

Б 62-31
~~244~~

П. Н. Д Е М И Д О В
Н. Г. К А Р Т А В Ы Й
Б. Н. Л Ю Б И М О В
Д. Н. П А В Л Ю Ч Е Н К О

У ГОЛЬНЫЕ СТРУГИ

ГОСГОРТЕХИЗДАТ - 1962

П. Н. ДЕМИДОВ, Н. Г. КАРТАВЫЙ,
Б. Н. ЛЮБИМОВ, Д. Н. ПАВЛЮЧЕНКО

1369

62/31
244

УГОЛЬНЫЕ СТРУГИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ

Москва 1962

| | Стр. |
|--|------------|
| Предисловие | 3 |
| Введение | 4 |
| Глава I. Горное давление при струговой выемке угля | 13 |
| 1. Предварительные замечания | — |
| 2. Характер проявления горного давления | 16 |
| Глава II. Механические свойства угля | 31 |
| 3. Особенности угля как твердого тела | — |
| 4. Крепость угля | 35 |
| Глава III. Струговые установки и их работа | 46 |
| 5. Классификация угольных стругов | — |
| 6. Струговые установки статического действия | 51 |
| 7. Скрепероструговые установки | 57 |
| 8. Установки угольных пил | 64 |
| 9. Измельчение угля и пылеобразование при работе струга | 69 |
| 10. Эффективность применения струговых установок | 71 |
| 11. Расчет производительности струговых установок | 74 |
| Глава IV. Крепление и управление кровлей в струговых лавах | 81 |
| 12. Особенности крепления призабойного пространства лав | — |
| 13. Выбор конструкций индивидуальной переносной крепи | 86 |
| 14. Направления в создании механизированных крепей | 89 |
| Глава V. Конструкции статических угольных стругов | 108 |
| 15. Устройство отечественных стругов | — |
| 16. Устройство зарубежных стругов | 126 |
| 17. Рабочий инструмент стругов | 146 |
| Глава VI. Определение усилий на резах струга | 156 |
| 18. Условия работы резов струга | — |
| 19. Удельные давления на гранях реза | 162 |
| 20. Методы определения усилий на резах | 167 |
| 21. Сила резания и сила отжима реза от забоя | 175 |
| 22. Шаг между резами струга | 188 |
| 23. Расчет суммарных сил резания | 189 |
| Глава VII. Расчет силы тяги и устойчивости стругов | 196 |
| 24. Расчет силы тяги струга с опорами на конвейер | — |
| 25. Расчет силы тяги струга с опорами на почву и конвейер | 208 |
| 26. Расчет устойчивости хода струга | 214 |
| Глава VIII. Приводы стругов и забойные конвейеры | 221 |
| 27. Расчет мощности привода струга | — |
| 28. Расчетная нагрузка на прочность элементов привода струга | 223 |
| 29. Приводы советских стругов | 232 |
| 30. Конвейеры советских струговых установок | 245 |
| 31. Приводы зарубежных стругов и конвейеры | 250 |
| Глава IX. Динамические струги | 259 |
| 32. Общие положения и предпосылки для создания динамических стругов | — |
| 33. Основные принципы, схемы, конструкции, элементы теории и результаты испытаний динамических стругов | 266 |
| 34. Таранные установки | 291 |
| 35. Заключение | 292 |
| Литература | 294 |

ПРЕДИСЛОВИЕ

В Программе партии, принятой XXII съездом КПСС, говорится, что «Главная экономическая задача партии и советского народа состоит в том, чтобы в течение двух десятилетий создать материально-техническую базу коммунизма» [1].

Основным техническим направлением в решении этой задачи является комплексная механизация и автоматизация всех отраслей народного хозяйства.

Для угольной промышленности, в которой имеет место высокая трудоемкость работ, осуществление комплексной механизации и автоматизации имеет важнейшее значение как для подъема добычи угля, так и для улучшения технико-экономических показателей.

Одним из перспективных направлений комплексной механизации и автоматизации работ в очистных забоях является применение струговых установок. Они позволяют не только повысить производительность труда рабочих и нагрузку на очистной забой, но и снизить стоимость добытого угля, улучшить его качество и наиболее просто осуществить автоматизацию производственных процессов в лаве.

В работе обобщен опыт применения струговых установок в нашей стране и за рубежом, рассмотрены конструкции их основных узлов, приведены расчеты и освещены вопросы развития стругов и применения струговой выемки угля.

Успех струговой выемки угля зависит во многом от условий работы струговой установки, определяемых в основном горно-техническими факторами, физико-механическими свойствами угля и проявлением горного давления. В связи с этим авторы сочли необходимым кратко изложить эти вопросы применительно к задачам струговой выемки угля.

Введение, главы II, III, V, VI и VIII, за исключением п. 23 главы VI, написаны П. Н. Демидовым, глава VII — Н. Г. Картавым, глава IX — Б. Н. Любимовым, главы I и IV — Д. Н. Павлюченко и п. 23 главы VI — П. Н. Демидовым и Н. Г. Картавым.

Книга рассчитана на широкий круг читателей, работающих в угольной промышленности.

Авторы считают своим долгом выразить благодарность рецензенту, сотруднику Донгипроуглемаша В. Ф. Кривоносову и редактору этой книги, научному сотруднику Института горного дела им. А. А. Скочинского — А. Д. Панову за ценные указания, сделанные ими при подготовке рукописи к печати.

ВВЕДЕНИЕ

Добыча угля в очистном забое связана с выполнением ряда производственных операций, главнейшими из которых являются выемка угля, его навалка на забойный конвейер и транспортирование к погрузочному пункту, крепление призабойного пространства и управление кровлей. Эти операции выполняются в определенной последовательности, которая определяется естественными условиями залегания разрабатываемого угольного пласта, видом механизации производственных процессов, организацией работ в очистном забое (лаве) и т. д.

Процессы добычи угля в настоящее время в значительной мере механизированы; данные, характеризующие темпы развития механизации выемки и навалки угля в очистных забоях на пластах пологого и наклонного падения на шахтах Советского Союза за последние десятилетия, приведены в табл. 1 [2].

