспечить нагрузки на лаву не менее 1200-1500 т/сут. и эффективную эксплуатацию новой техники в течение последующих лет.
- Успешная реализация "Программы..." возможна только при всестороннем решении проблем угольного производства, в том числе увеличения объемов проходческих работ для воссоздания фронта очистной линии забоев, замены стационарного оборудования, основных технологических комплексов и финансирования развития шахт.

Литература по разделу 1

1.1. Концепция технического переоснащения перспективных шахт Украины современным горношахтным оборудованием. Разработчики: институты "ДонУГИ" и "Донгипроуглемаш".

1.2. Проект "Программа технического перевооружения шахт Украины". Министерство топлива и энергетики, 2004 г. Разработчики: Департамент угольной промышленности Минтопэнерго Украины, Национальный горный университет, ДонУГИ, Донгипроуглемаш, НИИГМ им. М.М.Федорова, МакНИИ, Институт экономики промышленности НАН Украины, Институт геотехнической механики НАН Украины, Донгипрошахт, Луганскгипрошахт, Днепрогипрошахт.

1.3. Технология подземной разработки пластовых месторождений полезных ископаемых: Учебник для вузов / В.И.Бондаренко, А.М.Кульменко, Ю.Б.Грядущий и др. – Днепропетровск: Поліграфіст, 2003. – 708 с.

1.4. Технология подземной разработки и процессы горных работ в очистных забоях крутых и крутонаклонных угольных пластов: Учебное пособие для вузов / С.С.Гребенкин, С.В.Янко, А.Ф.Булат и др. – Донецк: КП "Регион", 2001. – 418 с.

РАЗДЕЛ 2. ОСОБЕННОСТИ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КОМПЛЕКСНО-МЕХАНИЗИРОВАННЫХ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ

2.1. Управление горным давлением

Производственные наблюдения за состоянием кровли в лавах проводятся с целью:

- проверки достаточности мер по управлению кровлей в высокопроизводительных лавах;
- установления режима работы механизированных крепей (своевременности передвижки, достаточности начального распора) с разработкой мер по улучшению состояния кровли путем повышения рабочего сопротивления крепи, упрочнения призабойной части пласта, внесения изменений в конструкцию крепи;
- определения возможности улучшения состояния кровли посредством организационных мероприятий (изменения последовательности выполнения технологических процессов, повышения скорости подвигания забоя, уменьшения технологических простоев);
- установления степени влияния на состояние кровли принятой схемы подготовки участка (направление подвигания забоя, наличия краевых частей и целиков по соседним пластам).

На основе результатов производственных наблюдений предполагается:

- устанавливать отклонение фактического вывалообразования из кровли от расчетного и определять его причины;
- получать количественные показатели, необходимые для проектирования новых участков на том же пласте;
- своевременно иметь однозначные результаты испытаний крепи;
- определять ориентировочные средние значения для сравнения с результатами наблюдений, полученными на данной шахте, и разрабатывать на этой основе практические рекомендации;
- получать количественные данные, необходимые для составления исходных требований к созданию новых типов крепи;

- устанавливать закономерности между состоянием и техническими мероприятиями по управлению кровлей и ее геологическим строением.

Критерием эффективности применения крепи являются частота и размеры вывалов породы из кровли пласта.

Наиболее существенным для успеха производственных наблюдений является унификация условий их проведения и интерпретации, поскольку только в этом случае возможно сопоставление и обобщение результатов большого числа наблюдений.

Лаву делят на равномерно распределенные по всей ее длине участки наблюдений (например, через каждые четные секции крепи). На таких участках измеряют размеры вывалов породы и выступов в кровле, подсчитывают число трещин и регистрируют состояние поверхности забоя, а также положение конвейера и крепи в лаве.

Наблюдения в каждой лаве проводят обычно дважды в неделю, при хорошей кровле – реже, при плохой – чаще. Иногда лаву обследуют систематически через определенное время, иногда – выборочно, через каждые 20-30 м подвигания. На обследование лавы затрачивается примерно 2-3 ч, что позволяет лицу, ведущему наблюдения, в течение одной смены обследовать также и примыкающие к лаве выработки.

Детальный анализ производится в институте "Донгипроуглемаш", куда направляются следующие данные.

Общие сведения: название шахты, пласта, номер участка, мощность пласта, тип крепи и ее изготовитель, число стоек в секции крепи, усилие начального распора в стойках, номинальное сопротивление стоек, шаг передвижки крепи, способ управления кровлей, тип выемочной машины и ширина ее захвата, длина лавы, дата и время наблюдений.

Результаты наблюдений: показатель склонности кровли к вывалам; средняя площадь вывалов перед крепью; средняя высота вывалов; частота появления вывалов на расстоянии до 0,2 м от забоя; наибольшие по площади вывалы над крепью; число выступов в кровле на 100 м² площади кровли; средняя высота выступов в кровле; длина участков лавы с отжимом угля из верхней части забоя более чем на 0,4 м; среднее расстояние концов консольных перекрытий крепи от забоя; среднее расстояние первого ряда стоек крепи или соответственно носков оснований секций крепи от конвейера; среднее расстояние между конвейером и забоем; число наблюдений; средние значения по отдельным дням наблюдений и по отдельным пунктам наблю-

дений; средние значения и стандартные отклонения для всех замеренных величин.

Определение регрессионных зависимостей: площади вывалов перед крепью от расстояния между концами консолей перекрытий крепи и забоем, высоты вывалов перед крепью от расстояния между концами консолей перекрытий крепи и забоем.

Результаты всех измерений и соответствующих вычислений обобщаются в специальной картотеке.

Давление в гидравлических стойках измеряется на протяжении примерно двух недель на четырех секциях крепи с помощью самопишущих манометров, переставляемых через каждые два-три дня на новые секции крепи.

Давление и расход рабочей жидкости в гидросистеме крепи регистрируются в течение нескольких часов в добычную смену при помощи самопишущих манометров и расходомеров, установленных на концевых секциях крепи в лаве. Анализ полученных данных позволяет получать сведения о перепаде давления на нижнем и верхнем участках лавы в зависимости от расхода рабочей жидкости во время передвижки крепи. Проведение таких измерений, оценка и анализ результатов, а также составление на их основе соответствующих практических рекомендаций осуществляются по методике, разработанной институтом "Донгипроуглемаш".

Такие измерения целесообразно проводить для:

- установления недостаточности рабочего сопротивления крепи в данных условиях (по результатам производственных наблюдений) и необходимости определения причины этого (например, недостаточная производительность насосной станции, малый диаметр напорной магистрали, повреждение уплотнений, клапанов, гидрораспределителей, неправильное обслуживание);
- необходимости представления руководству шахты постоянной или периодической информации о состоянии забойных гидросистем или крепей;
- потребности в практических статистических данных для применения забойного оборудования вновь подготавливаемых выемочных участков или в целях совершенствования конструкции механизированных крепей.

Оценку результатов измерения давления в гидростойках осуществляют по данным лент самопишущих манометров (с пределом измерений до 60 МПа), для чего определяют давление начального рас-

пора P_n , среднее за цикл работы P_c и максимальное или номинальное P_o давление рабочей жидкости в гидростойках. Усилие начального распора и среднее рабочее сопротивление стоек получают путем умножения величины соответствующего давления рабочей жидкости на площадь поперечного сечения цилиндра гидростойки.

Рабочим сопротивлением крепи называют усилие, с которым крепь препятствует опусканию кровли; его определяют по фактически замеренным величинам давления в гидростойках.

Удельное рабочее сопротивление крепи – это рабочее сопротивление, отнесенное к единице площади поддерживаемой кровли (от забоя до задней кромки верхнего перекрытия) и определяют по среднему рабочему сопротивлению гидростоек в течение рабочего цикла секции крепи. В то же время номинальное сопротивление крепи определяют по номинальному (расчетному) значению распорных усилий гидростоек.

Фактическое усилие начального распора нередко бывает значительно ниже номинального. Возможными причинами этого являются недостаточная продолжительность цикла распора секций крепи, наличие вывалов кровли над крепью, недостаточная производительность насосной станции (при передвижке секций крепи одновременно в нескольких местах лавы) и большие потери давления в напорной магистрали.

На рис. 2.1 приведена гистограмма отношения фактического усилия распора механизированной крепи к номинальному по двум лавам. В лаве 1 в 66% случаев фактическое усилие начального распора было больше 80% номинального значения, тогда как в лаве 2 – в 60% случаев.

Отношение измеряемых усилий начального распора к заданному рабочему сопротивлению крепи в 12 обследованных лавых было весьма различным, в среднем, по всем забоям – 62% (рис. 2.2). Гидростойки крепи часто не достигали номинального рабочего сопротивления, соответствующего срабатыванию предохранительного клапана. В среднем максимальное фактическое сопротивление было равно 72% номинального. Таким образом, при необходимости повышения рабочего сопротивления крепи в общем случае более целесообразно увеличивать начальный распор гидростоек, чем повышать их номинальное рабочее сопротивление.

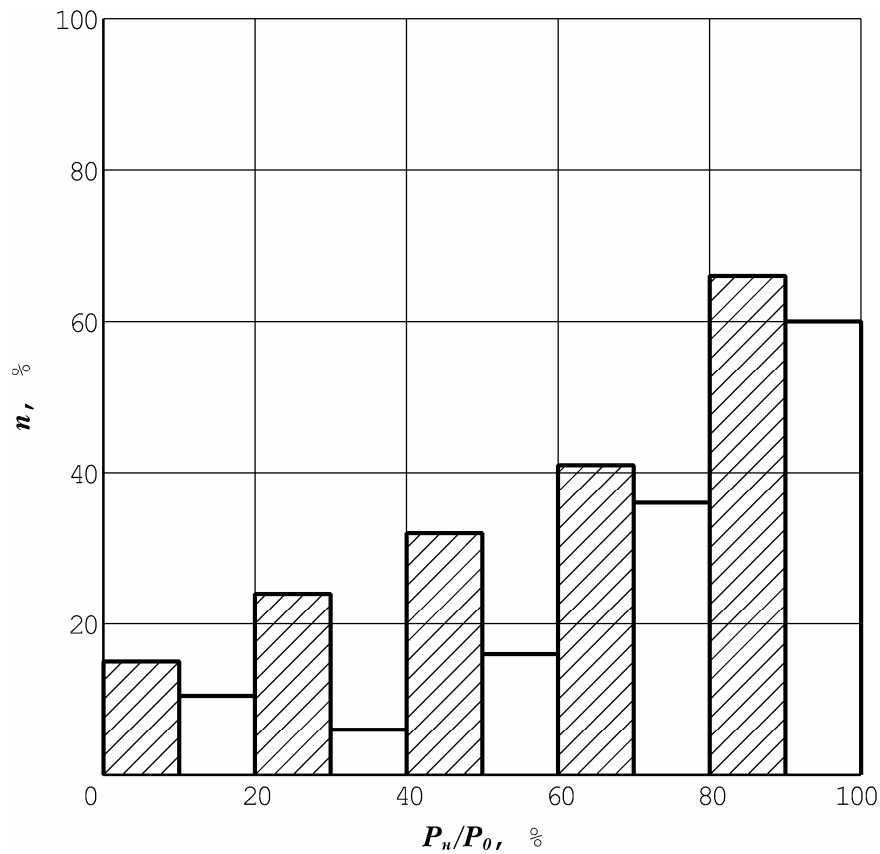


Рис. 2.1. Гистограмма отношения фактического усилия распора к номинальному по двум лавам: заштриховано – лава 1; не заштриховано – лава 2

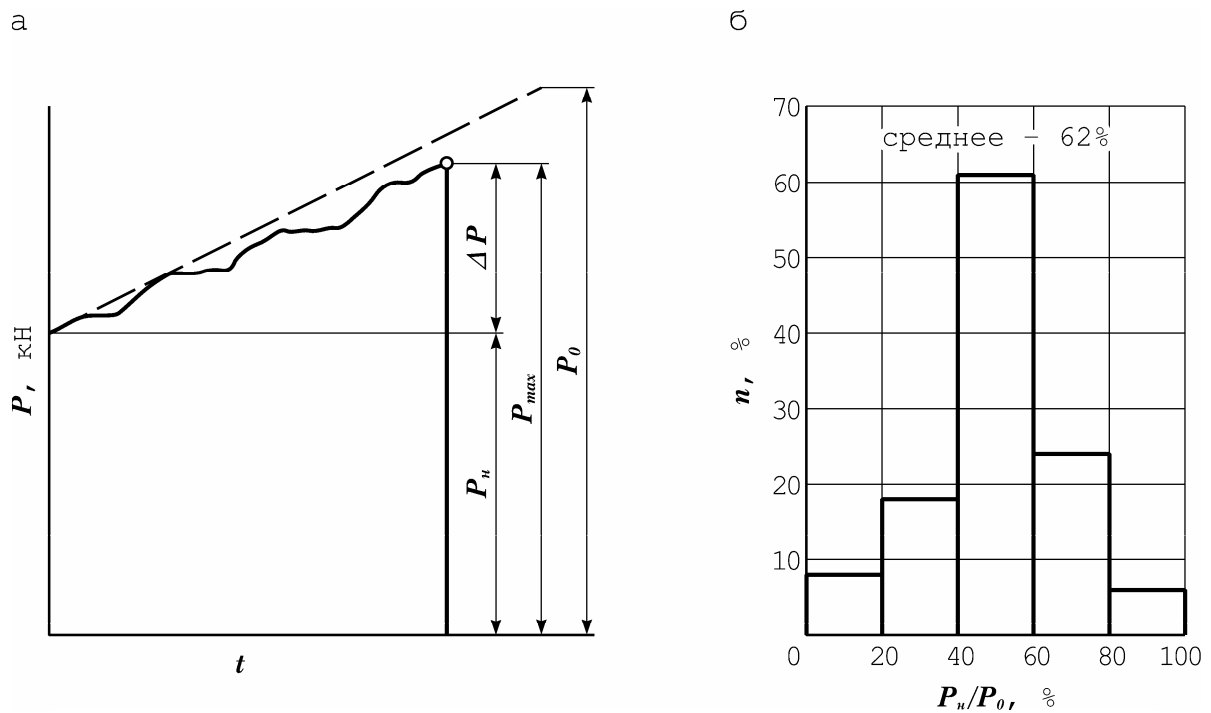


Рис. 2.2. График изменения начального усилия распора, максимального фактического и номинального сопротивлений и прироста сопротивления крепи за время рабочего цикла t (а) и гистограмма отношения P_n/P_0 (б)

Среднее рабочее сопротивление гидростоек определяют по среднему рабочему давлению в них, которое находится в пределах между давлением начального распора и давлением срабатывания предохранительного клапана. При одном и том же давлении начального распора оно бывает тем больше, чем быстрее нагружается стойка под действием оседания кровли.

Из материала рис. 2.3 видно, что при повышении усилия начального распора на 0,5 МН среднее рабочее сопротивление стоек увеличивается на 0,56 МН, в то время как при повышении номинального сопротивления на 0,5 МН рабочее сопротивление возрастает лишь на 0,37 МН. Этим объясняется, почему при необходимости увеличения рабочего сопротивления крепи рекомендуется повышать усилие начального распора, а не номинальное сопротивление.

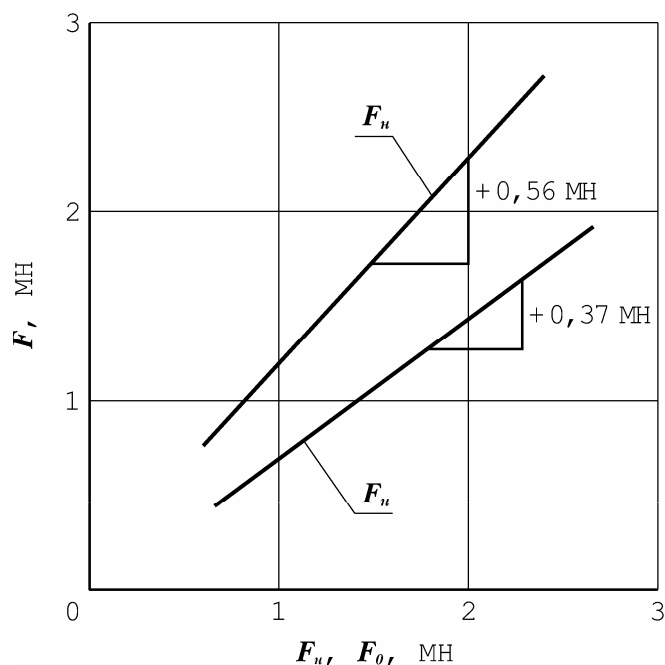


Рис. 2.3. Усредненные характеристики крепи, полученные по результатам измерений в шахтных условиях

Давление в гидросистеме лавной крепи рассмотрим на примере [2.1, 2.2, 2.3].

Подача рабочей жидкости в гидросистему крепи осуществляется насосной станцией, включающей два насоса с подачей по 60 л/мин. Вначале насосная станция располагалась в 30 м от лавы. Кольцевая магистраль в лаве была выполнена из рукавов внутренним диаметром 20 мм, а разводка между секциями – из рукавов внутренним диаметром 13 мм. При отсутствии операций по передвижке крепи давление в гидросистеме колебалось в пределах 30-33 МПа, расход жидкости

составлял 60-75 л/мин. Эти колебания были обусловлены утечками рабочей жидкости из напорной магистрали.

Во время передвижки крепи давление в напорной магистрали снижалось до 18 МПа, а восстанавливалось медленно из-за слишком позднего включения второго насоса.

После установки двух новых насосов с подачей 120 и 80 л/мин. и прокладки по штреку трубопровода длиной 500 м и диаметром 25 мм давление в гидросистеме во время передвижки крепи снижалось только до 30 МПа и относительно быстро восстанавливалось.

На основании результатов измерений можно построить диаграмму "давление – расход", позволяющую определять падение давления при различных расходах рабочей жидкости в напорном трубопроводе (рис. 2.4).

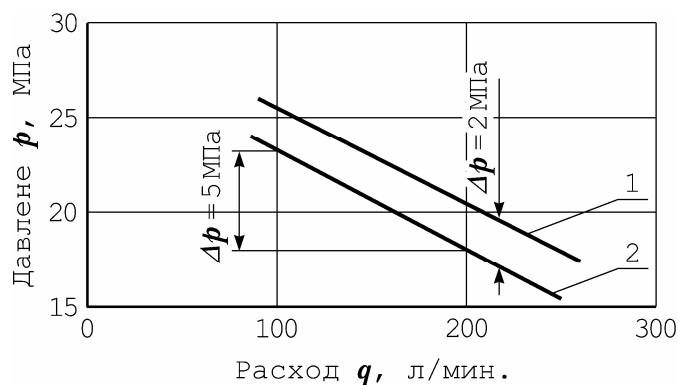


Рис. 2.4. Диаграмма "давление-расход" в гидросистеме лавной крепи при давлении у насосной станции 30-33 МПа: 1, 2 – соответственно у нижнего и верхнего концов лавы

2.2. Критерии качества управления кровлей

Средняя площадь вывалов в призабойном пространстве. Этот показатель, характеризующий удельную площадь вывалов, выводится как среднее по всем измерениям в данной лаве, по измерениям в отдельные дни и по различным наблюдениям, в связи с чем он рассчитывается на ПЭВМ. Такой расчет позволяет установить, изменилась ли удельная площадь вывалов в период наблюдений или же они сосредоточиваются в определенных местах лавы. Если это так, то можно заняться выяснением причин этого обстоятельства.

Средний показатель склонности кровли к вывалам. Этот показатель, определяемый регрессионным анализом, характеризует удель-

ную площадь вывалов при расстоянии между концами консолей перекрытия крепи и забоем, равном 1 м. Критерием эффективности управления кровлей является отношение фактической средней удельной поверхности вывалов к показателям склонности кровли к обрушению.

Частота вывалов высотой более 0,3 м. Этот показатель характеризуется отношением суммарной длины вывалов высотой более 0,3 м к длине лавы. От него в значительной степени зависит реальная скорость подвигания забоя. Так, лавы, оборудованные щитовыми крепями, в которых суммарная протяженность вывалов высотой более 0,3 м не превышала 10% длины лавы, имели среднюю скорость подвигания 2,6 м/сут., а в тех лавых, где она составляла более 30%, средняя скорость подвигания равнялась всего 1,6 м/сут.

Частота выступов при ступенчатом опускании кровли. Частота появления выступов в кровле в общем случае определяется в процентах от длины лавы – отдельно для выступов различной высоты. Если необходимо сравнивать по этому показателю различные лавы, то его относят к 100 м² обследованной кровли, поскольку ширина призабойного пространства в отдельных забоях неодинакова.

Кровля считается опасной по вывалам, если ее показатель склонности к вывалам превышает 10%. В этом случае требуется особая тщательность при креплении призабойного пространства. Кровлю относят к опасной по образованию выступов, или заколов, если она вплоть до отработанного вышележащего пласта представлена прочными породами.

Управление кровлей может быть признано эффективным, если:

- средняя удельная площадь вывалов перед крепью не превышает 10% обследованной площади кровли;
- суммарная протяженность вывалов высотой более 0,3 м меньше 10% длины лавы;
- число выступов высотой 0,1 м и более на 100 м² площади кровли не превышает пяти.

Состояние кровли признается неудовлетворительным, если:

- средняя удельная площадь вывалов перед крепью составляет более 30% обследованной площади кровли;
- частота вывалов высотой более 0,3 м превышает 30%;
- число выступов высотой свыше 0,1 м на 100 м² площади кровли больше десяти.

Мощность пласта не оказывает влияния на склонность кровли к вывалам, но, по-видимому, влияет на отжим угля, и, следовательно, на расстояние между концами верхняков (или призабойных консолей перекрытий) и забоем. Одновременно увеличивается также и частота вывалообразования.

Механизированные крепи на наклонных и крутонаклонных пластах не применяются. Однако при их использовании в опытном порядке на таких пластах оказалось, что они достаточно устойчивы и при наклонном падении. При этом влияния угла падения пласта на вывалообразование установить не удалось.

Влияние глубины разработки на показатель склонности кровли к вывалам, оказывает влияние так же, как и горное давление. Однако это не относится к вывалам высотой менее 0,3 м [2.4].

Удельная площадь вывалов перед крепью характеризует эффективность управления кровлей в лаве. Она наиболее удовлетворительна в лавах с щитовыми крепями, хотя этот вопрос еще нельзя считать полностью решенным. Расстояние между концами верхняков или призабойных козырьков перекрытий от забоя и склонность кровли к вывалам определяют удельную площадь вывалов перед крепью. Оба указанных показателя в лавах с щитовыми крепями имеют наименьшее значение. Хотя средняя высота вывалов в лавах с щитовыми крепями наиболее велика, удельная длина вывалов высотой больше 0,3 м в таких лавах (15%) меньше, чем в лавах с крепями других типов. Это обстоятельство следует объяснить повышением в последующие годы рабочего сопротивления щитовых крепей.

В нормальных случаях при удельном рабочем сопротивлении крепи не менее 300 кН/м^2 частота появления вывалов высотой более 0,5 м невелика.

Показатель склонности кровли к вывалам в лавах с щитовыми крепями меньше, чем в лавах с индивидуальной крепью. Исследования показали, что он не зависит от типа крепи, если только рабочее сопротивление крепи и расстояние между концами верхняков и забоем находятся в пределах допустимых значений. Поэтому его следует считать весьма важным для практики критерием.

Удельная площадь вывалов над крепью в лавах с щитовыми крепями минимальна, поскольку и перед крепью вывалов образуется немного. В результате опускания перекрытий при передвижке секций щитовой крепи она увеличивается примерно на 25%, в то время как при перестановке индивидуальной крепи – только на 20%.

Число и высота вывалов из кровли не зависят от типа крепи. Исключение составляют лишь лавы со стойками трения, что объясняется небольшой несущей способностью этой крепи. Более интенсивные осадки кровли происходят преимущественно при крепких породах кровли, надработанных вышележащим пластом и находящихся в зоне пониженного давления краевой части выработанного пространства. Для предотвращения ступенчатого опускания кровли необходимо увеличивать рабочее сопротивление крепи.

Отжим угля в забое не зависит от типа крепи, а определяется, как установлено к настоящему времени, в основном геологическими факторами, мощностью пласта. Отжим угля, ведущий к увеличению незакрепленной площади кровли, в значительной мере влияет на образование вывалов. Желательно, чтобы выемочная машина заранее оформляла забой в виде наклонной плоскости во избежание последующего непредусмотренного образования откоса в плоскости забоя. Ширина незакрепленной полосы кровли между забоем и концами верхняков или призабойных консолей минимальна при щитовой крепи. В комбайновых лавах она, как правило, несколько меньше, чем в струговых, хотя в последнем случае из-за обычно меньшей мощности пласта отжим угля проявляется более слабо. В лавах с индивидуальной крепью ширина незакрепленной полосы кровли определяется расстоянием до забоя концов верхняков, распертых стойками, поскольку шарнирно навешенные консольные верхняки, как правило, не оказывают сопротивления расслоению кровли. От ширины незакрепленной полосы кровли зависит удельная площадь вывалов. Дальнейшее ее уменьшение можно считать одним из основных вопросов повышения эффективности управления неустойчивой кровлей. Расстояние между забоем и концами призабойных консолей определяется не только конструктивными особенностями крепи и отжимом угля, но и своевременностью передвижки секций крепи и расстоянием между конвейером и забоем.

Расстояние между забоем и концами оснований секций механизированной крепи характеризует своевременность ее передвижки или соответственно запаздывание крепления. В струговых лавах оно в среднем должно быть равным половине шага передвижки крепи.

Расстояние между конвейером и забоем на мощных пластах больше, чем на тонких. К тому же на мощных пластах часто не все гидродомкраты передвижки крепи присоединяют непосредственно к конвейеру, что ведет к росту расстояния между забоем и конвейером или крепью.

Среднее рабочее сопротивление у механизированных крепей различных типов неодинаково. Гидравлические стойки индивидуальной крепи имеют примерно такое же рабочее сопротивление, как и стойки механизированной, а стойки трения – от трети до половины сопротивления стоек механизированной крепи. Щитовые крепи с короткими козырьками верхних перекрытий при относительно небольшом распорном усилии обеспечивают примерно такое же удельное рабочее сопротивление, как и крепи поддерживающего типа. Недостаточное усилие распора крепи в определенных горно-геологических и горнотехнических условиях может быть причиной осадки кровли. Рабочее сопротивление крепи оказывает влияние на вывалы пород из кровли лишь в тех случаях, когда оно меньше определенной критической величины. Поскольку в определенных условиях хорошее управление кровлей достигается и при сравнительно небольшом рабочем сопротивлении крепи, в общем случае следует придерживаться правила, согласно которому повышать сопротивление крепи рекомендуется лишь тогда, когда в кровле образуются вывалы большой высоты или выступы со значительным оседанием породных блоков.

Скорость подвигания лав с щитовыми крепями почти вдвое выше, чем у лав с индивидуальной крепью [2.5].

При передвижке крепи под вывалы, образовавшиеся в незакрепленной полосе кровли между забоем и концами призабойных консолей, в результате разгрузки секций происходит отслаивание породных пачек, ранее удерживаемых консолями. При последующем распоре секций передвинутой крепи разрушаются породные выступы, оставшиеся в промежутках между вывалами. В связи с этим площадь вывала распространяется на весь участок кровли – в призабойном пространстве – от забоя до завальной консоли перекрытия (рис. 2.5). Это явление называют "эффектом топтания кровли". Его вредными последствиями являются скопления породной мелочи на верхнем перекрытии крепи, повышение податливости крепи и пылеобразование. Поэтому необходимо предупреждать даже небольшие вывалы пород перед крепью, в первую очередь за счет уменьшения расстояния между забоем и консолями перекрытий крепи.

В лавах с щитовыми крепями площадь вывалов над верхними перекрытиями также увеличивается [2.6]. Это увеличение составляет примерно 25%.

Верхние перекрытия щитовых крепей не всегда полностью прилегают к кровле. В 22 обследованных лавах со щитовыми крепями в

среднем только в 51% случаев концы призабойных консолей перекрытий непосредственно контактировали с кровлей (рис. 2.6).

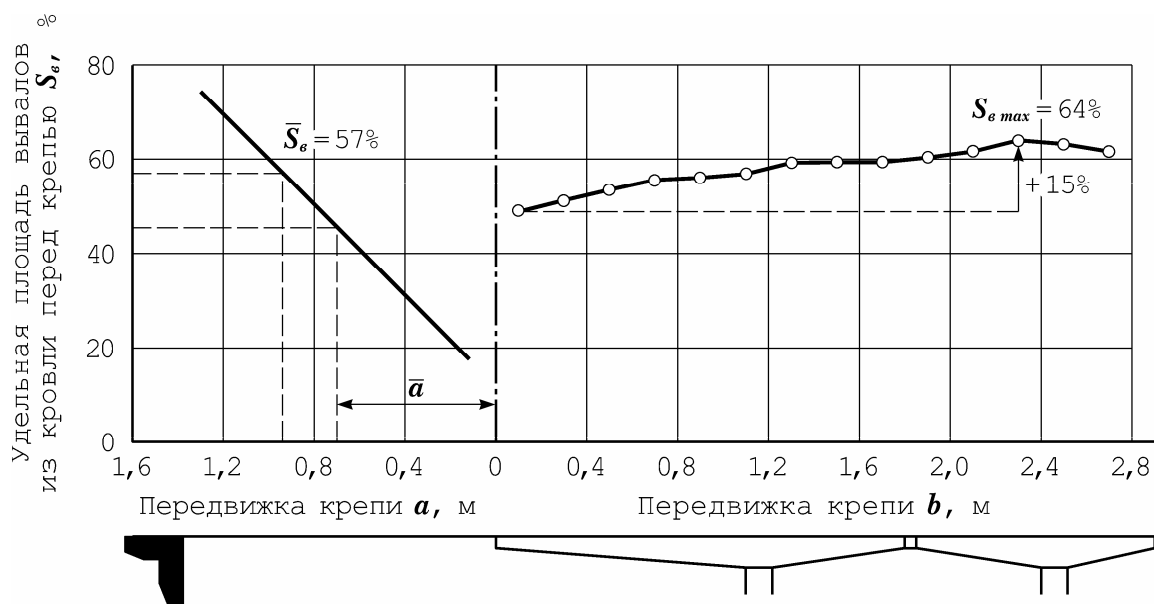


Рис. 2.5. График увеличения площади вывалов из кровли перед крепью S_v при передвижке механизированной крепи

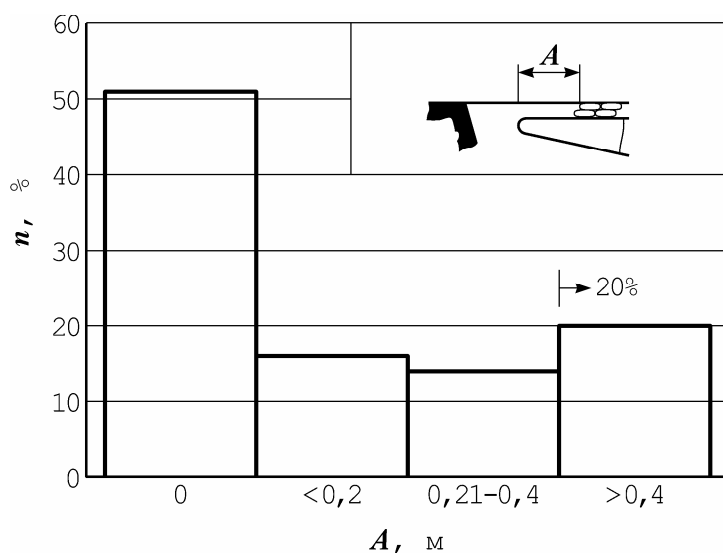


Рис. 2.6. Распределение расстояния A между концом призабойной консоли и первой точкой контакта с кровлей по результатам измерений в 22 лавах со щитовой крепью

В 20% случаев первая точка контакта с кровлей была удалена более чем на 0,4 м от конца консоли. Наиболее существенной причиной этого явления следует считать скопление породной мелочи на перекрытиях, в то время как неровности кровли и длина призабойных консолей имеют подчиненное значение.

Удельная площадь вывалов ставится обычно в зависимость от расстояния между забоем и концами консолей перекрытий. Тем не менее размеры вывалов перед и над крепью определяются шириной полосы незакрепленной кровли с учетом фактического контакта призабойных консолей с поверхностью кровли. При высокой склонности кровли к вывалам последние образуются тем чаще, чем чаще появляются "подушки" из породной мелочи на перекрытиях крепи. Скопления породной мелочи на несущих элементах крепи обуславливают, далее, увеличение податливости крепи, что может приводить к неудовлетворительному первоначальному распору крепи и дальнейшему ухудшению состояния кровли. По этим причинам важно знать толщину и характер воздействия породных "подушек" на состояние кровли. При дальнейшем совершенствовании щитовых механизированных крепей следовало бы попытаться разработать устройство, предупреждающее скопление породной мелочи на несущих элементах.

Наблюдения в 22 лавах со щитовыми крепями показали, что в среднем только на 47% верхних перекрытий секций отсутствуют скопления породной мелочи (рис. 2.7). В 34% случаев толщина породной "подушки" не превышала 0,1 м, а в остальных же была больше 0,1 м [2.7].

Если частоту обнаружения верхних перекрытий щитовой крепи без скоплений породной мелочи соотнести с максимальной удельной площадью вывалов над крепью, то можно установить, что за немногими исключениями увеличение доли таких секций ведет к снижению удельной площади вывалов. В то же время какого-либо влияния длины призабойных консолей перекрытий не установлено. Однако имеется связь между долей перекрытий крепи без скоплений породной мелочи и долей призабойных консолей, концы которых плотно прилегают к кровле. Контакт верхнего перекрытия крепи с кровлей улучшается за счет применения поджимных призабойных консолей в тех случаях, когда на основном перекрытии имеются скопления породной мелочи.

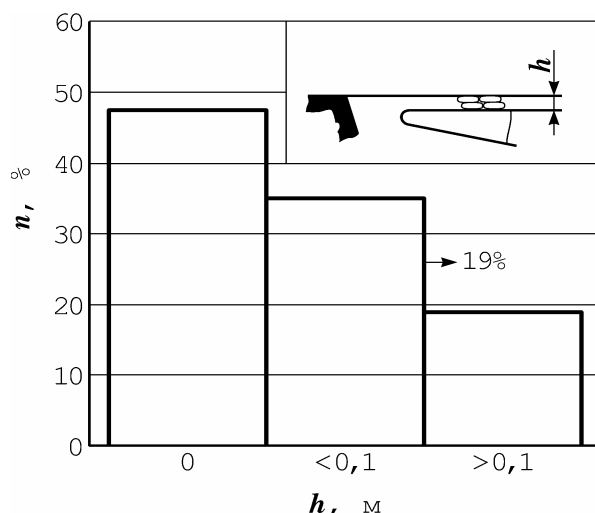


Рис. 2.7. Распределение толщины штыбовой подушки h на верхних перекрытиях щитовой крепи по результатам измерений в 22 лавах

При несвоевременной передвижке или недостаточном распоре передвинутых секций крепи увеличивается промежуток времени, в течение которого свежесоблаженная кровля остается незакрепленной на значительной площади. Оба этих фактора могут привести к увеличению числа вывалов в лаве (рис. 2.8). Установлено, что около 80% всех вывалов из кровли происходит в пространстве между забоем и концами призабойных консолей крепи.

Ниже приведены результаты наблюдений за состоянием кровли на одном из участков струговой лавы, проводившихся непрерывно во время подвигания лавы на 12,5 м, что соответствовало 20 циклам передвижки крепи, при средней продолжительности цикла струговой выемки (включая шаг передвижки крепи) 3,5 ч [1].

Число полос, при выемке которых происходили вывалы пород из кровли.....12.

Число вывалов, образовавшихся или расширившихся:

– во время выемки угля стругом.....8;

– после выемки очередной полосы угля.....11.

Средний промежуток времени, после которого возникали или расширялись вывалы из свежесоблаженной кровли угля, мин...70.

Среднее запаздывание крепления, мин.....103.

При аналогичных наблюдениях, проведенных в двух лавах по пласту "Диккебанк" [1], установлено, что 24% вывалов приходится на время работы струга в забое, 40% – на промежуток между завершением выемки очередной полосы угля и передвижкой крепи, 36% – на время передвижки крепи.

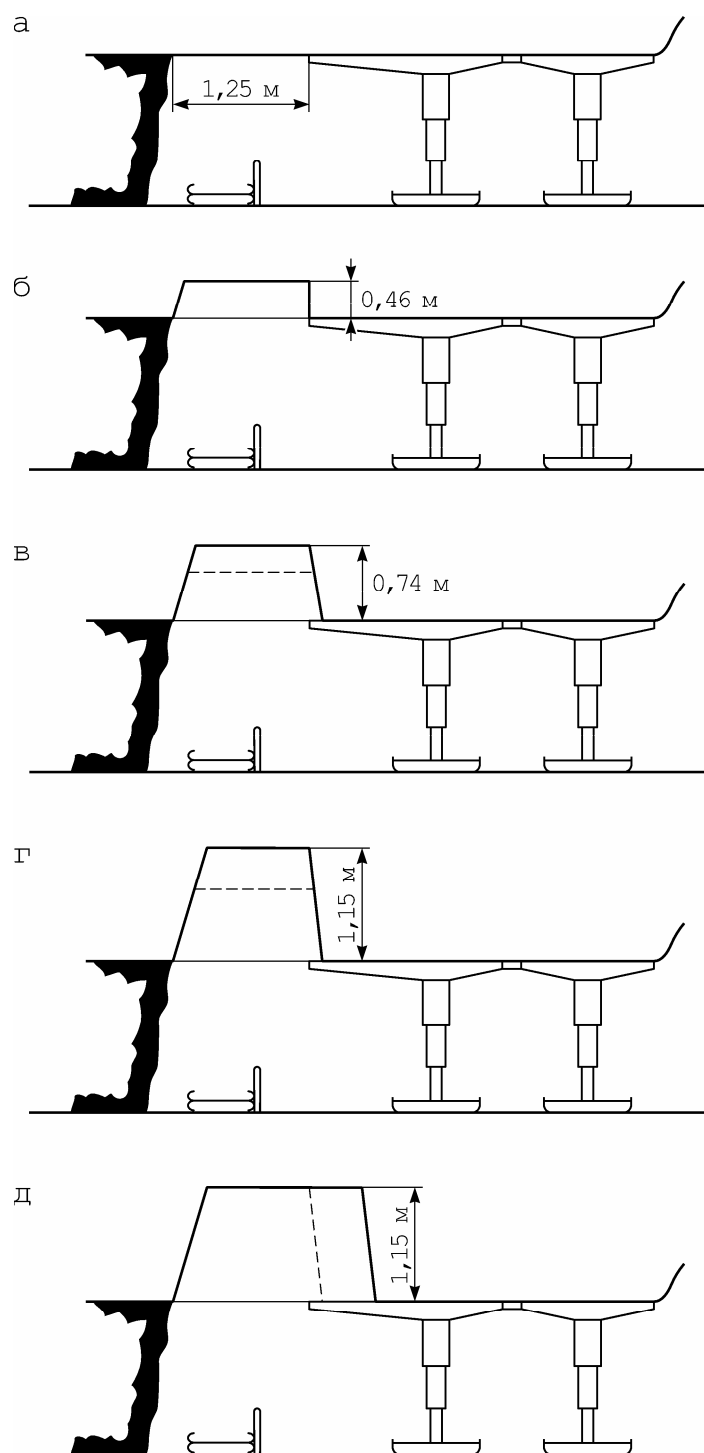


Рис. 2.8. Схема образования и расширения вывалов из кровли в призабойном пространстве струговой лавы (крепь была передвинута к забою через 6 часов после окончания выемки стругом полосы угля):

а, б, в, г и *д* – положение в забое соответственно в 6 ч 30 мин., 7 ч 20 мин., 7 ч 42 мин., 10 ч 37 мин. и 11 ч 5 мин.

В одной из лав вывалы высотой более 0,5 м возникали во время прохода верхнего шнека комбайна в 4% пунктов наблюдений, а вывалы высотой от 0,2 до 0,5 м – в 42% пунктов наблюдений. В общей сложности при выемке угля комбайном они происходили в 46% пунктов наблюдений. В промежутке между окончанием выемки угля и передвижкой крепи в 26% пунктов наблюдений образовавшиеся ранее вывалы расширились, так что их высота превысила 0,5 м, а в 21% пунктов возникли новые вывалы. При передвижке секций крепи, продолжавшейся примерно 30 мин, число вывалов увеличилось незначительно.

При выборе забойного оборудования встает вопрос об оптимальном типе крепи и требованиях к ее сопротивлению. Для его решения были проанализированы результаты произведенных обследований лав. Выполненным анализом установлено, что тип крепи (поддерживающая кустовая или двух-, трех- и четырехстоечная щитовая) не оказывает влияния на состояние кровли, если сопротивление крепи и расстояние между забоем и призабойными ее консолями одинаковы. Вместе с тем, следует принимать во внимание то обстоятельство, что при применении двухстоечной щитовой крепи для достижения удельного рабочего сопротивления 300 кН/м^2 необходимо, чтобы номинальное распорное усилие каждой стойки было не менее 1600 кН (рис. 2.9).

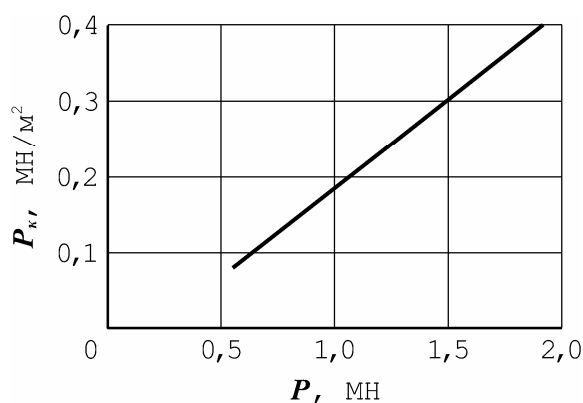


Рис. 2.9. График зависимости фактического удельного сопротивления двухстоечных секций щитовой крепи от номинального распорного усилия стоек

При условии, что в секциях четырехстоечной щитовой крепи все стойки нагружены одинаково, удельное рабочее сопротивление 400 кН/м^2 может быть достигнуто при усилии номинального сопротивления каждой стойки 700 кН (рис. 2.10). Если же крепь работает не в оптимальном режиме, то для достижения удельного рабочего со-

противления 300 кН/м^2 необходимо, чтобы усилие номинального сопротивления каждой стойки было не менее 900 кН .

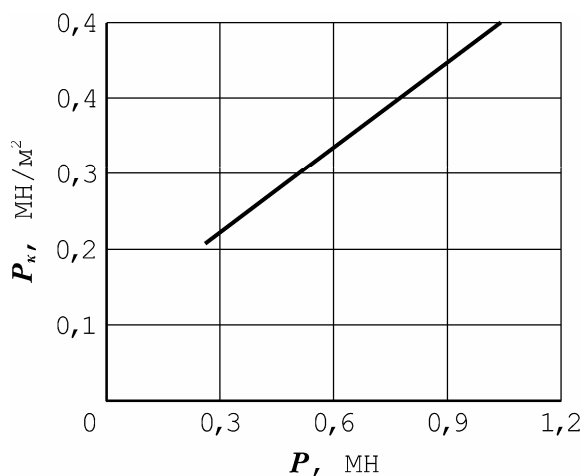


Рис. 2.10. График зависимости P_k четырехстоечных секций щитовой крепи от (P) при оптимальном использовании крепи

Обычно требуемую несущую способность крепи выражают ее номинальным сопротивлением, отнесенным к единице площади поддерживаемой кровли и определяемым по давлению в гидросистеме, диаметру цилиндров гидростоек и площади поддерживающих элементов. Сопротивление крепи, определенное по физически измеренному давлению в гидростойках, называют фактическим рабочим сопротивлением крепи. На основании результатов наблюдений за вывалами пород из кровли невозможно установить, какой из показателей сопротивления кровли – отнесенный к единице длины лавы или к единице площади кровли – является более существенным, поскольку у всех типов крепи расстояние между забоем и концом призабойной консоли перекрытия примерно одинаково. Хотя можно предположить, что более обоснованным является показатель рабочего сопротивления, отнесенного к 1 м посадочного ряда, все данные о рабочем сопротивлении крепи даются обычно по отношению к 1 м^2 поддерживаемой кровли. Тем не менее, было бы неверным стремиться получить высокое сопротивление крепи на 1 м^2 поддерживаемой кровли при малом распорном усилии гидростоек за счет применения крайне коротких поддерживающих козырьков [2.4].

До сих пор при определении минимально достаточного сопротивления крепи нередко требуется учитывать в первую очередь вынимаемую мощность пласта.

Критерием выбора величины рабочего сопротивления крепи должны служить проявления горного давления.

Для предупреждения образования высоких выступов при ступенчатом оседании кровли, по нашему мнению, следует применять крепи с удельным рабочим сопротивлением не менее 400 кН/м^2 .

Как указывалось выше, на образование вывалов из кровли высотой до $0,3 \text{ м}$ сопротивление крепи не оказывает существенного влияния. В то же время частота вывалов высотой более $0,3 \text{ м}$ непосредственно зависит от сопротивления крепи. Чем выше горное давление, тем больше должно быть сопротивление крепи. При небольшом сопротивлении крепи ($< 200 \text{ кН/м}^2$) частота вывалов большой высоты увеличивалась с ростом горного давления с 8 до 29% (рис. 2.11). При среднем сопротивлении крепи ($210\text{--}300 \text{ кН/м}^2$) частота вывалов оставалась примерно постоянной при росте горного давления до 60 МПа . При дальнейшем же его увеличении она повышалась до 21% . В лавах с высоким сопротивлением крепи заметного увеличения частоты вывалов с ростом горного давления установлено не было. Но все же и при высоком сопротивлении крепи, в случае значительного горного давления, средняя частота вывалов составляла 11% общей длины лавы. При горном давлении до 60 МПа сопротивление крепи 200 кН/м^2 достаточно для предупреждения крупных вывалов пород из кровли. Но если давление превышает 60 МПа , сопротивление крепи должно быть не меньше 300 кН/м^2 [2.5].

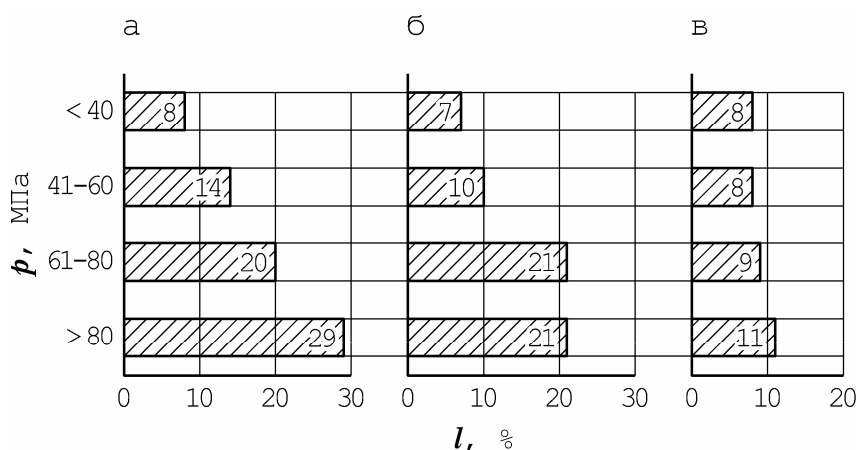


Рис. 2.11. Частота относительной протяженности участков лавы с вывалами высотой больше $0,3 \text{ м}$ в зависимости от расчетного горного давления p при удельном сопротивлении крепи $P_k < 200 \text{ кН/м}^2$ (а), $P_k = 210\text{—}300 \text{ кН/м}^2$ (б) и $P_k > 300 \text{ кН/м}^2$ (в)

Сопротивление крепи само по себе не может определять эффективность управления кровлей. Оно должно рассматриваться совместно с другими факторами, с целью получения ориентировочной количественной оценки его влияния. О влиянии отдельных факторов на частоту вывалов породы из кровли можно судить по данным табл. 2.1 [1].

Таблица 2.1

Влияние отдельных факторов на частоту вывалов породы

Фактор	Изменение фактора		Уменьшение частоты вывалов, %
	от	до	
Мощность непосредственной кровли, представленной глинистым сланцем, м	< 2	≥ 2	16
Горное давление, МПа	> 80	< 40	9
Удельное сопротивление крепи, кН/м ²	< 200	> 300	7
Расстояние между забоем и концами консолей перекрытий крепи, м	≥ 0,65	< 0,65	6

При увеличении мощности непосредственной кровли, представленной глинистыми сланцами до 2 м и более, частота вывалов уменьшается на 16%. Если непосредственно над пластом залегает толща песчаных сланцев или песчаника, вывалы большой высоты вообще не происходят. При этом и остальные факторы не оказывают какого-либо влияния. В то же время вывалы небольшой высоты могут возникать независимо от величины горного давления и сопротивления крепи.

Существуют и другие факторы, влияющие на частоту вывалов пород кровли: скопление породной мелочи на поддерживающих элементах крепи; трещины тектонического происхождения, неблагоприятно ориентированные по отношению к направлению подвигания забоя (примерно под углом 13-15°); тектоническая нарушенность массива; значительная влажность пород и др. Они имеют локальное значение и поэтому не могут быть статистически учтены. Не поддаются статистической обработке также данные об организации работ в лаве и скорости подвигания забоя.

На основе результатов статистической обработки данных, полученных при обследовании механизированных лав, представляется

возможным вывести определенные количественные зависимости частоты вывалообразования от влияющих на нее факторов для использования их при прогнозировании ожидаемого поведения кровли. При этом могут быть получены ответы на следующие вопросы:

- каким должно быть сопротивление крепи, если кровля склонна к вывалам;
- какова вероятность удовлетворительного или неудовлетворительного состояния кровли при использовании данной крепи;
- насколько эффективны в действующей лаве мероприятия по повышению рабочего сопротивления крепи или уменьшению расстояния между забоем и концами призабойных консолей перекрытий крепи.

Следует, однако, отметить, что подобные расчеты связаны со значительным разбросом конечных результатов (стандартное отклонение 26%). Он объясняется как недостаточной точностью исходных данных, так и локальными отклонениями свойств пластов, вмещающих пород, сопротивления крепи и расстояния между забоем и консолями перекрытий крепи.

Приведенная на рис. 2.12 схема позволяет определять ожидаемую частоту вывалов (в % общей длины лавы) в зависимости от различных факторов. Если исходить из средней частоты вывалов 19%, то при мощности непосредственной кровли 2 м и более она должна уменьшиться на 8%, то есть до 11%. При давлении более 80 МПа частота вывалов возрастает на 5%. Если среднее расстояние между забоем и концами консолей перекрытий превышает 0,65 м, то частота вывалов дополнительно увеличивается на 3%. Еще на 3% она увеличивается, если рабочее сопротивление крепи не достигает 200 кН/м². В лаве с такими условиями следует ожидать, что суммарная протяженность участков с вывалами высотой больше 0,3 м составит 22% общей длины очистного забоя.

При той же мощности непосредственной кровли и высоком горном давлении, но при среднем расстоянии между забоем и концами консолей перекрытий крепи менее 0,65 м частота вывалов снизится до 13%. Высокое сопротивление крепи может способствовать снижению частоты вывалов до 9%. Само собой разумеется, что возможны и другие комбинации рассмотренных факторов.

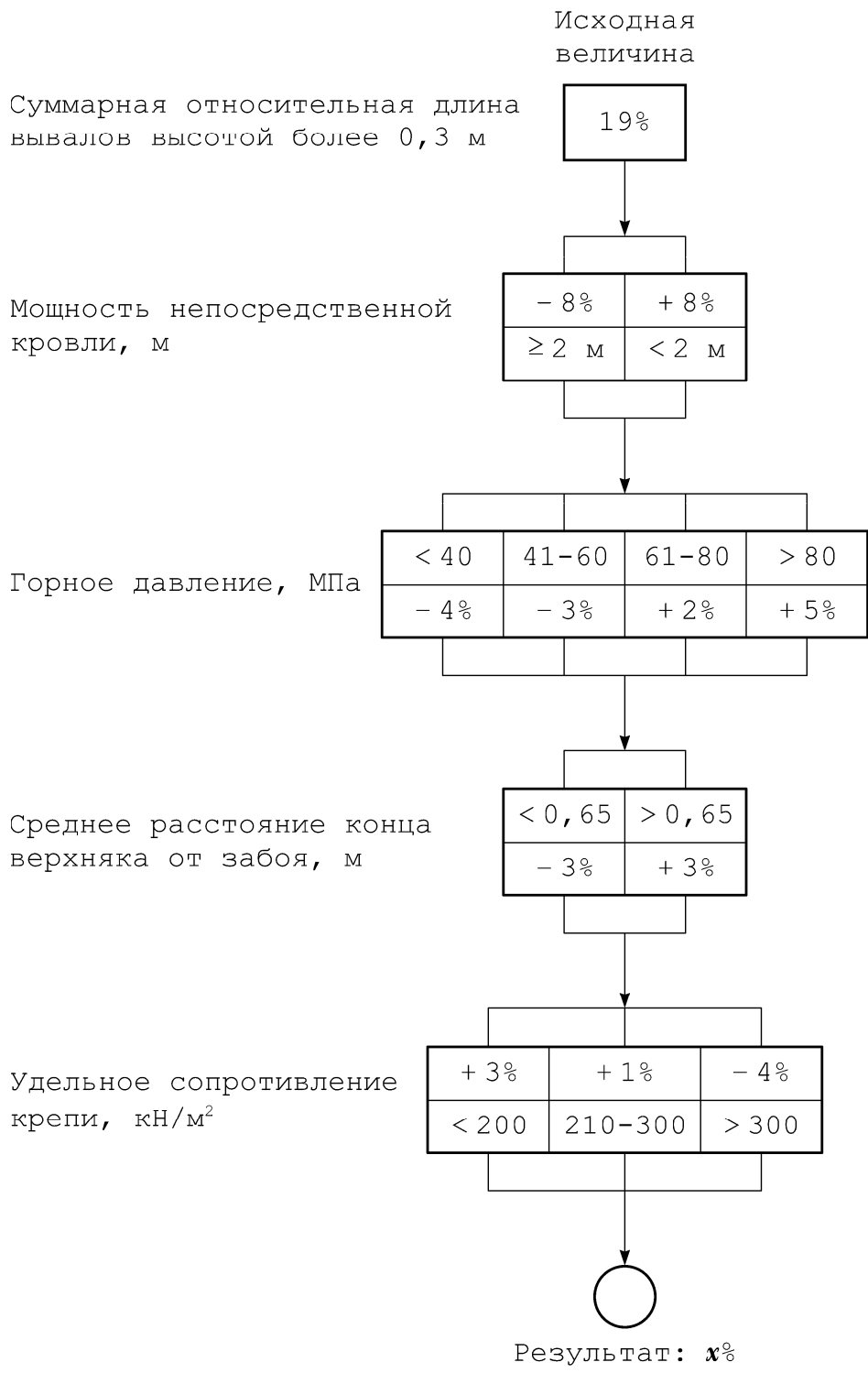


Рис. 2.12. Схема определения ожидаемой частоты вывалов высотой больше 0,3 м (в % длины лавы) по известным величинам мощности непосредственной кровли, горного давления, среднего расстояния между концами верхняков и забоем и сопротивления крепи

Многими исследованиями установлено, что нагрузка на крепь очистных забоев может колебаться в значительных пределах. На ряде пластов максимальные нагрузки на крепь вообще превышали несущую способность крепи и не могли быть замерены. Причем появление значительных нагрузок на крепь необязательно связано с ее работой в условиях заданной деформации.

Например, на шахте "Чертинская" сопротивление крепи КМ-87 изменялось от 158 до 304 кН/м², на шахте "Украина" – от 110 до 258 кН/м², на шахте "Березовская" – от 158 до 390 кН/м². На шахте "Чертинская" при работе комплекса 2МК сопротивление крепи изменялось от 126 до 383 кН/м² (сопротивление срабатывания клапанов стоек было повышено). На шахте "Бутовская" (пласт "Конгломератовый") нагрузки на крепь 2МКЭ колебались от 400 до 2100 кН на секцию [2.7]. При этом установлено, что проседание блоков по трещинам зависит от сопротивления крепи: при настройке секций крепи на 1600 и 1000 кН проседание соответственно равно 20 и 70 мм. Следует отметить, что при низком сопротивлении крепи состояние кровли было неудовлетворительным: большие проседания по трещинам, вывалы, зажатия крепи и т.д.

До настоящего времени сравнение условий работы крепи и выбор исходных данных для расчета механизированных крепей производили на основе средних величин, установленных при продолжительных исследованиях. При этом сопротивление крепи относили к 1 м² поддерживаемой площади без учета ширины поддерживаемого пространства и приходящегося на него числа стоек или секций крепи, частоты передвижки посадочной крепи, степени "разгрузки" кровли при посадках и т.д., хотя все эти факторы оказывают существенное влияние на состояние кровли и сопротивление крепи.

Фактические условия нагружения крепи как вдоль очистного забоя, так и в направлении его подвигания изменяются постоянно. В одном и том же цикле разные единицы крепи развивают разное сопротивление. Некоторые из них даже деформируются в то время, когда другие значительно недогружены. Предполагалось, что выравнять сопротивление крепи можно при использовании гидравлических стоек. Однако на практике оказалось, что стойки механизированных гидравлических крепей развивают сопротивление еще более неравномерно, чем стойки трения. Это объясняется более жесткой, чем у стоек трения, характеристикой гидравлических стоек до выхода их на рабочее сопротивление. При небольшой разнице в величине податли-

ности гидравлические стойки могут развивать сопротивление, резко отличающееся от сопротивления стоек трения. Сопротивление крепи не остается постоянным, а изменяется в зависимости от величины смещения кровли за период работы крепи.

Величина отношения максимального сопротивления единицы крепи в цикле $P_{max \ u}$ к средней величине сопротивления единицы крепи в этом же цикле $P_{cp. \ u}$ характеризует неравномерность развития сопротивления крепи. Назовем эту величину коэффициентом неравномерности сопротивления

$$\Theta_{\dot{\sigma}} = \frac{D_{max \ \dot{\sigma}}}{D_{\dot{\sigma}. \ \dot{\sigma}}} \quad (2.1)$$

Величина Θ_u находится в обратной зависимости от величины смещения кровли.

Необходимо, чтобы нагрузки на крепь не превышали ее прочности. Для этого обычно увеличивают суммарное сопротивление крепи за счет большей плотности призабойных стоек и посадочных крепей.

Поскольку максимальное сопротивление единицы крепи, развиваемое в цикле, зависит от множества факторов, в том числе и случайных, для характеристики неравномерности развития сопротивления удобнее пользоваться коэффициентом

$$\hat{E} = \frac{D_i}{R_{\dot{\sigma}}}, \quad (2.2)$$

где P_n — номинальное сопротивление секции крепи;

R_{cp} — среднее сопротивление секции крепи.

Коэффициент K учитывает влияние периодических нагрузок, то есть отражает степень использования номинального сопротивления крепи в конкретных условиях.

Номинальное сопротивление крепи в лавах с индивидуальной крепью составляет 600-1000 кН/м² и более. Механизированные же крепи имеют номинальное сопротивление не более 400 кН/м². При существенном отклонении максимальных нагрузок от средних (резкие проявления вторичных осадков или проседания арочной системы) происходили частичные или полные завалы лав.

Номинальное сопротивление современных механизированных крепей выбиралось на основе средних нагрузок, приходящихся на индивидуальную крепь, при этом не учитывался фактический запас сопротивления крепи. Для лав с индивидуальной крепью величина K изменяется от 2 и более, тогда как для лав, оборудованных механизированными

рованными крепями, она значительно ниже – от 1,05 до 3. При этом ни в тех, ни в других лавах не зафиксировано такого состояния, при котором бы фактическое сопротивление было равно номинальному. На это указывают и иностранные ученые [2.5]. Величина $K = 1,04$ была получена в результате проведения специальных экспериментов по изменению рабочего сопротивления крепи, методика которых была разработана С.Т.Кузнецовым. При этом смещение кровли и податливость гидростоек резко увеличивались.

Подобные эксперименты сопряжены с опасностью зажатия крепи, поэтому их проведение должно сопровождаться соответствующими мерами предосторожности.

Осадки основной кровли оцениваются обычно по тому влиянию, которое они оказывают на состояние кровли и крепи в призабойном пространстве. Обычно критерием оценки служит повышение смещения кровли и нагрузок на крепь в призабойном пространстве, хотя это явление не всегда вызывается влиянием осадок основной кровли.

До последнего времени было принято считать, что слои основной кровли разрушаются от напряжений изгиба под действием собственного веса, а также пригрузки со стороны вышележащих пород. Однако результаты наблюдений указывают на то, что шаги разрушения слоев основной кровли часто бывают значительно меньшими, чем рассчитанные по формулам изгиба балок. На пласте 5 шахты "Чертинская" при мощности основной кровли 7 м шаг ее разрушения составил 6-8 м, на шахте "Абашевская" на пласте при мощности основной кровли 7 м шаг разрушения был 6-9 м и т.д. Подобная закономерность наблюдалась и на других пластах Кузбасса [2.7, 2.8].

Зная шаг обрушения и мощность слоев основной кровли можно определить коэффициент C_1

$$C_1 = \frac{L_1}{h_1}, \quad (2.3)$$

где L_1 – шаг обрушения, м;
 h_1 – мощность слоя, м.

На шаг обрушения основной кровли оказывают влияние многие факторы, в том числе прочность пород, глубина залегания, наличие трещин и т.д. К сожалению, в процессе обследований не всегда удается получить полный комплекс сведений об указанных факторах и выявить их влияние на величину шага обрушения основной кровли.

На рис. 2.13 представлена кривая зависимости величины C_1 от глубины работ. Несмотря на большой разброс точек можно просле-

дить некоторую зависимость величины C_I от глубины работ H . Увеличению глубины со 480 до 1200 м соответствует изменение величины C_I от 2 до 0,7. Величина $C_I = 1$ будет при средней глубине около 600 м. Такой же характер зависимости C_I от H получен по результатам исследований, проведенных в Челябинском и Карагандинском бассейнах [2], а также за рубежом. На основании сказанного можно сделать вывод, что глубина залегания и прочность пород оказывают существенное влияние на шаг обрушения основной кровли.

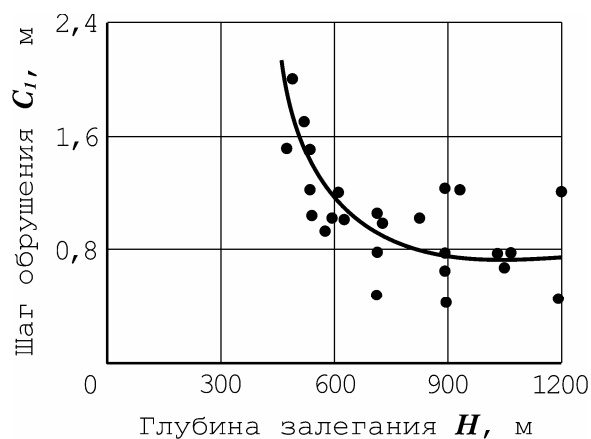


Рис. 2.13. Влияние глубины залегания пласта на шаг обрушения основной кровли

По данным зарубежных исследований, значение C_I , определенное на основе изгиба балки, для разных условий отработки пластов колеблется от 5 до 20. Эти величины не соответствуют результатам натуральных наблюдений и значительно превышают их. Особенностью влияния осадок основной кровли на пластах с блочным разрушением непосредственной кровли является возникновение больших смещений вдоль линии забоя, повышение нагрузки на крепь и динамические явления. Ранее описывались случаи, когда проседание по первому от забоя заколу достигало 200 и даже 500 мм. Такому проявлению осадок основной кровли способствует прочная непосредственная кровля, при которой создаются благоприятные условия для среза краевой части пласта.

Визуальные наблюдения за развитием трещин в массиве пород и перемещением кровли над призабойным пространством очистного забоя на пластах, непосредственная кровля которых представлена сравнительно прочными и монолитными породами, позволили установить основные закономерности разрушения и перемещения таких кровель. Осмотр мест разрушения кровли и измерения в скважинах

показали, что основная часть перемещений контура кровли происходит за счет смещения отдельных ее частей относительно друг друга по наклонным трещинам давления, а не расслоения. Трещины давления возникают в непосредственной кровле систематически, в основном через один или кратное число интервалов, равных величине захвата выемочной машины, и распространяются до следующей разновидности пород с большей прочностью или до ослабленных контактов между слоями. Периодически они пересекают и вышележащие прочные и монолитные слои основной кровли, вызывая ее осадки. Максимальная высота распространения наклонных трещин в кровле не установлена, однако имеются отдельные замеры, которые указывают, что она может достигать 35 м [2.8].

Форма наклонных трещин не всегда бывает прямолинейной. Установлено, что, чем прочнее породы, тем более искривлены трещины в нижней части непосредственной кровли. Искривление наблюдалось на пластах, где кровля зависала в выработанном пространстве. Оба эти фактора указывают на то, что искривление в сторону забоя наклонных трещин в нижней части непосредственной кровли наблюдается в условиях, где могут возникать значительные силы распора в системе блоков.

На гиперболическую форму наклонных трещин указывали немецкие исследователи, которые объясняют искривление трещин действием сил трения, возникающих на контакте между пластом и непосредственной кровлей.

По времени возникновения все трещины можно разделить на первичные и вторичные. К первичным относятся наклонные, ступенчатые и трещины по напластованию, отделяющие блок от вышележащего песчаника, к вторичным – все остальные трещины. Очевидно, что на образование первичных трещин крепь, установленная в лаве, влияния не оказывает.

Взаимное перемещение блоков во всех лавах происходило в основном по наклонным трещинам, которые являлись как бы направляющими в кинематике разрушенного массива пород. Трещины по напластованию, возникающие обычно позднее наклонных, оказывают меньшее влияние на схему перемещения блоков. В процессе кинематического и силового взаимодействия блоков происходят дополнительные мелкие нарушения, выкрашивания и т.д., которые оказывают незначительное влияние на общую картину перемещения блоков.

Таким образом, все виды нарушений в кровле по степени влияния их на кинематику перемещений блоков можно представить в виде схемы, состоящей из трех групп: главные, второстепенные и местные.

К первой группе схемы относятся первичные трещины, ко второй – вторичные трещины по напластованию, к третьей – нарушения местного характера.

При других схемах разрушения непосредственной кровли группы трещин могут меняться местами или две группы объединяться в одну; угол наклона трещин изменяться от 37 до 80° , составляя в среднем $65-67^\circ$. Меньшие значения угла наклона отмечались на контуре непосредственной кровли, максимальные – вблизи границы с основной кровлей.

Вторичные трещины по напластованию, как было указано выше, возникают позднее наклонных и имеют распространение в пределах одного, редко двух блоков, то есть плоскости расслоения соседних блоков, как правило, не совпадают. Трещины, расположенные внутри блока и не оказывающие большого влияния на характер перемещений блоков, мы отнесли к второстепенным. Однако при изменении схемы обрушения кровли вследствие каких-либо причин эти трещины могут приобретать свойства главных, то есть по ним могут происходить смещения отдельных частей блоков.

Местные нарушения, возникающие обычно в местах контактирования блоков между собой, имеют различное направление, небольшую протяженность и иногда значительную густоту. Они не оказывают существенного влияния на схему перемещения кровли и взаимодействия ее с крепью, но существенно ухудшают состояние кровли в призабойном пространстве, так как приурочены в основном к нижней части кровли и способствуют образованию вывалов.

Блочная схема разрушения кровли с образованием арочных систем, склонных к периодическим проседаниям, создает своеобразные условия работы крепи. Наблюдения в шахте показали, что во время образования арки при небольшом количестве зависших блоков смещения кровли незначительны, крепь нагружена слабо, посадки кровли не происходит, блоки зависают в выработанном пространстве. По мере увеличения пролета арки смещения кровли нарастают медленно. При достижении пролетом предельного размера вся система блоков способна проседать на значительную величину, что приводит к резкому повышению нагрузок на крепь. Деревянные верхняки раздавли-

ваются в течение 15-30 мин., увеличиваются ступени в кровле, приводящие к разрыву верхняков и т.д.

Проседания арок сопровождаются резкими, почти мгновенными смещениями кровли, носящими характер удара. Иногда такие удары приводят к завалу лав.

Трудности управления кровлей способом полного обрушения на таких пластах отмечали Г.Н.Кузнецов, С.Т.Кузнецов, А.И.Ильштейн, Б.С.Локшин, Л.Я.Парчевский, В.Картер и др.

Эти трудности имели место и при попытках внедрить на таких пластах современные механизированные крепи. Хотя они и позволили предотвратить внезапные завалы лав, однако большие смещения кровли, вывалы породы кровли, зажатие секций жестко и деформирование отдельных элементов крепи указывают на необходимость совершенствования существующих механизированных крепей, применяемых на пластах с трудноуправляемыми кровлями.

Результаты исследований позволили уточнить и конкретизировать схемы разрушения пород непосредственной и основной кровель над призабойным пространством длинного очистного забоя. Но прежде чем рассматривать возможные схемы разрушения, необходимо оговорить понимание некоторых терминов, так как на практике они часто имеют различное толкование.

Обрушаемость кровли – наиболее широко применяемый термин, характеризующий склонность пород непосредственной кровли к обрушению.

Исследования последних лет показали, что обрушаемость кровель еще не определяет способов управления кровлей и крепления призабойного пространства.

Устойчивость кровли следует понимать только как устойчивость самых нижних слоев кровли. Этот термин неприменим к характеристике обрушаемости кровель, как это иногда имеет место на практике и в литературе.

Устойчивость кровли отражает свойство нижних слоев кровли не обрушаться при отсутствии крепи. Характеристикой устойчивости кровли являются площадь ее обнажения и время, в течение которого она способна не обрушаться. Устойчивость кровли оказывает существенное влияние на успешную отработку пласта, выбор типа и конструкции крепи и способ управления кровлей.

Совершенствование способов выемки и средств крепления требует разработки более совершенных количественных показателей устойчивости кровли.

Управляемость кровли характеризует свойство кровель подвергаться воздействию комплекса применяемых мероприятий по управлению и креплению. На это свойство оказывают влияние целый ряд факторов, среди которых доминирующее место занимают обрушаемость и устойчивость кровель, а также характер разрушения и перемещения пород над призабойным и выработанным пространствами.

Комплекс мероприятий, необходимый для поддержания кровли очистного забоя в состоянии, обеспечивающем безопасность труда и нормальную работу машин и механизмов, определяет степень управляемости кровли. Известно, что в зависимости от конкретных условий отработки пласта комплекс мероприятий включает в себя больший или меньший объем работ даже при одном классе пород по обрушаемости.

Термин "управляемость кровли" уже получил широкое применение, однако толкование его весьма различно, а иногда под этим термином понимают обрушаемость. Исходя из принятого определения, все кровли пологих пластов по степени их управляемости можно разделить на три типа.

1. Легкоуправляемые кровли (рис. 2.14, а). К ним относятся легкообрушающиеся мелкокусковатые кровли без влияния осадок основной кровли, без неустойчивых слоев (ложных кровель), сложенные породами средней прочности. Управление кровлей – полное обрушение без применения специальной крепи. Плотность призабойной индивидуальной крепи – до 1 стойки на 1 м^2 . Применимы все типы механизированных крепей.

2. Нормальноуправляемые кровли (рис. 2.14, б) – легкообрушающиеся кровли без влияния или с незначительным влиянием вторичных осадок, мелко и среднекусковатые, сложенные породами средней прочности, устойчивые и средней устойчивости. Управление кровлей – полное обрушение с применением специальной однорядной крепи, плотность призабойной крепи 1-2 стойки на 1 м^2 . Применимы все типы механизированных крепей.

3. Трудноуправляемые кровли. К ним относятся кровли, для поддержания которых необходимо применение специальных мер усиления крепи и специальных способов управления; разделяются на три подгруппы.

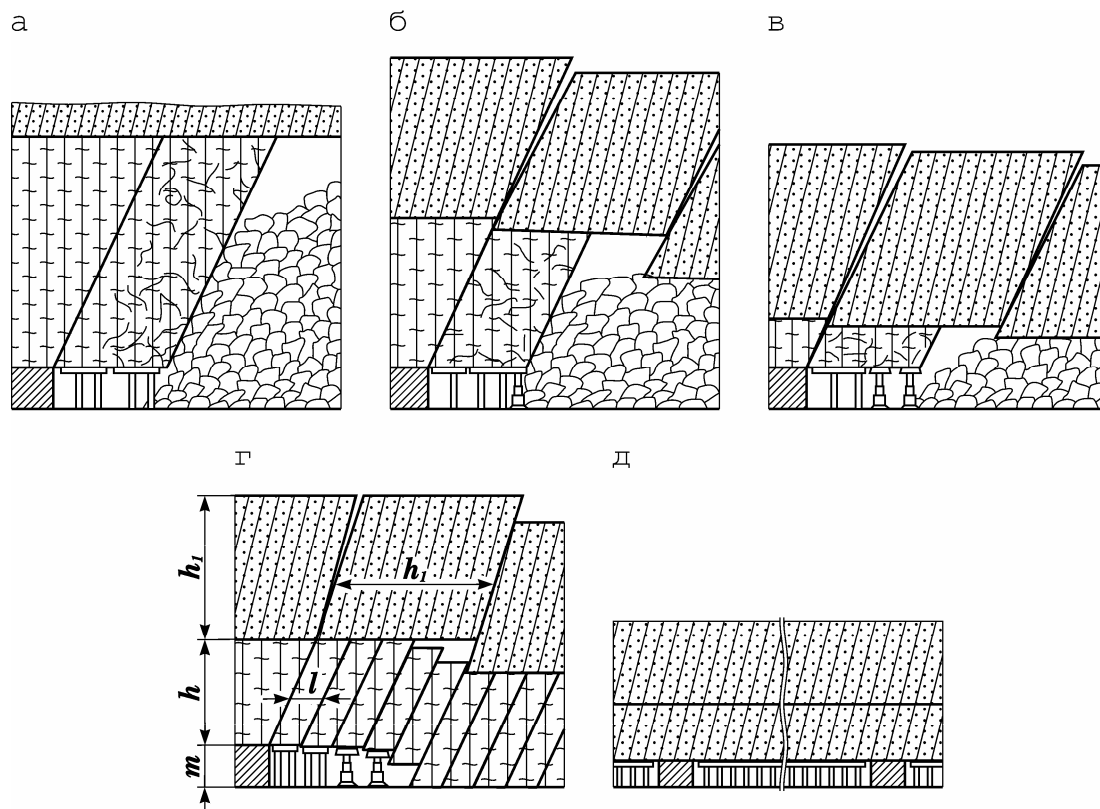


Рис. 2.14. Типизация кровель по управляемости

3.1. Легкообрушающиеся (рис. 2.14, в) с резкими проявлениями осадок основной кровли средне- и крупно-кусковатые, с неустойчивыми нижними слоями, для поддержания которых требуется полная затяжка кровли, усиленная призабойная и посадочная крепи (плотность призабойной крепи 3,5-4 стойки на 1 м^2). Способ управления – полное обрушение, закладка. Применимы механизированные крепи поддерживающего и поддерживающее – оградительного типа с надежной защитой призабойного пространства.

3.2. Тяжелые кровли (рис. 2.14, г) – средней прочности и прочные, разрушающиеся на крупные блоки, с влиянием осадок основной кровли. Эти кровли требуют усиления призабойной и посадочной крепи (применение многорядной органки, кустов, тумб). Способ управления – полное обрушение, частичная или полная закладка. Плотность крепи до 4 стоек на 1 м^2 . Применимы механизированные крепи поддерживающего и поддерживающее – оградительного типа.

3.3. Труднообрушающиеся кровли (рис. 2.14, д) – прочные, образующие большие консоли, превышающие ширину призабойного пространства, обрушающиеся на больших площадях. Управление кровлей – принудительное обрушение, обрушение на угольные "ножи", закладка, удержание на целиках и др.

На характер взаимодействия крепи и кровли влияет целый ряд других, не отмеченных в предложенной типизации факторов, однако это влияние менее значительно и сами факторы более изменчивы. Полный учет влияния этих факторов может быть произведен при конкретном рассмотрении каждого подтипа в отдельности. Учет же их в типизации значительно усложнил и затруднил бы ее практическое использование.

Трудность управления кровлями, отнесенными к подтипу 3.1, заключается в том, что под влиянием осадок основной кровли непосредственная кровля, представленная легкообрушающимися породами небольшой мощности, обычно легко разрушается. Крепь "обгрывается" и не может развить достаточного сопротивления. В этих условиях необходимо полностью затянуть кровлю и обеспечить высокую плотность крепи.

Особую трудность для управления представляют тяжелые кровли, отнесенные к подтипу 3.2. Анализ наблюдений ВНИМИ и других институтов показал, что трудноуправляемые тяжелые кровли имеют место на пластах со следующими горно-геологическими условиями:

- непосредственные кровли представлены, как правило, монолитными и мощными слоями сравнительно прочных (25,0-80,0 МПа на сжатие) пород;
- основные кровли представлены мощными слоями прочных пород;
- глубина залегания пласта более 150 м.

Естественно, что далеко не всегда в указанных условиях проявления горного давления будут тяжелыми, так как на эффективность поддержания кровель влияют и другие факторы. Трудность поддержания таких кровель в очистном забое вызывается разрушением непосредственной и основной кровель на узкие блоки. В зависимости от соотношения мощности разрушающегося слоя непосредственной кровли и мощности пласта нами в подтипе тяжелых кровель выделяются четыре основные группы (рис. 2.15). Коэффициент K_m , характеризующий отношение мощностей слоя кровли h и пласта t является количественным определителем групп.

Для группы I ($K_m < 2$) свойственно выпадение блоков непосредственной кровли сразу за крепью. Основная кровля оказывает влияние на работу крепи передачей на нее дополнительных нагрузок и перемещения через блоки непосредственной кровли.

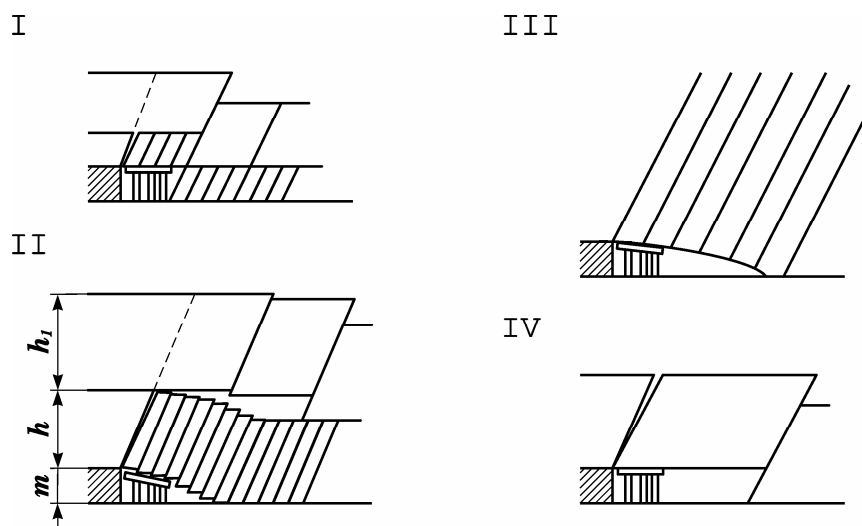


Рис. 2.15. Основные группы тяжелых кровель

Группа II ($2 < K_m < 5$) характеризуется значительными ступенчатыми зависаниями системы блоков в выработанном пространстве с периодическими резкими проседаниями, сопровождающимися увеличением нагрузок на крепь. Влияние осадок основной кровли здесь также имеет большое значение.

Для группы III ($K_m > 5$) свойственно зависание блоков без относительного проскальзывания. Осадки основной кровли на работу призабойной крепи оказывают незначительное влияние.

В группе IV непосредственные кровли представлены прочными породами (типа песчаников и известняков), обрушающимися в виде блоков, длина которых превышает ширину призабойного пространства. Для этой группы характерно отсутствие арочной системы из нескольких блоков.

Схема взаимодействия крепи и кровли при применении закладки здесь не приводится, так как условия работы крепи в этом случае значительно облегчаются. Использование же способа управления кровлей закладкой может быть вызвано несколькими причинами, основными из которых являются: весьма тяжелые условия нагружения крепей, наличие ложной кровли и весьма слабой почвы, отсутствие крепей с достаточной несущей способностью, необходимость охраны поверхности и др. Поэтому вопрос о целесообразности применения закладки следует рассматривать в каждом конкретном случае.

Границы блоков четко наблюдаются на пластах, сложенных прочными углями. При слабых углях и почвах, при наличии ложной кровли границы между блоками (наклонные трещины) могут проявляться менее четко.

В процессе наблюдений установлено, что на возникновение арочной системы в цепи наклонных блоков кроме величины K_m существенное влияние оказывает и отношение длины блока l к его высоте h :

$$\tilde{N} = \frac{l}{h}. \quad (2.4)$$

Арочная система в практике ведения горных работ возникала при $C < 1$, то есть когда высота блока была больше его длины, при $C > 1$ арочная система в непосредственной кровле отсутствовала. Следует сказать, что при больших значениях C , то есть при длинных блоках, арочная система начинает возникать снова при определенных соотношениях мощности слоя и пласта [2.9].

Особенностью крупноблочного разрушения непосредственных кровель являются смещения контура кровли в плоскости пласта в сторону забоя, достигающее 25% от смещений по нормали к пласту.

Указанные особенности разрушения, перемещения и взаимодействия с крепью кровель, представленных слоями прочных и монолитных пород, существенно отличаются от сложившихся представлений о данных процессах. В связи с этим необходим новый подход к решению вопроса об установлении параметров крепи.

2.4. Исследование конвергенции боковых пород в лаве

При переходе от индивидуальных к комплектным механизированным крепям в некоторых случаях наблюдается ухудшение состояния кровли несмотря на то, что сопротивление у механизированных крепей выше, чем у индивидуальных гидростоек.

Это вызвано нарушением сплошности пород непосредственной кровли вследствие чередующихся циклов нагрузки и разгрузки породных слоев при передвижке комплектов крепи (особенно при небольшом шаге передвижки).

Ниже рассматривается еще одна причина ухудшения состояния кровли при использовании механизированных крепей, установленная при измерениях конвергенции в лаве.

В лаве, оборудованной комплектной механизированной крепью и разрабатывающей пласт мощностью 2,2 м с углом падения 14-18°, усилие начального распора гидростоек составляло 16 кН. После просадки стоек на 10 мм оно возросло до 370 кН (рис. 2.16).

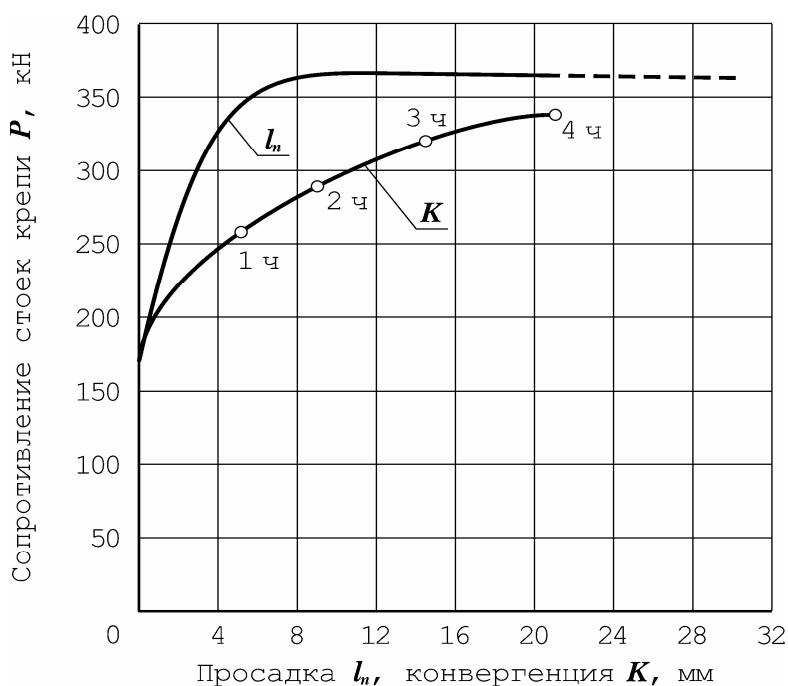


Рис. 2.16. График изменения сопротивления стоек комплектной крепи P в зависимости от их просадки l_n и конвергенции K в лаве через 1, 2, 3 и 4 ч после перестановки секции (точка измерения конвергенции – посередине, между комплектами крепи)

Медленная просадка гидростоек в первые часы после передвижки обуславливает их недостаточное рабочее сопротивление, величина которого определяется видом и расположением крепи. Неустойчивая кровля может осесть над вновь установленными стойками в значительно большей мере, чем над стойками, находящимися под полной нагрузкой. Вследствие этого в кровле пласта (параллельное лаве направление) образуется S-образная кривая прогиба, волнообразно перемещающаяся вслед за передвижкой крепи (рис. 2.17). Указанное явление называют "волной конвергенции". Многократные изгибы, последовательно претерпеваемые породными слоями непосредственной кровли, ведут к ослаблению их прочности.

В комплектных механизированных крепях соотношение между усилиями начального и максимального сопротивления гидростоек должно приниматься как можно более высоким, с тем, чтобы при неустойчивой кровле ограничить волну конвергенции до минимума. Однако целесообразность повышения усилия начального распора до максимального конструктивно возможного предела вызывает сомнения по другим факторам управления кровлей. Так, в подобном случае создаются условия для раздавливания слоя непосредственной кровли между крепью и более прочным породным слоем, вследствие чего

линия обреза непосредственной кровли может переместиться в зону над перекрытиями крепи. Последнее в свою очередь вызовет осложнения при передвижке и распоре комплектов крепи.

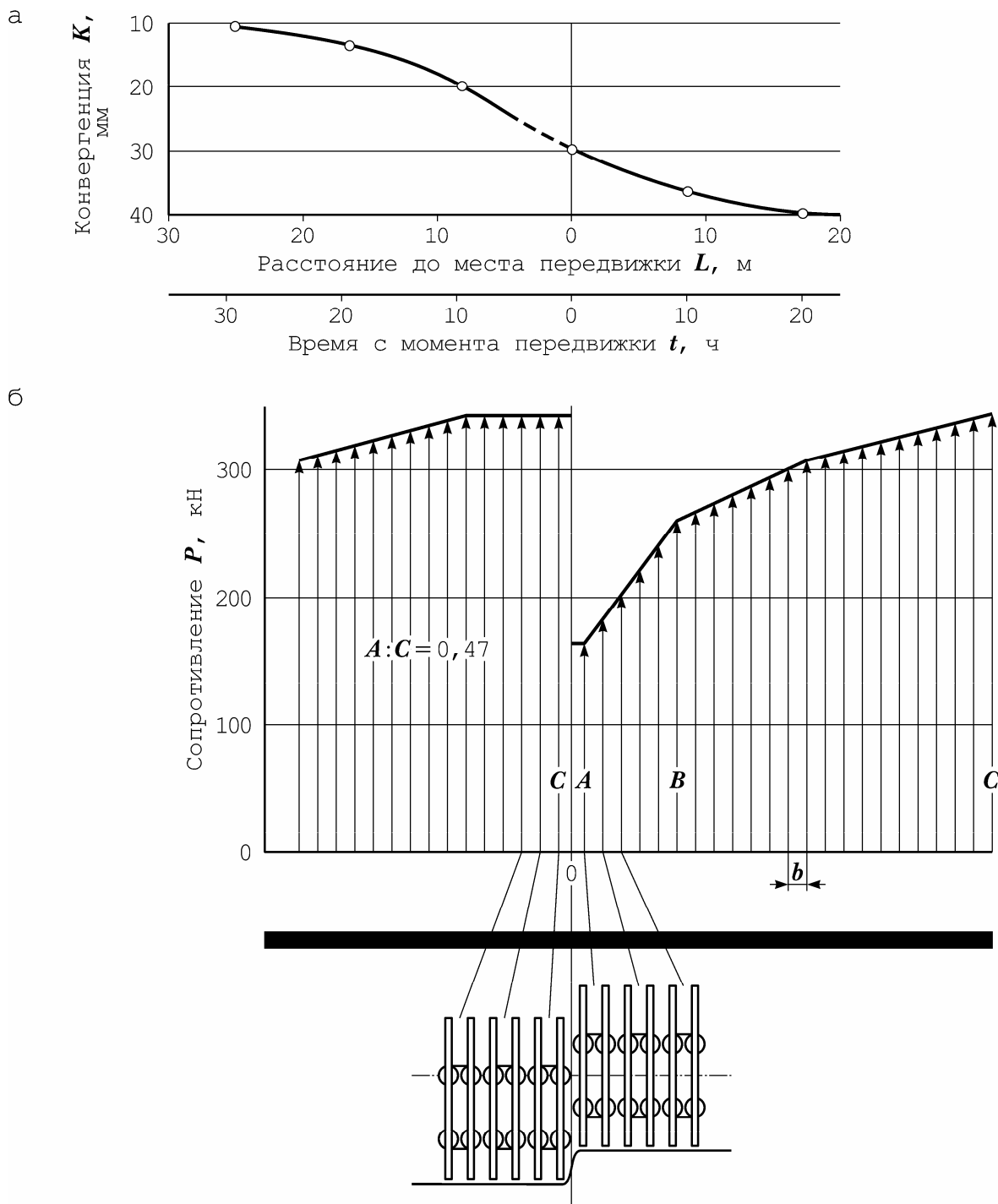


Рис. 2.17. График изменения конвергенции K (а) и сопротивления P (б) стоек комплектной крепи в зависимости от расстояния до места передвижки L и времени с момента передвижки t :

b – шаг установки комплектов крепи;
 A , B и C – соответственно начальное, промежуточное и конечное сопротивление крепи

Оценка результатов измерений, произведенных в 140 лавах на шахтах Франции [2], позволила получить следующую зависимость конвергенции на 1 м подвигания забоя K (мм/м) от влияющих на нее факторов:

$$K = 200 \cdot (q \cdot m)^{0,75} \cdot H^{0,25} \cdot \left(\frac{340}{P} + 0,30 \right), \quad (2.5)$$

где q – коэффициент усадки пород в выработанном пространстве (при обрушении кровли $q = 1$, при пневматической закладке $q = 0,5$, при гидравлической $q = 0,25$);

m – вынимаемая мощность пласта, м ($0,8 < m < 3$);

H – глубина горных работ, м ($100 < H < 1000$);

P – сопротивление крепи на 1 м посадочного ряда, кН.

Данные табл. 2.2 дают возможность определить среднюю величину конвергенции в зависимости от мощности пласта и глубины горных работ при работе лавы с обрушением ($q = 1$) и при среднем сопротивлении крепи 1150 кН/м.

Таблица 2.2

Мощность пласта, м	Конвергенция в лаве (мм/м) при глубине горных работ, м					
	600	700	800	900	1000	1100
1,2	46	45	43	42	41	40
1,4	52	50	48	47	46	45
1,6	58	56	54	52	51	50
1,8	63	61	59	57	56	54
2	68	65	63	61	60	58
2,5	80	77	75	72	71	69

Примечание. Приведенные данные не учитывают влияния сопротивления крепи.

О средней величине конвергенции в лаве на глубине 500 м в зависимости от сопротивления крепи при различной мощности пласта можно судить по графику (рис. 2.18).

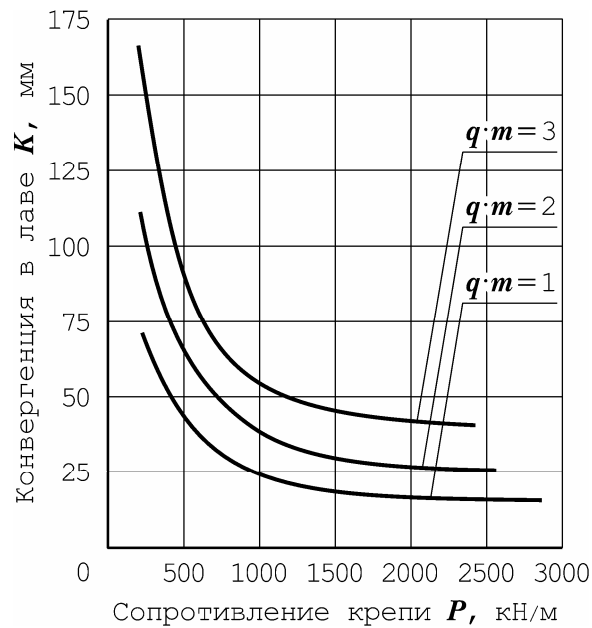


Рис. 2.18. График зависимости конвергенции в лаве K (на 1 м подвигания забоя) от сопротивления крепи P при различных показателях $q \cdot m$

2.5. Общие принципы и правила управления кровлей

О состоянии кровли в лавах следует заботиться еще при проектировании схем подготовки и отработки выемочных участков, с тем чтобы исключить вредное влияние целиков и краевых частей пластов по вышележащим пластам.

Крайне важным моментом является непрерывная и быстрая отработка пластов при как можно большей скорости подвигания очистных забоев. Свежеобнаженная кровля должна подхватываться крепью в течение нескольких минут, причем вплотную к линии забоя. Для этого необходима автоматизация передвижки крепи. Усилие прижатия к кровле призабойной консоли перекрытия не должно превышать 10 кН на 1 м² кровли. Во избежание неконтролируемого обнажения кровли из-за отжима угля рекомендуется укреплять забой установкой деревянных анкеров или нагнетанием полиуретановых составов. В будущем, по-видимому, появится возможность придавать забою наклонную форму.

Опускание верхних перекрытий при разгрузке секции для их передвижки неблагоприятно сказывается на состоянии кровли. Коэффициент затяжки кровли должен быть по возможности наибольшим.

При отсутствии в непосредственной кровле прочных пород необходимо обязательно предотвращать высыпание породы из образовавшегося вывала. Расширяющиеся вывалы следует стабилизировать специальными мерами.

Удельное рабочее сопротивление крепи в общем случае не должно превышать 300 кН/м^2 . Характерным признаком недостаточности сопротивления крепи является образование высоких узких вывалов, а также заколов в кровле. Основания секций крепи не должны вдавливаться в почву.

Вероятность вывалов перед крепью повышается, если над перекрытиями крепи они уже имеются. Вывалы распространяются по направлению подвигания забоя, захватывая в большинстве случаев также вышележащие слои кровли. Поэтому следует предупреждать или стабилизировать даже небольшие вывалы у забоя.

Необходимо обращать особое внимание на своевременную передвижку секций крепи, очистку верхних перекрытий от скоплений породной мелочи для обеспечения их более плотного прилегания к кровле по всей длине. Следует также уделять внимание тому, чтобы начальный распор секций был оптимальным. Если указанные меры не приводят к успеху, поскольку состояние кровли стало уже очень плохим, то в такой лаве необходимо, как свидетельствует многолетний практический опыт, раньше привести в порядок кровлю и лишь потом думать о добыче угля и производительности труда. Поэтому так важно проведение постоянных производственных наблюдений за состоянием кровли в лавах. При неблагоприятных результатах таких наблюдений следует систематически выявлять причины ухудшения состояния кровли.

Выводы

- Критерием эффективности применения механизированной крепи является частота и размеры вывалов породы из кровли пласта.
- Наиболее существенным для успеха производственных наблюдений является унификация условий их проведения и интерпретации, так как только в этом случае возможно сопоставление и обобщение результатов большого числа наблюдений.
- Кровля считается опасной по вывалам, если её показатель склонности к вывалам превышает 10%.

- Недостаточное усилие распора крепи в определенных горно-геологических и горнотехнических условиях может быть причиной осадки кровли.
- Повышать сопротивление крепи рекомендуется лишь тогда, когда в кровле образуются вывалы большой высоты или выступы со значительным оседанием породных блоков.
- Критерием выбора величины рабочего сопротивления крепи должны служить проявления горного давления.
- В комплектных механизированных крепях соотношение между усилиями начального и максимального сопротивления гидростоек должно приниматься как можно высоким, с тем, чтобы при неустойчивой кровле ограничить волну конвергенции до минимума.
- Следует уделять внимание тому, чтобы начальный распор секций был оптимальным.

Литература к разделу 2

- 2.1. Якоби О. Практика управления горным давлением. Пер. с нем. – М.:Недра, 1987-566с.
- 2.2. Грундман И. Опыт эксплуатации щитовой крепи //Глюкауф. – 1973. – №3. – С. 65-70.
- 2.3. Ирресберг Г. Нерешенная проблема крепления лав – консольное поддержание кровли у забоя //Глюкауф. – 1977. – №15 – С. 36-40.
- 2.4. Ирресберг Г. Развитие механизированных крепей для угольных лав //Глюкауф. – 1978. – №18. – С. 18-26.
- 2.5. Ирресберг Г. Требования к управлению горным давлением в лавах //Глюкауф. – 1981. – №2. – С. 7-10.
- 2.6. Якоби О. Определение сопротивления крепи при проектировании лав с управлением кровлей обрушением //Глюкауф. – 1964. – №6. – С. 361-368.
- 2.7. Глушихин Ф.П. Трудноуправляемые кровли в очистных забоях. – М.:Недра, 1974. – 193 с.
- 2.8. Глушихин Ф.П., Бессоников В.А., Пекарский Д.Г. Режим работы механизированных гидравлических крепей //Уголь. – 1969. – №8. – С. 16-18.
- 2.9. Орлов А.А., Сетков В.Ю., Степаненко О.Т. К вопросу о сопротивлении механизированных крепей для очистных забоев на пологих пластах //Уголь. – 1971. – №8. – С. 23-25.

РАЗДЕЛ 3. ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ СОЗДАНИИ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ ОЧИСТНЫХ КОМПЛЕКСОВ И АГРЕГАТОВ

3.1. Классификация механизированных крепей очистных комплексов по признакам формирования их внешних связей

Механизированные крепи по признакам формирования внешних связей подсистем можно разделить на следующие группы:

1. По типу основных связей на:
 - 1.1. агрегатированные (рис. 3.1, а), обладающие двухсторонними силовыми и кинематическими связями (на основе гидродомкратов передвижки (КД90, М103М, М88 и др.);
 - 1.2. комплектные (рис. 3.1, б), не обладающие вышеуказанными связями; для этих механизированных крепей очередное перемещение секций, входящих в состав комплекта крепи, осуществляется с помощью внутренних двухсторонних силовых и кинематических связей между ними в виде гидродомкратов (МК98).
2. По типу связей системы управления кровлей и ограждения крепи с массивом горных пород, отражающих соотношение величин проекций на почву (F_n и F_o) (рис. 3.2), максимально возможных площадей силового взаимодействия поддерживающих 1 (F_n) и оградительных 2 (F_o) элементов секции с породами кровли, на:
 - 2.1. поддерживающие, если F_o близка к нулю (М87УМ, МТ, М103М и др.), (рис. 3.2, а);
 - 2.2. поддерживающе-оградительные, если $F_n \geq F_o$ (КД90, М137, М138 и др.), (рис. 3.2, б);
 - 2.3. оградительно-поддерживающие, если $F_o > F_n$ (2УКП, ОКП70 и др.), (рис. 3.2, в).