Таблица 1

| Показатели | Годы | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1940 | 1950 | 1955 | 1958 | 1959 | 1960 |
| Общая добыча угля, млн. т. | 165,9 | 261,1 | 391,0 | 495,7 | 506,2 | 513,2 |
| Общий объем механизации выемки угля в очистных забоях шахт, % | 94,8 | 98,6 | 98,7 | 99,1 | 99,1 | 99,2 |
| В том числе врубовыми машинами, % | 57,0 | 49,9 | 35,6 | 33 | — | — |
| Общий объем механизированной навалки угля, % | 0,1 | 15,7 | 33,0 | 40,0 | 42,9 | 48,8 |
| В том числе комбайнами, % | 0,07 | 9,9 | 29,1 | 35 | 38 | 43,6 |

Из таблицы видно, что механизация выемки и навалки угля осуществляется преимущественно при помощи комбайнов, а также врубовых и навалочных машин. При этом комбайновая выемка и навалка угля возрастают из года в год, а выемка его при помощи врубовых машин сокращается. По уровню механизации выемки и навалки угля в длинных лавах СССР занимает первое место в мире. Несмотря на высокие темпы механизации

навалки угля, удельный вес ее составляет на 1/1 1961 г. по СССР пока лишь 48,8%. В отдельных бассейнах механизированная навалка угля находится на более высоком уровне. Так, например, в 1960 г. механизированная навалка угля в Караганде достигла 73,9%, Кузбассе — 54,8%, Львовском и Печорском бассейнах соответственно 88,4 и 67,5%, в то же время в Донбассе она составляет 47,7%.

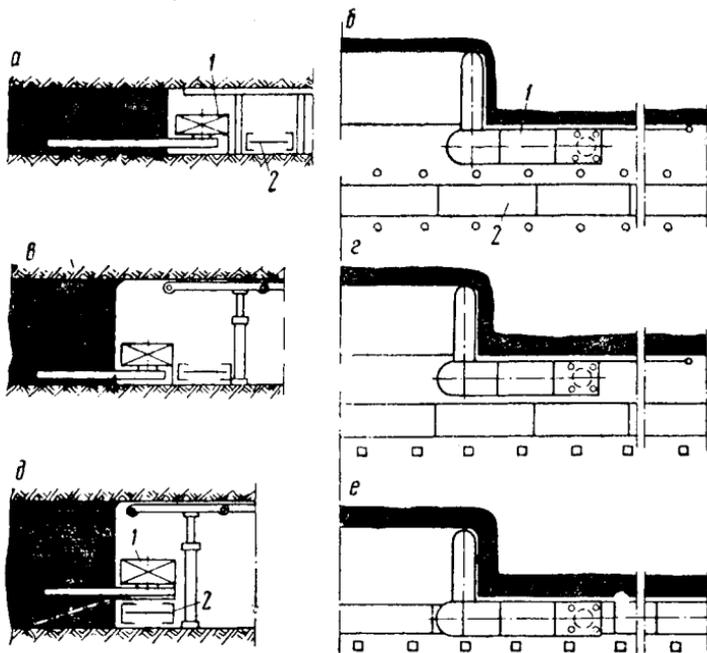


Рис. 1. Схемы выемки угля с применением врубовых машин:
а, б — работа врубовой машины с широким захватом; *в, г* — работа врубовой машины с узким захватом и применением консольных верхняков; *д, е* — работа врубовой машины с рамы конвейера и применением консольных верхняков

Это объясняется тем, что существующие комбайны и механические средства навалки угля на конвейер не обеспечивают механизацию выемки и навалки угля во всем диапазоне угольных пластов по мощности, углам падения и их физико-механическим свойствам.

Вкратце рассмотрим основные схемы механизации выемки и навалки угля, применяющиеся в длинных лавах на шахтах СССР и зарубежных стран.

Широко распространенные схемы выемки угля с помощью врубовой машины представлены на рис. 1, *а, б, в, г, д, е*, на котором показано расположение врубовой машины 1, конвейера 2 и крепи в очистном забое. Подрубка угольного пласта производится вблизи почвы на глубину 1,25—2,0 м,

иногда и более (рис. 1, а, б). В некоторых случаях врубовая щель располагается на уровне высоты корпуса машины и выше. При этом между врубовой машиной и конвейером пробивается ряд стоек призабойного крепления. После подрубки всей линии забоя или же вслед за движением врубовой машины на известном расстоянии от нее производится работа по отбойке угля от массива пласта либо взрывчатым веществом, либо отбойными молотками. Это расстояние определяется способом отбойки угля, местными условиями залегания угольного пласта и организацией труда в забое.

Отбитый уголь наваливается вручную (чаще всего) или навалочной машиной на конвейер, которым доставляется к погрузочному пункту, где происходит его погрузка в вагонетки или на конвейер подземного транспорта. Вслед за навалкой угля на конвейер крепится призабойное пространство. Одновременно с этим в забое могут производиться и другие работы, например бурение шпуров, закладка выработанного пространства и т. д.

По окончании выемки полосы угля и спуска врубовой машины в нижнюю часть лавы конвейерный став полностью разбирается, решетки его переносятся на новую дорогу, передвигаются приводная и натяжная головки и конвейер снова собирается.

Такая схема механизации добычи угля имеет ряд существенных недостатков, к числу которых надо отнести в первую очередь следующие:

1) организация работ в очистном забое оказывается сравнительно сложной вследствие наличия в нем разнообразных машин (врубовой, навалочной, бурильной, отбойной и т. д.);

2) в ряде случаев применение навалочных машин оказывается невозможным из-за горногеологических условий залегания угольных пластов;

3) недостаточно полное и эффективное использование отдельных машин, работающих в забое;

4) относительно большие трудовые затраты на единицу добытого угля, что обусловлено большим объемом ручного труда при навалке угля на конвейер, переноске конвейера, креплении забоя и управлении кровлей.

Некоторые из этих недостатков отсутствуют в схеме механизации добычи угля в очистном забое, представленной на рис. 1, в, г. В этой схеме глубина вруба ограничена 1,25 м, применено металлическое крепление с шарнирными верхняками, позволившее расположить конвейер и врубовую машину на одной дороге.

Это дает возможность передвигать конвейер без разборки на новую дорогу механическими средствами. Он может передвигаться также частями по мере освобождения места от отбитого угля. Однако и при этой схеме механизации остается все

еще большой объем ручного труда в лаве (навалка угля на конвейер, крепление и управление кровлей и т. д.).

На рис. 1, *д, е* представлена схема механизации добычи угля, которая позволяет частично механизировать навалку угля на конвейер и механическими средствами передвигать его на новую дорогу. Согласно этой схеме врубовая машина 1 устанавливается на раме конвейера 2 и передвигается по нему во время производства вруба. При этом вруб может быть расположен горизонтально на уровне высоты конвейера или наклонно (пунктир). В последнем случае корпус машины наклоняют к груди забоя путем установки под него специальной наклонной подставки. В результате совмещения дороги врубовой машины с дорогой конвейера облегчаются условия поддержания кровли металлическими стойками с шарнирными верхняками.

Отбойка угля может производиться отбойными молотками или чаще всего взрывным способом. В том и другом случае часть отбитого угля самонаваливается на конвейер. Опытами установлено, что при взрывной отбойке 25—30%, а в отдельных случаях до 50—60% угля наваливается на конвейер взрывной волной, т. е. осуществляется так называемая взрывонавалка. Остальная часть отбитого угля наваливается либо вручную, либо машиной. При машинной навалке угля нередко используется сама же врубовая машина. Для этого на ее баре, после подрубки пласта, устанавливается отвальный лемех, которым и наваливается уголь на конвейер при движении машины в обратном направлении.

Что касается нижней пачки угля, расположенной под баром, то она вынимается вручную или отбойными молотками.

Отмеченные выше недостатки механизации добычи угля при помощи врубовых машин в значительной мере устраняются при комбайновой выемке угля. Основное отличие комбайновой выемки от выемки с помощью врубовой машины состоит в том, что подрубка, отбойка и навалка угля совмещены во времени и пространстве, т. е. эти операции производятся одновременно соответствующими рабочими органами машины-комбайна.

Некоторые схемы выемки угля на пологопадающих пластах комбайнами с разными видами рабочих органов показаны на рис. 2. Так, на рис. 2, *а, б* представлены схемы размещения комбайна 1 (типа УКТ) и конвейера 2 при разработке угольного пласта мощностью 0,5—0,7 м.

Конвейер устанавливается непосредственно у забоя, а комбайн, опираясь своей лыжей 3 на конвейер и забой, движется в направлении уступа забоя, прокладывая таким образом себе дорогу. Рабочий орган комбайна, состоящий из четырех вращающихся вокруг горизонтальных осей коронок и режущей цепи, разрушает массив пласта в пределах его мощности и глубины захвата на транспортабельные куски и одновременно с этим

наваливает его на конвейер. Вслед за движением комбайна производится крепление призабойного пространства деревянными или металлическими стойками.

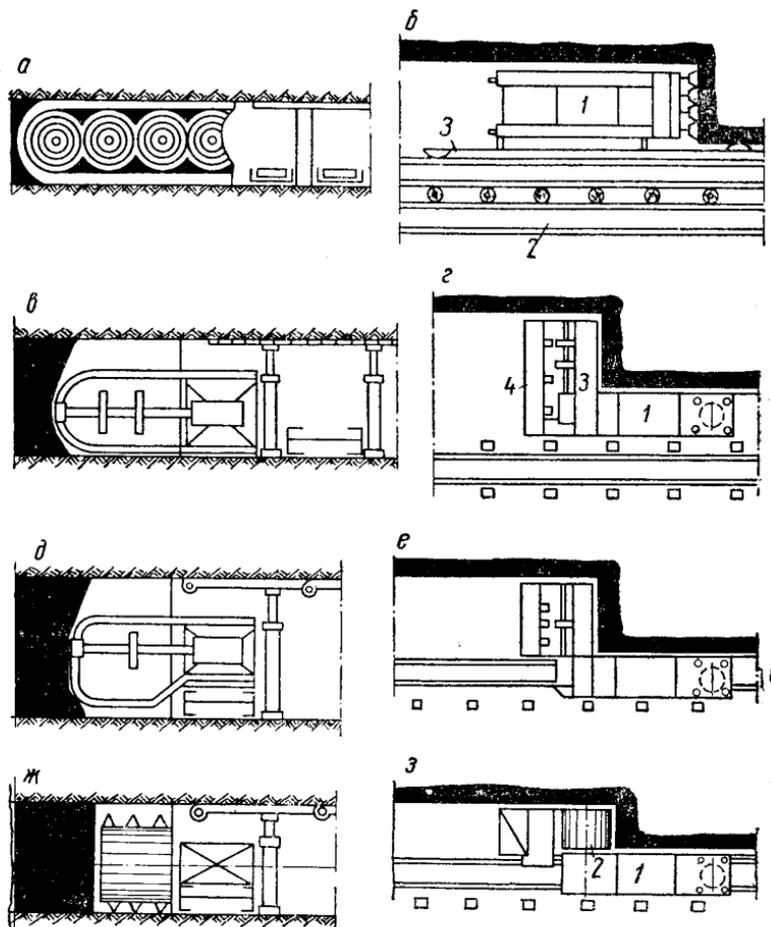


Рис. 2. Схемы комбайновой выемки угля:

а, б — работа комбайна в лоб забоя с коронковым рабочим органом;
в, г — работа широкозахватного комбайна с цепным рабочим органом;
д, е — работа узкозахватного комбайна с рамы конвейера и с применением шарнирных верхняков;
ж, з — работа комбайна с барабанным рабочим органом с рамы конвейера

Комбайн работает по челноковой схеме. Изменение направления движения комбайна осуществляется путем разворота его в специальных нишах, устраиваемых сверху и внизу лавы. После выемки комбайном полосы угля по всей линии забоя конвейер разбирают на отдельные составные части и переносят (передвигают) их вручную на новую дорогу для установки в рабочее положение. Такой комбайн работает также в комплексе с металлической крепью М-9 и конвейером КС-15.

Одна из схем выемки угля при помощи комбайна типа «Донбасс» показана на рис. 2, в, г. Согласно этой схеме между комбайном 1 и конвейером 2 устанавливаются металлические стойки, например забойного комплекта крепи М-9Д. Посадочный комплект ее не показан на схеме.

Кольцевой цепной рабочий орган с отбойной штангой 3 и дисками разрушает массив пласта угля на транспортабельные куски, а цепной кольцевой грузчик 4 наваливает при этом уголь на конвейер. Вслед за движением комбайна переносятся забойные комплекты крепи М-9Д. Передняя стойка этого комплекта ставится в непосредственной близости от забоя, а задняя — сбоку конвейера со стороны выработанного пространства. При этом должны быть образованы дорога для прохода комбайна и бессточная дорога шириною 2,2 м, в которой передвигатель передвигает изгибающийся конвейер в новое положение. После этого передвигается посадочный комплект крепи.

По окончании выемки полосы угля комбайн перегоняется на маневровой скорости подачи в обратном направлении и устанавливается в рабочее положение (в специальной нише) для выемки новой полосы угля из пласта.

В рассматриваемой схеме конвейер передвигается на новую дорогу без разборки. Однако в практике эксплуатации комбайна типа «Донбасс» нередки случаи, когда конвейер приходится переносить на новую дорогу в разобранном виде.

Рассмотренные выше схемы комбайновой выемки угля относятся к выемке широким захватом, величина которого может достигать до 1,8—2 м. Комбайны работают обычно на скоростях подачи 0,2—1,0 м/мин. В последнее время получают все большее распространение комбайны с узким захватом. Эти комбайны изготовляются с цепными, барабанными, дисковыми, коронковыми и другими видами рабочих органов и работают преимущественно с рамы конвейера со скоростями подачи до 2,0—3,5 м/мин.