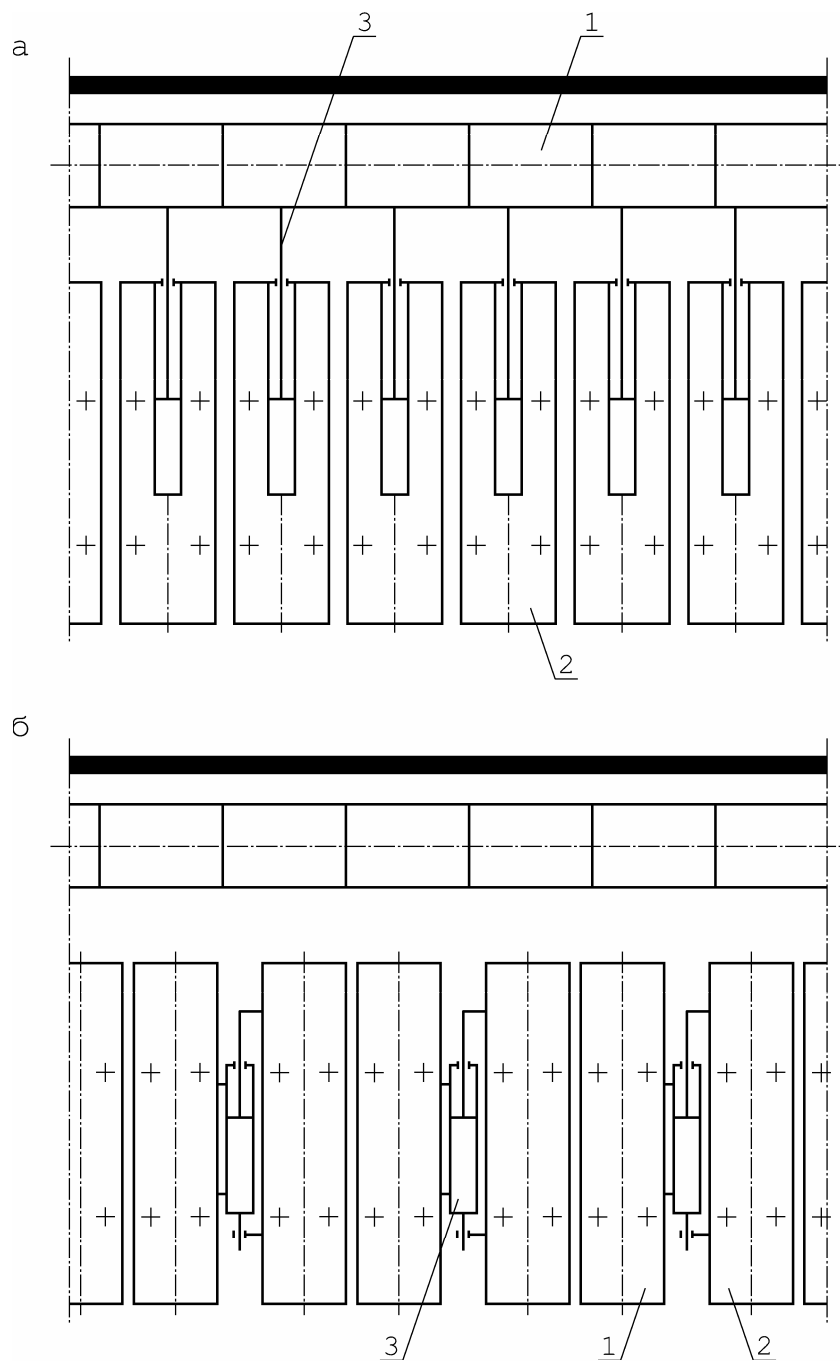


Рис. 3.1. Виды крепей по типу связей
 механизма передвижения крени с рештачным ставом:
 а – агрегатированные; б – комплектные

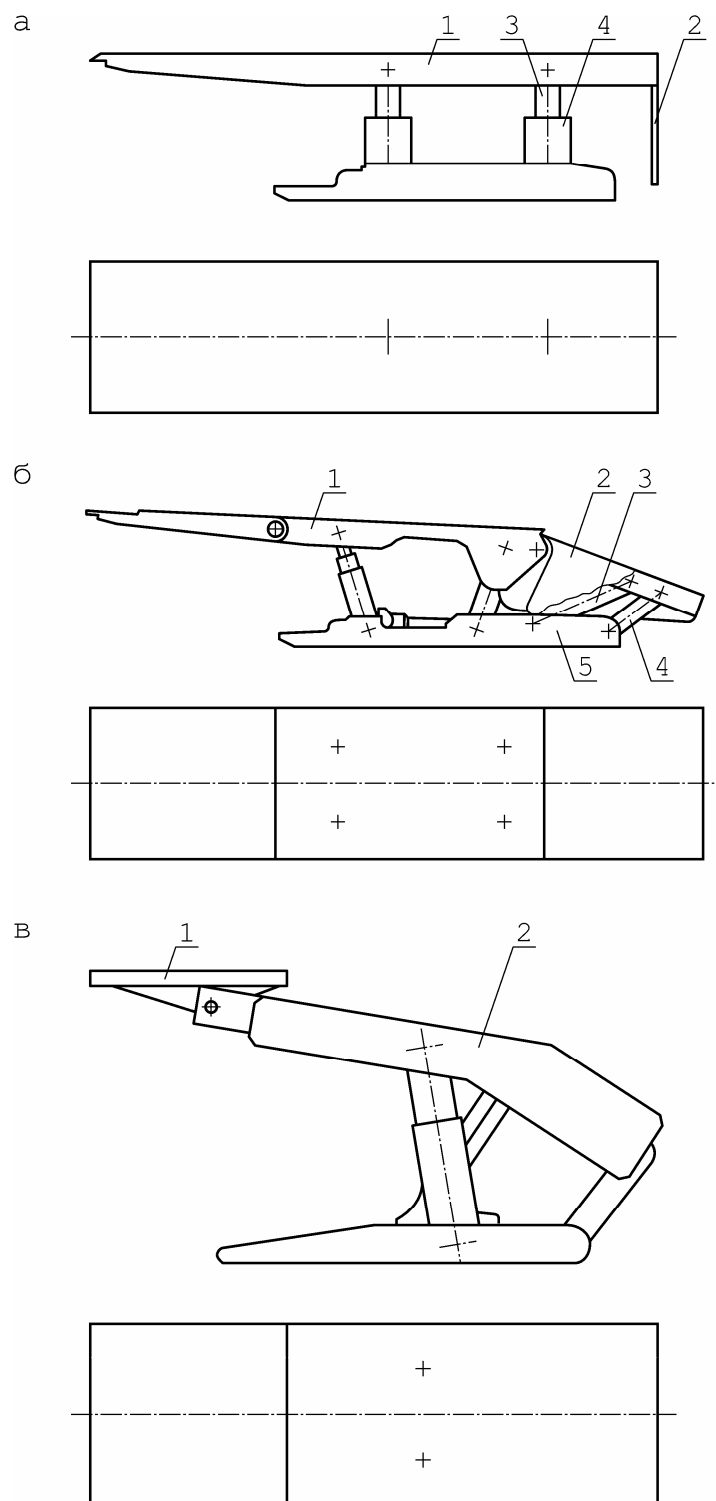


Рис. 3.2. Виды крепей по типу связей системы управления кровлей и ограждения крепи с массивом горных пород, отражающих соотношение значений F_n и F_o :
а – поддерживающие; *б* – поддерживающе-оградительные;
в – поддерживающие

Силовое взаимодействие системы управления кровлей с массивом горных пород проявляется в результате выполнения системой управления кровлей своих основных функций – поддержания и управления состоянием пород кровли.

Силовое взаимодействие механизма ограждения крепи с массивом горных пород может проявляться только для поддерживающе-оградительных и оградительно-поддерживающих крепей при возможной реализации подсистемой ограждения своей вспомогательной функции – восприятия части горного давления в тех случаях, когда имеется силовой контакт между оградительными элементами и опустившимися в результате деформации и необрушившимися породами кровли.

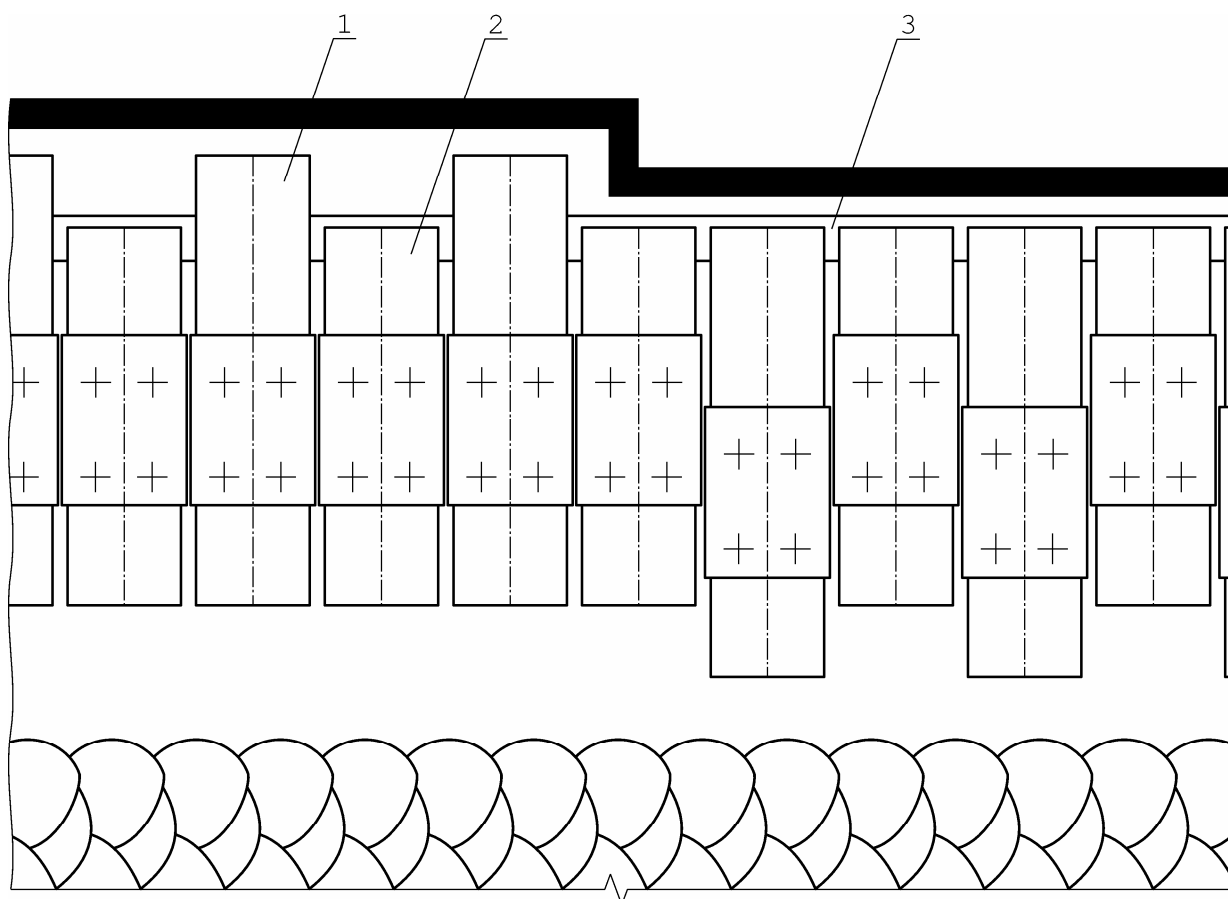


Рис. 3.3 Крепь с шахматной схемой передвижки секций

3. По типу связей системы управления кровлей с массивом горных пород, отражающих конструктивные возможности последовательности закрепления обнаженной при выемке угля призабойной полосы кровли:
 - 3.1. с последовательной передвижкой секций по заряженной схеме (КД90, М103М, МТ и др.);

3.2. с последовательной передвижкой по незаряженной схеме ("Донбасс М" и др.);

3.3. с шахматной передвижкой (КД80Ш и др.), (рис. 3.3).

У крепей типа 3.1 каждая секция может быть перемещена к груди забоя на величину ширины захвата очистного комбайна (ОК) до передвижки рештачного става (р.с.) на новую дорогу (в исходном положении гидродомкраты передвижки раздвинуты).

У крепей типа 3.2 такое перемещение может быть реализовано только после передвижки р.с., поскольку в исходном положении эти гидродомкраты сложены (в этом случае призабойная полоса сразу вслед за проходом комбайна может крепиться выдвинутыми консолями перекрытий при их наличии).

Шахматный порядок передвижки может быть реализован, например, для двухсистемных крепей, рис. 3.3, с двумя конструктивно отличающимися типами секций 1 и 2, расположенных через одну. В этом случае вслед за проходом ОК осуществляется передвижка к забою секций 1 с удлиненными консолями (гидродомкраты передвижки у этих секций раздвинуты в отличие от секций 2), затем производится передвижка конвейера 3 на новую дорогу, а потом подтягиваются секции 2 с короткими консолями.

При наличии соответствующих кровель в случае необходимости повышения скорости крепления лавы и для крепей типа 3.1 может быть реализована шахматная схема передвижки, когда сначала перемещают к забою только четные (нечетные) секции, а затем с некоторым отставанием – нечетные (четные).

4. По типу связей между системой управления кровлей и массивом горных пород при передвижке секций:

4.1. с конструктивным обеспечением проектной величины подпора (КД90 и др.);

4.2. без конструктивного обеспечения проектной величины подпора (М87УМ, МТ и др.).

У крепей типа 4.1 значение усилия воздействия перекрытия на кровлю в призабойной зоне во время передвижки секции обеспечивается соответствующими конструктивными решениями (как, например, у крепи КД90) и не зависит от степени мастерства рабочих, выполняющих передвижку крепи.

У крепей типа 4.2 передвижка секций производится либо с опусканием перекрытия до разрыва силового контакта с кровлей, либо при не полностью разгруженных гидростойках с целью обеспечения определенного остаточного подпора, разброс значений которого является весьма значительным.

5. По типу связей между подсистемой перемещения комплекса (агрегата) (ПП) и почвой пласта при передвижке:
 - 5.1. с обеспечением подъема носка основания секции (КД90, М103М и др.);
 - 5.2. без обеспечения указанного подъема (МТ, М87УМ и др.).
6. По типу связей системы управления кровлей с рештачным ставом:
 - 6.1. без призабойных стоек, связанных с рештачным ставом (КД90, МТ и М103М);
 - 6.2. с призабойными стойками, связанными рештачным ставом (рис. 3.4).

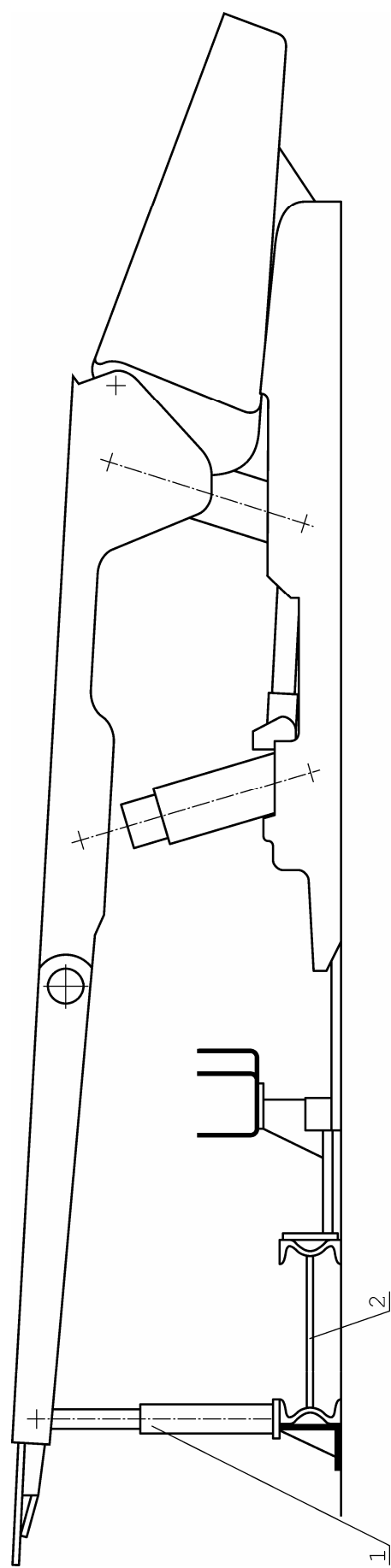


Рис. 3.4. Секция крени с призабойными стойками, связанными с решачным ставом:
1 – призабойная стойка; 2 – решачный став

3.2. Рациональные проектно-компоновочные решения для механизированных крепей очистных комплексов

Формирование обоснованных критериев качества, отражающих степень совершенства механизированных крепей очистных комплексов, позволяет на достаточно высоком уровне выполнить сравнительный анализ и установить наиболее перспективные проектно-компоновочные решения исследуемых объектов.

Представляется целесообразным установить основные единичные критерии, отражающие качество функционирования крепи с позиций каждого в отдельности рассматриваемого классификационного признака.

Анализ известных проектно-компоновочных решений позволяет предложить следующие единичные критерии качества (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Критерии, характеризующие качество функционирования подсистем крепей по признакам формирования их внешних связей

Классификационные признаки	Критерии качества
1	2
1. По типу основных связей подсистемы передвижки крепи и рештчатого става	Поперечное смещение комплекса по отношению к номинальному направлению подвигания лавы, накопленное за 10 (или другое представленное число) шагов передвижки секций крепи и конвейера. Коэффициент затяжки кровли K_k . Обеспечение необходимой величины подпора при передвижке секций P_{nn} , кН/м ²
2. По типу связей системы управления кровлей и ограждения крепи с массивом горных пород, отражающих соотношение величин F_n и F_o	Параметры, характеризующие силовое взаимодействие крепи с кровлей: удельное сопротивление на 1 м ² поддерживаемой площади P_n , кН/м ² ; удельное сопротивление на конце передней консоли перекрытия P_k , кН/м; удельное сопротивление крепи на 1 м длины лавы P_l , кН/м; коэффициент начального распора K_n

1	2
3. По типу связей системы управления кровлей с массивом горных пород, отражающих конструктивные возможности последовательности закрепления обнаженной при выемке угля полосы кровли	Продолжительность процесса полного закрепления призабойной полосы после выемки
4. По типу связей между системой управления кровлей и массивом горных пород при передвижке секций	Степень сохранения устойчивости нижних слоев непосредственной кровли при передвижке секций
5. По типу связей подсистемы передвижки крепи и почвы пласта при передвижке	Величина внедрения оснований секций в породы почвы при передвижке
6. По типу связей системы управления кровлей с решетчатым ставом	Степень сохранения устойчивости непосредственной кровли в призабойной зоне

Раскроем сущность предлагаемых критериев с анализом возможных их оценок, на основании которого из широкого круга рассмотренных типов крепей по признакам формирования внешних связей их подсистем уже могут быть выделены более рациональные или перспективные.

Сопоставляя на качественном уровне агрегатированные и комплектные крепи с позиции возможного поперечного смещения отдельных технических объектов и, в конечном итоге, очистного комплекса, накопленного за 10 (или другое представительное число) шагов передвижки, можно сделать четкий вывод, что агрегатированные крепи являются более перспективными, поскольку все секции этих крепей обладают двухсторонними силовыми и кинематическими связями с решетчатым ставом забойного конвейера, что в конечном итоге обеспечивает заданное направление подвигания комплекса.

Качество передвижки комплектных крепей в значительной степени зависит от состояния боковых пород, поскольку каждая передвигаемая секция опирается на соседнюю (входящую в комплект), распертую между кровлей и почвой. Известные конструкции ком-

плектных крепей позволяют иметь только ручное управление, поскольку указанные обстоятельства делают практически невозможной автоматизацию крепи.

Комплектные крепи по сравнению с агрегатированными, как правило:

- обладают более низкими значениями коэффициента затяжки кровли K_k , определяемого как отношение площади проекций всех верхних перекрытий секций на плоскость по контакту "порода-уголь" к площади, поддерживаемой секцией в исходном положении крепи;
- не обеспечивают необходимой величины подпора P_{nn} , определяемого как усилие распора на всем пути передвижки секции, отнесенное к 1 м^2 поддерживаемой площади;
- создают большие давления на почву пласта из-за невысокой площади элементов основания.

Следует отметить, что, наряду с указанными недостатками, комплектные крепи обладают также определенными положительными качествами, прежде всего – более высокой маневренностью, что позволяет облегчить прохождение участков с горно-геологическими нарушениями, а также, в ряде случаев, более высокими, чем у агрегатированных крепей, конструктивными возможностями снижения минимального предела вынимаемой мощности пластов.

Как известно, качественное состояние кровли в пределах поддерживаемого крепью призабойного пространства зависит от величины ее деформации (смещения) и может быть хорошим, удовлетворительным и неудовлетворительным. Обеспечение требуемого состояния кровли зависит не только от ее класса по управляемости, мощности вынимаемого пласта и проектно-компоновочного решения самой секции крепи, но и в значительной мере определяется параметрами, характеризующими силовое взаимодействие крепи с кровлей. Эти параметры и предлагается рассматривать в качестве критериев применительно к механизированным крепям, классифицируемым по типу связей системы управления кровлей и механизма ограждения с массивом горных пород, отражающих значимость поддерживающих и ограждающих элементов (см. табл. 3.1).

Удельное сопротивление на 1 м^2 поддерживаемой площади определяется по формуле:

$$D_i = \frac{D_{\dot{n}}}{F}, \text{ кН/м}^2, \quad (3.1)$$

где P_c – сопротивление секции, кН;
 $F = t \cdot l$ – площадь кровли, поддерживаемой секцией в исходном положении, м²;
 t – номинальный шаг установки секций, м;
 l – номинальное расстояние от забоя до задней кромки перекрытия, м.

Сопротивлением секции называется вертикальная реакция поддерживающей части крепи на кровлю пласта в момент срабатывания предохранительных клапанов гидростоек. Номинальное значение P_c определяется как суммарное, приведенное к поддерживающей части, сопротивление гидростоек при срабатывании предохранительных клапанов и устанавливается исходя из задаваемого удельного сопротивления крепи.

Размер l определяется без учета вновь обнажаемой полосы кровли для крепей, имеющих возможность в исходном положении передвигаться на ширину захвата выемочной машины, а также с учетом вновь обнажаемой полосы кровли для крепей, не имеющих возможности в исходном положении передвигаться на ширину захвата выемочной машины в условиях устойчивой непосредственной кровли при фронтальной передвижке конвейера.

Удельным сопротивлением на конце передней консоли перекрытия P_k , кН/м, называется отношение максимальной нагрузки, приложенной в ближайшей к забою точке, отстоящей от линии возможного контакта с кровлей на конце передней консоли перекрытия не более 50 мм, к шагу установки секций крепи при рабочем сопротивлении гидростоек и опоре жесткой части перекрытия на кровлю в двух крайних точках возможного контакта с кровлей.

Удельное сопротивление крепи на 1 м длины лавы определяется по формуле:

$$D_{\bar{e}} = \frac{D_{\bar{n}}}{t}. \quad (3.2)$$

Коэффициент начального распора K_n определяется из выражения:

$$\hat{E}_i = \frac{D_{i i}}{D_{\bar{A}}}, \quad (3.3)$$

где P_{nm} – максимальное рабочее давление в напорной магистрали, соответствующее максимальному давлению, развиваемому насосной станцией, МПа;

P_2 – давление срабатывания предохранительного клапана гидростойки при ее номинальном сопротивлении, то есть

давление в поршневой полости гидростойки, при котором стойка развивает номинальное сопротивление и происходит открытие предохранительного клапана, МПа.

Анализ показывает, что если все три типа крепей рассматривать только с позиций потенциального обеспечения необходимых значений параметров силового взаимодействия с кровлей и абстрагироваться от всех возможных ограничений (по прочностным характеристикам несущих элементов крепи для тонких пластов, по габаритным размерам секции, по размерам рабочих проходов и т.п.), то можно сделать вывод, что поддерживающие, поддерживающе-оградительные и оградительно-поддерживающие крепи не имеют явно выраженных преимуществ друг перед другом.

Вместе с тем, как известно, крепи оградительно-поддерживающего типа в настоящее время находят достаточно широкое применение только на пластах мощностью свыше 1,6 м.

В результате собственных исследований автора и выполненного им анализа мировых тенденций убедительно показаны преимущества поддерживающе-оградительных крепей перед оградительно-поддерживающими с позиции эффективности силового взаимодействия с кровлей. Кроме того, оградительно-поддерживающие крепи по сравнению с поддерживающими и поддерживающе-оградительными обладают и другими весомыми недостатками, весьма существенными при отработке пластов достаточно малой мощности: меньшие размеры проходов в крепи, что ухудшает работу обслуживающего персонала и может приводить к увеличению нижнего предела мощности обслуживаемых пластов; меньшие размеры сечений, свободных для прохождения воздушной струи.

Наиболее совершенными агрегатированными крепями являются крепи с последовательной передвижкой секций по заряженной схеме, так как они обладают наименьшей продолжительностью полного закрепления* призабойной полосы после выемки, что в свою очередь обеспечивает следующие основные преимущества:

- уменьшение смещений и растягивающих напряжений кровли в призабойной зоне и бесстоечном пространстве крепи;
- перераспределение напряжений и смещений кровли от забоя к выработанному пространству и, следовательно, более интенсивное нагружение гидростоек крепи;

* Полное закрепление соответствует проектному коэффициенту затяжки кровли K_0 .

- возможность закрепления крепью вывалов и обнажений кровли, вызванных отжимом угля.

Исходя из имеющейся тенденции по ухудшению горно-геологических условий разрабатываемых шахтопластов, становится очень актуальным при выполнении технологических операций по креплению призабойного пространства обеспечить оптимальные условия взаимодействия перекрытий механизированных крепей с кровлей и их оснований с почвой при передвижке секций.

По типу связей между системой управления кровлей и кровлей пласта при передвижке секций преимуществом обладают крепи, передвигающиеся с конструктивным обеспечением проектной величины подпора. В этом случае реализация указанных связей в наибольшей мере способствует сохранению устойчивости непосредственной кровли, одновременно сводя до минимума штыбонакопление между верхним перекрытием и кровлей. Наличие породной "подушки" на перекрытиях секций удлиняет период выхода стоек на номинальный режим и может уменьшать площадь контактирования элементов перекрытия с неразрушенной кровлей. При этом подпор должен обеспечиваться преимущественно в области первого от забоя ряда гидростоек секций, близкой к центру тяжести перекрытия.

Крепи по механизму конструктивного обеспечения величины подпора при передвижке можно разделить на две группы: с пассивным и с активным подпором. Пассивный подпор соответствует реализации проектного силового контакта перекрытия с кровлей за счет неполной разгрузки гидростоек только при наклоне призабойной зоны от завала к забою или при его отсутствии. При применении механизмов активного подпора (КД90 и др.) обеспечивается наилучшее качество взаимодействия системы управления кровлей с кровлей с точки зрения рассматриваемого критерия, так как силовой контакт перекрытия с кровлей заданной величиной подпора обеспечивается также и в ситуациях, соответствующих увеличению вынужденной мощности пласта в пределах шага передвижки или наличию опережающих вывалов нижних слоев непосредственной кровли.

Передвижка секций с подъемом носка основания позволяет улучшить взаимодействие крепи со слабыми породами почв, уменьшить величину внедрения оснований секций в почву при передвижке. Поэтому, рассматривая крепи по типу связей между системой передвижки комплекса и почвы пласта при наличии слабых пород, следу-

ет отдать предпочтение крепям с конструктивной реализацией подъема носка основания в процессе передвижки.

Качественное управление породами кровли в призабойном пространстве, заключающееся в поддержании и сохранении целостности непосредственной кровли и исключения ее расслоения и предотвращения вывалообразований, во многих случаях может являться определяющим с позиции эффективности функционирования всей механизированной крепи.

При этом заслуживают внимания поисковые работы по созданию крепей с дополнительной гидростойкой, опирающейся на став забойного конвейера и активно поддерживающей в призабойном пространстве консольную часть перекрытия. Это позволит повысить устойчивость нижних слоев непосредственной кровли в призабойной зоне, а также реализовать, при необходимости, удлиненную консольную часть перекрытия.

Агрегатированные механизированные крепи по признакам формирования внутренних связей предлагается делить на следующие группы:

1. По типу связей ограждения с основанием и перекрытием:

1.1. щитовые (КД90, М137, М138 и др.);

1.2. нещитовые (М87УМ, М88, МТ, М103М и др.).

У щитовых крепей (рис. 3.2, б) конструкция ограждения, включающего оградительный элемент 2 и траверсы 3, 4, шарнирно соединенные соответственно с перекрытием 1 и основанием секции 5, обеспечивает дополнительные к гидростойкам силовые и кинематические связи между перекрытием и основанием, что приводит к силовой разгрузке гидростоек от поперечных усилий.

У нещитовых крепей указанные усилия воспринимаются гидростойками и упругими восстановителями различных типов. Применительно к конструктивной схеме, изображенной на рис. 3.2, а, упругие элементы указанных восстановителей смонтированы между стаканами 4 и стойками 3. У крепи М103М в качестве упругого восстановителя выступает специальный гидроцилиндр, соединяющий перекрытие с основанием, при этом стойки с основанием соединены шарнирно. Возможны и другие конструктивные исполнения упругих восстановителей.

2. По вероятным компоновочным схемам расположения гидростоек на поддерживающе-оградительные и поддерживающие:
 - 2.1. 2+2 (КД90, М138, МТ, М103М) (рис. 3.2, б);
 - 2.2. 2+1 (рис. 3.5, а);
 - 2.3. 2+0 (М143) (рис. 3.5, б);
 - 2.4. 2+1_о (М144) (рис. 3.5, в);
 - 2.5. 0+2 (М137) (рис. 3.5, г);
 - 2.6. 1+1 (М87УМ, М88) (рис. 3.2, а).

В условном обозначении схем первая цифра означает число стоек в первом от забоя ряду, а вторая – во втором от забоя ряду. Индекс "о" означает, что эта стойка взаимодействует с ограждением (секции с силовым ограждением). Отсутствие этого индекса означает, что все стойки взаимодействуют только с перекрытием. Если компоновочные схемы расположения гидростоек у крепей поддерживающе-оградительного и поддерживающего типов одинаковы, то на вышеуказанных рисунках в качестве примера изображена секция только одного из двух рассматриваемых типов крепей.

Крепи с компоновочной схемой по формуле 1+1 относят к рамным (обе стойки в одной, продольной для секции плоскости). Остальные вышеприведенные компоновочные формулы соответствуют крепям кустового типа.

3. По компоновочным схемам расположения гидродомкратов передвижки:
 - 3.1. с фланговым расположением двух гидродомкратов (МТ и др.) (рис. 3.6, а);
 - 3.2. с центральным расположением одного гидродомкрата (КД90, М103М и т.д.) (рис. 3.6, б);
 - 3.3. с гидродомкратом, смещенным относительно продольной оси основания (М87УМ, М88 и др.) (рис. 3.6, в).

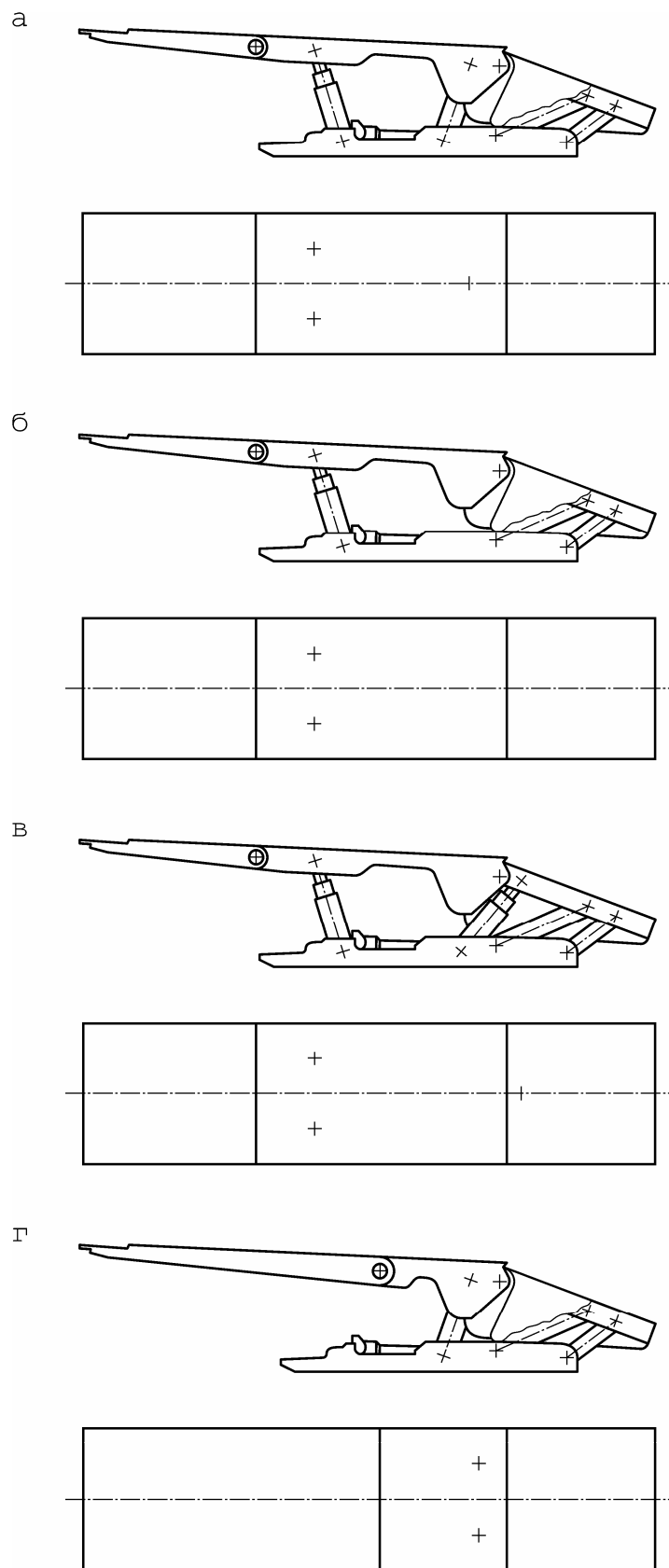


Рис. 3.5. Компонувочные схемы размещения гидростоек секции:
а) 2+1; б) 2+0; в) 2+1_о; г) 0+2

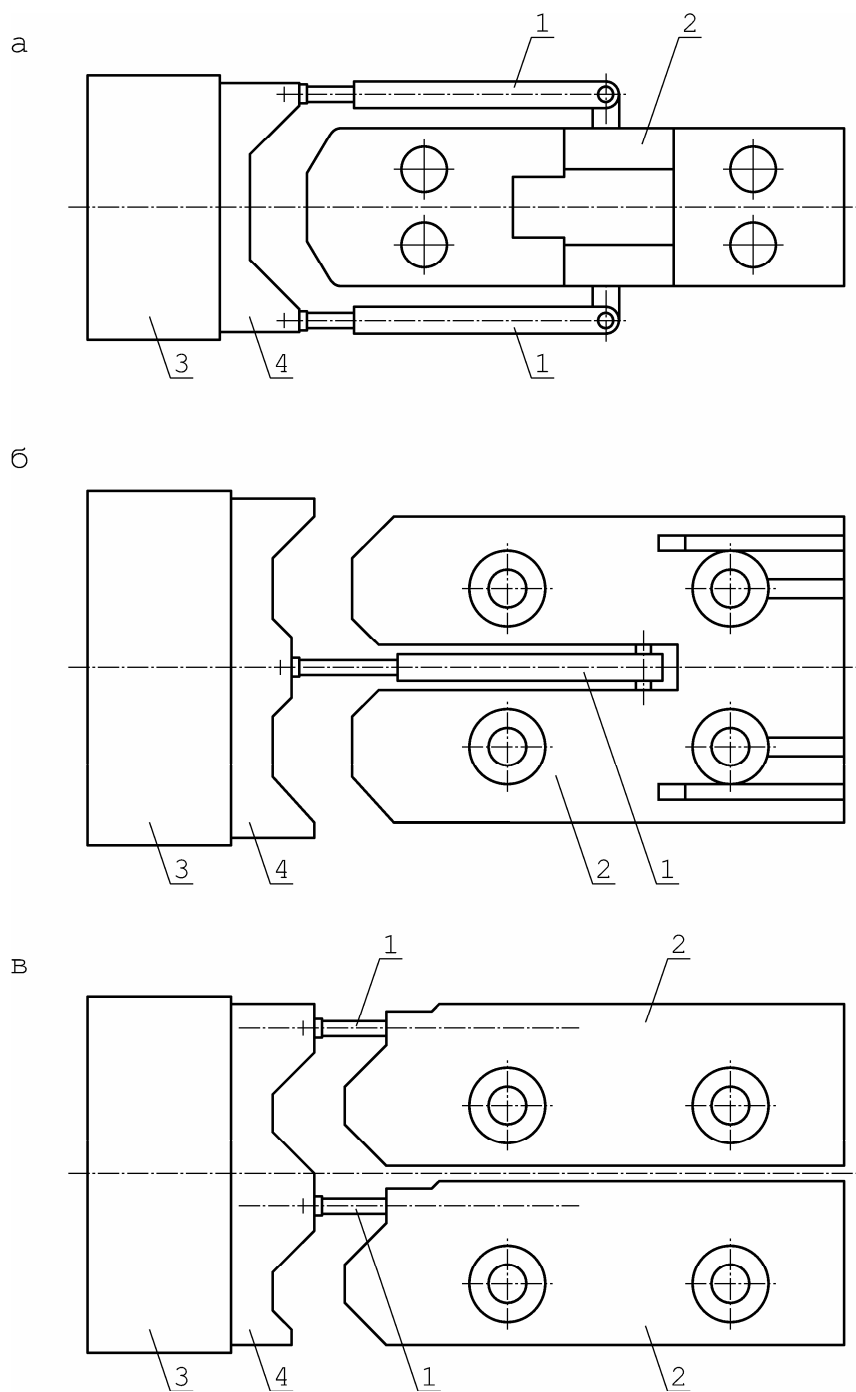


Рис. 3.6. Компонентные схемы расположения гидродомкратов передвижки:

- а) с фланговым расположением двух гидродомкратов;
- б) с центральным расположением одного гидродомкрата;
- в) с гидродомкратом, смещенным относительно продольной оси основания;

1 – гидродомкраты, 2 – основания секции, 3 – участок решетчатого става, 4 – навесное оборудование конвейера

4. По типу связей в системе перемещения комплекса, обеспечивающих определенный уровень качества выполнения основных функций, делегированных этой системе:

4.1. с направляющими устройствами (рис. 3.7, а);

4.2. с ориентирующими устройствами (рис. 3.6, б);

4.3. без указанных устройств (рис. 3.7, б).

Составные элементы направляющих устройств, обеспечивающих требуемую направленность передвижки, могут быть смонтированы на соседних секциях крепи (М103М и др.) или на рештачном стае или на секциях крепи (М87УМ и др.). В ряде случаев направляющие устройства также обеспечивают необходимый уровень боковой устойчивости секций крепи (М87УМН).

На рис. 3.7, а в качестве примера приведены направляющие устройства в виде балок 1, смонтированных на навесном оборудовании става конвейера 2, и упругих рессорных элементов 3, установленных на основаниях 4 секций и обеспечивающих силовой контакт при передвижке как секций крепи, так и рештачного става с соседними направляющими балками 1.

Ориентирующие устройства (рис. 3.6, б) – это навесное оборудование, которое монтируется на рештачном стае и осуществляет необходимую ориентацию секций путем их самоустановки в конце хода передвижки (КД90 и др.). Применительно к примеру, изображенному на рис. 3.6, б (КД90), такая ориентация обеспечивается за счет соответствующей конфигурации взаимодействующих в конце хода передвижки секции с помощью гидродомкрата 1 торцевых поверхностей навесного оборудования 4 и основания секции 2.

5. По типу связей в системе перемещения комплекса, обеспечивающих определенный уровень качества выполнения системой перемещения комплекса сервисных функций:

5.1. с механизмами для активной корректировки положения секции крепи в поперечной для них плоскости;

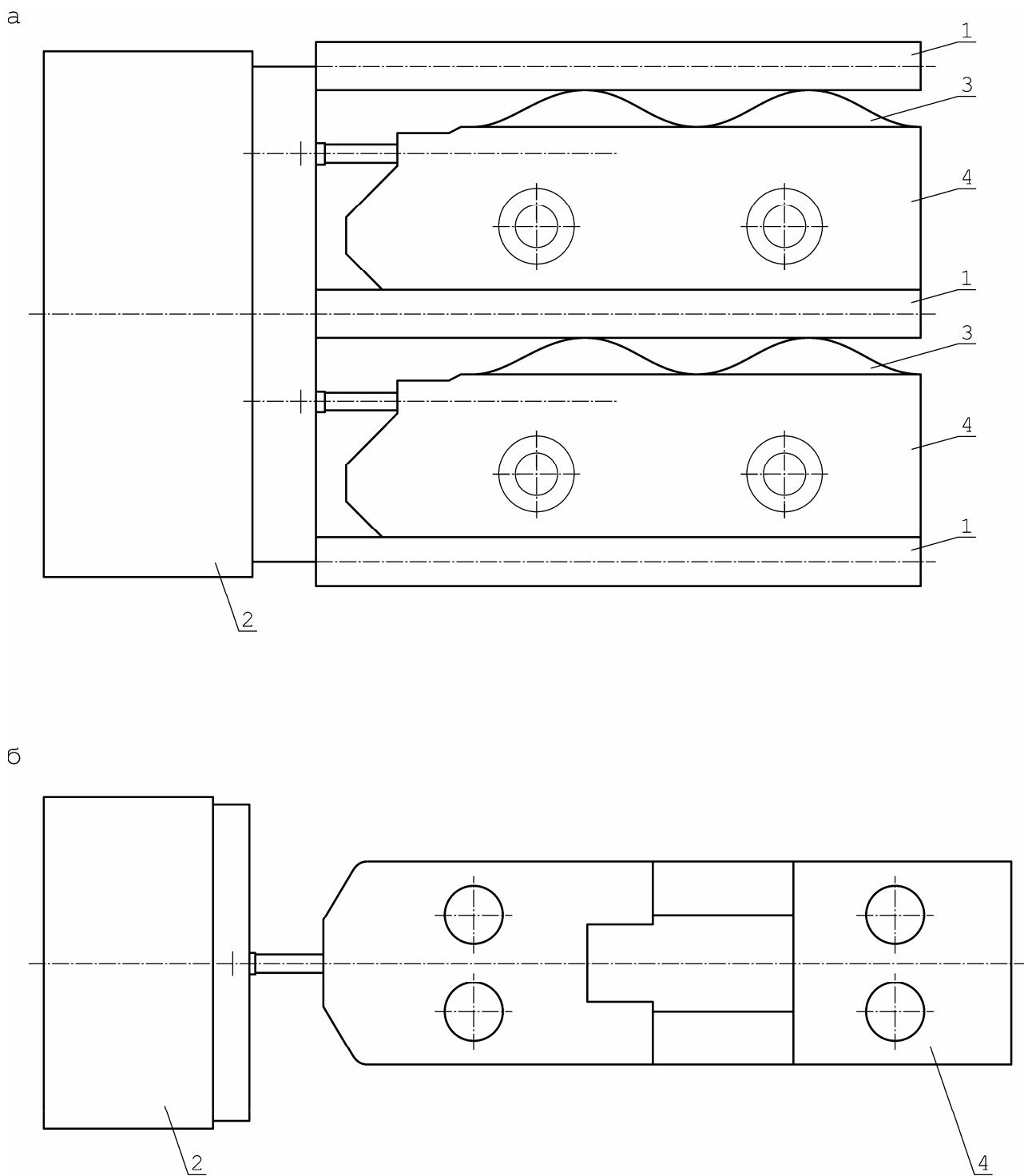


Рис. 3.7. Виды крепей по типу связей
в системе перемещения комплекса:

а) с направляющими устройствами; б) без ориентирующих устройств

- 5.2. с механизмами для активной корректировки положения рештачного става в поперечной плоскости (рис. 3.8, а);
- 5.3. с механизмами для активной корректировки положения рештачного става в продольном направлении (рис. 3.8, б);
- 5.4. без указанных механизмов.

Активная корректировка положения секции в поперечной плоскости при выполнении операции ее передвижки относительно нижерасположенной, распертой между вмещающими породами, обеспечивается обслуживающим персоналом с помощью соответствующих механизмов с гидроцилиндрами (КД90, М103М и др.). Одновременно эти механизмы могут обеспечивать также требуемый уровень боковой устойчивости секций крепи при работе на наклонных пластах и способствовать повышению направленности передвижки секций (КД90).

Активная корректировка положения рештачного става конвейера в поперечной плоскости (реализована в крепи 1МК85Б) и в продольном направлении может осуществляться в случае необходимости таких управляющих воздействий с помощью специальных механизмов с гидроцилиндрами 1 и 2 (рис. 3.8). Следует отметить, что на пластах малой мощности имеются достаточно жесткие габаритные ограничения, затрудняющие конструктивную реализацию рассматриваемых функций.

6. По типу связей системы управления кровлей и механизма ограждения крепи, обеспечивающих перекрытие зазоров между соседними секциями:
 - 6.1. с механизмами для принудительного перекрытия зазоров;
 - 6.2. без указанных механизмов.

Перекрытие зазоров обеспечивается с помощью соответствующих механизмов с гидроцилиндрами и на основе пружин.

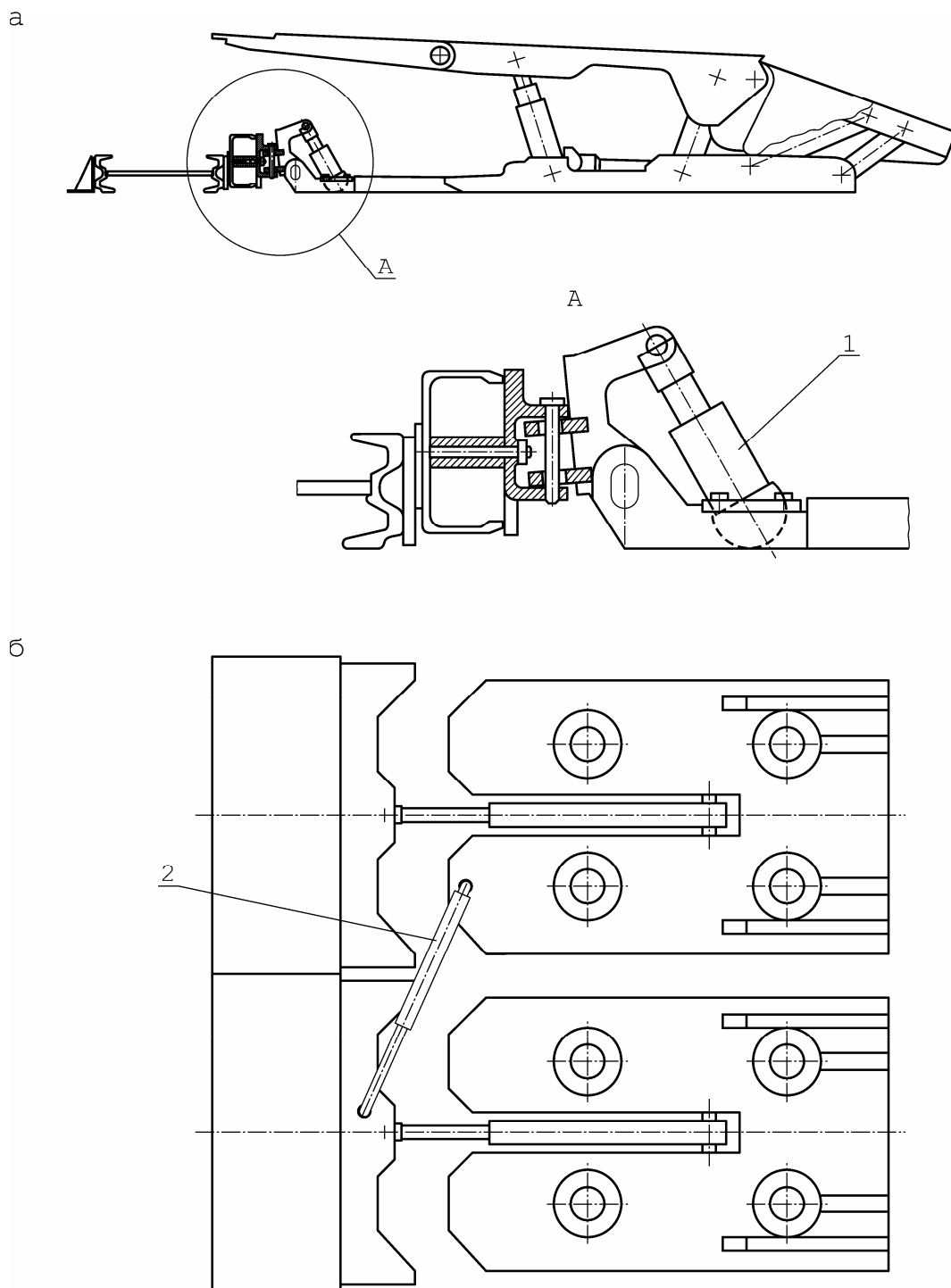


Рис. 3.8. Виды крепей по типу связей в системе перемещения комплекса, обеспечивающих определенный уровень качества выполнения сервисных функций:

- а) с механизмом для активной корректировки положения рештачного става в поперечной плоскости;
- б) с механизмами для активной корректировки положения рештачного става в продольном направлении

В заключение следует подчеркнуть, что вышеуказанные раздвижные боковые щиты относятся к перспективным межмодульным механизмам со следующей совокупностью выполняемых функций:

- принудительное перекрытие межсекционных зазоров;
- обеспечение направленности передвижки и повышение боковой устойчивости секции крепи при наличии значительных углов наклона пласта;
- активная корректировка положения вышерасположенной секции относительно нижерасположенной при передвижке первой.

Принимая за основу подходы, изложенные в 3.2, применительно к классификации механизированных крепей по признакам формирования внутренних связей в их подсистемах, могут быть установлены основные единичные критерии, характеризующие качество функционирования крепи с позиций каждого в отдельности рассматриваемого классификационного признака.

Анализ известных проектно-компоновочных решений позволил предложить следующие критерии (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Критерии качества, характеризующие рациональность проектно-компоновочных схем секций крепи

Классификационные признаки	Критерии качества
1	2
1. По типу связей ограждения с основанием и перекрытием	Отношения максимально допустимых усилий со стороны кровли (при которых еще обеспечивается нормальная эксплуатация секции), прикладываемых вдоль продольной $P_{пр}$ и поперечной $P_{по}$ осей секции к номинальному сопротивлению секции (соответственно $K_{пр}$ и $K_{по}$). Степень защиты рабочего пространства от продуктов обрушения
2. По вероятным компоновочным схемам расположения гидростоек в секции	Коэффициент эффективности управления кровлей. Коэффициент эффективности поддержания кровли призабойного пространства. Коэффициент рациональности конструктивной схемы секции

1	2
3. По компоновочным схемам расположения гидродомкратов передвижки	Направление усилий, действующих на основание от гидродомкратов при передвижке
4. По типу связей в системе перемещения комплекса, обеспечивающих определенный уровень качества выполнения основных функций	Максимальный угол отклонения продольной оси основания относительно номинального положения при передвижке секции на 1 шаг
5. По типу связей в системе перемещения комплекса, обеспечивающих определенный уровень качества выполнения сервисных функций.	Уровень управляемости положением машин комплекса в пространстве очистного забоя
6. По типу связей системы управления кровлей и ограждения, обеспечивающих перекрытие зазоров между соседними секциями	Коэффициент затяжки кровли K_k

Наличие дополнительных силовых и кинематических связей между перекрытием и основанием у щитовых механизированных крепей позволяет при прочих сопоставимых условиях обеспечить, по сравнению с нещитовыми крепями, более высокие параметры жесткости и, следовательно, и внутренней устойчивости конструкции секции* в поперечной и продольной плоскостях. Это преимущество может быть оценено на основе сравнения показателей $K_{пр}$ и $K_{по}$, относящихся соответственно к продольным и поперечным усилиям (табл. 3.2).

Кроме того, проектно-компоновочные решения щитовых крепей потенциально лучше, чем у нещитовых, так как они приспособлены для более эффективной защиты рабочего пространства от продуктов обрушения.

Качество компоновочных схем расположения гидростоек предлагается оценивать при сопоставлении следующих единичных критериев:

* Внутренняя устойчивость конструкции секции – способность перекрытия сохранять под нагрузкой такое положение по отношению к основанию, при котором обеспечивается нормальная эксплуатация секции.

- коэффициента эффективности управления кровлей;
- коэффициента эффективности поддержания кровли в призабойном пространстве;
- коэффициента рациональности конструктивной схемы секции.

Следует также отметить низкую боковую устойчивость секций рамной конструкции (компоновка гидростоек по формуле 1+1) при углах наклона пласта свыше 35° .

При выборе компоновочных схем расположения гидростоек в качестве ограничивающего фактора следует также учитывать размеры прохода в крепи.

В целом компоновочные схемы с фланговым расположением двух ГД и с центральным расположением одного гидродомкрата более предпочтительны, чем схема с гидродомкратом, смещенным относительно продольной оси основания, так как в последнем случае формируются усилия, стремящиеся при передвижке развернуть основания секций.

Необходимо также отметить, что при наличии двух флангово расположенных гидродомкратов (ГД) может иметь место значительное штыбонакопление между соседними основаниями. Кроме того, возможна некоторая несинхронность работы ГД в связи с наличием разных сопротивлений в зонах их расположения. С этих позиций предпочтительнее один центрально расположенный гидродомкрат при условии, что имеются необходимые габариты по высоте для его размещения. То есть, при выборе рациональной схемы расположения ГД, которые должны обеспечивать проектную скорость крепления лавы и необходимое тяговое и толкающее усилия, также следует учитывать габаритные размеры, занимаемые механизмом перемещения комплекса в составе секции с конкретными проектно-компоновочными решениями, в том числе в зоне прохода людей.

Для оценки уровня качества выполнения основных функций, делегированных системе перемещения комплекса, следует сравнить степень точности отработки номинального положения секции при ее передвижке на 1 шаг. Эту степень предлагается оценивать максимальным углом возможного или фактического отклонения продольной оси основания относительно номинального направления при передвижке секции на 1 шаг.

По указанному критерию безусловное предпочтение необходимо отдать крепям с направляющими и ориентирующими устройствами.

Очевидно, что делегирование сервисных функций, относящихся к типу связей в системе перемещения комплекса, обеспечивает более высокое качество функционирования механизированных крепей и забойных конвейеров с точки зрения повышения уровня управляемости положением машин комплекса в пространстве очистного забоя.

Весьма желательным является наличие механизмов для активной корректировки положения секций крепи в поперечной для них плоскости.

Желательным является применение механизмов для активной корректировки положения рештачного става в поперечной и продольной для этой подсистемы плоскостях, однако решение этого вопроса должно быть комплексным, то есть следует учитывать также габаритные возможности размещения этих механизмов и остроту их необходимости для определенных горно-геологических условий.

Достаточно полное перекрытие зазоров между соседними секциями, реализуемое с помощью специальных механизмов, повышает уровень безопасности и комфортности работы обслуживающего персонала при эксплуатации крепи и способствует сохранению целостности непосредственной кровли. Рассматриваемое повышение коэффициента затяжки кровли целесообразно осуществлять с помощью межмодульных многофункциональных механизмов, а не с помощью самостоятельных однофункциональных механизмов. Представляется необходимым рекомендовать использовать межмодульные многофункциональные механизмы, в настоящее время реализованные в виде боковых выдвигных щитов, которые также обеспечивают повышение боковой устойчивости и направленности передвижки секций крепи, существенно улучшая технический уровень крепи и степень безопасности и комфортности работы персонала при минимальном усложнении конструкции механизированной крепи.

3.3. Критерии качества и рациональные компоновочно-конструкторские решения структурных элементов механизированных крепей очистных комплексов

К числу основных структурных элементов механизированных крепей очистных комплексов относятся основания, перекрытия, ограждения, гидростойки, механизмы перемещения, механизмы подъема носка основания при передвижке секции.

В отечественных и зарубежных механизированных крепях использованы различные типы указанных структурных элементов и их сочетаний в конструктивных схемах секций. В связи с этим для установления рациональных технических решений секций крепей целесообразно провести классификацию этих структурных элементов и сформировать соответствующие критерии качества.

Известны следующие типы оснований секций механизированных крепей (рис. 3.9):

- составное;
- сплошное;
- сдвоенное типа "катамаран".

Составное основание (рис. 3.9, а) состоит из забойной 1 и завальной 2 частей с опорами под стойки, соединенных между собой шарнирными или рессорными связями 3 (М103М, "Донбасс М").

Сплошное основание (рис. 3.9, б) представляет собой цельную (крепь МТ) или вырезанную в центральной части для размещения гидродомкрата передвижки (КД90) плиту с опорами под стойки.

Сдвоенное основание (типа "катамаран", рис. 3.9, в) состоит из двух продольных частей 1 и 2, имеющих между собой шарнирную связь 3. Сдвоенное основание характерно для крепей, имеющих шарнирный четырехзвенник, который выполняет также функцию одной из связей между частями основания (крепь М137, "Глиник").

При проектировании оснований предлагается рассматривать следующие единичные критерии качества:

- среднее давление на почву пласта P_n , МПа, равное номинальному сопротивлению секции крепи, отнесенному к площади основания;
- высота прохода в крепи h_{np} , м, равная расстоянию по вертикали между попарно-параллельными сторонами вписанного в сечение прохода выпуклого многоугольника;
- степень приспособляемости основания к неровностям почвы.

Составные основания имеют следующие основные достоинства: увеличенная высота прохода в крепи, хорошая степень приспособляемости к неровностям почвы в продольном направлении. Однако крепи с такими основаниями имеют склонность к "шалашению" при их передвижке или при наличии дующей почвы. Кроме того, за счет снижения активной площади основания, передающей усилия гидростоек на почву, может весомерно повышаться среднее давление p_n .

Сдвоенные основания обуславливают более высокую степень приспособляемости к неровностям почвы в поперечном направлении.

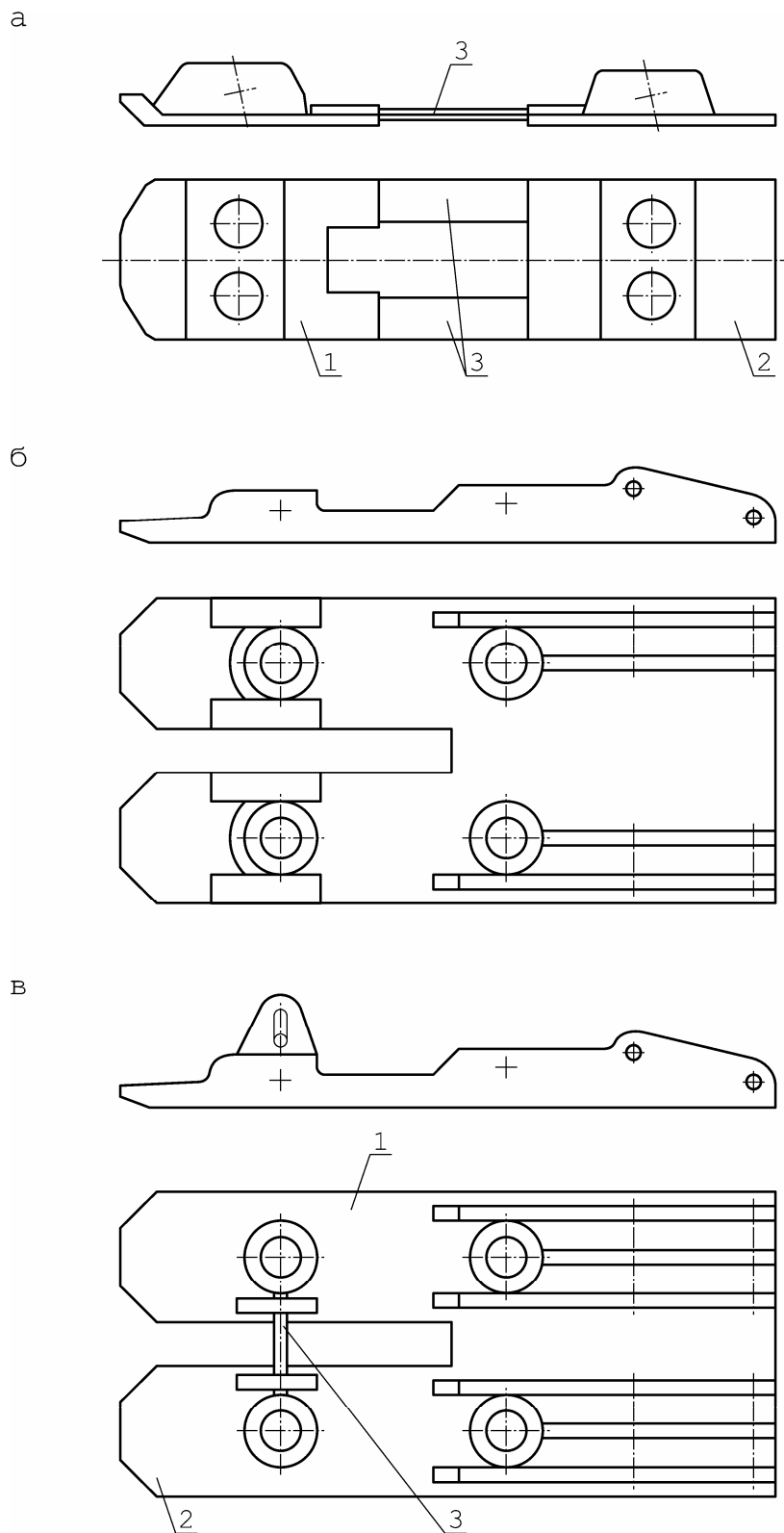


Рис. 3.9. Типы оснований секций:
 а – составное; б – сплошное; в – сдвоенное

Следует отметить, что в подавляющем большинстве случаев в качестве наиболее весомого критерия качества при выборе типа основания следует считать среднее давление на почву пласта. Поэтому наиболее предпочтительными, как правило, являются сплошные и сдвоенные основания.

Перекрытия механизированных крепей (рис. 3.10), состоят из базовой части 1 и призабойной консоли 2. Однако для крепей огради-тельно-поддерживающего типа перекрытие может состоять только из призабойной консоли, шарнирно связанной с ограждением.

Перекрытия для механизированных крепей поддерживающего и поддерживающе-оградительного типов можно классифицировать следующим образом (рис. 3.10):

- по типу базовой части перекрытия – на сплошные (а) и составные с рессорным или шарнирным 3 соединением завальной и забойной частей (б);
- по типу призабойной консоли – на перекрытия с жесткой консолью, являющейся продолжением базовой части перекрытия со стороны призабойного пространства (а, б), с рессорной консолью (в), с поджимной консолью, управляемой от гидростойки 4 (г) и отдельным гидроцилиндром 5 (д), с выдвигной консолью (е), и с консолями комбинированного типа.

Сплошная базовая часть перекрытия представляет собой жесткую балку с опорами под стойки (крепи М88, МТ).

Составная базовая часть перекрытия представляет собой две балки (забойная и завальная) с опорами под стойки, соединенные шарниром или рессорным пакетом (М103М).

Жесткие консоли, являющиеся продолжением базовых частей перекрытий со стороны призабойного пространства, механизированных крепей комбайновых очистных комплексов не нашли практического применения из-за плохого проддержания кровли и низкой приспособляемости к неровностям кровли (такие консоли используются у крепей агрегатов типа АНЩ).

Рессорные консоли представляют собой пакеты упругих элементов, собранных в соответствующих пазах базовых частей перекрытий (М88, М87УМ).

Поджимные консоли шарнирно соединены с базовыми частями перекрытий и управляются от гидростоек (КД80, КД90) либо от специальных гидроцилиндров (М103М, М137, КМП).

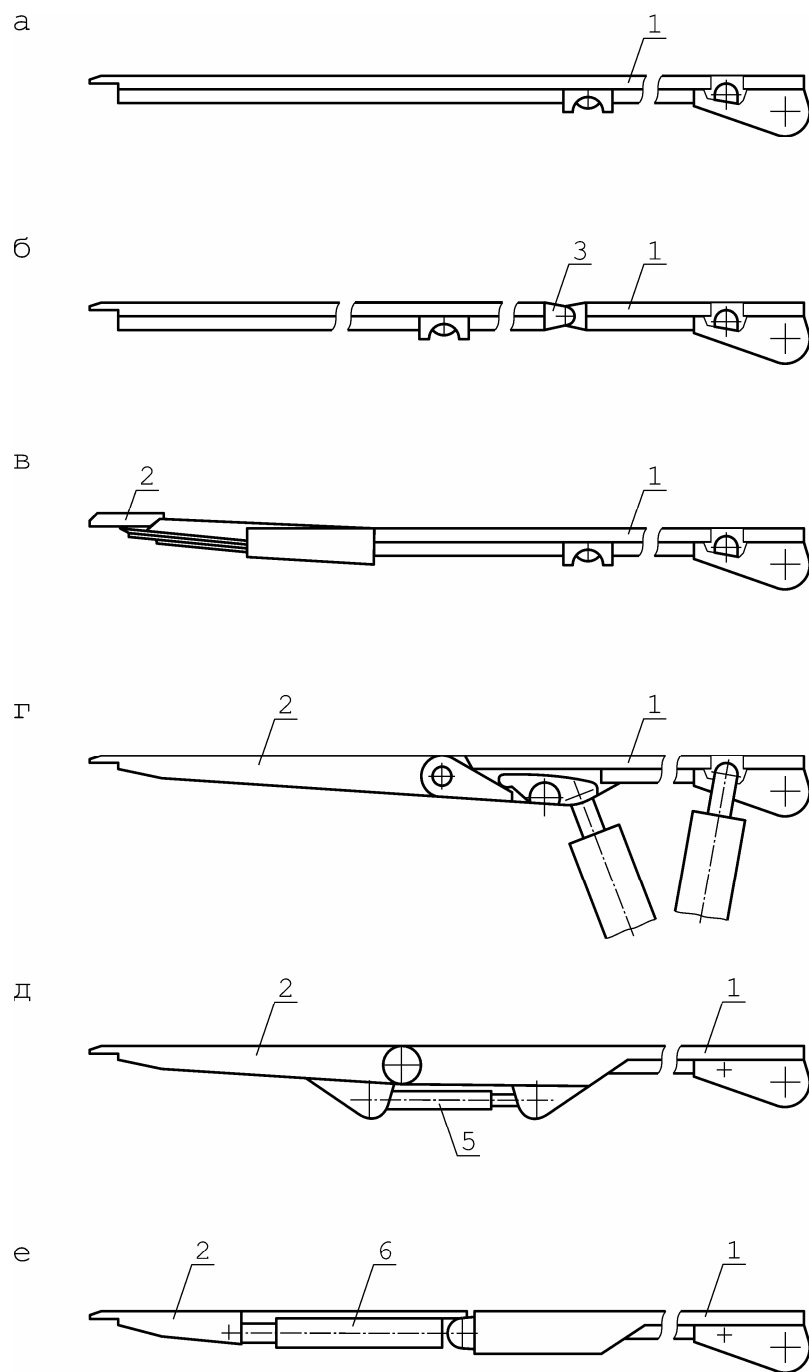


Рис. 3.10. Типы перекрытий секций:

- а – сплошные; б – составные; в – с рессорной консолью;
- г – с поджимной консолью, управляемой от гидростойки;
- д – управляемой отдельным гидродомкратом;
- е – с выдвижной консолью

Выдвижные консоли перемещаются на забой на ширину захвата выемочной машины относительно базовой части перекрытия ("Донбасс М").

При выборе типа перекрытия предлагается рассматривать следующие единичные критерии качества:

- удельное сопротивление на конце передней консоли перекрытия P_k ;
- степень обеспечения проектной величины подпора при передвижке секции P_{nn} , кН/м², – то есть усилия распора на пути передвижки секции, отнесенного к 1 м² поддерживаемой площади кровли;
- высота прохода в крепи h_{np} , м;
- степень приспособляемости перекрытия к неровностям кровли.

Составные базовые части перекрытия могут обеспечивать увеличенную высоту прохода в крепи, а также хорошую приспособляемость перекрытия к неровностям кровли, однако крепи с такими перекрытиями имеют склонность к "шалашению", что существенно затрудняет их работу.

Выдвижные консоли применяются для незаряженных схем передвижки, когда секции в исходном положении вплотную придвинуты к ставу конвейера (резервирование хода гидродомкрата передвижки отсутствует). Как известно, для комбайновых очистных комплексов наиболее перспективными являются заряженные схемы (с резервированием хода гидродомкрата передвижки, когда секции в исходном положении отстоят от конвейера на ширину захвата комбайна).

Как показывает опыт создания механизированных крепей для очистных комплексов, в качестве главного критерия в большинстве случаев при выборе типа консоли следует считать удельное сопротивление на конце передней консоли перекрытия. Наиболее полно этому критерию отвечают консоли поджимного типа. Кроме этого, такие консоли наиболее конструктивно просто обеспечивают проектную величину подпора, одновременно имея возможность приспособляться к неровностям кровли.

В ряде случаев для выемки тонких пластов, когда сложно обеспечить достаточные запасы прочности консоли, последняя может выполняться комбинированной – поджимной и рессорной (М103М).

Известны следующие конструкции ограждений секций крепи.

Ограждения флажкового типа (рис. 3.11, а) просты по конструкции, однако не обеспечивают защиты рабочего пространства от обрушающихся пород. Они применяются в крепях, обслуживающих

пласты с устойчивыми боковыми породами (крепь М88, "Донбасс М", М103М).

Ограждения на базе раздвижных щитов (рис. 3.11, б и 3.11, в) представляют собой телескопически соединенные и взаимно перемещающиеся сварные балки (пластины) 1, 2 и 3. Раздвижка их осуществляется при раздвижке стоек секции. Соединение с перекрытием секции может быть посредством гибкой связи 4 (рис. 3.11, б), в этом случае ограждение не выполняет функций стабилизации перекрытия (крепь МТ, М87УМН), или шарнирным (шарнир 5 на рис. 3.11, в), где ограждение осуществляет силовую связь перекрытия и основания (крепь агрегата АНЦ). Ограждения на базе раздвижных щитов по сравнению с предыдущими вариантами обеспечивают более надежную защиту рабочего пространства.

Ограждения на базе шарнирного многозвенника (рис. 3.11, г, д, е) получили наиболее широкое применение в конструкции секций механизированных крепей. Они состоят из оградительного элемента 1, шарнирно соединенного с перекрытием 2, и траверс 3 и 4, также шарнирно соединенных с оградительным элементом 1 и основанием 5 секции крепи (рис. 3.11, г) (крепь КД90, "Глиник").

Траверсы могут быть выполнены в виде гидродомкратов 6 (рис. 3.11, д) с целью охвата крепью большего диапазона мощности пластов. Указанные гидродомкраты снабжены предохранительными клапанами и обеспечивают ступенчатую настройку крепи на тот или иной диапазон мощности пластов. Такая конструкция позволяет повысить унификацию элементов и была реализована в крепи "Прогресс".

Оградительный элемент может быть связан с перекрытием гидродомкратом 7 (рис. 3.11, е), предназначенным для управления перекрытием в щитовых крепях (крепь М137, "Глиник"). Такие ограждения целесообразно применять, прежде всего, для крепей с расположением стоек по формуле 0+2 с целью большей стабилизации положения перекрытия. Ограждения на базе шарнирного многозвенника обеспечивают разгрузку стоек секции от усилий в плоскости пласта, надежную защиту рабочего пространства от обрушающихся пород, а также хорошо приспособлены для размещения раздвижных боковых щитов. Такие конструкции обеспечивают при сокращении и раздвижке гидростоек достаточное приближение траектории (рабочий участок лемнискаты) характерных точек перекрытия к перпендикуляру относительно основания.

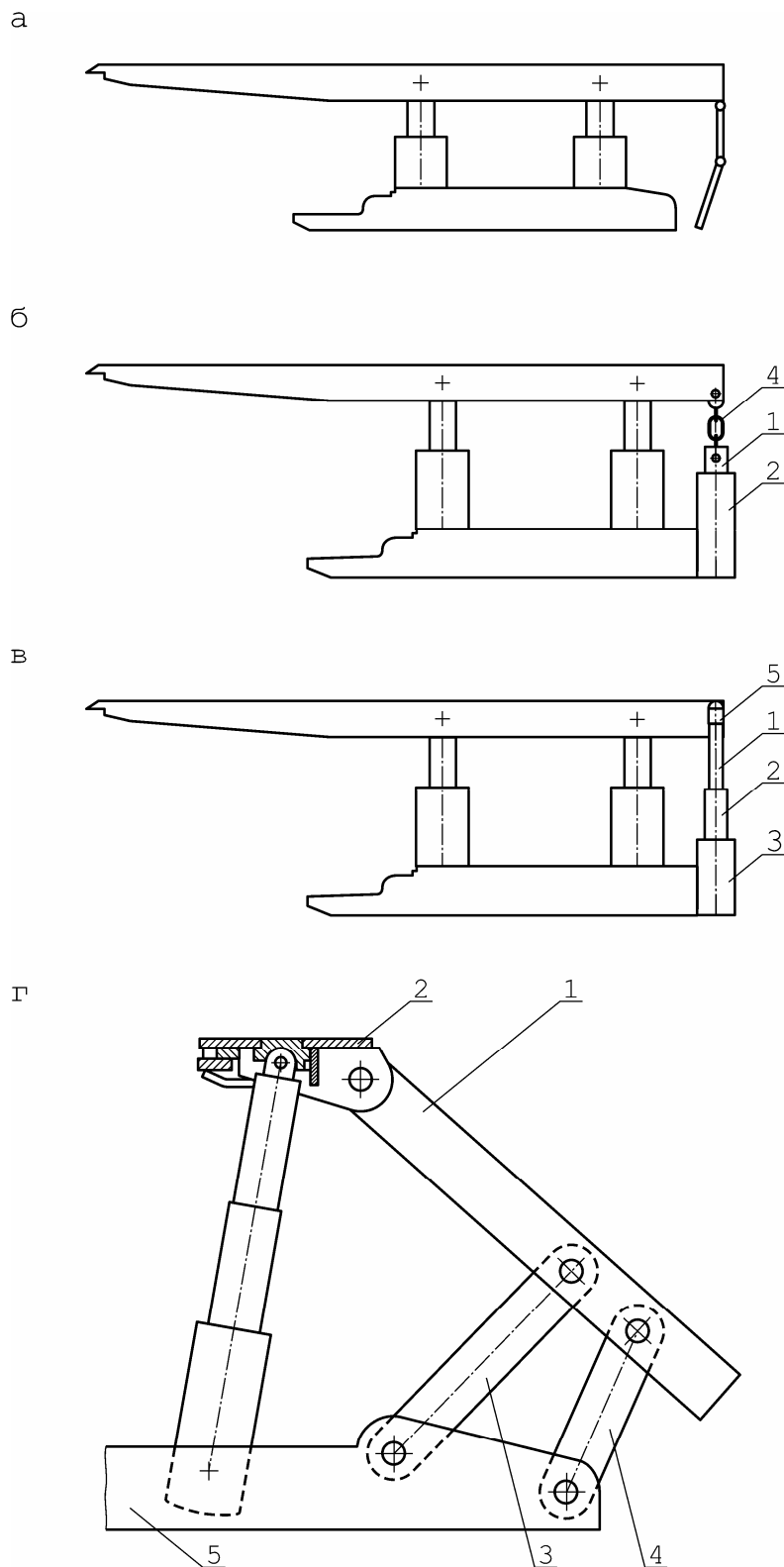
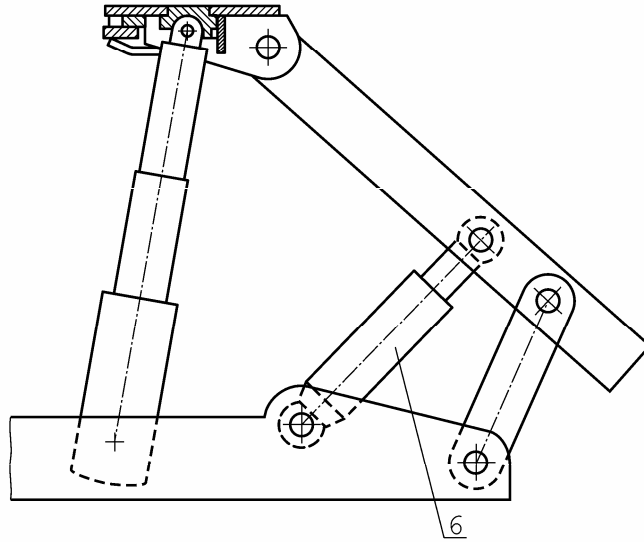


Рис. 3.11 (лист 1). Типы ограждений секций:
 а – флажкового типа; б, в – телескопического типа;
 г, д, е – на базе шарнирного многозвенника

д



е

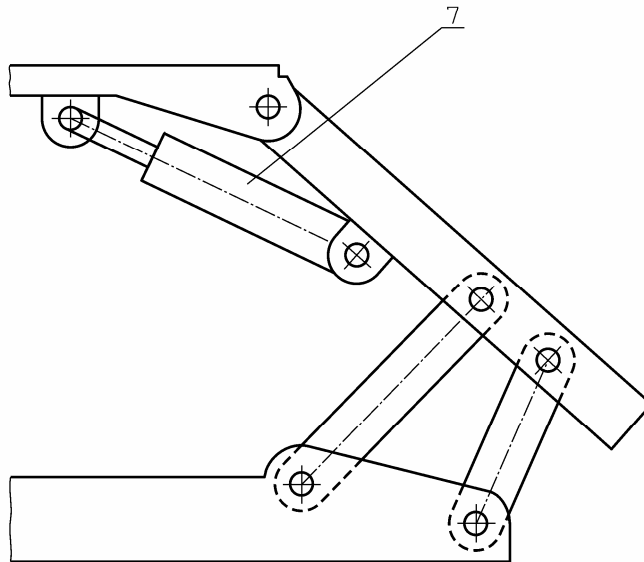


Рис. 3.11 (лист 2)

Наличие возможности расположения разгруженных от поперечных усилий гидростоек под углом к основанию (связь с основанием шарнирная) у крепей с рассматриваемым ограждением позволяет также в определенной степени уменьшить минимальную строительную высоту секции и повысить коэффициент ее раздвижности. Однако следует помнить, что при этом снижается сопротивление стоек и секции в целом.

Для оценки конструкции ограждения секций механизированных крепей в настоящее время отсутствуют количественные критерии качества, поэтому такую оценку можно выполнить только с помощью качественных критериев. Таких критериев можно выделить два: степень защиты рабочего пространства от продуктов обрушения и степень разгрузки гидростоек секции от поперечных усилий.

Таким критериям в наиболее полной мере отвечают только ограждения на базе шарнирного многозвенника. Такая конструкция ограждения и реализована практически во всех типах отечественных и зарубежных крепей нового технического уровня.

В конструкции механизированных крепей можно выделить три типа гидростоек (рис. 3.12):

- одинарной раздвижности (рис. 3.12, а);
- двойной раздвижности (рис. 3.12, б);
- тройной раздвижности (рис. 3.12, в).

Гидростойка состоит из цилиндра 1 с элементами соединения с основанием и подвода рабочей жидкости и, в зависимости от степени раздвижности, штоков первой 2, второй 3 и третьей ступеней с элементами соединения с перекрытием секции.

Для оценки конструкции стоек можно выделить следующие единичные критерии:

- коэффициент гидравлической раздвижности

$$\hat{E}_{\bar{a}} = \frac{H_{max}}{H_{min}},$$

где H_{max} и H_{min} – номинальные высоты секции крепи в раздвинутых положениях, мм;

- габариты стойки при заданных значениях номинального сопротивления стойки и ее прочностных характеристик.

Наибольшее значение K_2 имеют стойки тройной гидравлической раздвижности, однако второй критерий у них будет наименее приемлем по сравнению с двумя другими сравниваемыми типами стоек.

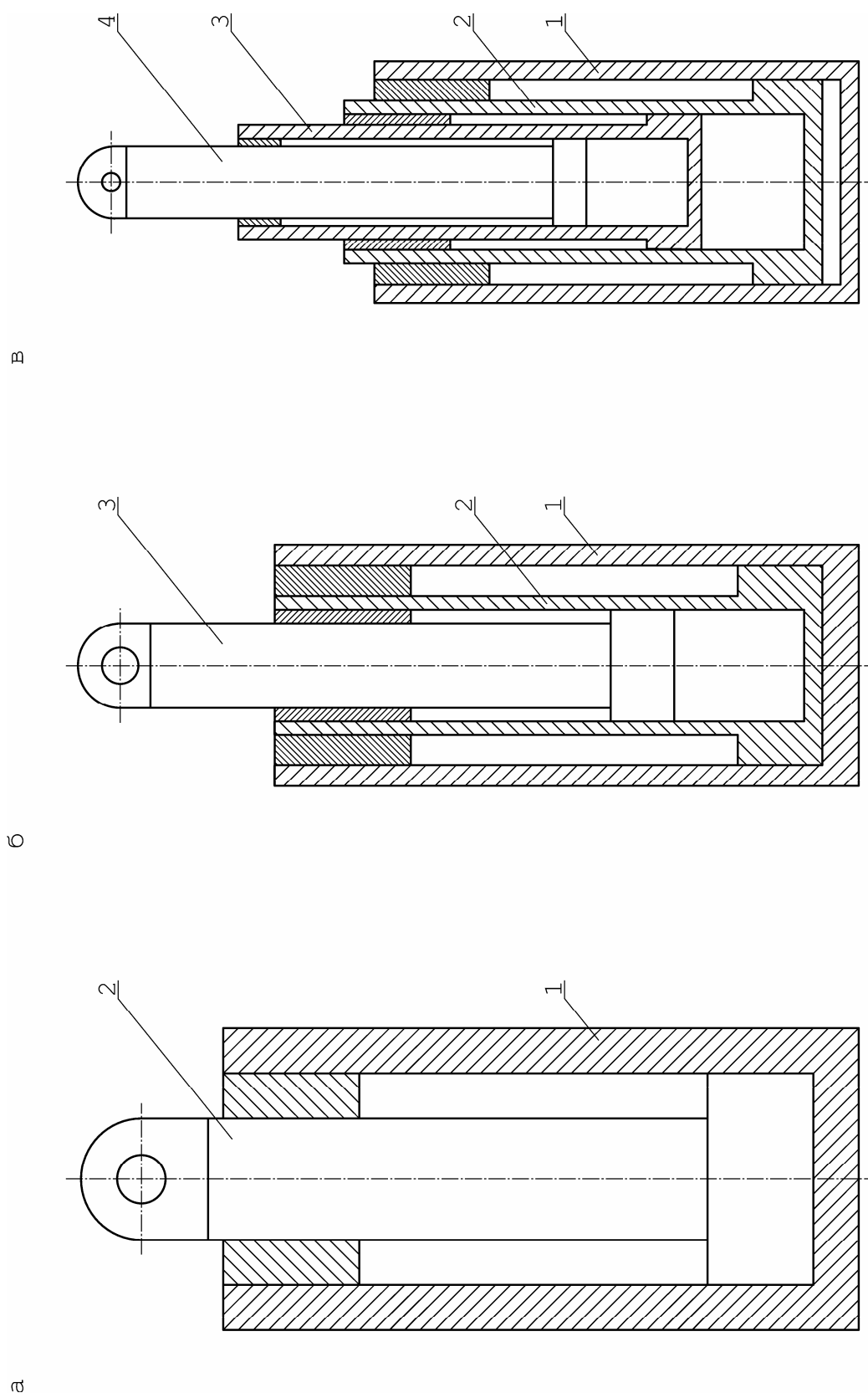


Рис. 3.12. Типы гидростоек секций:
 а – одинарной раздвижности; б – двойной раздвижности; в – тройной раздвижности

Стойки одинарной раздвижности имеют наименьшие значения обоих критериев.

Исходя из анализа предложенных критериев, наиболее рациональной конструкцией являются стойки двойной гидравлической раздвижности, которые находят наибольшее распространение в конструкции крепей. Стойки одинарной раздвижности могут применяться в крепях при отработке пластов с выдержанной мощностью.

В конструкциях секций механизированных крепей комплексов могут применяться два типа механизма перемещения с разными компоновочными схемами, обеспечивающими передвижку секций и конвейера усилиями соответственно:

- поршневых и штоковых полостей гидродомкратов (МКД90, КМ137, "Глиник" и др.);
- штоковых и поршневых полостей гидродомкратов (КМ87УМ, КМ88 и др.).

Конкретное решение принимается конструкторами с учетом общего проектно-компоновочного решения, наличия габаритных ограничений и других факторов.

При выборе наиболее рационального типа механизма перемещения секций механизированных крепей комплексов руководствуются двумя единичными критериями качества: величиной усилия передвижки секции и соответствующего участка конвейера.

При этом следует отметить, что усилие на передвижку секции должно быть больше усилия передвижки соответствующего участка конвейера. Исходя из этого, более рациональным является первый тип рассматриваемого механизма.

В конструкции механизированных крепей применяется два типа механизма подъема носка основания секции при ее перемещении:

- с использованием усилия гидродомкрата перемещения;
- с использованием усилия специального гидроцилиндра.

У механизма подъема носка основания первого типа (рис. 3.13) гидродомкрат перемещения 1 своим штоком 2 шарниром 3 соединен со специальным поворотным рычагом 4, который опирается на толкатель 5, связанный с навесным оборудованием 6 забойного конвейера. Другой конец рычага 4 шарниром 7 соединен с основанием 8 секции. При повороте рычага, вследствие воздействия усилия гидродомкрата при передвижке, происходит подъем носка основания секции крепи (КД90).

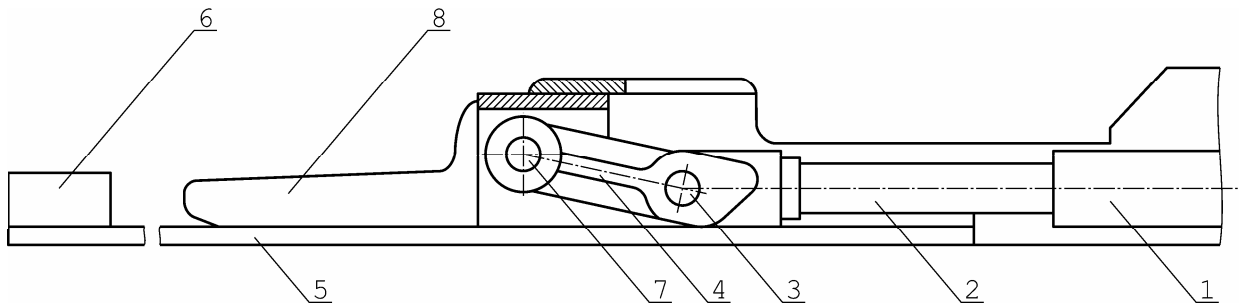


Рисунок 3.13. Механизм подъема носка основания с использованием гидродомкрата перемещения

Подъем носка основания механизмом второго типа осуществляется гидропатроном, цилиндр которого закреплен на основании секции, а шток опирается на толкатель механизма перемещения (М103М, вариант исполнения КД90).

При выборе типа механизма подъема носка основания можно выделить следующие единичные критерии:

- величина подъема носка основания h_0 , мм, которая должна быть достаточной для выхода основания при передвижке из углубления в слабую почву;
- качество подъема, то есть степень обеспечения подъема носка основания на всей длине передвижки секции крепи.

Учитывая, что механизм подъема носка основания первого типа будет осуществлять подъем только при наличии соответствующего сопротивления перемещению секции, а величина подъема ограничена углом поворота рычага, механизм второго типа более приемлем.

3.4. Механизированные крепи очистных комплексов высокого технического уровня для тонких и средней мощности пластов

Как следует из системного анализа крепей с позиции каждого в отдельности рассмотренного классификационного признака, к перспективным следует отнести ниже перечисленные типы механизированных крепей.

1. По признакам формирования внешних связей:
 - 1.1. агрегатированные;
 - 1.2. поддерживающие и поддерживающе-оградительные;
 - 1.3. с последовательной передвижкой секций по заряженной схеме;

- 1.4. с конструктивным обеспечением проектной величины активного подпора.
2. По признакам формирования внутренних связей:
 - 2.1. щитовые;
 - 2.2. кустового типа;
 - 2.3. с фланговым расположением двух гидродомкратов и центральным расположением одного гидродомкрата передвижки;
 - 2.4. с направляющими и ориентирующими устройствами;
 - 2.5. с механизмами для активной корректировки положения секции крепи в поперечной для них плоскости;
 - 2.6. с механизмами для принудительного перекрытия межсекционных зазоров.
3. По компоновочно-конструкторским решениям основных структурных элементов:
 - 3.1. со сплошными и сдвоенными основаниями;
 - 3.2. со сплошными базовыми частями перекрытия и подвижными призабойными консолями, управляемыми от гидростоек и отдельным гидродомкратом;
 - 3.3. с ограждениями на базе шарнирного многозвенника;
 - 3.4. со стойками двойной раздвижности;
 - 3.5. с механизмами подъема носка основания (при наличии слабых почв) на основе специального гидроцилиндра.

При совместном рассмотрении сформированных выше рекомендаций по рациональным проектно-компоновочным и компоновочно-конструкторским решениям можно констатировать, что некоторые из этих решений обладают определенной антагонистичностью. Рекомендации по применению щитовых крепей с ограждениями на базе шарнирного многозвенника практически исключают класс крепей поддерживающего типа. Рекомендации по использованию для щитовых крепей межмодульных многофункциональных механизмов в виде раздвижных боковых щитов устраняют необходимость дополнительного применения отдельных самостоятельных механизмов для обеспечения требуемой направленности перемещения и необходимого уровня поперечной устойчивости секций, для активной корректировки их положения в поперечной плоскости, для принудительного перекрытия межсекционных зазоров. Однако при этом указанные межмодульные многофункциональные механизмы никак не исключают использование ориентирующих устройств.

На основании изложенного представляется целесообразным к классу крепей высокого технического уровня (ВТУ) для тонких и средней мощности пологонаклонных пластов отнести крепи агрегатированные, поддерживающе-оградительные, с последовательной передвижкой секции по заряженной схеме, с конструктивным обеспечением проектной величины активного подпора, щитовые, кустового типа, с многофункциональными раздвижными боковыми щитами, со сплошными базовыми частями перекрытия и гидродожимными призабойными консолями, с ограждениями на базе шарнирного многозвенника, со стойками двойной раздвижности, с механизмами (в случае слабых почв) подъема носка основания на базе специального гидроцилиндра.

Крепи ВТУ предлагается классифицировать следующим образом:

1. По компоновочным схемам расположения гидростоек в секции на: 2+2, 2+1, 2+0, 2+1₀, 0+2.
2. По компоновочным схемам расположения гидродомкратов перемещения на:
 - с центральным расположением гидродомкрата;
 - с фланговым расположением двух гидродомкратов.
3. По типу механизма перемещения секций крепи и конвейера с передвижкой этих объектов соответственно усилиями на:
 - поршневой и штоковой полостей гидродомкратов;
 - штоковой и поршневой полостей гидродомкрата.
4. По типу оснований секций на:
 - сплошные;
 - сдвоенные.
5. По типу дожимных призабойных консолей в секциях на:
 - управляемые от специальных гидроцилиндров;
 - управляемые от гидростоек.
6. По наличию возможностей корректировки положения решетчатого става конвейера на:
 - с механизмами для активной корректировки положения става в поперечной для него плоскости;
 - с механизмами для активной корректировки положения става в продольном для него направлении;
 - без указанных механизмов.

Для сравнения технического уровня уже созданных конструкций механизированных крепей необходимо сформировать интегральный критерий качества для:

- выбора из пакета единичных критериев качества наиболее важных (с позиций экспертов);
- введения новых критериев, отражающих те или иные свойства объекта как целостной технической системы (наработка на отказ, 80%-ый ресурс до капитального ремонта и т.д.).

3.5. Рациональные проектно-конструкторские решения механизированных крепей очистных агрегатов

Рассмотрим классификацию механизированных крепей наиболее широко применяемых очистных агрегатов (ОА) для отработки пластов с углами падения 35-90°, используя основные положения и сохраняя преемственность подходов, которые были реализованы в классификации механизированных крепей очистных комплексов, приведенной в 3.2, 3.3, 3.4.

Механизированные крепи очистных агрегатов по признакам формирования внешних и внутренних связей в их подсистемах предлагается делить на следующие группы:

1. По типу силовых и кинематических связей, обеспечивающих перемещение секций крепи в основном направлении (перпендикулярном груди забоя), на:

- агрегатированные с базовой балкой, выполняющей роль базы при перемещении крепи, с которой имеются внешние двухсторонние силовые и кинематические связи у каждого модуля передвижки крепи;
- лавокомплектные, без базовой балки, у которых рассматриваемое перемещение секций обеспечивается за счет внутренних силовых и кинематических связей между модулями передвижки крепи.

Как правило, агрегатированные крепи должны выполняться односистемными, с конструктивно одинаковыми (или почти одинаковыми) секциями. Очевидным существенным достоинством указанной унификации по сравнению с использованием многосистемных крепей является снижение стоимости проектирования, изготовления, обслуживания и ремонта, что, в свою очередь, обеспечивает повышение их

технико-экономических показателей. Это положение, безусловно, относится к любым типам крепей.

Лавокомплектные крепи могут быть односистемными и многосистемными (обычно 2 системы). Во втором случае имеется, например, два типа секций с конструктивными различиями, устанавливаемых вдоль забоя в определенном порядке, причем модули подсистемы подвески и регулирования положения конвейероструга должны быть связаны с секциями одной и той же системы.

У лавокомплектных крепей перемещение секций в основном направлении осуществляется с помощью внутренних связей между всеми секциями, реализованных в виде силовых и кинематических связей между близлежащими односистемными или разносистемными модулями передвижки крепи.

Примером агрегатированной односистемной крепи, обладающей базовой балкой, является механизированная крепь агрегатов АМЩ.

Крепь агрегатов АНЩ следует отнести к лавокомплектной двухсистемной, отличающейся наличием основных (первая система) и вспомогательных (вторая система) секций, каждая из которых устанавливается по длине забоя через одну.

Применение лавокомплектной крепи у агрегатов, а не комплектной, как у очистных комплексов, объясняется прежде всего тем, что последние не могут обеспечить при эксплуатации достаточной точности реализации номинального шага установки и направления передвижки секций механизированной крепи и, следовательно, направленного перемещения и нормального функционирования конвейероструга, связанного с секциями с помощью системы регулирования положения конвейероструга.

2. По типу связей системы управления кровлей и ограждения, отражающих роль поддерживающих и оградительных элементов на основе анализа соотношений величин G_n и G_0 , механизированные крепи очистных агрегатов для крутых и крутонаклонных пластов могут быть только одного типа – одновременно поддерживающие и оградительные.

Выполнение крепью функций поддержания пород кровли в зоне поддерживающих элементов и защиты рабочего пространства от вышележащих обрушенных пород в зоне оградительных элементов является одинаково важным, поскольку только качественное выполнение этих функций на пластах с углами 35-90° обеспечивает работоспособность механизированной крепи.

3. По типу возможных связей системы управления кровлей с кровлей пласта, отражающих конструктивные возможности последовательности закрепления обнаженной при выемке угля призабойной полосы кровли.

Поскольку на крутых и крутонаклонных пластах операция зарубки, как правило, производится у кровли пласта, то передвижка секций в основном направлении может осуществляться только после окончания или в процессе выполнения операции отбойки массива. Поэтому при разработке классификации в соответствии с указанным признаком рассматриваются схемы отработки забоя только при отбойке.

При выполнении отбойки рассматриваемые агрегаты потенциально могут обеспечивать две схемы разрушения массива:

- волнообразную, когда обработка забоя осуществляется последовательно по всей длине сравнительно короткими участками конвейеростругом (АНЦ, АМЦ);
- фронтальную, когда обработка забоя выполняется одновременно по всей его длине.

Следует отметить, что при отсутствии эффективных и надежных средств автоматизации выполнения основных технологических операций и реализации ручного дистанционного управления перемещением технических объектов агрегата в качестве наиболее предпочтительной следует признать волнообразную схему отбойки.

Реализация фронтальной схемы отбойки потенциально должна обеспечивать более высокую производительность агрегата, однако эта схема может быть наиболее эффективной только при наличии требуемого уровня энерговооруженности конвейероструга и соответствующих средств автоматизации.

Следует отметить, что вышеизложенные положения справедливы также и при сравнении волнообразной и фронтальной схем зарубки. Однако при этом нужно еще раз подчеркнуть, что при отработке выбросоопасных пластов вне зависимости от степени автоматизации выполнения операции зарубки и уровня энерговооруженности конвейероструга следует использовать только фронтальную схему зарубки на основе дистанционного управления, с выводом персонала из забоя в неопасную зону. Это обусловлено наибольшей опасностью внезапных выбросов угля именно при выполнении операции зарубки.

Механизированные крепи агрегата по вышеуказанному признаку в общем случае можно классифицировать следующим образом.

А. Для агрегатированных односистемных механизированных крепей:

- с последовательной посекционной передвигкой крепи при фронтальной или волнообразной схемах отбойки угольного массива;
- с фронтально-групповой передвигкой при фронтальной схеме отбойки массива.

Во втором случае номера (нумерация общая по длине забоя) одновременно передвигаемых секций, принадлежащих к одной и той же группе (P), определяются зависимостью $p + a \cdot m$, где m – число выделяемых групп секций; $p = 1, 2, \dots$; a – номер группы секций, $a = 0, 1, 2, \dots$. Одновременно перемещаются на забой секции первой группы с номерами $1 + a \cdot m$, затем второй с номерами $2 + a \cdot m$ и т.д.

Б. Для лавокомплектных односистемных механизированных крепей с числом групп секций $m = 2$:

- с фронтально-групповой передвигкой секций при фронтальной схеме отбойки массива;
- с комбинированной схемой передвигки секций, представляющей собой сочетание последовательно-групповой и фронтально-групповой схем при фронтальной или волнообразной схемах отбойки.

В. Для лавокомплектных механизированных крепей с числом систем $b = 2$:

- с фронтально-системной передвигкой секций при фронтальной схеме отбойки массива;
- с комбинированной передвигкой секций, представляющей собой сочетание последовательно-системной и фронтально-системной схем при фронтальной или волнообразной схемах отбойки.

Пояснения к этим схемам передвигки идентичны пояснениям к схемам передвигки по пункту Б для лавокомплектных односистемных крепей, только слова "группы", "групповая", "групповой" нужно соответственно заменить на слова "системы", "системная" и "системной".

Для агрегатированных односистемных крепей агрегата типа АМЩ конструктивно реализована последовательная посекционная передвигка крепи при волнообразной схеме отбойки массива.

Для лавокомплектных двухсистемных крепей агрегата типа АНЩ конструктивно реализована комбинированная передвигка сек-

ций в виде сочетания последовательно-системной и фронтально-системной схем при волнообразной отбойке массива, когда сперва последовательно перемещаются вспомогательные (второй системы) секции, а затем, после завершения операции отбойки массива и складывания гидродомкратов подачи конвейероструга – одновременно все основные (первой системы) секции.

4. По типу связей между системой управления кровлей и кровлей пласта при передвижке секций на:

- с конструктивным обеспечением проектной величины подпора (АМЩ);
- без конструктивного обеспечения проектной величины подпора (АНЩ).

5. По типу связей ограждения с основанием и перекрытием на:

- щитовые (АМЩ);
- нещитовые (АНЩ).

Включение в название крепей агрегатов АНЩ слова "щитовая" следует признать некорректным, поскольку здесь применена нещитовая крепь.

6. По вероятным компоновочным схемам расположения гидростоек в секции на:

- а) 2+2;
- б) 2+1;
- в) 2+0;
- г) 2+1₀;
- д) 0+2 (АМЩ);
- е) 1+1 (АНЩ).