На рис. 2, д, е представлена в качестве иллюстрации схема узкозахватной выемки угля комбайном типа «Донбасс», снабженным укороченным кольцевым баром и грузчиком. Вслед за движением комбайна устанавливаются металлические стойки и навешиваются шарнирные верхняки. Конвейер передвигается при помощи специальных механизмов.

На рис. 2, ж, з показана схема комбайновой выемки угля, получившая широкое распространение в Западной Европе, особенно в Англии. Комбайн 1 снабжен барабанным или дисковым рабочим органом 2, вращающимся вокруг горизонтальной оси, с захватом от 0,5 до 0,8 м. Диаметр барабана (дисков) принимается в зависимости от мощности пласта от 0,8 до 1,2 м. На поверхности барабана приварены кулаки, в которых закрепляются зубки. Комбайн движется по раме конвейера, при этом

рабочий орган его разрушает массив угля, а лемех производит навалку его на конвейер. Призабойное пространство крепится металлическими стойками с шарнирными верхняками. Конвейер передвигается на новую дорогу механическими средствами после спуска комбайна в низ лавы. Лемех при спуске комбайна зачищает забой и наваливает оставшийся уголь на конвейер.

Преимущество узкозахватной выемки перед широкозахватной состоит в том, что рабочие органы узкозахватных комбайнов работают в зоне более отжатого горным давлением угля, передвижка конвейера производится без разборки, значительно облегчаются условия работы шарнирных верхняков и упрощается организация работы в лаве.

При комбайновой выемке угля значительно повышается уровень механизации производственных процессов в очистном забое, увеличиваются, по сравнению с работой врубовыми машинами, нагрузка на забой и производительность труда на 20—30%, а в ряде случаев до 50—60%, а также упрощается организация работ в забое. Вместе с этим комбайновая выемка угля имеет ряд существенных недостатков, к числу которых относятся прежде всего следующие: 1) сравнительно высокие трудовые затраты на единицу добытого угля из-за большого объема ручных работ в лаве; 2) относительно большое количество занятых в лаве рабочих; 3) сложность механизации и автоматизации производственных процессов в лаве; 4) большой выход штыба угля, достигающий нередко 40—50%.

Наряду с широким применением комбайнов для выемки угля в последние годы все шире распространяется выемка угля струговыми установками. Количество этих установок в различных странах увеличивается из года в год. В начале 1959 г. на шахтах Западной Германии, Англии, Франции, Бельгии в работе находилось около 645 струговых установок разных типов. На шахтах ФРГ в конце 1960 г. находилось в работе около 238 струговых установок [52], в Англии — 204 [53] и во Франции — 86 (1959 г.). В ФРГ на долю струговой выемки приходилось около 26% добытого угля, в Бельгии и во Франции в 1959 г. было добыто стругами соответственно около 24 и 25% общей добычи угля.

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что при струговой выемке можно добиться высокой нагрузки на лаву, большой скорости ее продвижения и высокой производительности труда и обеспечить таким образом высокие технико-экономические показатели работы участков со струговыми установками.

На рис. 3 представлены две схемы струговых установок. Общими элементами их являются струг 1, конвейер 2, приводные лебедки (не показаны на схеме), металлическая крепь с шарнирными верхняками или гидравлическая механизированная

крепь. Струг представляет собой массивный металлический корпус, снабженный резцами. Он размещается на одной дороге с конвейером и движется вдоль него, как по направляющей. При этом корпус струга в одном случае опирается на раму конвейера сбоку и сверху (рис. 3, а), а в другом — сбоку на раму конвейера и на почву пласта (рис. 3, в). Струг передвигается вдоль забоя бесконечной тяговой цепью, приводимой в действие специальным приводом. При движении он своими

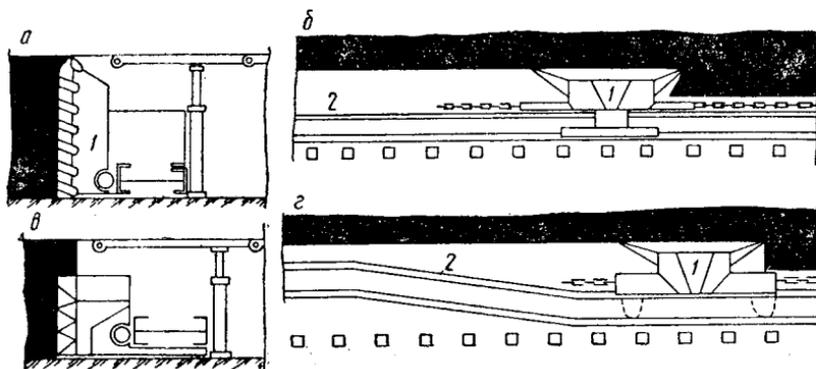


Рис. 3. Схемы выемки угля стругом:

а, б — работа струга с опорами на раму конвейера; в, г — работа струга с опорой на почву пласта и конвейер

резцами отделяет от поверхности забоя уголь и одновременно с этим наваливает его на конвейер. Струги при работе чаще всего двигаются в одном направлении лавы, а при обратном ходе производят зачистку забоя от оставшегося угля.

После прохода струга конвейер передвигается на новую дорогу. Величина передвижки его равна ширине отделяемой полосы угля стругом, которая составляет 50—300 мм.

Конвейер может передвигаться либо после выемки полосы угля по всей линии забоя (рис. 3, б), либо по мере движения струга (рис. 3, г). В первом случае применяется конвейер жесткой конструкции, а во втором — изгибающийся. Чаще всего передвижка конвейера производится одновременно по всей длине лавы.

Скорость движения стругов принимается от 5 до 40 м/мин, чем обеспечивается высокая производительность их при относительно небольшой ширине отделяемой полосы угля по сравнению с величиной захвата комбайном.

Успех струговой выемки зависит не только от мощности и конструкции составляющих элементов струговой установки, но и главным образом от естественных факторов, определяющих условия ее работы. К числу этих факторов относятся механические свойства угля, особенности строения угольного пласта и

боковых пород, проявление горного давления, а также способ управления кровлей и крепление призабойного пространства. Степень проявления горного давления существенным образом сказывается на механической прочности призабойной зоны массива пласта, в которой приходится работать стругу.

Большой интерес к струговым установкам во многих странах мира проявляется потому, что они обеспечивают поточную выемку угля с более высокими технико-экономическими показателями по сравнению с обычными комбайнами, работающими чаще всего с перерывами для подготовки забоя (переноска конвейера, спуск комбайна, демонтаж и монтаж комбайна в нишах забоя и т. д.). Кроме того, струговые установки проще по своему устройству, дают возможность совместить операции по выемке угля, передвижке забойного конвейера на новую дорогу, крепление и управлению кровлей, а также позволяют сравнительно легко автоматизировать основные производственные процессы по добыче угля и тем самым освободить горняка от тяжелого физического труда и свести его роль лишь к управлению и контролю за работой механизмов в забое. Кроме того, при струговой выемке получается более высокий процент выхода угля крупных классов по сравнению с комбайновой.