Для трехстоечной крепи агрегата АМЩ завальная стойка выполняет лишь функцию стабилизации положения перекрытия при снятом распоре (аналог стабилизирующего гидродомкрата у крепи М137), что обусловлено соответствующим исполнением гидросхемы.

7. По компоновочным схемам расположения гидродомкратов (ГД) передвижки агрегата на:

- с фланговым расположением двух ГД (АНЩ, АМЩ);
- с центральным расположением гидродомкрата;
- с гидродомкратом, смещенным относительно продольной оси основания.

8. По типу связей в системе передвижки крепи и перемещения комплекса для агрегатированных крепей, обеспечивающих определенный уровень качества выполнения основных функций, делегированных этим подсистемам, на:

- с направляющими устройствами (АМЩ, АНЩ);
- с ориентирующими устройствами (АМЩ, АНЩ);
- с механизмами для активного прижатия базовой балки к почве пласта для агрегатированных крепей (АМЩ);
- без указанных устройств.

9. По типу связей системы управления кровлей и ограждения, обеспечивающих перекрытие зазоров между соседними секциями, на:

- с механизмами для принудительного перекрытия зазоров (АМЩ);
- без указанных механизмов (АНЩ).

10. По типу связей в системе передвижки крепи для лавокомплектных и в системе передвижки агрегата для агрегатированных крепей, обеспечивающих определенный уровень качества выполнения сервисных функций, которые могут быть делегированы этим подсистемам на:

- с механизмами для активной корректировки положения секций в поперечной для них плоскости (АМЩ);
- без указанных механизмов

Применительно к крепям агрегатов для отработки крутых и крутонаклонных пластов, как показывает анализ опыта их эксплуатации, подъем носка оснований секций при их передвижке не требуется.

Классификация основных структурных элементов подсистем механизированных крепей очистных агрегатов (оснований, перекрытий, ограждений, гидростоек, механизмов перемещения секций и направляющих балок для агрегатированных крепей) совпадает с соответствующей классификацией для крепей очистных комплексов. Исключение состоит лишь в следующем. Для агрегатов, предназначенных для работы на пластах с углами 35-90°, учитывая обязательное наличие силового взаимодействия, не могут быть применены ограждения флажкового типа, ограждения, жестко связанные с перекрытием и на базе раздвижных щитов, соединенных с перекрытием посредством гибкой связи.

У секций механизированных крепей агрегатов типа АНЩ применены: основания – сплошные, перекрытия – со сплошными базовыми частями и жесткими призабойными консолями, ограждения – на базе раздвижных щитов с шарнирными соединениями их с перекрытиями, стойки – двойной гидравлической раздвижности.

У секций крепей агрегатов типа АМЩ использованы: основания – сплошные, перекрытия – со сплошными базовыми частями и под-

жимными (от гидростоек) призабойными консолями, ограждения – на базе шарнирных четырехзвенников со стабилизирующими положение перекрытий элементами в виде завальных гидростоек с нетрадиционным подключением их полостей к гидросети, стойки – двойной гидравлической раздвижности, механизмы перемещения секций крепи и рам базовой балки, обеспечивающие передвижку указанных объектов усилиями соответственно штоковых и поршневых полостей.

Формирование обоснованных критериев качества, отражающих степень совершенства крепей агрегатов, а следовательно, и очистных агрегатов в целом, позволяет создать базу для установления наиболее перспективных проектно-компоновочных решений на основе сравнительного анализа известных или возможных типов агрегатов.

В таблице 3.3 приведены единичные критерии применительно к первому и третьему классификационным признакам.

Раскроем сущность предлагаемых критериев с анализом возможных их оценок, на основании которого из рассмотренных типов крепей по признакам формирования связей в их подсистемах можно будет выделить более рациональные или перспективные.

Сопоставляя на качественном уровне агрегатированные и лаво-комплектные крепи с позиций сохранения устойчивости непосредственной кровли в призабойной зоне, можно сделать четкий вывод о более высокой перспективности первых.

Таблица 3.3

Критерии качества, характеризующие качество функционирования подсистем очистных агрегатов

Классификационные качества	Критерии качества
1. По типу связей, обеспечивающих перемещение секций крепи в основном направлении	Степень сохранения устойчивости непосредственной кровли в призабойной зоне при работе агрегата. Величина нагрузок на основания и другие элементы секций крепи со стороны конвейероструга
2. По типу связей системы управления кровлей с кровлей, отражающих конструктивные возможности последовательности закрепления обнаженной при выемке угля призабойной полосы кровли	Продолжительность процесса полного закрепления призабойной полосы после выемки

Для очистных агрегатов с агрегатированной крепью сравнительно просто обеспечить прямолинейную форму забоя. Для агрегатов с лавокомплектной крепью характерной является криволинейная форма забоя, формируемая при дуговом перемещении конвейероструга. Это, в свою очередь, приводит к созданию у кровли нависающей пачки неразрушенного исполнительным органом угля. Указанное обстоятельство является препятствием для закрепления с помощью механизированной крепи кровли в этой зоне, что приводит к снижению коэффициента затяжки кровли и уменьшению степени устойчивости кровли в призабойной зоне.

В качестве второго единичного критерия может выступать величина нагрузок на основания и другие элементы секций крепи со стороны взаимодействующего с пластом конвейероструга. У агрегатированных крепей указанный уровень нагрузок ниже, чем у лавокомплектных.

Это обусловлено тем, что основные составляющие усилий от конвейероструга при выполнении наиболее характерных операций зарубки у кровли пласта и последующей отбойки воспринимаются (на примерах конструктивного исполнения АНЩ и АМЩ):

- для лавокомплектных крепей – непосредственно секциями подвески (а это каждая четвертая секция крепи), находящимися в зоне обработки забоя, через их основания;
- для агрегатированных крепей:
 - составляющие, перпендикулярные груди забоя и направленные в завальную сторону, – всеми секциями крепи в зоне обработки забоя через основания и базовую балку, прижатую к почве пласта диагональными опорными гидродомкратами, расположенными на линейных рамах базовой балки;
 - составляющие, перпендикулярные почве пласта и направленные в сторону кровли, – двумя секциями крепи, с которыми связаны диагональные опорные гидродомкраты, из каждых трех последовательно расположенных в зоне обработки забоя через перекрытия этих секций.

При создании лавокомплектных крепей необходимого технического уровня нужно, чтобы параметры этих крепей одновременно были оптимальными или рациональными с позиций двух основных взаимосвязанных факторов:

- качественного выполнения крепью всех традиционных функций;
- достаточного уровня надежности оснований и других элементов секций крепи и подверженных воздействию повышенных нагрузок динамического характера от конвейероструга.

Связь между этими факторами заключается в том, что рассматриваемые нагрузки могут оказывать весомое влияние на формирование эпюр давлений на вмещающие породы со стороны крепи.

Очевидна высокая сложность решения такой двуединой задачи. Указанное обстоятельство потенциально может приводить к существенному снижению степени корректности установления целесообразных параметров и ухудшению технического уровня лавокомплектных механизированных крепей.

Из изложенного вытекает обоснованный вывод о преимуществе очистных агрегатов на базе агрегатированных крепей по сравнению с агрегатами на основе лавокомплектных крепей.

С точки зрения классификации механизированных крепей агрегатов по типу связей системы управления кровлей с кровлей, отражающих конструктивные возможности последовательности закрепления обнаженной при выемке угля полосы, представляется целесообразным использовать в качестве основного критерия сравнения, как и применительно к механизированным крепям, продолжительность процесса полного закрепления призабойной полосы после выемки. При этом полное закрепление должно соответствовать проектному коэффициенту затяжки кровли K_k .

Для уменьшения смещений и растягивающих напряжений кровли в призабойной зоне, то есть повышения степени сохранения устойчивости непосредственной кровли в этой зоне, необходимо стремиться к уменьшению длительности процесса полного закрепления призабойной полосы после выемки.

Как показывает анализ, с этих позиций наиболее эффективными являются следующие схемы передвижки секций:

- при волнообразной отбойке:
 - для агрегатированных односистемных механизированных крепей – последовательная посекционная;
 - для лавокомплектных односистемных (или двухсистемных) механизированных крепей – комбинированная в виде сочетания последовательно-групповой (или последовательно-

системной) и фронтально-групповой (или фронтально-системной) схем;

- при фронтальной отбойке:
 - для односистемных агрегатированных и лавокомплектных МК – фронтально-групповая;
 - для двухсистемных лавокомплектных механизированных крепей – фронтально-системная.

При определении рационального числа групп секций m при фронтально-групповой передвижке агрегатированных односистемных крепей предлагается исходить из рациональности трех групп секций. С позиций качества поддержания кровли необходимо стремиться к увеличению m , чтобы при передвижке механизированной крепи как можно больше секций находилось под рабочим распором. Однако с увеличением m существенно усложняется конструктивное исполнение системы гидропривода агрегата и увеличивается продолжительность полного закрепления призабойной полосы после выемки. Вместе с тем, как показал опыт эксплуатации агрегатов АФК, при $m = 3$ качество поддержания кровли является вполне приемлемым. В этом случае при передвижке каждой группы секций с подпором гидростойки $2/3$ секций, принадлежащих двум другим группам, находятся под рабочим распором.

Если при разработке агрегата предусматривается фронтальная (при наличии средств автоматики должного технического уровня) и волнообразная схемы отбойки массива, то представляется целесообразным заложить в конструкцию крепи возможность реализации двух схем передвижки секций, наиболее полно, в соответствии с предложенным критерием, отвечающим обеим схемам отбойки массива.

Применительно к остальным классификационным признакам критерии и результаты сравнения проектно-компоновочных решений ОА приведены в табл. 3.4. Ввиду наличия значительного диапазона углов падения обрабатываемых пластов ($35-90^\circ$), более высокой сложности управления и повышенной вероятности возникновения нештатных ситуаций для изучаемых агрегатов по сравнению с крепями очистных комплексов для пологонаклонных пластов, сложно однозначно отдать предпочтение тому или иному типу рассматриваемых механизмов перемещения.

Критерии качества и результаты сравнения проектно-компоновочных решений механизированных крепей очистных агрегатов

Классификационные признаки	Критерии качества	Основные результаты сравнения
1	2	3
4. По типу связей между системой управления кровлей и кровлей при передвижке секций	<p>Степень сохранения устойчивости нижних слоев непосредственной кровли при передвижке секции.</p> <p>Степень защиты рабочего пространства от продуктов обрушения</p>	<p>Очевидным преимуществом обладают крепи, передвигающиеся с конструктивным обеспечением проектной величины подпора (наилучший вариант – активного подпора), что способствует сохранению устойчивости нижних слоев непосредственной кровли и уменьшает попадание в рабочую пространство продуктов обрушения, тем самым снижая пылеобразованию и улучшая условия работы обслуживающего персонала</p>
5. По типу связей ограждения с основанием и перекрытием	<p>Отношение максимально допустимых усилий со стороны кровли (при которых еще обеспечивается нормальная эксплуатация секции), прикладываемых вдоль продольной R_{np} и поперечной R_{no} осей секции, к номинальному сопротивлению секции (соответственно K_{np} и K_{no})</p>	<p>Значительно большей предпочтительностью обладают шитовые крепи, для которых наличие дополнительных силовых и кинематических связей между перекрытием и основанием позволяет при прочих сопоставимых условиях обеспечить по сравнению с нешитовыми креплениями более высокие параметры K_{np} и K_{no}</p>
6. По вероятным компоновочным схемам расположения гидростоек	<p>Коэффициент эффективности управления кровлей.</p> <p>Коэффициент эффективности поддержания кровли в призабойном пространстве.</p> <p>Коэффициент рациональности конструктивной схемы секции</p>	<p>Для оценки качества компоновочных схем расположения гидростоек для агрегатов с углами падения 35-90° необходимо разработать методику определения их численных значений. Следует также отметить, что с позиций устойчивости более эффективными являются крепи кустового, а не рамного типа. При окончательном выборе рассматриваемых компоновочных схем в качестве ограничивающих факторов следует учитывать размеры прохода в крепи и (для лавакомплектных крепей) наличие свободного пространства для размещения механизма подвески и регулирования положения конвейероструга</p>

Продолжение табл. 3.4

1	2	3
<p>7. По компоновочным схемам расположения гидродомкратов передвижки</p>	<p>Направление усилий, действующих на основания от гидродомкратов при передвижке. Степень сложности конструктивного решения</p>	<p>Наименее рациональной является компоновочная схема с одним ГД, смещенным относительно продольной оси основания, из-за формирования усилий, стремящихся при передвижке секции развернуть ее основание. Для крепей агрегатов предпочтительными следует считать схемы с фланговым расположением двух ГД (реализованы у АНЦ и АМЦ) и с центральным расположением одного ГД. При окончательном выборе рассматриваемой схемы необходимо учитывать степень сложности конструктивного решения и габаритные возможности</p>
<p>8. По типу связей в системе передвижки механизированных и для лавокомплектных крепей, обеспечивающих опреленный уровень качества выполнения основных функций, делегированных этим подсистемам</p>	<p>Максимальный угол отклонения продольной оси основания относительно номинального положения при передвижке секции на 1 шаг</p>	<p>По степени направленности передвижки секций крепи и базовой балки (для агрегированных крепей) в основном номинальном направлении безусловным преимуществом обладают крепи с направляющими и ориентирующими устройствами. Использование для агрегированных крепей механизмов для активного прижатия базовой балки к почве пласта с необходимым усилием обеспечивает необходимый уровень устойчивости этой подсистемы в условиях пластов с углами падения 35-90°, подверженной воздействию соответствующих технологических нагрузок, и следовательно, существенное улучшение качества осуществления всех основных функций</p>
<p>9. По типу связей системы управления кровлей и ограждения, обеспечивающих перекрытие зазоров между соседними секциями</p>	<p>Коэффициент затяжки кровли K_k</p>	<p>Наличие механизмов для принудительного перекрытия зазоров между соседними секциями (рекомендуются раздвижные боковые щиты) повышает уровень безопасности и комфортабельности обслуживания персонала и способствует сохранению целостности непосредственной кровли</p>

Продолжение табл. 3.4

1	2	3
<p>10. По типу связей в системе передвижки конвейера и крепи для лавакомплектных и в системе передвижки комплексов для агрегированных крепей, обеспечивающих определенный уровень качества выполнения сервисных функций</p>	<p>Уровень управляемости положением секций крепи в поперечной для них плоскости при формировании неблагоприятного рельефа почвы или нештатных ситуаций</p>	<p>Если принято решение использовать раздвижные боковые щиты для принудительного перекрытия зазоров между соседними секциями, то целесообразно, чтобы конструктивная реализация этих хорошо приспособляемых к многофункциональности механизмов обеспечивала также рассматриваемую сервисную функцию (активная корректировка положения секций в поперечной для них плоскости), которой сопутствует выполнение функций повышения уровня боковой устойчивости и направленности передвижки секций крепи</p>

Как следует из выполненного выше системного анализа, с позиции каждого в отдельности рассмотренного классификационного признака, к перспективным целесообразно отнести следующие типы механизированных крепей.

1. По признакам формирования внешних и внутренних связей:
 - 1.1. агрегатированные односистемные;
 - 1.2. с последовательной посекционной передвижкой при волнообразной схеме отбойки массива и с фронтально-групповой передвижкой секций при фронтальной отбойке;
 - 1.3. с конструктивным обеспечением проектной величины активного подпора;
 - 1.4. щитовые;
 - 1.5. кустового типа;
 - 1.6. с фланговым расположением двух гидродомкратов и центральным расположением одного гидродомкрата передвижки;
 - 1.7. с направляющими и ориентирующими устройствами;
 - 1.8. с механизмами для активного прижатия базовой балки к почве пласта;
 - 1.9. с многофункциональными раздвижными боковыми щитами.
2. По компоновочно-конструктивным решениям основных структурных элементов:
 - 2.1. со сплошными и сдвоенными основаниями;
 - 2.2. со сплошными базовыми частями перекрытия;
 - 2.3. с поджимными призабойными консолями, управляемыми от гидростоек и отдельными гидроцилиндрами;
 - 2.4. с ограждениями на базе шарнирного многозвенника;
 - 2.5. со стойками двойной раздвижности.

Выводы по разделу 3

Формирование обоснованных критериев качества, отражающих степень совершенства механизированных крепей очистных комплексов, позволяет на достаточно высоком научном уровне выполнить сравнительный анализ и установить наиболее перспективные проектно-компоновочные решения исследуемых объектов:

1. Агрегатированные крепи являются более перспективными, поскольку все секции этих крепей обладают двухсторонними силовыми и кинематическими связями с рештачным ставом забойного конвейера, что в конечном итоге обеспечивает заданное направление подвигания комплекса. Известные конструкции комплектных крепей позволяют иметь только ручное управление, поскольку каждая передвигаемая секция опирается на соседнюю (распертую между кровлей и почвой).
2. Комплектные крепи обладают более высокой маневренностью, что позволяет облегчить прохождение участков с горно-геологическими нарушениями, а также в ряде случаев, более высокими, чем у агрегатированных крепей, конструктивными возможностями снижения минимального предела вынимаемой мощности пластов.
3. По типу связей между системой управления кровлей крепи и кровлей, при передвижке секций преимуществом обладают крепи, передвигающиеся с конструктивным обеспечением проектной величины подпора. В этом случае обеспечивается сохранение устойчивости непосредственной кровли. Качественное управление породами кровли в призабойном пространстве во многих случаях является определяющим с позиции эффективности функционирования всей механизированной крепи.
4. Жесткие консоли, являющиеся продолжением базовых частей перекрытий со стороны призабойного пространства, механизированных крепей очистных комплексов, оборудованных очистными комбайнами, не нашли практического применения из-за плохого поддержания кровли и низкой приспособляемости к неровностям кровли. Такие консоли используются только у механизированных крепей щитовых агрегатов.
5. Для оценки конструкции ограждений секций механизированных крепей в настоящее время отсутствуют количественные критерии качества.
6. К перспективным (высокого технического уровня) следует отнести механизированные крепи:
 - агрегатированные;
 - щитовые;

– со сплошными и сдвоенными основаниями.

7. Очистные агрегаты с агрегатированной крепью обеспечивают прямолинейную форму забоя. Для агрегатов с лавокомплектной крепью характерной является криволинейная форма забоя, формируемая при дуговом перемещении конвейероструга. Это, в свою очередь, приводит к созданию у кровли нависающей пачки неразрушенного исполнительным органом угольного массива. Указанное обстоятельство является препятствием для закрепления с помощью механизированной крепи кровли в этой зоне, что, в свою очередь, приводит к снижению коэффициента затяжки кровли и уменьшению степени устойчивости кровли в призабойном пространстве.

Литература к разделу 3

3.1. Комплексная механизация очистных работ на угольных шахтах/Е.Д.Дубов, Г.Н.Голубев, Ю.Г.Спицын и др. – К.: Техника, 1988. – 208 с.

3.2. Булат А.Ф., Курносое А.Т. Управление геомеханическими процессами при отработке угольных пластов. – К.: Наукова думка, 1987. – 200 с.

3.3. Взаимодействие механизированных крепей с боковыми породами / И.А.Кияшко, С.А.Саратиканц, Н.П.Овчинников, Е.Н.Понаморенко, Ю.И.Кияшко. – М.: Недра, 1990. – 128 с.

3.4. Антипов И.В., Поважный С.Ф. Шахтные исследования особенностей взаимодействия механизированных крепей с вмещающими породами. Изв. вузов. Горн. журн. – 1994. – №3. – С. 45-49.

3.5. Механизированные крепи очистных комплексов и агрегатов: Учеб. пособие /П.А.Горбатов, В.Г.Гуляев, Н.М.Лысенко, В.В.Косарев, А.И.Архипчик. – Донецк: – 1997. – 275 с.

3.6. Горные машины и комплексы для подземной добычи угля: Монография / С.С.Гребенкин, А.В.Агафонов, В.В.Косарев и др. – Донецк: "ВИК", 2006. – 353 с.

3.7. Ремонт горно-шахтного и электрического оборудования: Справ. пособие / С.С.Гребенкин, А.Д.Доронин, А.И.Кабанов, А.М.Минзюк. – Донецк: "Донбасс", 1992. – 159 с.

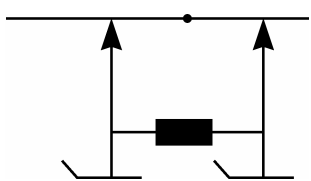
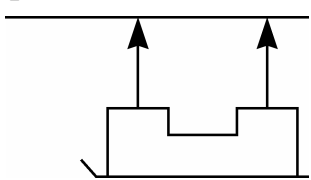
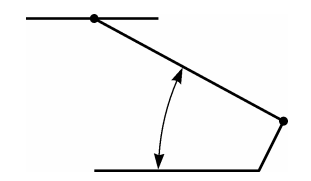
РАЗДЕЛ 4. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К МЕХАНИЗИРОВАННЫМ КРЕПЯМ ОЧИСТНЫХ КОМПЛЕКСОВ И АГРЕГАТОВ

4.1. Конструктивные схемы механизированных крепей

Основные конструктивные схемы механизированных крепей различных типов характеризуются данными, приведенными в табл. 4.1 (агрегатированные крепи) и 4.2 (комплектные крепи), формы звеньевых механизмов, передающих усилия от основания секции щитовой крепи к перекрытию, – в табл. 4.3, виды верхних перекрытий секций щитовых крепей – в табл. 4.4, виды перекрытий секций рамной и костровой крепи – в табл. 4.5, типы гидростоек – в табл. 4.6, конструкции оснований секций – в табл. 4.7.

Таблица 4.1

Агрегатированные крепи

Схема крепи	Особенности конструкции
1	2
<p>Рамная</p> 	<p>Две (или более) гидростойки, расположенные в ряд по направлению передвижения, с общим перекрытием, основанием и домкратом передвижки</p>
<p>Костровая</p> 	<p>Три (или более) гидростойки, расположенные продольно и поперечно по отношению к направлению передвижения, с общими перекрытием, основанием и домкратом передвижки</p>
<p>Двухстоечная щитовая</p> 	<p>Две гидростойки, расположенные поперек направления передвижения, с общими перекрытием, ограждением, основанием и домкратом передвижки</p>

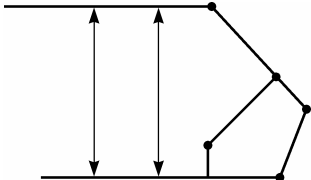
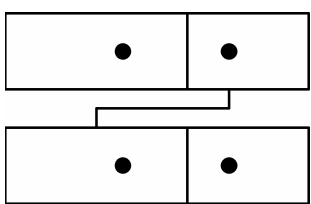
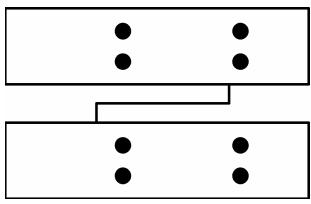
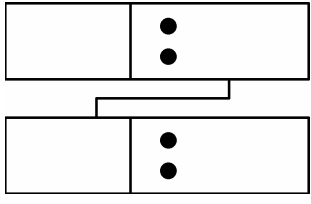
1	2
<p>Четырехстоечная щитовая</p> 	<p>Четыре гидростойки, расположенные вдоль и поперек направления передвижения с общими перекрытием, основанием и домкратом передвижки</p>
<p><i>Примечание.</i> Домкрат передвижки может быть соединен с конвейером или его базовой балкой непосредственно или через штангу-толкатель. Возможно объединение двух секций в самостоятельно передвигающийся комплект. Способ передвижки – путем подтягивания секций крени к конвейеру.</p>	

Таблица 4.2

Комплектные крени

Схема комплектной крени	Особенности конструкции
1	2
<p>Рамная</p> 	<p>Две (или более) рамные секции</p>
<p>Костровая</p> 	<p>Две (или более) костровые секции</p>
<p>Двухстоечная щитовая</p> 	<p>Две (или более) щитовые секции</p>

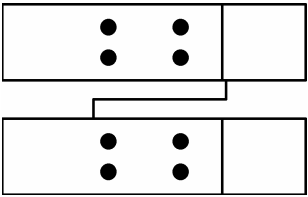
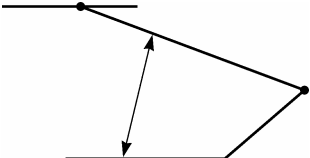
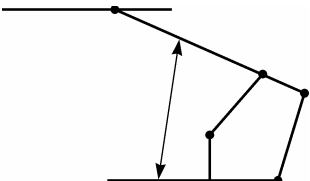
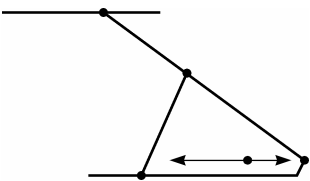
1	2
<p>Четырехстоечная щитовая</p> 	<p>Две (или более) щитовые секции</p>
<p><i>Примечание.</i> Способ передвижки – попеременным толканием или подтягиванием разгруженной секции общим домкратом передвижки.</p>	

Таблица 4.3

**Формы механизмов, передающих усилия
от основания секции щитовой крепи к перекрытию**

Траектория перемещения перекрытия	Кинематическая схема
1	2
<p>Дуга окружности (одношарнирное соединение основания с ограждением)</p>	
<p>Лемниската (двухрычажная связь с ограждением)</p>	
<p>Эллипс (гидростойка заменена горизонтальным домкратом)</p>	

Виды верхних перекрытий секций щитовых крепей

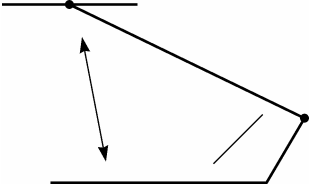
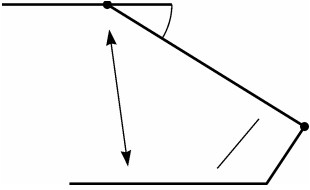
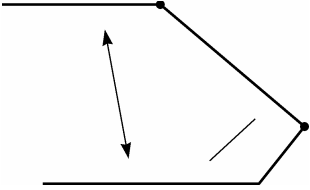
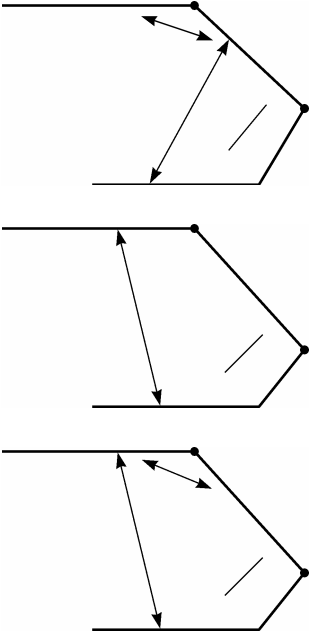


Перекрытие	Схема
Поддерживающий козырек с незащищенной завальной консолью	
Поддерживающий козырек с секторной защитой завальной консоли	
Перекрытие шарнирно-соединенное с ограждением	
<p>С передачей усилия от основания к перекрытию:</p> <ul style="list-style-type: none"> - угловым гидродомкратом - гидростойкой - гидростойкой и угловым гидродомкратом 	
С выдвижной призабойной консолью	
С откидной призабойной консолью	

Таблица 4.5

Виды перекрытий секций рамной и костровой крепи

Конструктивная форма перекрытия	Конструктивное исполнение перекрытия	Расположение шарнира
Жесткое	Сплошное	—
Одношарнирное	Передняя и задняя части Поджимная призабойная консоль и базовая часть	Между стойками Перед передней стойки
Двухшарнирное	Передняя и задняя части Передняя, промежуточная и задняя части	Продольное подвижное Между стойками (два шарнира)

Таблица 4.6

Типы гидростоек

Конструктивная форма раздвижности	Гидравлическое удлинение	Механическое удлинение	Перепад распорного усилия
Одинарная телескопическая	Возможно	Возможно	Нет
Двойная телескопическая	Не применяется	Не применяется	Есть
Двойного действия	Не применяется	Не применяется	Практически отсутствует
Тройная телескопическая	Не применяется	Не применяется	Есть

Таблица 4.7

Виды оснований секций

Вид крепи	Конструктивная форма основания	Основные признаки
1	2	3
Рамная и костровая	Жесткая лыжа рамной секции	Прочная на изгиб опорная плита для нескольких стоек
	Рессорное основание рамной секции	Рессорная связь опорных башмаков нескольких стоек
	Опорная плита	Шарнирно закрепленная на нижнем конце стойки плита, увеличивающая опорную поверхность
	Основание костровой секции	Прочное на изгиб коробчатое основание, общее для стоек костра

1	2	3
Щитовая	Основание секции	Прочная на изгиб опорная плита, общая для всех стоек секции, в сплошном или сборном исполнении
	Основание секции	Прочная на изгиб опорная плита, общая для всех стоек, в функционально раздвоенном исполнении

4.2. Технические требования к костровым и рамным крепям поддерживающего типа

Верхние перекрытия

1. Ширина перекрытий должна обеспечивать достаточно удовлетворительную затяжку поддерживаемой кровли, свободные зазоры между элементами перекрытия не больше 0,1-0,2 м. Обязательное применение защитных щитков, перекрывающих зазоры.

2. Передняя консоль перекрытия должна быть приспособлена для укладки на перекрытие металлической сетки и иметь соответственно форму для облегчения преодоления неровностей в кровле при передвижке крепи с небольшим подпором.

3. Передний конец консоли должен быть подрессорен, с тем чтобы при номинальной нагрузке он выпрямился, или же оснащен активным подвижным козырьком.

4. Сферические верхние опоры стоек должны обеспечивать возможность поворота перекрытия на 25° в продольном и 20° в поперечном направлении.

5. Длина передней консоли перекрытия не менее 1,5 м, если проход для людей предусматривается перед передними стойками или соответственно за ними. При небольшой мощности пласта допускается меньшая длина передней консоли. Между длиной отдельных элементов одношарнирного перекрытия (передняя консоль до первой стойки, от первой стойки до шарнира, от шарнира до второй стойки, от второй стойки до конца перекрытия) должно выдерживаться соотношение (2-2,5) : 1 : 0,8 : 1. Длина задней консоли перекрытия 0,7-0,9 м.

6. Должна сохраняться прочность на изгиб при нагрузке в 1,1 раза больше номинальной, при наиболее неблагоприятном ее распределении.

Стойки

Диапазон гидравлической раздвижности на пласте мощностью до 1 м при применении стоек двойной раздвижности двухстороннего действия 0,75-1,45 м, на пластах мощностью 1,2 и 3 м при применении стоек одинарной раздвижности – соответственно 0,8-1,25; 1,6-2,6 и 1,8-3,3 м.

1. Стопорное кольцо должно выдерживать 1,5-кратную номинальную нагрузку. Гидравлические подсоединения должны быть легкодоступными. Обязательно принудительное опускание.

2. Стойки должны быть устойчивы к боковому прогибу при осевой нагрузке, превышающей номинальную в 1,5 раза, а также при внецентренной нагрузке (при эксцентриситете, равном 2 см), составляющей 2/3 номинальной.

3. Уплотнения должны быть рассчитаны на применение водоэмульсионных жидкостей и сохранять герметичность при давлении в 1,5 раза больше номинального. Срок службы уплотнений при эксплуатации в подземных условиях должен быть не менее двух лет.

4. Стойки должны иметь противокоррозионную защиту штоков и цилиндров и быть защищены от механических, в том числе при взрывных работах.

5. Сферические верхние и нижние опорные пяты стоек должны обладать подвижностью $\pm 23^\circ$ вверху и $\pm 9^\circ$ внизу как в продольном, так и в поперечном направлении. Соединения стоек с верхняками и основаниями должны выдерживать ударные и тяговые нагрузки.

Основания секций

1. Основания не должны подвергаться остаточному деформированию при неровностях в почве высотой до 0,3 м.

2. Жесткие основания должны быть устойчивыми к изгибу при нагрузке, превышающей в 1,1 раза номинальную, при наиболее неблагоприятном ее распределении.

3. Должна обеспечиваться параллельность передвижки оснований с левой и правой сторон комплекта крепи.

Гидродомкраты передвижки

Нижний домкрат должен развивать усилие не менее 100 кН. При неблагоприятных условиях следует предусматривать более мощные домкраты. Усилие верхнего домкрата должно быть равным 50% усилия нижнего домкрата, но не более 100 кН.

Защита призабойного пространства от обрушенных пород

1. Должна быть предусмотрена защита, предупреждающая выпадение кусков породы с размером грани больше 0,1 м между рамными секциями и комплектами крепи; зазор между задними консолями и завальными ограждениями должен быть перекрыт, например, цепной завесой.

2. Завальное ограждение должно обеспечивать возможность пропуска через него в выработанное пространство кусков породы диаметром до 0,3 м.

3. Длину опущенных вниз задних консолей перекрытия, защищающих призабойное пространство от обрушенных пород, следует определять исходя из угла их откоса, равного 63° , и высоты лавы.

Корректировка положения крепи

1. Направленность передвижки:

- для крепей, соединенных с конвейером, – самостоятельное выравнивание при уходе конвейера в сторону на $\pm 7,5$ см на шаг передвижки (за счет применения направляющих штанг, канатных направляющих, выравнивающих рычагов);
- для крепей, не соединенных с конвейером, – возможность выравнивания поперечными домкратами или за счет передвижки несколькими домкратами.

2. Установка стоек в нормальное к напластованию положение:

- механическая – на пластах с углом падения менее 13° при мощности ниже 1,4 м; допустимый угол отклонения от нормали $\pm 5^\circ$;
- гидравлическая – верхним домкратом с ходом поршня в 1,1 раза больше шага передвижки. Для пластов с углом падения свыше 13° при мощности 1,4-2 м должен быть предусмотрен дополнительный корректировочный домкрат в продольном направлении, а при мощности пласта более 2 м – также и в поперечном.

Проход для людей

Проход для людей должен устраиваться преимущественно перед передними стойками.

4.3. Технические требования к щитовым крепям

Перекрытия

1. Соотношение длин элементов перекрытия по отношению к точке приложения результирующей нагрузки 2:1, длина консольной части не более 1,8 м.

2. Передняя консоль должна быть приспособлена для укладки на перекрытие металлической сетки или же иметь закругленный (без острых кромок) край. Зазор между задней консолью козырька перекрытия и завальным ограждением должен быть защищен от проникновения обрушенных пород при любом положении козырька. Необходимо механическое стопорное устройство для предупреждения опускания призабойной консоли более чем на 13°.

3. Прижимные призабойные консоли должны обладать способностью подниматься вверх на 0,20 м (считая по концу консоли) и опускаться не более чем на 0,05 м. Прижимное усилие на конце консоли 100 кН. Полное восприятие нагрузки при отжатой вниз консоли.

4. Перекрытие должно быть приспособлено для монтажа системы орошения.

5. Следует предусматривать устройство чалочных приспособлений для закрепления крюков грузоподъемностью 80 кН.

6. На перекрытиях должны иметься щитки активного действия для перекрытия межсекционных зазоров.

Завальные ограждения и выдвижные борты перекрытий

1. Завальное ограждение должно воспринимать нагрузки на скручивание, возникающие при наличии в кровле продольных выступов.

2. Соединения завального ограждения со стойками должны выдерживать растягивающие нагрузки, соответствующие усилиям принудительного опускания стоек, и быть удобными для демонтажа.

3. Должна быть предусмотрена возможность установки и замены устройств пылеподавления.

4. Секции с обеих сторон должны быть оснащены взаимозаменяемыми выдвижными бортами для перекрытия межсекционных зазоров.
5. Верхние кромки выдвижных бортов должны быть подвижными.
6. Выдвижные борта должны управляться домкратами двустороннего действия.
7. Ширина выдвижных бортов должна превышать шаг передвижки на 0,1 м.
8. Кромки выдвижных бортов должны быть неизогнутыми и остроугольными.

Стойки

1. Гидравлическая раздвижность во всем диапазоне мощности; применение по возможности стойки одинарной раздвижности.
2. Стойки двустороннего действия.
3. Остальные требования те же, что и в 4.2.

Основания секций и домкраты передвижки

1. Давление на почву у носков основания не более 1,0 МПа.
2. Отсутствие вдавливания основания в почву при передвижке секций.
3. Возможность преодоления порогов в почве высотой до 0,2 м.
4. Наличие отверстий (размером не менее 0,3 × 0,3 м) между секциями для пропуска по почве штыба в выработанное пространство.
5. Удобная для передвижения людей и нескользкая верхняя поверхность, небольшая высота и отсутствие острых граней.
6. Соединения основания со стойками должны выдерживать растягивающие усилия, соответствующие усилию принудительного опускания стоек, и должны быть защищены от заштыбовки.
7. Чалочные устройства для закрепления крюков грузоподъемностью 80 кН.
8. Возможность перестановки домкратов передвижки по высоте: на 0,3 м вверх и на 0,15 м вниз.
9. Самоочистка штоков домкратов.
10. Усилие подтягивания не менее 300 кН.
11. Отсутствие поперечных нагрузок на домкраты.
12. Возможность отклонения домкратов в горизонтальной плоскости (от нормали к конвейеру) на $\pm 13^\circ$.
13. Возможность отхода конвейера от забоя на 0,05 м.
14. Максимальный шаг передвижки крепи 0,8 м.

Общие требования

1. Возможность встраивания в секцию устройств для мокрого пылеподавления.

2. Возможность встраивания в секцию аппаратуры громкоговорящей связи и осветительной арматуры.

3. Защита от опрокидывания секций.

4. Пригодность для работы как с "резервированием", так и без "резервирования" шага передвижки (по "заряженной" и "незаряженной" схемам).

5. Эффективная защита всех узлов гидравлической системы от коррозии.

6. Пригодность для работы на наклонных пластах при использовании дополнительных элементов.

Следствием обобщения производственного опыта являются характерные для современных конструктивных форм щитовых крепей шарнирные сопряжения завальных ограждений с верхними перекрытиями и двухрычажная связь основания с ограждением (рис. 4.1). Сопротивление крепи создается двумя или четырьмя гидростойками, передающими усилия ограждению или верхнему перекрытию. Щитовые секции связаны с забойным конвейером домкратами передвижки и могут работать как по "заряженной", так и "незаряженной" схеме.

Приведенные на рис. 4.1 основные формы щитовых крепей различаются как по длине перекрытий, так и по конструктивному оформлению в целом. При этом предусматривается, что соотношение длин элементов перекрытия (относительно точки приложения результирующей нагрузки) у всех конструктивных форм щитовых крепей одинаково. Это соотношение не должно, по возможности, превышать 2:1, поскольку в противном случае перекрытие не будет контактировать с кровлей по всей длине.

При таких условиях двухстоечная секция щитовой крепи с угловым домкратом между перекрытием и ограждением (рис. 4.1, а) отличается от других щитовых крепей особо коротким перекрытием. Каждый участок кровли при передвижке секции с потерей контакта подвергается чередующимся разгрузкам и нагрузкам. Угловой домкрат предназначен для фиксирования угла между перекрытием и ограждением во время передвижки секции.

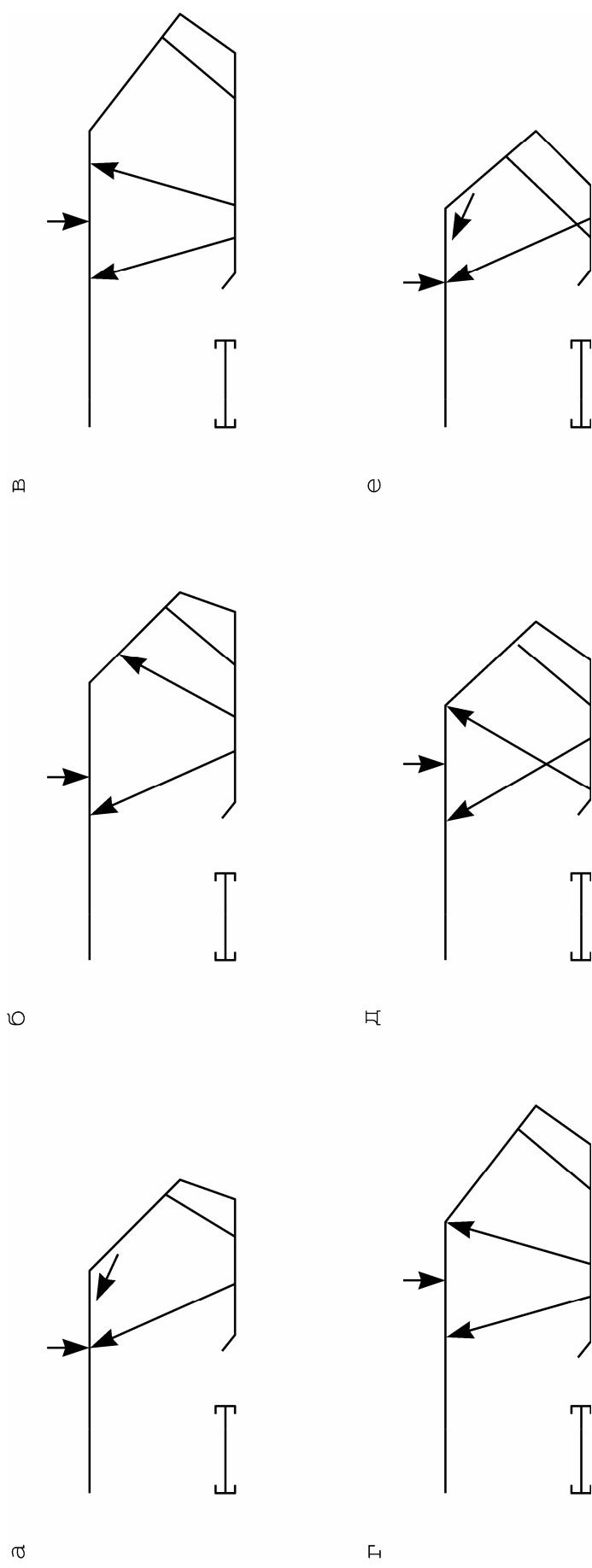


Рис. 4.1. Конструктивные формы секции щитовой крепи с шарнирным сопряжением перекрытия с ограждением и двухрычажной связью основания с ограждением

В четырехстоечной секции щитовой крепи (рис. 4.1, б) эту задачу выполняют задние стойки, поддерживающие ограждение. Результирующая нагрузка приложена к перекрытию на большем расстоянии от забоя, чем при двухстоечной щитовой крепи. Перекрытие имеет соответственно большую длину, кровля при передвижке секции подвергается более частому чередованию разгрузок и нагрузок, чем при двухстоечной крепи. К достоинствам такой крепи следует отнести то обстоятельство, что точка приложения результирующей нагрузки удалена от завальной кромки перекрытия на большее расстояние, чем у двухстоечной крепи. Линия обреза кровли может переместиться на большее расстояние, пока стойки не будут разгружены.

Наибольшую конструктивную длину имеют четырехстоечные секции щитовой крепи с V-образным расположением стоек с упором в перекрытие (рис. 4.1, в). Такое расположение стоек позволяет расширить диапазон раздвижности крепи.

Конструктивная схема секции с подобным же расположением гидростоек, но с меньшей длиной перекрытия показана на рис. 4.1, г. Консольная часть перекрытия разделена шарниром, что позволяет иметь активные поджимные призабойные консоли. Прижимное усилие на конце консоли составляет 100 кН. Его вполне достаточно для предупреждения расслоения кровли.

На пластах небольшой мощности из-за затруднений с монтажом и демонтажом щитовой крепи желательно применять секции уменьшенной длины и к тому же с увеличенным диапазоном раздвижности для приспособления к частым изменениям мощности пласта. Указанные требования реализуемы при X-образном расположении стоек с их упором в перекрытие (рис. 4.1, д). Однако при таком расположении стоек приходится мириться с неблагоприятным соотношением длины элементов перекрытия относительно точки приложения результирующего распорного усилия, приемлемым лишь на пластах малой мощности.

Еще меньшую длину секции щитовой крепи можно получить, если передние рычаги звеньевого механизма закрепить недалеко от носков основания (рис. 4.1, е). При этом можно даже сохранить благоприятное соотношение длины элементов перекрытия 2:1.

Для управления кровлей в лаве большое значение имеют сокращение расстояния между забоем и концами консолей перекрытия, а также уменьшение отставания крепления от выемки угля. Поэтому щитовую крепь в комбайновых лавах часто передвигают сразу же после обнаже-

ния призабойной кровли, еще до передвижки конвейера, то есть по "заряженной" схеме. При такой схеме работы крепи требуется на 1 м большая длина консольной части перекрытия, чем при работе по "незаряженной" схеме. Напрашивается мысль обеспечить сокращение расстояния между забоем и концами перекрытий и равным образом уменьшить отставание крепления от выемки угля также и при нормальной конструктивной схеме секций крепи, то есть без "резервирования" шага передвижки. Это возможно в том случае, если на концах перекрытий будут устроены выдвижные или откидные призабойные консоли. При втянутых в базовую часть перекрытия подобных консолях соотношение длины элементов перекрытия относительно точки приложения результирующего распорного усилия равно 2 : 1, при выдвинутых оно увеличивается до 2,7 : 1. Для относительно короткого промежутка времени между выемкой полосы угля и подтягиванием секций крепи вслед за передвижкой конвейера такое соотношение вполне допустимо. При прижатой к кровле откидной консоли на базовую часть перекрытия через шарнир передается относительно небольшой момент сил, так что условия нагрузки на крепь ухудшаются незначительно.

4.4. Технические требования к механизированным крепям, работающим с закладкой выработанного пространства

В настоящее время способ управления кровлей с применением закладки выработанного пространства можно применять в лавах, оборудованных как костровыми, так и щитовыми механизированными крепями. Однако работы по созданию подобных крепей еще полностью не завершены. В частности, продолжаются работы по созданию механизированных крепей, пригодных для применения на пластах малой мощности.

Рамные механизированные крепи. Лавы с полной закладкой выработанного пространства могут быть оснащены механизированными крепями в том случае, если традиционная технология закладки, при которой лавный пневмозакладочный трубопровод рассоединяется по мере надобности и переносится отдельными участками, будет приспособлена к работе механизированной крепи. Разработан пневмозакладочный трубопровод, передвигаемый без разборки вместе с механизированной крепью, закладочный материал из которого подается в выработанное пространство через гидравлически управляемые устройства для бокового выпуска.

В лавах с закладкой механизированная крепь, кроме обычных для нее функций, должна также:

- поддерживать кровлю в закладываемой полосе выработанного пространства вплоть до откоса закладочного массива, образованного при предыдущем цикле закладки;
- перемещать закладочный трубопровод при передвижке крепи;
- ограждать призабойное пространство от закладываемой полосы выработанного пространства.

При разработке механизированной крепи, соответствующей этим требованиям, исходили из обычных конструктивных схем секций рамной крепи, предназначенных для лав с обрушением кровли. Длина завальной консоли перекрытия была увеличена более чем до 2 м, а вся остальная часть перекрытия, включая его средний шарнир, оставлена без изменений. Применение таких секций дает при наличии дополнительного верхнего домкрата передвижки удовлетворительные результаты на пластах мощностью свыше 2,5 м.

Для улучшения условий поддержания кровли над закладываемой полосой выработанного пространства вначале необходимо ограничить подвижность среднего шарнира перекрытия за счет использования накладок из листовой стали. Однако в связи с неудовлетворительными результатами испытаний пришлось перейти на усиленные перекрытия с шарнирами, имеющими одностороннее ограничение подвижности. Такая весьма прочная на изгиб конструкция позволила повесить к задним консолям перекрытия закладочный трубопровод, размещавшийся ранее на установленных на почве гидравлических опорах (рис. 4.2).

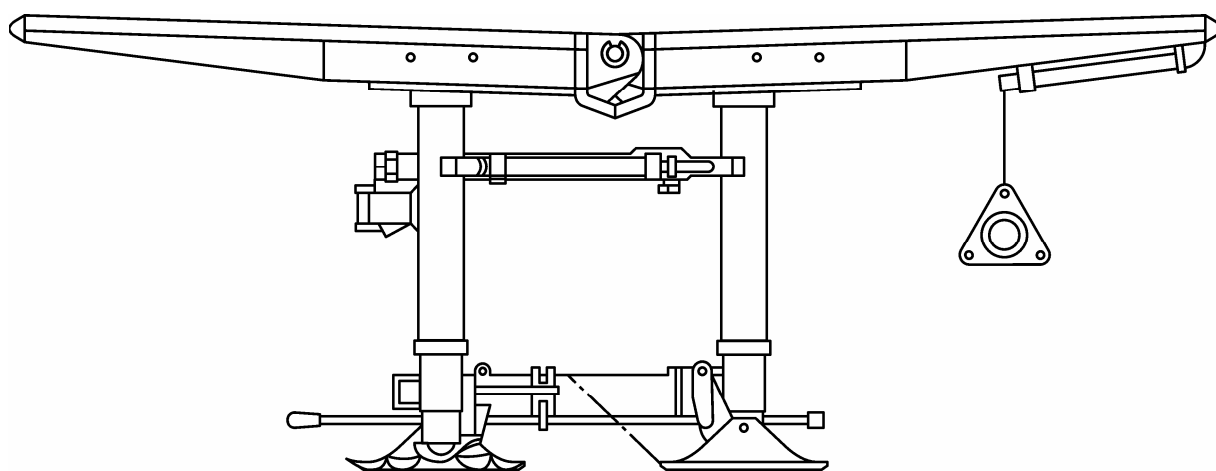


Рис. 4.2. Схема секции механизированной крепи с подвеской закладочного трубопровода на завальной консоли перекрытия

Существенным фактором для эффективности ведения работ с закладкой выработанного пространства при применении такой крепи является довольно высокое сопротивление на концах консолей, противодействующее смещению кровли над весьма широким поддерживаемым рабочим пространством лавы и создающее условия для укладки максимального объема закладочного материала за цикл. Однако важно и то, что задние консоли перекрытий не приходится вытягивать из закладочного массива, так что в кровле закладываемой полосы не образуются вывалы.

По сравнению с обычной технологией закладки в лавах с индивидуальной крепью при механизированных крепях в закладочном массиве не образуются "мертвые" зоны (благодаря отсутствию стоек и отшивки), расход закладочного материала на единицу объема выработанного пространства увеличивается на 10-15% при соответствующем уменьшении опускания кровли. Наблюдениями при проведении выработки по закладочному массиву установлено, что опускание кровли равнялось 40-45% вынимаемой мощности пласта (коэффициент усадки закладочного массива 0,55-0,6), тогда как в лавах с немеханизированной крепью оно составляет не менее 50% вынимаемой мощности пласта.

При испытаниях различных типов оградительных элементов, предназначенных для удержания откоса закладочного массива, лучше всего зарекомендовало себя раздвижное ограждение. По сравнению с ограждением коробчатого типа оно обладает тем преимуществом, что не сужает ширину прохода между стойками. Зазоры между ограждениями отдельных секций перекрываются полосами из конвейерной ленты с повышающими их жесткость пружинящими металлическими накладками.

Щитовые механизированные крепи. В связи с необходимостью охраны поверхности, а также из-за геологических факторов отработка значительной части месторождения требует применения способа управления кровлей с полной закладкой выработанного пространства.

Анализ показал, что при применении закладки механизированные крепи должны отвечать следующим дополнительным требованиям:

- крепь должна надежно поддерживать кровлю не только над машинной дорогой, конвейером и проходом для людей, но и над закладываемой полосой выработанного пространства. При достаточно большом расстоянии между забоем и откосом закладочного массива она должна обладать высоким рабочим

сопротивлением и обеспечивать высокий коэффициент затяжки кровли;

- закладочное оборудование должно быть приспособлено к работе механизированной крепи. Закладочный трубопровод необходимо размещать на секциях крепи таким образом, чтобы обеспечить независимость работ по выемке угля и закладке выработанного пространства;
- большая мощность пласта и значительная длина верхних перекрытий, а также дополнительная нагрузка от закладочного трубопровода требуют жесткой и стабильной конструкции крепи, устойчивой при передвижении;
- ограждение закладываемой полосы от призабойного пространства лавы должно создавать прочную опору для закладочного массива, предупреждать проникновение закладочного материала в призабойное пространство и не препятствовать нормальной работе крепи. Ограждение не должно требовать больших затрат труда на его обслуживание и быть дорогим в изготовлении;
- закладываемая полоса должна быть доступна для обслуживания закладочного трубопровода; функции арматуры управления закладочным трубопроводом не должны нарушаться при подаче закладочного материала.

На основе результатов предварительных исследований был создан щитовой механизированный комплекс (рис. 4.3). При его разработке в дополнение к перечисленным выше исходным требованиям потребовалось учесть ряд других требований, вытекающих из условий взаимодействия щитовой крепи и закладочной установки (табл. 4.8).

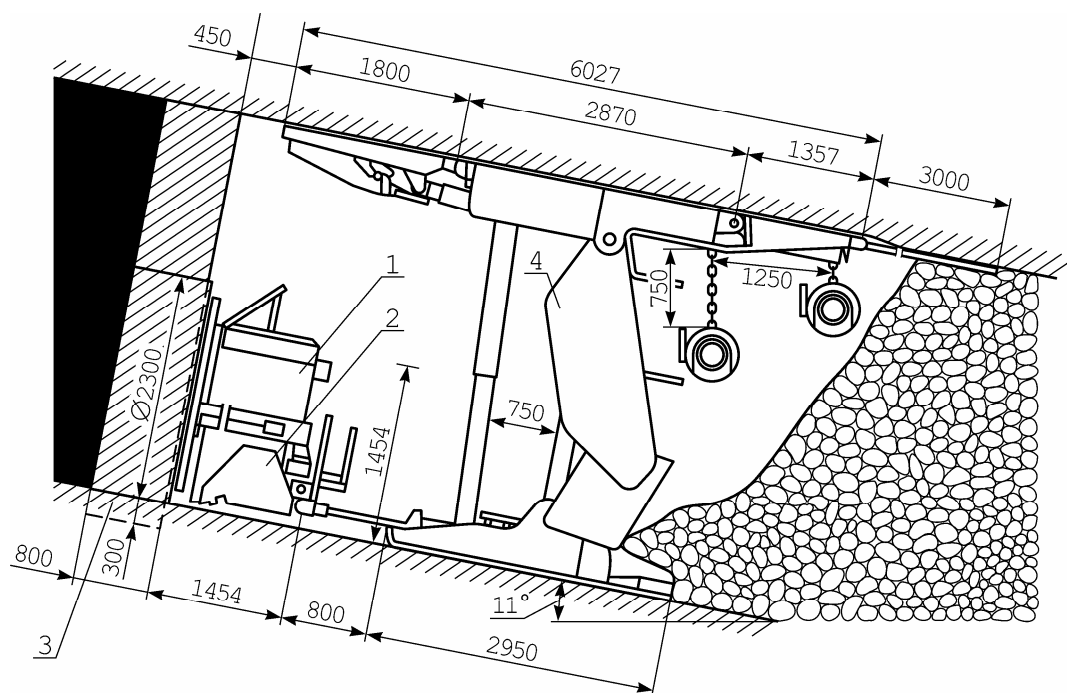


Рис. 4.3. Комплекс оборудования со щитовой крепью для лавы, работающей с закладкой выработанного пространства:
 1 – комбайн; 2 – забойный конвейер; 3 – присекаемый в почве слой; 4 – щитовая крепь.

Таблица 4.8

Технические требования к механизированным крепям, работающим с закладкой

Требование	Для какой цели	Конструктивное
1	2	3
Высокое сопротивление	Большая площадь поддерживаемой кровли	Четыре гидростойки двустороннего действия с высоким рабочим сопротивлением
Возможно более полная затяжка кровли	Склонность кровли к вывалам. Значительная ширина призабойного пространства. Невозможность затяжки кровли провололочной сеткой	Перекрытия длиной 6 м. Подкровельный фартук из рессорной стали длиной 3 м. Выдвижные борта на базовой части перекрытия
Возможность безопасного прохода крепи под куполами вывалов из кровли	Склонность кровли к вывалам	Активные поджимные призабойные консоли

1	2	3
Высокая стабильность при передвижке секций	Сползание крепи из-за подвигания лавы по восстанью, длинной завальной консоли перекрытия, дополнительных нагрузок на перекрытие, вызванных весом перекрывающих межсекционные зазоры подвижных бортов, скопленной разрушенной породы на перекрытиях, подкровельного фартука и закладочного трубопровода	Удлиненные задние лыжи основания секции
Высокие усилия передвижки секций	Большая масса секций	Рычажный механизм передвижения с мощным гидродомкратом
Надежное ограждение призабойного пространства от закладываемой полосы	Подвигание лавы по восстанью. Высокое сопротивление трению. Необходимость плотной укладки закладочного массива. Защита от выбрасываемых из трубопровода кусков породы и взвихренной пыли	Нормальное к напластованию положение завальных ограждений секций, резиновые уплотнения зазоров в месте расползания шарнира, соединяющего ограждение и завальную консоль перекрытия
Возможность доступа людей в закладываемую полосу и наблюдений за работой закладочного трубопровода из призабойного пространства	Укладка закладочного материала при торцовом выпуске из трубопровода Рассоединение и соединение секций закладочного трубопровода. Необходимость ремонта и обслуживания закладочного трубопровода	Люки для прохода людей в завальных ограждениях (с запираемыми крышками) и размещение вблизи них органов управления работой трубопровода

Защита механизма подвески трубопровода от загрязнений	Опасность нарушения функций механизма подвески и перемещения трубопровода вылетающим закладочным материалом и просыпающейся через зазоры в перекрытии породной мелочью	Размещение гидроцилиндров в "мертвой" зоне выпуска закладочного материала из трубопровода Возможность очистки скребками и водяными струями
Хороший обзор пунктов управления и системы гидроразводки	Большое число функций управления (23)	Дистанционное управление по системе многоканальных рукавов

4.5. Технические требования к механизированным крепям для наклонных пластов

Механизированные крепи для наклонных пластов в дополнение к изложенным выше должны удовлетворять следующим требованиям.

Ограждение призабойного пространства

1. Надежное ограждение от обрушенных пород во всем диапазоне раздвижности крепи. Максимально допустимое расстояние нижней кромки ограждения от почвы 0,3 м.

2. Предупреждение высыпания обрушенных пород в призабойное пространство при передвижке секций (ширина боковых выдвижных бортов должна превышать шаг передвижки на 0,1 м с учетом отклонения секций от направления передвижки на 5°).

3. Возможность пропуска в выработанное пространство находящейся на почве горной массы; размеры выпускных отверстий у почвы не менее 0,3 × 0,3 м.

4. Ограждение призабойного пространства со стороны кровли выдвижными бортами, перекрывающими межсекционные зазоры по всей ширине призабойного пространства. Симметричное расположение выдвижных бортов с обеих сторон каждой секции (один из бортов может быть жестким).

Связь секций и их направленная передвижка

1. Опора передвигаемой секции на нижнюю распертую. Соприкасающиеся опорные и направляющие поверхности без выступов. Выдвижные борты для перекрытия межсекционных зазоров – активного действия. Обеспечение направленной передвижки при отклонении секции на 2° от нормали к плоскости пласта или от направления передвижки.

2. Усилия, удерживающие распертую секцию должны быть достаточны для корректировки положения других расположенных выше разгруженных секций (с учетом веса секций и сил трения, противодействующих изменению их положения). Усилие, удерживающее секцию крепи, должно быть в любом случае выше усилия, требуемого для корректировки положения соседней секции.

3. Удобное обслуживание органов управления. Корректировка положения с одного пункта управления. Функции передвижения и корректировки положения секции должны осуществляться одновременно.

4. Защита секций от опрокидывания при передвижке. Недопустимость подъема основания при передвижке.

5. Возможность подсоединения к каждой секции устройств для удержания конвейера от сползания с усилиями подтягивания и отталкивания 300 кН.

Сохранение направленности передвижения и нормального к плоскости пласта положения

1. Допустимое отклонение от направления передвижения 2° и возможность корректировки положения секций.

2. Корректировка положения секции при ее отклонении от нормали к плоскости пласта до 2° .

3. Защита от просыпания породной мелочи и штыба при корректировке положения секции.

4. Симметричное расположение устройств для корректировки положений секций, их легкая взаимозаменяемость.

Проход для людей

1. Защита прохода для людей за счет полного перекрытия кровли.

2. Отделение прохода для людей от машинной и конвейерных дорог специальными приспособлениями.

3. Устройство в проходе для людей ступенчатых трапов.

Механизированные щитовые крепи для пологих пластов вследствие прочности и стабильности их конструкции и наличия сплошного ограждения от выработанного пространства могут быть успешно применены и на наклонных пластах до 35° . Изготовители модифицировали выпускаемые ими щитовые крепи с учетом рассмотренных выше требований. В частности, было обращено внимание на предупреждение сползания секций по падению при передвижке, изменение направления передвижения и опрокидывания. Поскольку небольших отклонений секций от нормального положения все же избежать невозможно, требуются эффективные корректирующие устройства. И, наконец, секции крепи должны удерживать от сползания забойный конвейер. Для этого механизированные крепи следует оснащать дополнительными домкратами двустороннего действия. Точки приложения усилий корректирующих домкратов, предназначенных для выравнивания секций в плоскости пласта и относительно нормали к нему, показаны на рис. 4.4 стрелками.

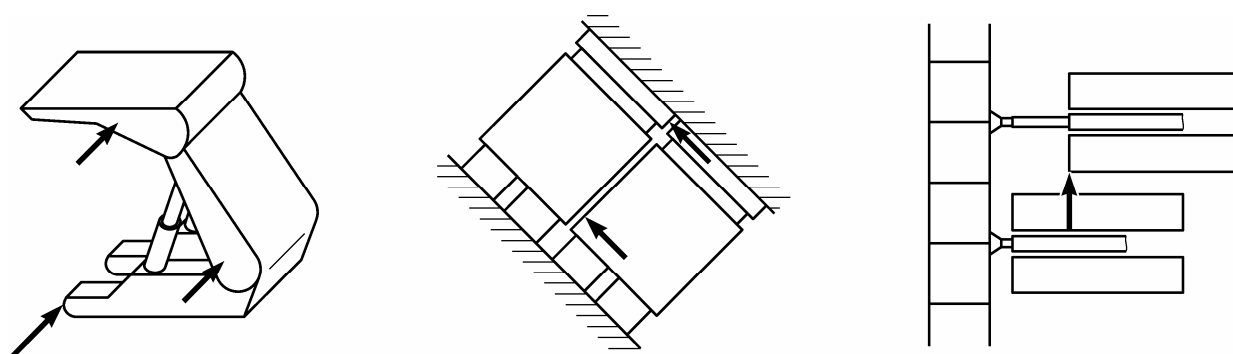


Рис. 4.4. Расположение точек приложения усилий гидродомкратов для выравнивания секций щитовой крепи

На наклонных пластах применяют две системы передвижки секций механизированных крепей (рис. 4.5). При одной из них (рис. 4.5, а) секции крепи, как и на пологих пластах, связаны с лавным конвейером домкратами передвижки и передвигаются последовательно снизу вверх.

При второй системе (рис. 4.5, б) секции крепи не связаны с конвейером. Комплекты из трех секций передвигаются самостоятельно по восстанию, причем в каждом комплекте вначале передвигают среднюю секцию, затем подтягивают к ней нижнюю и верхнюю секции.

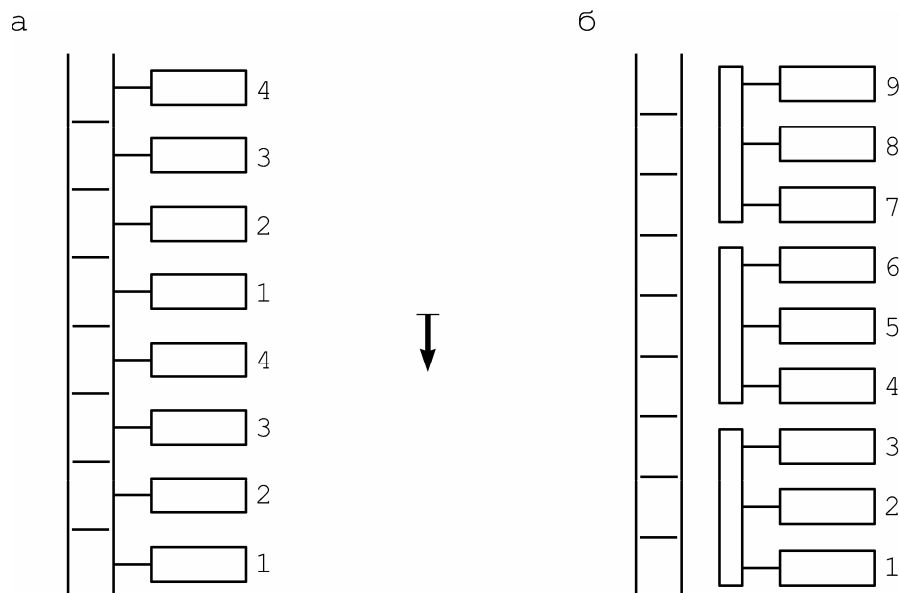


Рис. 4.5. Схемы передвижки секций механизированной крепи на наклонных пластах (цифрами показаны порядковые номера секций)

Обе системы успешно испытаны на практике. Ниже обосновывается целесообразность создания трехсекционных комплектов щитовой крепи, практическая реализация этой идеи и производственный опыт первого применения такой крепи.

Работники ДонНИИ после успешного применения щитовых крепей на пологих пластах, в том числе в сложных горно-геологических условиях, решили совместно с заводом-изготовителем разработать новую конструкцию такой крепи для наклонных пластов. Целью работ являлось обеспечение безопасных условий управления неустойчивой кровлей при одновременном выполнении процессов по выемке угля и креплению лавы, а также повышение скорости крепления, которая не должна была ограничивать нагрузки на струговую лаву.

При ее проектировании исходили из следующих основных требований и их обоснований (табл. 4.9).

Крепь является агрегатированной, поддерживающе-оградительного типа. Секции крепи щитового типа со стороны кровли снабжены выдвжными консолями и межсекционными щитами и кинематически связаны между собой базовой балкой, принудительно распертой между кровлей и почвой пласта призабойными стойками секций, и межсекционными связями (рис. 4.6 и 4.7).

**Дополнительные требования к механизированным крепям
для наклонных пластов**

Требование	Обоснование
Полная независимость от конвейера	Сползание конвейера под действием собственного веса
Управляемость крепью: - в плоскости пласта - в нормальной к пласту плоскости	Необходимость направленной передвижки Большой угол падения
Принудительное опускание гидростоек	Небольшое горное давление
Сопротивление крепи не менее 250 кН/м ²	Предупреждение ступенчатого опускания кровли
Короткие призабойные консоли	Небольшая ширина призабойного пространства
Сплошное основание секций	Необходимость достаточно высокой жесткости при внецентренной нагрузке
Преодоление порогов в почве	Необходимость перехода геологических нарушений
Достаточно надежная опора нижней концевой секции	Большой угол падения

Удалось также подтвердить возможность корректировки положения крепи в лаве.

При испытаниях в шахте крепь работала вполне удовлетворительно, а ее эксплуатация не вызывала каких-либо затруднений. Выемка угля и его доставка полностью не зависели от работ по креплению кровли.

Вывалы породы из кровли не наблюдались. Передвижение людей по лаве было достаточно удобным, чему способствовали поперечные перекладки, устроенные на базовых балках. Очистка домкратов передвижки от штыба не требовала много времени. Управление передвижной крепью благодаря четко различимым символам на постах управления не вызывало затруднений.

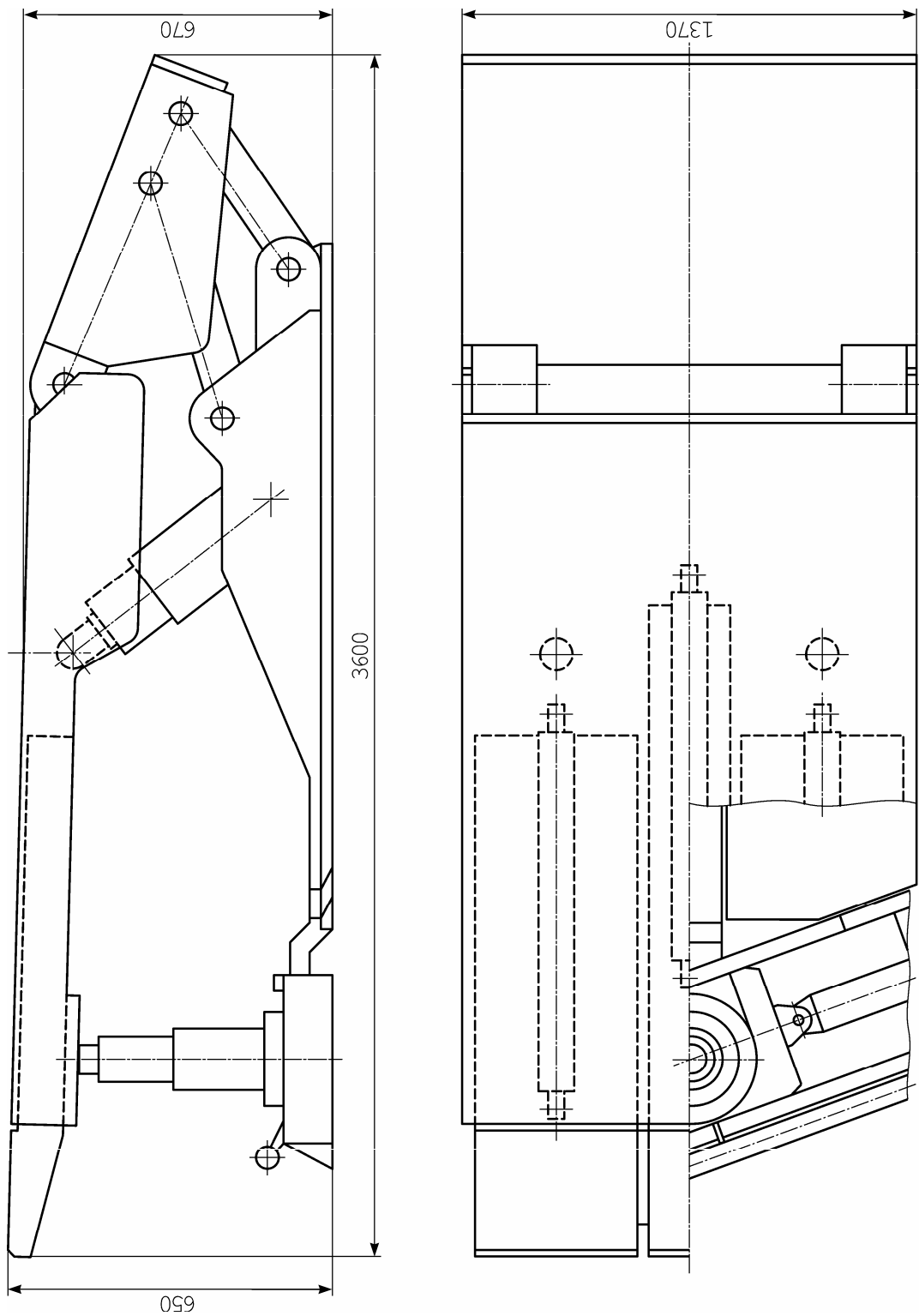
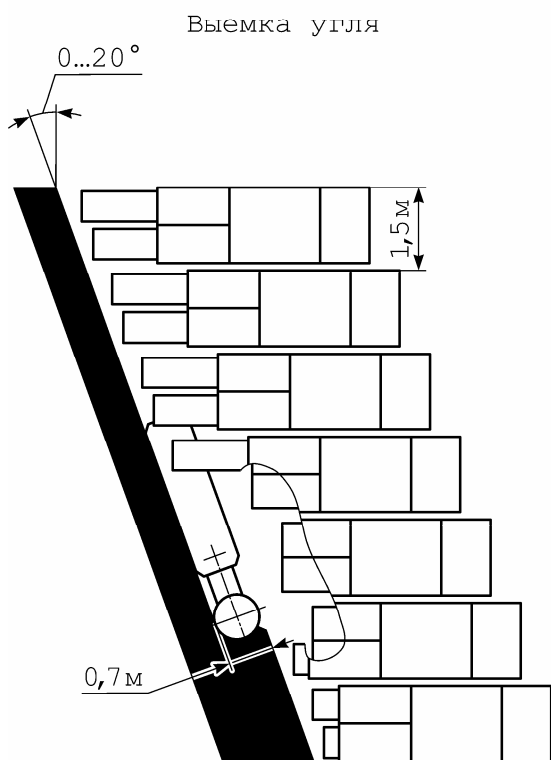
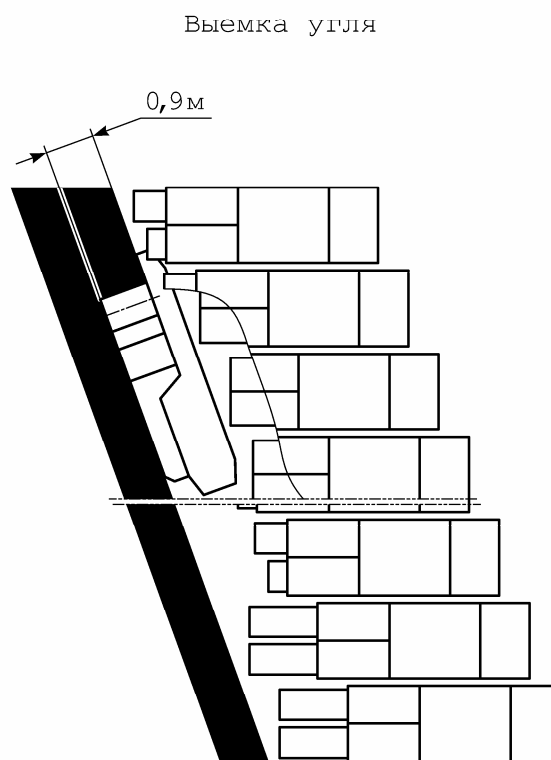


Рис. 4.6. Крепь механизированная КМП (секция)

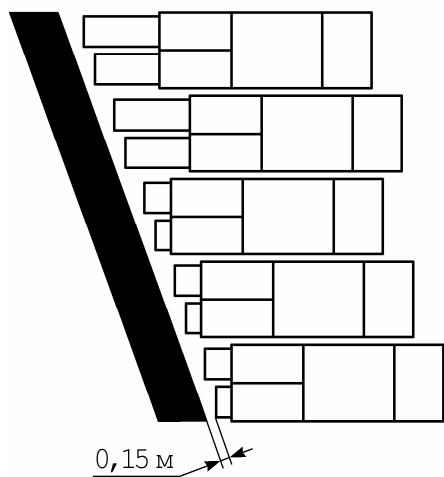
Почвоуступный забой



Потолкоуступный забой



Крепление забоя



Крепление забоя

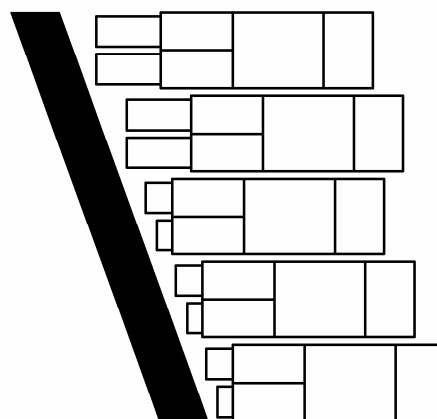


Рис. 4.7. Технологическая схема работы крепи КМП
(технологическая схема работы крепи)

4.6. Технические требования к перекрытию поддерживаемого пространства и межсекционных зазоров

Расстояние между первой точкой контакта с кровлей и кромкой призабойной части перекрытия возрастает прямо пропорционально увеличению длины консольной части перекрытия. Это вызвано неровностями кровли, наличием выступов и вывалов, а также скоплениями породной мелочи на перекрытиях.

Естественные неровности кровли по фактору плотности прилегания призабойной консоли к кровле играют второстепенную роль (рис. 4.8). По наблюдениям при отсутствии на шарнирных перекрытиях крепи скоплений породной мелочи среднее расстояние между точкой первого контакта с кровлей и концом призабойной консоли l составляло всего 0,06 м, тогда как при их наличии (толщиной 0,1 м) – 0,3 м.

Разумеется, что определенная часть призабойных консолей контактирует с кровлей по всей длине. Однако вероятность прилегания концов консолей перекрытий к кровле уменьшается по мере увеличения их длины.

Контактирование перекрытий с кровлей и, следовательно, эффективность их действия могут быть улучшены, если перекрытия будут не сплошными, а разделенными шарнирами. Как показали результаты экспериментов, при которых сплошной жесткий верхняк длиной 2,2 м и верхняк, состоящий из двух частей, прижимали по 60 раз к кровле в различных местах лавы и определяли с интервалом 0,1 м по длине верхняка наличие контакта с кровлей, в разделенном на две части верхняке его длинный и короткий отрезки контактировали с кровлей соответственно на 61 и 160% чаще, чем соответствующие участки сплошного жесткого верхняка (рис. 4.9).

При наличии в кровле выступов или вывалов перекрытия крепи часто неудовлетворительно контактируют с кровлей. При переходе через вывал одношарнирное перекрытие прогибается в полость вывала, а призабойная консоль отходит от кровли. Выступ в кровле может привести также к опусканию призабойной консоли.

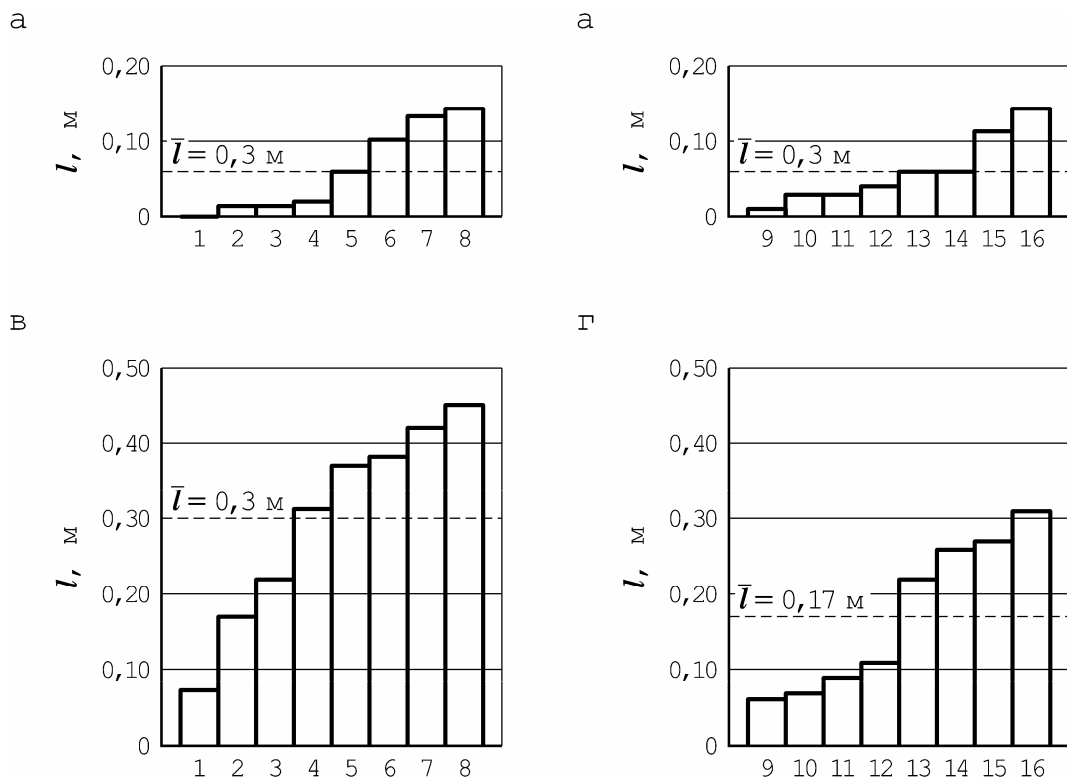


Рис. 4.8. Диаграммы расстояния l между первой точкой контакта с кровлей и передней кромкой консоли на перекрытиях без (а и б) и со скоплением (в и г) породной мелочи толщиной 0,1 м:

а и в – перекрытия с шарнирным соединением с ограждением;
 б и г – перекрытия с поджимными призабойными консолями;
 цифры – номера обследованных лав

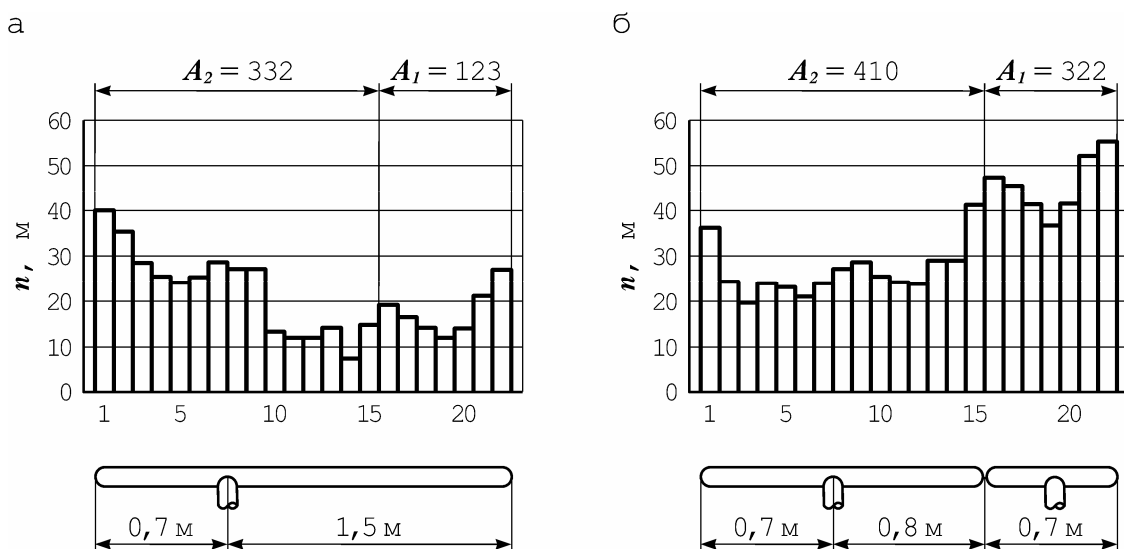


Рис. 4.9. Диаграммы числа контактирований с кровлей n по длине L сплошного (а) и разделенного на две части (б) верхняка при 60 измерениях:

A_1, A_2 – число контактов соответственно на коротком и длинном участках верхняка

К перекрытиям секций механизированных крепей предъявляются следующие требования:

- возможно более полное прилегание к неровной кровле вплоть до передней кромки консоли;
- возможность перекрытия вывалов шириной до 1,5 м без потери передней консолью контакта с кровлей.

Шарнирные перекрытия соответствуют указанным требованиям в разной мере. Критерием эффективности функционирования консольной части перекрытия является расстояние между выступом в кровле и концом консоли, при котором последняя может быть прижата к кровле передней стойкой. В этом отношении применение сплошного перекрытия менее благоприятно, чем шарнирного (рис. 4.10).

Из схем, приведенных на рис. 4.11 видно, при какой минимальной ширине вывала шарнирная часть перекрытия трех различных типов не вдавливаются в его полость и при какой минимальной ширине вывала кромки перекрытий не теряют контакта с кровлей. Перекрытия с двойным шарниром прогибаются в полость вывала уже при небольшой ширине последнего. Способность перекрытий подхватывать вывалы в кровле зависит от соотношения между отдельными линейными элементами перекрытия и должна определяться для каждой конкретной конструкции.

При переходе секцией крепи выступа в кровле и при скоплении породной мелочи на перекрытии хорошее прилегание к кровле достигается при поджимной передней консоли.

К особенностям щитовых крепей относится возможность полной защиты рабочего пространства лавы от просыпания пород из выработанного пространства и кровли. Для оценки эффективности и эксплуатационных качеств устройств для перекрытия межсекционных зазоров были исследованы различные конструкции выдвижных бортов с различным их расположением относительно верхнего перекрытия и завального ограждения при разных усилиях прижатия.

Испытывались конструкции выдвижных бортов пяти типов: с округленными гранями; с остроугольными гранями; с контактом вида "лезвие – плоскость"; с выступом бортов над перекрываемым зазором и остроугольными гранями; с выступом бортов над перекрываемым зазором, остроугольными гранями и с контактом вида "лезвие – плоскость".

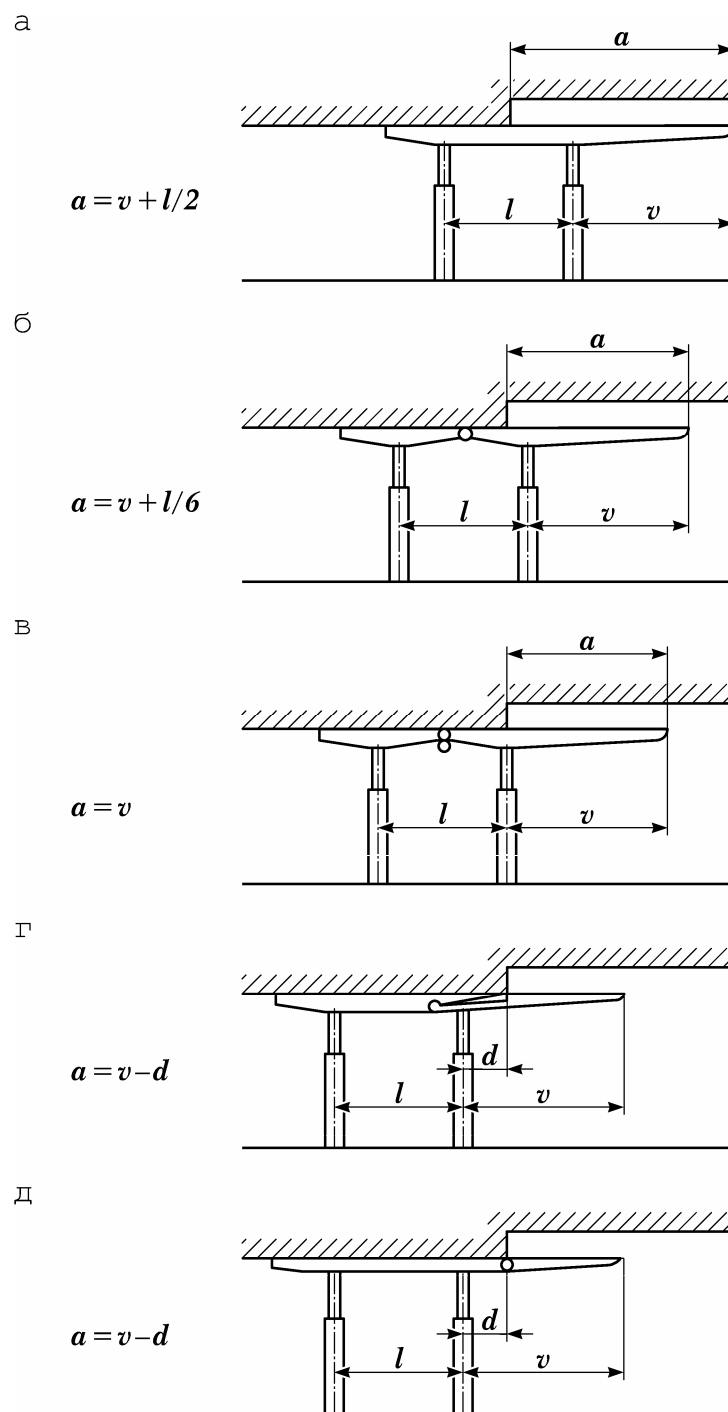


Рис. 4.10. Схемы прилегания к неровной кровле различных покрытий:

a – жесткого; $б$ – шарнирного; $в$ – с двойным шарниром;
 $г$ – одношарнирного с поджимной призабойной консолью
 a, v – расстояние от конца передней консоли перекрытия соответственно до выступа в кровле и первой стойки;
 l – расстояние между стойками; d – расстояние между выступом в кровле и первой стойкой

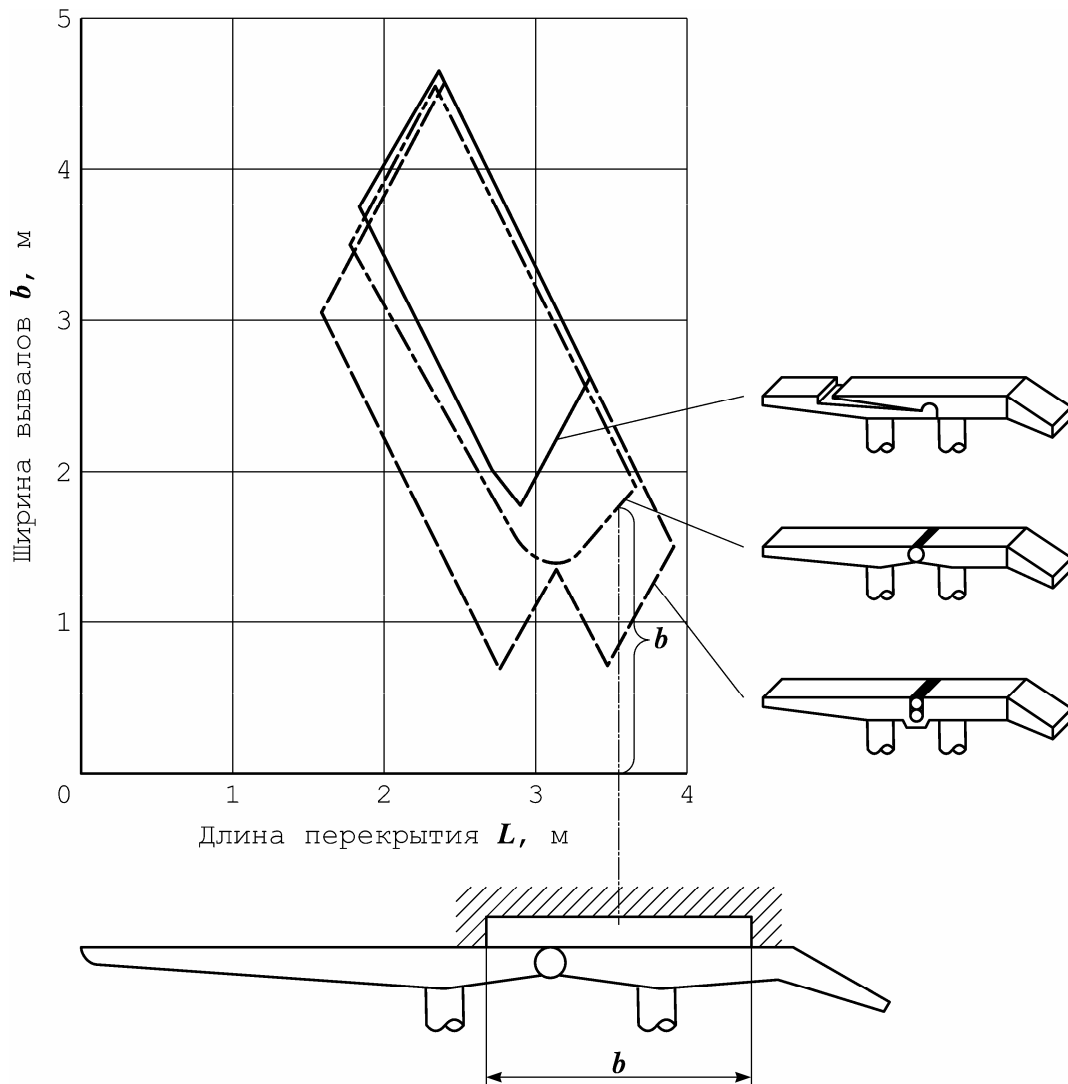


Рис. 4.11. Схема подхватывания вывалов шириной b перекрытиями длиной L различной конструкции

Эффективность выдвижных бортов различных конструкций оценивалась по массе просыпавшихся породных частиц крупностью более 63 мкм после 150 циклов передвижки.

Конструкция выдвижных бортов	1	2	3	4	5
Масса породных частиц крупностью более 63 мкм, г	39000	2400	154	75	38

Результаты испытаний позволили сделать следующие выводы:

- не рекомендуется применять выдвижные борта с округленными гранями, поскольку в углублениях между ними скапливается породная мелочь, перетираемая затем в мелкую пыль;
- следует рекомендовать применение выдвижных бортов с остроугольными гранями и открытыми снизу плоскими элементами из листовой стали;
- следует отдавать предпочтение выдвижным бортам, верхние кромки которых приподняты над поверхностью перекрытия секции;
- наиболее эффективно усилие взаимного прижатия выдвижных бортов порядка 20 кН;
- необходимо избегать конструкций выдвижных бортов, образующих продольные углубления;
- выдвижные борта должны перекрывать межсекционный зазор над перекрытием;
- выдвижные борта верхних перекрытий и завальных ограждений должны передвигаться независимо друг от друга.

4.7. Технические требования к основанию секций щитовой крепи

Основания секций щитовой крепи должны быть выполнены таким образом, чтобы при распоре секции носки основания не вдавливались в почву, а при передвижке не происходило их "запахивания" в почву. Исследования на испытательном стенде позволили дать следующие выводы в отношении наиболее целесообразного оформления основания щитовой крепи.

При распоре секции носки основания жесткой конструкции оказывают высокое давление на почву и вдавливаются в нее (рис. 4.12). При упругой конструкции основания перегрузки почвы под носками основания не происходит (рис. 4.12, б). Поэтому основания секций щитовой крепи должны выполняться упругими.

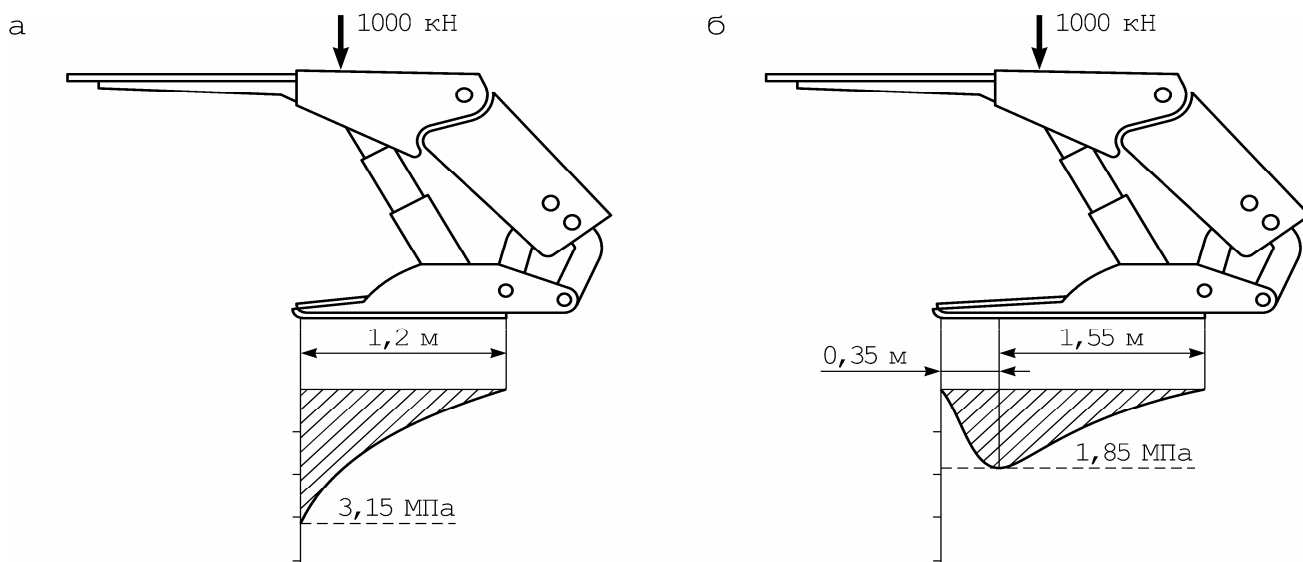


Рис. 4.12. Эпюры давления на почву при разных конструкциях основания секции щитовой крепи

Снижения давления на почву под передней кромкой основания можно достигнуть в том случае, если носки основания будут слегка приподняты (рис. 4.13, б), причем кромка изгиба должна находиться примерно в 0,3 м от края.

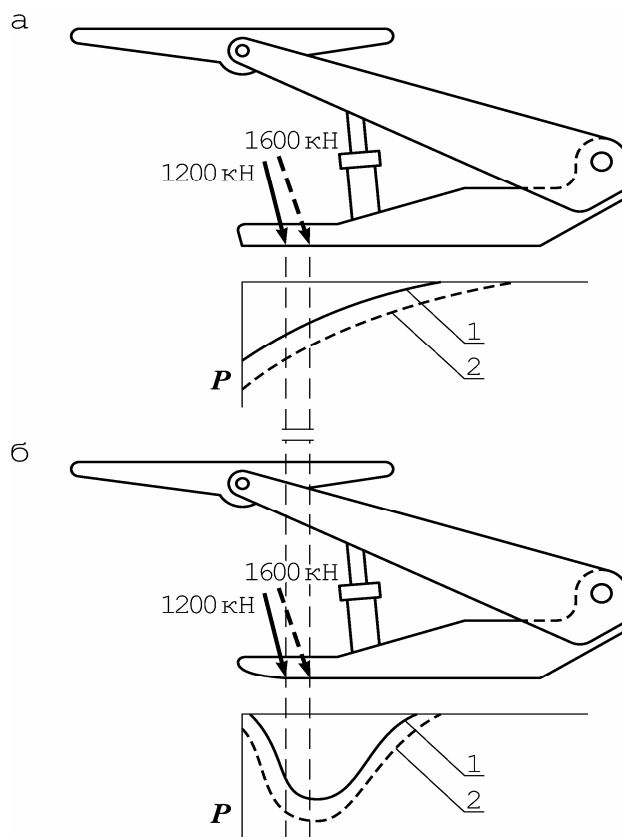


Рис. 4.13. Эпюры давления на почву P при прямой (а) и приподнятой (б) передней кромке основания секции щитовой крепи: 1 и 2 – соответственно при начальном распоре (1200 кН) и рабочем сопротивлении (1600 кН)

Давление на почву уменьшается, если проекция шарнира, соединяющего верхнее перекрытие с ограждением, не выходит за пределы контура основания и находится как можно дальше от его передней кромки (рис. 4.14). Чем длиннее основание секции, тем меньше его давление на почву.

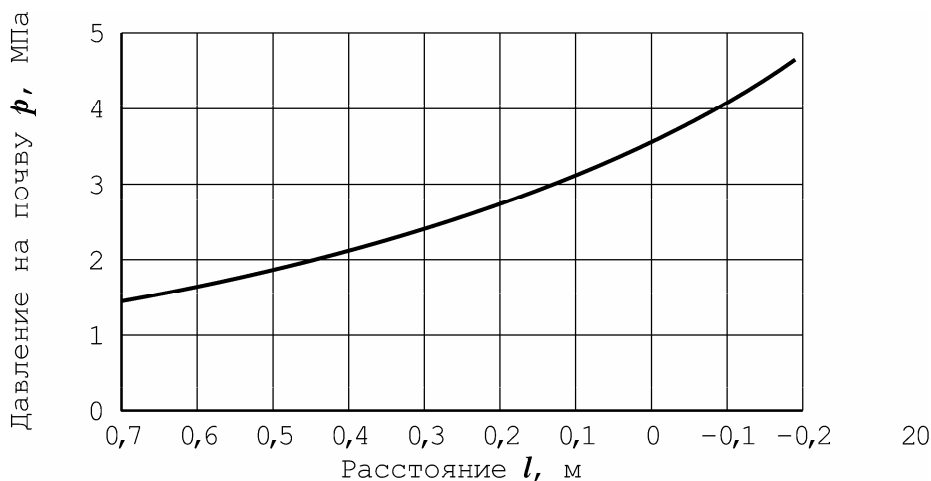


Рис. 4.14. График изменения давления на почву p , оказываемого основанием секции щитовой крепи с одношарнирной его связью с ограждением, в зависимости от расстояния l , на котором находится проекция шарнира, связывающего козырек перекрытия с ограждениями, от передней кромки основания (знак "минус" означает, что проекция шарнира выходит за контур основания)

На степень "запахивания" почвы при передвижке крепи можно влиять путем изменения формы носков основания (рис. 4.15). Экспериментами на моделях было установлено, что особыми достоинствами обладают носки основания, скошенные снизу под углом 30° .

Способ закрепления домкратов передвижки к основанию секции и к конвейеру не оказывает влияния на глубину вдавливания основания в почву. Это справедливо для щитовых секций. Характер нагружения почвы щитовыми секциями крепи с шарнирным соединением перекрытия с ограждением представлен на рис. 4.16. Наибольшее давление наблюдается при коротком жестком основании (рис. 4.16, а).

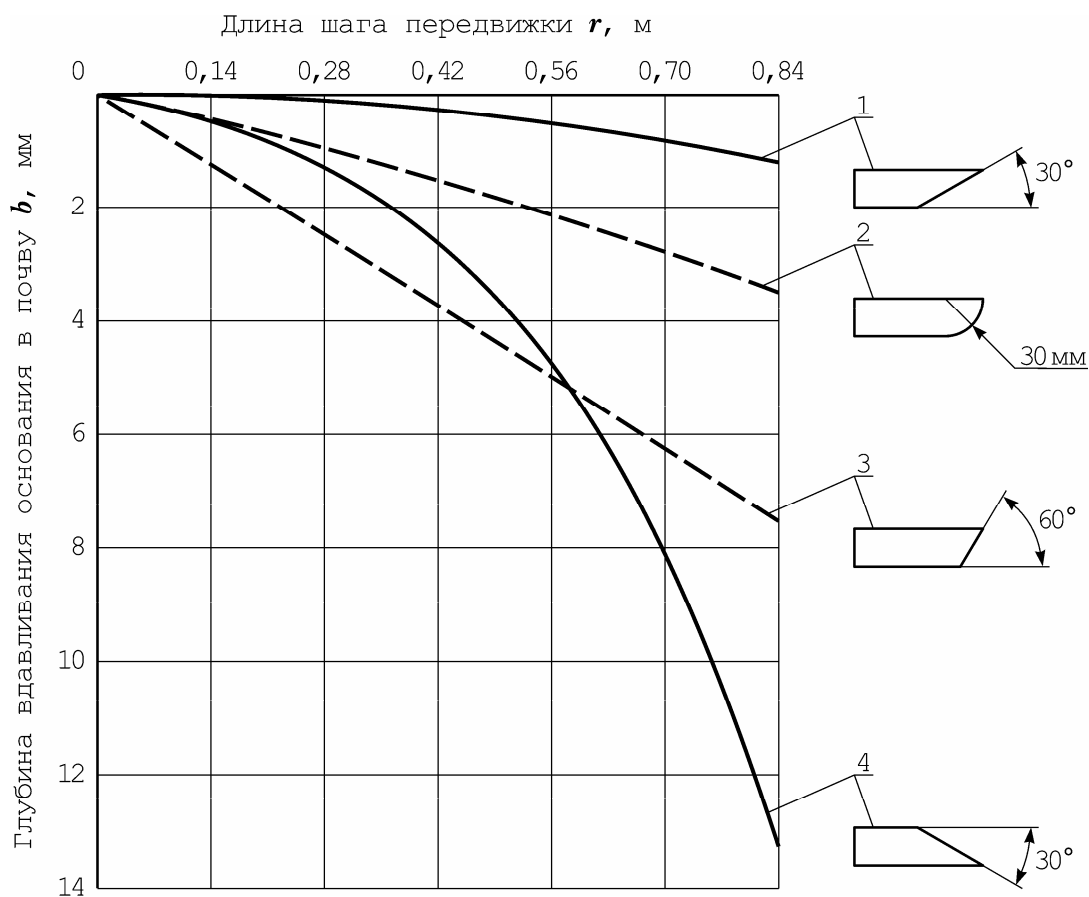


Рис. 4.15. График изменения глубины вдавливания в почву b в зависимости от длины шага передвижки r при различных формах носка (1-4)

Удлиненное упругое основание (рис. 4.16) обеспечивает более равномерное распределение нагрузок на почву. При очень слабой почве крайне важно, чтобы давление у носка основания было небольшим. Это можно достигнуть за счет устройства поворотной передней кромки основания (рис. 4.16, в).

Выводы по разделу 4

Для обоснованного сравнения конкурирующих вариантов конструкции механизированных крепей и агрегатов необходимо сформулировать критерии сравнения (критерии качества). Различают единичные и интегральные (комплексные) количественные и качественные критерии качества:

1. Единичный критерий отражает технический уровень по одному из факторов, который является определяющим при сравнении различных объектов.

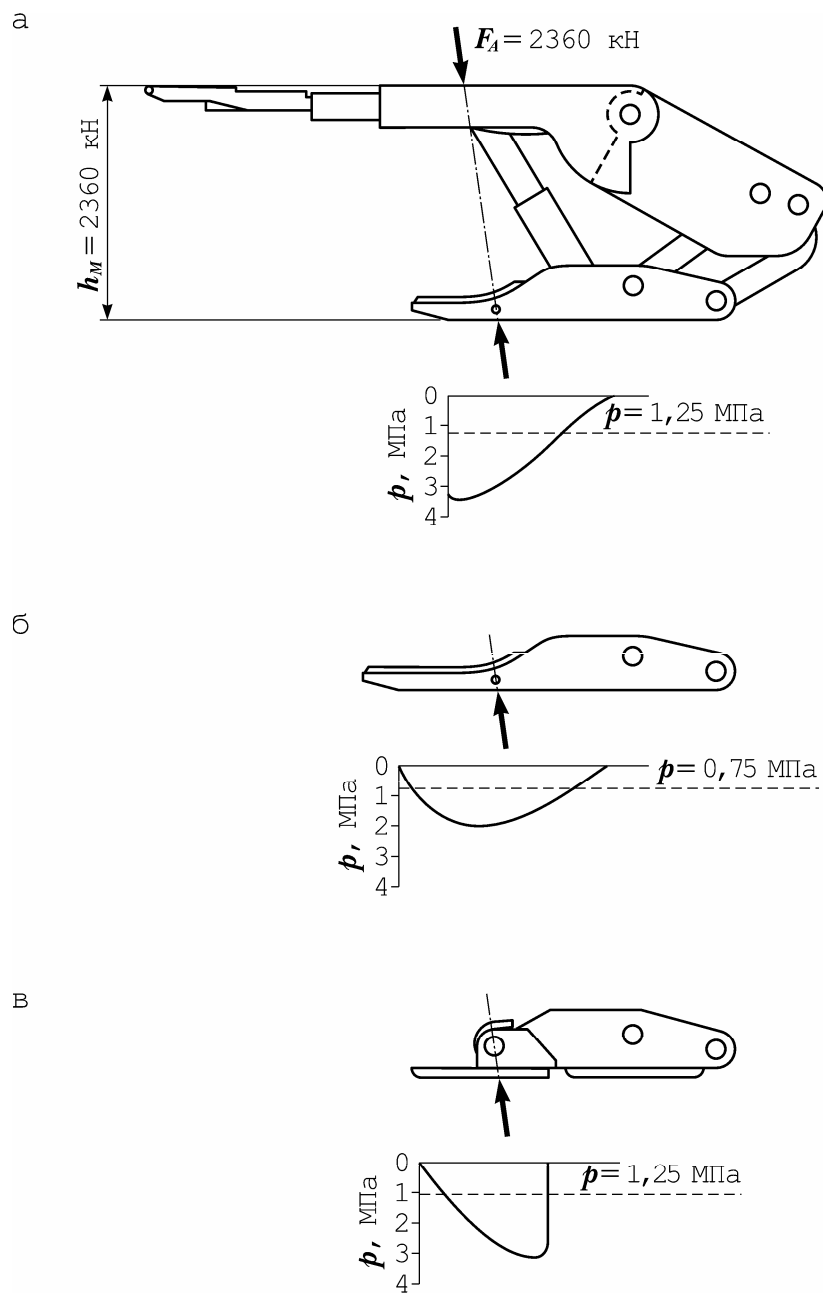


Рис. 4.16. Давление на почву p при основаниях: коротком жестком (а), удлиненном упругом (б) и коротком с поворотной передней кромкой (в) основаниях

2. В качестве единичных критериев могут выступать:
 - поперечное смещение механизированного комплекса по отношению к номинальному направлению подвигания лавы, накопленное за определенное число шагов передвижки секций крепи;
 - коэффициент затяжки кровли;
 - обеспечение необходимой величины подпора при передвижке секций и др.
3. К единичным качественным критериям относятся такие критерии, для которых по каждому сравниваемому варианту могут быть определены абсолютные численные значения (\square_i).
4. Для единичных качественных критериев оценки предлагаются показатели: "да" и "нет"; "лучше" и "хуже"; "больше" и "меньше".
5. Представляется целесообразным ввести третью группу критериев – качественные показатели с количественной оценкой.
6. Количественные критерии, для которых нельзя определить абсолютные значения по сравниваемым вариантам, могут быть переведены в группу качественных критериев.
7. Для установления пакета критериев используется метод экспертных оценок.
8. При формировании критериев необходимо исходить из основных факторов, определяющих технический уровень разработки, не принимая во внимание второстепенные факторы.
9. Если число единичных критериев велико, то необходимо перейти к следующему этапу – формированию и сравнению интегральных критериев качества

$$\hat{E}_i = \sum_{i=1}^m (\bar{\gamma}_i \cdot b_i), \quad (4.1)$$

- где m – число единичных критериев;
 $\bar{\gamma}_i$ – численное значение единичного критерия;
 b_i – безразмерный коэффициент, отражающий степень влияния критерия на технический уровень разработки.

10. Приведение численных значений количественных критериев γ_i к сопоставимому виду осуществляется по одной из зависимостей

$$\bar{\gamma}_i = \gamma_i \cdot \gamma_a^{-1}; \quad (4.2)$$

$$\bar{\gamma}_i = \gamma_{\bar{a}i} \cdot \gamma_i^{-1}, \quad (4.3)$$

- где $\gamma_{\bar{a}i}$ – численное значение базового уровня количественного критерия.

Литература к разделу 4

4.1. Ирресбергер Г. Развитие механизированных крепей для угольных лав //Глюкауф. – 1978. – №18. – С. 18-26.

4.2. Рец Б. Передача усилий распора щитовой крепи в кровлю //Глюкауф. – 1978. – №1. – С. 6-10.

4.3. Хан Л., Ирресбергер Г. Новшества и тенденции развития в креплении лав //Глюкауф. – 1976. – №18. – С. 16-22.

4.4. Майер-Фридрих А. Улучшение управления кровлей в лаве путем сочетания некоторых мероприятий //Глюкауф. – 1977. – №15. – С. 30-33.

4.5. Мерхоф З., Фосс К. Значение полной закладки выработанного пространства для каменноугольной промышленности ФРГ // Глюкауф. – 1976. – №7. – С. 20-26.

4.6. Рейсхаген К., Хан Л. Щитовая крепь для лав с управлением кровлей пневматической закладкой //Глюкауф. – 1979. – №14. – С. 1-12.

4.7. Кусс Х., Риссель Х. Опыт применения щитовой крепи на наклонных пластах //Глюкауф. – 1974. – №20. – С. 13-19.

4.8. Якоби О. Практика управления горным давлением: Пер. с нем. – М.: Недра, 1987. – 566 с.

4.9. Справочник по разработке крутых и крутонаклонных угольных пластов Донбасса / С.С.Гребенкин, В.Л.Иванов, Н.С.Сургай и др. – Донецк: Минуглепром Украины, 1992. – 327 с.

РАЗДЕЛ 5. ВЗАИМОСВЯЗЬ КОНВЕРГЕНЦИИ БОКОВЫХ ПОРОД И СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ

5.1. Взаимосвязь между опусканием кровли в призабойном пространстве и сопротивлением механизированной крепи

Важную роль в совершенствовании представлений и взаимосвязях между опусканием кровли и рабочим сопротивлением крепи изначально сыграли научные гипотезы Кузнецова, Руппенейта, Ильштейна, Бочкарева и других ученых, выдвинутые еще в 50-х и 60-х годах. В результате работ указанных исследователей был сформулирован ряд важных положений, в том числе: сопротивление крепи должно определяться заданной нагрузкой от горного массива, а податливость крепи – заданной деформацией породной толщи; зависимость опускания кровли от сопротивления крепи носит гиперболический характер.

По нашему мнению, достаточно полно основные особенности взаимосвязей между опусканием кровли и рабочим сопротивлением с учетом временного фактора можно рассмотреть на основе зависимости, предложенной в работе [5.1] для крепей поддерживающего типа:

$$K_l = \left(a - 10 \cdot b \cdot P_y + c \cdot e^{10 \cdot n \cdot P_y} \right) \cdot l \cdot m \cdot e^{-\frac{k}{t}}, \quad (5.1)$$

где K_l – опускание кровли на границе призабойного пространства, см;

P_y – удельное сопротивление крепи на 1 м^2 поддерживаемой площади, кН/м²;

l – ширина призабойного пространства, м;

m – мощность пласта, м;

t – время прохождения кровли в призабойном пространстве, ч;

a, b, c, n, k – размерные коэффициенты, зависящие от свойств пород кровли и технологии ведения горных работ.

Построенные в зависимости (5.1) графики зависимостей опускания кровли от P_y при разных m и различных значениях t приведены в качестве примера на рис. 5.1 (кривая 1 – $t=50$ ч, 2 – 40 ч, 3 – 30 ч, 4 – 20 ч, 5 – 10 ч). Их использование позволяет определить оценки сред-

них, минимальных и максимальных опусканий кровель при взаимодействии с механизированными крепями.

Из рис. 5.1 следует, что при определенных значениях мощности пласта и времени нахождения кровли в призабойном пространстве (скорости подвигания лавы) опускание ее с увеличением сопротивления крепи снижается по кривым гиперболического типа. На этих кривых по точкам максимальной кривизны (обозначены кружками) можно определять уровень критического сопротивления крепи $P_{ук}$, ниже которого опускания кровли резко возрастают. При низких сопротивлениях крепи, $P_y < P_{ук}$, увеличивается число плоскостей разделения пород кровли и их расслоение, взаимное смещение отдельных слоев, то есть кровля перестает работать как единое целое, что приводит к значительным отличиям проявления горного давления и величин опускания кровель разных классов.

Критические значения сопротивления крепи можно рассматривать как предельные минимальные, их значения согласно рис. 5.1 находятся в пределах от 220 до 330 кН/м². Из рис. 5.1 следует также, что при сопротивлениях крепи выше 500 кН/м² величины опускания кровли остаются практически неизменными.

Следовательно, одним из условий рационального взаимодействия механизированной крепи с кровлей можно считать выполнение соотношения $P_{ук} < P_y < P_{y\max}$, где $P_{y\max}$ – максимальное значение сопротивления крепи, превышение которого не снижает опускания кровли.

Этот вывод имеет принципиальное значение, так как качественная картина сохраняется при взаимодействии механизированных крепей с кровлями I, II, III классов по классификации ДонУГИ.

Верхний предел сопротивления крепи, превышение которого нецелесообразно, можно установить по допустимым давлениям на боковые породы, в частности, на почву. Для механизированных крепей с развитым основанием $P_{y\max} = 1000-1200$ кН/м². Таким образом, для ограничения средних значений опускания кровли допустимыми пределами (без расслоения и нарушения ее сплошности) номинальные значения сопротивления механизированных крепей поддерживающего типа следует принимать в зависимости от класса кровли и мощности пласта в пределах от (220-330) до (1000-1200) кН/м². Большие значения относятся, как правило, к крепям для пластов с трудноуправляемыми кровлями и среднежесткими устойчивыми почвами. Однако возможность реализации высокого сопротивления крепи опусканию кровли ограничивается прочностными свойствами пород кровли и почвы.

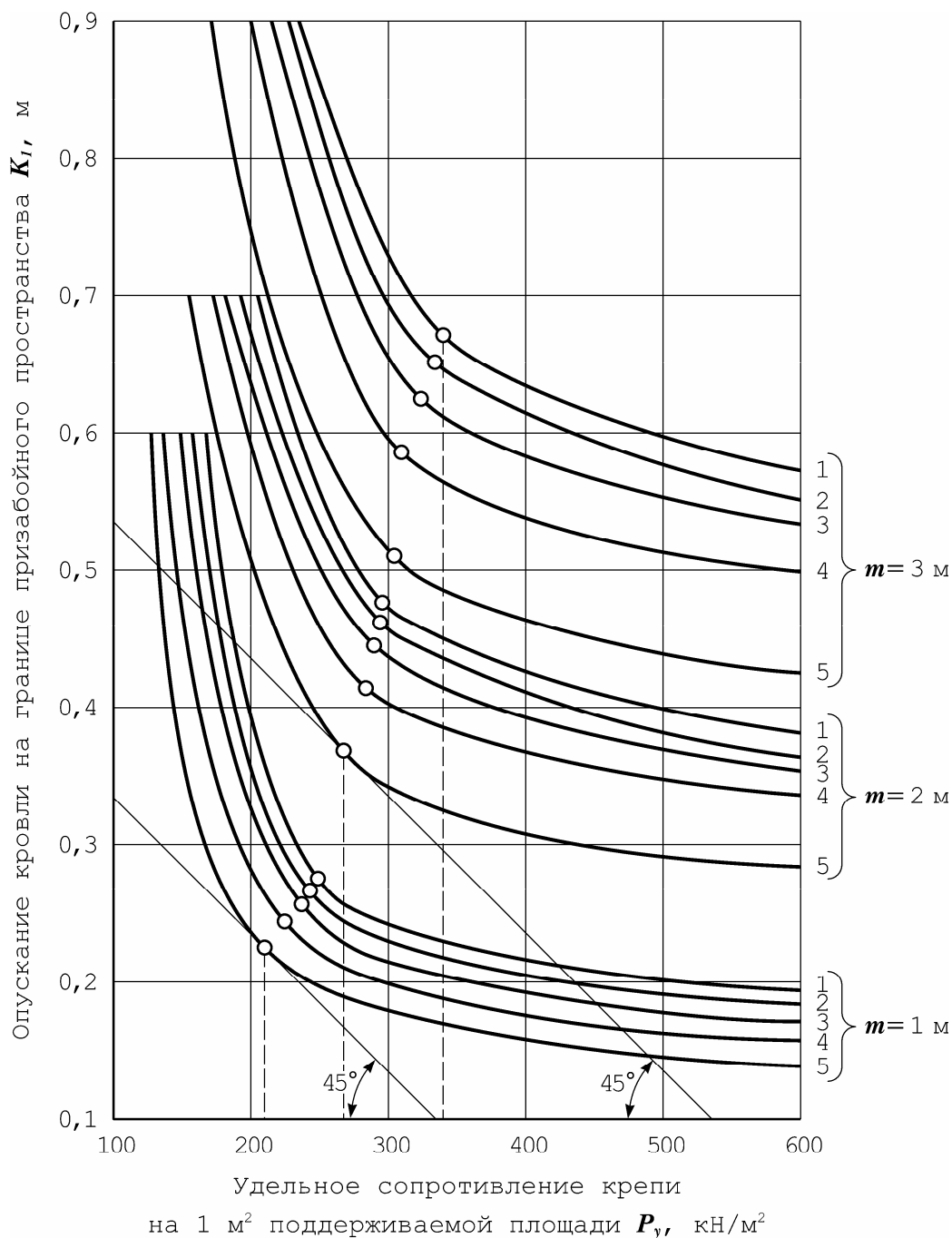


Рис. 5.1. График зависимости максимальных опусканий кровли от удельного сопротивления крепи

В 65% механизированных лав почвы относятся к категориям слабых и неустойчивых, а, следовательно, являются фактором повышения неупругой податливости в системе "кровля – крепь – почва".

В работе [5.2] приведены результаты комплексных исследований механизированных крепей поддерживающего, поддерживающе-оградительного и оградительно-поддерживающего типов, с различным уровнем сопротивления при взаимодействии с породами трех классов по управляемости. При этом для периодов вторичных осадков

трудноуправляемой кровли получено уравнение гиперболы – зависимости смещений кровли от удельного сопротивления крепи

$$K_I = 112 + 102 \cdot P_o^{-1}, \quad (5.2)$$

где K_I – смещение (опускание) кровли на границе призабойного пространства шириной 4 м, мм;

P_o – удельное сопротивление крепи, МН/м².

Исследованиями установлена качественная зависимость общего состояния кровли в пределах поддерживаемого крепью призабойного пространства от величины ее смещения. При умеренном сопротивлении крепи трем периодам смещений кровли соответствуют три состояния: хорошее, удовлетворительное и неудовлетворительное. В переходном состоянии от хорошего к удовлетворительному на пластах мощностью порядка 2 м с трудноуправляемой кровлей смещения ее не должны превышать 210-220 мм на границе поддерживаемого пространства или 55 мм на 1 м ширины призабойного пространства.

Переход кровли из одного состояния в другое зависит от сопротивления крепи, распределения его по ширине поддерживаемого пространства, коэффициента начального распора и других факторов. При повышении сопротивления крепи наблюдается переход состояния кровли от неудовлетворительного к удовлетворительному и хорошему. Задавшись предельно допустимыми смещениями кровли, по формуле (5.2) можно определить необходимое сопротивление крепи (0,86-1,05 МН/м²) для обеспечения удовлетворительного и хорошего состояния трудноуправляемой кровли.

Частью рассматриваемой закономерности связи опускания кровли с сопротивлением крепи является задача установления доли смятия боковых пород (вдавливания крепи) и податливости самой крепи (уменьшение ее высоты) в суммарном опускании кровли при различных значениях сопротивления крепи. Аналитически решить эту задачу очень сложно из-за большого многообразия свойств пород и значительного числа случайных факторов, оказывающих существенное влияние на указанные характеристики процесса взаимодействия крепи с породами кровли и почвы. Ответ на этот вопрос дают результаты экспериментально-статистических исследований: средняя доля податливости крепи в опускании кровли может находиться в пределах от 9 до 58%, при этом вероятность случаев, когда податливость стоек близка к полному опусканию кровли, достигает 10-15%. С повышением сопротивления крепи доля ее податливости в суммарном опускании кровли снижается.

Существенно влияет на долю податливости крепи в суммарном опускании кровли в призабойном пространстве за цикл работы очистного комплекса не только абсолютная величина сопротивления крепи, но и величина ее начального распора. Опускание кровли при работе крепи в режиме нарастающего сопротивления (после предварительного распора) представляет собой, как известно, сумму смещений, обусловленных, во-первых, упругостью крепи и, во-вторых, – деформациями кровли и почвы. Поскольку модуль деформации боковых пород ($E_n = (0,05-1,0) \cdot 10^3$ МПа), как правило, значительно ниже модуля упругости гидростоек ($E_s = (1-3) \cdot 10^3$ МПа), то при одной и той же нагрузке опускание кровли за счет упругой и неупругой деформации пород может значительно увеличиваться по сравнению с упругой податливостью гидростоек. Особенно существенно проявляется это при наличии штыбовой подушки на контактах крепи с кровлей и почвой и при неустойчивых породах. Таким образом, важным фактором процесса нагружения гидростоек крепи до номинального сопротивления (и соответствующего ему опускания кровли) является механизм контактного взаимодействия крепи с боковыми породами. В целях уменьшения опусканий кровли, обусловленных деформациями кровли и почвы, а также упругостью гидростоек до набора ими номинальной нагрузки, необходимо увеличивать начальный распор крепи.

На рис. 5.2, в качестве примера, приведены графики зависимости отношения упругой податливости гидростоек* первого (а) и второго (б) ряда крепи Δh_y к суммарному сближению кровли и почвы к от относительной величины коэффициента начального распора K_n . Кривые 1 относятся к крепям с номинальным сопротивлением $P_y = 500$ кН/м², а кривые 2 – $P_y = 750$ кН/м² при работе на пластах с кровлей средней устойчивости.

Анализируя рис. 5.2, отметим, что рациональное значение $\Delta h_y / k \geq 0,5$ может быть достигнуто при коэффициенте начального распора K_n , начиная примерно со значений 0,5-0,7. Поэтому рекомендуемые значения K_n для вновь создаваемых крепей высокого технического уровня составляют: $K_n \geq 0,7$ для стоек двойной раздвижности и $K_n \geq 0,6$ – для стоек одинарной раздвижности.

*) Величина упругой податливости гидростойки равна сумме двух составляющих величин опускания выдвигной части стойки: за счет упругого сжатия столба рабочей жидкости в поршневой полости и за счет увеличения поперечных размеров цилиндра вследствие упругой деформации его стенок.

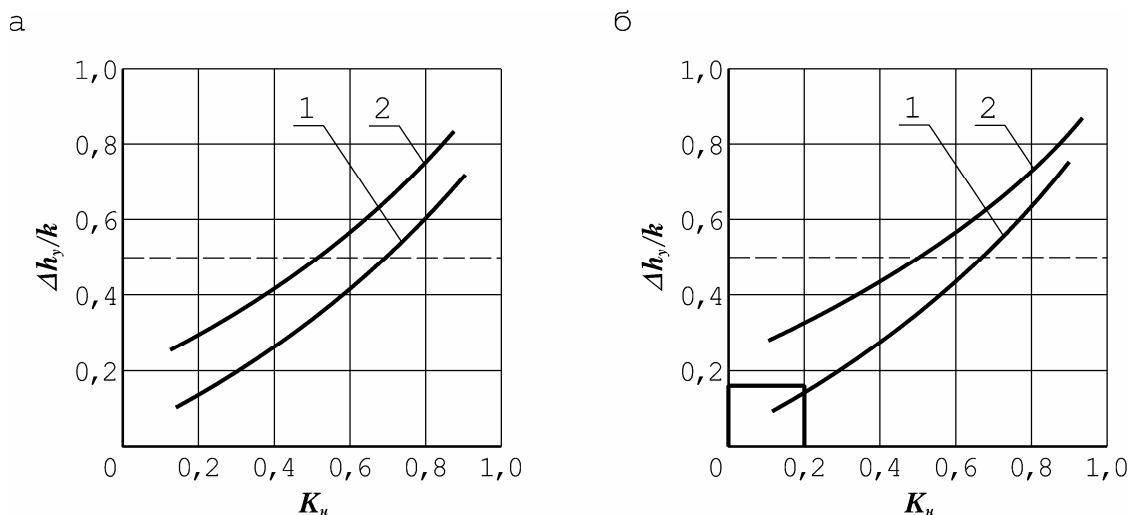


Рис. 5.2. Графики зависимости отношения упругой податливости гидростоек первого (а) и второго (б) ряда к конвергенции боковых пород от коэффициента начального распора

Следует отметить, что зависимости (5.1) и (5.2) получены в результате обобщения большого объема экспериментальных исследований, испытаний и опыта эксплуатации в различных горно-геологических условиях механизированных крепей первого поколения (МК97, М87, М100 и др.) и второго поколения (М87П, М81Э, М130, М142 и др.). Однако область их надежного применения ограничена условиями испытаний и типами испытанных крепей. Таким образом, указанные зависимости можно рассматривать как частные математические модели, отражающие достоверно связь между опусканием кровли и сопротивлением крепи в условиях испытаний или достаточно близким к ним. Дополнительной трудностью является использование в указанных работах для характеристик горного массива отличающихся между собой классификаций кровли.

В общем случае зависимости опускания кровли от сопротивления механизированной крепи должны учитывать: класс кровли, класс почвы, компоновочную схему, тип и параметры секции крепи, конструктивно-технологическую схему работы очистного комплекса или агрегата, а также скорость подвигания очистного забоя (время полного рабочего цикла крепи). Однако до настоящего времени такие математические модели не известны. Вместе с тем основные закономерности, отражаемые зависимостями гиперболического типа (5.1) и (5.2) на качественном уровне могут быть, по-видимому, распространены на большинство реально встречающихся сочетаний параметров

современных и нового технического уровня механизированных крепей и горных массивов, за исключением таковых с весьма слабыми и весьма неустойчивыми почвами.

Приведенные выше численные значения силовых параметров, в том числе критических и максимальных сопротивлений механизированных крепей и соответствующие им опускания кровли можно в первом приближении рассматривать как границы диапазона рациональных значений сопротивления опусканию кровли для проектируемых новых крепей с рациональными значениями начального распора.

5.2. Особенности взаимодействия механизированных крепей очистных комплексов с боковыми породами при отработке наклонных пластов

Условия и особенности взаимодействия механизированных крепей с углевмещающими породами в первую очередь распределяются свойствами кровли и почвы. Гипотеза и механизм деформирования и сдвижения кровельной толщи в зависимости от класса кровли по управляемости подробно рассмотрены в работе [5.3]. В этой работе отмечается важный факт того, что, при любом литологическом строении пород шаг обрушения основной кровли в режиме установившегося сдвижения является основным параметром, определяющим условия взаимодействия непосредственной кровли, основной кровли, пласта и крепи. Это означает, что трем классам кровли по управляемости соответствует три типа деформирования и сдвижения кровельной толщи.

Так, легкоуправляемым кровлям I класса соответствует следующее представление о деформировании и сдвижении пород кровли: при деформировании в выработанном пространстве легкообрушающихся пород непосредственной кровли значительной мощности образуется зона беспорядочного обрушения. Если мощность легкообрушающихся пород непосредственной кровли превышает максимально возможную величину зоны неупорядочного обрушения, то вышележащие слои пород, деформируясь, образуют зону упорядоченного движения. Вышележащие слои пород основной кровли претерпевают деформации изгиба и при определенных условиях слои основной кровли в зоне их максимальной кривизны могут разрушаться в виде

излома (как правило, над забоем). При этом проявляются одностадийные умеренные вторичные осадки кровли с шагом от 6-12 до 15-30 м, с местными обрезами и вывалами при применении крепей с умеренным сопротивлением.

В условиях кровель II класса наблюдаются умеренные и интенсивные вторичные осадки кровли с шагом от 15 до 40-45 м. Интенсивные вторичные осадки характеризуются одно или двухстадийным шагом сдвижения и двух- или трехстадийным обрушением пород основной кровли с учетом нижних ее слоев, создающих повышенные периодические сдвиги и обрушения.

Интенсивные вторичные осадки являются результатом деформации за пределом упругости второго снизу однородного толстого слоя пород или свиты двух-трехпородных слоев, сцепленных по контактам. Предельный прогиб этого защемленного слоя (или свиты слоев) активной основной кровли меньше предельного прогиба нижележащего циклически деформируемого прочного слоя пород кровли. Поэтому этот слой деформируется при одностороннем изгибе и предельной кривизне с большой длиной свободной консоли в месте защемления над забоем или последним рядом крепи с последующим поперечным сдвигом.

На пластах с трудноуправляемыми кровлями (III класс) происходят интенсивные и весьма интенсивные вторичные осадки кровли. Первые проявляются с шагом 20-30 м, а вторые – с шагом 40-60 м и более. Весьма интенсивные осадки кровли характеризуются двухстадийным шагом сдвижения и трехстадийным обрушением пород основной кровли.

Весьма интенсивные вторичные осадки являются также результатом деформирования за пределом упругости с последующим поперечным сдвигом вышележащего однородного несущего слоя основной кровли. Однако его деформирование происходит при двухстороннем изгибе с предельной кривизной выпуклостью вверх над забоем и допредельной кривизной выпуклостью вниз в средней части общей длины этого деформируемого несущего слоя массива кровли, в виде растянутой полуциклоиды. Так происходит потому, что весьма интенсивные вторичные осадки кровли проявляются с очень большим шагом деформирования несущих слоев массива кровли, образуя повторяющиеся закономерные структуры, взаимодействующие с ранее деформированными подработанными структурами периода интенсивных осадок кровли, подрабатываемым и налегающим массива-

ми. При резких осадках кровли проявляется скачкообразное увеличение давления в гидростойках (рис. 5.3). Амплитуда скачка давления зависит от скорости опускания кровли (до 62 мм/с), номинального сопротивления крепи и начального распора.

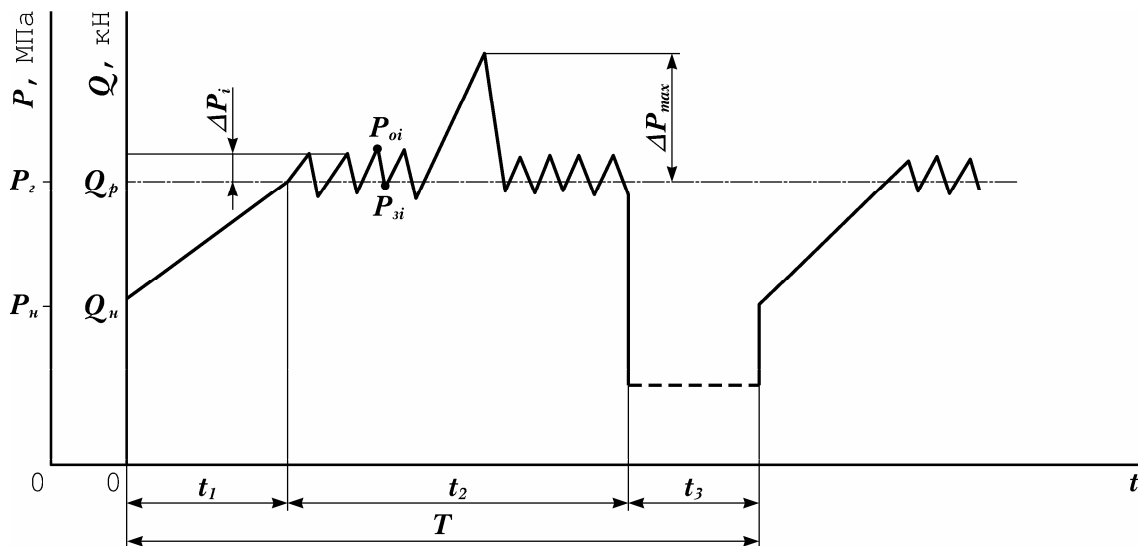


Рис. 5.3. Рабочая характеристика гидростойки крепи

Таким образом, первой существенной особенностью взаимодействия механизированных крепей с породами кровли является четко выраженная стадийность действующих на крепь нагрузок, изменяющихся от сравнительно небольших, статического характера, при монотонно происходящих деформациях несущих слоев пород при подвигании забоя на расстояние, близкое к шагу обрушения, до интенсивных нагружений импульсного типа, при достижении предельных состояний, хрупких разрушениях и поперечных смещениях несущих слоев основной кровли, повторяющихся с периодичностью, обусловленной шагом их обрушения. Следовательно, сопротивление крепи опусканию кровли должно обеспечивать оптимальное взаимодействие ее с кровлей при всех характерных стадиях деформации и осадки несущих слоев массива кровли, с учетом устойчивости непосредственной кровли.

Второй особенностью процесса взаимодействия механизированной крепи с породами кровли и почвы является его прерывность и многократная повторяемость рабочего цикла, переменность (изменчивость) рабочего сопротивления крепи как во времени, так и в пространстве (по ширине призабойного пространства и по длине лавы). Изменчивость рабочего сопротивления и структура рабочего цикла гидрофицированных крепей обусловлены конструктивно-

технологической схемой работы оборудования очистного комплекса, последовательностью и способом передвижения секций крепи (с полной разгрузкой, с остаточным пассивным подпором, с активным подпором заданной величины). Поскольку давление начального распора P_n для многих крепей не превышает 0,5-0,7 от давления срабатывания стоечных предохранительных клапанов P_2 , а при передвижке крепь полностью или частично разгружается, в проектной рабочей характеристике гидрокрепи можно выделить три временных этапа t_1 , t_2 и t_3 , в сумме определяющих длительность рабочего цикла T .

На рис. 5.3 приняты следующие обозначения:

P_n и Q_n – давление в поршневой полости стойки (ППС) и рабочее сопротивление гидростойки при начальном распоре;

P_2 и Q_p – номинальное давление срабатывания стоечного предохранительного клапана и номинальное рабочее сопротивление гидростойки;

ΔP_i и ΔP_{max} – текущее и максимальное значения отклонений давления относительно номинального значения;

t_1 и t_2 – продолжительность работы стойки в составе секции в режимах нарастающего и "постоянного" сопротивления;

t_3 – время перемещения секции крепи на шаг передвижки при полной или частичной (пунктирная линия) разгрузки стойки от горного давления;

T – длительность цикла.

В режиме нарастающего сопротивления проявляются податливости в системе "кровля – крепь – почва", обусловленные упругими деформациями гидростоек, пород кровли и почвы и раздавливанием породно-угольных подушек на плоскостях контакта секции крепи с вмещающими породами.

В режиме "постоянного" сопротивления проявляется также податливость, обусловленная срабатыванием предохранительного клапана. При постоянстве среднего уровня характер изменения мгновенных значений давления в ППС в этом режиме пикообразный вследствие разницы между давлениями открытия P_{oi} и закрытия P_{zi} предохранительного клапана, который является динамическим звеном в составе секции крепи, взаимодействующей с боковыми породами.

При достижении давлением в ППС значения P_{oi} клапан открывается и определенный объем рабочей жидкости перепускается из ППС

в штоковую полость стойки и на слив, в результате чего выдвигная часть гидростойки и кровля опускаются. Давление в ППС при этом снижается до значения P_{zi} и клапан закрывается. Под действием горных пород давление вновь повышается до значения $P_{o(i+1)}$, а после опускания стойки вновь снижается до значения $P_{z(i+1)}$ и т.д.

Желательно, чтобы при монотонном опускании кровли отклонения давления открытия и закрытия $\square P_i$ не превышали 5% от среднего уровня P_z . При интенсивных опусканиях кровли превышение давления в ППС ΔP_{max} не должно быть более, чем $0,25 \cdot P_z$, поскольку при проектировании гидростоек должна обеспечиваться герметичность и прочность гидростоек при давлении жидкости, равном не менее 1,25 рабочего давления.

Следует отметить, что при определенных условиях в относительно коротких лавах, при высоких скоростях подачи выемочных машин с высоким уровнем энерговооруженности, длительность рабочего цикла по выемке каждой полосы угля $t_{ув}$ может быть меньше продолжительности этапа t_1 работы крепи в режиме нарастающего сопротивления. В этих случаях взаимодействие крепи с породами будет происходить без реализации проектного рабочего сопротивления.

Фактические рабочие характеристики крепи отличаются от проектных, а удельное сопротивление крепи в призабойной полосе по длине лавы изменяется в зависимости от соотношения $t_{ув}$ и t_1 , способа и схемы передвижения секций крепи, а по ширине призабойного пространства, кроме того, существенно зависит от конструктивных и силовых параметров секции крепи, в частности от конструкции и способа управления призабойной консолью перекрытия.

Рассматриваемая особенность взаимодействия механизированных крепей с углевмещающими породами объясняет отрицательный эффект "топтанья кровли", приводящий к ухудшению устойчивости непосредственной кровли. Этот эффект проявляется особенно явно при работе крепей первого поколения и обусловлен совокупностью следующих причин:

- низкой и нестабильной величиной начального распора;
- переменным силовым воздействием крепи на породы кровли;
- передвижкой секций крепи с отрывом перекрытий от кровли и накоплением штыбовой подушки над перекрытием и под основанием;
- нерациональным распределением сопротивления секции крепи по ширине призабойного пространства.

Третьей важной особенностью взаимодействия механизированной крепи с породами кровли является существенная зависимость характера опускания (форма прогиба) кровли и ее состояния в пределах ширины поддерживаемой полосы кровельной толщи от распределения рабочего сопротивления крепи по ширине призабойного пространства очистного забоя. При этом при одной и той же мощности пласта m и абсолютной величине опускания кровли $K_I + \Delta_I$ на границе с зоной обрушения l (рис. 5.4), форма прогиба кровли в пределах ширины поддерживаемого пространства может приближаться к прямолинейной (отрезок прямой $O'A - 2$) или описывается приближенно кривыми 1 с выпуклостью вверх, либо 3 с выпуклостью вниз.

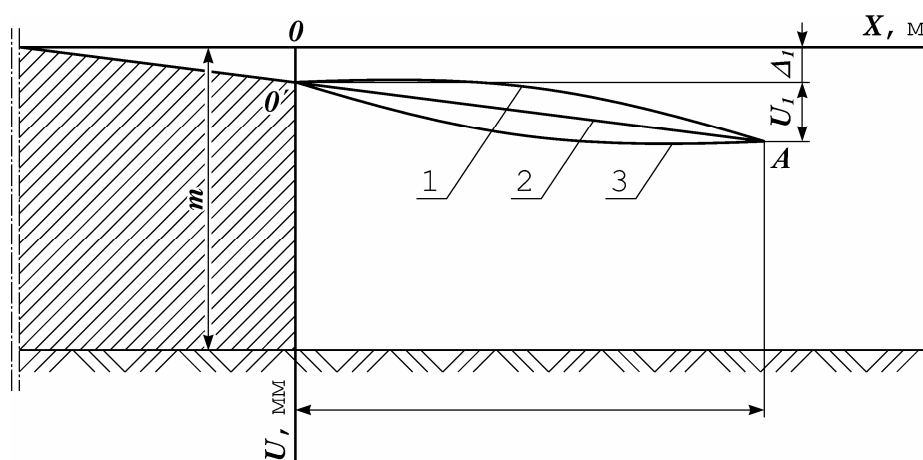


Рис. 5.4. Возможные формы прогиба кровли в пределах ширины поддерживаемого рабочего пространства

Если движение пород кровли соответствует кривой 1, что характерно, например, для работы широкозахватных комбайнов с индивидуальной крепью, то в пределах призабойного пространства в кровле отсутствуют зоны растягивающих напряжений и нижние слои непосредственной кровли сохраняют сплошность и устойчивость. При работе механизированной крепи с укороченной консолью перекрытия (1,2-1,4 м) в составе узкозахватных комплексов опускание кровли близко к прямой $O'A$. По мере увеличения длины передней консоли перекрытия (до 2,2 и 2,25 м в крепях М103 и КД80 соответственно) и удаления передней стойки от забоя на расстояние 2-2,5 м опускание пород кровли происходит по кривым типа 3. При этом на участках кровли в непосредственной близости от забоя формируются растягивающие напряжения и резко возрастает вероятность образования трещин, разрывов и заколов. Абсолютное значение опускания кровли может быть различным, но чем больше сопротивление завальных

стоек (расположенных в секциях крепи на границе призабойного пространства), тем больше вероятность прогиба кровли по кривым вида 3 с образованием зон растягивающих напряжений и потерей сплошности пород непосредственной кровли.

В работе [5.2] отмечается, что такие процессы связаны с технологией выемки пласта и крепления кровли, они сопровождаются образованием в кровле переменных S-образных кривых прогиба ("волн напряжений и конвергенции").

Установленные в работе [5.2] процессы образования S-образных кривых прогиба кровли, названные "волнами напряжений и конвергенции", подтверждают обоснованность характеристики механизма сдвижения пород кровли кривыми $N(x)$ и $U(x)$. При определенных условиях взаимосвязи механизированной крепи с кровлей опускания ее в пределах рабочего пространства (от забоя до точки перегиба) на кривой $U(x)$ формируется профиль, близкий к кривой 1 на рис. 5.4. В этом случае в призабойной зоне не образуются растягивающие напряжения в породах кровли, а за точкой перегиба (соответствующей N_{max}) форма кривой $U(x)$ близка к кривой 3 (с выпуклостью вниз) на рис. 5.4. Механизм образования волн напряжений и конвергенции и формирования S-образных кривых прогиба кровли можно, по-видимому, представить следующим образом. По мере подвигания очистного забоя и образования предельных консолей несущих слоев пород кровли с последующим их регулярным обрушением с определенным шагом нагрузка на крепь и ее распределение по длине и ширине поддерживаемого пространства изменяется с определенной периодичностью. Периодичность изменения нагрузки на крепь и формирование волн напряжения и конвергенции в кровле зависит от скорости подвигания лавы, скорости крепления, порядка передвижения секций, компоновочной схемы и параметров секций крепи. В крепях, работающих по заряженной схеме (с резервированием шага передвижки), это достигается применением удлиненных передних консолей и приводит в отдельных случаях к снижению сопротивления крепи опусканию кровли в пределах бесстоечного призабойного пространства, то есть периодически может формироваться "область волны" с выпуклостью вниз, сходная с кривой 3 на рис. 5.4.

Таким образом, при проектировании крепей высокого технического уровня необходимо учитывать и анализировать весь комплекс факторов, определяющих формирование профиля и виды напряжений в породах кровли в призабойной зоне рабочего пространства. Распре-

деление сопротивления крепи по ширине поддерживаемого призабойного пространства должно быть таким, чтобы исключалось формирование растягивающих напряжений непосредственной кровли в бесстоечном пространстве и обеспечивался хороший разлом основной кровли на линии обрушения. Таким образом, для эффективного управления основной кровлей необходимо предотвращать расслоение и вывалообразование непосредственной кровли в призабойном пространстве лавы.

Необходимо отметить, что форма профиля непосредственной кровли в пределах бесстоечной ширины призабойного пространства влияет не только на состояние кровли, но также и на условия передвижения секции крепи с подпором.

Четвертой особенностью процесса взаимодействия механизированной крепи с породами кровли и почвы являются существенные отличия условий взаимодействия секций лавокомплекта крепи в средней части по длине очистного забоя и на концевых участках лавы, где формирование нагрузки на крепь зависит от таких горно-технологических факторов как система разработки (сплошная или столбовая), способ прохождения и охраны подготовительных выработок, размеры зон проявления опорного давления на отрабатываемый пласт, конструкция и характеристики крепи штреков и крепи сопряжения и др. Учет многообразия указанных выше и других геомеханических факторов на процесс взаимодействия крепи с углевмещающими породами в зонах сопряжения очистного забоя с оконтуривающими выработками представляет самостоятельную задачу и в данной работе не рассматривается.

Отмеченные выше закономерности и особенности взаимодействия механизированных крепей с углевмещающими породами должны анализироваться с учетом типа крепи и мощности обслуживаемых пластов. Как указывалось выше, для угольной промышленности Украины наибольший интерес с этой точки зрения представляют крепи поддерживающе-оградительного, а также поддерживающего типа, применяемые на пологонаклонных пластах мощностью от 0,7 до 2,0 м с представительными значениями ширины поддерживаемого рабочего пространства (около 4 м).

Следует также отметить, что на процесс взаимодействия механизированной крепи с породами кровли различных классов по управляемости существенное влияние имеют конструктивно-компоновочные схемы и силовые параметры механизированных крепей.

Важной особенностью взаимодействия с породами кровли и почвы отличаются механизированные крепи поддерживающе-оградительного и оградительно-поддерживающего типов с секциями щитовой конструкции. Такие секции крепи, построенные на принципе шарнирного многозвенника, можно рассматривать как плоский механизм с замкнутой кинематической цепью и определяемым структурой секции числом степеней свободы подвижных звеньев. При проектировании таких крепей их кинематика в целом и параметры шарнирного многозвенника определяются из условия сохранения постоянным зазора между линией забоя и передней кромкой перекрытия. При этом не всегда учитывается влияние кинематики секций на процесс силового взаимодействия. У большинства щитовых крепей известных конструкций в процессе сближения боковых пород поддерживающие элементы секций опускаются по сложным траекториям, представляющим сумму вертикальных и горизонтальных перемещений. Горизонтальные перемещения в ряде случаев могут превышать люфт, обусловленный суммарной величиной зазоров в шарнирных соединениях. При этом по внешнему контуру секций (на перекрытиях, ограждениях и основаниях) дополнительно к нормальным силам формируются значительные тангенциальные силы трения, которые рекомендуется учитывать на стадии проектирования при определении конструктивных и силовых характеристик секций крепи, а также при оценке качества взаимодействия крепи с боковыми породами.

Анализ и обобщение результатов исследований взаимодействия механизированных крепей с неустойчивыми породами кровли позволил установить следующие специфические для данных условий закономерности и особенности обрушения пород кровли.

1. Независимо от типа крепи и ширины захвата узкозахватного комбайна, после его прохода на расстоянии от 10 до 40 м от исполнительного органа над забоем в кровле образуется вертикальная или наклонная трещина – закол. Заколы разделяют кровли на блоки, ширина которых равна примерно ширине захвата. Направление распространения закола зависит от направления кливажных трещин в породах кровли. По трещинам – заколам происходит перемещение блоков относительно друг друга и по перекрытиям секций крепи. Число блоков неустойчивой кровли над перекрытиями крепи прямо пропорционально ширине поддерживаемого рабочего пространства лавы и обратно пропорционально ширине захвата очистного комбайна.

Кроме разрушения на блоки наблюдаются разрушения непосредственной кровли на беспорядочно уложенные глыбы различной крупности. Неустойчивые кровли, как правило, обрушаются в призабойном пространстве сразу или с небольшим запаздыванием после прохода исполнительного органа комбайна и требуют немедленного крепления обнажений.

2. Поперечные напряжения, возникающие в породах кровли на кромке угольного пласта и приводящие к образованию трещин – заколов и блоков, прямопропорциональны опорному давлению и обратно пропорциональны площади среза деформируемых слоев. Деформации неустойчивых пород кровли и вывалы их в рабочее пространство происходят в основном (до 80% от суммарной площади вывалов) в призабойном бесстоечном пространстве лавы. Площадь вывалов пропорциональна квадрату расстояния от пласта до несущей части перекрытий секций крепи. Целостность слоев неустойчивой кровли у забоя зависит от продолжительности их обнажения при выемке угля.
3. При передвижке секций крепи с полной разгрузкой и отрывом перекрытий от кровли, на перекрытиях образуются породные "подушки". Последние увеличивают существенно податливость системы "механизированная крепь – боковые породы" и время t_1 (рис. 5.3) выхода стоек крепи на проектное значение рабочего сопротивления опусканию кровли. Передвижка механизированной крепи без потери контакта с кровлей или с небольшим (до 10 кН/м²) активным подпором позволяет уменьшить расслоение и разрушение пород над перекрытиями секций крепи.
4. При установке дополнительных призабойных гидростоек под передние консоли перекрытий с опорой на угольный уступ (при крепости $f \geq 1,5$) или на забойный конвейер эффективность поддержания непосредственной кровли в призабойном пространстве повышается. Таким образом, перспективными конструкциями механизированных крепей для работы на тонких и средней мощности пластах с неустойчивыми породами кровли можно считать секции крепи с бесконсольными перекрытиями, например, по типу примененных в комплексе "Западный Донбасс".

Приведенные выше закономерности и особенности взаимодействия механизированных крепей с неустойчивыми боковыми породами при управлении кровлей способом полного обрушения распространяются на пласты мощностью от 0,7 до 2,25 м с углами падения от 0 до 35° при глубине разработки до 1000 м.

5.3. Особенности взаимодействия механизированных крепей очистных агрегатов с боковыми породами при отработке крутых и крутонаклонных пластов

В целях совершенствования технологии и средств щитовой выемки, обоснования рациональных областей их применения институтами ИГТМ АН Украины, ДонУГИ и другими организациями проведен значительный объем научно-исследовательских работ по изучению закономерностей и особенностей взаимодействия механизированной крепи с боковыми породами.

Для процессов взаимодействия с боковыми породами механизированной двухсистемной лавокомплектной крепи агрегатов типа АНЩ с комбинированной схемой передвижки секций характерны следующие особенности.

1. Существенное различие в распределении нагрузок на вспомогательные и основные секции крепи и в сближениях боковых пород в течение времени передвижки секций этих двух систем. Так, за время поочередного передвижения вспомогательных секций сближения боковых пород незначительны (обычно не более $10 \cdot 10^{-3}$ м), а приращение сопротивления (нагрузки) гидростоек основных секций, в связи с разгрузкой вспомогательных, составляет 10-15% от среднего сопротивления стоек основных секций. При передвижке блока основных секций (кровля в призабойном пространстве при этом поддерживается вспомогательными секциями с сопротивлением, соответствующим давлению начального распора гидростоек) сдвигение боковых пород в рабочем пространстве происходит более интенсивно, а по абсолютной величине в 2,5-3,0 раза превышает сближение за время передвижки вспомогательных секций. При этом нагрузка на вспомогательные секции крепи (их сопротивление) возрастает примерно на 50% по отношению к сопротивлению при давлении начального распора.

Для уменьшения неравномерности процессов сближения боковых пород и нагружения секций крепи (вспомогательных и основных) за полный рабочий цикл рекомендуется принимать коэффициент начального распора не менее 0,8. При таких значениях K_n сокращается время выхода крепи на режим постоянного рабочего сопротивления, что способствует сохранению целостности и устойчивости пород непосредственной кровли в пределах рабочего пространства.

2. При работе на пластах с неустойчивыми породами кровли в результате расслоения и сползания нижних слоев непосредственной кровли на крепь могут резко возрастать тангенциальные составляющие нагрузки (до 80% от нормальных составляющих). При значительном увеличении тангенциальных составляющих и малоизменяющихся нормальных составляющих направление равнодействующей нагрузки может существенно отклониться от осей гидростоек. Указанное отклонение может достигать 42° при устойчивой и до 65° и более – при неустойчивой кровле. Отмеченная особенность формирования составляющих общей нагрузки на крепь должна учитываться при установлении рациональных конструктивных параметров и расчетах секций крепи, в том числе опорных узлов гидростоек, так как значительные тангенциальные нагрузки могут приводить не только к перекосам выдвижных частей гидростоек, но и к значительным деформациям их штоков и гидроцилиндров.
3. На величину сближения боковых пород в пределах ширины рабочего пространства лавы оказывают существенное влияние сопротивление крепи, расстояние от забоя и вид рабочего процесса. Так, например, в забое с агрегатом АНЩ с увеличением расстояния от забоя от 0,5 м до 3,5 м сближение боковых пород при передвижке вспомогательных секций возросло от $1,7 \cdot 10^{-3}$ м до $3,9 \cdot 10^{-3}$ м; при передвижке основных секций – от $2,2 \cdot 10^{-3}$ м до $11,1 \cdot 10^{-3}$ м.
4. При отработке пластов с неустойчивыми (ниже средней устойчивости) боковыми породами крепи со структурой и схемой передвижки типа АНЩ, но передвигаемые с остаточным подпором могут обеспечить улучшение взаимодействия крепи с породами кровли. Однако, при этом необходимо обосновать рациональные для соответствующих горно-

геологических условий величины остаточного подпора, удовлетворяющие двум противоречивым требованиям: исключить нежелательные смещения боковых пород и сохранить в допустимых пределах тяговые усилия при передвижке секций крепи с подпором.

Отмеченные выше и другие особенности взаимодействия с горным массивом механизированных крепей очистных агрегатов необходимо учитывать при обосновании и выборе рациональных проектно-конструкторских решений и параметров фронтальных агрегатов для выемки крутых и крутонаклонных пластов.

Выводы по разделу 5

5.1. При определенных значениях мощности пласта и времени нахождения кровли в призабойном пространстве (скорости подвигания лавы) опускание ее с увеличением сопротивления крепи снижается по кривым гиперболического типа.

5.2. Одним из условий рационального взаимодействия механизированной крепи с кровлей можно считать выполнение соотношения:

$$P_{ук} < P_y < P_{y\max},$$

где $P_{ук}$ – уровень критического сопротивления крепи, кН/м²;

P_y – удельное сопротивление крепи, кН/м²;

$P_{y\max}$ – максимальное значение сопротивления крепи, кН/м².

5.3. Средняя доля податливости крепи в опускании кровли находится в пределе от 9 до 58%, при этом вероятность случаев, когда податливость стоек близка к полному опусканию кровли, снижается.

Существенно влияет на долю податливости крепи в суммарном опускании кровли в призабойном пространстве за цикл работы очистного комплекса не только абсолютная величина сопротивления крепи, но и величина её начального распора.

5.4. Рекомендуемые значения коэффициента начального распора K_n для вновь создаваемых крепей высокого технического уровня составляют:

- для стоек двойной раздвижности не менее 0,7;
- для стоек одинарной раздвижности не менее 0,6.

5.5. В общем случае зависимости опускания кровли от сопротивления механизированной крепи должны учитывать:

- состав пород кровли и почвы;
- компоновочную схему;
- тип и параметры секций крепи;
- технологическую схему работы очистного комплекса или агрегата;
- подвигание очистного забоя.

5.6. Сопротивление крепи должно обеспечивать оптимальное взаимодействие её с боковыми породами при всех характерных стадиях деформации и осадки несущих слоев кровли.

5.7. Характерной особенностью процесса взаимодействия механизированной крепи с породами кровли и почвы является его прерывность и многократная повторяемость рабочего цикла, изменчивость рабочего сопротивления крепи как во времени, так и в пространстве (по ширине рабочего пространства).

Литература к разделу 5

5.1. Взаимодействие механизированных крепей с кровлей / А.А.Орлов, В.Ю.Сетков, С.Г.Баранов и др. – М.: Недра, 1976. – 336 с.

5.2. Коровкин Ю.А. Механизированные крепи очистных забоев. – М.: Недра, 1990. – 413 с.

5.3. Докукин А.В., Коровкин Ю.А., Яковлев Н.И. Механизированные крепи и их развитие. – М.: Недра, 1984. – 288 с.

5.4. Улучшение использования средств механизации на угольных шахтах / С.С.Гребенкин, О.В.Колоколов, И.Ф.Иванов и др. – К.: Техника, 1986. – 167 с.

РАЗДЕЛ 6. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ С ВМЕЩАЮЩИМИ ПОРОДАМИ В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ

6.1. Особенности работы гидрофицированной крепи в очистном забое

Основной составной частью секции гидрофицированной крепи является гидростойка. Ее работа в очистном забое определяется условиями взаимодействия с вмещающими породами.

Выбор типа механизированной крепи для определенных условий должен определяться расчетами. Однако, сложность и нестабильность условий эксплуатации по мере подвигания лавы, как и большая сложность расчетов, далеко не всегда позволяют осуществить правильный выбор крепи. Поэтому часто приходится идти эмпирическим путем – выбором на основе производственного опыта, что также не всегда эффективно.

Вследствие изменчивости горно-геологических условий, изменения мощности, строения, прочностных и упругих свойств слоистых пород кровли и почвы, мощности и свойств вынимаемого пласта выделяются два типичных условия работы гидростойки в очистном забое: в первом случае конструктивная реакция гидростойки R_K равна фактической рабочей реакции R_ϕ (рис. 6.1, а), во втором случае $R_\phi < R_K$ (рис. 6.1, б).

График нормальной работы линейной секции механизированной крепи в очистном забое при разработке пологих пластов, в координатах "реакция R – время T " представлен на рис. 6.1, а.

Очевидно, что режим работы каждой линейной секции такой крепи является циклическим. Цикл "нагружение – разгрузка" для одной гидростойки представлен совокупностью кривых 1-2-3-4-5 и включает ряд стадий. Работа гидростойки начинается со стадии создания начального распора гидростойки R_H за счет давления жидкости, подаваемой в подпоршневую полость насосной станцией; при этом стойка раздвигается и секция крепи распирается между кровлей и почвой. Величина начального распора определяется по индикатору давления. Чем выше начальный распор, тем быстрее стойка выходит на рабочую реакцию R_K , определяемую ее конструктивными параметрами.

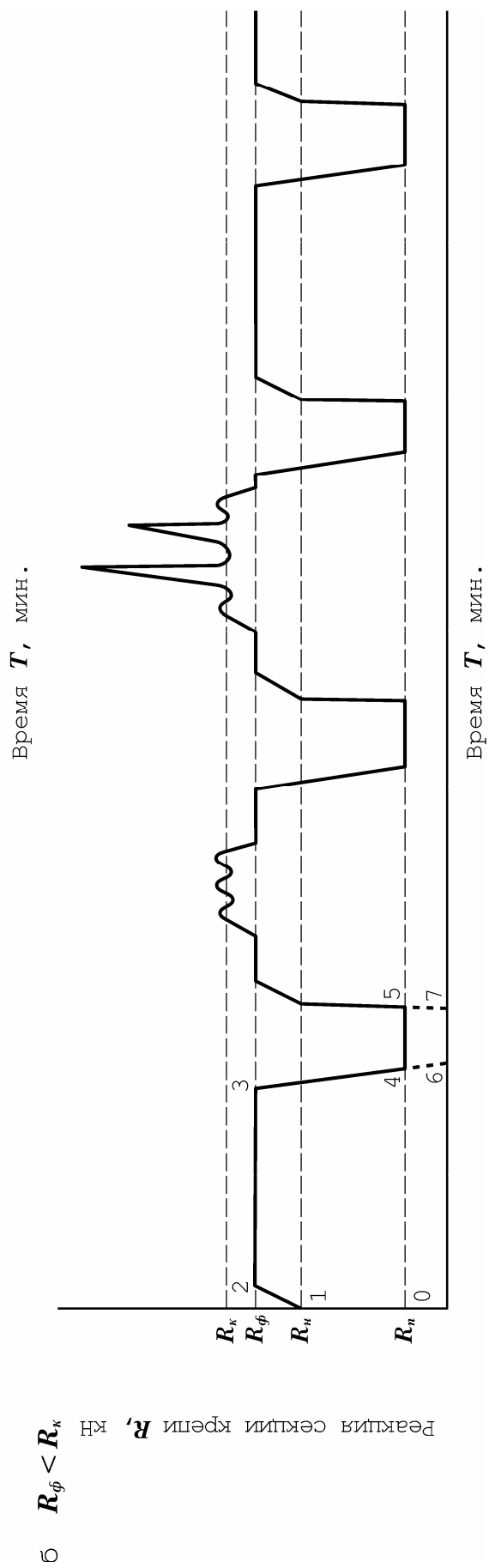
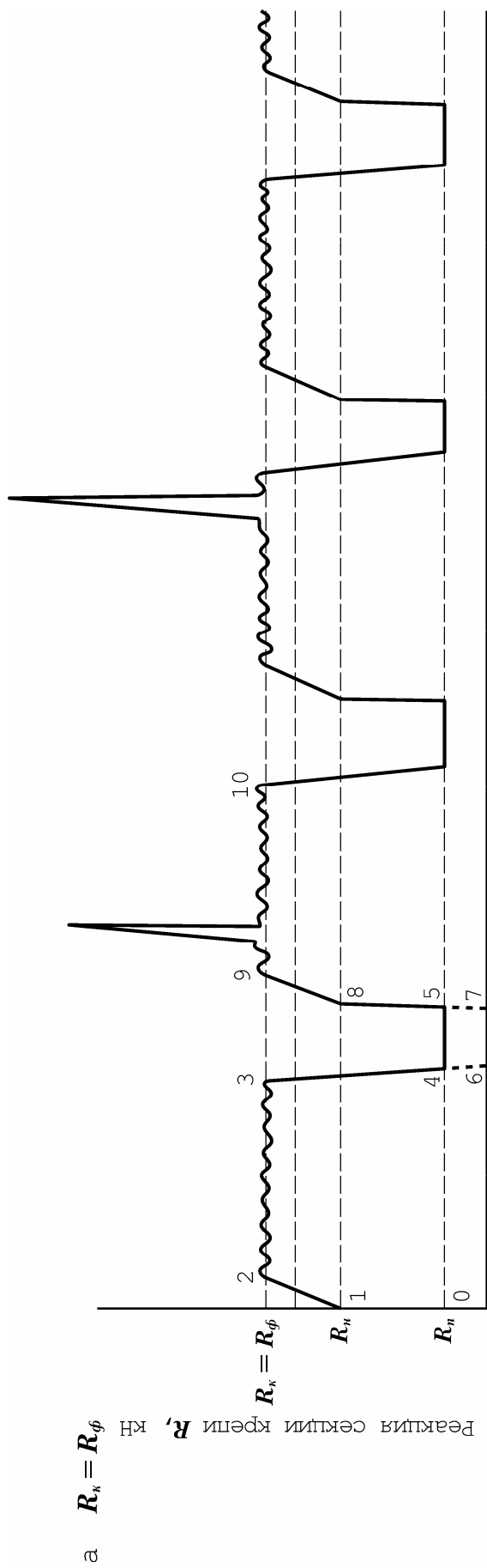


Рис. 6.1. Типичные графики работы гидростоек секций механизированной крепи в очистных забоях:
 R_H – начальный распор; R_K – рабочая реакция гидростойки; R_Δ – активный подпор

Под влиянием деформации кровли (сближения кровли и почвы) выдвигная часть гидростойки на участке 1-2 опускается, при этом стойка испытывает упругие деформации сжатия эмульсии и упругие деформации стенок стойки; в этот период стойка работает как крепь нарастающего сопротивления. В точке 2 ее реакция R_K достигает максимума, обеспечиваемого ее конструкцией.

С этого момента на всем участке 2-3 стойка работает в режиме постоянного сопротивления, который поддерживается работой предохранительного клапана: под влиянием опускания кровли давление эмульсии внутри цилиндра повышается, клапан сжимает пружину и одновременно открывает отверстие для частичного слива эмульсии в верхнюю часть цилиндра гидростойки; спад давления жидкости приводит к тому, что пружина отодвигает шарик клапана в противоположном направлении, что приводит к закрытию сливного отверстия и под влиянием опускания кровли давление эмульсии под поршнем начинает снова нарастать вплоть до следующего открытия клапана.

Снятие реакции стойки происходит вследствие очередного открывания разгрузочного клапана на участке 3-4. За этим следует передвигка секции, которая может осуществляться в двух вариантах: при полной разгрузке стоек, чему соответствует потеря контакта перекрытия секции крепи с кровлей (участок 3-4-6) и с сохранением подпора (участок 4-5), что обеспечивается специальным подпорным клапаном. Стойка сохраняет при этом активный подпор $R_{п}$, который достигается подпиткой гидростоек рабочей жидкостью. После завершения передвигки секции начинается новый цикл – участок 5-10 (рис. 6.1, а).

Большое влияние на крепь оказывают динамические явления. Доказано, что опускания слоистой кровли могут иметь скачкообразный характер, кроме того в процессе обрушения покрывающей толщи возможны удары вышележащих пачек покрывающей толщи по зависаниям основной, и удары основной кровли по зависаниям непосредственной кровли в пределах зависаний последней над призабойным пространством. Поэтому нельзя исключить появления пиковых нагрузок (рис. 6.1, а, второй и третий циклы). Скорость этих ударных нагрузок такова, что суспензия не успевает вытекать через клапанное отверстие. Эти пиковые нагрузки могут быть значительно выше расчетной или конструктивной реакции гидростойки R_K .

При работе гидростойки по второму варианту, то есть при $R_{ф} < R_K$ (рис. 6.1, б), гидростойка не выходит на конструктивную реакцию $R_K = const$. Этот случай работы гидростойки не так уж редок,

как полагают. Здесь возможны выходы стойки на уровень конструктивной рабочей реакции R_K , и скачкообразные пиковые нагрузки. Следует также иметь в виду, что микроутечки рабочей жидкости приводят к изменениям характеристики работы гидростоек и, в частности, к уменьшению их реакций.

Особенность работы гидрофицированной многосекционной крепи в длинных очистных забоях заключается при прочих равных условиях в зависимости динамики ее реакций от процесса выемки пласта и порядка передвижки секций. Кроме того, динамика и величина реакций стоек секций крепи изменяется вдоль лавы (рис. 6.2).

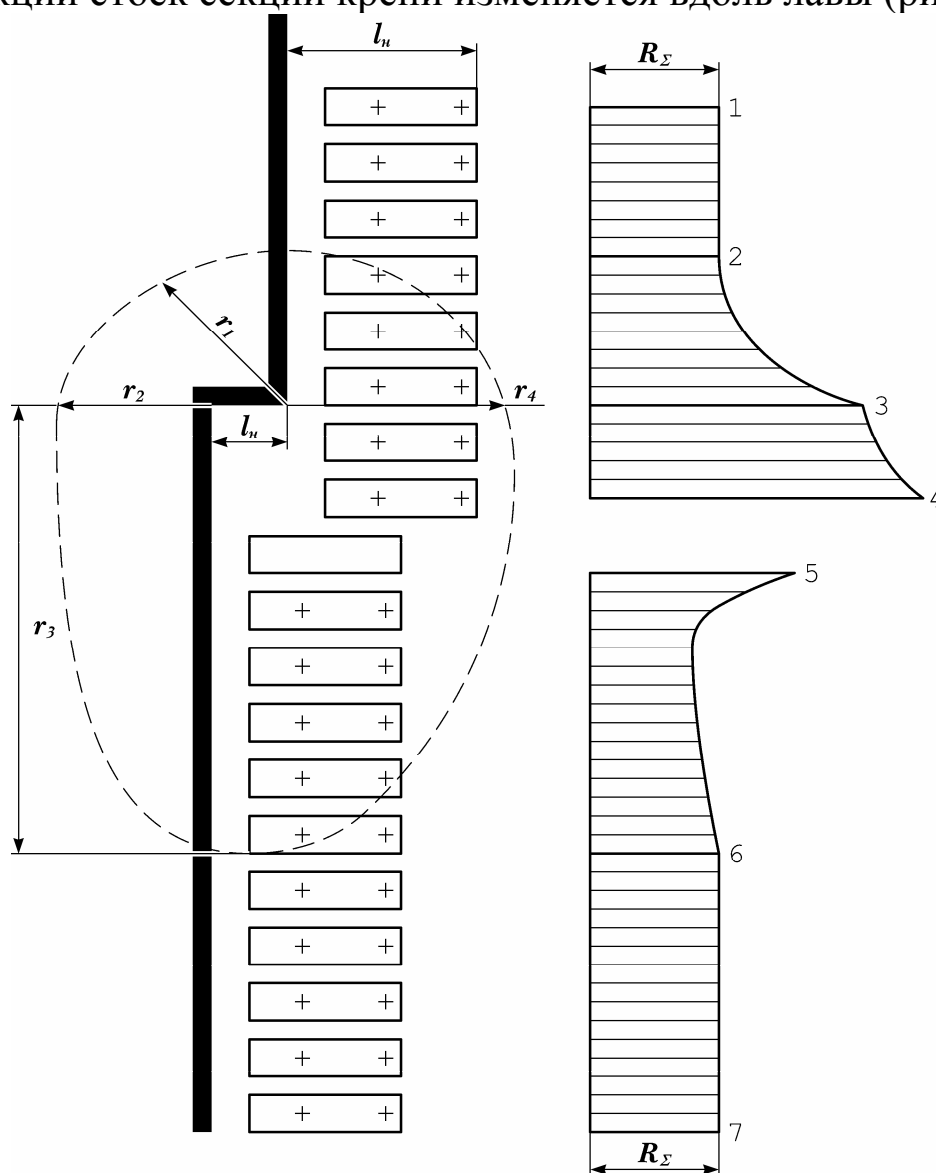


Рис. 6.2. Динамика величин совместных деформаций кровли и просадок механизированной крепи при последовательной передвижке секций:

l_n – ширина призабойного пространства; l_k – ширина захвата комбайна; $R_Σ$ – суммарная реакция

Размеры зоны влияния выемки являются функцией геологических условий и технологических параметров: глубины захвата, рабочей скорости подачи комбайна, способа управления горным давлением, типа крепи и др. Ориентировочные значения радиусов зоны влияния выемки для средних условий следующие: $r_1 = r_2 = 5 \div 20$ м, $r_3 = 20 \div 60$ м, $r_4 = 20 \div 40$ м, причем $r_1 \approx r_2$; $r_3 \approx (2 \div 3) \cdot r_1$; $r_4 \approx 2 \cdot r_1$. Большое влияние выемки вполне понятно, поскольку по теории плит, прогибы кровли пропорциональны длине пролета, возведенной в четвертую степень.

Динамика совместных деформаций кровли и крепи, в функции длины лавы, может быть представлена в виде эпюры, повернутой на горизонтальную плоскость, то есть на почву пласта (рис. 6.2). В направлении, противоположном движению комбайна, совместные деформации резко нарастают при переходе внешней границы зоны влияния выемки и достигают максимумов в створе разгруженной секцией, вследствие ее передвижки и вызванных этим дополнительных деформаций кровли над соседними секциями. Следовательно, это сечение и следует рассматривать при расчетах крепи очистных забоев как наиболее опасное (участок 3-4).

При шахматной передвижке секций механизированной крепи в процессе выемки пласта (рис. 6.3) интенсивное нарастание деформаций кровли начинается при переходе внешней границы зоны влияния выемки. Максимальные деформации кровли располагаются в зоне выемки: для первого и второго рядов крепи максимальные деформации наблюдаются на участках 3-4 и 10-11. В пределах этих участков одновременно происходит и разгрузка секции второго ряда. Увеличение максимума суммарных деформаций обусловлено тем, что шаг передвижки секций при шахматной передвижке больше, чем при последовательной.

Таким образом, при системах разработки длинными столбами и выемке первого столба в массиве, наиболее тяжелые условия работы механизированной крепи создаются в средней части лавы, вблизи места работы комбайна, в створе с передвигаемой секцией [6.1].

При выемке последующих столбов тяжелые условия работы крепи могут складываться в верхней части лавы, вблизи вентиляционных штреков, а наиболее тяжелые при поддержании вентиляционного штрека специальными конструкциями (например, органной крепью на границе с ранее отработанным столбом, ярусом, этажом, отработанным выемочным участком).

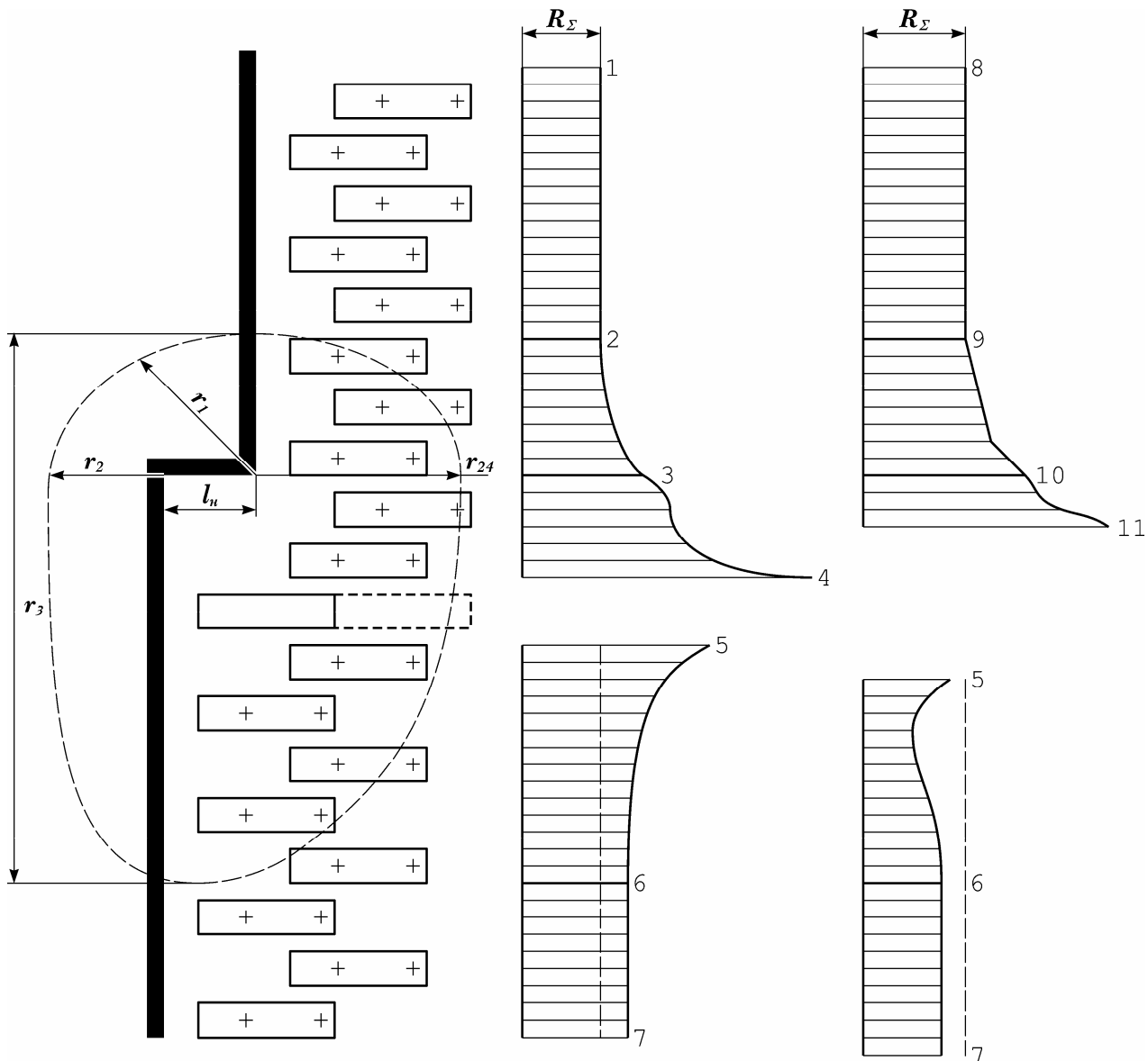


Рис. 6.3. Динамика величин совместных деформаций кровли гидростоек и просадок механизированной крепи при шахматной передвигке секций для секций первого и второго рядов

6.2. Расчет механизированной крепи очистных комплексов при разработке пологих пластов

В общем случае, нагрузками принято называть внешние силы, действующие на крепи горных выработок. Из четырех режимов работы крепи определение нагрузки приемлемо только для независимого режима работы крепи, в котором она несет вес пород, отделившихся от массива.

В остальных режимах – совместном, комбинированном и переменном – крепь и горные породы работают как единая система и задача определения нагрузки на крепь нередко становится неправомерной. В этих режимах можно измерять непосредственно деформации пород и крепи, но не численные величины нагрузок, и не удельное давление пород. С полной достоверностью экспериментально доказано, что доля участия крепи и окружающих выработку пород в противодействии нагрузкам, создаваемым покрывающей толщей, определяется условиями их взаимодействия. Так, например, реакции крепи очистных забоев имеют своеобразную динамику, их экстремумы изменяются в широких пределах.

Поэтому в общем случае следует вести расчеты реакций крепи и их просядок, а не воображаемых нагрузок.

Задача создания саморегулирующейся и самонастраивающейся механизированной крепи практически не решена до сего времени, хотя задача создания способов полного обрушения кровли, в длинных очистных забоях без применения крепи, была сформулирована еще в 1973 году. Тем не менее, в решении этих задач достигнут существенный прогресс. В настоящее время в горной практике широко применяются усовершенствованные комплексы КМК97М, 1КМ103, КД-80, КД-90, МТ, КМТ, 2УКП, КМ137 и др. Конструкции и механические характеристики механизированной крепи весьма различны. Наиболее перспективна крепь поддерживающего и оградительно-поддерживающего типов.

Как показано выше, основными несущими конструкциями механизированной крепи являются гидравлические стойки постоянного сопротивления с номинальной реакцией $R_K = const$.

Расчет секции крепи должен производиться для таких участков лавы и таких периодов времени, когда условия работы крепи наиболее тяжелы и учитывать тип трещиноватости пород, наличие или отсутствие влияния основной кровли, шаг и порядок передвижки секций.

Для условий разработки первого столба этажа, яруса, расчет следует вести для наиболее опасного участка в средней части лавы, для секции, находящейся в створе максимума деформаций. Для средней части лавы без больших ошибок расчеты крепи могут быть приведены к плоской задаче.

Задачей расчета является определение абсолютных величин реакций крепи R_{max} и максимальной просадки крепи Δh_R . Порядок расчета включает следующие этапы:

- определение реакций передней и задней стоек секции;
- расчет величины абсолютного максимума реакции гидростойки;
- определение максимальной деформации основной кровли.

В качестве типового расчета рассмотрим режим установившегося движения кровли IV типа трещиноватости (трещины параллельны забою).

Согласно расчетной схеме (рис. 6.4) углом наклона трещин φ ввиду его малости можно пренебречь. Тогда уравнение равновесия моментов можно записать в виде

$$M_q - (M_{R_1} + M_{R_2}) = 0 \quad (6.1)$$

или

$$\frac{q_i \cdot (l_i + l_o)^2}{2} = R_1 \cdot (l_i - b) + R_2 \cdot l_i,$$

где q_H – интенсивность нагрузки, создаваемой непосредственной кровлей.

Соотношение реакций стоек и их деформаций

$$\frac{R_1}{\Delta h_1} = \frac{R_2}{\Delta h_2},$$

где Δh_1 и Δh_2 – опускание кровли над передней и задней стойками.

Уравнение совместимости деформаций передней и задней стоек секции запишем в виде

$$\frac{\Delta h_1}{l_i - b} = \frac{\Delta h_2}{l_i}. \quad (6.2)$$

Следовательно,

$$R_1 = \frac{q_i \cdot (l_i + l_o)^2 \cdot (l_i - b) \cdot a}{2 \cdot [l_i^2 + (l_i - b)^2]}; \quad (6.3)$$

$$R_2 = \frac{q_i \cdot (l_i + l_o)^2 \cdot l_i \cdot a}{2 \cdot [l_i^2 - (l_i - b)^2]}. \quad (6.4)$$

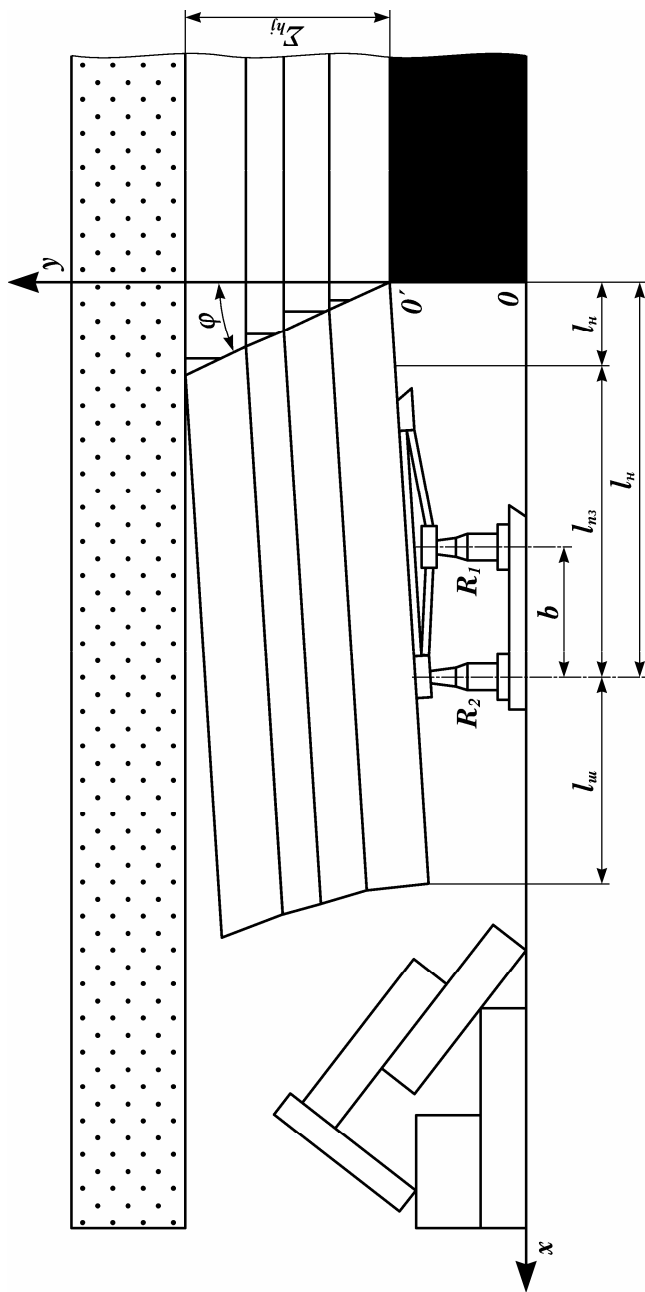


Рис. 6.4. Схема расчета механизированной крепи для типичного строения сложной непосредственной кровли:
 l_{uu} – шаг обрушения непосредственной кровли; l_{n3} – ширина призабойного пространства перед началом выемки; R_1 и R_2 – реакции передней и задней стоек

Величина шага обрушения непосредственной кровли зависит от ее строения, жесткости слоев и определяется закономерностями деформаций и разрушений кровли.

При убывающей жесткости породных слоев непосредственной кровли шаг обрушения

$$l_o = h_1 \cdot \sqrt{\frac{|\sigma_\delta|}{3 \cdot \gamma_{cp} \cdot \sum_1^n h_i}}, \quad (6.5)$$

где h_1 – мощность нижнего слоя непосредственной кровли;
 $|\sigma_\delta|$ – предел прочности на разрыв нижнего слоя кровли;
 γ_{cp} – средний удельный вес пород непосредственной кровли;
 $\sum_1^n h_i$ – суммарная мощность пород непосредственной кровли.

При возрастающей жесткости слоев непосредственной кровли шаг обрушения определяется для каждого слоя отдельно (снизу-вверх):

$$l_{oi} = h_i \cdot \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \frac{|\sigma_\delta|_i \cdot h_i}{\gamma_i}} \quad (6.6)$$

и изгибающий момент непосредственной кровли подсчитывается как сумма изгибающих моментов всех ее слоев.

При произвольном распределении жесткости слоев непосредственной кровли шаги ее обрушений и изгибающие моменты подсчитываются отдельно для каждой пачки и обособленного слоя, а изгибающий момент всей кровли вычисляется как сумма этих частных моментов.

При $R_I = 0$ реакция задней стойки достигает своего предельного значения

$$R_{i\delta\ddot{a}\ddot{a}} = \frac{q_i \cdot (l_i + l_o) \cdot a}{2 \cdot l_i}, \quad (6.7)$$

где a – шаг расстановки крепи.

Режим взаимодействия механизированной крепи с непосредственной кровлей до очередного обрушения основной кровли допустимо условно назвать статическим. В момент передвижки очередной секции реакция рассматриваемой секции в створе 4 (рис. 6.2) возрастает минимум на 50%, а вследствие возможного выхода из-под нагрузки соседней секции по восстанию еще на 50%, поэтому абсолютную величину максимальной реакции задней стойки следует принимать в виде

$$R_{max} = n \cdot R_{i\delta\ddot{a}\ddot{a}} = \frac{q_i \cdot (l_i + l_o)^2 \cdot a}{2}, \quad (6.8)$$

где n – коэффициент запаса, $n = 2$.

Очевидно,

$$q_i = \gamma_{\text{нб}} \cdot \sum_1^n h_i. \quad (6.9)$$

Динамика взаимодействия секции механизированной крепи с основной кровлей может выражаться в том, что в момент обрушения очередного блока основная кровля наносит удар по непосредственной кровле, что неизбежно приводит к гидравлическому удару в гидросистемах гидростоек. Такое явление реализуется при условии $\text{tg} \varepsilon_{i \text{нб}} > \text{tg} \varepsilon_{i \text{нб}}^{\text{нб}}$ (здесь $\varepsilon_{\text{осн}}$ – угол наклона очередного блока основной кровли после его обрушения; $\varepsilon_{\text{неноср}}$ – угол наклона непосредственной кровли перед обрушением очередного блока основной кровли).

Максимальная величина просадки крепи под влиянием осадки основной кровли

$$\Delta h_R = \frac{h_n \cdot l_o}{l_1}, \quad (6.10)$$

где h_c – предел свободного опускания основной кровли;

$l_{\text{ш}}$ – ширина призабойного пространства;

l_1 – шаг обрушения основной кровли.

Отсутствие или проявление ударов основной кровли определяется неравенством

$$\Delta h_R > \Delta h_{\text{нб}},$$

где $\Delta h_{\text{см}}$ – раздвижность гидростойки.

Очевидно, что в случае $\Delta h_{\text{нб}} > \Delta h_R$ гидравлического удара в результате очередного обрушения кровли не будет, а при $\Delta h_R > \Delta h_{\text{нб}}$ гидравлический удар в системах гидростойки неизбежен, что недопустимо, так как основная кровля при обрушении развивает огромную энергию, противостоять которой гидравлическая крепь не может. В этих условиях гидравлическую крепь можно применять только при соответствующем уменьшении угла наклона основной кровли, используя, например, различные виды закладки или возведение валов в выработанном пространстве.

В результате расчета по найденным реакциям с учетом мощности пласта и пределов ее изменений подбирается тип механизированной крепи.

Рассмотрим схему работы механизированной крепи на границе с ранее отработанным этажом (рис. 6.5). В плане по $A-B$ и $B-C$ показан вид на основную кровлю предыдущего, отработанного этажа. Трещи-

ны основной кровли TP_i ; TP_{i+1} выделяют шаги ее обрушений по простиранию L_1 (рис. 6.5, а). Зависания кровли по падению и шаги обрушений основной кровли и покрывающей толщи L'_1 , L'_2 обуславливают действие дополнительных изгибающих моментов по падению – M'_1 и M'_2 (рис. 6.5, б).

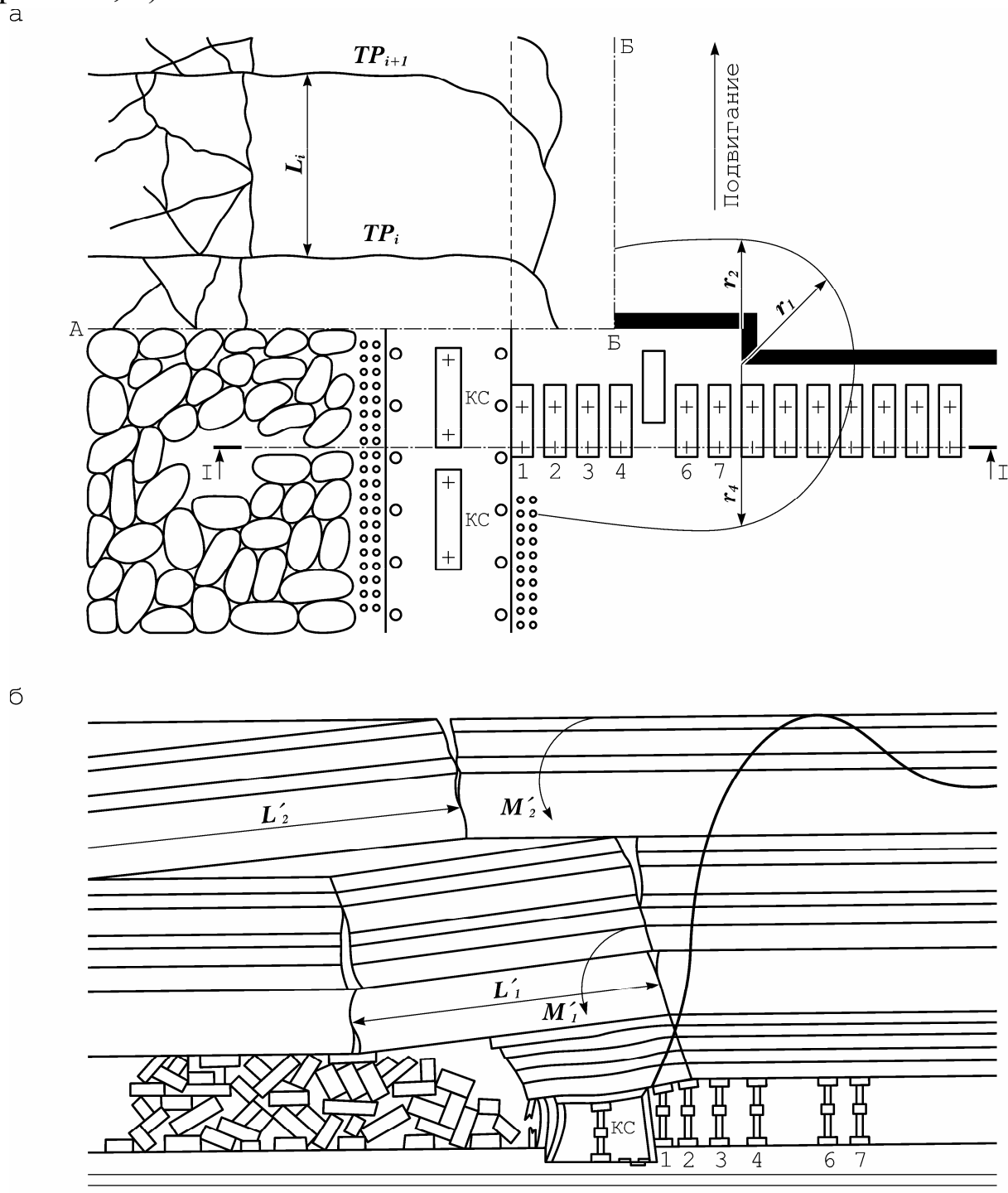


Рис. 6.5. Схема работы механизированной крепи в очистном забое на границе с отработанным этажом:
 а – в плоскости пласта; б – в разрезе 1-1
 КС – крепь сопряжений

Следовательно, в наиболее тяжелых условиях работают секции крепи, расположенные на границе, в частности секция 6. Это объясняется тем, что секция 5 разгружена, секции 1-4 еще не успели набрать номинальную реакцию, а влияние выемки уже достигло максимума. Следует иметь в виду и тяжелые условия работы в оградительной крепи.

Вследствие сложности условий нагружения для расчета реакции секции 6 допустимо ориентировочно пользоваться формулой (6.8), вводя запас несущей способности крепи $n = 3$, а не $n = 2$, как принято в формуле (6.8).

Расчеты крепи очистных забоев при блочном строении кровли

Блочное строение непосредственной кровли является результатом процессов естественного трещинообразования или образования трещин давления, вызываемых выемкой пласта. Не исключено и комбинированное воздействие естественных и эксплуатационных трещин. В этих условиях на работу крепи в лавах влияют те же факторы, которые определяют работу крепи в слоистых породах непосредственной кровли. Поэтому наиболее тяжелые условия работы механизированной крепи возникают на тех же участках и в те же периоды, что и при слоистой непосредственной кровле.

Задача расчета, как и для слоистой кровли, сводится к определению минимально допустимой реакции крепи, ее просадки, раздвижности и расстановки; условий проявлений ударов основной кровли, а также выбору типоразмера крепи для данного пласта.

При расчетах крепи для блочной кровли следует иметь в виду, что величина связи между соседними блоками в стесненных условиях может быть существенной. Действительно, поверхности, или, как их еще называют, берега трещин, практически всегда шероховаты. Поэтому по трещине между соседними блоками действуют силы сопротивления сдвигу и трения. Кроме того следует учитывать, что реальная задача является объемной, не плоской, как принято в расчетных схемах. В реальной объемной задаче силы связи превосходят учитываемые в расчетах для плоских моделей.

Выделено три типа строения непосредственной кровли в соответствии с ориентировкой главных трещин: вертикальное расположение трещин; трещины падают на забой; трещины падают в направлении от забоя.

Расчет механизированной крепи
при вертикальных блоках непосредственной кровли

Схема взаимодействия кровли и крепи при отвесной системе трещин может изменяться в зависимости от соотношения

$$\frac{a}{l_n},$$

где a – расстояние между трещинами;

l_n – ширина призабойного пространства.

Наиболее неблагоприятным является случай, когда $a = l_n$ или когда целое число блоков n кратно ширине призабойного пространства, то есть $l = n \cdot a$.

Очевидно, что крепь должна развить максимальные реакции непосредственно после очередной передвижки секции, когда начнется осадка блока, зависающего позади крепи (рис. 6.6). Блок, воздействующий на крепь, находится в стесненных условиях, и его перемещения, как и соседнего с ним, могут происходить практически лишь вертикально, поэтому будем считать реакции обеих гидростоек крепи равными. Поскольку блок, зависающий позади крепи передает половину своего веса на блок над крепью, можно записать уравнение равновесия

$$p \cdot l_i = 1,5 \cdot Q - 2 \cdot \sum_I^n r_i, \quad (6.11)$$

где p – распределенная нагрузка, передаваемая на секцию крепи;

Q – вес блока, нагружающего секцию крепи;

r_i – сила трения в точке i .

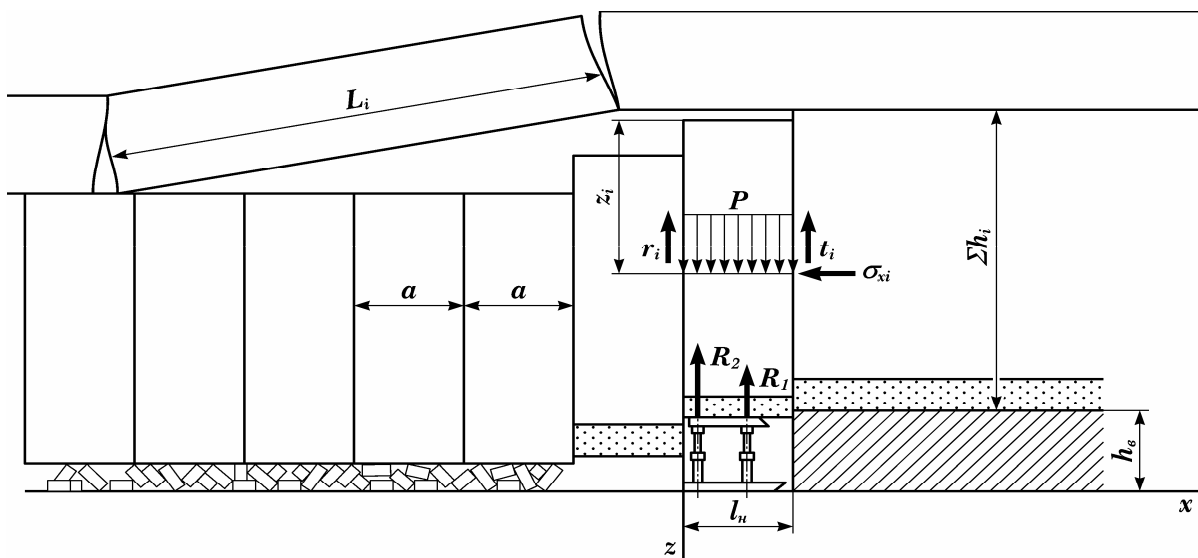


Рис. 6.6. Схема взаимодействия кровли и механизированной крепи при отвесной трещиноватости непосредственной кровли
 h_g – вынимаемая мощность разрабатываемого пласта

Из схемы взаимодействия крепи и кровли следует, что

$$p = \frac{R_1 + R_2}{l_i} = \frac{2 \cdot R_{\text{нб}}}{l_i}; \quad (6.12)$$

$$Q = \gamma_{\text{нб}} \cdot l_i \cdot \sum_1^n h_i; \quad \sum_1^n r = p \cdot \varepsilon \cdot f \cdot \sum_1^n h_i, \quad (6.13)$$

где γ – коэффициент бокового давления;
 f – коэффициент трения.

Подставляя значения полученных величин в формулу (6.11), получим

$$R_1 = R_2 = \frac{1,5 \cdot \gamma_{\text{нб}} \cdot l_i^2 \cdot \sum_1^n h_i}{2 \cdot \left(l_i + \varepsilon \cdot f \cdot \sum_1^n h_i \right)}; \quad (6.14)$$

$$R_{\text{max}} = n \cdot R_2 = 2 \cdot R_2.$$

Расчет механизированной крепи при непосредственной кровле наклонно-блочного строения

Как и в предыдущем случае, основными действующими силами являются силы собственного веса пород непосредственной кровли. Им противодействуют силы трения и сопротивление сдвигу, а также реакция крепи. Задача расчета крепи заключается в определении величин максимальных реакций крепи R_{max} , ее максимальных просадок и условий взаимодействия крепи с основной кровлей при воздействии вторичных осадок.

Схему взаимодействия кровли и крепи при трещинах, падающих от забоя, можно рассмотреть на примере распределения напряжений для произвольного, нормального к поверхностям трещин сечения на произвольном расстоянии z_i от поверхности непосредственной кровли (рис. 6.7). Характерные перемещения группы блоков непосредственной кровли перед ее очередной осадкой происходят в форме трещиноватой плиты, связи между блоками которой объясняются действием напряжений σ_n .

При расчетах крепи необходимо учесть, что суммарная реакция данной секции возрастает в 1,5 раза в момент передвижки соседней и что в этот момент нельзя исключить выход из строя передней гидростойки. Заметим также, что пролет зависания группы блоков l практически не превосходит $(3 \div 4) \cdot l_{\text{мп}}$.