Применение струговых установок с механизированным креплением позволяет осуществить добычу угля в длинных лавах без постоянного присутствия людей в очистных забоях.

Глава I

ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ ПРИ СТРУГОВОЙ ВЫЕМКЕ УГЛЯ

1. Предварительные замечания

Горное давление и его проявления изменяются в пространстве и времени и зависят от естественных условий места работы (глубина залегания, угол падения и мощность пласта, структура и физико-механические свойства боковых пород и т. д.) и производственно-технических условий ведения горных работ (форма и размеры выработок и их взаимное расположение, способ выемки, скорость подвигания забоя и т. д.).

В отличие от естественных условий производственно-технические факторы являются управляемыми, зависящими от человека, изменяя их, можно регулировать величину и характер проявления горного давления.

Анализ результатов измерений горного давления в шахтных условиях и на моделях показывает значительную неравномерность величин опускания кровли и нагрузок на крепь как во времени, так и по отдельным рядам крепи. Максимальные опускания кровли в лавах в 2—3 раза превышают средние величины. Это объясняется неравномерностью и периодичностью расслаивания, прогиба и обламывания отдельных слоев пород кровли, неоднородностью характеристик металлических стоек, периодической разгрузкой стоек при податливости и т. д.

В настоящее время установлен общий характер, а также средние и максимальные величины смещений кровли в лавах для различных горногеологических условий, установлено также наличие опорного давления в целике угля впереди забоя и распределение нагрузок на крепь, влияние производственных процессов в лаве и ширины поддерживаемого пространства на проявления горного давления и ряд других закономерностей.

Характер смещений пород кровли при очистной выемке угля и закономерность распределения горного давления вблизи очистной выработки представлены на рис. 4. Как видно, возрастание горного давления в целике угля впереди забоя начи-

нается с 30—50 м (при кровле из глинистых сланцев) или 90—170 м (при кровле из песчаника) и по направлению к забою все больше и больше увеличивается.

Резкое нарастание опорного давления начинается с 5—15 м (для глинистых сланцев) и с 20—25 м (для песчаников), это увеличение нагрузки происходит приблизительно под углом 60—75°. Характер нарастания давления зависит в основном от

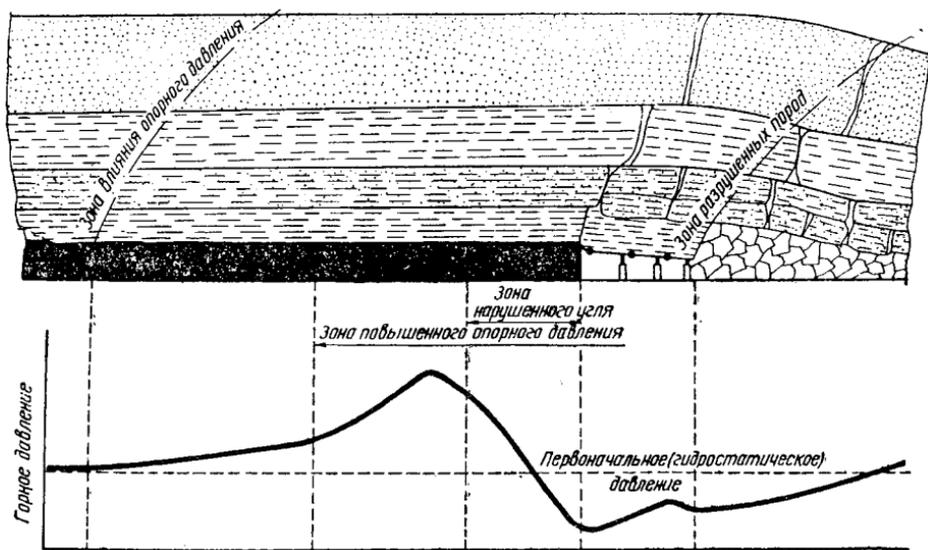


Рис. 4. Характер смещения пород кровли в лавах и распределение горного давления на нижний слой непосредственной кровли

глубины разработки, характера слоев пород, свойств пласта и скорости подвигания забоя. На достигнутых глубинах в Донецком бассейне зона значительного опорного давления определяется примерно в 10—25 м. В 0,5—5,0 м впереди забоя наблюдается максимальное опорное давление, ближе к забою давление резко уменьшается в основном за счет раздавливания пласта угля. Величина максимального опорного давления, по оценкам различных авторов, в 1,5—2 (реже в 4) раза превосходит среднее давление от веса вышележащих пород в нетронутом массиве.

Линия, ограничивающая зону опорного давления, расположена почти параллельно линии забоя и передвигается по мере движения забоя; размеры зоны и ее форма при этом более или менее сохраняются.

Расположение зоны опорного давления находится в большой зависимости от прочности боковых пород и угля, при крепких породах зона опорного давления располагается дальше

от забоя, чем при слабых породах, а при крепких углях ближе к забою, чем при мягких углях.

Как показали наблюдения, величина опускания пород непосредственной кровли впереди забоя по нормали обычно достигает 0,5—1% и не превышает 5% мощности пласта.

В результате опорного давления породы кровли и угольный пласт приобретают развитую предварительную трещиноватость и псевдопластические свойства, происходит разрушение пласта угля и пород кровли.

Необходимо отметить, что в шахтных условиях во многих случаях наблюдается более или менее значительное раздавливание целика угля впереди лавы, вследствие чего пик максимального опорного давления перемещается в глубь массива.

Опыт показывает, что характер давления горных пород впереди линии забоя связан также с условиями выемки угля. При уменьшении ширины захвата выемочной машины и увеличении скорости подвигания забоя пик максимального опорного давления приближается к линии забоя и уголь отделяется от массива легче, чем при удалении от забоя максимума давления.

Ширина захвата выемочной машины играет существенную роль в формировании опорного давления в целике впереди забоя. При струговой выемке угля пик максимального опорного давления уменьшается по абсолютной величине и приближается к линии забоя. Так, по данным В. Видаля, при выемке угля быстросходным стругом зона максимального опорного давления приблизилась до 3 м к забою, тогда как ранее при обычных способах выемки она располагалась в 9,5 м от забоя. При выемке угля стругом не наблюдается значительных сотрясений кровли, это позволяет приближать к забою зону максимального давления по сравнению с выемкой широким захватом. Наблюдения на шахтах в Англии показали, что в лавах с врубовой машиной максимальное опорное давление располагается на расстоянии 2—3 м от забоя, а в струговых лавах — на расстоянии меньше 0,5 м. Такие же величины были установлены в струговых лавах в Голландии. Наблюдатели отмечают, что при этом, вследствие динамической нагрузки на уголь, в лавах с врубовыми машинами и комбайнами возрастала также нагрузка на крепь.