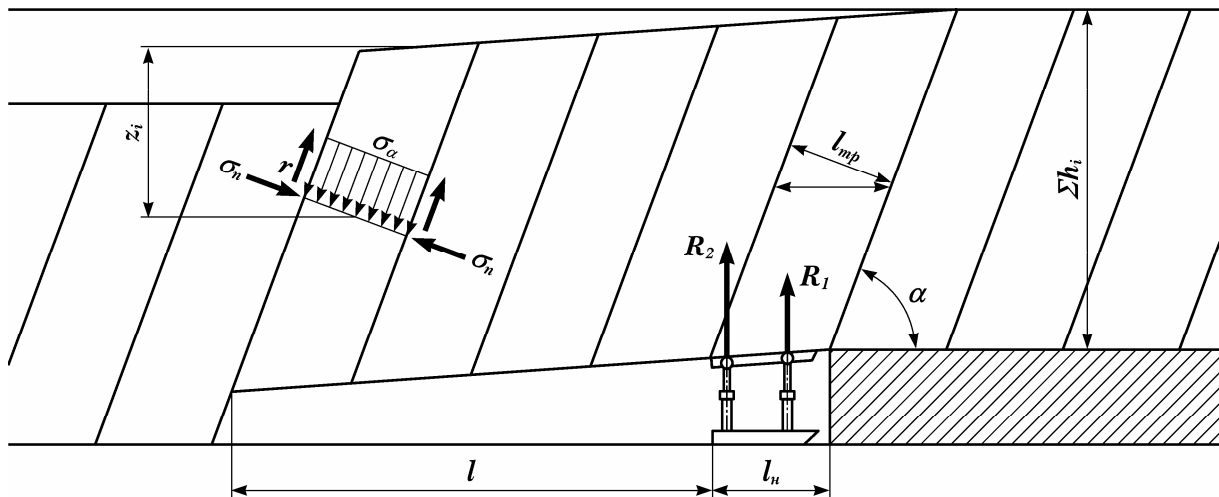


Рис. 6.7. Схема взаимодействия кровли и механизированной крепи при трещинах непосредственной кровли, падающих в направлении выработанного пространства

Приближенно на основании формулы (6.14) получим

$$R_{2max} = \frac{n \cdot \gamma_{\text{нб}} \cdot l_i^2 \cdot \sum_1^n h_i}{l_i + \varepsilon \cdot f \cdot \sum_1^n h_i}, \quad (6.15)$$

где n – коэффициент запаса.

Согласно схеме взаимодействия кровли и крепи при трещинах, падающих на забой, очередной блок, монолитный или состоящий из более мелких блоков, создает основную нагрузку на секцию крепи (рис. 6.8). На схеме показано отделение этого блока от пород непосредственной кровли впереди забоя. Вследствие этого силы трения по передней стороне нагружающего блока существенно уменьшаются.

Очевидно, реакции стоек крепи для данных условий не могут превзойти величин, определяемых по формуле (6.15), для случая отвесного расположения трещин, выделяющих блок.

Все приведенные расчеты необходимо дополнить проверкой на вторичные осадки по условию $\Delta h_{\text{нб}} > \Delta h_R$.

Расчет крепи очистных забоев при разработке крутых пластов

Увеличение угла падения не меняет в общем качественной стороны процессов деформаций и разрушений кровли в сравнимых условиях.

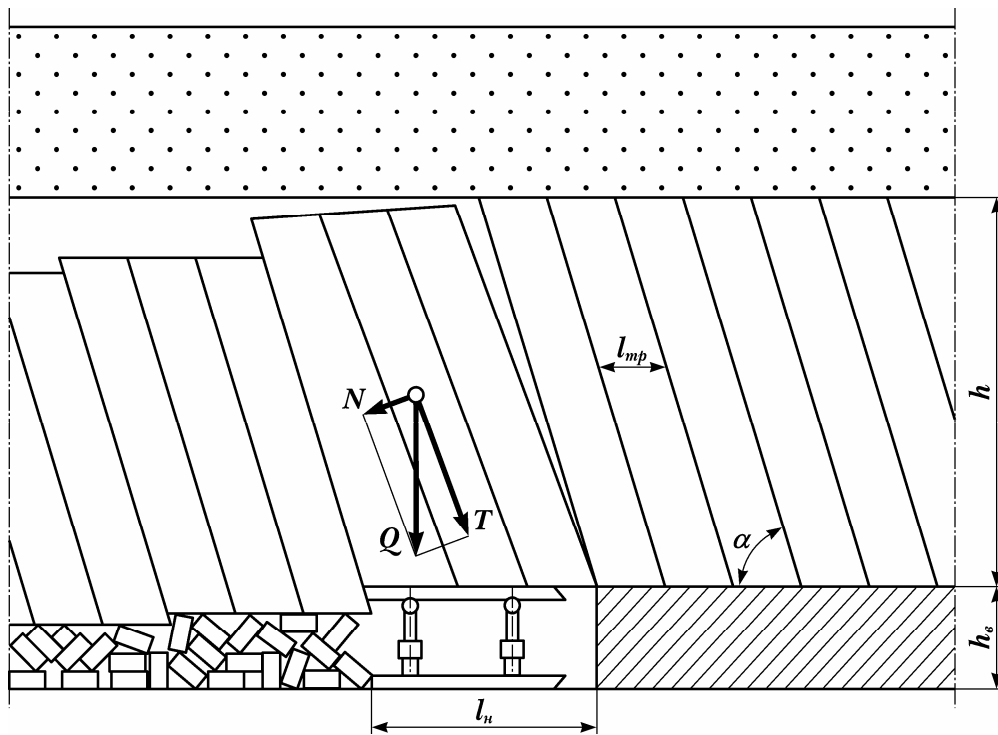


Рис. 6.8. Схема к расчету механизированной крепи при трещинах непосредственной кровли, падающих на забой

Основной особенностью расчетов крепи очистных забоев при разработке пологих тонких и средней мощности крутых пластов является разложение сил веса пород кровли на нормальные и продольные составляющие.

Нормальная составляющая действующих сил веса пород

$$P_{\alpha} = \frac{P_{\alpha=0}}{\cos \alpha},$$

где α – угол падения пласта.

При углах падения до $50 \div 60^{\circ}$ при расчетах крепи достаточно учитывать только нормальную составляющую сил веса.

Однако с ростом угла падения начинают существенно увеличиваться погрешности количественных оценок, так как вследствие резкого возрастания значения продольной составляющей сил веса, кровля начинает все более испытывать совместные напряжения изгиба и растяжения-сжатия.

На основании принципа аддитивности действия сил для балки, наклоненной под углом α к горизонту и находящейся под влиянием собственного веса, величина суммарного напряжения

$$\sigma = 3 \cdot \frac{\gamma_{\text{п}} \cdot l}{h} \cdot \left(\frac{1}{6} - \frac{x}{l} + \frac{x^2}{l^2} \right) + \frac{\gamma_{\text{п}} \cdot (2 \cdot x - l) \cdot \sin \alpha}{2}, \quad (6.16)$$

где l – пролет;

- h – мощность слоя;
 x – расстояние от рассматриваемого сечения до нижней заделки.

Поскольку у горных пород $|\sigma_{\text{не}}| > |\sigma_{\delta}|$ наиболее опасным является сечение у верхней заделки при $x=l$. Величина предельного пролета определится из условия

$$|\sigma_{\delta}| = \frac{\gamma \cdot l}{2 \cdot h} \cdot \cos \alpha + \frac{\gamma \cdot l}{2} \cdot \sin \alpha, \quad (6.17)$$

и соответственно предельный пролет

$$l_{i \delta \text{ää}} = \varepsilon \cdot \sqrt{\frac{h^2}{4} \cdot \text{tg}^2 \alpha + \frac{2 \cdot h \cdot |\sigma_{\delta}|}{\gamma \cdot \cos \alpha} - \frac{h^2 \cdot \text{tg} \alpha}{2}}. \quad (6.18)$$

Обычно формулу для расчета предельного пролета приводят без учета продольной составляющей в виде

$$l_{i \delta \text{ää}} = \sqrt{\frac{2 \cdot h \cdot |\sigma_{\delta}|}{\gamma \cdot \cos \alpha}}. \quad (6.19)$$

Формула (6.18) не учитывает непостоянство модуля упругости и позволяет указать лишь место образования трещин для первой стадии работы кровли, то есть в период до первого ее обрушения. Кроме того, отметим, что место разлома нетрещиноватой балки по мере роста угла падения все более перемещается от середины пролета к верхней опоре.

Для балок, разделенных трещинами, то есть состоящих из отдельных блоков, расстояние от нижней опоры до места раскрытия трещин, то есть место наибольшего опускания кровли,

$$l_1 = \frac{l}{2} \cdot \left(1 + \frac{h}{l} \cdot \text{tg} \alpha \right). \quad (6.20)$$

Следовательно, при крутом падении и трещиноватой кровле место наибольших опусканий перемещается от середины пролета к верхней опоре.

Расчет щитовой крепи для крутых пластов

При эксплуатации крутых пластов применяют различные системы разработки, позволяющие вести очистную выемку в любом направлении, преимущественно по простиранию или падению.

При выемке по падению значительное распространение получила щитовая крепь разнообразных конструкций, которые классифицируют следующим образом:

- по принципу работы – на крепь оградительного и оградительно-поддерживающего типа;

- по форме перекрытия – на плоскую и арочную;
- по способу перемещения – на самопередвигающую и с принудительным перемещением;
- по числу щитов, перекрывающих мощность пласта – на одинарные и двойные (спаренные, сдвоенные).

Наибольшее распространение в горной практике получили щитовые крепи оградительного и оградительно-поддерживающего типов (рис. 6.9).

Задача расчета крепи щитового типа является пространственной, сложной и многообразной и во всей сложности пока не решена.

Режим движения щитовой крепи характеризуется попеременными опусканиями и остановками. Шаг опускания щита может быть различным в зависимости от технологии выемки.

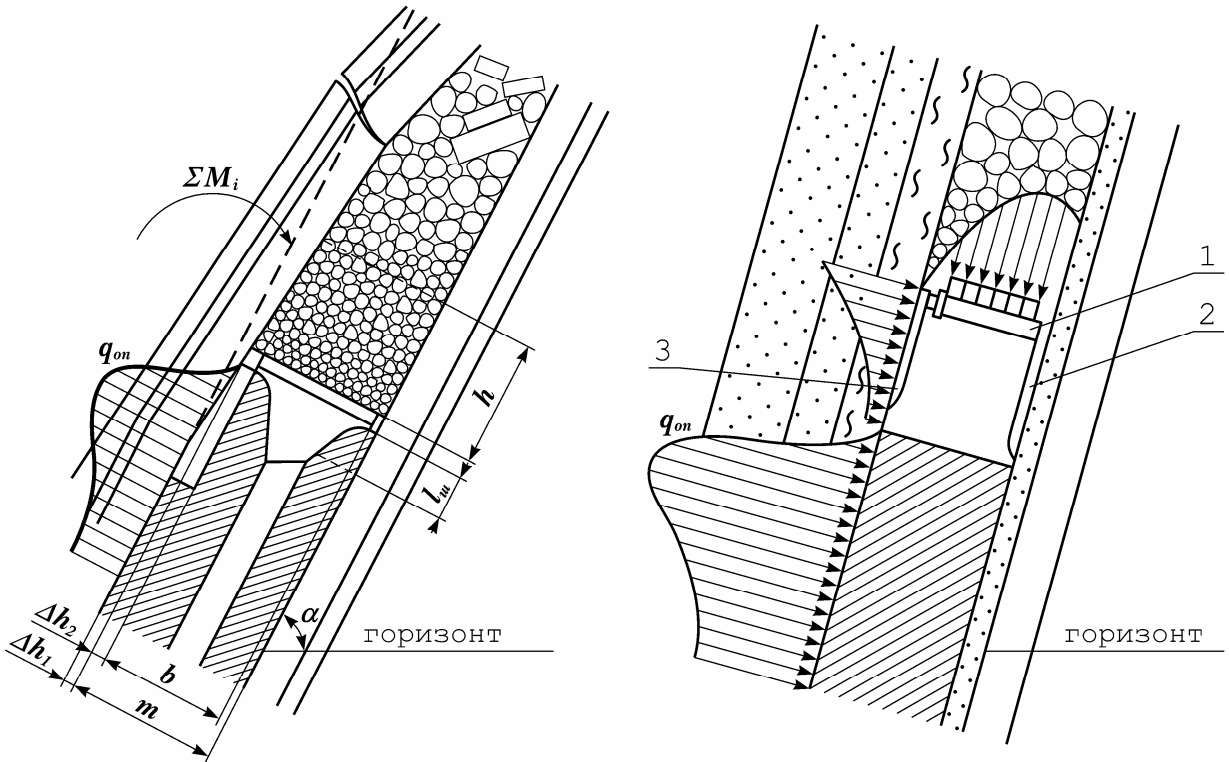
В общем случае можно выделить следующие стадии работы щита: начальную – над щитом искусственно создают первоначальную засыпку; пусковую – щит приводится в рабочее положение; выемку (подвигание щита) – попеременные опускания и остановки щита.

В начальной стадии проходят монтажную камеру, которая располагается горизонтально для удобства монтажных работ. После монтажа щитовой крепи над нею преднамеренно насыпают дробленые, неслеживающиеся породы высотой около 1,5 мощности пласта, образующие так называемую породную подушку или породный буфер. Породная подушка выполняет две важнейшие функции: защиту крепи при ее движении от динамических нагрузок (падение больших породных глыб) и непосредственное поддержание кровли на границе выработанного пространства. Поэтому дробленые породы должны иметь достаточную механическую прочность и не раздавливаться под их действием.

Экспериментально доказано, что расчетную реакцию щит развивает уже в начальный период $\theta - t_0$ (рис. 6.9, б).

В период пусковой стадии, несколькими, поочередными взрываниями бортового целика у почвы пласта щитовая крепь приводится в положение, нормальное к плоскости пласта, в период рабочей стадии реакции щита уменьшаются вследствие того, что щит уходит из-под нагрузок. В этот период и происходит планомерная выемка угля путем углубления взрыванием дна траншеи и верхних частей образующих ее бортовых целиков у почвы и кровли, что вызывает периодические опускания (падения) щитовой крепи. Следом за ней перемещаются дробленые породы породного буфера.

а



б

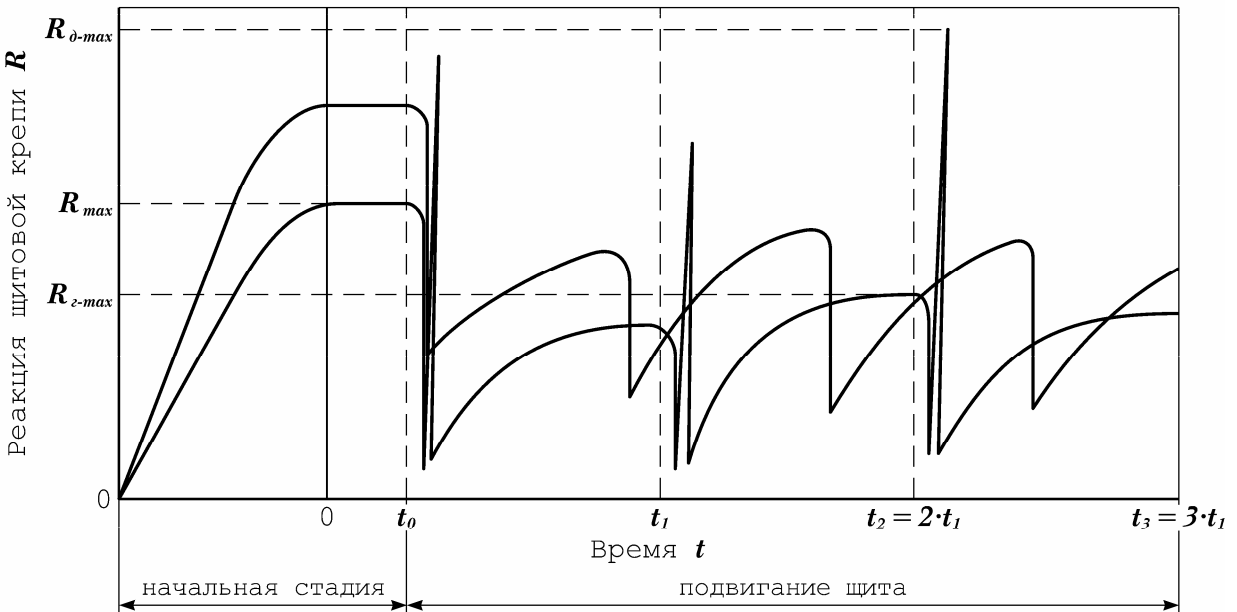


Рис. 6.9 Схема взаимодействия щитовой крепи с вмещающими породами и породным буфером:
 а – расчетная схема крепи поддерживающего типа;
 б – график динамики реакций щитовой крепи:
 1 – гидростойка; 2 – основание крепи; 3 – перекрытие крепи

В рабочей стадии, за пределами t_0 , щит опускается в периоды $t_0 - t_1$, $t_1 - t_2$ и т.д. при выбранном для данных условий шаге опускания $l_{ш}$. Начиная с момента остановки щита (t_1, t_2, t_3), его суммарная реакция постепенно растет, а во время падения щита она резко уменьшается до величины R_{min} , а в момент удара щита о целики траншеи его реакция резко возрастает до величины R_{max} , которые в принципе могут превышать $R_{расч}$.

При правильно выбранном шаге опускания щита он падает с небольших высот, поэтому энергия его ударов о целики и, следовательно его суммарная реакция малы, и, как показывают эксперименты, расчетную реакцию щита следует принимать по ее значению для начальной стадии, то есть для статического состояния. В расчетной схеме (рис. 6.9) величина h принята по максимальной интенсивности нагрузки на щит, что идет в запас величин реакций щита. Влияние изгибающих моментов $\sum_I^n \dot{I}_i$, создаваемых зависаниями кровли, здесь не учитывается, поскольку кровля в выработанном пространстве опирается на обрушенные породы, давление на которые поглощается реакциями почвы пласта.

Влиянием трения торцевых сторон щита можно пренебречь уже при отношении

$$\frac{L}{h_a} > 3,$$

где L — длина щита.

Обычно $L/h_a > (4 \div 5)$, поэтому задачу о давлении сыпучего материала на щит в средней части его длины вполне допустимо рассматривать как плоскую.

Давление на щит определяется из условий равновесия, при $\alpha = 90^\circ$:

$$(\sigma_z + d\sigma_z) \cdot b - \gamma \cdot b \cdot dh + 2 \cdot f \cdot \varepsilon \cdot dh = 0, \quad (6.21)$$

где f — коэффициент трения обрушенных пород о кровлю и почву;

ε — коэффициент бокового давления;

γ — объемный вес сыпучих над щитом (породной подушки).

Решение этого уравнения при $h \rightarrow \infty$ дает максимальную реакцию щита

$$p = \frac{k \cdot \gamma \cdot b^2}{2 \cdot f \cdot \varepsilon}, \quad (6.22)$$

где k — коэффициент неравномерности или коэффициент запаса.

Максимальную реакцию щита можно определить при $\alpha=90^\circ$ и из условия равновесия:

$$p = Q_z - 2 \cdot \sum_1^n f_i, \quad (6.23)$$

где Q_z — вес призмы пород, оказывающие давление на щит;
 $\sum_1^n f_i$ — суммарное трение по одной из вмещающих пород.

Следовательно,

$$p = \frac{k \cdot \gamma \cdot b^2}{\frac{b}{h} + f \cdot \varepsilon}, \quad (6.24)$$

где на основании расчетов принято $b = 0,8$ т.

Таким образом, уравнение (6.24) отражает те же соотношения, что и формула (6.22).

Ширину раздвижного щита следует принимать из условия

$$b = h_{\hat{a}} - (\Delta h_1 + \Delta h_2), \quad (6.25)$$

где Δh_1 — деформации краевой зоны пласта на контакте со щитом, согласно исследованиям на моделях $\Delta h_1 = 0,5 \cdot \Delta h_2$;

Δh_2 — резерв на возможные утонения пласта, $\Delta h_2 \approx 0,1 \cdot h_{\hat{a}}$.

6.3. Расчет нагрузки на механизированную крепь очистных забоев при разработке пластов с трудноуправляемыми кровлями

Анализ результатов шахтных и лабораторных исследований разрушения и перемещения трудноуправляемых кровель позволяет построить типовые расчетные схемы для определения нагрузок на крепь. Рассмотрение их будем проводить в соответствии с типовыми схемами разрушения кровель.

Наиболее тяжелые условия нагружения крепи будут иметь место при влиянии осадок основной кровли. Общая нагрузка на крепь на 1 м лавы в этих условиях составит

$$P = P_i + P_o, \quad (6.26)$$

где P — полная нагрузка на крепь на 1 м линии забоя лавы, кН;
 P_n, P_o — нагрузка на крепь соответственно от непосредственной и основной кровли, кН.

Такой подход к определению нагрузок обусловлен тем, что при одинаковой схеме разрушения и перемещения непосредственной

кровли могут иметь место разные формы разрушения и перемещения основной кровли. В данном случае предполагается решение плоской задачи.

Расчетные схемы выделяются в соответствии с формами разрушения и перемещения непосредственной кровли. Форма разрушения основной кровли определяет собой вариант схемы.

Схема I характеризуется узкоблочным разрушением непосредственной кровли с обрушением блоков в выработанном пространстве сразу за крепью. Такая схема наблюдается на пластах, у которых отношение мощности слоя непосредственной кровли к мощности пласта меньше двух.

Особенности вариантов схемы I заключаются в том, что основная кровля может разрушаться на короткие и длинные блоки. В первом случае в системе блоков основной кровли возможно возникновение больших сил распора, способных удерживать блок от срыва в переднем шарнире и тем самым предотвращать вредное влияние осадок основной кровли на крепь. Второй случай характерен тем, что возникновение сил распора в системе коротких блоков основной кровли, способных удержать их от перемещения в зоне призабойного пространства менее вероятно. Блоки будут выскальзывать по наклонным трещинам.

Схема II характеризуется тем, что при разрушении непосредственной кровли на узкие блоки, последняя способна зависать в выработанном пространстве лав. Отношение мощности слоя непосредственной кровли к мощности пласта для этой схемы больше двух. Основная кровля в этих условиях обычно разрушается на короткие блоки, так как узкоблочное разрушение сравнительно прочных пород мощного слоя непосредственной кровли наблюдается на глубинах более 450 м.

Схема III характерна при отработке пластов, непосредственно над которыми залегает мощный слой прочных пород (песчаники, известняки). Разрушаются они обычно на блоки, длина которых может превышать ширину поддерживаемого пространства. Блоки при выходе в выработанное пространство обрушаются сразу, не образуя арочной системы.

Очевидно, что крепь должна обеспечить поддержание кровли во всех случаях на уровне, обеспечивающем нормальную эксплуатацию очистного забоя и безопасность людей и машин. Рассмотрение усло-

вий формирования нагрузок на крепь удобнее провести отдельно для непосредственной и основной кровель.

Общее состояние системы узких блоков непосредственной кровли определяется силами распора, возникающими в системе и пригрузкой со стороны основной кровли.

Силы распора в системе блоков зависят от формы блоков, угла наклона трещин в кровле и сил трения между блоками. В процессе перемещения отдельных блоков и взаимодействия их с другими и крепью могут возникать различные схемы распределения сил распора. Однако подробно рассматривать их нет необходимости, так как для практических целей наибольший интерес представляет такая схема, при которой на крепь будут передаваться максимальные нагрузки.

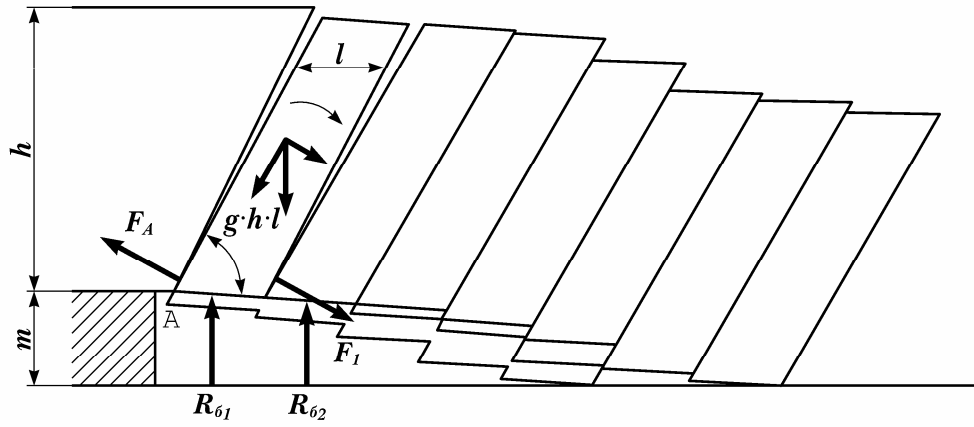
Рассмотрим силы, действующие в системе узких блоков непосредственной кровли. Очевидно, что силы распора в системе при наклонной форме блоков будут возникать за счет составляющей сил собственного веса F_2 и сил, возникающих при развороте блоков,

$$F = F_1 + F_2. \quad (6.27)$$

Расчетная схема распора блоков непосредственной кровли приведена на рис. 6.10. Вследствие отклонения блока в сторону выработанного пространства возникает дополнительная сила распора, приложенная вблизи точки A . Условия для возникновения данной силы обеспечиваются, как показано выше, кинематикой перемещения блоков. Блок в этот период находится в состоянии равновесия за счет сил распора. Дополнительные силы распора удерживают блоки в выработанном пространстве от обрушения. Однако при извлечении пород из зон развития трещин, разрушении контакта между блоками, образовании блоков такой формы, которые не способствуют возникновению дополнительных сил распора, или при недостаточном сопротивлении крепи и большом проседании первого блока силы распора в точке A могут исчезнуть. Вследствие этого равновесие системы нарушится.

Поэтому в состоянии арочной системы мы выделяем две принципиально различающиеся стадии. В первой стадии ($F_A > 0$) силы распора в точке A определяются из условий равновесия системы (рис. 6.10, а), во второй ($F_A = 0$) – силы распора в той же точке отсутствуют (рис. 6.10, б), то есть силы распора в системе блоков определяются только соответствующими составляющими собственного веса.

а



б

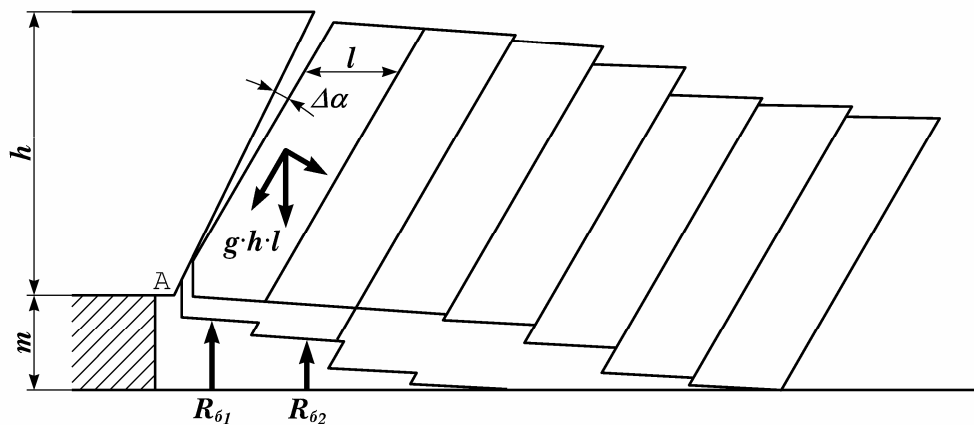


Рис. 6.10. Расчетная схема распора
блоков непосредственной кровли

Для определения дополнительных сил распора в системе блоков при их развороте приняты следующие допущения: в состоянии разворота находится только один, первый от забоя блок; призабойная крепь, установленная под ним не препятствует его развороту; вновь образующийся блок не имеет внутренних трещин по напластованию; наклонные трещины имеют плоскую поверхность, силы дополнительного распора сохраняют свою величину и после разворота блока.

Условия равновесия для момента разворота первого блока характеризуются уравнениями

$$\begin{cases} F_1 \cdot f \cdot l \cdot \sin \alpha - \gamma \cdot h \cdot l \cdot \left(\frac{l}{2} + \frac{h}{2} \cdot \operatorname{ctg} \alpha \right) = 0 \\ F_A \cdot f + F_1 \cdot f - \gamma \cdot h \cdot l \cdot \sin \alpha = 0 \end{cases} \quad (6.28)$$

Решая уравнения (6.28) относительно сил распора, получим

$$F_1 = \frac{\gamma \cdot h \cdot (l + h \cdot \operatorname{ctg} \alpha)}{2 \cdot f \cdot \sin \alpha}; \quad (6.29)$$

$$F_A = \frac{\gamma \cdot h \cdot l}{f} \cdot \left(\sin \alpha - \frac{l + h \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{2 \cdot l \cdot \sin \alpha} \right). \quad (6.30)$$

Анализируя выражения (6.29) и (6.30) отметим, что силы распора в системе при определенных соотношениях размеров блоков могут достигать значительных величин.

После разворота блоки прилегают друг к другу гранями, передавая часть своего веса на последующие блоки в системе. Величина сил распора, возникающих под действием собственного веса непосредственной кровли на передней грани любого блока, при условии равенства их геометрических размеров, составит

$$F_2 = \gamma \cdot h \cdot l \cdot (n - 1) \cdot \operatorname{ctg} \alpha; \quad (6.31)$$

где n – порядковый номер рассматриваемого блока.

Максимальная сила распора в арочной системе с учетом формул (6.27) и (6.29) определится из выражения

$$F = \frac{\gamma \cdot h \cdot \{ l \cdot [1 + 2 \cdot f \cdot \sin 2\alpha \cdot (n - 1)] + h \cdot \operatorname{ctg} \alpha \}}{2 \cdot f \cdot \sin \alpha}. \quad (6.32)$$

В выражении (6.32) принято условие, что блок разворачивается на небольшой угол (как это установлено в натуре и в модели). Учитывая, что зависание блоков в выработанном пространстве может произойти только за счет сил распора в системе, из выражения (6.32) можно определить максимальное число зависающих блоков или величину зависания кровли. Предположим, что поддерживаемые блоки над призабойным пространством находятся в состоянии равновесия. Пригрузка на крепь со стороны зависших блоков передается через

заднюю грань последнего поддерживаемого блока. Величина этой пригрузки равна половине общего веса зависших блоков. Уравнение равновесия по задней грани блока запишется в виде

$$F \cdot f = \frac{n_2}{2} \cdot \gamma \cdot h \cdot l \cdot \sin \alpha. \quad (6.33)$$

Из выражений (6.32) и (6.33) получим

$$n_2 = \frac{l \cdot [1 + 2 \cdot f \cdot \sin 2\alpha \cdot (n_1 - 1)] + h \cdot ctg \alpha}{l \cdot \sin^2 \alpha}, \quad (6.34)$$

где n_1, n_2 – соответственно число поддерживаемых и зависших блоков.

Анализируя выражение (6.34) отметим, что на число зависших в выработанном пространстве блоков большое влияние оказывает их высота. Это подтверждается и результатами наблюдений. На практике наблюдались случаи, когда при большой высоте блоков и большом зависании кровли в выработанном пространстве крепь оказывалась ненагруженной, а смещения ее были весьма малы. Арочная система практически полностью удерживала сама себя, но это свойственно только весьма прочным породам.

При исследовании на моделях проводились эксперименты по снижению сопротивления крепи до нуля. Пролет арочной системы уменьшался за счет обрушения задних блоков. Некоторое число блоков зависало при отсутствии крепи в призабойном пространстве. Принципиальная возможность такого явления подтверждается теоретически. Если в формуле (6.34) принять $n_1 = 0$, то

$$n_2^1 = \frac{l \cdot (1 + 2 \cdot f \cdot \sin 2\alpha) + h \cdot ctg \alpha}{l \cdot \sin^2 \alpha}. \quad (6.35)$$

Плавное опускание кровли, наблюдаемое при однородных породах большой мощности, разбитых наклонными трещинами, является убедительным подтверждением наличия больших сил распора. Важным условием для зависания кровли является возможность возникновения сил распора в системе, то есть наличие сравнительно прочных пород.

Очевидно, что возникновение дополнительных сил распора в цепи блоков возможно при определенных соотношениях их размеров и формы. Для определения критических величин достаточно принять условие, при котором будут отсутствовать силы распора в точке A , то есть $F_A = 0$ (рис. 6.10), или

$$\frac{\gamma \cdot h \cdot l}{f} \left(\sin \alpha - \frac{l + h \cdot ctg \alpha}{2 \cdot l \cdot \sin \alpha} \right) = 0. \quad (6.36)$$

Принимая отношение длины блока l к его высоте h за характеристику его параметров, получим

$$\frac{l}{h} = C = \frac{ctg\alpha}{2 \cdot \sin^2 \alpha - 1}. \quad (6.37)$$

Из выражения (6.37) следует, что для возникновения дополнительных сил распора в цепи блоков необходимо определенное соотношение сторон блока и углов наклона его граней.

Если в выражении (6.37) значения входящих величин принять равными средним, полученным в шахтных условиях, то увидим, что возникновение арочной системы возможно при значении $C < 1$.

Случаи разрушения арочной системы на практике наблюдались при среднем значении $C = 1,47$, а устойчивое ее состояние при $C = 0,5$.

При условии $F_A = 0$ силы распора в системе определяются как составляющая веса блоков

$$F'_2 = \gamma \cdot h \cdot l \cdot n \cdot \cos \alpha. \quad (6.38)$$

Количество зависающих блоков в выработанном пространстве с учетом выражений (6.33) и (6.38) составит

$$n'_2 = 2 \cdot n_1 \cdot f \cdot ctg\alpha \quad (6.39)$$

и будет зависеть только от ширины поддерживаемого пространства, коэффициента трения и угла наклона граней.

Зависание блоков за крепью в этом случае будет значительно меньше, чем при наличии дополнительных сил распора.

Таким образом, установлено, что между рассмотренными стадиями состояния арочной системы существуют принципиальные различия. Наиболее опасным для состояния кровли в призабойном пространстве и крепи является переход из одной стадии в другую, тем более что он может протекать, как показали исследования, в короткие отрезки времени, то есть с большими скоростями. Поэтому нагрузки на крепь следует определять именно для случая перехода арочной системы из одной стадии в другую, а именно число зависших блоков вычислять для первой стадии, а силы распора при определении нагрузок принимать для второй. Такой подход наиболее полно отражает те процессы, которые периодически происходят в цепи узких и высоких наклонных блоков непосредственной кровли при подвигании очистного забоя.

Нагрузка на крепь под каким-либо блоком складывается из двух величин: нагрузки от поддерживаемой части непосредственной кровли P_1 и пригрузки со стороны части кровли, зависшей в выработанном пространстве P_{II} ,

$$P'_a = P_1 + P'_i . \quad (6.40)$$

Определим эти величины. Для любого блока как тела, покоящегося на наклонной плоскости, можно написать

$$\gamma \cdot h \cdot l \cdot \sin \alpha - F'_2 \cdot f - P'_i = 0 . \quad (6.41)$$

Решая уравнение (6.41) совместно с (6.38) относительно нагрузки на крепь, получим

$$P'_i = \gamma \cdot h \cdot l \cdot (1 - f \cdot \operatorname{ctg} \alpha) \cdot \sin \alpha , \quad (6.42)$$

где P'_i - нагрузка на крепь под блоком, направленная под углом α , кН.

Анализируя выражение (6.42) отметим, что нагрузка на крепь от поддерживаемых блоков, опирающихся на блоки в выработанном пространстве, не зависит от ширины поддерживаемого пространства и составляет только часть собственного веса слоя непосредственной кровли.

Пригрузка со стороны зависших блоков на любой поддерживаемый блок не может превышать силу трения, приложенную к задней грани блока, которая, в свою очередь, зависит от сил распора, действующих на этой грани. Поэтому величину пригрузки определим из условий равновесия на гранях поддерживаемых блоков, обращенных в сторону выработанного пространства:

$$P'_{i1} = 1 \cdot \frac{n_2}{2} \cdot \gamma \cdot h \cdot l \cdot \sin \alpha ,$$

$$P'_{i2} = 2 \cdot \frac{n_2}{2} \cdot \gamma \cdot h \cdot l \cdot \sin \alpha ,$$

$$\dots\dots\dots$$

$$P'_{in} = n_1 \cdot \frac{n_2}{2} \cdot \gamma \cdot h \cdot l \cdot \sin \alpha . \quad (6.43)$$

В общем виде для любого поддерживаемого блока пригрузка

$$P'_i = \frac{n \cdot n_2}{n_1 + n_1^2} \cdot \gamma \cdot h \cdot l \cdot \sin \alpha . \quad (6.44)$$

Общая нагрузка на крепь под блоком определится с учетом выражений (6.42) и (6.44) по формуле

$$P_{\delta_i} = \gamma \cdot h \cdot l \cdot \left(1 + \frac{n \cdot n_2}{n_1 + n_1^2} - f \cdot \operatorname{ctg} \alpha \right) , \quad (6.45)$$

где n - порядковый номер рассматриваемого блока, считая от забоя.

Анализируя выражение (6.45) отметим, что нагрузка на крепь, кроме мощности слоя, зависит от числа зависших блоков, их длины, места установки крепи и ширины поддерживаемого пространства.

Иначе говоря, формула (6.45) позволяет учитывать не только горно-геологические факторы, но также и горнотехнические. Это весьма важно, так как до сих пор расчет производился только по средним нагрузкам, без учета горнотехнической обстановки. Определение нагрузок, действующих на крепь, установленную под любым блоком поддерживаемого пространства, позволяет дифференцировать расчетные нагрузки по ширине призабойного пространства и более глубоко разобратся в процессе взаимодействия трудноуправляемых кровель с крепью.

Анализ формулы (6.45) применительно к распределению нагрузок по ширине призабойного пространства будет сделан ниже.

Здесь же следует обратить внимание на то, что при зависании пород в выработанном пространстве ($n_2 \neq 0$) нагрузка на крепь от непосредственной кровли может превысить собственный вес слоя. При отсутствии зависания ($n_2 = 0$) формула (6.45) превращается в формулу (6.42).

Общая нагрузка на 1 м призабойной крепи определится как сумма нагрузок на крепь, установленную под отдельными блоками,

$$P_i = \sum_1^{n_1} P_{\delta_i} . \quad (6.46)$$

Суммируя соответствующие выражения P_{δ_i} для всех поддерживаемых блоков, получим

$$P_i = \gamma \cdot h \cdot l \cdot \left[\frac{n_2}{2} + n_1 \cdot (1 - f \cdot \operatorname{ctg} \alpha) \right] . \quad (6.47)$$

Общая нагрузка на крепь зависит как от ширины поддерживаемого пространства n_1 , так и от величины зависания кровли n_2 . Та же зависимость получена и при исследовании на моделях.

Принятое сопротивление крепи в модели обеспечивало надежное поддержание кровли в призабойном пространстве только при небольших зависаниях кровли и не обеспечивало при больших (это обуславливалось условиями эксперимента). При отсутствии зависания сопротивление крепи оказывалось даже излишним. Однако для предотвращения больших проседаний блоков в призабойном пространстве сопротивление крепи должно выбираться для случая максимального зависания кровли в выработанном пространстве. В период отсутствия зависания или небольшой его величины сопротивление крепи окажется излишним, но уменьшать его с помощью каких-либо мер или автоматических устройств нецелесообразно, так как процесс развития и проседания арочных систем вдоль лавы происходит не одно-

временно. В одной части лавы зависание может оказаться минимальным, в другой – максимальным.

Схема IV характеризуется отсутствием зависания блоков в выработанном пространстве. При этом также возможны несколько схем силового взаимодействия блоков. Наиболее тяжелая схема, с точки зрения поддержания кровли в безопасном состоянии, характеризуется отсутствием опоры блока на обрушенные породы. Однако при сравнительно большой мощности и длине блока в большинстве случаев возникает опора его на ранее обрушенные породы при небольших углах отклонения. Это позволяет не учитывать момент сил от собственного веса блока. Практически нет необходимости оказывать сопротивление его развороту, так как перемещения, происходящие в результате разворота блоков в зоне установки крепи, невелики, а сопротивление должно быть весьма большое.

Фактором, который может увеличить нагрузку на крепь при опоре блока на ранее обрушенные породы, может явиться срыв блока в переднем шарнире. В этом случае нагрузка на крепь определится по формуле

$$P_i = \gamma \cdot h \cdot l \cdot (1 - ctg\alpha). \quad (6.48)$$

Сравнивая расчетные нагрузки, возникающие при узкоблочном разрушении непосредственной кровли (6.47) и короткоблочном (6.48), отметим, что, при прочих равных условиях, нагрузка в последнем случае будет больше. Поэтому при расчете паспортов крепления или размещении механизированных крепей необходимо тщательно изучить горно-геологические условия и определить схему разрушения непосредственной кровли.

Под основной кровлей принято понимать слой или слои кровли, залегающие над непосредственной и имеющей шаг осадки, превышающий шаг обрушения непосредственной кровли. При этом имеется в виду, что непосредственная кровля представлена легкообрушающимися породами с небольшим шагом обрушения. При залегании непосредственно над пластом мощных слоев прочных пород это определение понятия основной кровли теряет смысл, так как непосредственная кровля может иметь большой шаг обрушения. При разрушении ее на узкие блоки и образовании арочных систем могут наблюдаться вторичные осадки непосредственной кровли. На практике последние могут приниматься за осадки основной кровли. Более того, при разрушении кровли на короткие блоки, выделить непосредственную и основную кровли по шагу обрушения не представляется

возможным. В этом случае периодическое повышение нагрузок и смещений кровли в призабойном пространстве может быть вызвано изменением равновесия в системе блоков как самых нижних, так и залегающих выше слоев кровли, причем последних может быть несколько. Однако, придерживаясь принятой терминологии, осадки вышележащих слоев будем называть осадками основной кровли. Выше было показано, что на всех пластах, с прочной и монолитной непосредственной кровлей, отнесенной к трудноуправляемым, слои пород, залегающие над нею, представлены, как правило, также прочными и монолитными породами. Разрушение их может происходить в зависимости от глубины и прочности пород как на длинные, так и на короткие блоки.

Эти условия работы крепи отражают режим заданной деформации. Новое равновесие слоев разрушенной кровли наступает в результате взаимодействия отдельных элементов (распор, заклинивание и т.д.). Режим заданной нагрузки наблюдается тогда, когда сопротивление крепи близко по величине к нагрузке со стороны пород и равновесие наступает в результате, в основном, роста реакции крепи. В реальных условиях эти режимы могут меняться или наблюдаться одновременно.

При возникновении длинных блоков, а также предельном их опускании на величину, не превосходящую мощность слоя, в их системе могут возникнуть силы распора, достаточные для образования арочной системы. Силы распора T в трехшарнирной арке, как известно, зависят от стрелы подъема арки

$$T = \frac{q \cdot L_0^2}{8 \cdot p} \quad (6.49)$$

где q – интенсивность нагрузки на арку;

L_0, p – соответственно пролет и стрела подъема арки.

Зная параметры разрушения кровли, можно определить условия, при которых произойдет срез арки в переднем шарнире. На практике важно знать пригрузку от слоя кровли после разрушения. Фактически же в момент срыва силы распора в арке не исчезают полностью, а только уменьшаются. Причиной этого является то, что шарнир между блоками кровли значительно отличается от шарнира, принятого в теоретической механике. В нем могут происходить местные разрушения, а смещение блока кровли происходит не строго по нормали к напластованию. Срыв в переднем шарнире часто происходит при положительном значении стрелы подъема арки. Поэтому в процессе

срыва и при установлении нового равновесия в шарнирах арки имеют место некоторые силы распора. Степень уменьшения их в момент срыва аналитически установить довольно трудно. Сохранение некоторых сил распора в арке может иметь место при условии, что величина проседания блока при срыве не превышает мощности слоя. Специально поставленные эксперименты на моделях показали, что пригрузку можно принимать равной

$$P_{i.i.} = 0,3 \cdot (q_1 + Q), \quad (6.50)$$

где q_1 – пригрузка со стороны вышележащих слоев кровли на обламывающийся блок;

Q – вес блока.

При короткоблочном разрушении массив пород может представлять собой многоярусную систему блоков, контактирующих между собой. Размеры блоков в слоях могут быть различными, что зависит, как показано выше, от прочности пород, глубины залегания пласта, расстояния от него обрушающихся слоев и других факторов. Наиболее тяжелыми с точки зрения работы крепи, будут условия, когда плоскость наклонной трещины будет одной и той же для нескольких рядов блоков. Подобные условия могут возникнуть не только при одинаковых размерах блоков по простиранию, но и при различных. При этом поверхность трещины можно уподобить поверхности геологического нарушения.

Рассмотрим условия формирования нагрузок в разрушенном массиве. Блоки между собой в принципе могут взаимодействовать по нескольким схемам.

Схема 1. Блок под действием собственного веса скользит с трением по задней грани.

Схема 2. Блок под действием собственного веса выскальзывает с трением по задней и передней граням.

Схема 3. Блок под действием собственного веса и пригрузки со стороны вышележащих слоев скользит с трением по задней грани.

Схема 4. То же, что и при схеме 3, но с трением по задней и передней граням.

Исследования в шахте и на моделях дают основания считать наиболее реальной схему 4. При этом имеется в виду, что по передней грани силы распора возникают при сползании блока без его заклинивания.

Уравнение равновесия одного блока запишется в следующем виде:

$$P_{Hi} \cdot \sin \alpha + T_1 + T_2 + Q_i \cdot \sin \alpha - P_{i+1} \cdot \theta, 3 \cdot \sin \alpha = 0 . \quad (6.51)$$

где T_1, T_2 – соответственно сила трения по задней и передней граням;

P_{i+1} – пригрузка от блоков вышележащего слоя.

Величина T_1 определится как произведение соответствующих составляющих веса блока и пригрузки на коэффициент трения:

$$T_1 = (Q_i + P_{i+1}) \cdot f \cdot \cos \alpha . \quad (6.52)$$

Силу трения T_2 определим из условия, что контактирование блока по передней грани наступит только после возникновения сил трения по задней грани. Тогда

$$T_2 = [(Q_i + P_{i+1}) \cdot \sin \alpha - (Q_i + P_{i+1}) \cdot f \cdot \cos \alpha] \cdot f \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha . \quad (6.53)$$

Решая уравнение (6.51) с учетом выражений (6.52) и (6.53) относительно величины необходимого сопротивления R_i , получим

$$R_{ii} = (Q_i + P_{i+1}) \cdot \left[1 - f \cdot \cos \alpha \cdot \left(\sin \alpha + \frac{1}{\sin \alpha} - f \cdot \cos \alpha \right) \right] . \quad (6.54)$$

Анализируя формулу, отметим, что сопротивление, необходимое для удержания блока от смещения, зависит от его геометрических размеров, угла наклона граней, коэффициента трения и величины пригрузки от блоков вышележащего слоя.

Рассмотрим теперь случай, когда подработанный массив пород разрушен на многоярусную систему блоков, а силы распора в нем формируются только за счет собственного веса блоков и сползания по наклонной плоскости. Очевидно, в этом случае сопротивление, необходимое для удержания такой системы возрастает. При этом сначала рассмотрим только влияние на величину данного сопротивления первых от неподработанного массива блоков (рис. 6.11) с общей трещиной (один из наиболее тяжелых случаев).

Приняв следующее обозначение

$$f_i \cdot \cos \alpha \cdot \left(\sin \alpha + \frac{1}{\sin \alpha} - f_i \cdot \cos \alpha \right) = A_i ,$$

получим

$$R_{Hi} = Q_i \cdot (1 - A_i) + P_{i+1} \cdot (1 - A_i) . \quad (6.55)$$

Пригрузка от вышележащего блока P_{i+1} может быть также определена как сумма составляющих веса блока Q_{i+1} и пригрузки со стороны вышележащего блока P_{i+2} :

$$R_{i+1} = Q_{i+1} \cdot (1 - A_{i+1}) + P_{i+2} \cdot (1 - A_{i+2}) \dots$$

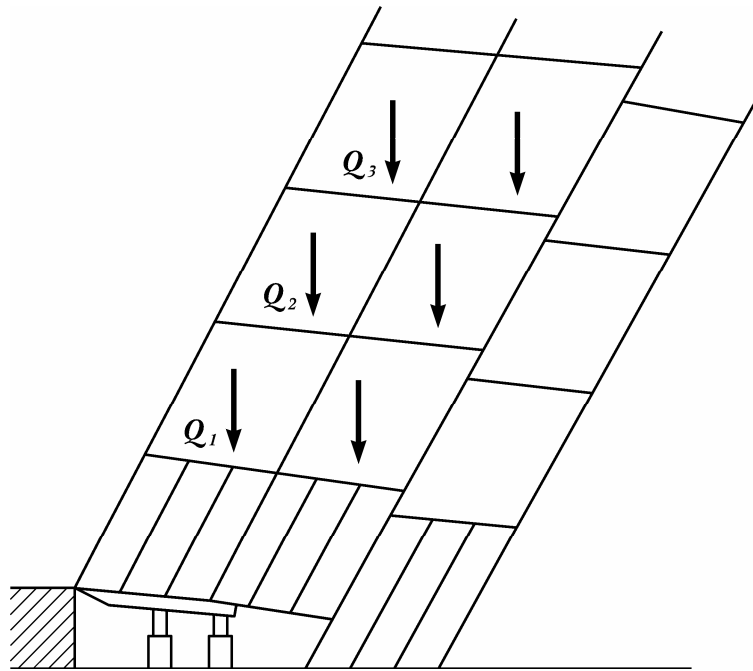


Рис. 6.11. Схема взаимодействия блоков в многоярусной системе

Тогда пригрузка на слой непосредственной кровли со стороны блоков основной может быть найдена из выражений:

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= Q_1 \cdot (1 - A_1) + P_2 \cdot (1 - A_1); \\ P_2 &= Q_2 \cdot (1 - A_2) + P_3 \cdot (1 - A_2); \\ P_3 &= Q_3 \cdot (1 - A_3) + P_4 \cdot (1 - A_3); \\ &\dots\dots\dots \\ P_m &= Q_m \cdot (1 - A_m) + P_{m+1} \cdot (1 - A_m). \end{aligned} \right\} \quad (6.56)$$

где P_1, P_2, P_3 – пригрузки со стороны блока соответствующего порядка.

Формулу для определения общей пригрузки на непосредственную кровлю со стороны многоярусной системы блоков основной кровли запишем в виде

$$R_{i.i.} = Q_1 \cdot (1 - A_1) + Q_2 \cdot (1 - A_2) \cdot (1 - A_1) + Q_3 \cdot (1 - A_3) \cdot (1 - A_2) \cdot (1 - A_1) + \dots \quad (6.57)$$

Анализируя формулу (6.57) отметим, что пригрузка от блока уменьшается с удалением его от пласта нелинейно и зависит от параметров разрушения каждого слоя основной кровли.

Если допустить, что размеры блоков, углы наклона и коэффициенты трения во всех слоях одинаковы, то получим достаточно простое выражение

$$R_{i.i.} = \sum_1^m Q \cdot (1 - A)^m, \quad (6.58)$$

где m – порядковый номер яруса блоков.

Анализируя относительные пригрузки, подсчитанные для разных значений коэффициента трения и угла наклона трещин 75° , отметим, что величина $D_{i,i}/Q$ может колебаться в значительных пределах в зависимости от сочетания влияющих факторов, но практически прекращает увеличиваться при числе ярусов более четырех-пяти (рис. 6.12). Этот факт свидетельствует о том, что, несмотря на весьма неблагоприятные принятые условия, пригрузка со стороны многоярусной системы без сцепления невелика.

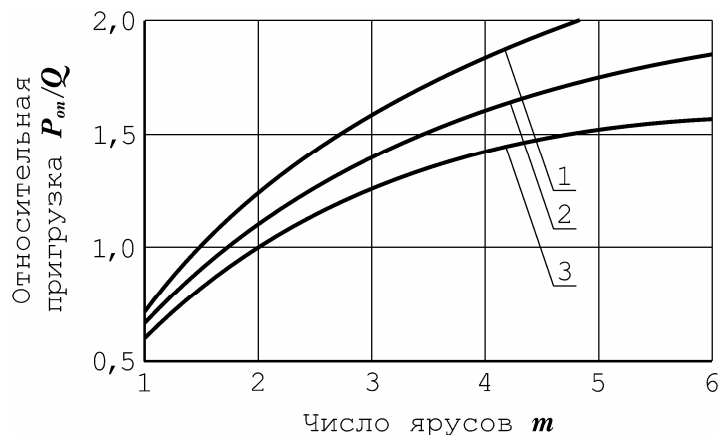


Рис. 6.12. Влияние числа ярусов блоков на относительную пригрузку:

1 — $f=0,6$; 2 — $f=0,7$; 3 — $f=0,8$

В реальных условиях взаимодействия блоков и многоярусной системы пригрузки зависят от числа ярусов также незначительно, что подтверждается результатами исследований на моделях и в шахте.

Исследования на моделях показали, что арка может возникать (при определенных условиях) как в самом нижнем слое многоярусной системы, так и в вышележащих. С точки зрения работы крепи наиболее вредное воздействие может оказать зависание блоков в нижнем слое.

Силы распора в этом случае будут определяться не только собственным весом блоков, но и углом их поворота: на передней грани

$$F_A = \frac{Q_1 \cdot h_1}{2 \cdot L_1 \cdot \cos \alpha} \cdot \left(\operatorname{ctg} \alpha - \frac{f}{\sin^2 \alpha} \right), \quad (6.59)$$

на задней грани

$$F_1 = \frac{Q_1 \cdot h_1}{2 \cdot L_1 \cdot \cos \alpha} \cdot \left(\frac{f}{\sin^2 \alpha} - \operatorname{ctg} \alpha \right). \quad (6.60)$$

Из условия равновесия сил распора на задней грани определим число зависших блоков N_0 при условии удержания от смещения переднего блока

$$F_1 \cdot f = \frac{1}{2} \cdot N_0 \cdot Q_1 \cdot \sin \alpha \quad (6.61)$$

или

$$N_0 \cdot Q_1 \cdot \sin \alpha = \frac{Q_1 \cdot h_1 \cdot f}{L_1 \cdot \cos \alpha} \cdot \left(\frac{f}{\sin^2 \alpha} - \operatorname{ctg} \alpha \right), \quad (6.62)$$

откуда

$$N_0 = \frac{h_1 \cdot f}{L_1 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha} \cdot \left(\frac{f}{\sin^2 \alpha} - \operatorname{ctg} \alpha \right). \quad (6.63)$$

Величина N_0 должна округляться до целого числа в большую сторону.

Пригрузка на удерживаемый блок со стороны зависших блоков в момент их проседания

$$P'_c = \frac{Q_1 \cdot h_1 \cdot f}{2 \cdot L_1 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha} \cdot \left(\frac{f}{\sin^2 \alpha} - \operatorname{ctg} \alpha \right). \quad (6.64)$$

Воздействие этой пригрузки весьма кратковременно, однако она часто вызывает выход крепи из строя вследствие резкого увеличения общих нагрузок и смещения кровли. Особенно вредно это воздействие на индивидуальную крепь, поскольку перед резким увеличением нагрузок наблюдается зависание кровли, сопровождающееся пониженными смещениями кровли и, как следствие, снижением фактической реакции крепи, особенно крепи нарастающего сопротивления.

Исследования на модели показали, что средняя продолжительность воздействия пригрузки со стороны зависших блоков составляет 0,02 с, а скорость и величина смещения кровли – соответственно до 250 мм/с и 20 мм. Если крепь в этот момент не потеряет несущую способность, то при дальнейшем смещении кровли нагрузка на крепь уменьшится. В период резкого воздействия основной кровли на крепь последняя должна иметь достаточную податливость, чтобы воспринять повышенные нагрузки и сохранить необходимую несущую способность.

При смещении кровли в системе блоков наступает новое состояние равновесия. В этих условиях жесткая крепь неизбежно должна воспринимать нагрузки, значительно превышающие расчетные, так как влияние на крепь будут оказывать несколько слоев зависающих блоков.

Для этого момента величина необходимой реакции со стороны непосредственной кровли, определится из выражения

$$P_0 = P_{i.i.} + P'_c$$

или

$$P_0 = \frac{Q \cdot h_1 \cdot f}{2 \cdot L_1 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha} \cdot \left(\frac{f}{\sin^2 \alpha} - \operatorname{ctg} \alpha \right) + \sum_I^m Q \cdot (1 - A)^m. \quad (6.65)$$

Первый член уравнения учитывает пригрузку от зависающих блоков первого слоя в плоскости пласта, второй – от налегающих сверху блоков вышележащих слоев.

Данные для определения величины P_0 могут быть получены либо непосредственно по результатам наблюдений и замеров, либо расчетным путем.

Высота блока h_1 определяется мощностью монолитного слоя с учетом плоскостей ослабления по напластованию.

Длина блока L_1 определяется по номограмме. Коэффициент трения породы о породу можно принимать равным 0,7-0,8. Угол наклона трещин на практике колеблется от 55° до 80° , для определения величины P_0 его можно принимать равным $65-70^\circ$.

Расчеты показывают, что при короткоблочном разрушении основной кровли пригрузка от нее на непосредственную кровлю может превышать вес одного блока в 1,5-2 раза.

Если непосредственная кровля разрушается на узкие блоки, в их системе возникают дополнительные силы распора, которые снижают пригрузку от основной кровли. Общая нагрузка на крепь призабойного пространства для этого случая

$$P_e = (P_i + P_0) \cdot (1 - f \cdot \operatorname{ctg} \alpha). \quad (6.66)$$

В большинстве аналитических работ за величину нагрузки на крепь в очистном забое принималась средняя нагрузка, приходящаяся на 1 м^2 поддерживаемой площади (кН/м^2). В некоторых из них приводились также ожидаемые нагрузки по линии обрушения (кН/м). Результаты же шахтных измерений показывают, что в большинстве случаев при блочном разрушении кровли наблюдается неравномерное распределение удельных нагрузок в призабойном пространстве.

Для определения закономерностей распределения нагрузок необходим анализ условий взаимодействия основной и непосредственной кровли с крепью очистного забоя.

Анализ их формул (6.49-6.65) позволит установить характер распределения нагрузок на крепь по ширине призабойного пространства.

При короткоблочном разрушении непосредственной кровли сразу после возникновения нового блока нагрузка на крепь увеличится. Распределение нагрузки по ширине призабойного пространства будет в этот период более или менее равномерным. Величина ее определится с учетом формулы (6.48) из выражения

$$P'_{\text{оа}} = \frac{P'_i}{B}, \quad (6.67)$$

где B – ширина поддерживаемого пространства.

По мере подвигания забоя площадь, на которую опирается такой блок, будет уменьшаться. Вследствие этого будут увеличиваться удельные нагрузки на крепь. Поэтому при короткоблочном разрушении непосредственной кровли наибольшие удельные нагрузки будут иметь место на границе призабойного пространства с выработанным, когда очередной блок будет опираться на крепь только передней своей частью. Если принять ширину опоры 1 м, то удельная нагрузка

$$P'_{\text{оа}} = P'_i \cdot \frac{l \cdot f + 2 \cdot h}{l \cdot f + h}. \quad (6.68)$$

При короткоблочном разрушении непосредственной кровли, когда длина блока превышает ширину поддерживаемого пространства ($l > B$), весьма важно обеспечить необходимое удельное сопротивление крепи на границе призабойного пространства с выработанным. Иначе говоря, посадочная крепь должна обладать высокой несущей способностью.

При разрушении непосредственной кровли на узкие блоки, длина которых в направлении подвигания забоя меньше ширины призабойного пространства схема передачи нагрузок на крепь будет другой.

Формула (6.45) для определения нагрузок на крепь, оказываемых непосредственной кровлей достаточно полно учитывает основные закономерности разрушения и взаимодействия тяжелых кровель с крепью. Произведем ее анализ. По мере увеличения зависания кровли в выработанном пространстве нагрузка на крепь будет увеличиваться (растет значение n_2). При посадке кровли происходит перераспределение сил, которое учитывается формулой (в момент посадки величина n_2 возрастает, а n_1 уменьшается). Возникает импульс пригрузки. Однако вследствие образования арочной системы эти импульсы вызывают резкую пригрузку на крепь только при нарушении ими равновесия системы. Наиболее опасным является случай, когда нагрузка на крепь близка к ее несущей способности в данный момент (при зависаниях кровли). Дополнительный импульс приводит либо к деформации крепи, либо к значительному проседанию за счет ее податливости, что вызывает смещение арочной системы. Величина этого смещения определяется механизмом взаимодействия блоков и характеристиками крепи. Новое состояние равновесия наступает вследствие роста сопротивления крепи и уменьшения нагрузки за счет об-

рушения части блоков на почву. Процесс перераспределения сил в системе происходит динамично, что дополнительно усложняет работу крепи.

На рис. 6.13 в качестве примера приведен график изменения нагрузок на крепь, установленную под блоками I и II в момент посадки кровли. График построен на основании формулы (6.45). Анализируя график, отметим, что с увеличением зависания кровли в выработанном пространстве импульс пригрузки также возрастает. Из-за наклонных трещин в кровле изменение нагрузки на крепь по ширине призабойного пространства носит ступенчатый характер, что подтверждается практикой и расчетом по формулам.

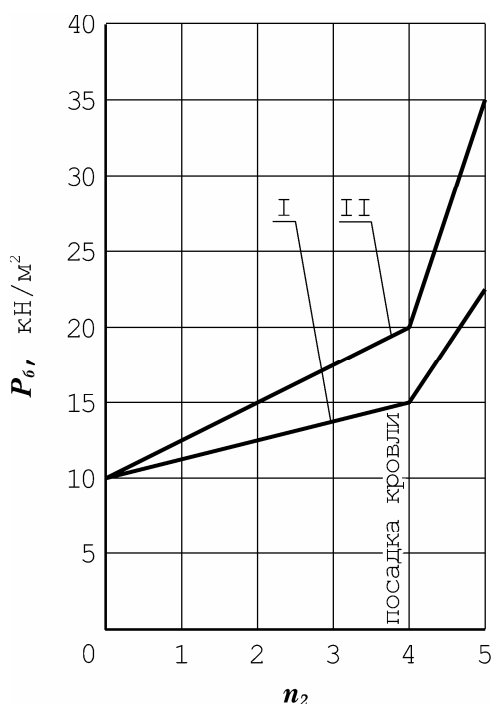


Рис. 6.13. График изменения нагрузок на крепь до и после посадки кровли

На рис. 6.14 приведен график изменения нагрузок по ширине призабойного пространства. Анализируя график, отметим, что разность в нагрузках на крепь от отдельных блоков только непосредственной кровли может достигать значительной величины. Резкое увеличение нагрузок в период посадки кровли является основной причиной завалов лав при существующих паспортах крепления. Максимальные нагрузки будут иметь место при максимальных зависаниях кровли, что необходимо учитывать при составлении паспортов крепления и проектировании механизированных крепей.

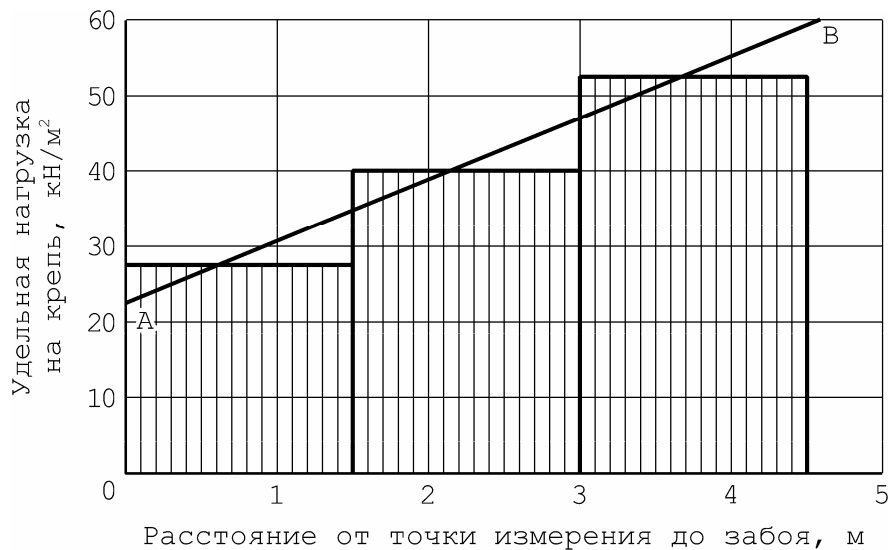


Рис. 6.14. Характер распределения нагрузок по ширине призабойного пространства

Для предотвращения взаимного проскальзывания блоков в призабойное пространство эпюра сопротивления крепи должна соответствовать эпюре нагрузок. Однако на практике это требование выполнить трудно. Поэтому эпюра сопротивления крепи должна соответствовать максимальным нагрузкам от каждого блока (рис. 6.14 – линия *AB*). При использовании индивидуальной крепи это требование можно выполнить увеличением числа стоек, устанавливаемых в направлении от забоя к выработанному пространству. В механизированных крепях прочностные характеристики верхняка должны соответствовать принятой схеме расстановки гидроопор крепи, причем последние необходимо располагать с учетом действующей эпюры нагрузок.

Удельное давление на крепь по ширине призабойного пространства зависит от длины блоков непосредственной кровли и может быть определено для любого поддерживаемого блока по формуле

$$P_{\delta\delta} = \gamma \cdot h \cdot \left(1 + \frac{n \cdot n_2}{n_1 + n_1'} - f \cdot ctg\alpha \right). \quad (6.69)$$

Если зависание отсутствует, то удельная нагрузка от непосредственной кровли на крепь будет постоянной по ширине призабойного пространства

$$P_{\delta\delta} = \gamma \cdot h \cdot (1 - f \cdot ctg\alpha). \quad (6.70)$$

Однако при зависании кровли величина $P_{\delta y}$ может превышать вес непосредственной кровли не только на границе призабойного пространства с выработанным, но и вблизи забоя.

Расчет крепей по средним нагрузкам не будет в данном случае соответствовать действительной эпюре нагрузок. Для облегчения расчетов удельных нагрузок, оказываемых непосредственной кровлей в зависимости от параметров ее разрушения и горнотехнических факторов построена номограмма (рис. 6.15). Схема расчета показана пунктирной линией.

Анализируя номограмму, отметим, что максимальные величины удельных нагрузок в большой степени зависят от горнотехнических факторов – ширины поддерживаемого пространства и числа зависших блоков. Пределы изменения параметров, входящих в расчетную формулу, приняты в соответствии с возможным их изменением на практике. При построении номограммы часть величин (γ , α и f), входящих в формулу (6.69), приняты постоянными ($\gamma = 2,5$ кН/м³; $\alpha = 65^\circ$; $f = 0,7$), так как они изменяются в незначительных пределах. При существенном их изменении это необходимо учесть в формуле (6.69). Короткоблочное разрушение основной кровли значительно осложняет поддержание кровли из-за особенностей взаимодействия ее с непосредственной, а последней – с крепью. При образовании нового блока основной кровли дополнительная пригрузка от него и лежащих над ним блоков в первый период может передаваться только через передний блок непосредственной кровли. В этом случае на крепь, установленную под первым блоком, будут воздействовать огромные удельные нагрузки. Удержать кровлю от смещений в этот период практически невозможно. Пока не созданы крепи, способные выдержать подобные нагрузки. Убедительным доказательством действия в этот период больших удельных нагрузок является частый срез краевой части пласта, когда трещины опережают линию забоя.

Величина удельной нагрузки на крепь в начальный период образования нового блока основной кровли без учета опоры первого блока непосредственной кровли на забой определится из формулы

$$P'_{i0} = (P_i + P_i) \cdot \frac{1 - f \cdot ctg\alpha}{l} \quad (6.71)$$

или с учетом значений P_n и P_o по формулам (6.47) и (6.65)

$$D'_{i0} = \left[\gamma \cdot h \cdot l \cdot \left(1 + \frac{n_2}{n_1 + n_1^2} - f \cdot ctg\alpha \right) + \frac{Q_1 \cdot h_1 \cdot f_1}{2 \cdot l_1 \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha} \cdot \left(\frac{f}{\sin^2\alpha} - ctg\alpha \right) + \sum_1^m Q_i \cdot (1 - A)^m \right] \cdot \frac{1 - f \cdot ctg\alpha}{l} \quad (6.72)$$

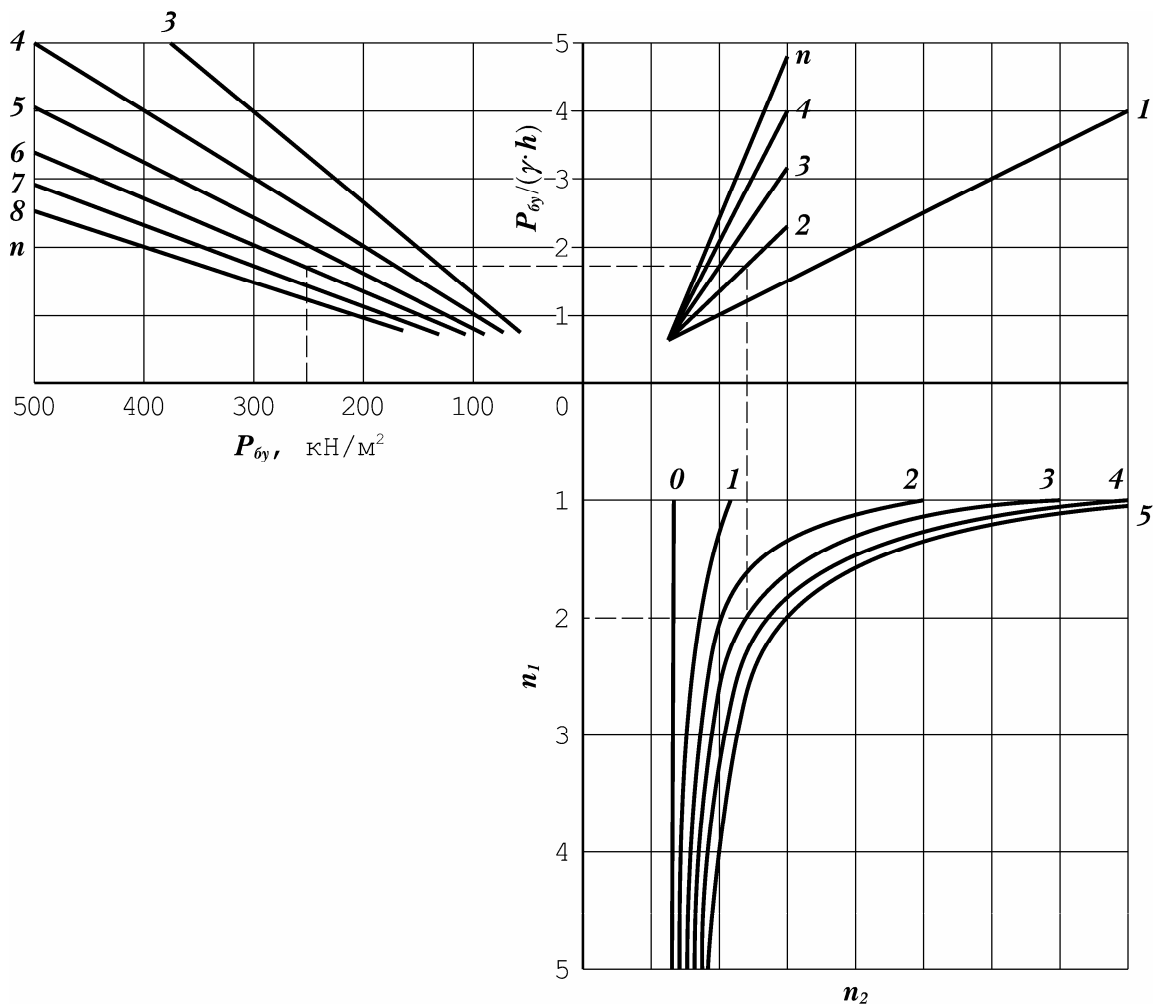


Рис. 6.15. Номограмма для определения величины удельной нагрузки от непосредственной кровли

Подсчет величины $D'_{i\delta}$ по формуле (6.72) для реальных условий показывает, что она может достигать в этот период 1500-2500 кН/м².

Пригрузки от основной кровли должны восприниматься всей призабойной крепью, хотя при этом будут наблюдаться проседания кровли по линии забоя.

Уменьшению вредного влияния больших удельных нагрузок вблизи забоя способствует то обстоятельство, что при смещении кровли происходит перераспределение сил в системе блоков. Совместное действие этих факторов (увеличение сопротивления крепи, реакция забоя и перераспределение сил в системе блоков) приводит к новому состоянию равновесия. Это подтверждается тем, что при значительных смещениях кровли, даже со срезом кромки пласта, дальнейшая выемка угля (снятие реакции забоя) часто не приводит к дальнейшему опусканию кровли.

Роль крепи в этих условиях сводится не к предотвращению образования закола, а к уменьшению смещения кровли по нему.

Удельные нагрузки на призабойную крепь резко уменьшатся, как только вся крепь начнет воспринимать пригрузку от основной кровли:

$$P_{i\delta}'' = \left[\gamma \cdot h \cdot \left(1 + \frac{n \cdot n_2}{n_1 + n_1^2} - f \cdot ctg\alpha \right) + \frac{P_0}{n_3 \cdot l} \right] \cdot (1 - f \cdot ctg\alpha), \quad (6.73)$$

где n_3 – число блоков непосредственной кровли, через которые передается пригрузка от основной кровли.

При $n_3 = n_1$ удельная нагрузка будет минимальной.

Теперь рассмотрим случай, когда крепь вместе с подвиганием забоя будет перемещаться относительно первого опорного блока непосредственной кровли. По мере подвигания забоя величина n_3 будет уменьшаться, а удельная нагрузка на крепь – возрастать. Наступит момент, когда вся пригрузка от основной кровли снова будет передаваться через один опорный блок, который будет последним среди поддерживаемых. Величина $P_{i\delta}''$ достигнет максимального значения на границе поддерживаемого пространства с выработанным. Очевидно, что сопротивление крепи по посадочному ряду должно обеспечить равновесие системы и предотвратить зажатие крепи на границе призабойного пространства с выработанным.

Величина удельной нагрузки на крепь изменится в широких пределах. Вместе с тем фактическое сопротивление крепи в призабойном пространстве также не остается постоянным. Поэтому могут возникнуть ситуации (и они возникают), когда в моменты действия в каком-либо месте поддерживаемого пространства максимальных удельных нагрузок сопротивление крепи может оказаться минимальным. Это неизбежно приведет к повышенным смещениям кровли, деформации крепи и завалу лавы. Поэтому задача заключается в том, чтобы максимальное сопротивление крепи соответствовало месту и времени действия максимальных нагрузок.

Выводы по разделу 6

1. Динамика взаимодействия секции механизированной крепи с основной кровлей может выражаться в том, что в момент обрушения очередного блока породы основной кровли наносят удар по непосредственной кровле, что приводит к гидравлическому удару в гидросистеме гидростоек.

2. При расчете крепи необходимо учитывать, что суммарная реакция данной секции возрастает в 1,5 раза в момент передвижки соседней и в этот момент нельзя исключить выход из строя передней гидростойки.

3. Увеличение угла падения не меняет качественной стороны процессов деформаций и разрушений пород кровли в сравнимых условиях. Основной особенностью расчетов крепи очистных забоев при разработке крутонаклонных и крутых пластов является разложение сил веса пород кровли на нормальные и продольные составляющие.

4. Наиболее тяжелые условия нагружения крепи будут иметь место при влиянии осадок основной кровли.

5. Плавное опускание пород кровли, наблюдаемое при однородных породах большой мощности, разбитых наклонными трещинами, является подтверждением наличия больших сил распора. Важным условием для зависания кровли является возможность возникновения сил распора в системе, то есть наличие сравнительно прочных пород.

6. Нагрузка на крепь зависит от числа зависших блоков, их длины, места установки крепи и ширины поддерживаемого пространства. Определение нагрузок, действующих на крепь, установленную под любым блоком поддерживаемого пространства, позволяет дифференцировать расчетные нагрузки по ширине призабойного пространства и более глубоко разобраться в процессе взаимодействия трудноуправляемых кровель с крепью.

7. Наиболее тяжелыми, с точки зрения работы крепи, будут условия, когда плоскость наклонной трещины будет одной и той же для нескольких рядов блоков. Подобные условия могут возникнуть не только при одинаковых размерах по простиранию, но и при различных. При этом поверхность трещины можно сравнить с поверхностью геологического нарушения.

Литература к разделу 6

6.1. Борисов А.А., Кайданов Н.Н., Лабазин В.Г. Расчеты опорного давления при плавном опускании кровли //Изв. ВУЗов. Горный журнал. – 1977. – №10. – С. 18-21.

6.2. Борисов А.А. Поля напряжений в литосфере и оценка устойчивости выработок //Физические процессы горного производства. Управление горным давлением: Сб. научн. трудов. – Ленинградский горный ин-т. – Л. – 1984. – С. 6-10.

6.3. Основы геомеханики горных массивов /А.А.Борисов. Ленинградский горный институт. – Л. – 1989. – 93 с.

6.4. Глушихин Ф.П. Трудноуправляемые кровли в очистных забоях. – М.: Недра, 1974. – 192 с.

6.5. Глющинский В.Г. Горное давление на пологий угольный пласт в окрестностях выработки //Уголь. – 1957. – №6. – С. 8-10.

РАЗДЕЛ 7. ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ НА СТАДИИ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

7.1. Выбор и обоснование рациональных значений сопротивления секций и коэффициента начального распора гидростоек

На процесс взаимодействия механизированной крепи с углевмещающими породами и на эффективность выполнения крепью основных функций по поддержанию и управлению кровлей оказывают наиболее существенное влияние следующие параметры и характеристики:

- среднее удельное сопротивление на 1 м^2 поддерживаемой площади P_n , кН/м²;
- удельное сопротивление на 1 м длины лавы (забоя) P_l , кН/м;
- коэффициент начального распора K_n ;
- распределение сопротивления крепи по ширине поддерживаемого рабочего пространства в лаве, характеризующееся эпюрой давления на перекрытие от кровли;
- удельное сопротивление на конце передней консоли перекрытия P_k , кН/м.

Указанные параметры могут использоваться также как единичные критерии, характеризующие качество функционирования отдельных подсистем крепи.

На процесс взаимодействия крепи с боковыми породами, на технико-экономические показатели работы очистных комплексов и агрегатов оказывают влияние и другие параметры: характеристики стоечных предохранительных клапанов; характеристики механизмов подпора и механизмов перемещения; шаг передвижки секций; скорость крепления (подвигания забоя); конструкция и силовые параметры секций крепи; параметры систем гидропривода механизированной крепи и др.

Исходными отправными положениями для установления рациональных значений удельного сопротивления крепи являются закономерности и особенности, относящиеся к взаимодействию механизированных крепей с породами кровли.

Если в выражении $U_I = 112 + 102 \cdot P_i^{-1}$ опускание кровли U_I подставить в метрах, а удельное сопротивление крепи P_n – в кН/м^2 , то связь между P_n и U_I можно представить в виде:

$$P_i = \frac{102}{U_I - 0,112}, \text{ кН/м}^2. \quad (7.1)$$

Выражение (7.1), установленное экспериментальным путем может быть записано в виде:

$$P_\delta = \frac{102}{H_{r\delta} - 0,112}, \quad (7.2)$$

где P_p – рациональное сопротивление крепи для пласта мощностью m (м) при допустимом (по состоянию кровли) прогибе кровли H_{np} (м), кН/м^2 .

Для определения вида функции, по которой изменяется необходимое рациональное сопротивление крепи в зависимости от мощности пласта m_i и класса кровли необходимо ввести критерий, определяющий класс кровли по управляемости

$$f(m_i) = \frac{m_i - H'}{K_p - 1}, \quad (7.3)$$

где H' – предельно допустимый прогиб кровли в пределах призабойного пространства при мощности пласта m_i ;

K_p – коэффициент разрыхления пород непосредственной кровли в сопряженном с призабойным пространством обрушенном массиве.

Для пласта с конкретной мощностью m_0 выражение (7.3) примет следующий вид

$$f(m_i) = \frac{m_i - H'}{K_p - 1}. \quad (7.3)$$

Критерий, отражаемый формулами (7.3) и (7.4), устанавливает зависимость минимальной необходимой мощности пород непосредственной кровли от мощности пласта для оценки граничной зоны наличия резких осадок основной кровли.

С учетом введенного критерия, характеризующего класс кровли по управляемости, необходимое сопротивление крепи для пласта мощностью m_i определяется из выражения

$$D_{i m_i} = P_i \cdot \frac{f(m_i)}{f(m_0)} = \frac{102 \cdot (m_i - H') \cdot (K_p - 1)}{(H' - 0,112) \cdot (K_p - 1) \cdot (m_0 - H')}. \quad (7.5)$$

Средние значения K_p и H' для пластов разной мощности приведены в [3.1].

По выражению (7.5) можно определить рациональное сопротивление механизированных крепей поддерживающего и поддерживающе-оградительного типов для пластов различной мощности с кровлями II и III классов. При таком уровне рабочего сопротивления крепи (и достаточном начальном распоре) не происходит активного расслоения непосредственной кровли, а предельные значения прогиба нижних слоев основной кровли H' в призабойном пространстве равны или не превышают допустимых смещений, соответствующих хорошему или удовлетворительному состоянию кровли.

Рассчитанные по выражению (7.5) рациональные значения удельного сопротивления крепей поддерживающего и поддерживающе-оградительного типов для пластов конкретной мощности с тремя классами кровли по управляемости представлены в табл. 7.1. В этой же таблице, для сравнения, приведены значения регламентируемых сопротивлений крепей для легкой и тяжелой кровель.

Анализируя табл. 7.1, отметим, что для пластов мощностью 1-2,5 м значения сопротивления крепи для тяжелых кровель по ГОСТ 28597-90 примерно в 1,08-1,27 раза ниже, чем сопротивления, рекомендуемые для пластов той же мощности с трудноуправляемыми кровлями III класса. Нормы для пластов с легкими кровлями мощностью 1,5-2 м несколько превышают рекомендуемые значения удельных сопротивлений крепи для пластов с кровлями I класса, однако они существенно ниже удельных сопротивлений крепи для кровель II класса.

Таблица 7.1

Рациональные значения сопротивлений крепей

Среднее удельное сопротивление крепи для кровель, кН/м^2	Мощность пласта, м				
	0,7	1,0	1,5	2,0	2,5
I кл.	220	270	340	400	450
II кл.	350	410	530	620	670
III кл.	500	650	830	950	1050
- легких	322	350	387	425	462
- тяжелых	555	600	675	750	825

Удельное сопротивление P_n является важным параметром, однако при обосновании и выборе рациональной конструктивной схемы секций крепи и их силовых параметров необходимо знать общее нагружение секций крепи со стороны углевмещающего массива P_c (кН), а также удельное сопротивление крепи P_n на 1 м длины лавы. При условии сохранения постоянным и равным среднему рациональному значению P_n (кН/м²) сопротивления крепи по всей ширине l (м) поддерживаемого призабойного пространства и по длине лавы при шаге расстановки секций t (м) необходимое общее сопротивление секции крепи определяется из выражения

$$P_{\bar{n}} = P_n \cdot l \cdot t, \text{ кН},$$

а удельное сопротивление на 1 м длины лавы, как

$$P_{\bar{e}} = \frac{P_{\bar{n}}}{t}, \text{ кН/м}.$$

На рис. 7.1, а изображены графики зависимостей (7.5) для трех классов кровли по управляемости, а на рис. 7.1, б – графики зависимости $P_{\bar{e}} = f(m)$ для кровель II и III классов по управляемости при $l = 4$ м.

Приведенные в табл. 7.1 и на рис. 7.1 значения удельных сопротивлений крепи относятся к крепям с относительным начальным распором 0,5 и с конструктивными схемами секций не полностью отвечающими критерию рациональности. При передвижке секций крепи с активным подпором, при устранении штыбонакоплений перед секциями с рациональной конструктивной схемой, сопротивление крепи может устанавливаться на 10-15% ниже.

Пониженные, в сравнении с приведенными в табл. 7.1, значения рабочего сопротивления крепи могут приниматься и в случае, когда коэффициент начального распора устанавливается и выдерживается на уровне 0,7-0,8.

Механизированные крепи, применяемые в комплексно-автоматизированных забоях (КАЗ), в том числе и в составе выемочных агрегатов, а также крепи очистных механизированных комплексов для выемки тонких пластов, должны обладать "избыточностью основных параметров" с целью повышения надежности работы как самой крепи, так и всего оборудования комплексно-механизированных или комплексно-автоматизированных забоев. Избыточность параметров может быть обеспечена двумя способами: повышением номинального сопротивления крепи и начального ее распора, причем более эффективным может быть второй способ.

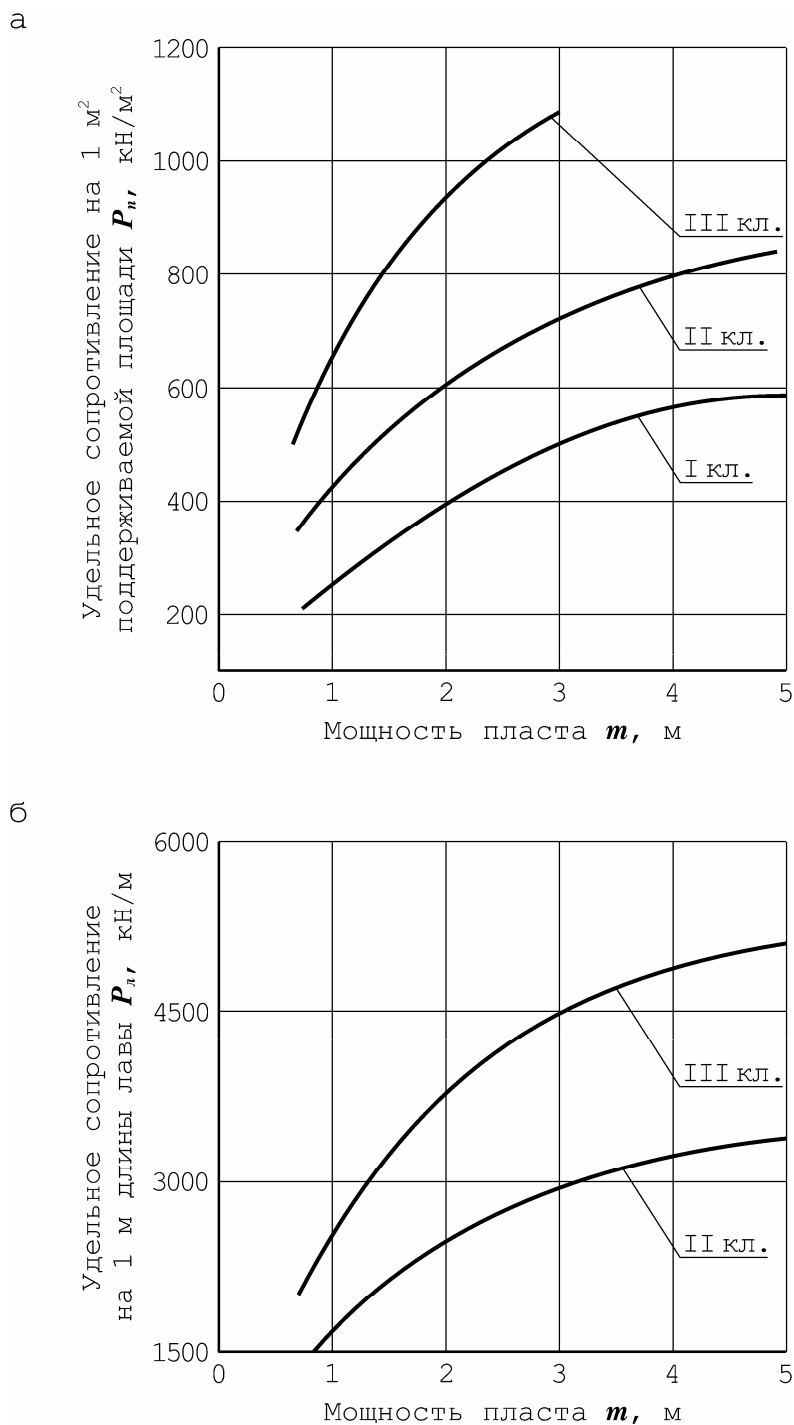


Рис. 7.1. Графики зависимостей удельных сопротивлений крепи P_n (а) и P_l (б) от мощности пласта и класса кровли

В принципе эти способы повышения технического уровня механизированных крепей нового поколения приняли характер устойчивых тенденций. Это позволяет ввести понятие о "новых функциях" механизированных крепей с избыточными параметрами, при которых можно целенаправленно управлять состоянием горного массива так, что устойчивость кровли в лаве будет определяться не только свойст-

вами пород кровли, но и в значительной степени процессами выемки и крепления. Однако создание крепей с избыточными параметрами и мера избыточности должны дополнительно обосновываться как технически, так и экономически.

При разработке ТЗ на создание механизированных крепей нового технического уровня для очистных комплексов и агрегатов можно воспользоваться зависимостями необходимого удельного сопротивления механизированной крепи поддерживающе-оградительного типа. Графики этих зависимостей для различной мощности пластов с кровлями различных классов по управляемости приведены на рис. 7.2. Кривые 1, 2, 3 относятся к комплексно автоматизированным очистным забоям с кровлями соответственно: I-го, II-го, III-го классов по управляемости. Графики 1', 2', 3' характеризуют зависимость необходимого сопротивления механизированной крепи от мощности пласта в комплексно-механизированных очистных забоях для легко-, средне- и трудноуправляемых кровель при коэффициенте начального распора 0,75-0,8.

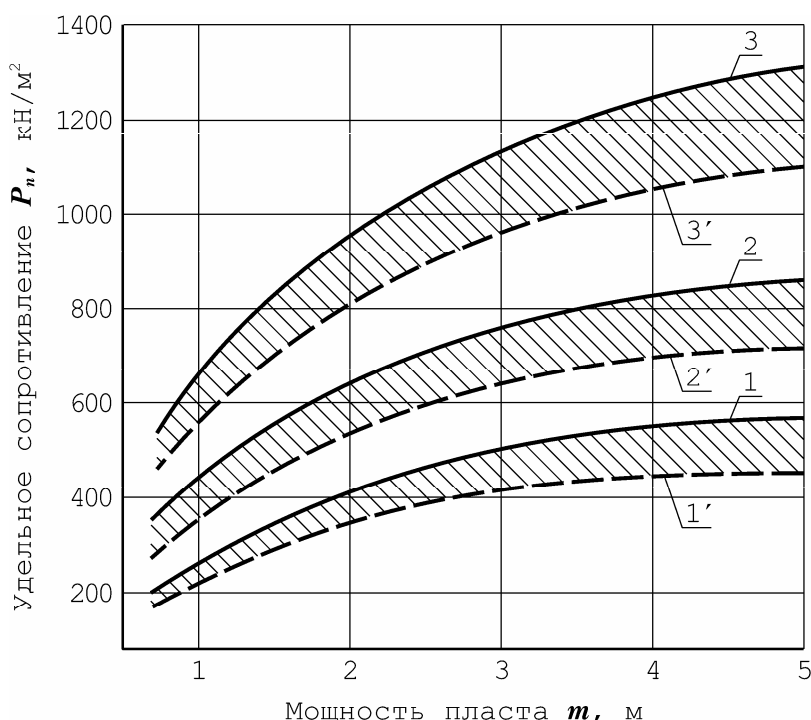


Рис. 7.2. Графики зависимостей необходимой величины удельного сопротивления механизированной крепи от мощности пласта

При этом следует иметь в виду, что установленные по указанным выше зависимостям значения удельного сопротивления крепи можно рассматривать как максимальные и в определенной степени

избыточные. Другими словами, это значения удельного сопротивления крепи, необходимые для наиболее неблагоприятных условий работы с точки зрения интенсивности проявлений горного давления.

При наличии в структуре горного массива непосредственной кровли, представленной легко- и среднеобрушающимися породами, когда обеспечивается эффект подбучивания основной кровли, необходимое рабочее сопротивление крепи может быть ниже в соответствии со значением коэффициента снижения, зависящим от коэффициента подбучивания основной кровли.

7.2. Обоснование рациональных значений коэффициента начального распора гидростоек крепи и удельного сопротивления на конце передней консоли перекрытия секции

Весьма важным силовым параметром механизированной крепи является коэффициент начального распора. Его величина определяет в значительной степени продолжительность работы механизированной крепи в режиме нарастающего сопротивления, и качество взаимодействия крепи с породами кровли.

Известно, что при установке крепи с достаточно большим начальным распором происходит сжатие отдельных слоев породной консоли, предотвращается их расслоение и значительно увеличивается сопротивление ее изгибу, так как вместо деформации отдельных слоев наблюдается совместная их работа, что позволяет поддерживать в удовлетворительном состоянии нижние слои кровли.

Для обеспечения эффективного и надежного выполнения крепью своих функций в течение каждого полного цикла ее работы необходимо, чтобы фактическая характеристика системы "кровля – механизированная крепь - почва" была бы максимально близкой к проектной рабочей характеристике механизированной крепи, чему способствует повышение начального распора. При этом необходимо учитывать особенности взаимодействия крепи с горным массивом на всех этапах рабочего цикла, а также особенности конструкции и податливости гидростоек.

При установке крепи с низким (0,25) коэффициентом начального распора конвергенция (сближение) пород кровли и почвы в начальный период может превышать упругую податливость крепи в 3-6

раз. При этом, естественно, не может быть обеспечено эффективное поддержание кровли в призабойном пространстве. Известно также, что отношение податливости крепи к суммарному сближению пород кровли и почвы при начальном распоре рекомендуется принимать не менее 0,5, что может быть достигнуто при коэффициенте начального распора, начиная примерно со значений 0,5-0,7.

Таким образом, исходя из условий рационального взаимодействия крепи с боковыми породами при установке ее и работе в режиме нарастающего сопротивления целесообразно принимать $K_n \geq 0,6-0,7$.

При работе механизированной крепи на пластах с трудноуправляемыми кровлями (III класс) нагружение гидростоек крепи периодически изменяется от плавного (соответствующего монотонному опусканию кровельной толщи) до резкого (динамического) в периоды резких осадок основной кровли. Амплитуды скачков давления в полостях гидростоек зависят при прочих равных условиях как от номинального сопротивления крепи, так и от величины начального распора. При повышении номинального сопротивления крепи и начального ее распора динамичность нагружения снижается. При этом повышение начального распора с целью снижения динамичности нагружения механизированной крепи в 1,5-2,0 раза эффективнее, чем увеличение номинального сопротивления крепи.

На стадии резких осадок кровли часть гидростоек может работать в режиме "постоянного" сопротивления, а другая часть – в режиме нарастающего сопротивления (после передвижки и распора). Для выравнивания реакции всех гидростоек механизированной крепи на изменение скорости опускания пород кровли в процессе хрупкого их разрушения, желательно чтобы все стойки работали в режиме постоянного сопротивления. Приближение к такому режиму обеспечивается повышением коэффициента начального распора до 0,8-0,9. Более высокие значения K_n не целесообразно назначать с точки зрения обеспечения необходимых показателей ресурса и герметичности сточных предохранительных клапанов.

При назначении величины начального распора необходимо учитывать значительную зависимость податливости гидростоек с различным числом ступеней от коэффициента начального распора. При низких значениях K_n податливость многоступенчатых гидростоек может в несколько раз превышать податливость одноступенчатых стоек. Поэтому при прочих равных условиях для крепей с многоступенчатыми гидростойками (применяются для тонких пластов с пере-

менной мощностью) целесообразно устанавливать более высокие значения $K_n \geq 0,8-0,9$. Для крепей с гидростойками одинарной раздвижности $K_n = 0,6-0,7$.

Для снижения отрицательного эффекта "топтанья" кровли остаточный подпор при передвижке секции крепи желательнее было бы сохранять на уровне начального распора. Однако при этом необходимы весьма высокие усилия передвижки, трудно технически реализуемые.

Силовые параметры механизированной крепи P_n , кН/м², P_l , кН/м, $P_c = P_n \cdot l \cdot t$, кН, а также K_n характеризуют средние значения сопротивления крепи опусканию кровли в пределах поддерживаемого пространства. Вместе с тем, для оценки эффективности выполнения механизированной крепью функций по поддержанию кровли, обеспечения ее целостности и рациональности использования конструктивных и силовых параметров секций крепи необходим анализ распределения сопротивления крепи по ширине поддерживаемого пространства, то есть по длине перекрытий.

Процессы формирования активного горного давления на механизированную крепь и ее реакции опусканию кровли весьма сложны, а закон распределения сопротивления крепи по ширине поддерживаемого пространства (по длине перекрытий) существенно зависит не только от свойств боковых пород, но и от свойств и характеристик самой крепи: в том числе от конструктивных и жесткостных характеристик перекрытия, проектно-компоновочной схемы секции, количества и расположения гидростоек (опор) и их силовых характеристик (сопротивления и грузоподъемности). Поэтому одной из важных задач при проектировании механизированных крепей высокого технического уровня является анализ возможных законов распределения сопротивления крепи по ширине поддерживаемого пространства и обоснование технических решений, обеспечивающих рациональное (наиболее выгодное) распределение нагрузки по длине перекрытий при взаимодействии их с кровлями различных классов по управляемости при выбранной проектно-компоновочной схеме секций крепи и принятых силовых параметрах. Актуальность решения рассматриваемой задачи подтверждается опытом создания, результатами эксплуатации, исследования и совершенствования механизированных крепей с перекрытиями различной конструкции. Исчерпывающего решения указанной задачи автору данной работы не известно, поэтому рассмотрим ниже возможные методические подходы, допущения

и отдельные наиболее интересные результаты, которые могут быть использованы в той или иной мере при проектировании механизированных крепей высокого технического уровня.

В работе [2] рассмотрен аналитический метод расчета номинально жестких перекрытий механизированных крепей поддерживающего типа как балки на упругом основании при следующих допущениях:

- предполагается сплошной контакт перекрытия с породой кровли;
- породы кровли по всей площади контакта имеют постоянные механические свойства;
- перекрытие (балка) с постоянной по длине изгибной жесткостью нагружено двумя сосредоточенными силами, равными каждому номинальному сопротивлению гидростойки;
- расчет балки на упругом основании заменяется расчетом балки на упругих опорах.

Задачей расчета являлось определение интенсивности (распределения) нагрузок от стоек по длине перекрытия (на примере крепи М100). В результате расчета установлено, что при взаимодействии перекрытия с монолитной кровлей (с постоянными в пределах контакта модулем упругости и коэффициентом Пуассона) по длине перекрытия формируются как положительные, так и отрицательные нагрузки. Положительные нагрузки в пределах межстоечного пространства и примыкающих к нему участков перекрытия определяют область активного его взаимодействия с кровлей. Отрицательные нагрузки на двух смежных участках призабойной консоли свидетельствуют о возможности упругого отхода этой части перекрытия от кровли, что способствует формированию в кровле растягивающих напряжений, нарушению ее сплошности и вывалообразованию.

Важным выводом из этой работы, подтвержденным практикой эксплуатации крепей типа М100, М97, а также отдельных конструкций перекрытий с удлиненной призабойной консолью, является установленный факт нерационального распределения нагрузки по длине перекрытия в секциях крепей некоторых конструкций, что свидетельствует о несоответствии их рекомендациям [3] об обеспечении на конце передних консолей перекрытий современных крепей удельного сопротивления $P_k \geq 50$ кН/м.