Таким образом, особенности струговой выемки угля сказываются на горном давлении и его проявлении. Это объясняется тем, что, во-первых, значительно уменьшается ширина захвата, во-вторых, увеличивается ширина бесстоечного призабойного пространства, в-третьих, пространство у забоя все время остается незакрепленным, а вся крепь, как увидим далее, сосредоточивается в части призабойного пространства, непосредственно прилегающей к выработанному пространству. Поэтому изучение горного давления и его проявлений в условиях струговой выемки угля представляет большое практическое значение.

2. Характер проявлений горного давления

Влияние выемки угля на проявления горного давления характеризуется величиной опускания кровли и размером обнажения в единицу времени, а также периодом времени с момента обнажения кровли до момента возведения крепи.

По данным В. Т. Давидянца и Г. Л. Козелева, скорость опускания кровли при подрубке пласта врубовой машиной увеличивается по сравнению со скоростью опускания кровли при неподвижном забое в 8—10 раз, при выемке угля комбайном «Донбасс-1» — в 1,3—5,7 раза, при работе струга — до 1,6 раза. Время интенсивного опускания кровли при работе стругов изменяется от 40 до 60 мин, при работе комбайнов от 80 до 300 мин.

Таким образом, с точки зрения состояния кровли, при работе струга создаются наиболее благоприятные условия, обеспечивающие более равномерное ее опускание с непродолжительными по времени и небольшими по величине ускорениями опускания кровли.

Проведенные ДонУГИ инструментальные измерения показывают, что процесс отделения угля от массива стругом оказывает такое же действие на поведение боковых пород и угля, как и комбайновая выемка угля. В том и другом случае происходит интенсивное опускание кровли, однако интенсивность и ее продолжительность при струговой выемке меньше, чем при выемке комбайном.

Эти измерения показали, что средняя скорость опускания кровли в струговых лавах составляет около 0,013—0,036 мм/мин и либо практически равномерна по всей ширине поддерживаемого пространства, либо несколько возрастает (в указанных пределах) от забоя к завалу.

В период работы струга средняя скорость опускания кровли в пределах рабочего пространства увеличивалась у забоя в 1,5—3,5 раза по сравнению с периодом остановок забоя и составляла 0,012—0,035 мм/мин, а в пределах поддерживаемого пространства — в 1,2—2,2 раза. Проход струга против наблюдаемой точки вызывает местное увеличение скорости опускания кровли в 1,2—4 раза по сравнению с периодом остановок лавы, пиковая скорость либо совпадает с моментом прохода струга против наблюдаемой точки, либо несколько отстает от его движения. В целом следует отметить, что скорости опускания кровли в период работы струга незначительно отличаются от скоростей в период остановок забоя.

Следует отметить, однако, что в период 1948—1950 гг. при работе стругов УС-4 наблюдалось резкое ухудшение состояния кровли в лаве, которое может быть объяснено, во-первых, недостатками в работе самих стругов УС-4, во-вторых, несовер-

шенством применявшихся способов и средств крепления. Вследствие этих недостатков преимущества, которые дает струговая выемка угля, не могли проявиться с должным эффектом.

Исследования влияния способа выемки угля на наших и зарубежных шахтах показали, что на характер опускания кровли струговая выемка оказывает более благоприятное влияние по сравнению с выемкой при помощи врубовых машин и ВВ и с выемкой отбойными молотками, так как обеспечивает наименьшую амплитуду толчков кровли и обеспечивает наиболее непрерывные ее сдвигания, что улучшает состояние кровли в призабойном пространстве.

Комплексные наблюдения и измерения горного давления в период промышленных испытаний быстроходного струга фирмы «Вестфалия-Люнен» (ФРГ) были проведены ВУГИ во второй половине 1958 г. на шахте № 27 треста Снежинянантрацит (Донбасс) в 10-й западной лаве, которой разрабатывался пласт $\frac{1}{6}$ Кащеевский. Угол падения его 9—10°. Структура пласта и вышележащих пород



Рис. 5. Структура пласта и вышележащих пород в лаве шахты № 27 треста Снежинянантрацит (Донбасс)

приведена на рис. 5. Уголь — антрацит средней крепости. Вынимаемая мощность пласта 0,98 м. Непосредственная кровля пласта мощностью 0,7—1,0 м состоит из мелкослоистого глинистого сланца, переслоенного тонкими прослойками угля. На контакте угольного пласта с кровлей имеется прослойка слабого сыпучего углистого сланца мощностью около 0,08 м, который обычно вынимается вместе с углем. Породы непосредственной кровли неустойчивы, и кровля нередко обрушается при выемке угля. Наиболее неустойчивой является пачка мощностью 0,3—0,6 м, отделенная от вышележащих пород угольным прослойком мощностью 0,01—0,06 м. Выше мелкослоистых глинистых сланцев залегают слои песчано-глинистых и песчанистых сланцев и песчаников средней крепости общей мощностью до 3 м.

Почва пласта состоит из песчано-глинистого и песчанистых сланцев мощностью 1,5—2,0 м, ниже которых залегают крепкий мелкозернистый песчаник. По выделению метана пласт отнесен ко II категории по газу, угольная пыль пласта невзрывчата.

Длина лавы в период исследований колебалась от 125 до 140 м, забой откаточного штрека опережал на 70—100 м забой лавы, а угольный забой вентиляционного штрека подвигался вместе с лавой. После прохода лавы вентиляционный штрек поддерживался снизу бутовой полосой шириною 8 м; выше откаточного штрека выкладывалась бутовая полоса шириною 10 м. Между бутовой полосой и откаточным штреком выкладывалась чураковая перемычка шириной 1 м. Глубина разработки 490 м.

Выемка угля производилась быстроходным многолезцовым стругом. Ширина отделяемой полосы составляла 0,05—0,1 м.

Крепление призабойного пространства лавы производилось гидравлическими стойками ГС и шарнирными верхняками СВ длиной 1 м, установленными по треугольной схеме. Управление кровлей в лаве производилось способом полного обрушения, как на посадочную крепь ОКУ с шагом обрушения кровли 0,5 и 1,0 м, так и без применения посадочной крепи.

После подвигания забоя на каждые 0,5 м рабочие на своем участке лавы последовательно разгружали гидравлические стойки, находящиеся около линии обрушения, и сразу устанавливали их за конвейером, навешивали у забоя и расклинивали шарнирные верхняки, подтягивали к забоям опорные стойки и домкраты передвижения, производили передвижку посадочной крепи, зачистку угля и оформление забоя.

В период испытаний струговой установки было проверено несколько вариантов паспортов крепления. Основной комплекс измерений проявлений горного давления был проведен при применении паспорта крепления и управления кровлей, показанного на рис. 6

В связи с тем, что в струговой лаве одновременно производится выемка угля, извлечение и установка крепи, а также посадка кровли, при проведении измерений практически было очень трудно расчленить влияние того или иного производственного процесса в связи с их наложением друг на друга, однако результаты целого ряда измерений позволяют установить влияние на характер опускания кровли процессов выемки угля, установки крепи, извлечения крепи и посадки кровли.

Основным фактором, по которому можно оценивать состояние кровли в лаве в пределах поддерживаемого пространства, является величина опускания кровли.

Средние величины опускания кровли на различных расстояниях от забоя приведены в табл. 2.

Таблица 2

| Показатели | Расстояние точки до забоя, м | | | | | | | | |
|--------------|---------------------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0,1 | 1,2 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 |
| | Средняя величина опускания кровли, мм | | | | | | | | |
| Выемка угля: | | | | | | | | | |
| в три смены | 0—6,0 | 69,0 | 75,7 | 85,1 | 123,3 | 133,6 | 144,2 | 152,1 | 161,2 |
| в одну смену | 17,5 | 48,0 | 57,3 | 57,8 | 65,5 | 71,0 | 85,0 | 99,5 | — |

Значительное опускание нижней пачки непосредственной кровли до момента ее закрепления (т. е. на расстоянии от 0,1 до 1,2 м до забоя), составлявшее в среднем 69 мм, при трехсменной работе струга сопровождалось систематическим образованием заколов в кровле. В отдельных случаях эта величина достигала 113 мм, при этом имело место отделение нижней пачки кровли шириной около 1 м и толщиной 0,5—0,8 м от вышележащих слоев по линиям, параллельным забою.

Характер опускания кровли в струговой лаве при различных режимах выемки угля приведен на рис. 7. Здесь штриховкой показана зона величин опускания кровли в призабойном пространстве лавы, при которых в кровле не было зафиксировано образования видимых заколов. В отдельных случаях заколы в кровле образовывались и при величинах опускания кровли в пределах заштрихованной зоны, однако они не осложняли работы крепильщиков, и в дальнейшем образовавшиеся трещины не раскрывались. Обычно образование заколов в кровле наблюдалось в периоды остановки струга на 6—8 ч и более.

Величина и скорость опускания кровли в струговой лаве при выемке угля в одну смену представлены на рис. 8. Как видно, средняя величина опускания кровли в бесстоечном призабойном пространстве лавы составляет около 50 мм, средняя

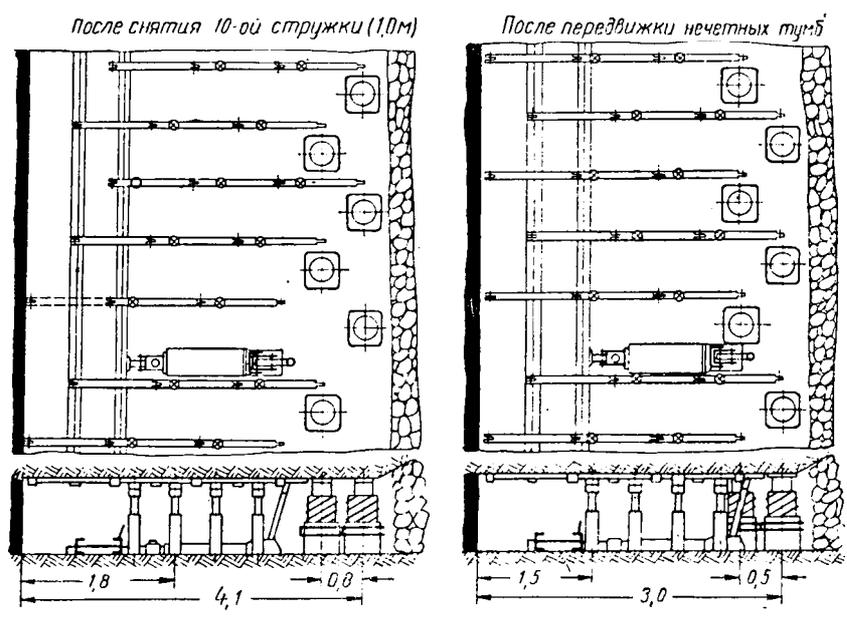
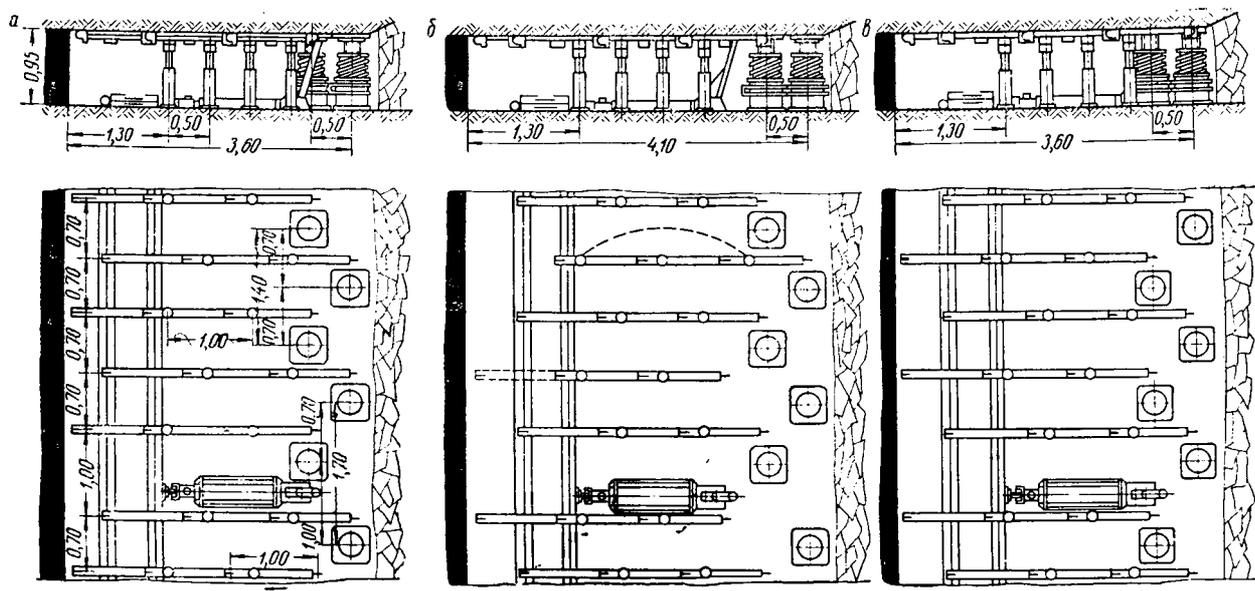