Существенным недостатком рассмотренного выше подхода является чрезмерная идеализация процесса взаимодействия перекрытия

крепи с породами кровли. При этом не учитывается механизм формирования внешней нагрузки, обусловленный в общем случае как изменениями напряженно-деформированного состояния пород кровли, так и степенью использования упругой податливости и рабочего сопротивления механизированной крепи.

В ряде работ этот недостаток частично устранен. Проявления горного давления на крепь предлагается учитывать эпюрой внешних сил в виде трапеции, параметры которой определяются из условия, что внешняя активная нагрузка создается весом пород, утративших собственную устойчивость. Так, в разработанной методике [4] анализ силового взаимодействия механизированной крепи с боковыми породами, с учетом изменчивости сопротивления крепи по ширине поддерживаемого пространства, приняты следующие допущения:

- с боковыми породами перекрытие и основание секции контактируют по их номинальным поверхностям;
- перекрытия и основания считаются абсолютно жесткими;
- на перекрытие крепи действует горное давление, обусловленное только силой тяжести пород кровли, потерявших собственную устойчивость. Распределение удельного усилия от горных пород по длине перекрытия (ширине рабочего пространства) можно представить в виде трапеции или заменить сосредоточенной равнодействующей силой Q ;
- суммарное сопротивление двух стоек $P > Q$ и приложено к перекрытию снизу в точке, делящей пополам межстоечное расстояние.

С учетом принятых допущений рассматриваются условия равновесия перекрытия под действием указанных сил при различных параметрах трапециевидной эпюры и возможных соотношениях между внешней нагрузкой Q и рабочим сопротивлением секции P_c , на основании чего делается вывод о коэффициенте полезного использования рабочего сопротивления крепи $\eta_e = Q/P_n$.

Следует отметить, что данная методика позволяет приближенно оценить коэффициент полезного использования рабочего сопротивления крепи только при заданных или прогнозируемых параметрах трапециевидной эпюры внешней нагрузки для конкретных параметров и конструктивных схем секций крепи при условии, что внешняя нагрузка меньше номинального рабочего сопротивления крепи.

Наиболее обоснованными рекомендациями по виду и параметрам внешней нагрузки на крепь можно считать, по нашему мнению,

научно-методические положения работы [1]. Согласно указанным положениям подтверждается формирование внешней нагрузки на крепь в форме трапецевидной эпюры, параметры которой отображают граничные условия формирования зон предельного состояния пород кровли в призабойном пространстве над крепью. Другими словами, эпюру внешней нагрузки предлагается рассматривать как результат взаимодействия пород кровли с крепью. Оценку возможных конструктивных схем секции крепи можно получить на основе сопоставления общего рабочего сопротивления крепи и его распределения по ширине призабойного пространства с аналогичными показателями, обусловленными внешней нагрузкой на крепь со стороны массива горных пород кровли.

Вид обобщенной эпюры внешних нагрузок и расчетная схема для оценки конструктивных схем секций механизированной крепи определенного типа приведены на рис. 7.3.

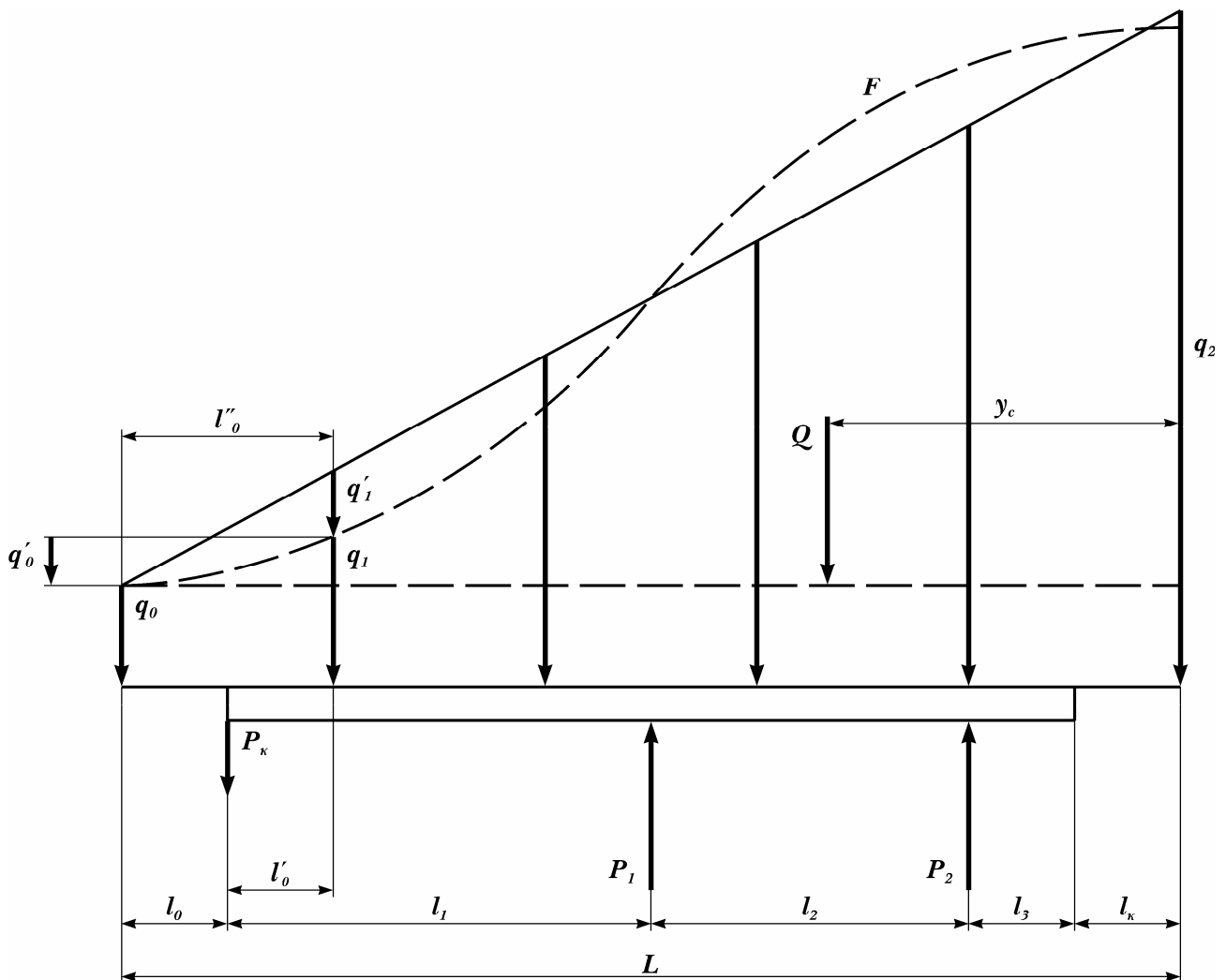


Рис. 7.3. Эпюра внешней нагрузки на крепь поддерживающего типа

Параметры эпюры определяются для пластов различной мощности и кровель различного класса по управляемости. Основные параметры обобщенной эпюры внешних сил следующие:

q_0, q_2 – соответственно призабойная и призавальная ординаты, кН/м²;

$Q = q_{\text{нб}} \cdot L$ – значение равнодействующей внешней нагрузки, кН/м;

L, t – соответственно ширина рассматриваемой эпюры и шаг расстановки секций крепи по длине лавы, м;

$q_{\text{ср}}$ – среднее значение интенсивности внешней активной нагрузки, кН/м²;

y_c – координата центра тяжести эпюры, м;

l_i'' – ширина призабойной полосы кровли, равная ширине захвата выемочной машины B_3 (шагу передвижки секций), м;

l_o – расстояние от призабойной консоли до забоя, м;

l_k – среднемаксимальное значение длины консоли (зависания) кровли за крепью, не потерявшей структурной сплошности в период вторичных осадок (для I, II и III классов кровли по управляемости l_k соответственно равна 0; $0,5 \cdot B_3$ и B_3), м;

P_1, P_2 – удельные рабочие сопротивления первого и второго ряда стоек, кН/м;

P_k – приведенное удельное сопротивление на конце призабойной консоли перекрытия, кН/м;

q_1 – ордината эпюры внешней нагрузки на расстоянии l_i'' от забоя, устанавливается с учетом первого критерия, определяющего класс кровли по управляемости и устойчивости непосредственной кровли, кН/м²:

$$q_1 = \frac{\gamma \cdot h_{mi}}{K_y}, \quad (7.6)$$

где γ – удельный вес пород непосредственной кровли, кН/м³;

h_{mi} – граничная мощность пород непосредственной кровли, определяющая зону возможного их расслоения.

K_y – коэффициент устойчивости пород непосредственной кровли (для неустойчивой, среднеустойчивой и устойчивой кровли K_y равен соответственно 1; 1,5; 2,25).

По значению ординаты q_1 определяется значение $q_i = q_1 - q'_i \approx 0,7 \cdot q_1$, а также ординаты q_2 (q'_i – возможная дополнительная нагрузка на непосредственную кровлю со стороны массива без потери его сплошности).

В общем случае закон изменения ординат эпюры может отличаться от линейного (кривая F), однако для упрощения расчетов с приемлемой точностью эпюру внешних сил целесообразно принимать в виде трапеции с параметрами, зависящими от класса кровли, типа и конструктивной схемы секций крепи.

Рассмотренная выше обобщенная эпюра внешней нагрузки принимается в качестве исходной при составлении расчетной схемы для оценки рациональности той или иной конструктивной схемы секции крепи и принятых силовых параметров.

Важной составной частью проблемы обеспечения сплошности и прочности непосредственной кровли, для передачи ею сопротивления механизированной крепи вышележащим слоям основной кровли, является задача обеспечения надежного поддержания и сохранения целостности непосредственной кровли в призабойном пространстве. Эта задача решается как путем обеспечения рационального распределения сопротивления крепи по ширине поддерживаемого рабочего пространства, так и за счет создания необходимого сопротивления на призабойных консолях перекрытий, с целью недопущения вывалообразования неустойчивых пород кровли. Как показывают исследования и опыт эксплуатации механизированных крепей, вывалообразования формируются, в основном, в призабойной полосе кровли: на участок шириной 0,5-0,6 м приходится до 50-60% общей площади и объема вывалов, а на призабойную полосу кровли шириной 1,0-1,2 м – до 75-85%.

Таким образом, весьма актуально обеспечить именно в этой зоне активное поддержание пород непосредственной кровли с необходимым сопротивлением, что требует применения перекрытий с управляемыми передними консолями.

Удельное сопротивление на конце передней консоли перекрытия P_k , кН/м – это отношение максимальной в пределах упругой деформации несущих элементов перекрытия нагрузки, приложенной в ближайшей к забою точке, отстоящей от линии возможного контакта с кровлей на конце передней консоли перекрытия не более 50 мм, к шагу установки t секций крепи при рабочем сопротивлении гидростоек и опоре жесткой части перекрытия на кровлю в двух крайних точках возможного контакта с кровлей.

Под жесткой частью перекрытия понимается:

- для перекрытий с поджимными консолями, управляемыми от гидростоек – базовая часть перекрытия совместно с призабойной консолью. Это обусловлено формированием между указанными элементами жесткой связи после выбора хода рычагов связи передних стоек с поворотной консолью в режиме "постоянного" сопротивления;
- для перекрытий с поджимными консолями, управляемыми специальными гидроцилиндрами, и перекрытий с рессорными консолями – базовая часть перекрытия.

В соответствии с [3] для разрабатываемых крепей следует обеспечить значения P_k не менее 50 кН/м.

Рассмотрим более подробно результаты исследований [1], которые позволяют устанавливать рациональные значения P_k для разных классов кровель и различных мощностей пластов. Согласно данным этой работы необходимую величину удельного (на единицу площади) сопротивления P_{kmi} призабойной консоли перекрытия механизированной крепи можно рассчитать из условия предотвращения отслоений непосредственной кровли за счет надежного прижатия ее к основной кровле по зависимости

$$P_{\hat{e}mi} = \frac{h_{mi} \cdot \gamma_i \cdot K \cdot P_i}{P_{i\delta}}, \text{ кН/м}^2, \quad (7.7)$$

где h_{mi} – мощность поддерживаемой непосредственной кровли на пласте мощностью m_i (h_{mi} находится с учетом первого критерия, определяющего класс кровли по управляемости), м;

γ_i – плотность пород непосредственной кровли, кН/м³;

K – коэффициент концентрации напряжений (для кровель I и II классов $K=1$, для кровель III класса $K=1,25$);

P_{np} – удельное сопротивление на 1 м² поддерживаемой площади при давлении начального распора, кН/м²;

P_n – удельное номинальное сопротивление крепи на 1 м² поддерживаемой площади, кН/м².

Если в выражении (7.7) представить h_{mi} в виде

$$h_{mi} = \frac{H'_{mi} - m_{mi}}{1 - K_{\delta mi}},$$

что соответствует минимально необходимой мощности легкообрушающейся кровли для предотвращения резких осадков основной кровли, то получим значения P_{kmi} , соответствующие граничным ус-

ловиям по первому критерию (при отнесении кровли к тому или иному классу по управляемости).

Среднее значение удельных сопротивлений призабойных консолей для пластов различной мощности с кровлями II и III классов при коэффициентах начального распора 0,5 и 0,8 приведены в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Необходимые удельные сопротивления призабойных консолей перекрытий механизированных крепей

Мощность пласта, м		1		2		3	
Коэффициент начального распора		0,5	0,8	0,5	0,8	0,5	0,8
Удельное сопротивление P_{kmi} , кН/м ² , для кровель	II класса	220	140	320	200	380	240
	III класса	270	180	400	250	470	300

Анализ данных табл. 7.2. показывает, что на величину необходимого удельного (на единицу площади) сопротивления призабойных консолей существенное влияние оказывает относительный начальный распор механизированной крепи: при увеличении K_n в 1,6 раза необходимое значение удельного сопротивления снижается практически в той же мере.

Приведенные в табл. 7.2. значения P_{kmi} можно рассматривать как исходные данные для определения конструктивных и силовых параметров консолей. На рис. 7.4 в качестве примера показана упрощенная расчетная схема для призабойной консоли, управляемой гидропатроном. Упрощение заключается в том, что вместо полной расчетной схемы рассматривается лишь призабойная консоль, взаимодействующая с забойной стороны с базовой частью перекрытия. Поэтому приведенные ниже результаты установления параметров связи поджимной консоли с базовой частью перекрытия следует рассматривать как оценочные.

Эюра распределенной по площади призабойной консоли нагрузки q , кН/м², может быть приведена к среднему значению \bar{q} , кН/м². Последнюю можно определить, используя данные табл. 7.2, из условия равенства $P_{emi} = \bar{q}$.

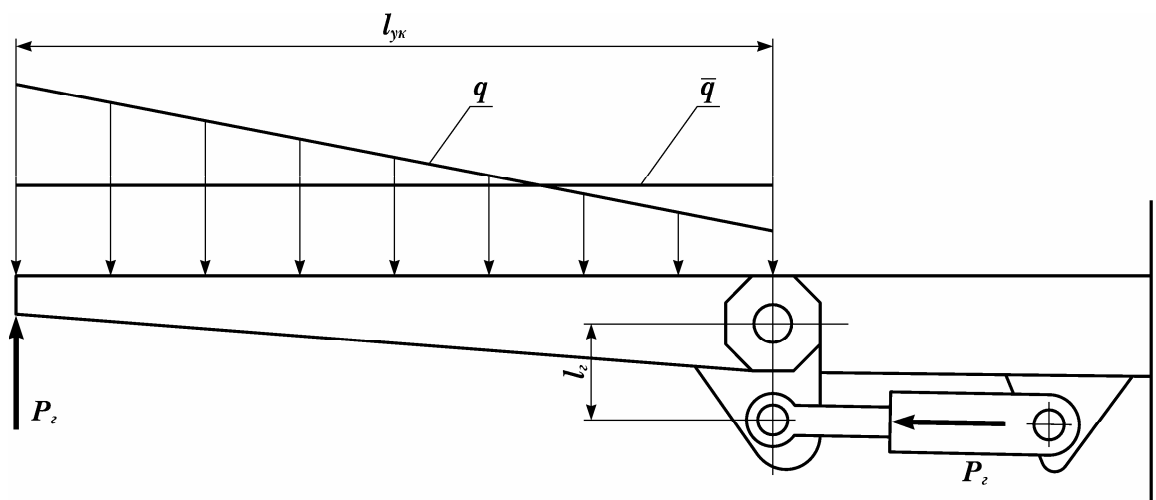


Рис. 7.4. Расчетная схема для определения параметров управляемой консоли перекрытия

Тогда, исходя из равенства

$$P_{\hat{e}} \cdot t \cdot l_{\hat{o}\hat{e}} = P_{\hat{e}mi} \cdot l_{\hat{o}\hat{e}} \cdot t \cdot 0,5 \cdot l_{\hat{o}\hat{e}},$$

можно установить необходимое значение удельного сопротивления, приведенного к концу передней консоли по формуле:

$$P_{\hat{e}} = 0,5 \cdot P_{\hat{e}mi} \cdot l_{\hat{o}\hat{e}}, \quad (7.8)$$

где $l_{ук}$ — длина призабойной гидropоджимной консоли, м;
 t — номинальный шаг установки секций, м.

Не учитывая в первом приближении силы трения в шарнирах, можно записать

$$P_{\hat{e}} \cdot t \cdot l_{\hat{o}\hat{e}} = P_{\hat{a}} \cdot l_{\hat{a}},$$

откуда необходимое значение усилия, развиваемого гидроцилиндром поджатия консоли, определится как

$$P_{\hat{a}} = \frac{P_{\hat{e}} \cdot t \cdot l_{\hat{o}\hat{e}}}{l}, \quad (7.9)$$

где l_2 — плечо силы P_2 , м.

Давление настройки предохранительного клапана $P_{нк}$ для рассматриваемого цилиндра должно удовлетворять следующему условию

$$P_{i\hat{e}} > \frac{P_{\hat{a}}}{S_r},$$

где S_n — площадь поршневой полости гидроцилиндра.

При проектировании рессорных призабойных консолей следует исходить из необходимости обеспечения требуемых значений P_k и достаточных запасов прочности рессор. Поскольку эти факторы антагонистичны, необходимо при выборе параметров упругих консолей использовать компромиссный подход.

7.3. Синтез основных силовых параметров секций крепей при проектировании

Особенности синтеза основных силовых и геометрических параметров секций крепей на основе использования соответствующих критериев качества рассмотрим на примере перспективных щитовых крепей поддерживающе-оградительного типа с компоновочными схемами расположения гидростоек, соответствующими формулами 2+2 и 2+1. Для решения этой задачи представляется целесообразным использовать методику, предложенную в работе [1]. Ниже изложены основные положения этой методики.

Расчетная схема для определения рациональных параметров секций механизированных крепей поддерживающе-оградительного типа приведена на рис. 7.5. В расчетную схему входят рабочая эпюра внешней нагрузки (а), формируемая массивом при предельном состоянии системы "механизированная крепь – кровля", и собственно сама компоновочная схема секции (б). При этом для упрощения анализа и необходимых расчетов эпюру внешних сил целесообразно, как указывается выше, принимать в виде трапеции. На расчетной схеме обозначены:

- q_0, q_2 – соответственно призабойная и призавальная ординаты эпюры внешних сил, кН/м^2 ;
- q_3 – ордината эпюры внешних сил, действующих на ограждение, граничная с массивом, находящимся в предельном состоянии, кН/м^2 ;
- q_4 – ордината эпюры внешних сил, граничная с обрушенным массивом, кН/м^2 ;
- q_1, q_c – ординаты эпюры внешних сил при координатах l_i'' и y_{co} , кН/м^2 ;
- Q – приведенная сила от действия пород кровли на поддерживающую часть перекрытия, кН/м ;
- Q_o – приведенная сила от действия деформированных пород кровли на ограждение секций крепи, кН/м ;
- y_c, y_{co} – координаты центров тяжести соответствующих эпюр, м;
- P_1, P_2 – удельные сопротивления первого и второго ряда стоек крепи соответственно, кН/м ;
- R – равнодействующая удельного рабочего сопротивления секции крепи, кН/м ;
- l_R – координата равнодействующей рабочего сопротивления секции крепи относительно линии забоя, м;

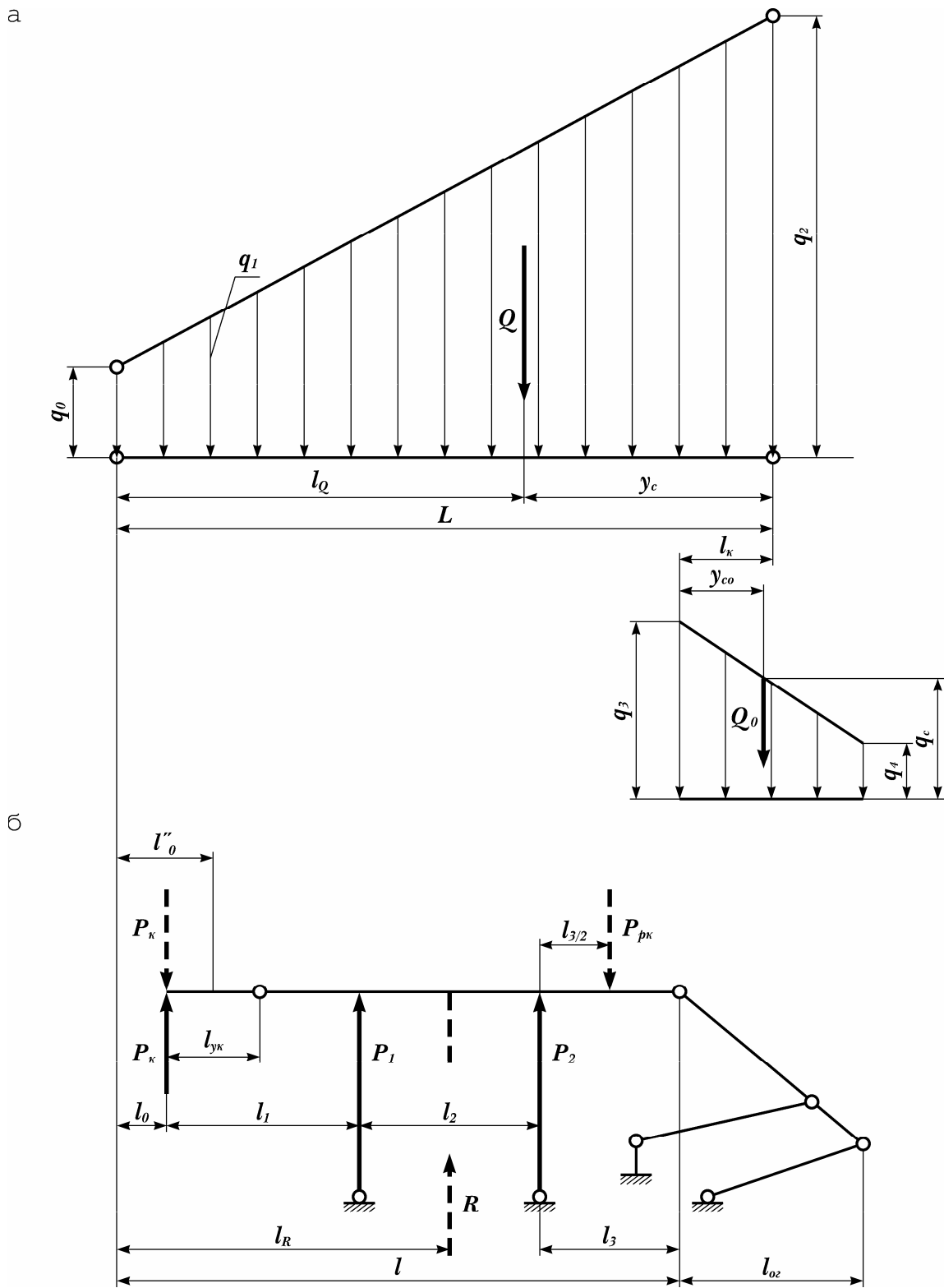


Рис. 7.5. Расчетная схема для синтеза параметров секций крепи

- P_k – приведенное удельное сопротивление на конце призабойной консоли перекрытия, кН/м (сплошной линией – внутренняя для секции сила, штриховой – реакция со стороны кровли при выполнении, например, операции распора ряда передних стоек);
- R_{pk} – реакция отпора пород кровли, кН/м;
- l_i'' – ширина призабойной полосы кровли, равная ширине захвата выемочной машины и шагу передвижки секции, м;
- l_k – среднемаксимальное зависание массива кровли за крепью, не потерявшего структурной сплошности, м;
- $l_{ук}$ – длина призабойного поджимного элемента перекрытия (управляемой консоли), м.

Сущность остальных параметров ясна из расчетной схемы.

Установим физический смысл и источник формирования отдельных параметров рассмотренной расчетной схемы.

К числу исходных силовых параметров, характеризующих горнотехнические условия эксплуатации крепи, относятся величины: Q , Q_0 , q_0 , P_k , определяемые на основании следующих зависимостей:

$$Q = P_i \cdot L; Q_0 = 1,75 \cdot q_4 \cdot l_{i\bar{a}}; q_0 \approx 0,7 \cdot q_1; P_e = 0,5 \cdot P_{emi} \cdot l_{oe},$$

где P_k – необходимое удельное сопротивление механизированной крепи, кН/м² (рис. 7.2);

P_{kmi} – необходимое удельное (на единицу площади) сопротивление призабойной консоли, кН/м² (табл. 7. 2).

Реализуемые значения q_4 в зависимости от класса кровли и мощности пласта определяются в соответствии с [1].

Рассмотрим не характерные, но возможные режимы, когда перекрытие опирается на кровлю на конце призабойной консоли и на базовую часть перекрытия на участке l_3 (реакции кровли на перекрытие соответственно P_k и R_{pk}). Такие режимы могут быть, например, если после предшествующего разрыва контакта между перекрытием и кровлей осуществляется распор только переднего ряда стоек с помощью усилий P_1 . В этом случае в начальный период распора реакция кровли на консоль P_k может обуславливать формирование реакции отпора R_{pk} . За серединой участка l_3 контактные слои пород кровли, как правило, теряют сплошность, поэтому граничную область отпора пород кровли с реакцией R_{pk} следует принимать от второго ряда стоек не далее, чем $0,5 \cdot l_3$. Могут быть и другие ситуации (наличие соответствующих вывалов и др.), обуславливающие рассматриваемые режимы.

В этих случаях гидростойки первого ряда сперва передают перекрытию в зоне этих стоек только часть P_1 , равную $P_{1к}$. Остальная же часть приходится на реализацию усилий P_k и R_{pk} , то есть

$$P_{1\bar{e}} = P_1 - P_{\bar{e}} - P_{\delta\bar{e}}. \quad (7.11)$$

Согласно расчетной схеме, рис. 7.5

$$R_{\delta\bar{e}} = \frac{P_{\bar{e}} \cdot l_1}{l_2 + 0,5 \cdot l_3} = \frac{P_{\bar{e}} \cdot l_1}{2 \cdot l_2 + l_3}.$$

С учетом этого

$$P_{1\bar{e}} = P_1 - P_{\bar{e}} \cdot \frac{2 \cdot (l_1 + l_2) + l_3}{2 \cdot l_2 + l_3}. \quad (7.12)$$

Приведенная методика, безусловно, является приближенной, однако она позволяет получить приемлемые инженерные зависимости оценочного характера при рассмотрении вышеуказанных режимов, носящих в целом второстепенный характер.

Призавальная ордината q_2 эпюры внешних сил определяется независимо от типа механизированной крепи и вида ее конструктивной схемы из уравнения:

$$Q = q_0 \cdot L + 0,5 \cdot L \cdot (q_2 - q_0), \text{ кН/м.}$$

Отсюда

$$q_2 = \frac{2 \cdot Q}{L} - q_0, \text{ кН/м.} \quad (7.13)$$

Координата центра тяжести эпюры внешних сил y_c определяется из уравнения:

$$Q_{y_{\bar{n}}} = q_0 \cdot L \cdot \frac{1}{2} \cdot L + \frac{1}{3} \cdot L \cdot \frac{1}{2} \cdot L \cdot (q_2 - q_0).$$

Отсюда с учетом зависимости (7.13) получим

$$y_c = \frac{L \cdot (q_2 + 2 \cdot q_0)}{3 \cdot (q_2 + q_0)}. \quad (7.14)$$

Далее выполняется оценка количественных критериев качества, отражающих эффективность проектно-компоновочных решений секций крепи с точки зрения поддержания кровли, управления кровлей и рациональности конструктивной схемы секции. При этом I вариант – основной, без учета влияния дополнительной эпизодической пригрузки крепи со стороны ограждения; II вариант – дополнительный, с учетом пригрузки от ограждения.

Рассмотрим первый вариант расчетов. Необходимое сопротивление секции анализируемой механизированной крепи по рядам стоек определяется по зависимостям:

$$P_1 = \frac{Q \cdot (y_{\bar{n}} - l_{\bar{c}} - l_{\bar{e}})}{l_2}; \quad (7.15)$$

$$P_2 = \frac{Q \cdot (l_2 + l_3 + l_{\hat{e}} - y_{\bar{n}})}{l_2}. \quad (7.16)$$

Для оценки эффективности взаимодействия механизированной крепи с массивом кровли вводятся следующие единичные количественные критерии качества.

Коэффициент эффективности поддержания призабойной кровли

$$\eta_{i\hat{e}} = \frac{P'_{\hat{e}}}{q_1} \leq 1, \quad (7.17)$$

где $P'_{\hat{e}}$ – приведенное удельное сопротивление призабойной консоли перекрытия секции на расстоянии от забоя l'_i .

Коэффициент эффективности управления кровлей

$$\eta_{o\hat{e}} = \frac{D_{1\hat{e}} + D_{2\hat{e}}}{D_{1i} + D_{2i}}, \quad (7.18)$$

где P_1 и P_2 – удельные рабочие сопротивления первого и второго ряда стоек, полученные в результате проектно-конструкторских работ (индекс "к") и необходимые (индекс "н") в соответствии с зависимостями (7.15) и (7.16), кН/м.

Коэффициент рациональности конструктивной схемы секции механизированной крепи

$$\Theta = \frac{l_Q - l_R}{l_Q} \cdot 100\%. \quad (7.19)$$

Положение равнодействующей эпюры внешних сил относительно линии забоя находится на основании расчетной схемы (рис. 7.5) по выражению:

$$l_Q = L \cdot \left(\frac{2}{3} - \frac{L \cdot q_0}{6 \cdot Q} \right). \quad (7.20)$$

Положение равнодействующей проектного рабочего сопротивления двухрядных механизированных крепей поддерживающе-оградительного типа в зависимости от их конструктивных схем определено в [1]. Применительно к конструктивной схеме, приведенной на рис. 7.5:

$$l_R = \frac{P_{1\hat{e}}(l_0 + l_1) + P_{2\hat{e}}(l_0 + l_1 + l_2)}{P_{1\hat{e}} + P_{2\hat{e}}}. \quad (7.21)$$

Для двухрядных секций механизированной крепи с наклонным V-образным расположением гидростоек (рис. 7.6) при одинаковом проектном сопротивлении стоек первого и второго рядов ($P_1 = P_2 = P$) и известных конструктивных параметрах (e_1, e_2, a_1, a_2, b) положение и

величину равнодействующей R рабочего сопротивления секции можно определить по зависимостям (рис. 6.5):

$$l_R = 1 - x; \quad R = \frac{P \cdot (e_1 + e_2)}{b + x} = \frac{P \cdot (a_1 + a_2)}{x}, \quad (7.22)$$

где $x = \frac{b \cdot (a_1 + a_2)}{(e_1 + e_2) - (a_1 + a_2)}$.

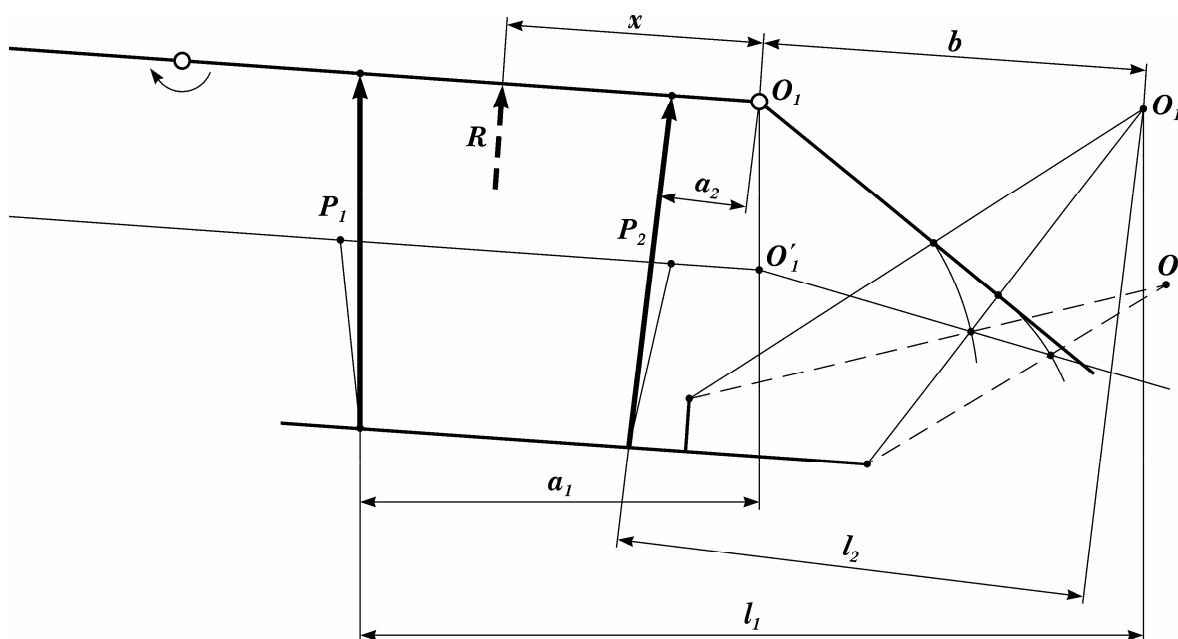


Рис. 7.6. Расчетная схема секции механизированной крепи для определения положения равнодействующей R

Следует отметить, что при изменении раздвижности гидростоек изменяются углы их наклона и положения точек O и O_1 , а, следовательно, и значения a_1 , a_2 , e_1 , e_2 , b . Таким образом, результирующая рабочего сопротивления R и координата точки ее приложения для секции крепи с конструктивной схемой по рис. 7.6 являются переменными даже в пределах одного типоразмера крепи и зависят от конструктивной высоты секции крепи (степени раздвижности гидростоек) и конвергенции поддерживаемых пород. Заметим так же, что зависимости (7.22) получены без учета нагрузок на ограждение и сил трения в шарнирных соединениях силовых элементов секции крепи с использованием условий равенства нулю момента сил относительно оси шарнирного соединения ограждения с перекрытием ($\sum \dot{I}_{i1} = 0$) и мгновенного центра вращения ограждения ($\sum \dot{I}_i = 0$).

В общем случае техническая эффективность применения механизированных крепей характеризуется следующими численными значениями рассмотренных критериев:

$\eta_{нк} < 0,6; \eta_{ук} < 0,6$ – неудовлетворительная;

$0,6 \leq \eta_{нк} \leq 0,8; 0,6 \leq \eta_{ук} \leq 0,8$ – удовлетворительная;

$0,8 \leq \eta_{нк} \leq 1; 0,8 \leq \eta_{ук} \leq 1$ – хорошая.

Рациональность конструктивной схемы секции крепи характеризуется следующими численными значениями критерия Θ :

$\Theta > 12\%$ – неудовлетворительная;

$6\% \leq \Theta \leq 12\%$ – удовлетворительная;

$0 \leq \Theta \leq 6\%$ – хорошая.

При оптимальных параметрах механизированной крепи для конкретных горно-геологических условий должно соблюдаться равенство $l_R = l_Q$ или с учетом зависимостей (7.21) и (7.20)

$$\frac{P_{1\bar{e}} \cdot (l_0 + l_1) + P_{2\bar{e}} \cdot (l_0 + l_1 + l_2)}{P_{1\bar{e}} + P_{2\bar{e}}} = L \cdot \left(\frac{2}{3} - \frac{L \cdot q_0}{6 \cdot Q} \right). \quad (7.23)$$

Если результаты анализа не удовлетворяют требованиям к механизированным крепям высокого технического уровня, необходим поиск более рациональных решений.

Совершенствование механизированных крепей осуществляется по силовым параметрам гидростоек и геометрическим параметрам размещения их в секциях.

Общее удельное сопротивление крепи при рациональных параметрах должно быть не менее равнодействующей эпюры внешних сил, то есть

$$P_{\bar{e}} = P_{1\bar{e}} + P_{2\bar{e}} \geq Q.$$

В общем случае распределение сопротивления механизированной крепи по рядам стоек может быть различным.

Идеальная двухрядная крепь для конкретных горно-геологических условий должна удовлетворять сочетанию следующих условий:

$$P_{1\bar{e}} = P_{2\bar{e}}; P_{\bar{e}} = Q; l_R = l_Q. \quad (7.24)$$

С учетом этих зависимостей и уравнения (7.23) определяются рациональные значения параметров l_2 и l_3 (рис. 7.5) секций крепи рассматриваемого типа. При $l_0 = const$ и заданном значении l искомые геометрические параметры будут определяться по следующим зависимостям:

$$l_2 = 2 \cdot L \cdot \left(\frac{2}{3} - \frac{L \cdot q_0}{6 \cdot Q} \right) - 2 \cdot (l_0 + l_1); \quad (7.25)$$

$$l_3 = l - (l_0 + l_1 + l_2). \quad (7.26)$$

Если при этом l_2 не удовлетворяет требованиям для безопасного прохода людей, а l_3 – требованиям по созданию работоспособной конструкции ограждения крепи, то изменяют величины параметров l и l_1 (в пределах допустимых значений) и осуществляют повторный синтез секции крепи при новых исходных данных или же выбирают другую компоновочную схему и применительно к ней решают подобную задачу.

Если ограждение секции поддерживающе-оградительной крепи выступает в выработанное пространство более чем на $0,5 \cdot l_i''$, то совершенствование параметров секции можно выполнить на основании второго варианта расчетов.

Если крепь не является эталонной по рациональности (чего реально достичь очень сложно), то уточняют величину приведенной силы Q_{o1} от действия деформированных пород кровли на ограждение

$$Q_{i1} = \frac{Q_i}{\eta_{\text{оэ}}}.$$

При этом координата ее приложения

$$y_{\bar{n}} \approx 0,428 \cdot l_{ir}.$$

Тогда значение обобщенной (по двум эпюрам) активной нагрузки, воспринимаемой крепью со стороны пород кровли, будет равно

$$Q_{i\text{аи}} = Q + Q_{i1}, \quad (7.27)$$

а положение ее равнодействующей относительно линии забоя определяется по зависимости

$$l_{Q_i} = \frac{Q \cdot l_Q + Q_{i1} \cdot (l + y_{co})}{Q_{i\text{аи}}}. \quad (7.28)$$

С учетом полученных значений $Q_{\text{общ}}$ и l_{Q_o} выполняют второй вариант оценки рациональности параметров крепи и эффективности взаимодействия с массивом кровли. Для этого аналогично I-му варианту расчета определяют необходимое сопротивление секции механизированной крепи по рядам стоек по зависимостям, аналогичным (7.15) и (7.16)

$$P'_1 = \frac{Q_{i\text{аи}} \cdot (y'_{\bar{n}} - l_{\xi} - l_{\bar{e}})}{l_2},$$

$$P'_2 = \frac{Q_{i\text{аи}} \cdot (l_2 + l_{\xi} + l_{\bar{e}} - y'_{\bar{n}})}{l_2},$$

где $y'_n = L - l_{qi}$.

Затем на основе новых условий выполняют расчеты и установление рациональных параметров аналогично первому варианту.

Следует отметить, что поскольку для существенно отличающихся горно-геологических условий практически невозможно обеспечить высокую техническую эффективность крепи на основе ее одного проектно-конструкторского решения, то возможны следующие выходы из положения:

- параметры крепи определять и корректировать с учетом конкретных условий потребителя, то есть осуществлять выпуск механизированных крепей по индивидуальным заказам;
- заложить в базовое решение крепи возможность регулирования рабочего сопротивления по ширине призабойного пространства.

Основные положения рассмотренной методики и критерии технической эффективности могут быть использованы для анализа рациональности проектно-компоновочных схем секций механизированных крепей и других типов.

Выводы к разделу 7

1. Наиболее существенное влияние на процесс взаимодействия механизированной крепи с горным массивом оказывают следующие параметры:

- среднее удельное сопротивление на 1 м^2 поддерживаемой площади;
- удельное сопротивление на 1 м длины лавы; коэффициент начального распора;
- удельное сопротивление на конце передней консоли перекрытия.

2. Механизированные крепи, применяемые в комплексно-механизированных очистных забоях (КМЗ) должны обладать "избыточностью основных параметров" с целью повышения надежности работы механизированных крепей и всего оборудования КМЗ. Избыточность параметров может быть обеспечена за счет повышения номинального сопротивления крепи и начального её распора.

3. Исходя из условий рационального взаимодействия крепи с боковыми породами и работе в режиме нарастающего сопротивления целесообразно принимать коэффициент начального распора не менее 0,6.

4. Для снижения отрицательного эффекта "топтания" пород кровли остаточный подпор при передвижке секции крепи желательно сохранить на уровне начального распора. Однако при этом необходимы весьма высокие усилия передвижки, трудно технически реализуемые.

5. Установлен факт нерационального распределения нагрузки по длине перекрытия в секциях крепей некоторых конструкций, что свидетельствует об обеспечении на конце передних консолей перекрытий современных крепей удельного сопротивления больше 50 кН/м.

6. Совершенствование механизированных крепей осуществляется по силовым параметрам гидростоек и геометрическим параметрам размещения их в секциях. Общее удельное сопротивление крепи должно быть не менее равнодействующей эпюры внешних сил. В общем случае распределение сопротивления механизированной крепи по рядам стоек может быть различным.

7. Для существенно отличающихся горно-геологических условий практически невозможно обеспечить высокую техническую эффективность крепи на базе её одного проектно-конструкторского решения. В этом случае следует параметры крепи определять и корректировать с учетом конкретных условий, то есть осуществлять выпуск механизированных крепей по индивидуальным заказам.

Литература к разделу 7

7.1. Коровкин Ю.А. Механизированные крепи очистных забоев – М.: Недра, 1990. – 413 с.

7.2. Ягодкин Г.И., Казьмин В.М. Метод аналитического исследования взаимодействия перекрытий механизированных крепей поддерживающего типа с кровлей //Горнорудные машины и автоматика. – М.: Недра. – 1965. – Вып. 1. – С. 100-113.

7.3. ГОСТ 28597-90 (СТ СЭВ 6448-88) Крепи механизированные для лав. Основные параметры. Общие технические требования. Введ. с 01.01.1991. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 6 с.

7.4. Хорин В.Н. Расчет и конструирование механизированных крепей. – М.: Недра, 1988. – 255 с.

РАЗДЕЛ 8. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ СИЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЕКЦИЙ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ ОЧИСТНЫХ КОМПЛЕКСОВ И АГРЕГАТОВ

8.1. Требования к механизированным крепям по конструированию основных силовых элементов секций

Механизированные крепи очистных комплексов и агрегатов представляют собой сложные технические системы. Входящие в состав этих систем отдельные подсистемы, модули и элементы, тип и характер внутренних и внешних связей между ними определяют структурное строение механизированной крепи. Системный анализ этого строения позволяет установить роль и степень важности каждого структурного элемента в обеспечении надежного и эффективного функционирования механизированных крепей в составе очистных комплексов и агрегатов.

Из широкого перечня требований к механизированным крепям можно выделить следующие, наиболее существенные, которые определяют особенности конструирования и расчета основных силовых элементов секций (гидростоек, гидродомкратов, перекрытий, ограждений и оснований):

- достаточный уровень надежности (устанавливаются нормативы на безотказную наработку и ресурс до капитального ремонта);
- полная герметичность полостей высокого давления гидростоек и гидродомкратов при давлении рабочей жидкости не менее 1,25 номинального;
- приемлемая материалоемкость конструкции крепи;
- оптимальный уровень унификации по сортаменту применяемых труб, листового проката, уплотнений, гидроаппаратуры и др.;
- технологичность конструкций, минимальная удельная трудоемкость изготовления и ремонта на основе принципов полной взаимозаменяемости и реализации прогрессивных технологий;
- защита ответственных деталей и элементов крепи от воздействия агрессивной шахтной среды.

Гидростойки секций щитовой крепи должны выполняться с шарнирным (сферическим) опиранием обоих концов, а гидростойки для секций механизированной крепи нещитовой конструкции – с

шарнирной опорой на перекрытие и упруго-шарнирной опорой на основание. Во втором случае реакция упругого восстановителя обеспечивает уравнивание поперечных сил, формирующихся на перекрытии крепи и, следовательно, в опорах гидростоек.

На первом этапе конструирования по заданным значениям коэффициента раздвижности и рабочего сопротивления (грузоподъемности) гидростойки выбирается конструктивная схема стойки (число ступеней раздвижности) и решается многовариантная задача обеспечения заданного номинального сопротивления стойки при варьируемых значениях диаметров поршневых полостей и давления настройки предохранительного клапана. Ограничивающими факторами являются рекомендации отраслевых стандартов на значения диаметров цилиндров и штоков гидростоек (ОСТ 12.44.096-78) и предпочтительный ряд номинальных давлений настройки стоечных предохранительных клапанов (32, 40, 50, 63 МПа). На этом же этапе определяются необходимые толщины стенок и днища цилиндров первой и второй ступеней, разрабатываются конструкции заделок, центрирующих и уплотнительных устройств, обеспечивающих необходимую точность центрирования поршня и штока каждой ступени стойки и надежную герметизацию поршневой и штоковой полостей гидростойки. В конструкциях гидростоек двойной раздвижности должны предусматриваться специальные клапаны между первой и второй ступенями, обеспечивающие определенную последовательность раздвижности и складывания ступеней гидростойки.

Для изготовления гидроцилиндров и штоков гидростоек рекомендуются горячекатаные трубы из сталей с механическими свойствами, указанными в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Механические свойства углеродистых и легированных сталей для изготовления гидроцилиндров и штоков

Марка стали	Твердость сердцевины, НВ	Предел текучести при растяжении, МПа
35	197-241	320
45	197-241	360
45	241-285	580
40Х	241-285	520
30ХГСА	241-285	600
30ХГСА	269-321	700

В целях снижения материалоемкости гидростоек без снижения их прочности и надежности для цилиндров первой и второй ступеней и штоков целесообразно применять трубы из легированной и термообрабатываемой стали марки 30ХГСА.

Для защиты от коррозии выдвижных частей гидростоек и гидродомкратов наружные поверхности штоков и цилиндров второй ступени подвергаются хромированию.

При разработке конструкции гидростоек (гидродомкратов) необходимо обеспечить полную их взаимозаменяемость в широком смысле этого понятия: то есть не только по геометрическим и конструктивным параметрам, но и по силовым параметрам, по характеристикам прочности, герметичности и надежности функционирования с учетом технологии изготовления, свойств рабочей жидкости и условий эксплуатации. При таком подходе конструирование и расчет гидростоек неразрывно связаны с конструкцией и характеристиками применяемых стоечных предохранительных клапанов и гидрозамков.

В подвижных цилиндрических сопряжениях штока с грундбуксой и поршней с цилиндрами рекомендуется посадка Н9/ф9 при диаметрах до 200 мм, а более 200 мм – Н9/ф7.

После завершения разработки конструкции гидростойки и анализа ее технологичности составляется расчетная схема стойки для случая ее максимальной раздвижности и заданных условий нагружения и производится поверочный расчет на прочность и упругую устойчивость. Расчет стойки на прочность как многораздвижной стержневой системы производится по эквивалентным (приведенным) напряжениям, то есть с учетом сложного напряженного состояния отдельных ступеней стойки. Расчет на упругую устойчивость сводится к определению критической продольной нагрузки и сравнению ее с действующей. Для определения нормальных напряжений изгиба в расчетных сечениях гидростойки (гидродомкрата) необходимо предварительно определить величину прогиба или изгибающего момента в опасном сечении. Решение этих задач требует составления и решения дифференциальных уравнений вида $E \cdot I \cdot y'' = M_{из}$ для соответствующих участков гидростойки (здесь $E \cdot I$ – изгибная жесткость участка стойки, y'' – вторая производная от функции, описывающей форму упругой линии, $M_{из}$ – изгибающий момент от действия продольных и поперечных сил).

Согласно методике ОСТ 24.070.11 прогибы в расчетных сечениях определяются по уравнениям упругих линий участков стойки, полученным интегрированием $y'' = M_{\text{вс}} / (E \cdot I)$.

С использованием метода начальных параметров можно получить зависимости для определения непосредственно изгибающих моментов на границах участков стойки. Обе методики дают практически одинаковые результаты.

Особенности конструирования и расчета гидродомкратов передвижения определяются спецификой их компоновки, а также конструктивными и силовыми параметрами функционирования указанных подсистем.

К общим особенностям конструирования и расчета металлоконструкций секций механизированной крепи можно отнести следующие:

- в целях повышения надежности (прочности) и технологичности, снижения материалоемкости и трудоемкости изготовления перекрытия, ограждения и основания рекомендуется выполнять преимущественно в виде сварных металлоконструкций из термоупрочненного листового проката, штампованных элементов и гнутых профилей из хорошо свариваемых сталей с высоким значением предела текучести;
- расчет на прочность ограждений, перекрытий и оснований должен производиться на основе расчетных схем, соответствующих наиболее неблагоприятным условиям их нагружения;
- исходные данные для расчетов на прочность конкретных структурных элементов определяются на базе принятых силовых и конструктивных параметров секций крепи.

8.2. Особенности конструирования и прочностных расчетов силовых гидроцилиндров и металлоконструкций секций крепи

К силовым гидроцилиндрам механизированных крепей относятся стойки, гидродомкраты, гидропатроны (однополостные гидродомкраты). Указанные гидроцилиндры являются наиболее сложными и ответственными узлами секций крепи, однако следует отметить, что конструкция их в настоящее время достаточно отработана. Многие элементы гидроцилиндров (манжеты, кольца резиновые, чистильщики, кольца подкладные, кольца пружинные) изготавливаются по нор-

мативным документам, где также приводятся размеры и шероховатость поверхностей под их установку. Вместе с тем при конструировании гидроцилиндров можно отметить важность:

- установления рациональных геометрических параметров их основных элементов (штоков, цилиндров, грундбукс);
- выбора материала и эффективной технологии изготовления их основных элементов;
- разработки надежных узлов крепления гидроцилиндров к другим элементам секций (перекрытиям, основаниям, ограждениям, навесному оборудованию конвейера и др.).

Особенности конструирования силовых гидроцилиндров механизированных крепей целесообразно рассмотреть на примере стоек как наиболее характерных гидроцилиндров любой крепи.

На рис. 8.1 приведена стойка крепи ЗКД90 двойной гидравлической раздвижности равного сопротивления. Она состоит из цилиндра 1, штока I ступени 2, штока II ступени 3 и грундбукс 4 и 5. Грундбуксы фиксируются в цилиндре и штоке I ступени пружинными кольцами 7 и 8. Для локализации поршневых полостей I и II ступени в дно штока I ступени встроен обратный клапан 6. Уплотнение поршневых и штоковых полостей обеих ступеней гидростойки обеспечивается за счет установки в штоках I и II ступени манжет двустороннего действия 9 и 10 с подкладными кольцами из полиамида, а в грундбуксах – манжет одностороннего действия 11 и 12 с подкладными кольцами и резиновых колец 13 и 14. Удаление грязи с рабочих поверхностей штоков I и II ступени осуществляется резиновыми или резинопластмассовыми чистильщиками 15 и 16, установленными в грундбуксах. Для принудительного складывания II ступени в штоке I ступени выполнено глубокое сверление "А". С целью обеспечения антифрикционных свойств и предотвращения задиров на рабочих поверхностях цилиндра и штоков I и II ступеней на последних установлены (путем закатки в специальные пазы) латунные направляющие пояски 17, 18, 19, 20, 21, а в грундбуксах имеются латунные втулки 22 и 23, выполненные способом наплавки. Для соединения стойки с перекрытием и основанием соответственно на штоке II ступени выполнено отверстие $\varnothing 32$, а на цилиндре имеются два специальных упора 7 (последние показаны на рис. 8.6).

Работа гидростойки осуществляется следующим образом. В исходном положении гидростойка сложена. При этом стержень 24 клапана 6 упирается в дно цилиндра и поднимает шарик, то есть открывает клапан.

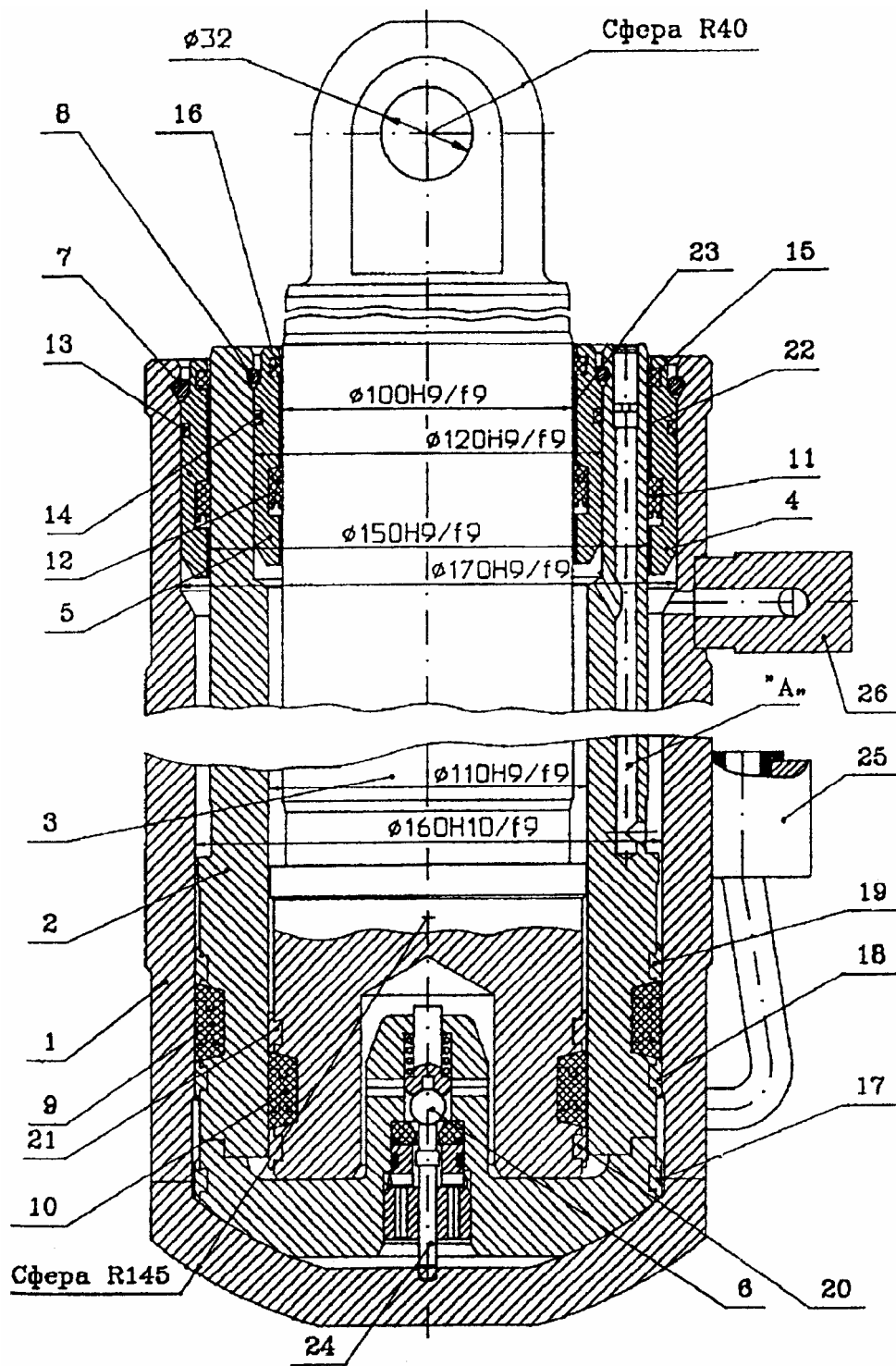


Рис. 8.1. Гидростойка

При подаче рабочей жидкости через штуцер 25 в поршневую полость I ступени в начальный момент времени одновременно выдвигаются штоки I и II ступени. При подъеме штока I ступени на 6-10 мм стержень 24 опускается вниз под действием пружины клапана и шарик прижимается к седлу, закрывая подачу жидкости в поршневую полость II ступени, после чего продолжается выдвижение только штока I ступени. При упоре штока I ступени в грундбуксу 4 прекращается его выдвигка и давление в поршневой полости I ступени повышается, что приводит к открытию клапана 6. Через открывшийся клапан рабочая жидкость попадает в поршневую полость II ступени и шток II ступени выдвигается до упора его в грундбуксу 5, что соответствует полной раздвижке стойки.

Для складывания стойки рабочая жидкость подается через штуцер 26 в штоковую полость I ступени и одновременно по отверстию "А" в штоковую полость II ступени. Так как клапан 6 закрыт, то вначале происходит складывание I ступени стойки. При этом жидкость из поршневой полости I ступени по штуцеру 25 уходит на слив. При контакте стержня 24 с дном цилиндра 1 открывается клапан 6 и жидкость из поршневой полости II ступени через поршневую полость I ступени и далее через штуцер 25 идет на слив. Шток II ступени складывается до упора в дно штока I ступени, что соответствует полностью сложенной стойке.

Среди геометрических размеров стойки можно выделить следующие три основных:

- номинальные диаметры основных элементов;
- величина гидравлической раздвижности стойки по ступеням;
- база заделки штоков стойки.

Номинальные диаметры основных элементов стойки устанавливаются, исходя из заданной несущей способности крепи и рабочего давления жидкости, и приводятся к существующему предпочтительному ряду диаметров, в соответствии с которыми изготавливаются соответствующие режущие и мерительные инструменты и уплотнительные элементы.

Величина гидравлической раздвижности стойки выбирается, исходя из коэффициента гидравлической раздвижности, величина которого в зависимости от типоразмера крепи регламентируется существующей нормативно-технической документацией.

База заделки штока стойки представляет собой суммарную длину опорной поверхности по поршню и грундбуксе в раздвинутом по-

ложении стойки. Исходя их практического опыта, рекомендуется, чтобы эта величина была не меньше диаметра поршня ступени, причем большая величина заделки должна быть большей для крепей поддерживающего типа и меньшая – для крепей поддерживающе-оградительного и оградительно-поддерживающего типа, стойки которых работают в более благоприятных условиях, так как боковые нагрузки воспринимаются шарнирным многозвенником.

Современные крепи имеют высокую несущую способность, поэтому элементы стоек подвержены значительным усилиям. По своей конструкции цилиндры и штоки выполняются преимущественно составным путем сваривания нескольких деталей между собой, поэтому для их изготовления должны выбираться материалы с высокими прочностными свойствами и хорошей свариваемостью.

Преимущественно для изготовления цилиндров и штоков "меняются толстостенные трубы или прокат из стали типа 30ХГСА, а для изготовления грундбукс применяется сталь 35 или сталь 45 в зависимости от способа нанесения латуни. Термообработка цилиндров и штоков – улучшение. Сварка деталей производится на сварочных автоматах под слоем флюса с последующим отпуском сварного шва.

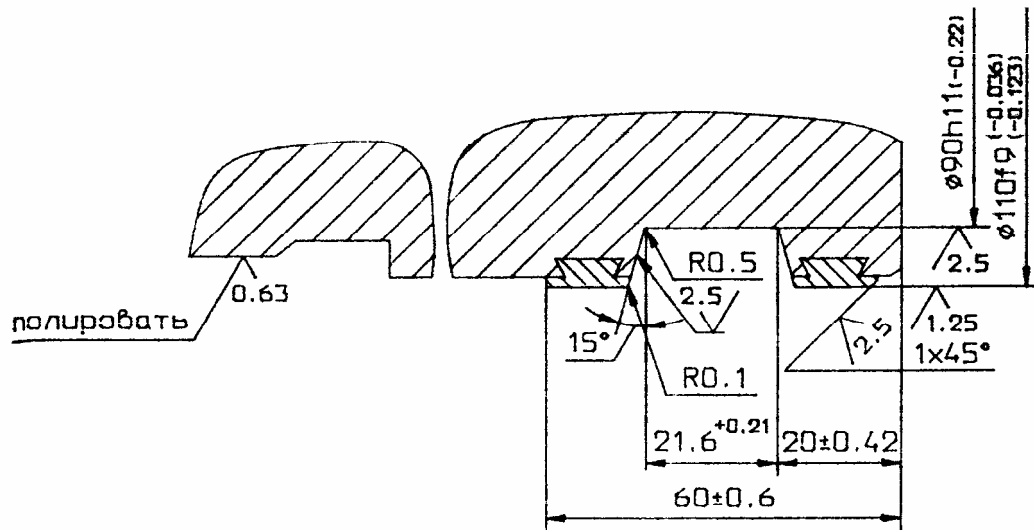
Рабочие поверхности цилиндров и штоков должны иметь высокую точность и чистоту обработки. Посадочные поверхности гидроцилиндров выполняются, как правило, по девятому качеству, а сами посадки при этом назначаются с гарантированным зазором типа H/f (рис. 8.1). Учитывая, что элементы гидроцилиндров перемещаются, а соответствующие их полости уплотняются преимущественно резиновыми манжетами и кольцами, обработка рабочих поверхностей должна быть, как правило, не ниже $\sqrt[2,5]{}$. Элементы, через которые при монтаже проходят уплотнения, должны иметь фаски и радиусы, выполняемые с чистотой также не ниже $\sqrt[2,5]{}$.

Требования к обработке поверхности деталей гидравлики и соответствующие размеры их элементов указаны в нормативно-технической документации. На рис. 8.2 приведены примеры конструктивного исполнения характерных элементов соответственно штока II ступени и грундбуксы гидростойки секции крепи типа КД90.

Учитывая, что механизированные крепи работают в условиях агрессивной шахтной среды, на детали гидроцилиндров, контактирующие с атмосферой, наносятся различного рода покрытия. Наибольшие требования в части покрытия предъявляются к поверхностям штоков. Как правило, на наружные (рабочие) поверхности што-

ков наносятся хромокадмиевые или хромоцинковые электролитические покрытия.

а



б

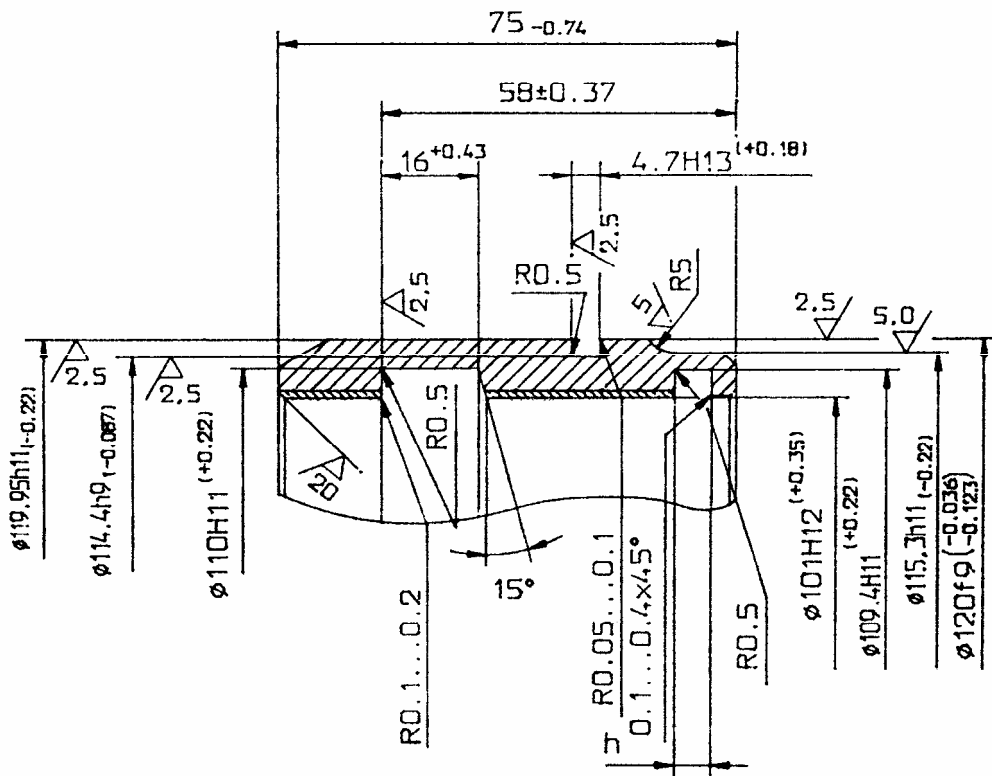


Рис. 8.2. Конструктивное исполнение характерных элементов штока (а) и грундбукусы (б) гидростойки

По уровню нагруженности и степени важности выполняемых функций в составе секций механизированных крепей главными структурными элементами являются гидростойки (опоры) и гидродомкраты передвижки.

Стойки и гидродомкраты механизированных крепей представляют собой раздвижные ступенчатые стержневые конструкции. Большинство существующих конструкций гидроцилиндров выполняются с двумя или тремя участками (одно- или двухраздвижные). Такие конструкции характеризуются наличием перекосов между участками и практически постоянной изгибной жесткостью на большей части длины каждого участка.

Гидравлические стойки и домкраты рассчитывают на прочность и упругую устойчивость.

Цилиндры первой и второй ступеней испытывают напряжения изгиба и подвержены воздействию внутреннего давления рабочей жидкости. В штоках второй ступени гидроцилиндров формируются напряжения изгиба и сжатия для гидростоек и изгиба и сжатия или растяжения для гидродомкратов.

Рассмотрим методику расчета на прочность гидростоек и гидродомкратов на представительном примере гидроцилиндра двойной раздвижности с шарнирным опиранием обоих концов, рекомендуемую ОСТ 24.070.11. На рис. 8.3 представлена конструктивная (а) и расчетная (б) схемы такого гидроцилиндра, соответствующие его раздвинутому состоянию.

На этом рисунке введены следующие обозначения:

$T_d = 1,25 \cdot Q_d$ – расчетное сопротивление гидроцилиндра, МН;

Q_p – номинальное сопротивление гидроцилиндра, МН, соответствующее для гидростоек давлению настройки стоечного предохранительного клапана P_r , а для гидродомкратов – максимальному рабочему давлению в напорной гидролинии $P_{н.м}$;

$1,25$ – рекомендуемый коэффициент запаса;

l_i – расстояние от центра сферы опоры цилиндра до конца i -го ($i = 1, 2, 3$) участка, м;

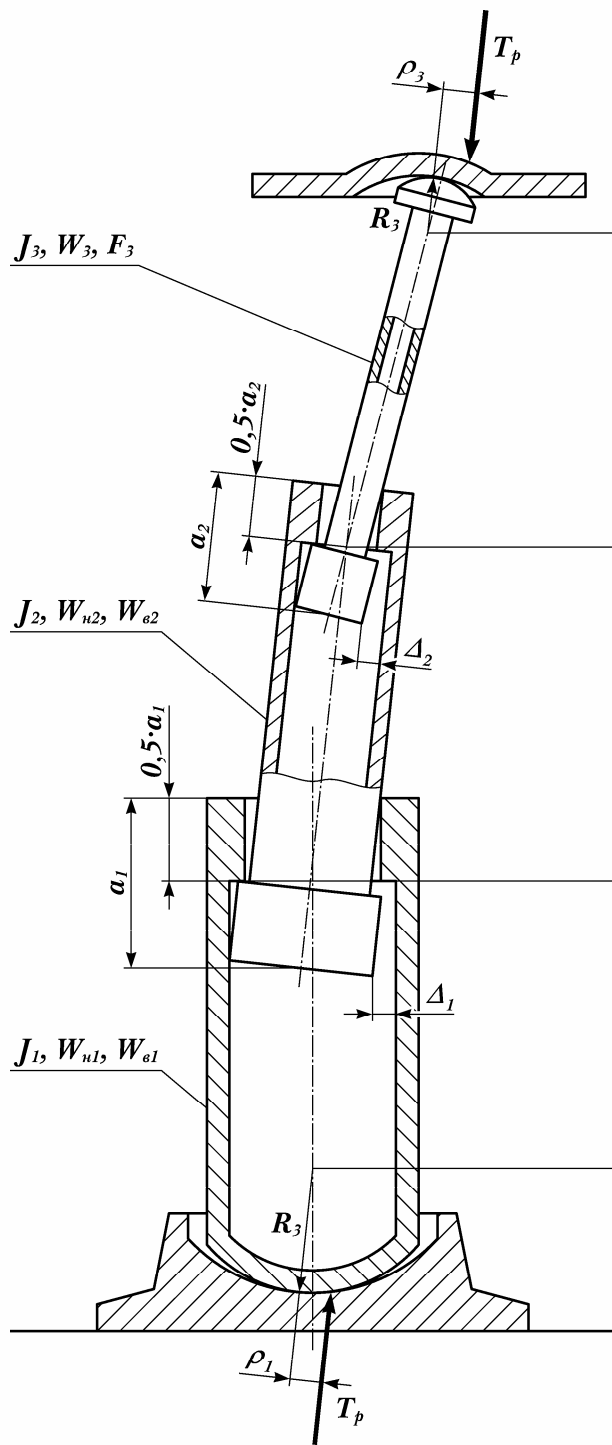
x_i, y_i – текущее значение координаты по оси X в пределах i -го участка и соответствующее ему значение прогиба, м;

R_1, R_3 – радиусы сферических опор гидроцилиндра, м;

$\rho_1 = \mu \cdot R_1$; $\rho_3 = \mu \cdot R_3$ – радиусы трения в опорах гидроцилиндра, определяющие эксцентриситеты приложения к стойкам продольных сил, м;

ρ – коэффициент трения в опорах, который рекомендуется принимать равным 0,15 для обработанных и 0,25 для необработанных поверхностей;

а



б

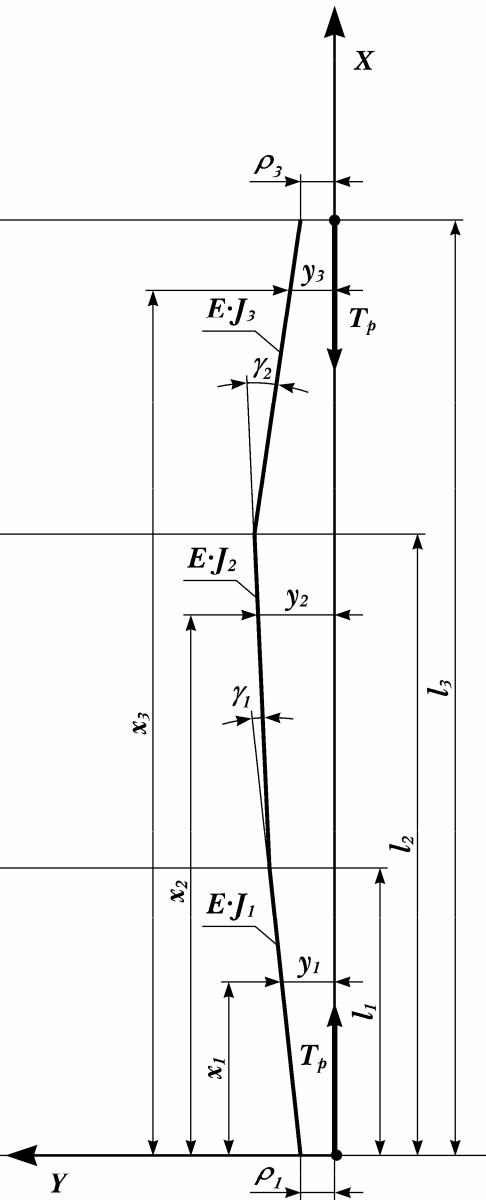


Рис. 8.3. Конструктивная (а) и расчетная (б) схемы гидроцилиндра двойной раздвижности с шарнирным опиранием обоих концов

a_1, a_2 – базы заделок, м;

$I_i = 0,05 \cdot (d_{ii}^4 - d_{\bar{a}i}^4)$ – момент инерции сечения i -го участка, м⁴;

d_{ni}, d_{ei} – наружный и внутренний диаметры сечения i -го участка, м;

$W_{\bar{a}i} = 2 \cdot I_i / d_{\bar{a}i}$, $W_{ii} = 2 \cdot I_i / d_{ii}$ – наибольший (по внутренним волокнам) и наименьший (по наружным волокнам) моменты сопротивления i -го участка, м³;

$F_3 = 0,785 \cdot (d_{i3}^2 - d_{\bar{a}3}^2)$ – площадь сечения штока второй ступени, м²;

$E = 2,1 \cdot 10^5$ – модуль упругости стали, МПа;

$\gamma_1 = \Delta_1 \cdot a_1^{-1}$, $\gamma_2 = \Delta_2 \cdot a_2^{-1}$ – углы взаимного перекоса между участками, рад;

Δ_1, Δ_2 – максимальные диаметральные зазоры между взаимосвязанными цилиндрами и поршнями, определяемые допусками на изготовление, м.

Расчет на прочность (проверочный) заключается в определении результирующих напряжений и запасов прочности в принятых расчетных сечениях цилиндров, штоков и сравнении их с допустимыми.

Для определения напряжений в элементах стойки необходимо найти прогибы или изгибающие моменты в расчетных сечениях участков.

Согласно методике ОСТ 24.070.11 величина прогиба в любом сечении стойки на i -м ее участке ($i = 1, 2, 3$) определяется по уравнению упругой линии следующего вида:

$$y_i = A_i \cdot \cos(\hat{a}_i \cdot x_i) + B_i \cdot \sin(\hat{a}_i \cdot x_i), \quad (8.1)$$

где постоянные интегрирования выражаются следующими зависимостями

$$\hat{A}_1 = \rho_1, \text{ М};$$

$$\hat{A}_2 = \rho_1 \cdot d_{1A} + B_1 \cdot d_{1B} + \gamma_{1S}, \text{ М};$$

$$\hat{A}_3 = B_1 \cdot d_{1B} \cdot d_{2A} + B_2 \cdot d_{2B} + \Theta_3, \text{ М};$$

$$B_1 = \frac{g_3 - m_3 \cdot B_2}{L_3}, \text{ М};$$

$$B_2 = \frac{h_{1B} \cdot (g_3 + \eta_3 \cdot L_3)}{L_3 + m_3 \cdot h_{1B}}, \text{ М};$$

$$B_3 = \frac{\rho_3 - \hat{A}_3 \cdot \tilde{N}_{33}}{S_{33}}, \text{ М}.$$

В уравнении (8.1) коэффициент нагруженности для каждого участка стойки вычисляется по зависимости

$$B_i = \sqrt{\frac{T_p}{E \cdot I_i}}, \text{ М}^{-1}.$$

Промежуточные величины, входящие в формулы для определения постоянных интегрирования, определяются следующим образом

$$\begin{aligned} d_{1A} &= C_{11} \cdot C_{21} + \hat{a}_1 \cdot \hat{a}_2^{-1} \cdot S_{11} \cdot S_{21}; & d_{1B} &= C_{21} \cdot S_{11} - \hat{a}_1 \cdot \hat{a}_2^{-1} \cdot C_{11} \cdot S_{21}; \\ d_{2A} &= C_{22} \cdot C_{32} + \hat{a}_2 \cdot \hat{a}_3^{-1} \cdot S_{22} \cdot S_{32}; & d_{2B} &= C_{32} \cdot C_{22} - \hat{a}_2 \cdot \hat{a}_3^{-1} \cdot C_{22} \cdot S_{32}; \\ h_{1A} &= C_{11} \cdot S_{21} - \hat{a}_1 \cdot \hat{a}_2^{-1} \cdot C_{21} \cdot S_{11}; & h_{1B} &= S_{11} \cdot S_{21} + \hat{a}_1 \cdot \hat{a}_2^{-1} \cdot C_{11} \cdot C_{21}; \\ h_{2A} &= C_{22} \cdot S_{32} - \hat{a}_2 \cdot \hat{a}_3^{-1} \cdot C_{32} \cdot S_{22}; & h_{2B} &= S_{22} \cdot S_{32} + \hat{a}_2 \cdot \hat{a}_3^{-1} \cdot C_{22} \cdot C_{32}; \\ \gamma_{1S} &= \gamma_1 \cdot S_{21} \cdot \hat{a}_2^{-1}, \text{ М}; & \gamma_{1C} &= \gamma_1 \cdot C_{21} \cdot \hat{a}_2^{-1}, \text{ М}; \\ \gamma_{2S} &= \gamma_2 \cdot S_{32} \cdot \hat{a}_3^{-1}, \text{ М}; & \gamma_{2C} &= \gamma_2 \cdot C_{32} \cdot \hat{a}_3^{-1}, \text{ М}; \\ t_3 &= h_{2A} \cdot d_{1B} \cdot h_{2B}^{-1}; & i_3 &= C_{33} \cdot d_{1B} \cdot h_{2A} \cdot S_{33}^{-1}; \\ U_3 &= C_{33} \cdot d_{2B} \cdot S_{33}^{-1}; & j_3 &= (\rho_3 - \Theta_3 \cdot C_{33}) \cdot S_{33}^{-1}, \text{ М}; \\ m_3 &= U_3 \cdot h_{2B}^{-1} + I; & L_3 &= i_3 \cdot h_{2B}^{-1} + t_3, \text{ М}; \\ g_3 &= j_3 \cdot h_{2B}^{-1} + \xi_3, \text{ М}; & \Theta_3 &= \rho_1 \cdot d_{1A} \cdot d_{2B} + \gamma_{1S} \cdot d_{2A} + \gamma_{2S}, \text{ М}; \\ \eta_3 &= (\rho_1 \cdot h_{1A} - \gamma_{1C}) \cdot h_{1B}^{-1}, \text{ М}; & \xi_3 &= (\gamma_{2C} - \gamma_{1S} \cdot h_{2A} - \rho_1 \cdot d_{1A} \cdot h_{2A}) \cdot h_{2B}^{-1}, \text{ М}. \end{aligned}$$

Тригонометрические величины

$$\begin{aligned} S_{11} &= \sin(\hat{a}_1 \cdot l_1); & C_{11} &= \cos(\hat{a}_1 \cdot l_1); \\ S_{21} &= \sin(\hat{a}_2 \cdot l_1); & C_{21} &= \cos(\hat{a}_2 \cdot l_1); \\ S_{22} &= \sin(\hat{a}_2 \cdot l_2); & C_{22} &= \cos(\hat{a}_2 \cdot l_2); \\ S_{32} &= \sin(\hat{a}_3 \cdot l_2); & C_{32} &= \cos(\hat{a}_3 \cdot l_2); \\ S_{33} &= \sin(\hat{a}_3 \cdot l_3); & C_{33} &= \cos(\hat{a}_3 \cdot l_3). \end{aligned}$$

Координата сечения для каждого i -го участка, в котором упругая линия имеет экстремальное значение (максимальный прогиб), определяется по уравнению

$$x_{iy} = \hat{a}_i^{-1} \cdot \arctg(B_i \cdot A_i^{-1}), \text{ М}. \quad (8.2)$$

Если полученное по (8.2) значение x_{iy} находится в пределах длины рассматриваемого участка ($0 < x_{1y} \leq l_1$; $l_1 < x_{2y} \leq l_2$; $l_2 < x_{3y} \leq l_3$), то наибольший прогиб y_{iy} определяется путем подстановки соответствующего значения x_{iy} в уравнение (8.1). Если полученное по выражению (8.2) значение x_{iy} выходит за пределы длины i -го участка, то расчетные прогибы y_{1y} и y_{2y} определяются на концах первого и второго участка путем подстановки в уравнение (8.1) соответственно значений $x_{1y} = l_1$ и $x_{2y} = l_2$, а y_{3y} принимается равным y_{2y} .

Согласно энергетической теории прочности результирующие (эквивалентные) напряжения на внутренних поверхностях стенок в

цилиндрах ($i=1$) и штоках ($i=2$) первой ступени двухраздвижных гидроцилиндров определяются по формуле

$$\sigma_{y\dot{a}i} = \sqrt{0,5 \cdot [(\sigma_{z\dot{a}i} - \sigma_{t\dot{a}i})^2 + (\sigma_{t\dot{a}i} - \sigma_{r\dot{a}i})^2 + (\sigma_{r\dot{a}i} - \sigma_{z\dot{a}i})^2]}, \quad (8.3)$$

где σ_{zBi} , σ_{tBi} , σ_{rBi} – соответственно аксиальные, тангенциальные и радиальные составляющие напряжений, МПа.

Напряжения изгиба от силы T_p в расчетных сечениях, соответствующих x_{i3} , вычисляются по зависимости

$$\sigma_{z\dot{a}i} = \frac{T_p \cdot Y_{iy}}{W_{\dot{a}i}}. \quad (8.4)$$

Составляющие напряжения в стенках цилиндров от внутреннего давления рабочей жидкости определяются по формулам

$$\sigma_{t\dot{a}i} = 1,25 \cdot P \frac{d_{ii}^2 + d_{\dot{a}i}^2}{d_{ii}^2 - d_{\dot{a}i}^2};$$

$$\sigma_{rBi} = -1,25 \cdot P,$$

где $P = P_r$ – давление для гидростоек;

$P = P_{нм}$ – давление для гидродомкратов.

Результирующие напряжения $\sigma_{z\dot{a}i}$ на внутренних поверхностях стенок на первом ($i=1$) и втором ($i=2$) участках гидроцилиндра по зависимости (8.3) вычисляются:

- со стороны растянутых волокон ($\sigma'_{y\dot{a}i}$), когда $\sigma_{z\dot{a}i}$, определенное по формуле (8.4), подставляется в (8.3) с положительным знаком;
- со стороны сжатых волокон ($\sigma''_{y\dot{a}i}$), если в (8.3) подставляется значение $\sigma_{z\dot{a}i}$ со знаком минус.

Результирующие (эквивалентные) напряжения на наружных поверхностях стенок в цилиндрах ($i=1$) и штоках ($i=2$) первой ступени вычисляются со стороны сжатых слоев по зависимости

$$\sigma_{y\dot{a}i} = \sqrt{\sigma_{z\dot{a}i}^2 + \sigma_{z\dot{a}i} \cdot \sigma_{t\dot{a}i} + \sigma_{t\dot{a}i}^2}, \quad (8.5)$$

где $\sigma_{z\dot{a}i} = \frac{T_p \cdot Y_{iy}}{W_{\dot{a}i}},$

$$\sigma_{t\dot{a}i} = 2,5 \cdot P \cdot \frac{d_{\dot{a}i}^2}{d_{ii}^2 - d_{\dot{a}i}^2}.$$

В зависимости (8.5) все величины с положительными знаками.

Результирующее напряжение для штоков второй ступени раздвижки гидроцилиндров ($i=3$) определяется по формуле

$$\sigma_{y3} = \sigma_{z3} + \sigma_{н3}, \quad (8.6)$$

где $\sigma_{z3} = \frac{T_p \cdot Y_{3y}}{W_{i3}}$ – напряжение изгиба от силы T_p для наружных волокон стенки;

$\sigma_{\dot{\epsilon}3} = \dot{\sigma}_\delta \cdot F_3^{-1}$ – напряжение сжатия.

Запасы прочности в цилиндрах и штоках по пределу текучести примененных материалов σ_{Ti} вычисляются по зависимости

$$n_{Ti} = \sigma_{Ti} \cdot \sigma_{yi}^{-1}, \quad (8.7)$$

где σ_{yi} – определяется при $i=1, 2$ как наибольшее из значений σ'_{yai} , σ''_{yai} и $\sigma_{\dot{\epsilon}ni}$, а при $i=3$ $\sigma_{yi} = \sigma_{z3}$.

Минимальные допустимые значения n_{Ti} для цилиндров и штоков составляют 1,2.

Расчет на упругую устойчивость заключается в определении критической силы, запаса устойчивости и сравнении расчетного запаса с допустимым.

Критическая сила $T_{кр}$, МН, для гидроцилиндров, например, двойной раздвижности ($i=3$) определяется по формуле

$$\dot{\sigma}_{\dot{\epsilon}\delta} = \frac{\pi^2 \cdot A}{l_{03}} \cdot \left\{ \sum_{i=1}^3 \left[I_i^{-1} \cdot \left| Z - \frac{l_{03}}{2 \cdot \pi} \cdot \sin \frac{2 \cdot \pi \cdot Z}{l_{03}} \right|_{l_{0i-1}}^{l_{0i}} \right] \right\}^{-1}, \quad (8.8)$$

где $l_{00} = 0$; $l_{01} = R_1 + l_1$; $l_{02} = R_1 + l_2$; $l_{03} = R_1 + l_3 + R_3$ – значения, принимаемые Z и равные линейным размерам гидроцилиндра в м.

Критическое напряжение $\sigma_{кр}$, МПа, соответствующее $T_{кр}$, вычисляется как

$$\sigma_{\dot{\epsilon}\delta} = \frac{\dot{\sigma}_{\dot{\epsilon}\delta}}{F_3}. \quad (8.9)$$

При этом $\sigma_{кр}$ должно быть не выше σ_{T3} , где σ_{T3} – предел текучести материала штока второй степени.

Рекомендуемый запас устойчивости гидроцилиндра n_y , определяемый как $n_\delta = \dot{\sigma}_{\dot{\epsilon}\delta} / \dot{\sigma}_\delta$, должен быть не ниже 1,45.

При невыполнении этого условия необходимо повысить жесткость ступеней или снизить сопротивление стойки (домкрата). Примеры расчетов конкретных конструкций гидростоек и гидродомкратов приведены в ОСТ 24.070.11.

Особенности конструирования и прочностных расчетов металлоконструкций рассмотрим на примере секций современных крепей поддерживающе-оградительного типа.

К основным узлам металлоконструкций секций крепи относятся перекрытия, основания, оградительные элементы, рычаги или травер-

сы. Учитывая, что общие подходы к конструированию узлов металлоконструкций секций однотипны, проанализируем их на основе наиболее сложных элементов – перекрытий и оснований.

Как известно, перекрытие состоит из базовой части, опирающейся на стойки и воспринимающей основную часть горного давления со стороны кровли, и призабойной консоли, взаимосвязанной с базовой частью.

Базовая часть перекрытия секций современных механизированных крепей выполняется в виде жесткой сварной балки преимущественно из листового проката с проушинами для крепления ограждающего элемента и поджимных консолей и имеет опорные элементы для соединения с гидростойками. Проушины выполняются из листового проката или штампованными, а опорные элементы под стойки – из листового проката, штампованными или литыми.

Основание секций механизированной крепи – это опорный элемент, контактирующий с породами почв, воспринимающий через стойки горное давление от кровли и являющийся базой для монтажа всей секции.

Рассмотрим особенности современного сплошного основания. Такое основание представляет собой жесткую балку, выполненную в виде сварной металлоконструкции из листового проката и включающую в себя опорные элементы под стойки преимущественно из стального литья и проушины (для соединения с траверсами ограждения и элементами механизма перемещения) из листового проката или штамповок.

Основание может иметь центральный канал для размещения гидродомкрата механизма перемещения (при его центральном расположении). Передняя часть основания выполняется в форме лыжи для уменьшения сопротивления перемещению секции и может иметь боковые скосы, выполняющие роль центрирующих элементов при подтягивании секции к конвейеру.

Учитывая, что глубина залегания угольных пластов постоянно увеличивается при одновременном снижении вынимаемой мощности, современные механизированные крепи должны иметь высокую несущую способность, а также вписываться в тонкие пласты с соблюдением безопасных проходов для обслуживающего персонала. Исходя из вышесказанного, узлы металлоконструкций секций механизированных крепей должны обладать достаточной прочностью при ограниченных габаритных размерах по высоте.

Конструирование узлов металлоконструкций секции крепи включает ряд взаимосвязанных этапов, в том числе:

- установление рациональных значений кинематических параметров шарнирного многозвенника для щитовых крепей;
- выбор рациональных значений геометрических параметров несущих рам перекрытия, основания и ограждения с учетом требований технической документации и норм безопасности;
- выбор сортамента и материала листового проката для несущих элементов;
- назначение сварных швов и последовательности их нанесения;
- разработку рациональной конструкции мест крепления гидростоек и элементов сопряжений между узлами металлоконструкций.

Балки металлоконструкций изготавливаются преимущественно сварными из толстолистового проката. Несущие листы металлоконструкции выполняются из низколегированных термоупрочненных сталей марок 14Х2ГМР, 14ХГ2САФД, 16Г2АФБ, 10ХСНД толщиной 20-30 мм.

Сварные швы, как правило, таврового сечения с катетами (для продольных швов) 10-14 мм.

Поскольку узлы металлоконструкций при сварке подвержены высоким тепловым деформациям, технологические процессы сварки должны обеспечивать компенсацию этих деформаций за счет рациональной последовательности выполнения швов на верхних и нижних листах, а также путем использования промежуточных и окончательных рихтовочных операций.

Следует подчеркнуть целесообразность расположения швов на наружных поверхностях листов, что обеспечивает возможность хорошего доступа к местам сварки и визуального контроля качества выполненных сварочных работ.

Места соединения перекрытия и основания с другими узлами секции выполняются преимущественно в виде проушин, изготавливаемых из толстолистового проката или штамповок, которые соединяются с основной балкой металлоконструкции сварными швами.

Наиболее сложными и ответственными в конструктивном исполнении являются места соединения перекрытий и оснований с гидростойками. На рис. 8.4 и 8.5 приведены характерные примеры соединений базовой части перекрытия с гидростойкой, а также с ограждающим элементом для секций крепей КД90 и КД80.

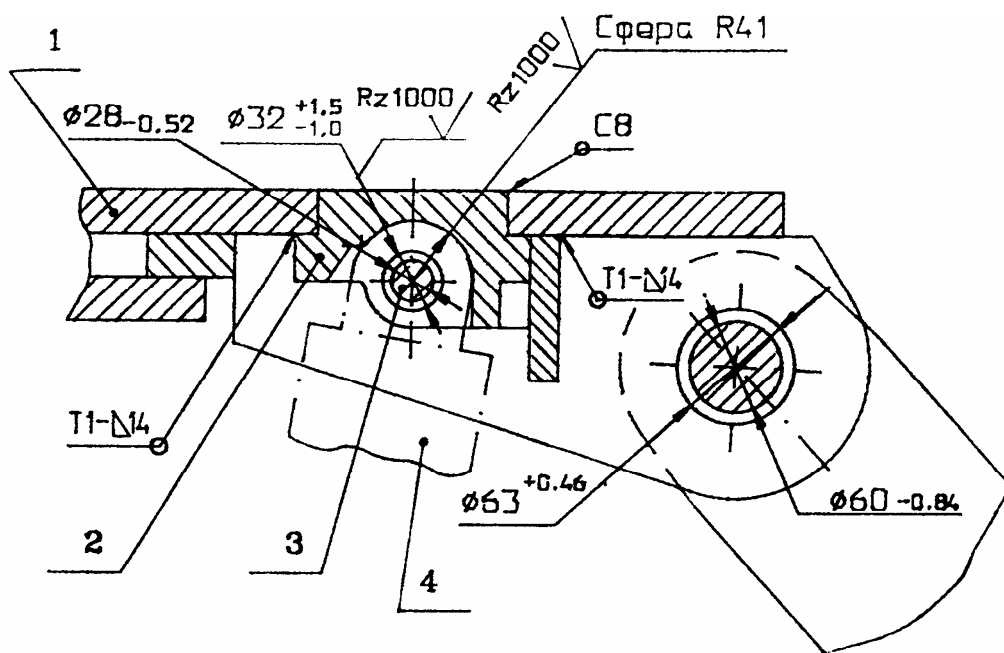


Рис. 8.4. Соединение перекрытия с гидростойкой секции крени КД90

В перекрытие 1 вварена литая (крепь КД90) или изготовленная из круга механической обработкой (КД80) опора 2. Внутренняя рабочая поверхность опоры выполнена в форме сферы (рис. 8.4) или конуса (рис. 8.5). В опору 2 входит шток гидростойки 4, головка которого выполнена в форме сферы. Соединение штока с перекрытием осуществляется осью 3 (рис. 8.4) или пружинным кольцом 3 (рис. 8.5).

На рис. 8.6 приведен пример соединения основания секции крени КД90 с гидростойкой. На нижнем листе 1 основания приварена литая опора 2, внутренняя поверхность которой выполнена в форме сферы, контактирующей со сферическим дном цилиндра стойки. На верхнем листе 3 основания приварена литая надставка 4, боковые поверхности которой выполнены с фигурными захватами 5 и 6, в которые входят упоры 7, установленные на цилиндре стойки. Монтаж стойки в основании осуществляется в положении I с последующим поворотом в рабочее положение II и соединением штока стойки с опорой перекрытия осью или пружинным кольцом (рис. 8.4 и 8.5). Зазоры в сопряжении упоров 7 стойки с фигурными выступами 5 и 6 надставки 4 (рис. 8.6) выбираются так, чтобы исключить возможность рассоединения стойки с основанием в рабочем положении II.

При расчете на прочность узлов металлоконструкций весьма важно сформировать достаточно представительные схемы их нагружения.

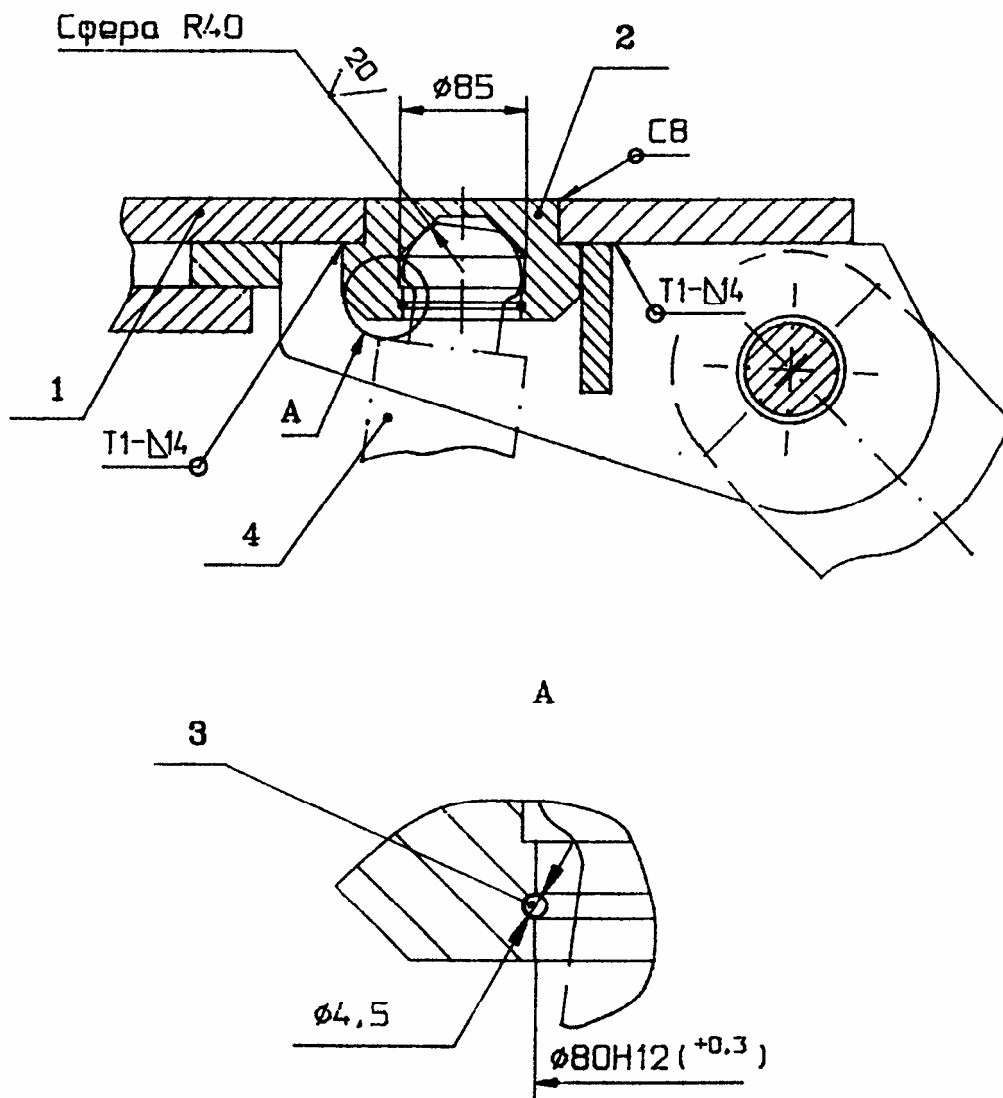


Рис. 8.5. Соединение перекрытия секции крепи КД80 с гидростойкой

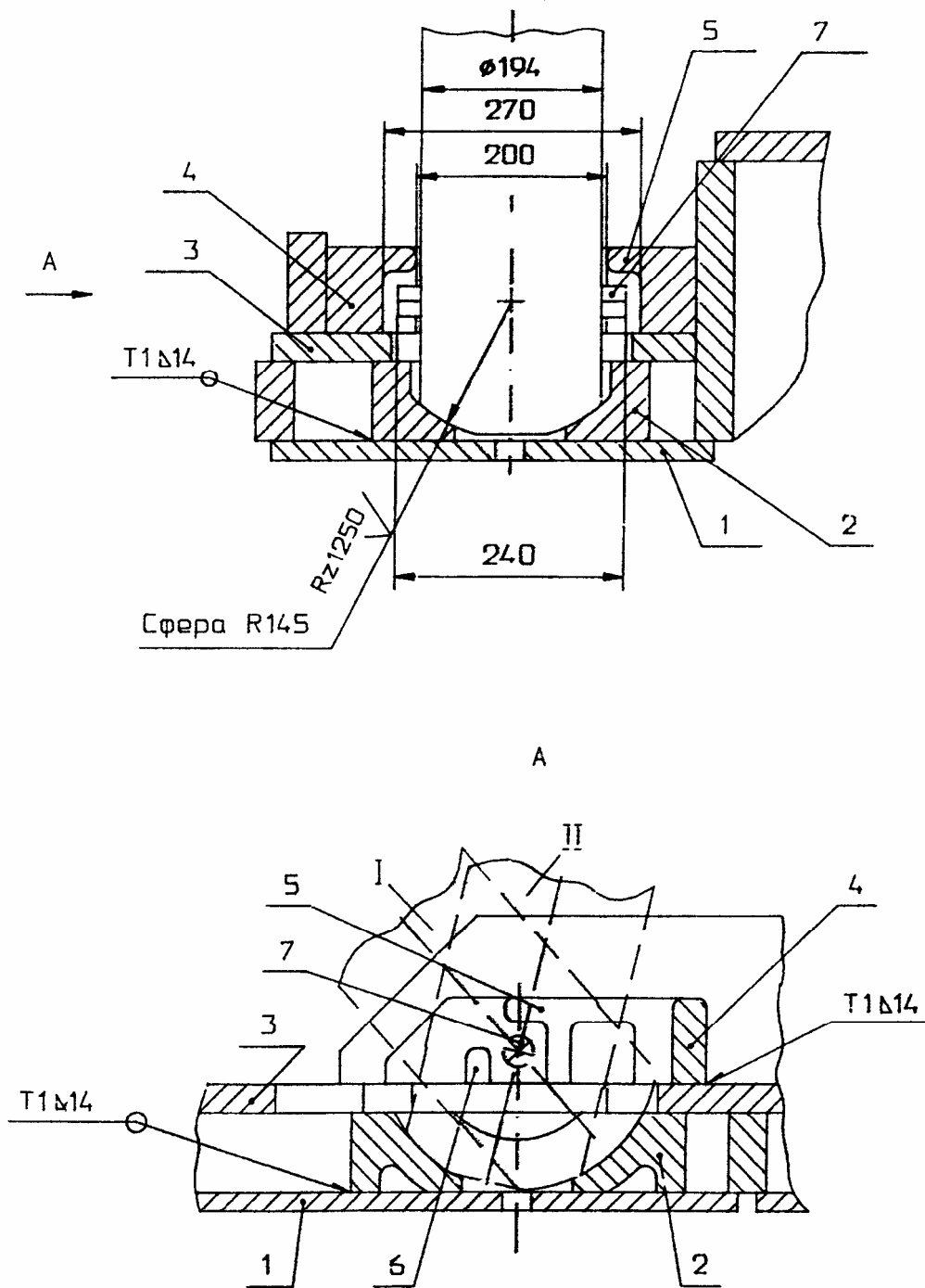


Рис. 8.6. Соединение основания секции крепи с гидростойкой

При прочностных расчетах перекрытий и оснований, как правило, принимают, что их контактирование с вмещающими породами происходит на отдельных ограниченных размерах площадках, в центры тяжести которых и прикладывают соответствующие сосредоточенные силы реакций от кровли \bar{R}_{ei} или почвы \bar{R}_{ri} (здесь и далее черточка над символом означает вектор).

Применительно к поддерживающе-оградительным крепям щитовой конструкции в инженерной практике достаточно широко используют две расчетные схемы нагружения перекрытий и сплошных оснований:

1. Предполагается одноплощадочный контакт перекрытия или основания соответственно с породами кровли или почвы в зоне, расположенной вдоль продольной оси рассматриваемого узла металлоконструкции в пролете между стойками.

2. Предполагается двухплощадочный контакт указанных взаимодействующих объектов в зонах с центрами тяжести на расстояниях 150 мм от забойного и завального торцов соответствующих опорных поверхностей перекрытия и основания.

Учет возможности скручивания перекрытия и основания относительно их продольных осей симметрии обычно осуществляется путем смещения точек приложения обеих реакций \bar{R}_{e1} и \bar{R}_{e2} или \bar{R}_{r1} и \bar{R}_{r2} относительно этих осей в разные стороны на величину, как правило, равную одной четвертой части ширины опорной поверхности перекрытия или основания.

При формировании расчетных схем необходимо учитывать усилия трения вдоль верхней поверхности перекрытия $\bar{F}_{ei} = f \cdot \bar{R}_{ei}$ или нижней поверхности основания $\bar{F}_{ri} = f \cdot \bar{R}_{ri}$ в зонах контактирования узлов металлоконструкции с вмещающими породами. Значение коэффициента трения f рекомендуется принимать из диапазона 0,15-0,4 (меньшие значения для увлажненных пород, большие – для сухих).

На расчетных схемах также наносятся усилия \bar{T}_r рычагов (траверс) шарнирного четырехзвенника, воздействующие на основания секций непосредственно, а на перекрытия – через шарнирно связанный с перекрытием оградительный элемент.

Нагрузки от гидростоек \bar{P}_1 , как правило, принимаются равными по модулю расчетному сопротивлению $T_\delta = 1,25 \cdot Q_\delta$.

Для перекрытий реакцию кровли \bar{R}_{e1} с забойной стороны целесообразно прикладывать на расстоянии 150 мм от забойного торца:

- призабойных консолей – для перекрытий с поджимными консолями, управляемыми от гидростоек, и жесткими консолями, являющимися продолжением базовой части перекрытий;
- базовой части перекрытий – при наличии других типов призабойных консолей.

При расчете ограждений секций рассматриваемых типов составляются, прежде всего, уравнения статического равновесия оградительных элементов под действием усилий \bar{T}_r со стороны рычагов (траверс) и составляющих результирующего вектора \bar{S} со стороны перекрытия.

Следует иметь в виду, что люфты в шарнирных соединениях, как правило, допускают разворот оградительных элементов относительно основания в плоскости пласта на определенный угол, что, безусловно, может инициировать отклонение соответствующих составляющих относительно номинальной плоскости продольной симметрии секции. Поэтому необходимо обязательно учитывать возможность скручивания оградительного элемента и рычагов шарнирного четырехзвенника относительно оснований за счет соответствующего расположения \bar{S} .

После составления расчетных схем для вышеуказанных узлов металлоконструкций составляют уравнения статического равновесия системы и определяют искомые значения усилий \bar{R}_{ei} , \bar{T}_r , \bar{R}_{ii} , \bar{S} .

Далее строятся эпюры поперечных сил, изгибающих и крутящих моментов. Анализ параметров эпюр и конструктивных особенностей рассчитываемых узлов металлоконструкций является основой для выделения расчетных (опасных) сечений.

Затем для этих сечений по известным зависимостям определяют напряжения и запасы прочности по пределу текучести. Рекомендуемые минимально допустимые запасы прочности составляют: для элементов сечений из стального проката – 1,1, из стального литья – 1,2 и для сварных швов – 1,3.

В заключение следует отметить настоятельную необходимость разработки и внедрения новых методик прочностных расчетов, базирующихся на использовании метода конечных элементов, который позволяет значительно повысить степень корректности выполняемых расчетов, а значит и технический уровень современных механизированных крепей.

8.3. Выбор рациональных кинематических параметров ограждений секций щитовых крепей

Важнейшим узлом секций механизированной крепи щитовой конструкции является механизм связи ограждения с основанием. Параметры этого механизма совместно со всеми другими необходимыми связями в составе секции крепи должны удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать постоянство расстояния l_0 между забоем и передней кромкой перекрытия крепи во всем диапазоне ее раздвижности;
- обеспечивать практически неизменную величину сопротивления секции крепи опусканию кровли в пределах диапазона раздвижности гидростоек;
- обеспечивать разгрузку гидростоек от поперечных усилий при опускании пород кровли в пределах упругой податливости гидростоек и при передвижке секций крепи с подпором;
- обеспечивать по сравнению с нещитовыми крепями более высокие параметры жесткости и, следовательно, и внутренней устойчивости конструкции секций в поперечной и продольной плоскостях.

Анализируя приведенный перечень требований, отметим, что при выбранном типе механизма предметом анализа должны быть его параметры, определяющие кинематические и силовые характеристики механизма связи и всей секции в целом.

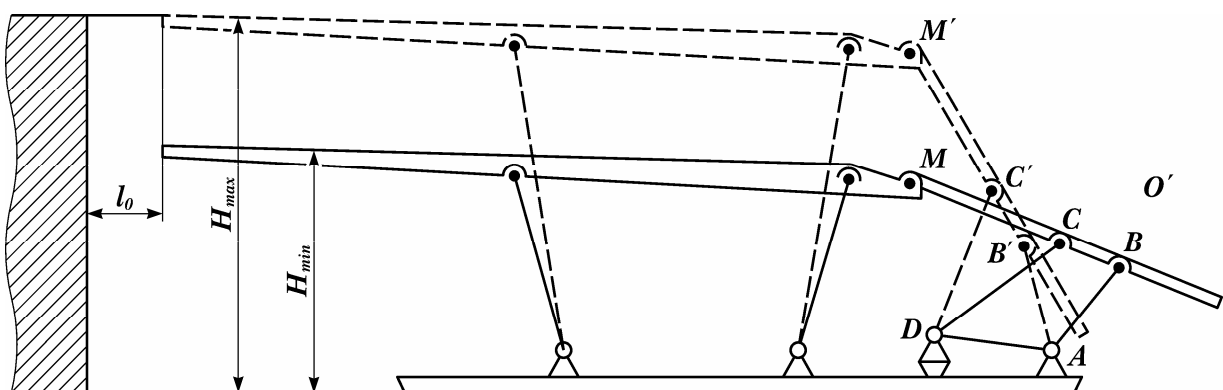


Рис. 8.7. Конструктивная схема секции механизированной крепи с четырехзвенным механизмом связи ограждения с основанием

Для удовлетворения первого требования могут быть применены следующие типы четырехзвенных механизмов: механизм Уатта, механизм Чебышева, механизм Роберта, механизм Эванса и некоторые их разновидности, обеспечивающие теоретически точную прямолинейную траекторию движения заданной точки звена механизма или приближенно прямолинейное ее движение. Кроме четырехзвенных механизмов в некоторых типах кривошипно-шатунных механизмов находят применение и трехзвенные механизмы.

Конструктивно четырехзвенный механизм связи состоит (рис. 8.8) из базового звена AD (принадлежащего основанию), переднего DC и заднего AB рычагов (или передней и задней траверс) и шатуна BCM , роль которого выполняет ограждение. В качестве ведущего звена целесообразно принимать рычаг AB и нумеровать звенья как показано на рис. 8.8.

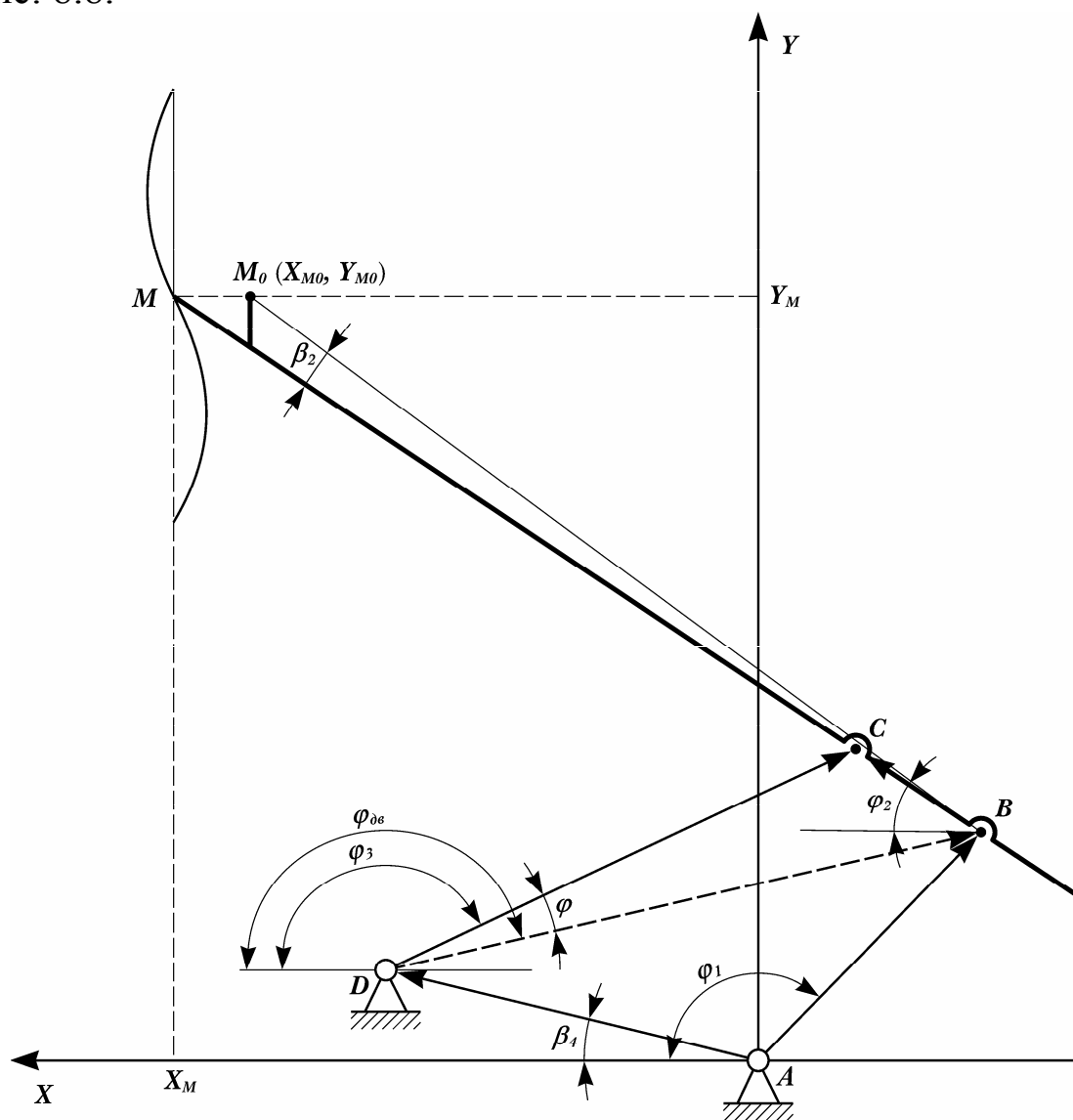


Рис. 8.8. Расчетная схема четырехзвенного механизма для определения траектории точки M

Обозначим длины звеньев: l_2 – наименьшего (BC), l_3 – наибольшего (DC), l_4 и l_1 – двух остальных (AD и AB). Как известно, в общем случае для таких четырехзвенников в зависимости от соотношения длин звеньев могут иметь место следующие механизмы: двухкривошипный, кривошипно-коромысловый и двухкоромысловый.

Для рассматриваемого варианта имеет место двухкоромысловый механизм.

При конструкции механизма связи необходимо определить рациональные значения его геометрических, кинематических и силовых параметров. К геометрическим параметрам относятся углы наклона ограждения и заднего рычага. При этом в крайнем нижнем положении заднего рычага угол его наклона к полости почвы ($180^\circ - \varphi_1$) должен быть достаточным для исключения заклинивания рычага кусками обрушенной породы.

Кинематические параметры (длины звеньев и их взаимное положение) при полной раздвижности гидростоек должны обеспечивать заданную траекторию точки M – оси шарнирного соединения ограждения с перекрытием в пределах значений допускаемых отклонений, а также допустимые отклонения от заданного размера l_0 (рис. 8.7). В качестве силовых параметров механизма связи можно рассматривать нагрузки, формирующиеся в его звеньях при выполнении секциями крепи своих функций при проектных и экстремальных рабочих режимах.

Конструирование механизма связи рекомендуется выполнять графически в следующей последовательности. Вначале графически строится вспомогательный кривошипно-шатунный механизм, состоящий из заднего рычага AB (кривошип) и ограждения BM (шатун) с прямолинейной траекторией точки M (рис. 8.8). При этом заданными величинами являются угол наклона ограждения в крайнем нижнем положении и минимальная конструктивная высота секции крепи. На этом этапе подбирается положение точки A – оси вращения рычага AB и точки M – оси шарнира, соединяющего ограждение с перекрытием.

Затем задаются углом наклона ограждения в верхнем положении и видом траектории точки M (например, лемнискатой) и производят построение трех положений вспомогательного механизма: для верхнего, среднего и нижнего положения ограждения. После этого подбираются размеры переднего рычага DC и положение осей вращения его на основании и ограждении (точки D и C). При выборе места точ-

ки C необходимо учитывать, что длина звена BC должна быть тем меньше, чем больше коэффициент раздвижности крепи. Для определения положения точки D соединяют отрезками прямых положения точки C в нижнем и среднем положениях, а также – в среднем и верхнем положениях механизма. Из середины двух отрезков прямых восстанавливают перпендикуляры, точка их пересечения и определяет положение точки D шарнирного соединения переднего рычага DC с основанием секции.

Построение фактической траектории точки M можно осуществить с помощью шаблона, на котором наносятся точки B , C и M . Совмещая точки B и C с соответствующими дугами окружностей, по которым происходят качания шарниров переднего C и заднего B рычагов, получаем фактические положения точки M при различных уровнях раздвижности крепи.

Графический метод построения механизма связи сопряжен с неизбежными погрешностями и дает приближенные результаты, которые могут быть уточнены при использовании аналитических методов анализа на стадии конструирования, в том числе и с применением ЭВМ.

Рассмотрим применение векторного метода исследования механизма связи применительно к расчетной схеме на рис. 8.8. Целью анализа является установление в общем виде зависимостей для определения координат точки M .

Метод основан на замене механизма замкнутым векторным контуром и использовании условия его замкнутости для определения положения звеньев механизма по координатам его характерных точек (узлов). Условие замкнутости записывается в векторной форме или в виде проекций на оси координат. При этом целесообразно задавать направление сторонам векторного контура так, чтобы начало вектора ведущего звена совпадало с неподвижной точкой, которая одновременно является началом двух звеньев векторного контура и началом координат. Такой точкой в рассматриваемой задаче является точка A , в которой и помещено начало координат плоской системы X , Y . За положительное принимают обычно вращение против часовой стрелки. В качестве ведущего звена принимают задний рычаг AB , а в качестве координаты – угол его поворота φ_1 .

Точку D (центр вращения звена 3) соединим с центром шарнира B , получим вспомогательный вектор \vec{BA} , длина которого изменяется в процессе движения механизма. Обозначим углы наклона векторов

\overline{AA} , \overline{AN} , \overline{AN} , \overline{AA} и \overline{AA} к оси X соответственно: $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \beta_4 = const, \varphi_{\partial 6}$. Поскольку в общем случае точка M_0 (ось шарнирного соединения ограждения с перекрытием) может располагаться вне прямой, проходящей через шарниры B и C , введен угол β_2 между векторами \overline{AI} и \overline{AI}_0 .

Проектируя последовательно векторы контура на координатные оси, получаем формулы для определения координат характерных точек механизма и углов, определяющих положение звеньев 2 и 3 в зависимости от угла поворота φ_1 звена 1.

Условие замкнутости векторного контура

$$\overline{AB} + \overline{BC} = \overline{AA} + \overline{AC}. \quad (8.10)$$

Проектируя уравнение (8.10) на координатные оси, получаем для любого положения механизма

$$\left. \begin{aligned} l_1 \cdot \cos \varphi_1 + l_2 \cdot \cos \varphi_2 &= l_4 \cdot \cos \beta_4 + l_3 \cdot \cos \varphi_3; \\ l_1 \cdot \sin \varphi_1 + l_2 \cdot \sin \varphi_2 &= l_4 \cdot \sin \beta_4 + l_3 \cdot \sin \varphi_3, \end{aligned} \right\} \quad (8.10)$$

где l_1, l_2, l_3, l_4 — длины (модули) соответствующих векторов.

Используя условия замкнутости векторного контура, определим координаты положения точек и звеньев механизма.

Координаты точки B: $X_B = l_1 \cdot \cos \varphi_1$; $Y_B = l_1 \cdot \sin \varphi_1$; координаты точки

D: $X_{\bar{A}} = l_4 \cdot \cos \beta_4$; $Y_{\bar{A}} = l_4 \cdot \sin \beta_4$.

Координаты и длина вспомогательного вектора \overline{AA} :

$$X_{\bar{A}B} = X_B - X_{\bar{A}}; \quad Y_{\bar{A}B} = Y_B - Y_{\bar{A}}; \quad l_{\bar{A}B} = \sqrt{X_{\bar{A}B}^2 + Y_{\bar{A}B}^2}.$$

Угол наклона вектора \overline{AA} к оси X

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{\bar{A}B} &= \arccos \frac{X_{\bar{A}B}}{l_{\bar{A}B}}, \quad \text{àñëè} \quad Y_{\bar{A}B} > 0; \\ \varphi_{\bar{A}B} &= 2 \cdot \pi - \arccos \frac{X_{\bar{A}B}}{l_{\bar{A}B}}, \quad \text{àñëè} \quad Y_{\bar{A}B} < 0; \\ \varphi_{\bar{A}B} &= 0, \quad \text{àñëè} \quad Y_{\bar{A}B} = 0 \quad \text{è} \quad X_{\bar{A}B} > 0; \\ \varphi_{\bar{A}B} &= \pi, \quad \text{àñëè} \quad Y_{\bar{A}B} = 0 \quad \text{è} \quad X_{\bar{A}B} < 0. \end{aligned} \right\}$$

Угол φ между вспомогательным вектором \overline{AA} и вектором \overline{AN} согласно теореме косинусов

$$\varphi = \arccos \frac{l_3^2 - l_2^2 + l_{\bar{A}A}^2}{2 \cdot l_3 \cdot l_{\bar{A}A}}.$$

Угол поворота звена 3 (переднего рычага) согласно расчетной схеме

$$\varphi_c = \varphi_{\bar{A}A} - \varphi.$$

Координаты точки C:

$$\left. \begin{aligned} X_C &= l_4 \cdot \cos \beta_4 + l_3 \cdot \cos \varphi_3; \\ Y_C &= l_4 \cdot \sin \beta_4 + l_3 \cdot \sin \varphi_3. \end{aligned} \right\}$$

Проекции вектора \overline{AN}

$$\left. \begin{aligned} X_{BC} &= X_C - X_B; \\ Y_{BC} &= Y_C - Y_B. \end{aligned} \right\}$$

Угол поворота звена 2 (ограждения)

$$\left. \begin{aligned} \varphi_2 &= \arccos \frac{X_{BC}}{l_2}, \text{ а̀ñëè } Y_{BC} > 0; \\ \varphi_2 &= 2 \cdot \pi - \arccos \frac{X_{BC}}{l_2}, \text{ а̀ñëè } Y_{BC} < 0; \\ \varphi_2 &= 0, \text{ а̀ñëè } Y_{BC} = 0 \text{ è } X_{BC} > 0; \\ \varphi_2 &= \pi, \text{ а̀ñëè } Y_{BC} = 0 \text{ è } X_{BC} < 0. \end{aligned} \right\}$$

Угол наклона вектора \overline{AI}_0 , принадлежащего звену 2

$$\varphi_{21} = \varphi_2 + \beta_2.$$

В частном случае, когда

$$\beta_2 = 0, \varphi_{21} = \varphi_2.$$

Координаты точки M_0

$$\left. \begin{aligned} X_{M_0} &= l_1 \cdot \cos \varphi_1 + l_{21} \cdot \cos \varphi_{21}; \\ Y_{M_0} &= l_1 \cdot \sin \varphi_1 + l_{21} \cdot \sin \varphi_{21}. \end{aligned} \right\} \quad (8.11)$$

где $l_{21} = BM_0$ (если $\beta_2 = 0, l_{21} = BM$).

На рис. 8.9 в качестве примера в масштабе 1:10 показано определение графическим способом траектории точки M (кривая, соединяющая точки $M_1 \dots M_n$) секции крепи при следующих значениях конструктивных параметров: $AB = l_1 = 505$ мм, $BC = l_2 = 250$ мм; $AD = l_4 = 490$ мм, $\beta_4 = 14^\circ$; $DC = l_3 = 715$ мм; $CM = 810$ мм; $BM = 1060$ мм. Угол наклона ограждения к оси X : в крайнем нижнем положении $\varphi_{2н} \approx 16^\circ$, в крайнем верхнем положении $\varphi_{2в} \approx 45^\circ$. Согласно графическим построениям оценки максимальных отклонений точки M от вертикали не превышают ± 35 мм (см. положение точек M_3, M_{n-1}, M_n). Кривая, соединяющая точки $M_{цв1}, M_{цв2}, \dots, M_{цвn}$, характеризует изменение положения мгновенного центра вращения $M_{цв}$ ограждения.

Результаты аналитического определения координат точки M в пределах раздвижности этой же секции крепи с использованием вышеизложенного метода векторных контуров представлены в табл. 8.2.

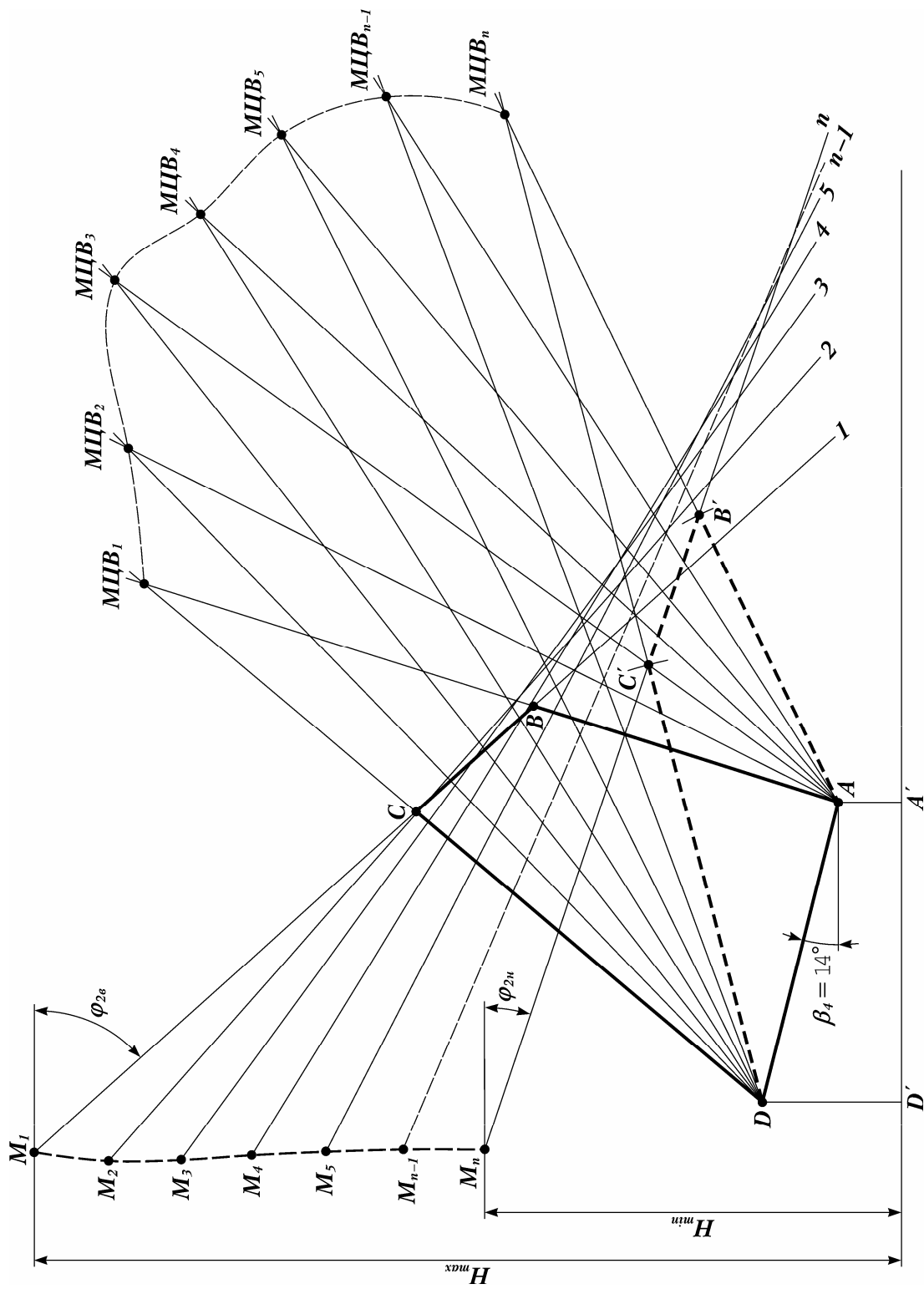


Рис. 8.9. Определение траектории точки M графическим способом

Как следует из табл. 8.2, при полностью раздвинутых стойках $\varphi_1 = 110^\circ$; $\varphi_2 = 45^\circ 15'$; $X_M = 578,8$ мм, $Y_M = 1225,2$ мм; при крайнем нижнем положении перекрытия и ограждения $\varphi_1 = 155^\circ$; $\varphi_2 = 16^\circ 50'$; $X_M = 557,0$ мм, $Y_M = 521,0$ мм. При изменении раздвижности во всем диапазоне максимальное смещение проекции точки M на ось X составляет: $\Delta X_{M \max} = 615,6 - 549,2 = 66,4$ мм, а разность между координатами проекций точки M на горизонтальную ось при крайних верхнем и нижнем положениях

$$\Delta X_M = 578,8 - 557,0 = 21,8 \text{ мм.}$$

Таблица 8.2

Результаты аналитических исследований кинематики шарнирного четырехзвенника

Параметр	Значения обобщенной координаты φ_1 , град							
	110	115	120	125	130	140	150	155
1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_B , мм	-172,7	-213,5	-252,5	-289,8	-324,7	-368,8	-437,3	-457,5
Y_B , мм	474,7	457,5	437,3	413,6	386,8	324,7	252,5	213,6
X_D , мм				475,3				
Y_D , мм				118,6				
$X_{ДВ}$, мм	-648,0	-671,1	-727,8	-765,1	-800,0	-862,1	-912,6	-932,8
$Y_{ДВ}$, мм	356,1	338,9	318,7	295,0	268,2	206,1	133,9	95,0
$l_{ДВ}$, мм	739,4	754,8	795,5	820,0	843,8	887,9	922,2	937,6
$\varphi_{ДВ}$	151°10'	153°10'	156°	158°50'	161°30'	166°10'	172°	174°
φ	19°50'	19°30'	18°10'	17°	15°50'	13°	10°	8°
φ_3	131°20'	133°40'	137°50'	141°50'	145°40'	153°10'	162°	166°
X_C , мм	3,4	-18,0	-54,5	-86,7	-116,0	-162,5	-204,6	-218,2
X_{BC} , мм	176,1	195,5	198,0	203,2	208,7	224,3	232,6	239,3
φ_2	45°15'	38°35'	37°50'	35°40'	33°25'	26°15'	21°30'	16°50'
X_M , мм	578,8	615,6	586,9	577,6	560,2	564,4	549,2	557,0
Y_M , мм	1225,2	1118,9	1087,1	1031,5	970,9	793,2	641,5	521,0

Из табл. 8.2 также следует, что если за начало отсчета принять положение точки M при максимальной раздвижности крепи, то при уменьшении высоты секции происходит вначале горизонтальное смещение точки M в сторону забоя ($X_m = 615,6$ мм) затем наблюдается монотонное в среднем смещение ее в сторону завала. Поскольку расчет координат точки M проводился с использованием табличных значений тригонометрических функций с точностью до третьего знака после запятой, полученные значения координат необходимо рассматривать также как приближенные, но более точные, чем определенные графическим способом.

Отметим также, что кинематическое исследование четырехзвенного механизма выполнено без учета зазоров в шарнирных соединениях.

По данным Донгипроуглемаш, при изменении раздвижности крепи 2КД90 во всем диапазоне максимальные смещения проекции точки M на ось X составляют 18 мм (без учета зазоров в сопряжениях).

Если горизонтальные составляющие смещений точки M превышают допустимые, необходимо скорректировать один или несколько параметров четырехзвенного механизма и повторно определить теоретическую (без учета зазоров в шарнирах) траекторию точки M . Таким образом, задача определения рациональных кинематических параметров четырехзвенного механизма является многовариантной и для ее решения целесообразно применение ЭВМ.

Для определения возможных фактических отклонений размера l_0 необходимо исследовать отклонение точки M от теоретического положения в зависимости от зазоров в шарнирных соединениях механизма связи. Исследование можно выполнить графическим способом по методу Н.Г.Бруевича или каким-либо другим методом теории точности механизмов. Иногда применяют следующие, представляющие практический интерес, результаты исследований применительно к четырехзвенному механизму щитовых секций крепи МК поддерживающе-оградительного типа:

- горизонтальное смещение точки M пропорционально величине зазоров в шарнирных соединениях и возрастает от ± 15 мм при зазорах 1 мм до ± 75 мм при зазорах 5 мм;
- с увеличением отношения CM к BC величина отклонений точки M возрастает;
- при зазорах в шарнирных соединениях звеньев механизма, равных 2 мм, горизонтальные смещения точки M соответствуют в условиях Подмосквовного бассейна перемещениям

кровли в той же плоскости; однако для гарантирования сборки механизма в крепях типа МК приняты зазоры 5 мм.

Серийно изготавливаемая секция крепи 2МК с проектным сопротивлением 1000 кН исследовалась на стенде при конструктивных высотах секций от 1,3 до 1,85 м с нагружением на перекрытие от 0 до 1000 кН. Исследованиями установлена зона резкого увеличения смещения верхней оси ограждения в направлении к забою при увеличении нагрузки до 200 кН (в основном за счет выбора зазоров) и вторая зона более плавного смещения при нагрузках на перекрытие от 200 до 1000 кН (прежде всего, за счет контактных деформаций в шарнирах и упругих деформаций звеньев). Для четырехзвенного механизма крепей типа МК смещения точки *M*, обусловленные упругой податливостью, оцениваются значениями ± 13 мм.

Выводы по разделу 8

1. Из обширного перечня требований к механизированным крепям можно выделить наиболее существенные, которые определяют конструктивные особенности силовых элементов:

- уровень надежности;
- приемлемая материалность конструкции крепи;
- технологичность конструкции;
- минимальная трудоемкость изготовления;
- защита деталей и узлов крепи от воздействия агрессивной шахтной среды.

2. В целях снижения материалоемкости гидростоек для цилиндров первой и второй ступеней и штоков целесообразно применять трубы из легированной и термообработанной стали марки 30ХГСА.

3. После завершения разработки конструкции гидростойки производится поверочный расчет на прочность и упругую устойчивость.

4. Номинальные диаметры основных элементов устанавливаются, исходя из заданной несущей способности крепи и рабочего давления жидкости.

5. Современные крепи имеют высокую несущую способность, поэтому элементы стоек подвержены значительным усилиям. По уровню нагруженности и степени важности выполняемых функций в составе секций механизированных крепей главными структурными элементами являются гидростойки и гидродомкраты передвижки.

6. К основным узлам металлоконструкций секций крепи относятся перекрытия, основания, оградительные элементы, рычаги или траверсы.

7. Важнейшим узлом секций механизированных крепей щитовой конструкции является механизм связи ограждения с основанием.

Литература к разделу 8

8.1. Солод В.И., Гетопанов В.Н., Рачек В.М. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов. – М.: Недра, 1982. – 350 с.

8.2. Расчет и конструирование гидроприводов механизированных крепей /Ю.Ф.Пономаренко, А.А.Баландин, Н.Т.Богатырев и др. – М.: Машиностроение, 1981. – 327 с.

8.3. Докукин А.В., Коровкин Ю.А., Яковлев Н.И. Механизированные крепи и их развитие. – М.: Недра, 1984. – 288 с.

8.4. Механизированные крепи очистных комплексов и агрегатов. Учебное пособие /П.А.Горбатов, В.Г.Гуляев, Н.М.Лысенко и др. – Донецк: Институт содержания и методов обучения Министерства образования Украины, 1997. – 275 с.

8.5. Математические модели и методы расчета параметров процессов горных работ и добычного оборудования: Монография / Под общ. ред. С.С.Гребенкина и В.Н.Павлыша // С.С. Гребенкин, В.Н. Павлыш, В.И. Зензеров и др. – Донецк: ВИК, 2007. – 385с.

РАЗДЕЛ 9. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ КРЕПЯМИ НА НАКЛОННЫХ, КРУТОНАКЛОННЫХ И КРУТЫХ ПЛАСТАХ

9.1. Методика аналитической оценки устойчивости и обеспечения направленности передвижения секций механизированной крепи на наклонных пластах

Практикой ведения очистных работ доказано, что при работе механизированных крепей в лавах с углом падения пласта свыше 15° значительная часть отказов возникает вследствие низкой эффективности средств обеспечения устойчивости их секций. Под статической устойчивостью и устойчивостью секций крепи в процессе их передвижения в данной работе понимается их способность сохранять под действием внешних силовых факторов и активных средств удержания такое пространственное положение, при котором возможна нормальная эксплуатация секций в комплекте механизированной крепи. Проверка устойчивости к опрокидыванию заключается в определении соотношения восстанавливающего и опрокидывающего моментов сил относительно оси, проходящей внутри контура основания секции (при боковых породах с $f=3,5-4$ по шкале проф. Протоdjeяконова М.М.), а в пределе – через крайнюю точку контура (при боковых породах с f до 7-8) и сравнении этого соотношения с допустимым. Опрокидывание – поворот секции крепи вокруг оси, проходящей через основание, причем положение ее зависит от физико-механических свойств почвы.

Авторами предлагается методика аналитической оценки устойчивости и обеспечения направленности передвижения секций механизированной крепи на наклонных пластах, суть которой сводится к следующему.

На пространственное положение секции и скорость ее передвижения оказывают влияние большое количество факторов, основными из которых являются: наклонные составляющие веса секции крепи, положение центра ее тяжести, составляющие тягового усилия гидродомкрата, активный удерживающий момент, создаваемый системой устойчивости, величина подпорного усилия при передвижении с подпором, усилия взаимодействия в межсекционных связях балок и ос-

нований, пригрузка пород кровли на перекрытие секции, вдавливание основания в почву пласта и др. Определим запас устойчивости секций крепи в процессе однократного передвижения. Расчетная схема системы устойчивости крепи приведена на рис. 9.1. Момент, удерживающий секцию крепи от опрокидывания, равен:

$$\sum \dot{I}_{\acute{o}\grave{a}} = \dot{I}_G^{\acute{o}\grave{a}} + \dot{I}_{\grave{i}\grave{i}\grave{a}\grave{i}}^{\acute{o}\grave{a}} + \dot{I}_{\acute{a}\grave{c}\grave{a}\grave{e}\grave{i}}^{\acute{o}\grave{a}} + \dot{I}_{\acute{a}\grave{e}\grave{e}\grave{o}}^{\acute{o}\grave{a}}, \quad (9.1)$$

где $M_G^{y\delta}$ – удерживающий момент от составляющей веса секции крепи;

$M_{подн.}^{y\delta}$ – удерживающий момент от подпорного усилия;

$M_{взаим.}^{y\delta}$ – момент от взаимодействия в межсекционных связях;

$M_{акт.}^{y\delta}$ – активный удерживающий момент, создаваемый механизмом устойчивости.

Момент, опрокидывающий секцию крепи, складывается из моментов от составляющих веса M_G^{onp} и тягового усилия гидродомкрата передвижения M_{δ}^{onp} :

$$\sum \dot{I}_{\grave{i}\grave{i}\delta} = \dot{I}_G^{\grave{i}\grave{i}\delta} + \dot{I}_{\grave{a}\grave{a}}^{\grave{i}\grave{i}\delta}. \quad (9.2)$$

Моменты от составляющих веса крепи равны:

$$\begin{aligned} \dot{I}_G^{\acute{o}\grave{a}} &= Gl_B \cos \alpha \\ M_G^{\grave{i}\grave{i}\delta} &= GH_{\delta} \sin \alpha \end{aligned} \quad (9.3)$$

где G – вес секции крепи с пригрузкой;

α – угол падения пласта;

l_B – плечо восстанавливающего момента, с учетом ширины основания, равной l и смятия пород почвы под нижним (со стороны падения пласта) ребром основания на величину Δb (в расчетах принимается равной 0,05м) равно:

$$l_B = \frac{l}{2} - \Delta b, \quad (9.4)$$

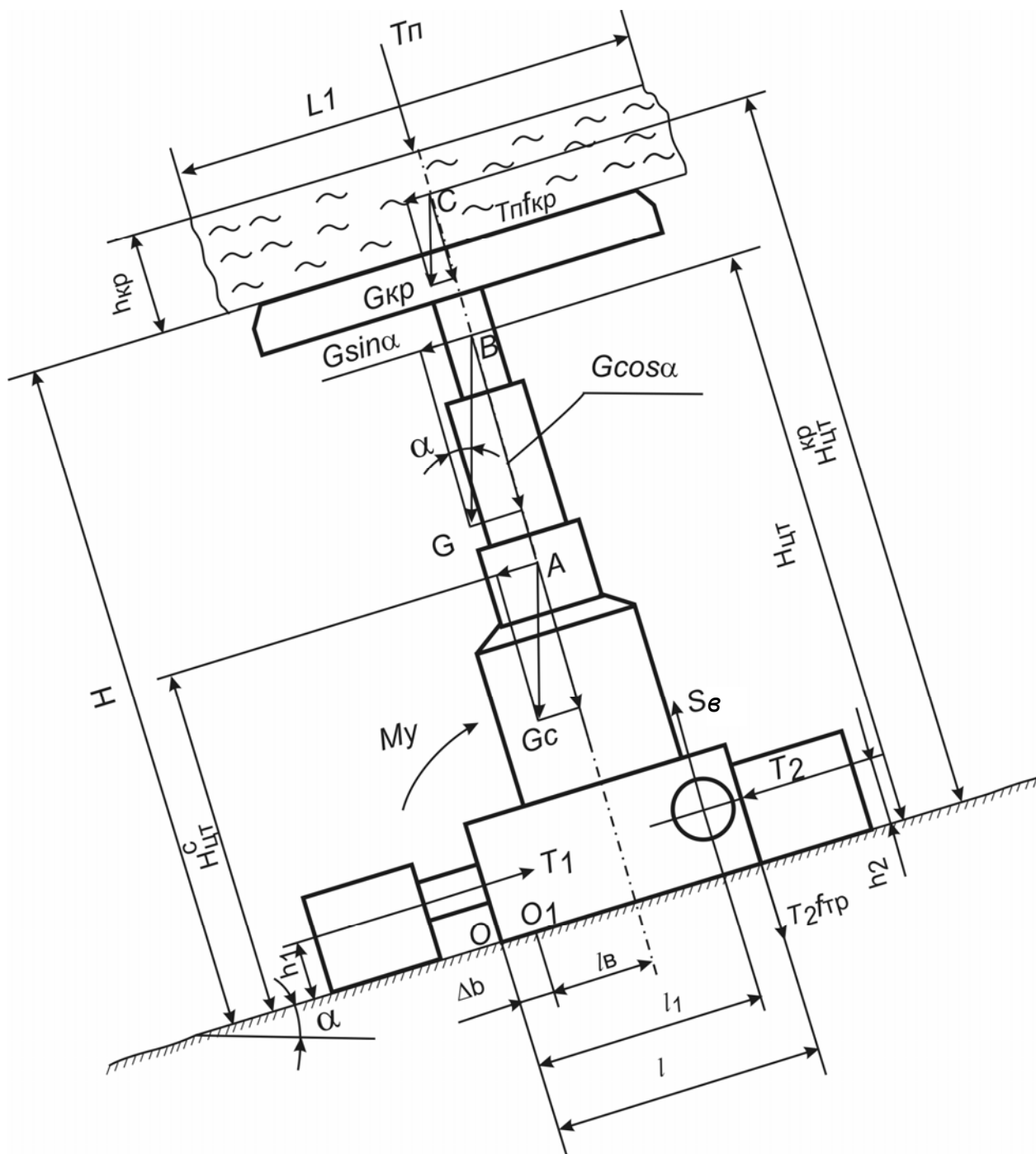


Рис. 9.1. Расчетная схема к определению боковой устойчивости секции механизированной крепи

$H_{ум}$ – высота центра тяжести системы "секция крепи – кровля"; при слабых кровлях рассчитывается с учетом массы отслоившейся породы высотой $h_{кр}=0,5\div 0,7$ м:

$$\dot{I}_{\ddot{o}\delta} = \frac{G_c H_{\ddot{o}\delta}^c + G_{кр} H_{\ddot{o}\delta}^{\hat{e}\delta}}{G}, \quad (9.5)$$

где G_c – вес секции крепи;

$H_{ум}^c$ – высота центра тяжести секции;

$G_{кр}$ – вес отслоившейся породы кровли плотностью γ равен:

$$G_{кр} = h_{кр} L_1 L_2 \gamma, \quad (9.6)$$

где L_1 – шаг установки секций крепи;

L_2 – ширина поддерживаемого крепью призабойного пространства;

$H_{ум}^{кр}$ – высота центра тяжести отслоившейся кровли, находящейся на перекрытии секции высотой H :

$$\dot{I}_{\ddot{o}\delta}^{\hat{e}\delta} = \dot{I} + \frac{h_{\hat{e}\delta}}{2}. \quad (9.7)$$

Отметим, что передвижение секций крепи с подпором, способствует повышению устойчивости секций на наклонных пластах. Удерживающий момент от подпорного усилия T_n равен:

$$\dot{I}_{\ddot{i}\ddot{a}\ddot{i}}^{\acute{o}\ddot{a}} = \dot{O}_i (l_b + f_{\hat{e}\delta} \dot{I}), \quad (9.8)$$

где $f_{кр}$ – коэффициент трения перекрытия о кровлю.

Максимальная величина усилия подпора кровли определяется из условия обеспечения движения секции крепи усилием, развиваемым гидродомкратом передвижения. Горизонтальная составляющая тягового усилия гидродомкрата S_r , равная силам сопротивления передвижению секции крепи, определяется из выражения:

$$S_r = G \cos \alpha f_n + T_n f_n + T_n f_{кр} + (T_1 + T_2) f_{tp} + R_y f_{tp} + S_b f_n, \quad (9.9)$$

где $f_n, f_{кр}, f_{tp}$ – соответственно, коэффициенты трения основания о почву, перекрытия о кровлю пласта и коэффициент трения в межсекционных связях;

T_1, T_2 – усилия взаимодействия секции с элементами крепи.

Количественная оценка усилий T_1 и T_2 производится согласно формул (9.19) и (9.23);

R_v – реакция опоры рычага механизма устойчивости;

S_g – вертикальная составляющая тягового усилия гидродомкрата.

Авторами получены выражения для составляющих S_r , S_g и тягового усилия гидродомкрата Q в зависимости от конструктивных параметров и величины рассогласования в уровнях основания секции крепи и конвейера. Учитывая, что тяговое усилие гидродомкрата не может быть более максимальной величины усилия передвижения, заложенного в конструкцию, находим максимальную величину усилия подпора кровли:

$$T_n \max = \frac{\pi/4 [P_2(D_b^2 - d^2) - P_3 D_b^2] \eta (\cos \beta_{\delta} - f_{\delta} \sin \beta_{\delta})}{\cos(\beta_{\delta} - \gamma_{\delta}) (f_n + f_{kp})} - \frac{[G \cos \alpha f_n + (T_1 + T_2 + R_y) f_{tp}] \cos(\beta_{\delta} - \gamma_{\delta})}{(f_n + f_{kp})}, \quad (9.10)$$

где P_2 и P_3 – соответственно давления рабочей жидкости в штоковой и поршневой полостях гидродомкрата;

D_b и d – соответственно внутренний диаметр цилиндра и диаметр штока гидродомкрата;

η – объемный КПД (при уплотнениях резиновыми манжетами $\eta=1$);

β_u – угол отклонения цепи от горизонтальной оси в вертикальной плоскости;

γ_{δ} – угол отклонения оси гидродомкрата от оси отверстия для установки в вертикальной плоскости.

Опрокидывающий момент от вертикальной составляющей тягового усилия гидродомкрата равен:

$$\dot{I}_{\ddot{a}\ddot{a}}^{\ddot{i}\ddot{\delta}} = S_b (l_1 - \Delta b), \quad (9.11)$$

где l_1 – расстояние от оси гидродомкрата до нижнего по падению пласта ребра основания.

Вертикальная составляющая тягового усилия гидродомкрата S_b равна:

$$S_B = S_r t_d \arcsin \frac{a}{l_{\text{цепи}}}, \quad (9.12)$$

где a – рассогласование по уровням между осью гидродомкрата и осью крепления цепи на кронштейне конвейера;

$l_{\text{цепи}}$ – длина цепи, соединяющей секцию крепи с конвейером.

Удерживающий момент, возникающий при взаимодействии секции с элементами конструкции комплекса:

$$\dot{I}_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}} = \dot{O}_1 h_1 + T_2 f_{tp}(l - \Delta b), \quad (9.13)$$

где h_1 – плечо силы T_1 .

Усилие сжатия боковой рессоры T_1 и усилие T_2 , действующее на основание секции крепи от балки, определим с учетом сползания конвейера при работе механизированных крепей на наклонных пластах. Расчетная схема приведена на рис. 9.2. При сползании конвейера по падению пласта происходит разворот направляющих балок вокруг точки O_1 . Условие удержания конвейера имеет вид:

$$(G_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}} \sin \alpha - G_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}} \cos \alpha f_n) l_Q \leq R_A l_A + R_B l_B, \quad (9.14)$$

где $G_{кон}$ – масса конвейера и направляющих балок, приходящаяся на одну боковую рессору;

l_Q – расстояние от центра тяжести выдвигаемого оборудования до точки разворота;

R_A, R_B – реакции рессоры в точках контакта с основанием секции крепи;

l_A, l_B – плечи реакций.

Реакции рессоры R_A и R_B прямо пропорциональны плечам l_A и l_B :

$$\frac{R_A}{R_B} = \frac{l_A}{l_B}, \quad (9.15)$$

откуда:

$$R_B = R_A \frac{l_A}{l_B}. \quad (9.16)$$

Из формулы (9.14) с учетом (9.16) реакция в точке A равна:

$$R_A = \frac{G_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}} (\sin \alpha - \cos \alpha f_n) l_Q l_A}{l_A^2 + l_B^2}. \quad (9.17)$$

Реакция в точке B :

$$R_B = \frac{G_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}} (\sin \alpha - \cos \alpha f_n) l_Q l_B}{l_A^2 + l_B^2}. \quad (9.18)$$

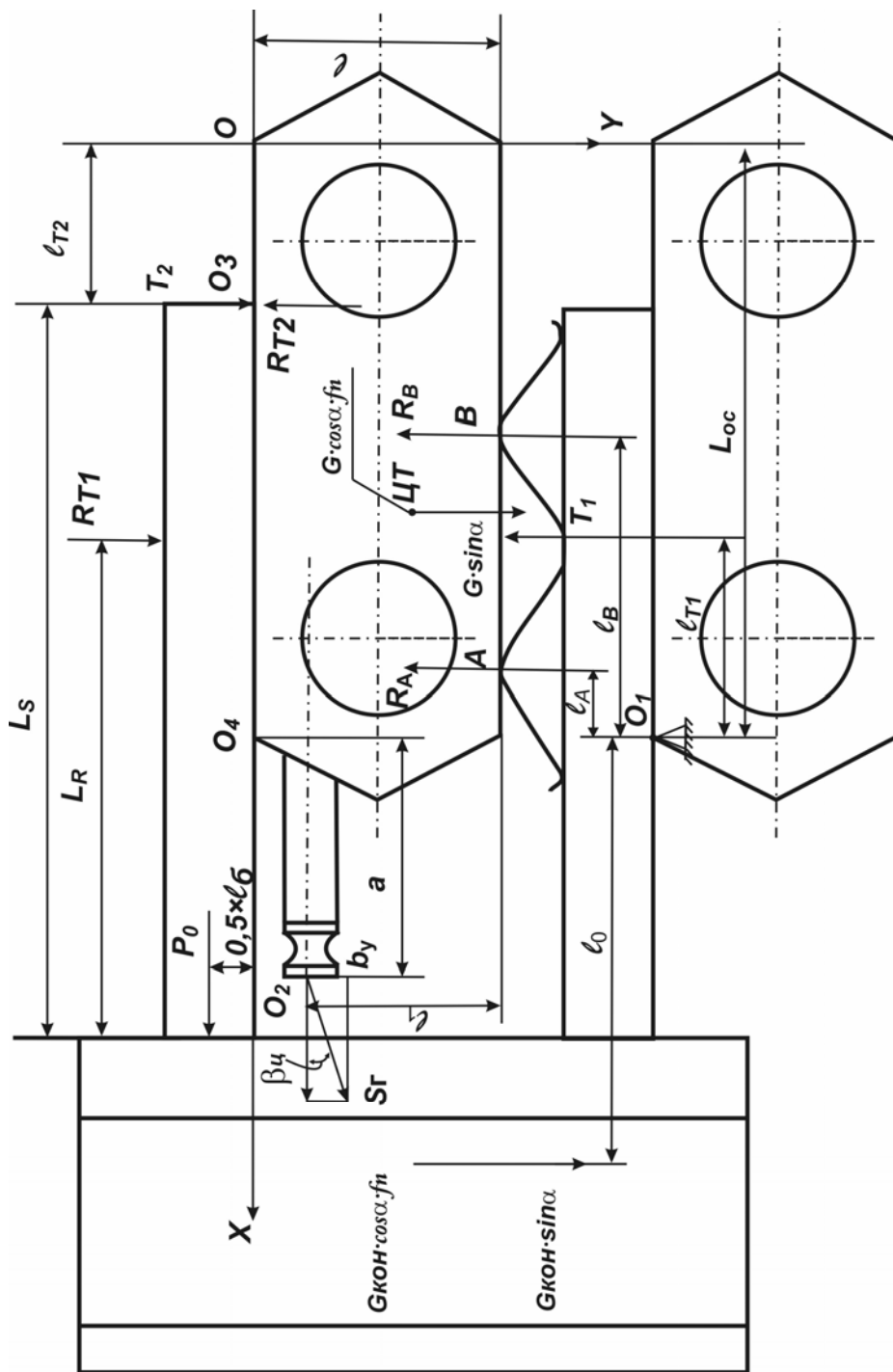


Рис. 9.2. Расчетная схема определения устойчивости секций крепи к сползанию и развороту их по падению пласта

Равнодействующая реакция R_A и R_B :

$$T_1 = R_A + R_B = \frac{G (\sin \alpha - \cos \alpha f_n) l_Q (l_A + l_B)}{l_A^2 + l_B^2} . \quad (9.19)$$

Плечо приложения силы сжатия боковой рессоры:

$$l_{T1} = \frac{l_A^2 + l_B^2}{l_A + l_B} . \quad (9.20)$$

Направляющая балка, расположенная между секциями крепи, закреплена к конвейеру с помощью пакета рессор. Усилие сжатия рессор P_p . Сумма моментов сил, действующих на балку относительно точки O_2 :

$$\sum \dot{M}_{O_2} = 0; \quad \dot{E}_\delta * 0,5l_A - R_{T1}L_R + R_{T2}L_A = 0 , \quad (9.21)$$

где l_B и L_B – соответственно ширина и длина направляющей балки; L_R – плечо реакции силы T_1 относительно точки O_2 .

Усилие, действующее на основание секции крепи от балки:

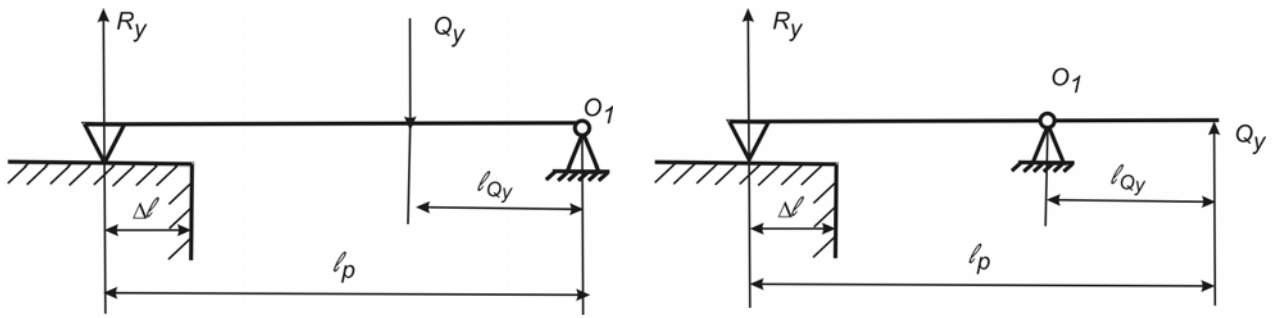
$$T_2 = \frac{T_1 L_R - P_p * 0.5 l_b}{L_b} . \quad (9.22)$$

С учетом формулы (9.19) получаем:

$$T_2 = G (\sin \alpha - \cos \alpha f_n) \frac{l_Q L_R (l_A + l_B)}{L_b (l_A^2 + l_B^2)} - 0.5 P_p \frac{l_b}{L_b} . \quad (9.23)$$

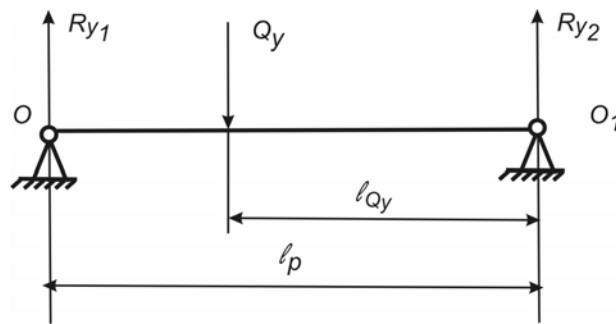
Активный удерживающий момент $M_{акт}^{уд}$ рассчитывается для конкретного конструктивного исполнения механизма устойчивости. Анализ существующих средств обеспечения боковой устойчивости секций крепи на наклонных пластах позволяет выделить перспективные и широко применяемые конструкции механизмов устойчивости. Ниже приведена предложенная автором методика расчета активного удерживающего момента для этих конструкций.

Схема механизма устойчивости, состоящего из гидропатрона и рычага, шарнирно закрепленного на буфере стойки, приведена на рис. 9.3а.



а) Механизм устойчивости секции закреплен на буфере стойки

б) Механизм устойчивости закреплен на основании секции



в) Механизм устойчивости секции крeпи типа ДУ

Рис. 9.3. Схемы механизмов устойчивости

Реакция R_y в точке опоры рычага механизма устойчивости равна:

$$R_y l_P - Q_y l_Q = 0$$

$$\sum \dot{I} \hat{i}_1 = 0; \quad R_y = Q_y \frac{l_Q}{l_P} = Q_y K_c, \quad (9.24)$$

где Q_y – усилие, развиваемое гидропатроном механизма устойчивости;
 l_Q – расстояние от оси крепления рычага до оси гидропатрона;
 l_P – длина рычага;
 K_c – коэффициент, учитывающий связь между усилием в гидропатроне и реакцией в точке опоры рычага.

Удерживающий момент при опоре рычага на направляющую балку:

$$\dot{I} \overset{\acute{o}\ddot{a}}{\underset{\grave{a}\acute{e}\grave{o}}{\hat{e}\hat{o}}} = R_y l_y = Q_y \frac{l_Q}{l_P} (L_1 - l - l_b + \Delta l + \Delta b), \quad (9.25)$$

где Δl – расстояние от края балки до точки опоры рычага.

Удерживающий момент при опоре рычага на основание соседней секции:

$$\dot{I}_{\dot{a}\dot{e}\dot{o}}^{\acute{o}\ddot{a}} = R_y L_1 = Q_y \frac{l_Q}{l_p} L_1, \quad (9.26)$$

Для конструкции механизма устойчивости с рычагом, шарнирно закрепленном на основании секции (рис. 9.3б), удерживающий момент равен:

$$\dot{I}_{\dot{a}\dot{e}\dot{o}}^{\acute{o}\ddot{a}} = Q_y \frac{l_Q}{l_p - l_Q} (L_1 - l - l_b + \Delta l + \Delta b), \quad (9.27)$$

В механизме устойчивости типа ДУ (рис. 9.3в) удерживающий момент рассчитывается по формулам:

$$\begin{aligned} \sum M_{oi} = 0; \quad R_{y1} l_p - Q_y l_Q &= 0, \\ R_{y1} &= Q_y \frac{l_Q}{l_p} \\ \sum M_o = 0; \quad R_{y2} l_p - (l_p - l_Q) Q_y &= 0, \\ R_{y2} &= Q_y \frac{l_p - l_Q}{l_p} \\ \dot{I}_{\dot{a}\dot{e}\dot{o}}^{\acute{o}\ddot{a}} = R_{y1} l_{y1} + R_{y2} l_{y2} &= Q_y \frac{l_Q}{l_p} \left(\frac{L_1 - l_p - l}{2} + l - \Delta b \right) + \\ + Q_y \frac{l_p - l_Q}{l_p} \left(\frac{L_1 - l_p - l}{2} + \Delta b \right) &= Q_y \frac{(l - 2\Delta b)(2l_Q - l_p) + l_p(L_1 - l_p)}{2l_p} \end{aligned} \quad (9.28)$$

Запас устойчивости секции крепи в процессе однократного перемещения равен отношению моментов удерживающего $\sum M_{y\partial}$ и опрокидывающего $\sum M_{onp}$ секцию. С учетом формул (9.1), (9.2), (9.3), (9.8), (9.11) и (9.13) получим выражение для запаса устойчивости:

$$n = \frac{Gl_b \cos \alpha + T_n(l_b + f_{kp}H) + T_1 h_1 + T_2 f_{TP}(l - \Delta b) + Q_y l_y K_c}{GH_{\partial T} \sin \alpha + S_r(l_1 - \Delta b) t \arcsin \frac{a}{l_{\partial \dot{a} \dot{e} \dot{o}}}}, \quad (9.29)$$

В формуле (9.29) коэффициент K_c и плечо l_v удерживающего момента относительно точки опрокидывания секции крепи рассчитывается для конкретного механизма устойчивости. На основании выражения (9.29) для конкретных условий эксплуатации и конструктивных параметров секции крепи, а также для обеспечения заданной величины запаса устойчивости, можно определить требуемое значение усилия, развиваемого гидропатроном механизма устойчивости.

Исследования кинематики передвижения секций крепи на наклонных пластах позволяют получить требования к гидроприводу при выполнении операций технологического цикла. Исследования динамики работы гидросистемы механизированной крепи позволяют определить закономерности изменения состояния гидросистемы и переходных процессов, протекающих в ней. Эти исследования обосновывают параметры системы устойчивости, обеспечивающей удержание и корректировку положения секции крепи в плоскости наклонного пласта.

9.2. Оценка результаты теоретических исследований процессов передвижения секций механизированных крепей на наклонных пластах

Авторами выполнены исследования кинематики передвижения секций механизированных крепей на базе поддерживающих крепей с нижним расположением связей, предназначенных для работы в лавах с углом падения пласта до 35° .

Расчет устойчивости в процессе однократного передвижения без подпора секций крепей, не оснащенных специальной системой устойчивости, сводится к определению максимального значения угла падения пласта, при котором еще обеспечивается боковая устойчивость секций. Ориентировочный расчет устойчивости выполняется с учетом выражений (9.3) - (9.7) для конкретных горно-геологических условий эксплуатации и запаса устойчивости, равного единице, по формуле:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{\left(\frac{l}{2} - \Delta b\right)(G_c + h_{kp} L_1 L_2 \gamma)}{G_c H_{\dot{\sigma}\dot{\sigma}}^c + h_{kp} L_1 L_2 \gamma \left(H + \frac{h_{kp}}{2}\right)}, \quad (9.30)$$

Для выполнения инженерных расчетов разработана и предложена номограмма определения максимального значения угла падения пласта α в зависимости от массы секции крепи G_c высоты центра тяжести секции H_{cm}^c , площади кровли (L_1, L_2), поддерживаемой одной секцией крепи, мощности пласта H , ширины основания l и высоты отслоившейся кровли $h_{кр}$. На рис. 9.4 приведена номограмма расчета α , ключ к номограмме показан на рис. 9.5. Порядок работы с номограммой следующий:

- во II квадранте находим точку пересечения абсциссы массы секции крепи G_c с прямой, соответствующей высоте центра тяжести секции H_{cm}^c ;
- в III квадранте определяем точку пересечения ординаты, равной высоте отслоившейся породы кровли $h_{кр}$, с кривой для соответствующей площади кровли, поддерживаемой одной секцией крепи и равной произведению шага установки секций на длину перекрытия $L_1 L_2$. Абсцисса найденной точки дает массу отслоившейся кровли $G_{кр}$;
- в III квадранте соединяем ординаты на оси $h_{кр}$ и оси высоты секции крепи H . На пересечении с осью $H^{кр}$ получаем значение высоты центра тяжести отслоившейся кровли;
- переносим значение $H^{кр}$ в IV квадрант, для чего соединяем найденную точку с точкой А оси абсцисс;
- в IV квадранте находим пересечение абсциссы $G^{кр}$ прямой для соответствующей высоты центра тяжести кровли $H^{кр}$;
- соединяем полученные точки пересечения во II и IV квадрантах и на оси $H_{цт}$ получаем значение высоты центра тяжести системы секция крепи - кровля;
- в I квадранте откладываем на оси абсцисс ширину основания секции крепи l ;
- при необходимости учета смятия пород почвы под нижним ребром основания значение абсциссы требуется брать меньшей на величину $2 \cdot \Delta b$;
- точка в I квадранте с абсциссой l и ординатой $H_{цт}$ определяет величину максимального угла падения пласта.

Теоретические исследования устойчивости секций крепи выполнены для интервалов мощности пласта $H=1,0—1.5$ м и углов падения пласта $\alpha=0-35^\circ$, а также с учетом состояния кровли и почвы при эксплуатации комплекса.

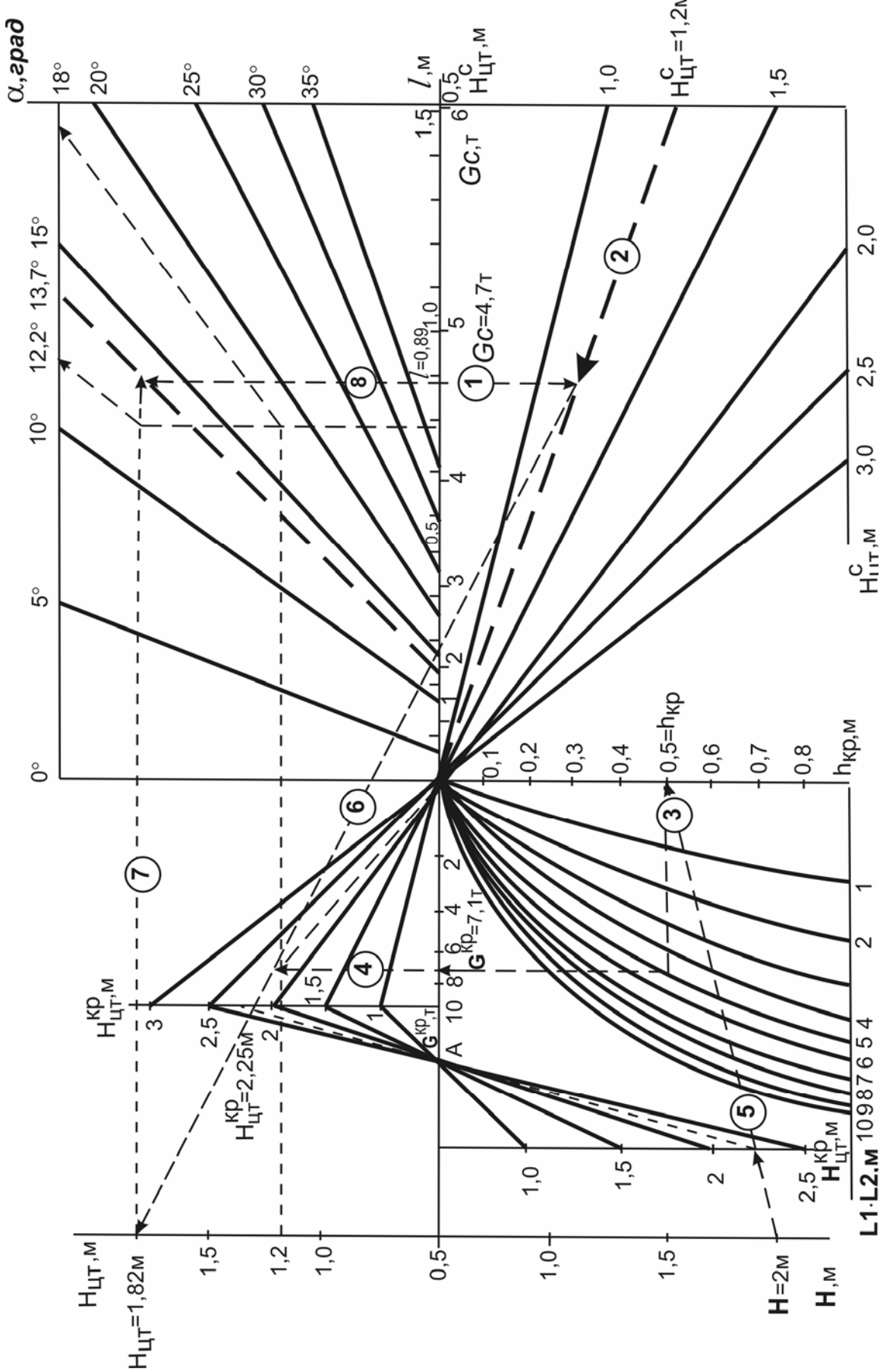


Рис. 9.4. Номограмма определения значения угла падения пласта

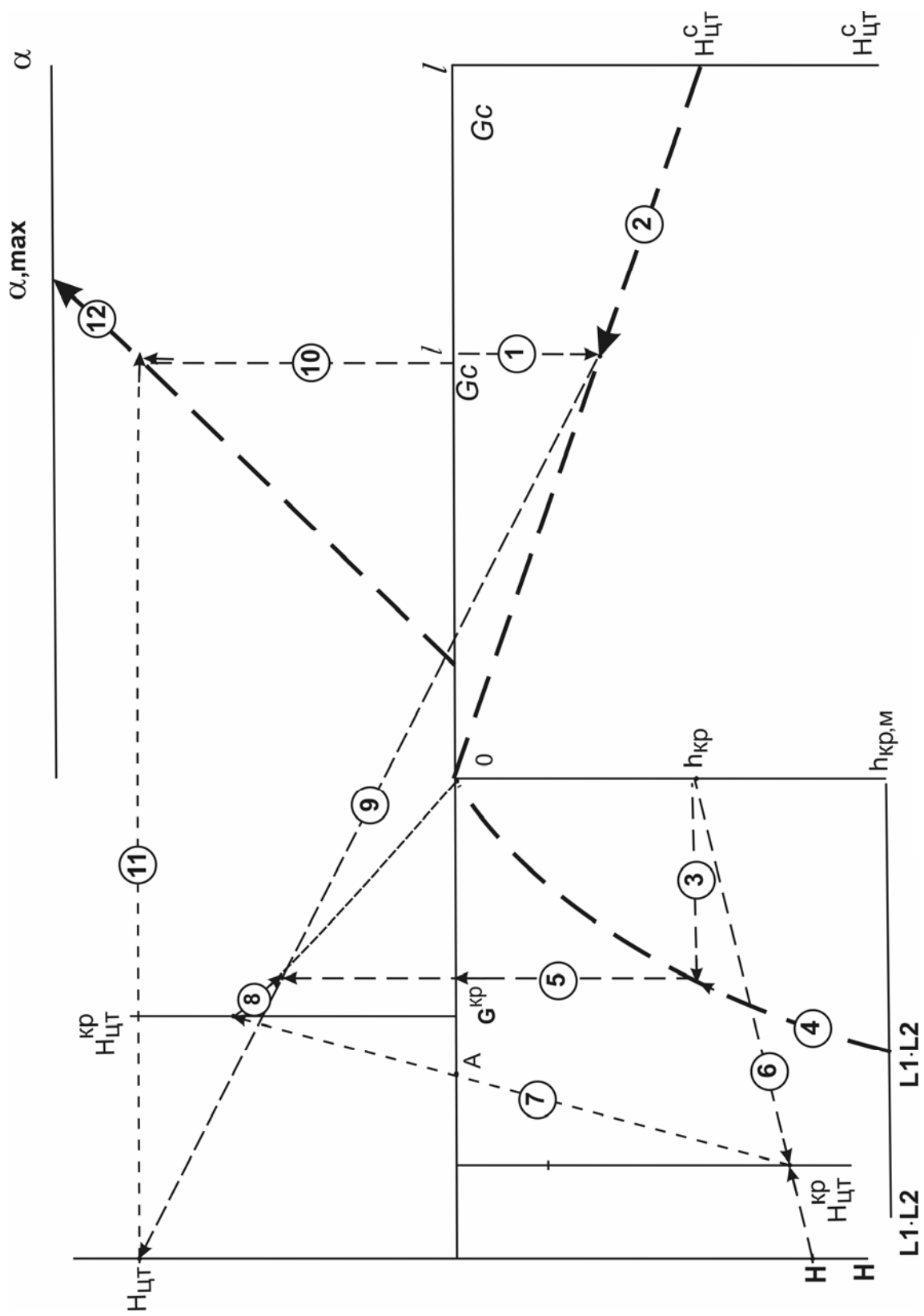


Рис. 9.5. Ключ номограммы

Исследования проведены для четырех характерных случаев, встречающихся в условиях очистного забоя:

- кровля – устойчивая $h_{кр} = 0$, почва прочная $\Delta b = 0$;
- кровля – устойчивая $h_{кр} = 0$, почва слабая $\Delta b = 0,05\text{м}$;
- кровля – неустойчивая, отслоившаяся $h_{кр} = 0,5\text{м}$, почва прочная $\Delta b = 0$;
- кровля – неустойчивая, отслоившаяся $h_{кр} = 0,5\text{м}$, почва слабая $\Delta b = 0,05\text{м}$.

Вертикальная составляющая усилия гидродомкрата принята максимальной, что соответствует величине рассогласования положения конвейера и крепи в вертикальной плоскости на $0,1\text{м}$.

На основании формулы (9.30), либо по номограмме рис. 9.4 определяем максимальный угол падения пласта при работе секции крепи без системы устойчивости. Зависимость критического угла статической боковой устойчивости секции крепи класса 1МТ от горно-геологических условий приведена на рис. 9.6. Анализ графика показывает, что в благоприятных горно-геологических условиях эксплуатация секций крепи класса 1МТ без использования специальных средств обеспечения боковой устойчивости (на максимальной для первого типоразмера мощности пласта) возможна до углов падения пласта не более 25° . Установлено, что состояние почвы и кровли пласта оказывает существенное влияние на устойчивость секции крепи, уменьшая диапазон возможной ее работы по углу падения пласта на величину до 41%. Так, критический угол статической устойчивости секции крепи 1МТ при разгрузке в лаве со слабой почвой и неустойчивой, отслоившейся кровлей снижается до 15° .

Для расширения области эксплуатации механизированных крепей до 35° и повышения запаса устойчивости необходимо применение специальных систем устойчивости.

На основании формулы (9.29) определим давление, необходимое для удержания секции от опрокидывания, в механизме устойчивости, конструкция которого выполнена по первой схеме (рис. 9.3а). Зависимость требуемого давления P в гидропатроне, обеспечивающего устойчивость секции крепи для различных углов падения α и мощности пласта H приведена на рис. 9.7. Анализ рисунка показывает, что при отсутствии в лаве горно-геологических нарушений рассматриваемая конструкция механизма устойчивости обеспечивает (при давлении в гидропатроне до 20МПа) удержание секций крепи от бокового опрокидывания на углах падения пласта до 35° и мощности пласта

до 1,5м (график I, рис. 9.7). При отклонении секций крепи от нормального положения этого давления уже недостаточно для их восстановления (график 2, рис. 9.7).

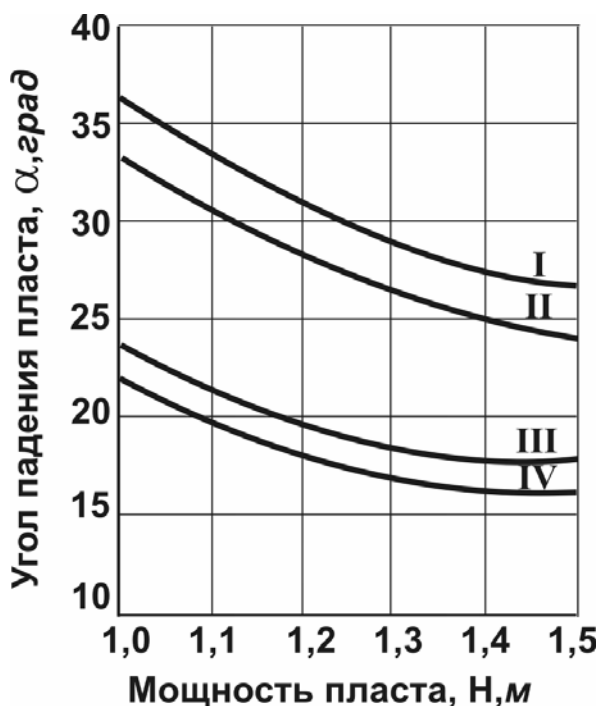


Рис. 9.6. График зависимости критического угла статической боковой устойчивости секции крепи от горно-геологических условий отработываемого пласта

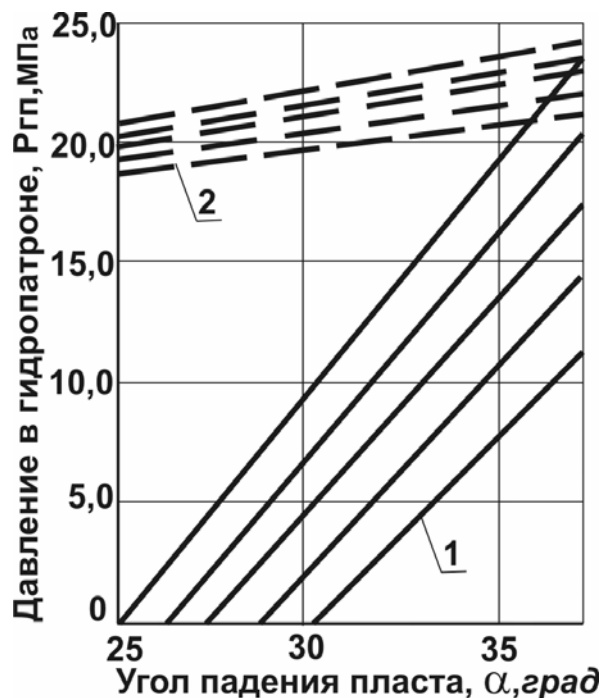


Рис. 9.7. Графическое представление теоретической зависимости требуемого давления в гидропатроне секции крепи от угла падения пласта

Выполненные исследования доказывают, необходимость изменения системы устойчивости и совершенствования технологии передвижения секций крепи на наклонных пластах.

Предыдущие исследования были выполнены для коэффициентов запаса устойчивости n , равного единице. Однако, изменение горно-геологических условий в процессе продвигания забоя при отработке столба и, даже, по длине самой лавы, требует обеспечения запаса устойчивости, величина которого зависит от условий эксплуатации механизированной крепи.

На рис. 9.8 приведены зависимости запаса боковой устойчивости секций крепи 1МТ при мощности пласта $H=1,5\text{м}$ для различных углов падения пласта α и состояния почвы и кровли пласта (графики I-IV). Секции не оборудованы системой устойчивости. Анализируя зависимости, отмечаем, что статическая устойчивость секций крепи 1МТ (без

системы устойчивости и без подпора) обеспечивается: кровля устойчивая $h_{кр}=0$, почва прочная $\Delta b = 0$ на углах падения пласта до 25° ; кровля устойчивая $h_{кр}=0$, почва слабая – до $23^\circ 30'$; кровля неустойчивая, отслоившаяся $h_{кр}=0,5\text{м}$, почва прочная $\Delta b = 0$ – до 18° ; кровля неустойчивая, отслоившаяся $h_{кр}=0,5\text{м}$, почва слабая – до 16° . Учитывая изложенное, для запасов устойчивости $n = 1,3-1,5$ можно рекомендовать эффективную работу секций крепи 1МТ без системы устойчивости в благоприятных горно-геологических условиях на пластах с углами падения до 20° , а в неблагоприятных условиях – до 10° .

На рис. 9.8 (график V) показаны зависимости запаса устойчивости секций 1МТ от угла падения пласта для сложных горно-геологических условий: $h_{кр} = 0,5\text{ м}$, $\Delta b = 0,06\text{ м}$ при работе с подпором $T_n=20\text{ кПа}$ с учетом отрицательного влияния на устойчивость вертикальной составляющей тягового усилия гидродомкрата передвижения $S_o=12,2\text{ кН}$. Движение секций с подпором обеспечивает запас устойчивости крепи во всем диапазоне мощности пласта $H = 1,0-1,5\text{ м}$. Причем, запас устойчивости при $H = 1,5\text{ м}$, $\alpha=35$, равен $n = 1,5$.

Из изложенного следует, что обязательным условием эффективной эксплуатации крепи 1МТ (в благоприятных горно-геологических условиях на пластах с углом падения свыше 20° и в сложных – свыше 10°) является передвижение секций с подпором.

Проведена оценка запаса устойчивости секций крепи с системой устойчивости при $H = 1,5\text{ м}$, $S_o = \text{max}$, $T_n = 0$ для различных горно-геологических условий. Анализ результатов показывает, что использование системы устойчивости повышает коэффициент ее запаса в 1,65 раза с 0,7 (рис. 9.8, кривая I, $\alpha = 35^\circ$) до 1,15 (рис. 9.9, кривая I, $\alpha = 35^\circ$) при мощности пласта $H = 1,5\text{ м}$, благоприятных горно-геологических условиях $\Delta b = 0$; $h_{кр} = 0$, давлении в гидропатроне $P_{гп} = 60\text{МПа}$, и диаметре гидропатрона системы устойчивости $d_{гп} = 60\text{ мм}$. Увеличение диаметра гидропатрона с 60 мм до 80 мм повышает запас устойчивости в 1,3 раза, т.е. с 1,15 до 1,5 при тех же условиях.

В сложных горно-геологических условиях ($h_{кр} = 0,5\text{ м}$, $\Delta b = 0,05\text{ м}$) запас устойчивости секций крепи резко снижается с 1,15 (кривая 4, $\alpha = 35^\circ$) до 0,5 (кривая 1, $\alpha = 35^\circ$), т.е. в 2,3 раза (рис. 9.9). Увеличение давления в гидропатроне системы устойчивости не сказывается существенно на росте запаса устойчивости секций крепи (кривые 1, 2, рис. 9.9), а увеличение диаметра гидропатрона с 60 мм до 80 мм повышает запас устойчивости в 1,3 раза (кривые 2, 3 рис. 9.9).

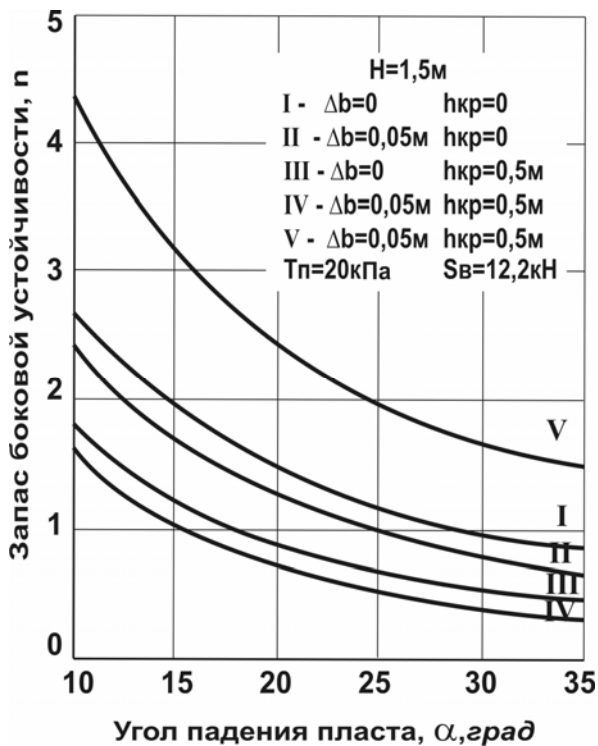


Рис. 9.8. График зависимости запаса боковой устойчивости секции крепи от угла падения пласта (без системы устойчивости)

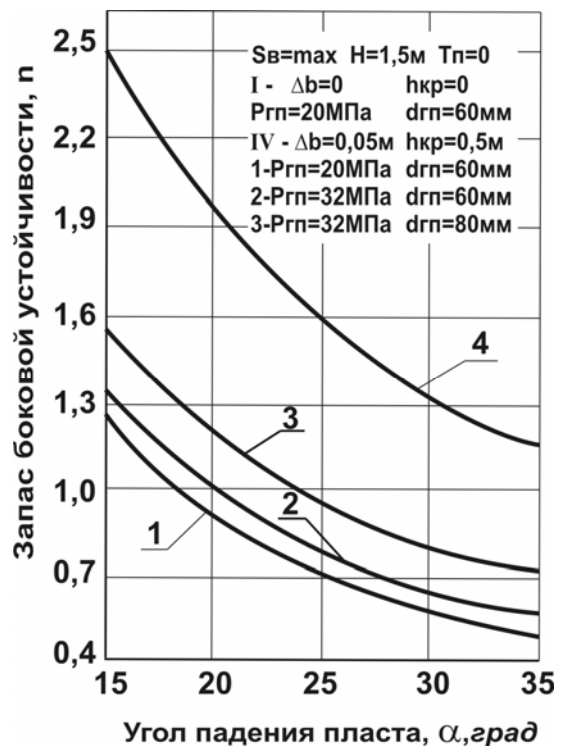


Рис. 9.9. График зависимости запаса боковой устойчивости секции крепи от угла падения пласта (с системой устойчивости)

Таким образом, выполненными исследованиями подтверждено, что назначение системы устойчивости – удержать от наклона секции крепи в разгруженном состоянии и восстанавливать их в нормальное положение в разгруженном состоянии в статике и при передвижении (кривая I, рис. 9.6). Показано, что наиболее эффективно это положение обеспечивается секционированным питанием гидропатронов механизмов устойчивости.

В сложных горно-геологических условиях рекомендуется передвижение секций механизированной крепи с подпором и секционированным питанием гидропатронов системы устойчивости. Выполнение этих условий повышает эффективность и надежность работы крепи в целом.

9.3. Динамические процессы в гидросистеме механизированной крепи при передвижении её секций

9.3.1. Разработка математической модели гидросистемы секций механизированной крепи

Для обоснования направлений совершенствования гидросистем механизированных крепей, обеспечивающих направленное передвижение их секций с сохранением устойчивости на наклонном угольном пласте авторами предлагается математическая модель гидросистемы крепи, суть которой сводится к следующему.

Система передвижения механизированной крепи представляет собой гидромеханическую систему. Так как гидросистема крепи является многосекционной, то работу всей системы можно рассматривать на примере выполнения операций технологического цикла одной секцией крепи. На рис. 9.10 представлена гидромеханическая схема типовой гидросистемы механизированной крепи. Работа гидропривода описывается двумя типами уравнений:

- дифференциальные уравнения движения элементов системы, составленные по принципу Даламбера;
- уравнения баланса расходов, учитывающие, что жидкость в гидросистеме неразрывна и однородна.

Гидросистема крепи, схема которой приведена на рис. 9.10, состоит из N отдельных ветвей, моделирующих работу гидроцилиндров, и общих для всех гидроцилиндров участков напорной и сливной магистралей. На основании правила узлов и ветвей составим математическую модель каждого из этих участков.

Движение рабочей жидкости от насоса до гидрораспределителя секции крепи описывается системой трех дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} C_H \frac{dP_H}{dt} &= q(P_H) - q_H \\ \frac{m_H}{(f_H)^2} \cdot \frac{dq_H}{dt} &= P_H - \xi_H (q_H)^2 - P_1 \\ C_\Sigma \frac{dP_1}{dt} &= q_H - \sum_{i=1}^N q_{li} \end{aligned} \right\}, \quad (9.31)$$

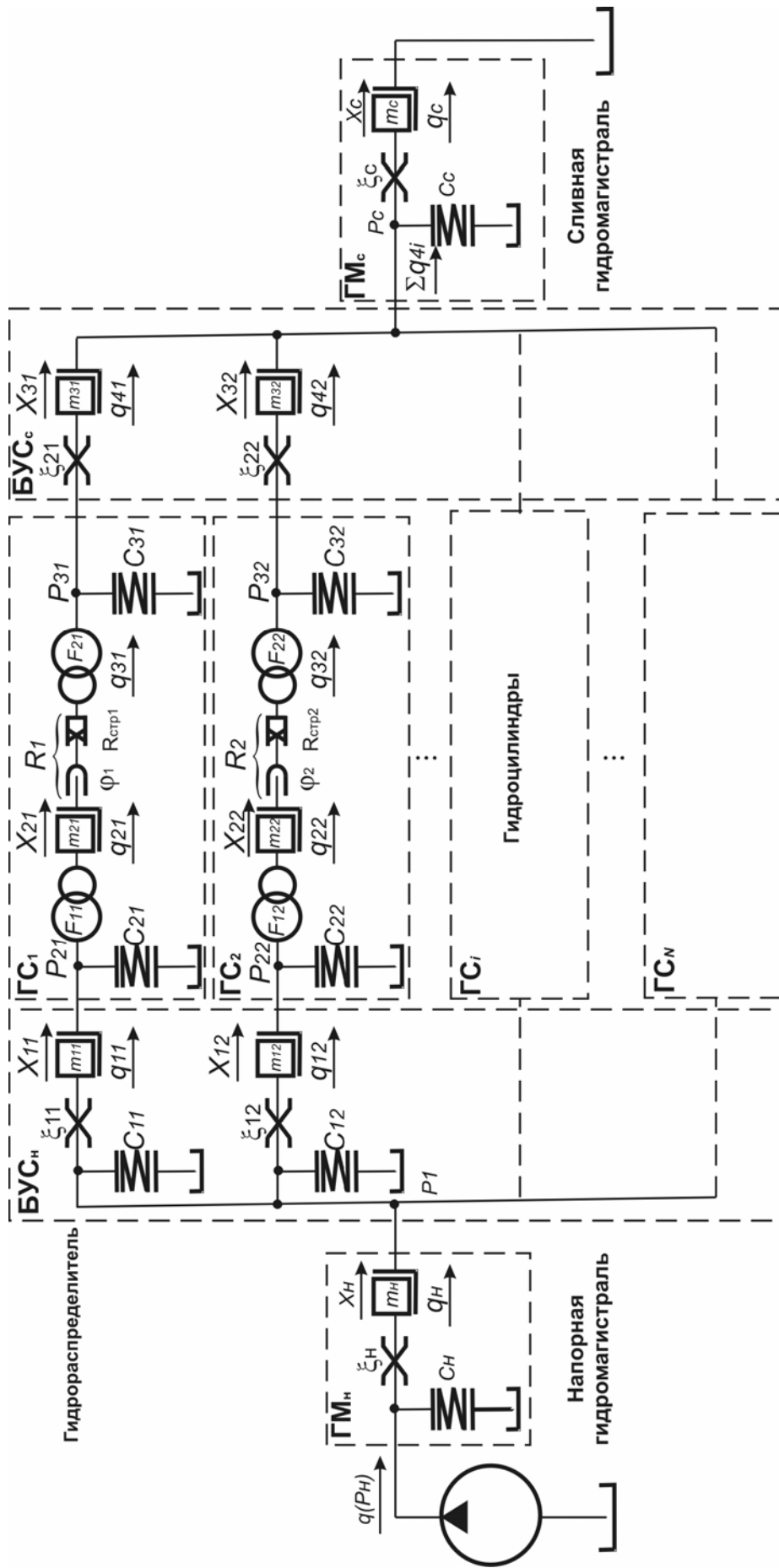


Рис. 9.10. Гидромеханическая схема типичной системы механизированной крепи

- где P_H – давление жидкости в напорной магистрали у насосной станции;
- P_1 – давление жидкости на входе гидрораспределителя;
- $q(P_H)$ – расходная характеристика насосной станции;
- q_H – расход жидкости в напорной гидромагистрали;
- q_{1i} – расход жидкости в рукаве высокого давления, соединяющего гидрораспределитель с напорной полостью i -го гидроцилиндра;
- C_H – коэффициент упругости напорной гидромагистрали:
- $$C_H = C_{mp} + C_{pвд} + C_a, \quad (9.32)$$
- C_{mp} – коэффициент упругости металлического трубопровода;
- $C_{pвд}$ – коэффициент упругости рукавов высокого давления;
- C_a – коэффициент упругости гидроаккумуляторов;
- C_Σ – суммарный коэффициент упругости рукавов высокого давления, соединяющих гидрораспределитель с напорными полостями гидроцилиндров;
- ξ_j – коэффициент гидравлического сопротивления напорной гидромагистрали;
- m_H – масса жидкости в напорной гидромагистрали;
- f_H – площадь сечения напорной гидромагистрали;
- N – количество одновременно работающих гидроцилиндров.

Математическая модель работы каждого гидроцилиндра состоит из системы шести дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{m_{1i}}{(f_{D\dot{A}\dot{A}i}^H)^2} \cdot \frac{dq_{1i}}{dt} &= P_1 - \xi_{1i}(q_{1i})^2 - P_{2i} \\ C_{2i} \frac{dP_{2i}}{dt} &= q_{1i} - q_{2i} \\ \frac{m_{2i}}{(F_{1i})^2} \cdot \frac{dq_{2i}}{dt} &= P_{2i} - \beta_i R_i(X_{2i}, \dot{X}_{2i}) - \alpha_i P_{3i} \\ \frac{dX_{2i}}{dt} &= \beta_i q_{2i} \\ C_{3i} \frac{dP_{3i}}{dt} &= \alpha_i q_{2i} - q_{4i} \\ \frac{m_{3i}}{(f_{D\dot{A}\dot{A}i}^C)^2} \cdot \frac{dq_{4i}}{dt} &= P_{3i} - \xi_{2i}(q_{4i})^2 - P_C \end{aligned} \right\}, \quad (9.33)$$

где P_{2i} – давление жидкости в напорной полости i -го гидроцилиндра;
 P_{3i} – давление жидкости в сливной полости i -го гидроцилиндра;
 P_C – давление жидкости в сливной гидромагистрали на выходе из гидрораспределителя;
 q_{2i} – расход жидкости в напорную полость i -го гидроцилиндра;
 q_{4i} – расход жидкости в рукаве высокого давления, соединяющего сливную полость i -го гидроцилиндра с гидрораспределителем;
 C_{2i}, C_{3i} – соответственно коэффициенты упругости напорной и сливной полостей i -го гидроцилиндра;

ξ_{1i}, ξ_{2i} – соответственно коэффициенты гидравлических сопротивлений каналов подключения i -го гидроцилиндра к напорной и сливной гидромагистралям:

$$\xi_{1i} = \xi_{byci}^H + \xi_{PBDi}^H + \xi_{A\ddot{O}i}^H, \quad (9.34)$$

$$\xi_{2i} = \xi_{byci}^{\tilde{n}} + \xi_{PBDi}^{\tilde{n}} + \xi_{A\ddot{O}i}^{\tilde{n}}, \quad (9.35)$$

$\xi_{byci}^H, \xi_{byci}^c$ – коэффициенты гидравлического сопротивления напорного и сливного каналов блока управления;

$\xi_{PBDi}^H, \xi_{PBDi}^c$ – коэффициенты гидравлического сопротивления рукавов, соединяющих напорную и сливную полости i -го гидроцилиндра к гидрораспределителю;

$\xi_{A\ddot{O}i}^H, \xi_{A\ddot{O}i}^c$ – коэффициенты гидравлического сопротивления входа в напорную и выхода из сливной полостей i -го гидроцилиндра;

m_{1i}, m_{3i} – соответственно массы жидкости в рукавах высокого давления, соединяющих напорную и сливную полости i -го гидроцилиндра с гидрораспределителем;

m_{2i} – масса, перемещаемая i -м гидроцилиндром:

$$m_{2i} = m_{A\ddot{O}i}^H + m_{BH_i} + m_{A\ddot{O}i}^c, \quad (9.36)$$

$m_{\Gamma\ddot{C}i}^H, m_{\Gamma\ddot{C}i}^c$ – массы жидкости в напорной и сливной полостях i -го гидроцилиндра (сумма этих масс постоянна при перемещении поршня гидроцилиндра);

m_{BH_i} – внешняя масса передвигаемого оборудования;

X_{2i} – величина перемещения поршня i -го гидроцилиндра;
 $f_{D\hat{A}\hat{A}_3}^{\hat{I}}, f_{D\hat{A}\hat{A}_3}^{\hat{N}}$ – площади сечений рукавов, соединяющих напорную и сливную полости i -го гидроцилиндра с гидрораспределителем;

$$\alpha_i = \frac{F_{1i}}{F_{2i}}; \quad \beta_i = \frac{1}{F_{1i}}, \quad (9.37)$$

F_{1i}, F_{2i} – площади напорной и сливной полостей i -го гидроцилиндра;
 α_i – коэффициент мультипликации i -го гидроцилиндра;
 $R_i(X_{2i}, \dot{X}_{2i})$ – сопротивление перемещению i -го гидроцилиндра, зависящее от самой величины перемещения X_{2i} и от скорости перемещения \dot{X}_{2i} .

Течение жидкости по сливной гидромагистрале от секции крепи в бак гидронасоса описывается системой двух дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} C_C \frac{dP_C}{dt} &= \sum_{i=1}^N q_{4i} - q_C \\ \frac{m_C}{(f_C)^2} \cdot \frac{dq_C}{dt} &= P_C - \xi_C (q_C)^2 \end{aligned} \right\}, \quad (9.38)$$

где q_C – расход жидкости в сливной гидромагистрале;
 $\tilde{N}_{\tilde{N}}, \xi_{\tilde{N}}$ – соответственно коэффициенты упругости и гидравлического сопротивления сливной гидромагистрале;
 m_C – масса жидкости в сливной гидромагистрале;
 f_C – площадь сечения сливной гидромагистрале.

Системы дифференциальных уравнений (9.31), (9.33) и (9.38) образуют математическую модель гидросистемы механизированной крепи. Количество уравнений n математической модели зависит от количества одновременно работающих N гидроцилиндров при моделировании технологических операций разгрузки, передвижения, распора секции крепи и выдвижения конвейера на забой и определяется по формуле:

$$n = 6N + 5, \quad (9.39)$$

где n – количество дифференциальных уравнений первого порядка математической модели.

В математическую модель гидросистемы механизированной крепи входят семь групп параметров:

- давление жидкости в характерных точках гидросистемы;
- расход жидкости на отдельных участках гидросистемы;
- коэффициенты упругости элементов гидросистемы;
- коэффициенты гидравлических сопротивлений участков гидросистемы;
- значения массы жидкости, перемещаемой на отдельных участках гидросистемы;
- площади поперечных сечений элементов гидросистемы;
- сопротивления перемещению гидроцилиндров.

Первые две группы параметров образуют вектор начальных значений, а в процессе моделирования - результирующий вектор зависимых переменных. Коэффициенты упругости определяют расход на деформацию элементов гидросистемы и сжимаемость жидкости, заполняющей ее под давлением. Для металлических труб коэффициент упругости рассчитывается по формуле:

$$\tilde{N}_{\dot{O}D} = \pi \left(\frac{1 - \delta}{8} * \frac{d^3 l_{TP}}{E_{TP} S_{TP}} + \frac{d^2 l_{TP}}{4 E_{\text{ж}}} \right), \quad (9.40)$$

где d, l_{TP}, S_{TP} – соответственно диаметр, длина и толщина стенок трубы;
 $E_{TP}, E_{\text{ж}}$ – объемные модули упругости материала трубы и рабочей жидкости;

χ – коэффициент Пуассона.

Анализ формулы (9.40) показывает, что коэффициент упругости зависит от внутреннего объема трубы. Так как гидроцилиндры конструктивно выполнены из труб, то формулой (9.40) можно пользоваться для определения коэффициентов упругости полостей гидроцилиндров. Однако, при перемещении поршня гидроцилиндра объем напорной и сливной полостей изменяется. Следовательно, в процессе моделирования величины коэффициентов упругости полостей гидроцилиндров будут изменяться в зависимости от величины перемещения поршня X_{2i} и их необходимо рассчитывать по формулам:

- для напорной полости i -го гидроцилиндра:

$$C_{2i} = (H_{oi} + X_{2i}) \left(\frac{1 - \chi}{2} \cdot \frac{F_{1i} D_i}{E_{\dot{O}D} S_{\dot{O}i}^H} + \frac{F_{1i}}{E_{\text{ж}}} \right), \quad (9.41)$$

где H_{oi} – начальное расстояние от торца до поршня i -го гидроцилиндра;
 $D_i, S_{\dot{O}i}^H$ – диаметр и толщина стенок напорной полости i -го гидроцилиндра.

- для сливной полости i -го гидроцилиндра:

$$C_{3i} = (H_{maxi} - X_{2i}) \left(\frac{1 - \chi}{2} \cdot \frac{F_{2i} d_i}{E_{\dot{O}B} S_{\dot{O}i}^C} + \frac{F_{2i}}{E_{AE}} \right), \quad (9.42)$$

где H_{maxi} – величина хода поршня i -го гидроцилиндра;
 $d_i, S_{\dot{O}i}^C$ – диаметр и толщина стенок сливной полости i -го гидроцилиндра.

Коэффициент упругости для рукавов высокого давления рассчитывается по формуле:

$$\tilde{N}_{\dot{D}\dot{A}\dot{A}} = \frac{V_{PB\dot{A}}}{E_{np}}, \quad (9.43)$$

где E_{np} – приведенный модуль упругости, учитывающий сжимаемость жидкости и деформацию рукавов;
 $V_{pвд}$ – объем рукавов высокого давления.

В качестве демпфирующего устройства на насосной станции устанавливаются гидроаккумуляторы. Коэффициент упругости гидроаккумулятора равен [65]:

$$\tilde{N}_{\dot{a}} = m_a \frac{Q_a P_a^{\nu}}{\nu P_H \frac{1 + \nu}{\nu}}, \quad (9.44)$$

где m_a – число аккумуляторов, установленных в гидросистеме;
 Q_a – объем газовой камеры при давлении зарядки;
 P_a – давление зарядки гидроаккумулятора;
 ν – показатель политропы ($\nu = 1,3 \div 1,4$).

Все элементы и узлы гидросистемы, по которым протекает жидкость, характеризуются гидравлическими сопротивлениями как местными (в заделках и ответвлениях, в сужениях, расширениях и поворотах потока), так и линейными, зависящими от протяженности каналов. Авторами экспериментально доказано существование двух режимов установившегося движения жидкости. При малых скоростях жидкости ее частицы движутся параллельно друг другу и оси канала, не переме-

шиваясь. Такой режим назван ламинарным. При больших скоростях движения жидкости ее частицы движутся в направлении потока по хаотичной траектории и перемешиваются между собой. Такой режим течения жидкости назван турбулентным. Для расчетов гидросистем механизированных крепей установлено, что, на основании определения числа Рейнольдса и сравнения его с критическим, режим течения жидкости является турбулентным. Так как поток жидкости проходит по трубопроводам и каналам разного сечения, то при определении коэффициента гидравлического сопротивления участка гидросистемы, все коэффициенты различных местных сопротивлений приводятся к выбранной площади поперечного сечения участка по формуле:

$$\xi_i = \xi'_i \frac{\rho}{2f_i^2}, \quad (9.45)$$

где ξ'_i – безразмерный коэффициент местного гидравлического сопротивления, который определяется на основании экспериментальных и справочных данных для конкретного характера местного сопротивления;

ρ – плотность рабочей жидкости;

f_i – площадь поперечного сечения, по которому рассчитывается коэффициент гидравлического сопротивления.

Линейные потери давления в канале определяются по справочным данным, либо аналитически по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$\Delta p_n = \lambda \frac{L_K}{d_K} * \frac{\rho}{2f_K^2} q^2, \quad (9.46)$$

где λ – коэффициент сопротивления;

L_K, d_K, f_K – соответственно длина, диаметр и площадь поперечного сечения канала;

q – расход жидкости в канале.

Моделирование работы гидросистемы секций механизированной крепи заключается в моделировании совместной работы N гидроцилиндров, количество которых зависит как от конструкции и технологии работы комплекса, так и от моделируемой технологической операции.

Предположим, что мы моделируем работу секции крепи, имеющей $n_{сc}$ гидростоек, $n_{конс.}$ гидроцилиндров управляемой консоли, $n_{гд}$

гидродомкратов для передвижения секции и n_{zn} гидропатронов системы устойчивости. Тогда общее количество гидроцилиндров N равно:

$$N = n_{zc} + n_{конс.} + n_{ГД} + n_{zn} . \quad (9.47)$$

Присвоим гидроцилиндрам следующие номера: с 1 по n_1 – гидростойки; с n_1+1 по n_2 – гидроцилиндры консолей; с n_2+1 по n_3 – гидродомкраты и с n_3+1 по N – гидропатроны.

На основании формул (9.9), (9.10), (9.12), (9.19), (9.23) и (9.24) получим выражение для определения сопротивления перемещению гидродомкратов секции крепи:

$$R_j = \frac{1}{n_{\tilde{a}\tilde{a}}} \left\{ G \cos \alpha + \sum_{i=n_2+1}^{n_3} (P_{2i} F_{1i} - P_{3i} F_{2i}) \eta^* \frac{\sin \beta}{\cos(\beta_{\tilde{o}} - \gamma_{\tilde{A}})} \right\} f_n +$$

$$+ \left[\sum_{i=1}^{n_1} (P_{2i} F_{1i} - P_{3i} F_{2i}) + \sum_{i=n_1+1}^{n_2} [(P_{2i} F_{1i} - P_{3i} F_{2i}) K_{\tilde{e}\tilde{i}\tilde{i}\tilde{n}i}] - G_{\tilde{a}\tilde{a}\tilde{o}\tilde{o}} \right] (f_n + f_{KP}) + \quad , \quad (9.48)$$

$$+ \left[G_{кон} (\sin \alpha - \cos \alpha f_n)^* \frac{l_Q(l_A + l_B)}{l_A^2 + l_B^2} \left(1 + \frac{L_R}{L_b}\right) - 0.5 P_p \frac{l_b}{L_b} + \sum_{i=n_3+1}^N P_{2i} F_{1i} K_{ci} \right]^* f_{TP} \left. \right\} + R_{\tilde{o}\tilde{i}\tilde{e}} .$$

где $K_{конci}$ – коэффициент связи усилия в гидроцилиндре и реакции управляемой консоли на кровлю пласта;

$R_{впл.}$ – сила трения в уплотнениях поршня и штока;

j – номер гидродомкрата передвижки: $j = n_2 + 1 \div n_3$;

$G_{верх.}$ – вес верхняка и других перемещаемых в процессе разгрузки элементов конструкции секции крепи.

Сопротивление перемещению гидростоек при их разгрузке равно:

$$R_{j=1 \div n_1} = R_{\tilde{o}\tilde{i}\tilde{e}} - (G_{\tilde{a}\tilde{a}\tilde{o}\tilde{o}} - R_{KP} - R_n) \frac{1}{n_{\tilde{a}\tilde{n}}} , \quad (9.49)$$

где $R_{кр} R_n$ – реакции кровли и почвы, действующие до момента отрыва верхняка от кровли.

При распоре гидростоек сопротивление перемещению равно:

$$R_{j=1 \div n_1} = R_{\tilde{o}\tilde{i}\tilde{e}} + G_{\tilde{a}\tilde{a}\tilde{o}\tilde{o}} . \quad (9.50)$$

После контакта верхняка с кровлей происходит повышение усилия поддержания кровли до усилия начального распора. Тогда:

$$R_{j=1 \div n_1} = R_{\tilde{o}\tilde{i}\tilde{e}} + G_{\tilde{a}\tilde{a}\tilde{o}\tilde{o}} + R_{KP} + R_n . \quad (9.51)$$

Фронтальное выдвижение конвейера включает в себя большое количество одновременно работающих гидродомкратов. Сопротивление перемещению одного гидродомкрата равно:

$$R_{j=n_2+1 \div n_3} = R_{\acute{o}\ddot{i}\ddot{e}} + G_{\acute{e}\ddot{i}} \cdot \cos \alpha f_n . \quad (9.53)$$

Полученная математическая модель (формулы 9.31, 9.33 и 9.38) позволяет решать задачи как прямых гидравлических расчетов, при которых известно потокораспределение в системе и требуется определить рациональные значения конструктивных параметров гидравлических элементов, так и обратных – известны конструктивные и технологические параметры механизированной крепи, а необходимо промоделировать динамические процессы в гидросистеме и определить время выполнения различных операций. Исследование статических и динамических характеристик отдельных гидроэлементов и гидросистем в целом позволит выявить факторы, оказывающие решающее влияние на режим работы крепи, и обосновать допущения, которые могут быть приняты в инженерных расчетах. Результатом исследований являются также модели гидроэлементов механизированной крепи, которые в различных сочетаниях и перестановках используются для расчета на ПЭВМ вариантов гидросистем крепей и являются математической базой для разработки систем автоматизированного проектирования гидропривода механизированных крепей (САПГМК), в том числе и автоматизированных комплексов, обеспечивающих высокую производительность и эффективное поддержание боковых пород в различных горногеологических условиях эксплуатации.

9.3.2. Алгоритм численной реализации модели и методика математического моделирования динамики работы гидросистемы механизированных крепей

Специфичность гидропривода механизированных крепей определяет особенности и сложности математического описания процессов, протекающих в его гидроэлементах. Системы нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка (9.31), (9.33) и (9.38) образуют математическую модель гидросистемы механизированных крепей. На основании формулы (9.39) определяется суммарное количество уравнений, входящих в эти системы, которое зависит от числа

моделируемых одновременно работающих гидроцилиндров. Для примера, при расчете гидросистемы четырехстоечной секции крепи типа МТ во время выполнения операции передвижения с одновременной разгрузкой необходимо моделирование одновременной работы шести гидроцилиндров, что соответствует решению системы сорока одного дифференциального нелинейного уравнения. Число уравнений может изменяться в процессе моделирования в результате разного времени начала и окончания выполнения работы различными гидроцилиндрами.

Перечисленные выше особенности расчетов показывают необходимость разработки алгоритмов и программ на ПЭВМ, позволяющих подучить необходимый объем данных о динамике работы проектируемой гидросистемы, что дает возможность автоматизировать процесс проектирования и сократить объем и трудоемкость экспериментальных и доводочных работ по крепи в целом.

На рис. 9.11 приведен предложенный авторами укрупненный алгоритм математического моделирования динамики работы гидросистем механизированных крепей.

Алгоритм позволяет моделировать как выполнение отдельной технологической операции, так и последовательности операций, заданных пользователем. Так как работа гидросистемы сводится к попеременной подаче давления либо в шокую, либо в поршневую полости определенного количества гидроцилиндров, то подготовка моделирования сводится к заданию исходных данных (конструктивных параметров гидроцилиндров и элементов гидросистемы, коэффициентов упругости и гидравлических сопротивлений участков гидросистемы и сопротивления перемещению каждого гидроцилиндра) и заданию последовательности подключения полостей гидроцилиндров к напорной и сливной гидромагистралям (блоки 1 и 2 рис. 9.11). Здесь же вводится и количество одновременно работающих гидроцилиндров при выполнении j -й операции. В блоках 3 и 12 определяется номер текущей операции, в зависимости от которого в блоке 4 вычисляются коэффициенты при производных от расходов жидкости и давлений в гидросистеме для систем дифференциальных уравнений (9.31), (9.33) и (9.38) и формируется массив коэффициентов A_{ij} . До начала решения системы дифференциальных уравнений задается вектор начальных значений и параметров интегрирования (блок 5) и обнуляется счетчик количества закончивших работу гидроцилиндров в j -й операции (блок 6).

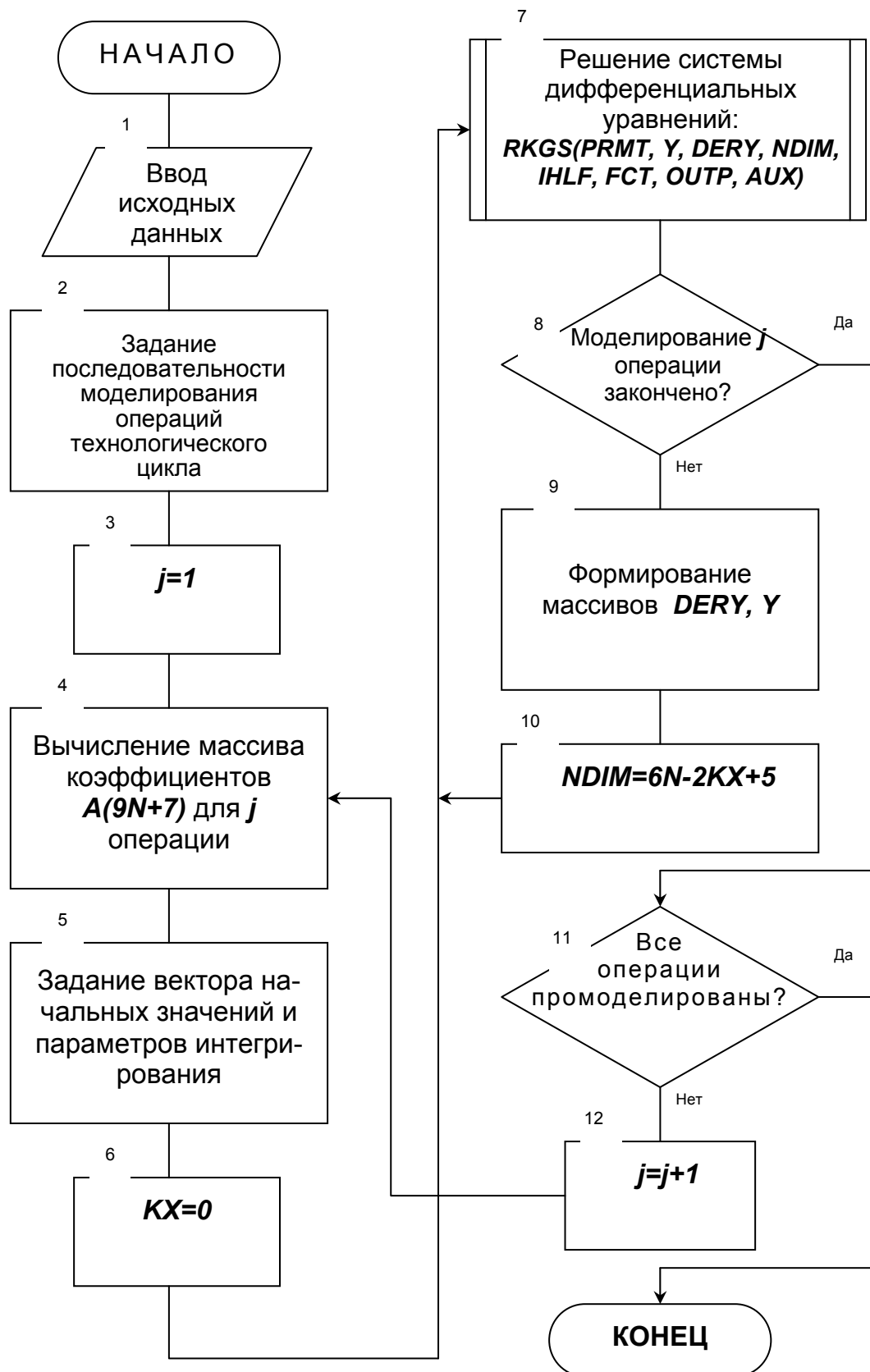


Рис. 9.11. Блок-схема алгоритма моделирования гидросистемы крепи

Блок 8 проверяет окончание моделирования j -й операции. В случае если не все гидроцилиндры закончили работу (величина перемещения какого-либо гидроцилиндра меньше заданной), то моделирование операции продолжается после восстановления входного вектора весовых коэффициентов погрешности и вектора начальных условий, исключая параметры, относящиеся к закончившим работу гидроцилиндрам (блок 9), а также после вычисления нового количества дифференциальных уравнений, оставшихся в системе (блок 10).

Моделирование прекращается, если расчеты выполнены для всей заданной последовательности операций технологического цикла (блок II).

Приближенное решение системы нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка (имеются в виду объединенные в общую систему уравнения (9.31), (9.33) и (9.38) осуществляется по методу Рунге-Кутты использованием стандартной подпрограммы **RKGS** (блок 7). Метод имеет четвертый порядок точности, устойчив и для получения решения в следующей точке требует значения решения только в одной предыдущей точке.

Использование стандартной программы **RKGS** для решения системы дифференциальных уравнений, описывающей динамические процессы в гидросистеме секции крепи, требует разработки алгоритмов двух подпрограмм: **FCT** – подпрограммы вычисления правых частей дифференциальных уравнений и **OUTP** – подпрограммы вывода результатов моделирования. Блок-схемы алгоритмов подпрограмм **FCT** и **OUTP** приведены соответственно на рис. 9.12 и 9.13.

Вычисление правых частей дифференциальных уравнений, описывающих движение рабочей жидкости по напорной гидромагистрали от насоса к гидрораспределителю секции, производится в блоках 2 и 22 (см. рис. 9.12). Блоки 1, 6 и 21 вычисляют суммарные расходы жидкости в напорной гидромагистрали до ее разветвления на гидрораспределителе, а также в сливной гидромагистрали после гидрораспределителя. Основной особенностью функционального построения алгоритма подпрограммы **FCT** является одновременная реализация возможности моделирования силовой и кинетической разгрузки гидроцилиндров. Силовая разгрузка гидроцилиндра – это процесс набора давления в напорной полости гидроцилиндра и сброс давления в сливной полости без перемещения поршня гидроцилиндра. Кинетическая разгрузка гидроцилиндра – это процесс перемещения поршня гидроцилиндра на заданную величину X_{maxi} .

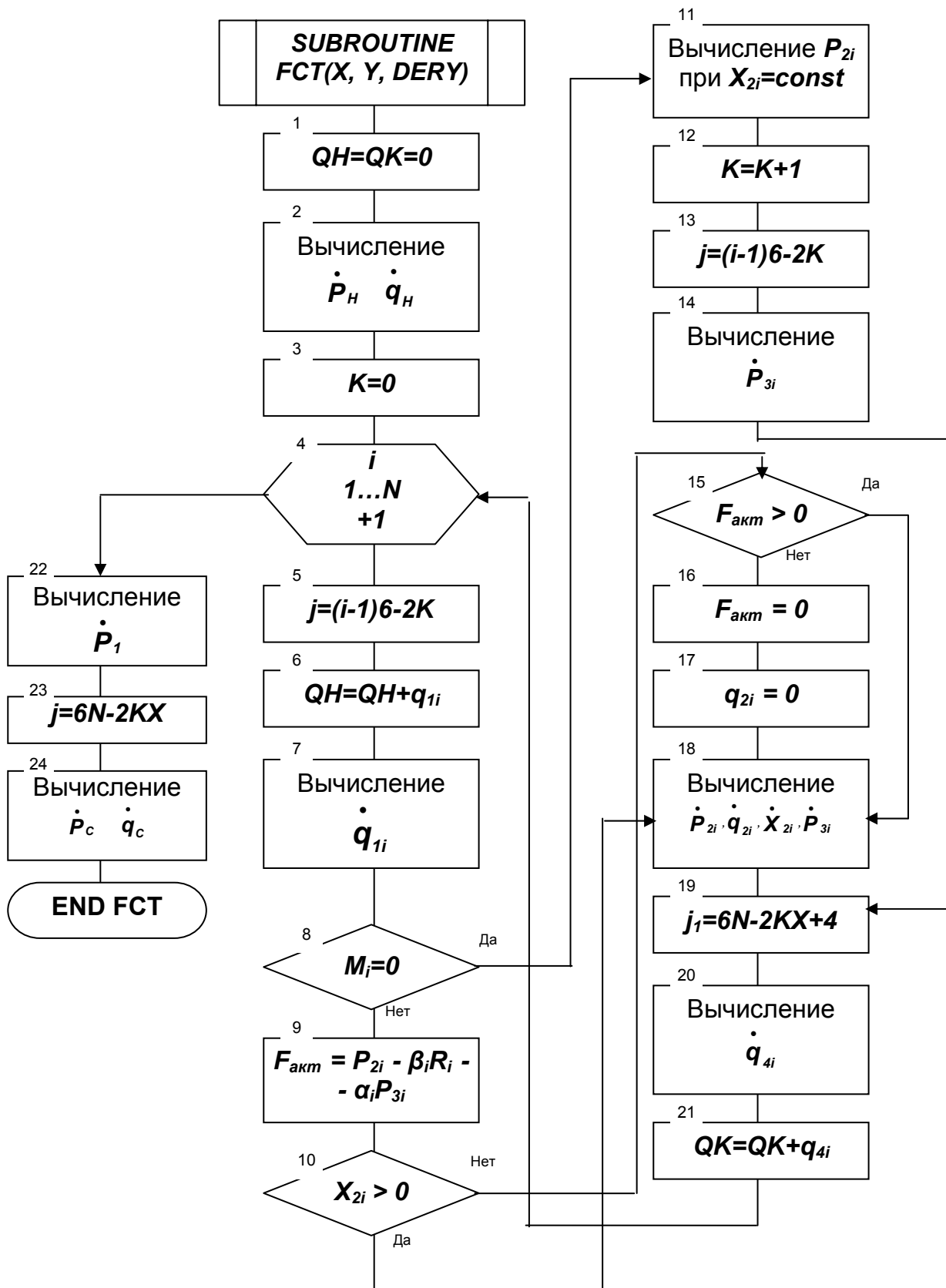


Рис. 9.12. Блок-схема подпрограммы вычисления правых частей системы дифференциальных уравнений

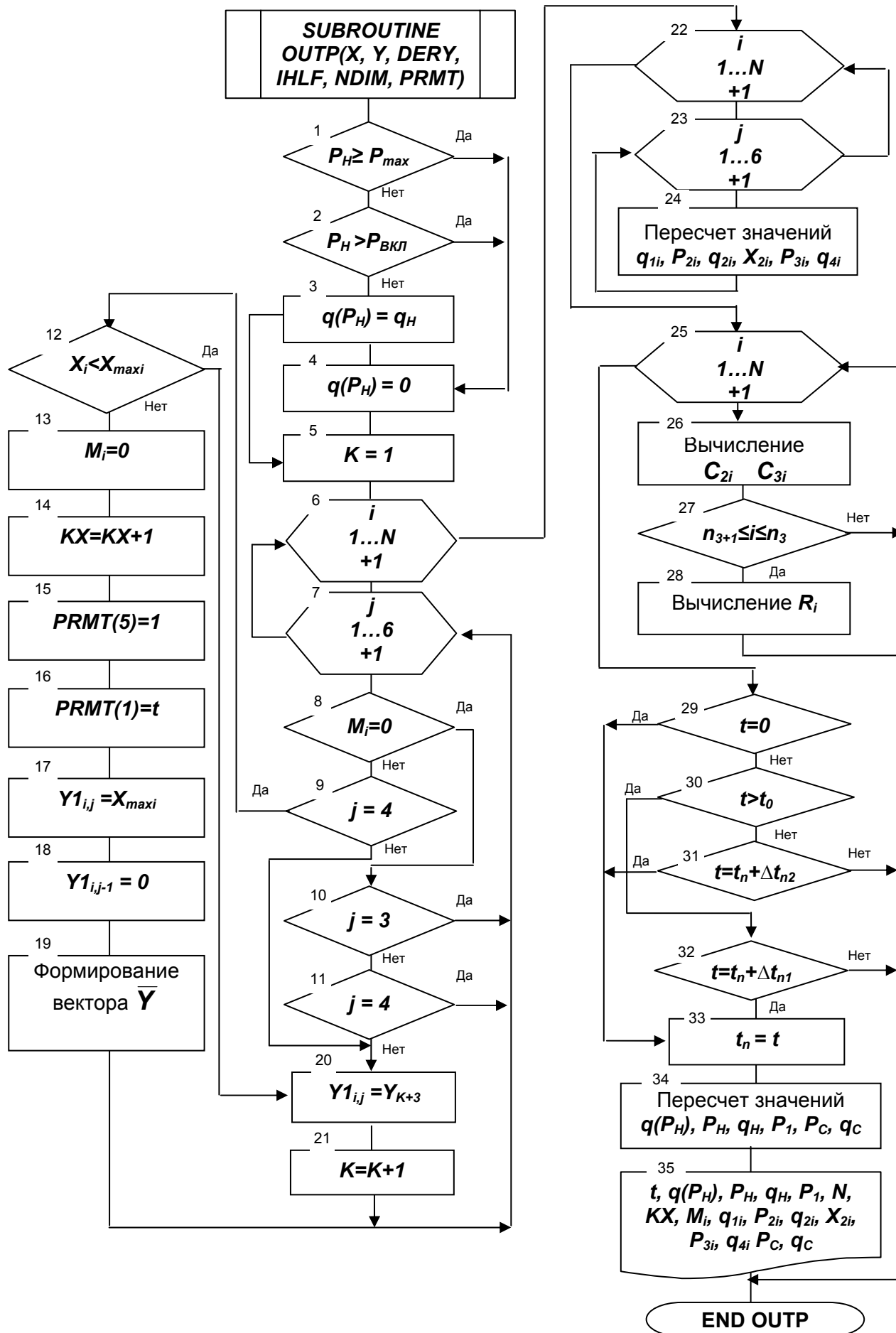


Рис. 9.13. Блок-схема программы вывода

В цикле (блок 4) для каждого из N гидроцилиндров производится вычисление q_{1i} (блок 7) и по признаку M_i проверяется (блок 8) находится i -й гидроцилиндр в работе или он уже переместился на величину X_{maxi} . Если гидроцилиндр не закончил выполнение операции, то в блоке 9 вычисляется равнодействующая сил, приложенных к поршню гидроцилиндра. Затем, в блоке 10 проверяется положение поршня – если перемещение гидроцилиндра отлично от нуля, то теоретически его поршень может совершать движение как в одну, так и в другую сторону, т.е. процесс движения может носить колебательный характер. Следовательно, не зависимо от знака равнодействующей приложенных к поршню сил, переходим к вычислению правых частей производных $\dot{P}_{2i}, \dot{q}_{2i}, \dot{x}_{2i}$ и \dot{P}_{3i} (блок 18), что соответствует кинетической разгрузке гидроцилиндра. Если к анализируемому моменту времени гидроцилиндр не совершал движения и величина его перемещения равна нулю, то проверяем знак равнодействующей активных сил, приложенных к поршню (блок 15). Знак "плюс" равнодействующей сил указывает на то, что гидроцилиндр с данного момента времени начинает совершать поступательное движение и переходим к вычислению в блоке 18 правых частей дифференциальных уравнений системы (9.33). В случае отрицательной величины равнодействующей сил предполагается, что сопротивление перемещению возрастает за счет реакции кровли и почвы или плоскостей, ограничивающих ход в самом гидроцилиндре до величины, при которой равнодействующая сил становится равной нулю (блок 16). Перемещение гидроцилиндра отсутствует, а величина расхода жидкости q_{2i} , идущей на заполнение увеличивающегося объема напорной полости гидроцилиндра, равна нулю (блок 17). В данном случае моделируется силовая разгрузка гидроцилиндра, т.е. процесс изменения давлений P_{2i} и P_{3i} в его полостях.

Если перемещение i -го гидроцилиндра достигло максимальной заданной величины, то, в дальнейшем, гидроцилиндр выполняет роль аккумулятора, давления жидкости P_{2i} и P_{3i} в полостях которого увеличиваются при увеличении давления в гидросистеме и уменьшаются в противном случае. Из моделирования исключаются третье и четвертое уравнения системы (9.33), описывающие процесс движения, а правые части остальных дифференциальных уравнений вычисляются при постоянной величине перемещения и при отсутствии расхода жидкости на перемещение (блоки 11-14). В этом случае величина расхода определяется только сжимаемостью жидкости и деформацией стенок гидроцилиндра и подсоединенных к нему рукавов.

В блоке 24 вычисляются правые части системы дифференциальных уравнений (9.38), описывающих процесс течения жидкости по сливной гидромагистрали. Блоки 3, 5, 12, 13 и 23 используются для формирования вектора вычисленных правых частей систем дифференциальных уравнений, моделирующих работу гидросистемы.

Подпрограмма **OUTP** (см. рис. 9.13) предназначена для организации вывода результатов расчета и, в связи с обращением к ней программы **RKGS** на каждом шаге интегрирования, выполняет ряд вспомогательных функций.

Блоки 1-4 имитируют работу автомата разгрузки насосной станции: если давление P_n в напорной магистрали находится в интервале от максимального давления P_{max} до давления включения $P_{вкл}$, то расход рабочей жидкости от насосной станции $q(P_n)$ равен нулю (блок 4), в противном случае насосная станция дает номинальный расход жидкости q_n (блок 3).

В циклах (блоки 6 и 7) производится формирование массива $YI_{i,j}$ (блок 20) для печати результатов. Одновременно, для гидроцилиндров, не закончивших работу (блок 8), текущее значение перемещения X_i сравнивается с максимальным X_{maxi} (блок 12). При достижении величины перемещения, равной X_{maxi} , задается признак окончания работы i -го гидроцилиндра M_i (блок 13), добавляется единица к счетчику окончивших работу гидроцилиндров KX (блок 14) и для изменения количества уравнений в исходной системе процесс интегрирования прекращается заданием в блоке 15 ненулевого значения **PRMT(5)**.

Начальное значение интервала интегрирования изменяется на текущее время (блок 16), величине перемещения i -го гидроцилиндра присваивается значение X_{maxi} (блок 17), расход рабочей жидкости делается равным нулю (блок 18) и формируется новый вектор начальных значений переменных, используемый для дальнейшего продолжения моделирования (блок 19). Блоки 5, 9, 10, 11 и 21 реализуют логику определения соответствия между вектором значений переменных интегрирования для текущего момента времени и массивом печати. Два вложенных цикла (блоки 22 и 23) и блок 24 осуществляют пересчет полученных в безразмерной форме значений давлений, расходов и перемещения на данном шаге интегрирования в значения переменных в системе единиц СИ.

Блоки 25 и 26 обеспечивают для каждого текущего значения перемещения вычисление величины коэффициентов упругости напор-

ной и сливной полостей гидроцилиндров, согласно формулам (9.41) и (9.42).

Одновременно работающие гидроцилиндры во многих случаях оказываются связанными между собой не только через гидросистему, т.е. через перераспределение расходов и давлений, но и непосредственно через силовое взаимодействие. Типичным примером является выполнение операции передвижения секции крепи с подпором. В этом случае от разгрузки гидростоек зависит величина сопротивления перемещению гидродомкратов. Поэтому в алгоритме предусмотрено вычисление по формуле (9.48) величины сопротивления перемещению i -го ($i = n_2 + 1 \div n_3$) гидроцилиндра на каждом шаге интегрирования (блоки 27, 28).

В связи с большим быстродействием современных ЭВМ и необходимостью получения результатов моделирования с удовлетворительной точностью при решении системы дифференциальных уравнений в программе **RKGS** предусмотрен автоматический выбор шага интегрирования. Однако выбор малой величины шага интегрирования связан с дополнительными трудностями печати и обработкой большого объема данных. Для вывода результатов в программе задается два шага печати: Δt_{n1} – шаг печати результатов на начальном этапе моделирования и Δt_{n2} – шаг печати результатов при установившемся движении гидроцилиндров. Выбор разных величин шага печати результатов определяется разной скоростью изменения протекания процессов в гидросистеме в начальный период движения, когда происходит силовая разгрузка гидроцилиндров, и при выходе на установившийся режим движения гидроцилиндров. Блок 29 передает управление на вывод значений переменных в первой точке интервала интегрирования. В блоке 30 определяется граница изменения шага печати. Блоки 30 и 31 осуществляют вывод результатов на печать лишь по истечении соответствующих интервалов времени Δt_{n1} и Δt_{n2} от момента времени последней печати, который запоминается в блоке 33. Перед печатью результатов значения безразмерных переменных переводятся в систему единиц СИ (блок 34). Блок 35 осуществляет табличную печать результатов моделирования и, при необходимости, печать графиков изменения переменных во времени и друг относительно друга.

Разработанный алгоритм является основой для создания системы автоматизированного проектирования гидропривода механизированных крепей (САПГМК).

9.3.3. Оценка результатов математического моделирования динамических процессов в гидросистеме при выполнении секциями механизированной крепи операций технологического цикла

В качестве контрольного примера было выполнено моделирование операции перемещения секции крепи 1М88Н с одновременной разгрузкой гидростоек (параллельная работа трех гидроцилиндров).

Исходные данные:

- количество гидроцилиндров – 3;
- давление жидкости в напорной гидромагистрале – 20 Мпа;
- величина перемещения секции крепи – 0,68 м;
- максимальный расход рабочей жидкости – $1,32 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$;
- площади напорной и сливной полостей гидроцилиндров:
 - гидростойки: напорная – $0,13 \text{ м}^2$; сливная – $0,05 \text{ м}^2$;
 - гидродомкрат: напорная – $0,08 \text{ м}^2$; сливная – $0,03 \text{ м}^2$.

Результаты моделирования перемещения секции крепи 1М88Н с одновременной разгрузкой гидростоек приведены в таблице 9.1.

Таблица 9.1

Результаты моделирования перемещения секции крепи 1М88Н с одновременной разгрузкой гидростоек

Значение времени, с	Перемещение ГС1, ГС2, м	Перемещение секции крепи, м	Давление в напорной гидромагистрале, МПа	Расход жидкости в напорной гидромагистрале, $\times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$	Давление в поршневой полости гидростоек, Мпа	Давление в штоковой полости гидростоек, Мпа	Давление в штоковой полости гидродомкрата, Мпа	Давление в поршневой полости гидродомкрата, Мпа
0	0,000	0,00	20,0	0	20,0	0,0	0,0	0,0
1	0,001	0,00	19,5	0,85	3,2	19,4	18,6	7,2
2	0,005	0,00	17,3	0,21	3,0	17,1	17,2	2,5
3	0,010	0,05	17,1	0,32	3,1	16,9	17,1	2,9
4	0,012	0,10	16,5	0,37	3,1	16,4	16,5	3,1
5	0,014	0,17	16,8	0,41	3,5	16,5	16,7	3,4
6	0,017	0,26	17,2	0,45	3,7	16,8	17,1	3,8
7	0,020	0,39	17,9	0,48	3,9	17,1	17,7	4,2
8	0,021	0,49	18,1	0,48	4,1	17,3	18,0	4,9
9	0,025	0,55	18,1	0,48	4,5	17,6	18,1	5,0
10	0,025	0,62	18,2	0,48	4,5	18,1	18,1	5,0
11	0,025	0,68	18,5	0,01	4,5	18,2	18,4	5,1

Графики изменения параметров секции крепи 1М88Н, построенные по результатам моделирования, приведены на рис. (9.14) – (9.18).

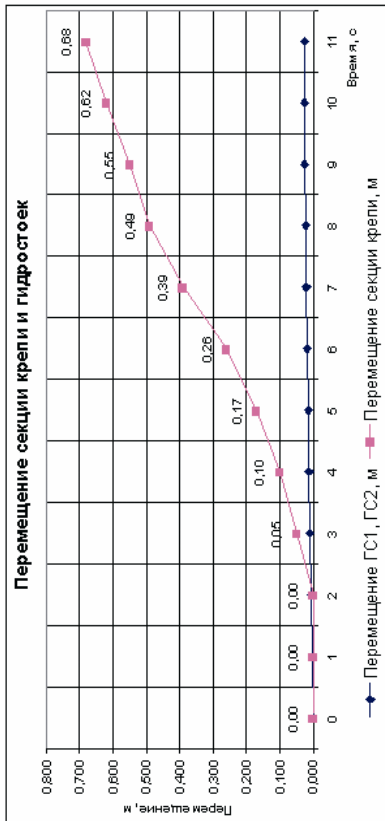


Рис. 9.14

Рис. 9.15

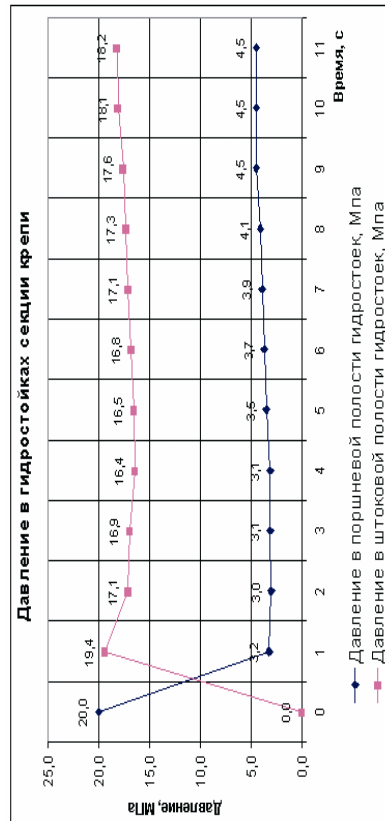
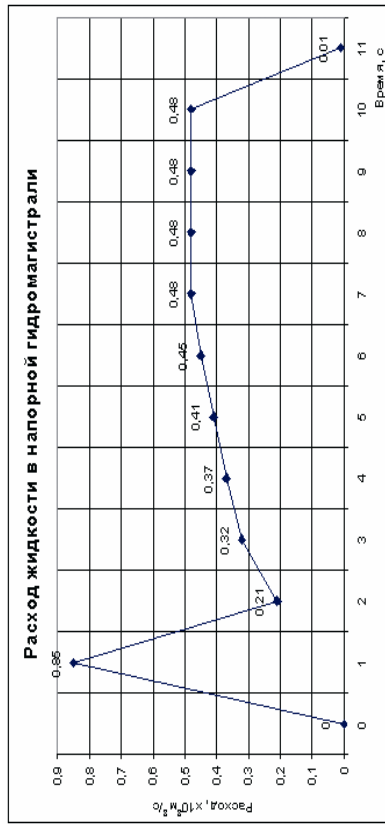
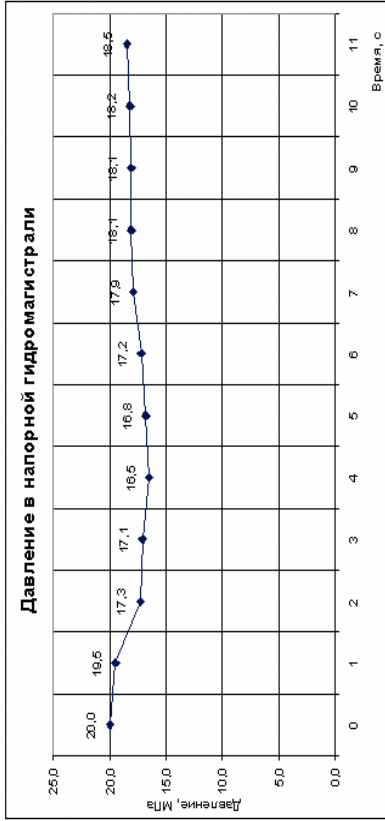


Рис. 9.17

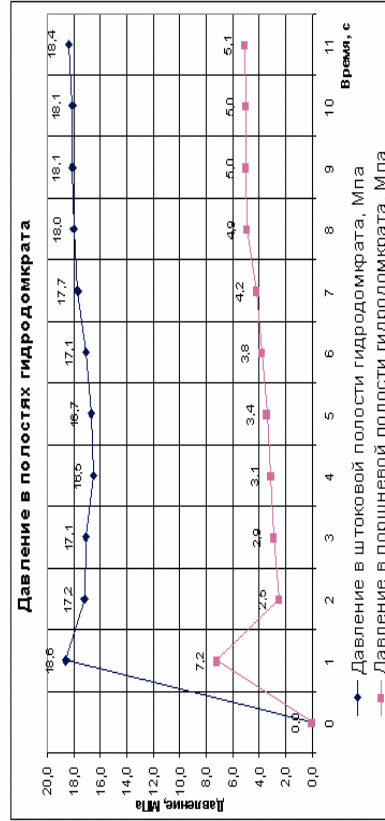


Рис. 9.18

Выполненные расчеты показали работоспособность приведенного алгоритма и разработанной программы. Результаты моделирования могут быть положены в основу определения рациональных значений конструктивных параметров гидравлических элементов гидросистемы крепи и анализа динамических процессов в выбранной схеме, а также выбора пределов настройки обратно подпорных клапанов стоечных гидравлических восстановителей и определения максимальной скорости крепления выработанного пространства по забою.

9.4. Системы управления механизированными крепями на крутых пластах

Методика выбора рациональных параметров кинематических систем механизированных крепей для крутых пластов

В соответствии с целью монографии авторами произведено теоретическое обобщение результатов научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ по проектированию и расчетам параметров кинематических систем механизированных крепей для условий крутых пластов.

В результате выполненного теоретического обобщения авторами предложена методика выбора и расчета параметров кинематических систем механизированных крепей для указанных условий, существо которой сводится к следующему.

Основные параметры систем (длина связей и координаты их привязки к базе секции) принимаются в зависимости от системы разработки, хрупко-пластических свойств угля, условий поддержания вмещающих пород, конструкторской компоновки механизма передвижения секции крепи и технологии ведения очистных работ. При этом расчет параметров ведется по заданному паспорту крепления и управления горным давлением, углу наклона очистного забоя, а также по условию обеспечения передвижения секций крепи без заклинивания. Рассмотрим указанные параметры.

Угол наклона линии фронта крепи

Угол наклона линии фронта крепи определяется геометрическими параметрами ее системы связей (рис. 9.19) из установленной зависимости:

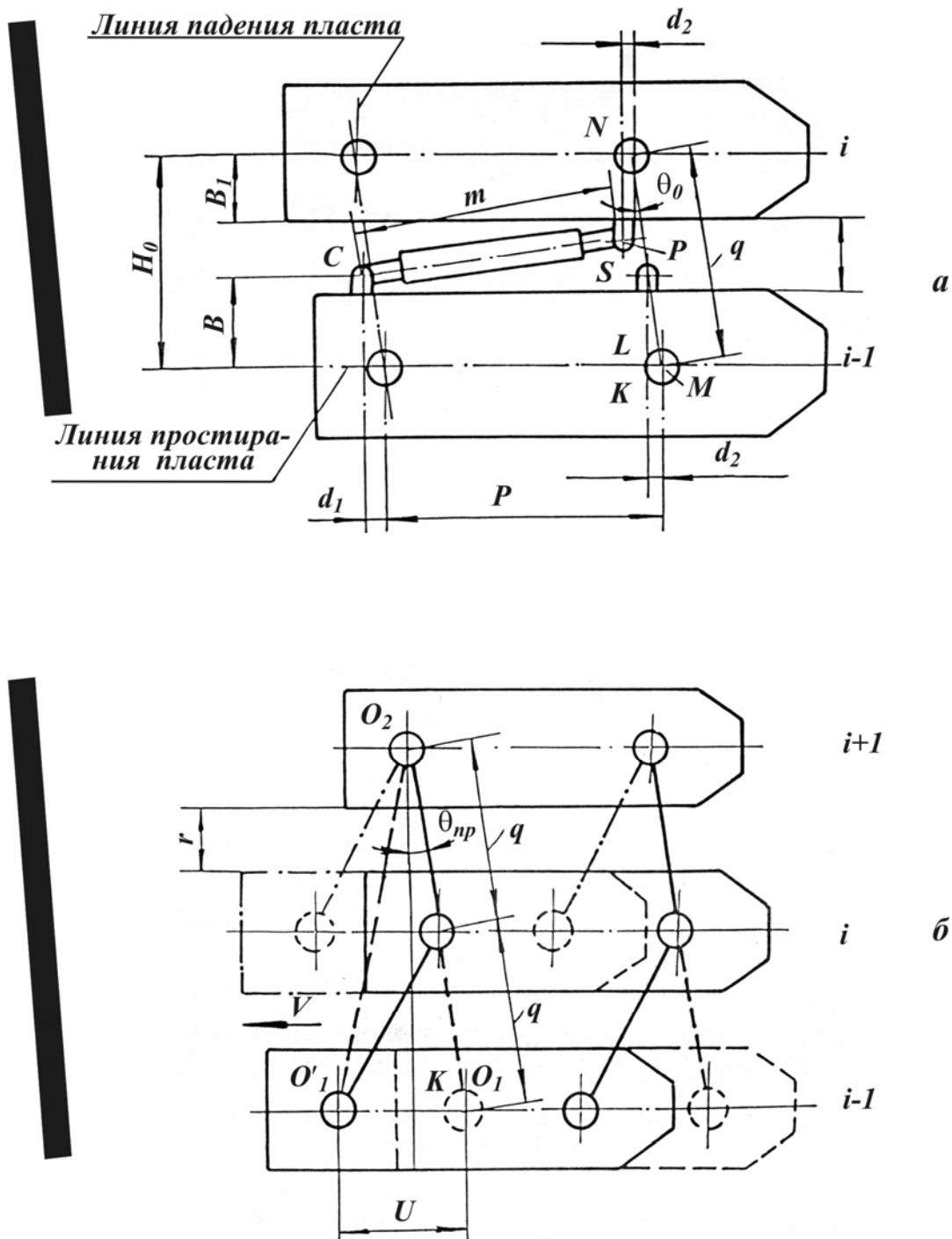


Рис. 9.19. Расчетные схемы для определения:
 а) угла наклона θ_0 линии фронта крепи к линии падения пласта;
 б) предельного угла наклона $\theta_{пр}$ линии фронта крепи из условия отсутствия заклинивания

$$\theta_0 = \arcsin \frac{FQ - \sqrt{(QF)^2 - (Q^2 + 1)(F^2 - 1)}}{(Q^2 + 1)}, \quad (9.41)$$

где θ_0 - угол наклона линии фронта крепи;

$$Q = \frac{P - d_1 - d_2}{2B}; \quad (9.42)$$

$$F = \frac{q^2 - m^2 + 4B^2 + (P + d_1 - d_2)^2}{4qB}, \quad (9.43)$$

q – интервал между секциями вдоль линии фронта крепи;

m – длина гидродомкрата передвижения в сомкнутом положении;

B – расстояние по падению пласта от оси секции до точки крепления домкрата;

P – расстояние между осями стоек секции (база секции);

d_1 – координата точки крепления гидродомкрата по забойному ряду стоек;

d_2 – координата точки крепления гидродомкрата по посадочному ряду стоек.

Интервал между соседними секциями для обеспечения расчетного угла наклона линии фронта крепи определяется зависимостью:

$$H_0 = q \cos \theta_0 \quad (9.44)$$

Аналитические зависимости выбора рациональных параметров кинематической системы по условию отсутствия заклинивания секций

Условия заклинивания передвигаемой секции формируется двумя важнейшими параметрами кинематической системы крепи:

Предельным углом наклона линии ее фронта и расчетным шагом передвижения секции.

Шаг передвижения секции при установке крепи в лаве под углом α_0 зависит от ширины захвата выемочной машины и определяется следующей зависимостью:

$$U = \frac{B_3}{\cos \theta_0}, \quad (9.45)$$

где U – шаг передвижения секции;
 B_3 – ширина захвата выемочной машины.

Предельный угол наклона линии фронта крепи (рис. 9.19.б) определяется зависимостью:

$$\theta_{np} = \arcsin \frac{U}{4q}. \quad (9.46)$$

Установлено, что возможность прохода i -ой секции между уже передвинутой на величину шага ($i - 1$) секцией и неподвижной ($i + 1$) секцией при установке крепи под углом θ' к линии падения пласта, гарантируется соблюдением условия:

$$O_1O_2 = \sqrt{4q^2 + 16q^2(\sin^2 \theta_{np} - \sin \theta_{np} \sin \theta')} \geq 2q. \quad (9.47)$$

Неравенство (9.47) выполняется при условии установки крепи в лаве под углом:

$$\theta' \leq \theta_{np}. \quad (9.48)$$

Определение величины хода штоков гидроштанг и гидродомкратов передвижения

Значения изменяемых параметров кинематической системы механизированной крепи определяются расстояниями между центрами одноименных стоек двух соседних секций в передвинутом и неподвинутом положениях секции (рис. 9.20) следующими аналитическими зависимостями:

$$\text{ход штока гидроштанги } a_m = \sqrt{U^2 + q^2 - 2qU \sin \theta} - q; \quad (9.49)$$

ход штока гидродомкрата передвижения

$$d = \sqrt{q^2 + 4B^2 + V^2 - 4qB \cos \theta_0 - 2qV \sin \theta_0} - m, \quad (9.50)$$

где a_m – ход штока гидроштанги;
 d – ход штока гидродомкрата;

$$V = U + P + d_1 - d_2.$$

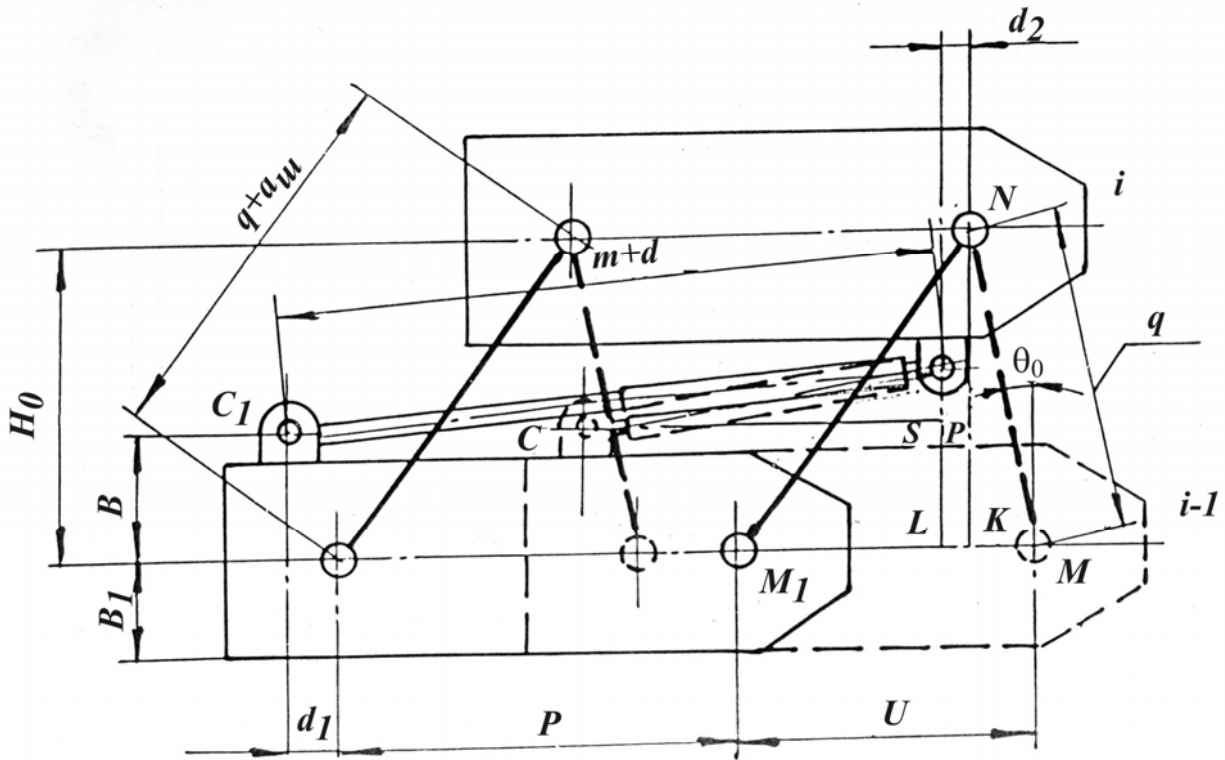


Рис. 9.20. Схема для определения изменяемых параметров межсекционных связей крепи

Теоретические основы проектирования и создания системы передвижения механизированной крепи на тонких крутых пластах

Базируясь на аналитических положениях предложенной авторами методики выбора рациональных параметров кинематических систем механизированных крепей обоснованы теоретические принципы проектирования системы продвижения механизированной крепи на тонких крутых пластах.

При проектировании и последующей эксплуатации механизированной крепи необходимо знать критические (предельные) значения параметров системы ее передвижения в плоскости пласта.

С этой целью по указанной методике составлены системы уравнений и неравенства, связывающие эти параметры.

Исследования проведены на механизированных крепях КГУ, "Украина", КГУ-М.

Учитывая идентичность межсекционных средств управления секциями крепи, в теоретическом анализе рассмотрено положение трех соседних секций. При этом моделируется реальная механика процесса передвижения, а именно, предполагается, что нижняя секция передвинута и расперта, средняя – разгружена и будет передвигаться, а верхняя – непередвинута и отстаёт от нижней на один шаг.

Основным звеном группы из трех секций является их кинематическая пара, связанная гидродомкратом передвижения (рис. 9.21а).

Взаимное положение пары секций в пространстве определяется конструктивными параметрами: линейным размером гидродомкрата передвижения (m), линейными размерами гидроштанг (b, q) передней и задней, расстояниями между гидростойками (P), секций крепи, а также линейными размерами между точками крепления гидродомкрата (a, l, n, c).

Исследованиями установлено, что механика передвижения пары секций механизированной крепи достаточно корректно описывается системой уравнений (9.51):

$$\left. \begin{aligned} m^2 &= a^2 + c^2 + R^2 - 2aR \cos \varphi - 2cR \cos \psi + 2ac \cos(\varphi - \psi) \\ \varphi &= \arccos \frac{a^2 + P^2 - n^2}{2aP} - \arccos \frac{P^2 + R^2 - q^2}{2PR} \\ \psi &= \arccos \frac{P^2 + c^2 - l^2}{2Pc} - \arccos \frac{P^2 + R^2 - b^2}{2PR} \\ R &= \sqrt{P^2 + b^2 - 2Pb \cos \Omega} \end{aligned} \right\}. \quad (9.51)$$

Аналогичная система уравнений может быть получена для определения угла поворота верхней секции относительно ниже расположенной.

Исследуемая система механики передвижения секции крепи в плоскости пласта позволяет иметь три возможных варианта ее конструктивного исполнения: гидродомкрат расположен выше передвигаемой секции (рис. 9.21,б), ниже (рис. 9.21,в) и в каждом межсекционном интервале (рис. 9.21,г).

Условие, обеспечивающее передвижение секций в плоскости пласта без заклинивания по забойным гидроштангам, определяется выполнением неравенства:

$$2b_0 \leq L, \quad (9.52)$$

где b_0 – размер полностью сомкнутой забойной гидроштанги.

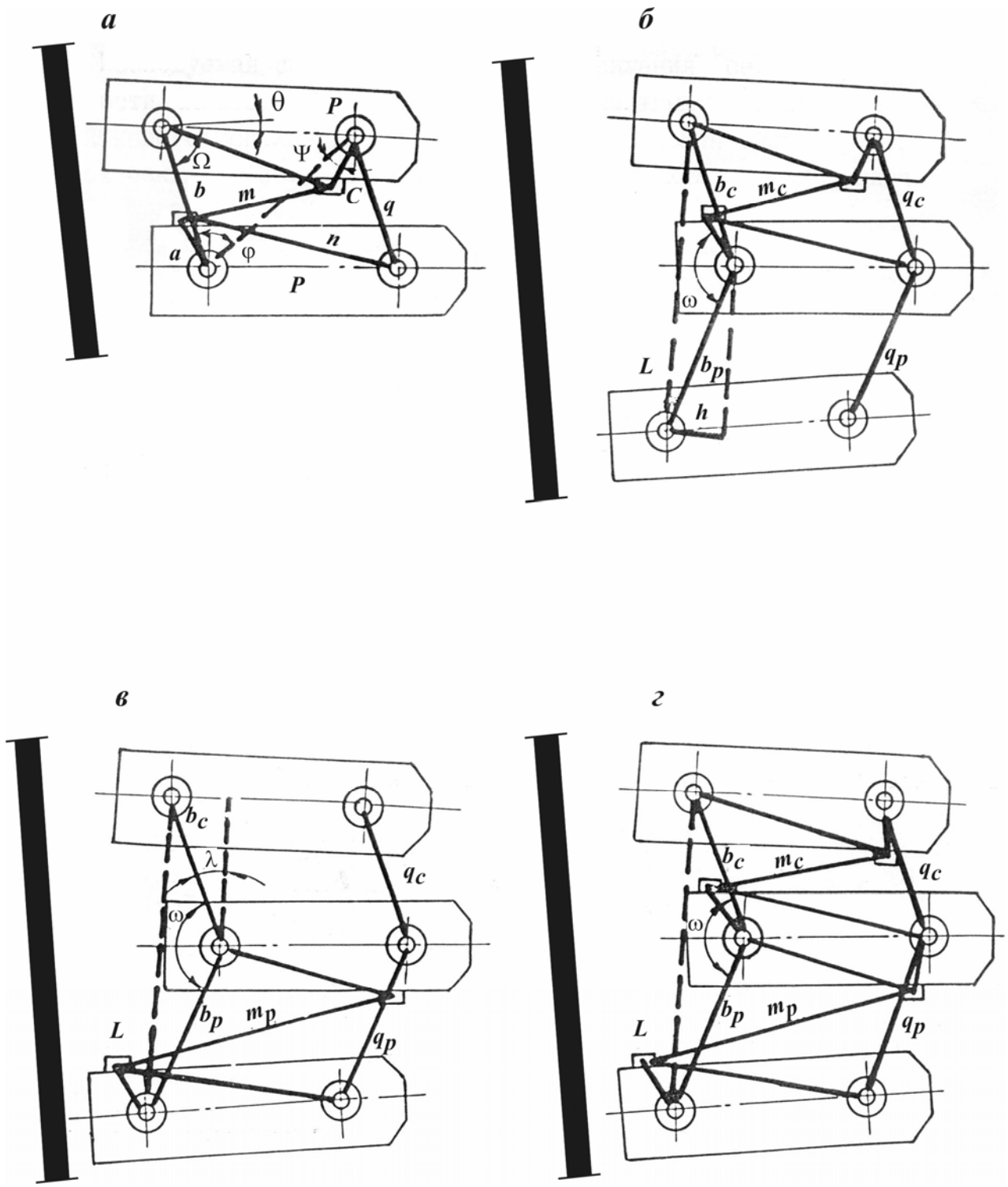


Рис. 9.21. Расчетная схема для проектирования системы передвижения механизированной крепи

Из геометрических соотношений рис. 9.21 следует, что неравенство (9.52) всегда выражается соотношением:

$$2b_0 \leq \sqrt{b_c^2 - b_p^2 - 2b_c b_p \cos \omega} . \quad (9.53)$$

Величины b_c и b_p , соответственно критический линейный размер сомкнутой и разомкнутой гидроштанги определяются для указанных конструктивных вариантов исполнения системы управления секциями решением зависимостей (9.51).

Учитывая, что в уравнениях системы (9.51) изменение линейных размеров средств управления секцией (межсекционных связей) много меньше их номинальных значений, правомочно решение этой системы уравнений разложением в ряд Тейлора, с последующей подстановкой численных значений, линейных размеров межсекционных связей в окрестности их номинальных значений.

В результате подстановки в неравенство (9.53) величин b_c, b_p, ω получены следующие соотношения:

для первого варианта конструктивного исполнения (рис.9.21,б):

$$\arcsin \frac{h}{b_p} + \arcsin \frac{3984000 - b_c^2 - b_p^2}{2b_c b_p} \leq \frac{m_c - 2,1b_c + 0,3q_c - 1970}{37,4 - 0,02b_p} = \quad (9.54)$$

$$= 0,45(q_c - b_c);$$

для второго варианта конструктивного исполнения (рис.9.21,в):

$$\lambda + 0,075b_p - \arccos \frac{3984000 - b_c^2 - b_p^2}{2b_c b_p} \leq \frac{0,4q_p + 2600 - m_p}{16}; \quad (9.55)$$

для третьего варианта конструктивного исполнения (рис.9.21,г):

$$\frac{m_p + 1,2b_p - 0,4q_p - 1160}{16} - \arccos \frac{3984000 - b_c^2 - b_p^2}{2b_c b_p} \leq \quad (9.56)$$

$$\leq \frac{m_c - 2,1b_c + 0,3q_c + 1970}{37,4 - 0,02b_c} - 0,015(q_c - b_c).$$

Для удобства практического пользования в проектной работе, зависимостями (9.54), (9.55), (9.56) построены номограммы (рис. 9.22), позволяющие определять значения линейных размеров $b_p, q_c, q_p, \lambda, h, m_p, m_c$ по условию отсутствия заклинивания передвигаемой секции.

Правила пользования номограммой следующие. Для первого варианта (рис.9.21,б) и соответствующей номограммы (рис. 9.22,а) проектировщиком задается величина линейного размера забойной гидроштанги b_p (например, 1220мм). Пользуясь ключом, находим точку M (при величине опережения нижней секцией $h = 700$ мм) и, опуская из неё перпендикуляр на ось абсцисс, находим, что левая часть неравенства (9.54) равна 72мм. Если при этом величина сомкнутой завальной гидроштанги q_c равна 1030 мм, а гидродомкрат передвигается полностью сомкнут ($m_c = 1300$ мм), то значение правой части этого неравенства равно 83. Отсюда следует, что неравенство (9.54) выполняется ($83 > 72$), т.е. система передвигания крепи в этом конструктивном исполнении обеспечивает механику ее передвигания и управляемость в плоскости пласта без заклинивания.

Болеесложны условия работы системы во втором ее конструктивном исполнении (рис.9.21,в) и номограмма (рис.9.22,б). При величине разомкнутой завальной гидроштанги ($q_p = 1160$ мм) и полностью разомкнутым гидродомкратом ($m_p = 2200$ мм) правая часть неравенства (9.55) равна 54. Это же значение может принимать и левая часть неравенства при величине разомкнутой гидроштанги ($b_p = 1160$ мм) и наклоне забойной гидроштанги вышерасположенной секции к линии падения пласта $\lambda = 12^\circ$. При $\lambda > 12^\circ$ или $b_p < 1160$ мм произойдет заклинивание, или, другими словами, неравенство (9.55) не выполняется.

Разработанный аналитический аппарат используется ДонНИИ при проектировании систем передвигания механизированных крепей и комплексов типа КГУ.

Синтез механизма передвигания гидрофицированной крепи на тонком крутом пласте

Авторами предложена методика решения задачи синтеза механизма передвигания секции крепи типа КГУ на крутом пласте.

Задача синтеза механизма передвигания крепи сформулирована следующим образом: воспроизведение одной из характерных точек механизма требуемой (либо функционально заданной технологией ведения очистных работ в лаве) траектории движения в плоскости пласта; проектирование механизма по заданным (технологическим) положениям его звеньев.

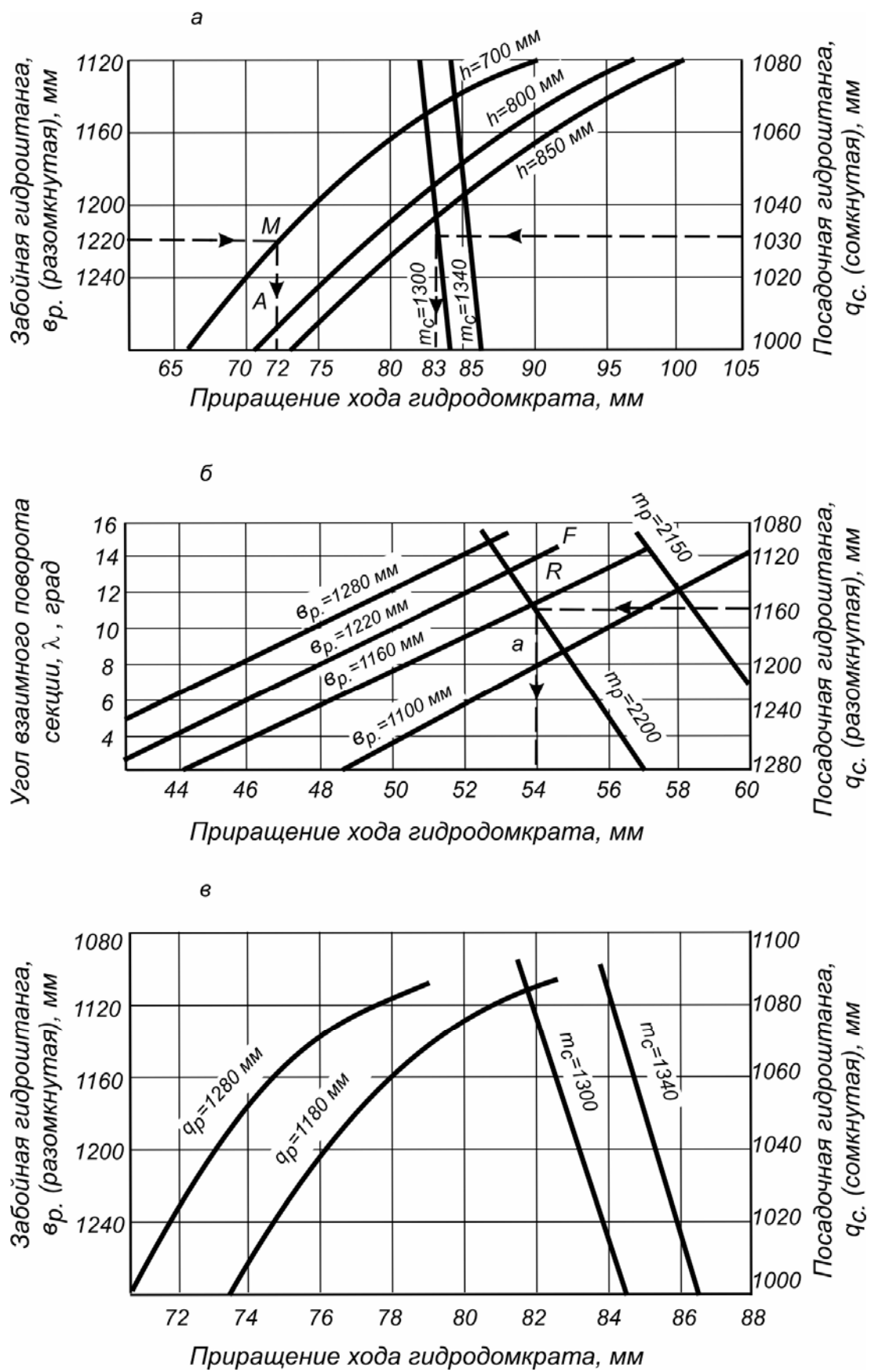


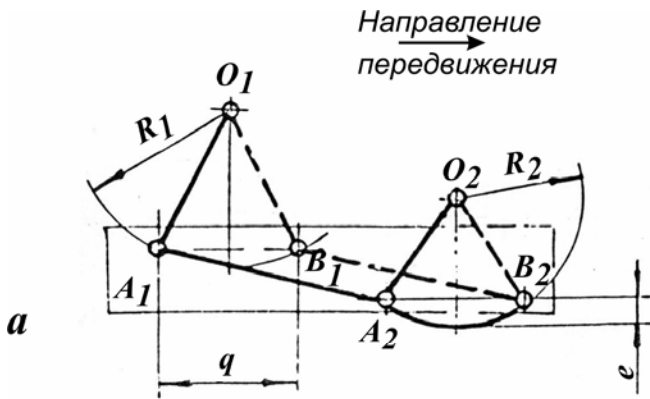
Рис. 9.22. Номограммы для определения параметров механизма передвижения секций

Работами институтов отрасли по созданию крепей доказано, что наиболее сложными и важными являются задачи синтеза механизма передвижения крепи в плоскости крутого пласта по заданным положениям его звеньев (с известными ограничениями области возможных положений звеньев внутри интервала передвижения) и воспроизведение требуемой траектории точек механизма при более жестких (или абсолютных) ограничениях области возможных положений звеньев. С точки зрения теории механизмов и машин это семейство дисков (силовых элементов крепи), объединенных в кинематическую цепь (рис. 9.23,а). Перемещение носит циклический характер, обусловленный технологией ведения очистных работ с последовательной фиксацией в параллельных положениях всего семейства элементов механизма крепи.

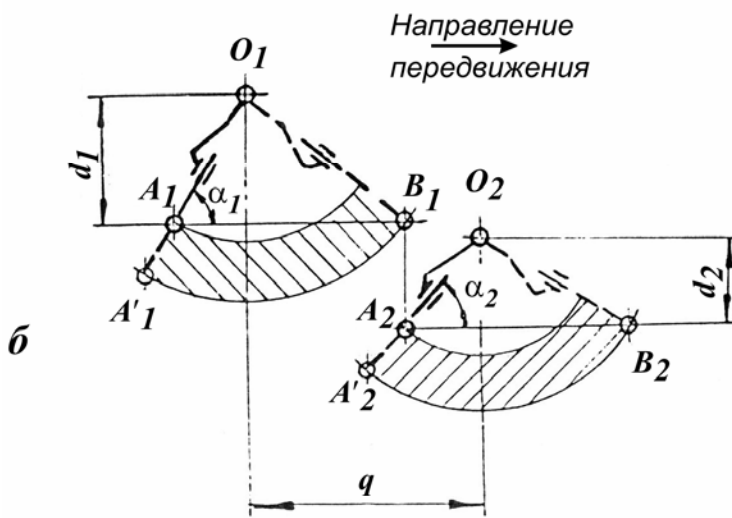
Заданный закон движения структурной единицы вполне обеспечивается шарнирным четырехзвенником, наиболее простым механизмом с низшими кинематическими парами, способными воспроизводить подобный тип движения. Таким образом, задача проектирования механизма передвижения крепи типа КГУ сводится к синтезу шарнирного четырехзвенника по двум заданным положениям ведомого звена, и, в классической постановке, решается графоаналитическим методом. Решение определяет положения мгновенных центров вращения звеньев четырехзвенника, соединенных кинематическими парами с гидравлическими стойками крепи.

При этом имеют место следующие начальные (граничные) условия, устраняющие неопределенности при решении данной задачи: фиксируемый шаг передвижения ведомого звена (шаг передвижения секций крепи); ограничение шага в цепи ведомых звеньев (межсекционные интервалы по основаниям секций). Решение задачи синтеза механизма передвижения приведено на рис. 9.23,б.

Анализ решения показывает, что введение поступательных пар в коромысла механизма позволяет, при ограниченном шаге в цепи ведомых звеньев, существенно увеличить возможный шаг передвижения. Такая реконструкция четырехзвенника позволяет избежать "жесткой" траектории передвижения ведомого звена внутри цикла передвижения. Это весьма важно в реальных эксплуатационных условиях, в связи с открывающимися возможностями варьирования углом наклона линии фронта и приспособляемостью ее секций к изменениям гипсометрии пласта. Окончательное графоаналитическое решение задачи синтеза механизма передвижения крепи типа КГУ представлено аналитическими зависимостями и графиком (рис. 9.23,в).



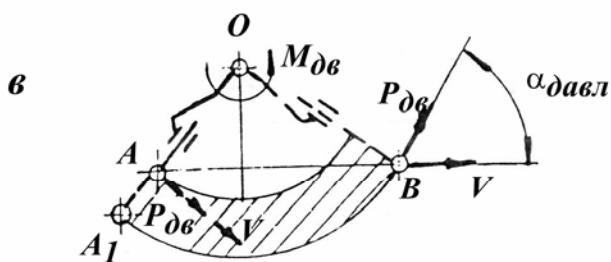
$$R_{min} \geq \frac{q}{2e} (1 - e^2)$$



$$K_1 = \frac{O_1 B_1}{O_1 A_1}; \quad K_2 = \frac{O_2 B_2}{O_2 A_2}$$

$$\begin{cases} \sqrt{O_1 A_1^2 - d_1^2} + \sqrt{K_1^2 O_1 A_1^2 - d_1^2} = \\ \sqrt{O_2 A_2^2 - d_2^2} + \sqrt{K_2^2 O_2 A_2^2 - d_2^2} = \end{cases}$$

$$\begin{cases} O_1 A_1 = \frac{1}{\cos \alpha_1 + K_1 \sqrt{1 - K_1^2 \sin^2}} \\ O_2 A_2 = \frac{1}{\cos \alpha_2 + K_2 \sqrt{1 - K_2^2 \sin^2}} \end{cases}$$



2) Плоское движение ведущего звена

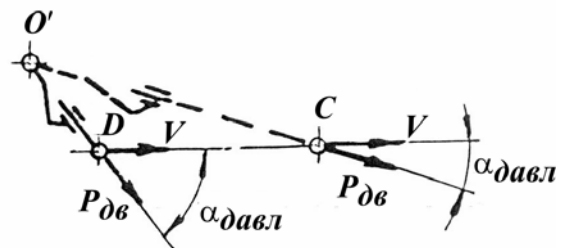


Рис. 9.23. Синтез механизма передвижения

Разработанный аналитический аппарат синтеза механизма передвижения крепи применительно к средствам комплексной механизации для тонких крутых пластов носит универсальный характер, применим и использовался для проектирования различных их типов.

Аналитический метод прочностных расчетов элементов системы управления механизированными крепями и комплексами

Основным структурным элементом системы управления лавной крепью комплекса является силовой гидроцилиндр, испытывающий повышенные нагрузки при эксплуатации. С целью обеспечения надежности и долговечности силовых конструктивных элементов крепи, применяемых в условиях ограниченного по высоте рабочего пространства, выполнение их прочностных расчетов связано с необходимостью разработки специального метода расчетов.

Расчеты на прочность структурных элементов системы управления лавной крепью призваны аналитически определять перемещения и напряжения в наиболее нагруженных точках деталей конструкции.

Разработка аналитического аппарата расчетов на прочность нами проведена исходя из общих принципов механики. Для рассматриваемых структурных элементов системы управления (силовые гидроцилиндры) составляем функцию Лагранжа. Функция Лагранжа состоит из кинетической энергии, потенциальной энергии в поле сил тяжести, потенциальной энергии упругих деформаций и работы сил поверхностного давления.

Поскольку лавная крепь механизированного комплекса работает в статике (режим постоянного рабочего сопротивления) в нашем случае кинетическая энергия в функцию Лагранжа не включена. Очевидно, что искомые функции перемещения в этом случае не зависят от времени.

Находим функцию перемещения $U(x,y)$ и $V(x,y)$, которые доставят минимум функционалу (функция Лагранжа):

$$L = \iint_S G \left(\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2 + \frac{1}{2} \gamma_{xy}^2 + \frac{\mu}{1-2\mu} \theta^2 \right) dS - \iint_S (X_U - Y_U) dS - \int_l (\bar{X}_U + \bar{Y}_U) dl, \quad (9.57)$$

где G – модуль упругости 2-го ряда;

$\varepsilon_x, \varepsilon_y$ – относительные деформации: $\varepsilon_x = \frac{dU}{dx}$; $\varepsilon_y = \frac{dV}{dy}$;

θ, γ_{xy} – относительные угловые деформации: $\gamma_{xy} = \left(\frac{dU}{dy} - \frac{dV}{dx} \right)$;

$$\theta = \left(\frac{dU}{dx} + \frac{dV}{dy} \right);$$

μ – коэффициент Пуассона;

ρ – плотность материала;

X_U, Y_U – величины массовых сил (сил тяжести);

\bar{X}_U, \bar{Y}_U – величины поверхностных сил (силы давления вдоль осей "X" и "Y")

Используя для решения указанной вариационной задачи (9.57) метод Ритца, ее решение ищем в виде разложения по полной системе ортогональных функций ψ_K :

$$\begin{cases} U = \sum_{K=0}^{\infty} a_{KX} \psi_K \\ V = \sum_{K=0}^{\infty} a_{KY} \psi_K \end{cases} \quad (9.58)$$

После нахождения коэффициентов разложения (a_{KX} и a_{KY}) задача будет решена. В качестве полной системы ортогональных функций нами приняты гармонические функции, которые в полярных координатах имеют вид:

$$\psi_K = i^K (\cos K\varphi + \sin K\varphi), \quad (K = 0; \pm 1; \pm 2\dots). \quad (9.59)$$

Используя комплексное переменное $Z=X+iY$, ортогональные функции (9.59) запишем в виде:

$$\psi_K = R_e Z^K + Im Z^K, \quad (K = 0; \pm 1; \pm 2\dots). \quad (9.60)$$

Приняв обозначения $R_e Z^K=R^K$ и $Im Z^K=I^K$ решение (9.58) ищем в виде конечного ряда:

$$\begin{aligned}
U &= \sum_{K=-n}^n (a_{KX} R^K + b_{KX} I^K) \\
V &= \sum_{K=-n}^n (a_{KY} R^K + b_{KY} I^K)
\end{aligned}
\tag{9.61}$$

Подставив аналитические значения функций перемещения (9.61) в функцию Лагранжа (9.57) и выполнив в полученном выражении дифференцирование по искомым коэффициентам (a_{KX} и a_{KY}), получим систему линейных уравнений (9.62).

Для рассматриваемого случая – силовые гидроцилиндры (типа крепи КГУ) (рис 9.24) системы линейных уравнений имеет вид:

$$\begin{cases}
G \left[\frac{2(1-\mu)}{1-2\mu} - 1 \right] \pi (R_2^2 - R_1^2) a_{1x} + G \left(\frac{2\mu}{1-2\mu} - 1 \right) \pi (R_2^2 - R_1^2) b_{1y} = \pi P R_1^2; \\
G \left(\frac{2\mu}{1-2\mu} - 1 \right) \pi (R_2^2 - R_1^2) a_{1x} + G \left[\frac{2(1-\mu)}{1-2\mu} + 1 \right] \pi (R_2^2 - R_1^2) b_{1y} = \pi P R_1^2; \\
G \left[\frac{2(1-\mu)}{1-2\mu} + 1 \right] \frac{\pi (R_2^2 - R_1^2)}{2R_1^2 R_2^2} a_{-1x} + G \left(\frac{2\mu}{1-2\mu} - 1 \right) \frac{\pi (R_2^2 - R_1^2)}{2R_1^2 R_2^2} b_{-1y} = \pi P; \\
G \left(\frac{2\mu}{1-2\mu} - 1 \right) \frac{\pi (R_2^2 - R_1^2)}{2R_1^2 R_2^2} a_{-1x} + G \left[\frac{2(1-\mu)}{1-2\mu} + 1 \right] \frac{\pi (R_2^2 - R_1^2)}{2R_1^2 R_2^2} b_{-1y} = -\pi P.
\end{cases}
\tag{9.62}$$

Решение уравнений (9.62) дает значение искомым коэффициентов:

$$a_{1x} = b_{1y} = \frac{P R_1^2 (1-2\mu)}{2G (R_2^2 - R_1^2)}; \quad a_{-1x} = b_{-1y} = \frac{P R_1^2 R_2^2}{2G (R_2^2 - R_1^2)},$$

дающим функции перемещения:

$$\begin{aligned}
U &= a_{1x} X + a_{-1x} \frac{X}{X^2 + Y^2} = \frac{P R_1^2}{2G (R_2^2 - R_1^2)} \left[(1-2\mu) X + R_2^2 \frac{X}{X^2 + Y^2} \right]; \\
V &= b_{1y} Y + b_{-1y} \frac{X}{X^2 + Y^2} = \frac{P R_1^2}{2G (R_2^2 - R_1^2)} \left[(1-2\mu) Y + R_2^2 \frac{Y}{X^2 + Y^2} \right].
\end{aligned}
\tag{9.63}$$

Из этих же уравнений с использованием закона Гука получены выражения для напряжений, возникающих в теле:

$$\sigma_x = 2G \left(\varepsilon_x + \frac{\mu}{1-2\mu} \theta \right); \quad \sigma_y = 2G \left(\varepsilon_y + \frac{\mu}{1-2\mu} \theta \right).$$

Подставляя численные значения параметров гидроцилиндров, определяем значение напряжений и перемещений в любой его характерной точке.

Экспериментальные исследования систем передвижения механизированных крепей

Результаты теоретических исследований приведенных выше являются частью комплекса работ по созданию систем передвижения механизированных крепей для крутых пластов.

В основу экспериментальных исследований, выполненных в шахтных условиях и процессе стендовых испытаний, положены инструментальные измерения изменения геометрических параметров систем передвижения механизированных крепей с последующей математико-статистической обработкой данных эксперимента.

На экспериментальных участках в лавах по пластам "Пугачевка-восток", I_7 "Каменка-восток", K_8 шахты им. Дзержинского, "Мазур-восток", I_1 ГП "Дзержинскуголь" Минуглепрома Украины было выполнено более 2000 измерений параметров элементов системы передвижения, ориентирующий крепь по падению, и свыше 1000 измерений – на элементах ориентации по простиранию пласта.

Экспериментальные исследования ежемесячно (добычные смены) непрерывно от 3 до 6 месяцев в каждой лаве. При этом суммарное подвигание экспериментальных участков составило – 550,9 м по простиранию пласта, общая добыча за период экспериментальных исследований 46789 т. Шахтным экспериментальным исследованиям во всех случаях предшествовали экспериментальные исследования в условиях крутого полноразмерного стенда с размерами испытательной площадки: по падению пласта – 15,0 м; по простиранию – 8,0 м. Подошва и потолочина стенда имитировали кровлю и почву пласта на мощности 0,7 ÷ 1,2 м. На стенде получено 200 – 250 измерений параметров элементов системы передвижения по падению пласта и 100 – 150 по его простиранию.

Исходные данные для расчета:
 Давление внутри цилиндра - 60 МПа
 Материал - Сталь 40Х
 Модуль упругости 2^{го} рода - $G=8 \cdot 10^4$ МПа
 Коэффициент Пуассона - $\mu=0,3$

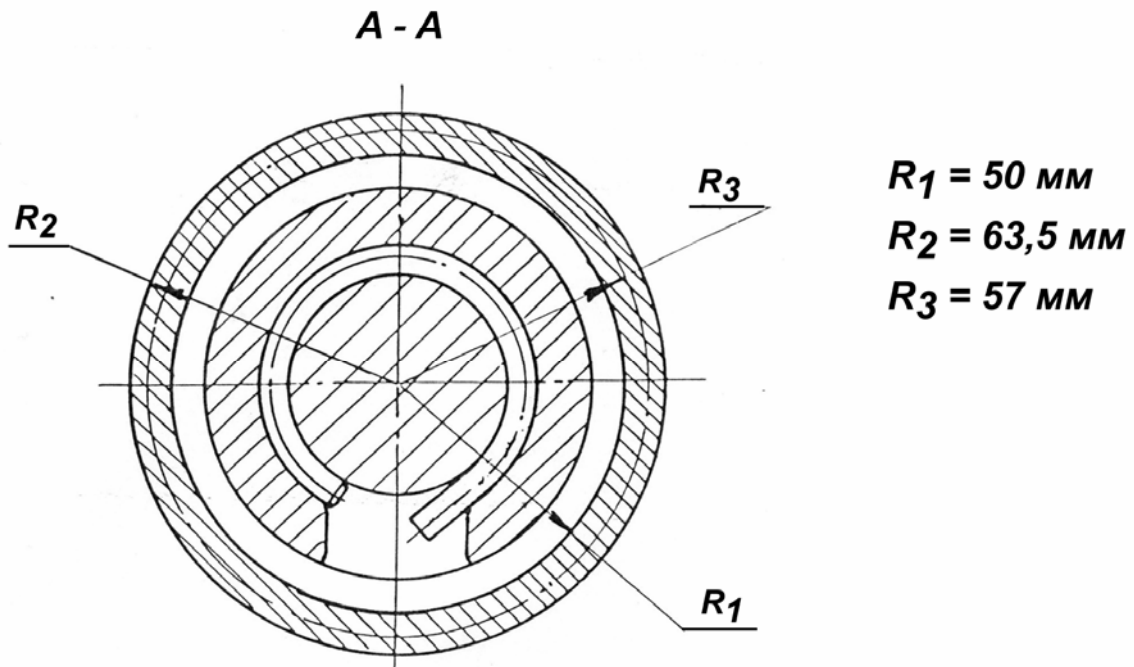
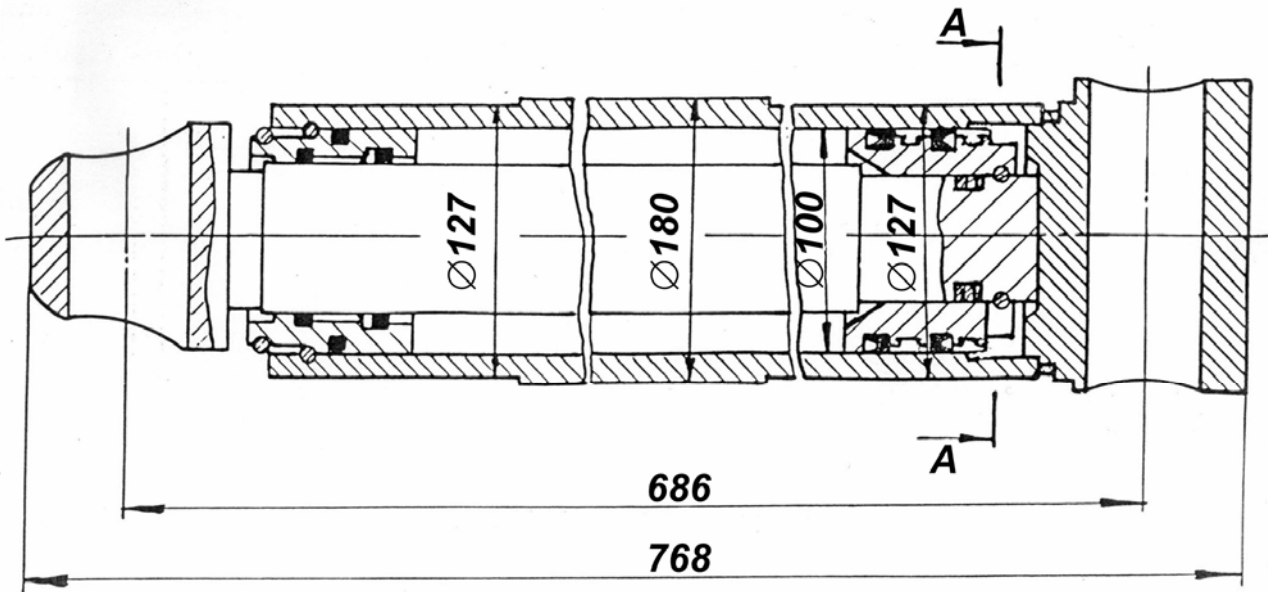


Рис. 9.24. К расчету силового гидроцилиндра на прочность

По материалам статистики стендовых и шахтных экспериментальных исследований построены функции распределения отклонений значений геометрических параметров элементов системы передвижения крепи от их номинальных значений.

Учитывая, что определяющим фактором механики системы передвижения механизированной крепи являются геометрические параметры ее структурных элементов в конце цикла передвижения секции, функции распределения отклонений размеров элементов от номинальных значений построены именно для этой фазы цикла в виде:

$$Z = \exp(-A_1 X^2 + B_1 X + C), \quad (9.64)$$

где A_1, B_1, C_1 – постоянные, вычисленные по полученным распределениям методом наименьших квадратов;

X – переменная, характеризующая распределение отклонений линейных размеров структурных элементов системы передвижения крепи. Для каждого цикла статистических измерений значение переменной " X " определяется отдельно.

Применительно к качественным показателям эксперимента функции распределения отклонений значений структурных элементов системы от их номинала имеют вид:

гидроштанга забойного ряда

$$Z = 10^{-0,037} X^2 + 0,713X - 1,7 \quad (\text{стенд});$$

$$Z = 10^{-0,022} X^2 + 0,65X - 0,87 \quad (\text{шахта им. Дзержинского});$$

(9.65)

$$Z = 10^{-0,035} X^2 + 0,725X - 1 \quad (\text{шахта им. Артема});$$

$$Z = 10^{-0,03593} X^2 + 0,7782X - 2,764 \quad (\text{шахтоуправление "Новое"});$$

гидроштанга посадочного ряда

$$Z = 10^{-0,197} X^2 + 0,31X - 0,731 \quad (\text{стенд});$$

$$Z = 10^{-0,0353} X^2 + 0,0847X - 0,044 \quad (\text{шахта им. Дзержинского});$$

(9.66)

$$Z = 10^{-0,025} X^2 + 0,513X - 0,071 \quad (\text{шахта им. Артема});$$

$$Z = 10^{-0,0199} X^2 + 0,225X - 0,075 \quad (\text{шахтоуправление "Новое"});$$

гидродомкрат передвижения

$$Z = 10^{-0,00197} X^2 - 0,0291X + 0,992 \quad (\text{стенд});$$

$$Z = 10^{-0,0018} X^2 - 0,0372X + 1,034 \quad (\text{шахта им. Дзержинского});$$

(9.67)

$$Z = 10^{-0,0019} X^2 - 0,0303X + 1,086 \quad (\text{шахта им. Артема});$$

$$Z = 10^{-0,001622} X^2 - 0,02315X + 0,97 \quad (\text{шахтоуправление "Новое"}).$$

Для вероятностной оценки данных экспериментальных исследований полученные распределения нормируются. При этом следует учитывать, что отклонение от номинальных значений структурных элементов системы управления не могут быть меньше некоторой величины "Т", обусловленной конструктивными особенностями исследуемых систем управления комплексами.

Поэтому постоянную нормирования "W" определяем следующим образом:

$$\int_T^{+\infty} WZdx = 1, \quad \text{откуда} \quad W = \frac{1}{\int_T^{+\infty} Zdx}. \quad (9.68)$$

Для функциональной зависимости (9.64) подставкой в (9.68) определяем:

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{\int_T^{+\infty} \exp(-A_1 X^2 + B_1 X + C) dx} = \frac{1}{\int_T^{+\infty} \exp\left[-A_1 \left(X - \frac{B_1}{2A_1}\right)^2 + \frac{B_1^2}{4A_1} + C_1\right] dx} = \\ &= \frac{1}{\int_T^{+\infty} \frac{S_1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{(X - X_1)^2}{2\sigma_1^2}\right] dx} = \frac{1}{S_1 \left[\frac{1}{2} - \phi(\lambda_1)\right]} \end{aligned} \quad (9.69)$$

где $\sigma_1^2 = \frac{1}{2A_1}$; $S = \sigma_1 \sqrt{2\pi} \exp\left(\frac{B_1^2}{4A_1} + C_1\right)$;

$\phi(\lambda_1)$ – функция Лапласа; $\lambda_1 = \frac{T - X}{\sigma_1}$.

Значение величины "Т" для сомкнутых структурных элементов системы передвижения крепью равно нулю.

Используя нормированную функциональную зависимость вида $W_Z = WZ$, распределения отклонений структурных элементов системы управления комплексом от их номинала можно записать в виде:

$$W_Z = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1 \left[\frac{1}{2} - \phi(\lambda_1) \right]} \exp \left[-\frac{(X - X_1)^2}{2\sigma_1^2} \right]. \quad (9.70)$$

В таблице приведены характеристики функций распределения, вычисленные для функциональных зависимостей (9.65, 9.66, 9.67).

Таблица 9.2

Характеристики функций распределения

Наименование гидроцилиндра	Характеристики функций распределения									
	X	A_1	B_1	C_1	σ_1	S_1	X_1	λ_1	$\phi(\lambda_1)$	T
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Шахта им. Дзержинского										
ГШ заб. ряда	b_1-b_0	0,017	0,22	2,44	5,45	321,6	6,5	-1,20	-0,3849	0
ГШ пос. ряда	q_1-q_0	0,0553	0,661	1,312	3,0	34,1	6,0	-1,99	-0,4767	0
ГД передвиж.	m_1-m_0	0,056	0,121	2,642	3,8	213,7	1,74	-0,46	-0,1772	0
Шахта им. Артема										
ГШ заб. ряда	b_1-b_0	0,0806	1,669	-3,756	2,49	822,6	10,36	-4,16	-0,5	0
ГШ пос. ряда	q_1-q_0	0,0582	1,193	-1,497	2,93	734,4	10,23	-3,49	-0,4997	0
ГД передвиж.	m_1-m_0	0,055	0,104	4,287	9,53	349,5	-9,416	0,99	-0,3389	0
Шахтоуправление "Новое"										
ГШ заб. ряда	b_1-b_0	0,0711	1,581	-5,618	2,65	185,99	10,82	-4,08	-0,5	0
ГШ пос. ряда	q_1-q_0	0,022	0,4573	0,0914	4,75	153,4	10,27	-2,16	-0,4846	0
ГД передвиж.	m_1-m_0	0,032	-0,4709	1,917	12,3	347,5	-7,4	-0,60	-0,2257	0
Полноразмерный стенд										
ГШ заб. ряда	b_1-b_0	0,0697	1,219	-3,719	2,71	251,7	-10,13	-4,17	-0,47	0
ГШ пос. ряда	q_1-q_0	0,0471	0,371	-1,087	3,91	331,34	-9,23	-2,35	-0,44	0
ГД передвиж.	m_1-m_0	0,051	0,101	3,413	4,57	193,41	-9,34	-0,57	-0,371	0

Выполненные экспериментальные и аналитические исследования позволят дать вероятностный прогноз безотказной работы системы. Для чего необходима вероятностная оценка возможных случаев заклинивания секций комплекса в процессе передвижения. Аналитически условия заклинивания формулируются в виде:

$$\begin{aligned} q_1 &\geq q'_1; & q_2 &\leq q'_2; \\ b_1 &\geq b'_1; & b_2 &\leq b'_2; \\ m_1 &\geq m'_1; & m_2 &\leq m'_2; \end{aligned} \quad (9.71)$$

где $q'_1, b'_1, m'_1, q'_2, b'_2, m'_2$ – значения линейных размеров структурных элементов системы управления, при которых происходит заклинивания соседней пары секций.

Воспользовавшись соотношениями неравенства и условиями, находим полную вероятность заклинивания передвигаемой секции как произведение вероятностей выполнения неравенства

$$Q = Q_1 Q_2 Q_3 Q_4 Q_5 Q_6, \quad (9.72)$$

$$\begin{aligned} \text{где } Q_1 &= Q'_1(q_1 > q'_1); & Q_4 &= Q'_4(q_2 < q'_2); \\ Q_2 &= Q'_2(b_1 > b'_1); & Q_5 &= Q'_5(b_2 < b'_2); \\ Q_3 &= Q'_3(m_1 > m'_1); & Q_6 &= Q'_6(m_2 < m'_2). \end{aligned}$$

Параметры линейных размеров структурных элементов системы передвижения крепи выражают переменную "X" указанными в таблице, характеристиками для каждого конкретного типа систем передвижения таким образом, что задаваемые неравенства вида возможного значения линейного отклонения параметра структурного элемента будут соответствовать неравенству вида:

$$X \geq X_1. \quad (9.73)$$

Вероятность наступления такого события для зависимостей, определяемых выражениями, будет иметь вид:

$$Q(X \geq X_i) = \frac{1}{\frac{1}{2} - \phi(\lambda_1)} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_1}} \int_{X_i}^{+\infty} \exp\left[-\frac{(X - X_i)^2}{2\sigma_1^2}\right] dx, \quad (9.74)$$

где $\lambda_i = \frac{X_i - X_1}{2\sigma_1}$;

$$Q(0 < X \leq X_i) = \frac{1}{\phi(\lambda_1)} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \int_0^{X_i} \exp\left[-\frac{(X - X_i)^2}{2\sigma_1}\right] dx = \frac{\phi\left(\frac{X_i - X_1}{\sigma_1}\right) + \phi\left(\frac{0 - X_1}{\sigma_1}\right)}{\phi(\lambda_1) + \phi\left(\frac{X_1}{\lambda_1}\right)}. \quad (9.75)$$

Определив неравенство (9.73), пользуясь соотношениями, приведенными в таблице 9.2, и численными значениями величин b , q , m из выражений (9.54, 9.53, 9.56) имеем, что полная вероятность заклинивания (потери подвижности системы для комплексов типа КГУ) составляет $Q(X \geq X_i) = 0,0002$.

Выводы по разделу 9

9.1. Разработаны комплекс аналитических зависимостей и методика оценки устойчивости секций механизированной крепи с учетом конструктивных параметров, горно-геологических условий эксплуатации и технологии передвижения ее секций.

9.2. Получены аналитические выражения для определения усилий взаимодействия T_1 и T_2 секций крепи с направляющими балками при работе комплекса на наклонных пластах. Величины T_1 и T_2 используются для расчета устойчивости и направленности движения секций крепи, а также для определения сопротивления перемещению гидродомкратов.

9.3. Для инженерных расчетов разработана номограмма определения максимального, с точки зрения устойчивости, значения угла падения пласта.

9.4. Выполнены расчеты устойчивости секций механизированных крепей для четырех характерных случаев, встречающихся в условиях шахт, обрабатывающих пласты наклонного падения, с учетом способов передвижения крепи с подпором и без него.

9.5. Разработан алгоритм моделирования динамики работы гидросистемы секции механизированных крепей, позволяющий задавать последовательность моделирования операций технологического цикла, на каждой операции имитировать совместную работу определенного количества взаимосвязанных гидроцилиндров, а также автома-

тически осуществлять пошаговый контроль величины перемещения каждого из них.

9.6. В настоящее время для шахт с крутым и крутонаклонным залеганием пластов возникла необходимость развития дальнейших исследований в этой области, связанных, прежде всего с горно-геологическими и горнотехническими факторами отработки крутых пластов. Это, прежде всего: локальные зоны ослабленных пород в кровле, изменения мощности пласта в пределах лавы, наличие пластов с углями, склонными к самовысыпанию.

Литература к разделу 9

9.1. Антипов И.В. Геомеханические и технологические основы создания нового уровня крепей очистных забоев тонких пологих пластов: Автор. дис... док. техн. наук. – Донецк, 1996. – 38с.

9.2. Гребенкин С.С. Синтез механизма передвижения гидрофицированной крепи типа КГУ на тонком крутом пласте. – Донецк: Минуглепром СССР, ЦБНТИ, 1991. – 16с.

9.3. Сафохин М.С., Александров В.А., Нестеров В.И., Горные машины и оборудование: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1995. – 463с.

9.4. Горбатов П.А., Петрушкин Г.В., Лысенко Н.М. Горные машины и оборудование: Учебное пособие для вузов. – В 2-х томах. – Донецк: РВД ДонНТУ, 2003. – т.1, 295с. – т.2, 201с.

9.5. Механизированные крепи очистных комплексов и агрегатов: Учебное пособие для вузов / Горбатов П.А., Гуляев В.Г., Лысенко Н.М., Косарев В.В.

9.6. Горные машины и комплексы для подземной добычи угля. Монография / Под ред. С.С. Гребенкина // Гребенкин С.С., Агафонов А.В., Косарев В.В., и др. – Донецк: "ВИК", 2006. – 353 с.

9.7. Гребенкин С.С. Методика выбора и расчета рациональных параметров механизированных крепей для тонких крутых пластов. – Люберцы: Минуглепром СССР, 1990. – 15 с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перевернута последняя страница нашей монографии. Мы, авторы, должны сказать, что нам хотелось бы донести до читателя всю сложность и одновременно всю творческую прелесть проектирования, создания и эксплуатации горнодобывающей техники. Мы, уверены, что талант проектировщиков, талант горных инженеров еще долго будет востребован, как горнодобывающими отраслями, так и человечеством в целом.

Не претендуя на истину в последней инстанции, нам все же хотелось вооружить нашего читателя современной базой основ проектирования и эффективной эксплуатации очистных комплексов и агрегатов на угольных шахтах. Думаем, что материал монографии найдет своего читателя не только в Украине, но и в ближнем и дальнем зарубежье.

Надеемся на объективную читательскую оценку и полезность нашей работы.

С глубоким уважением к читателям авторы:

Академик АГН Украины,
докт. техн. наук, профессор

С.С. Гребёнкин

Академик АГН Украины,
Лауреат Госпремии Украины,
канд. техн. наук

В.В. Косарев

Чл.-корр. АГН Украины,
канд. техн. наук

С.Е. Топчий

Чл.-корр. АГН Украины,
докт. техн. наук

Н.И. Стадник

Канд. техн. наук

В.И. Зензеров

Чл.-корр. АГН Украины,
канд. техн. наук

В.В. Стеблин

Горный инженер

Б.А. Перепелица

Горный инженер

В.Н. Поповский

Наукове видання

**С.С. Гребёнкин, В.В. Косарев,
С.Е. Топчий, Н.И. Стадник,
В.И. Зензеров, В.В. Стеблин,
Б.А. Перепелица, В.Н. Поповский**

**ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ И ЭФФЕКТИВНОЙ
ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ
ОЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УГОЛЬНЫХ
ШАХТ**

Монография

Друкується російською мовою

Відповідальний за випуск
Технічний редактор

С.С. Гребьонкін
В.І. Зензеров

Підп. до друку 03.03.2009 р.	Формат 60x84 ¹ / ₁₆ .	Папір офсетний.
Різографічний друк.	Ум.-др. арк. 20,6.	Ум.фарб.-відб. 20,8.
Облік.-вид. арк. 20,9.	Тираж 300 прим.	Замовл. №0303.

Друк з оригінал-макету МПП "ВІК"
Свідоцтво про реєстрацію ДК №382 від 26.03.2001 р.
83059, м. Донецьк, вул. Разенкова, 12/17, тел. (062) 381-70-87