Рис. 6. Паспорт крепления лавы при струговой выемке угля на шахте № 27 треста Снежнйантрацит (Донбасс)

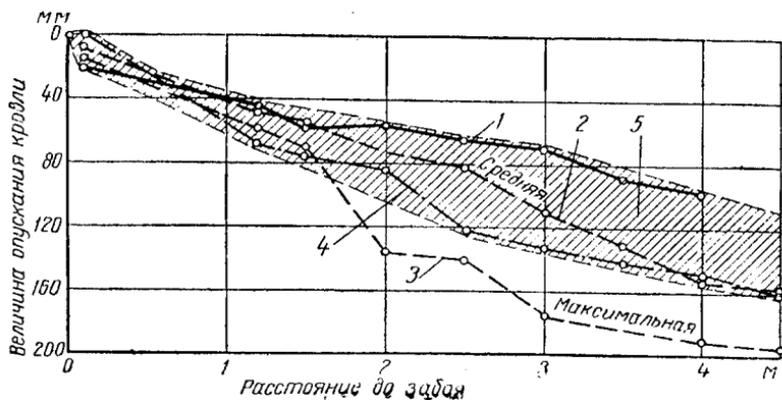


Рис. 7. Характер опускания кровли в струговой лаве при различных режимах выемки угля:

1 — средняя величина опускания кровли при нормальном ведении работ в одну смену; 2 — средняя величина опускания кровли по всей длине лавы при развороте последней; 3 — максимальная величина опускания кровли при развороте лавы и появлении заколов в кровле; 4 — средняя величина опускания кровли при выемке угля в три смены; 5 — зона величин опускания кровли в призабойном пространстве лавы, при которых в кровле не образуется заколов

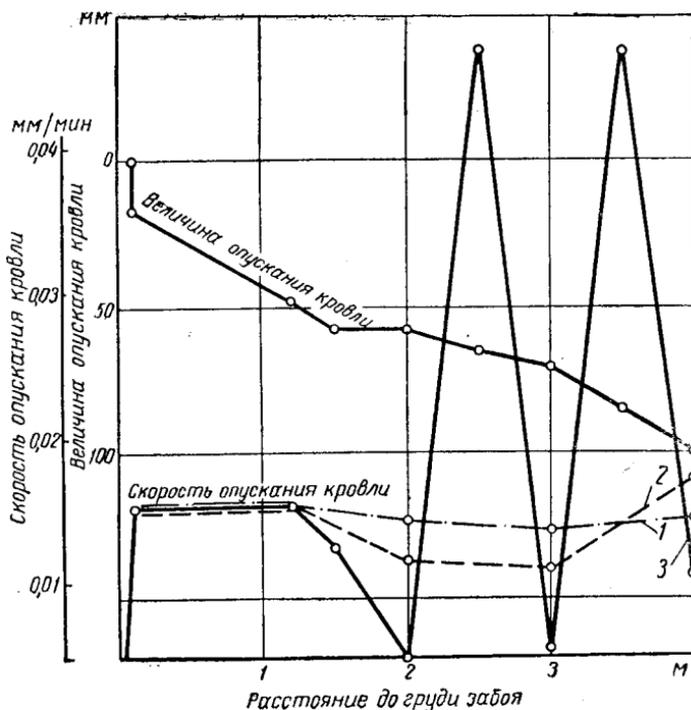


Рис. 8. Величина и скорость опускания кровли в струговой лаве при выемке угля в одну смену

скорость опускания кровли за период ее нахождения в бесстоечном призабойном пространстве $0,015$ мм/мин. Далее, на расстоянии $1,3$ — $1,5$ м до забоя на линии установки гидравлических стоек скорость опускания кровли падает до $0,012$ мм/мин и на расстоянии $1,5$ — $2,0$ м, когда гидравлические стойки полностью развивают свое рабочее сопротивление, она снижается до $0,005$ мм/мин. В период извлечения крепи и передвижки посадочных тумб на расстояниях $2,0$ — $2,5$ и $3,0$ — $3,5$ м до забоя наблюдается резкое увеличение скорости опускания кровли до $0,47$ мм/мин (кривая 3.) Кривая 2 показывает средние скорости опускания кровли за период подвигания забоя на $1,0$ м. До установки гидравлических стоек скорость опускания кровли составляла $0,015$ мм/мин, после установки стоек в период нарастания их сопротивления до рабочего она снижается до $0,011$ мм/мин (расстояние до забоя около $3,0$ м). На расстоянии $4,0$ м до забоя, т. е. на линии обреза кровли, средняя скорость опускания кровли вновь увеличивается до $0,017$ мм/мин. Средняя скорость опускания кровли на любом расстоянии до забоя с момента ее обнажения характеризуется плавной кривой 1.

Величина и скорость опускания кровли в бесстоечном призабойном пространстве лавы при струговой выемке угля показаны на рис. 9. При подвигании забоя на $0,9$ м (расстояние точки до забоя изменилось от $0,1$ до $1,0$ м) величина опускания кровли составила $6,36$ мм, средняя скорость опускания кровли в этой точке в период выемки угля и посадки кровли — $0,0318$ мм/мин. За этот период стругом было снято 18 полос угля толщиной в среднем по $0,05$ м и дважды производилась передвижка посадочных тумб на участке наблюдений. Следует отметить, что опускания кровли до момента приближения струга даже таким достаточно точным прибором, как индикатор с ценой деления $0,01$ мм, в период выемки угля не отмечается, и только сразу после прохода струга имеет место небольшой «скачок» опускания кровли на $0,05$ — $0,30$ мм.

Скорость опускания кровли сразу после прохода струга составляет сначала $0,05$ мм/мин, а затем достигает $0,30$ мм/мин при расстояниях $0,35$ и $0,95$ м до забоя. Гораздо большее влияние на характер опускания кровли в бесстоечном призабойном пространстве лавы оказывает процесс передвижки посадочной крепи и посадки кровли. Величина опускания кровли в период проведения этих работ составляет $0,9$ — $1,5$ мм, скорость опускания кровли достигает $0,4$ и даже $0,8$ мм/мин.

При отсутствии в лаве производственных процессов гидравлическая стойка ГС нагружается медленно в течение длительного времени. В период работы струга гидравлическая стойка нагружается со скоростью $0,063$ т/мин, а в период посадки кровли — $0,268$ т/мин. Перепад нагрузок при срабаты-

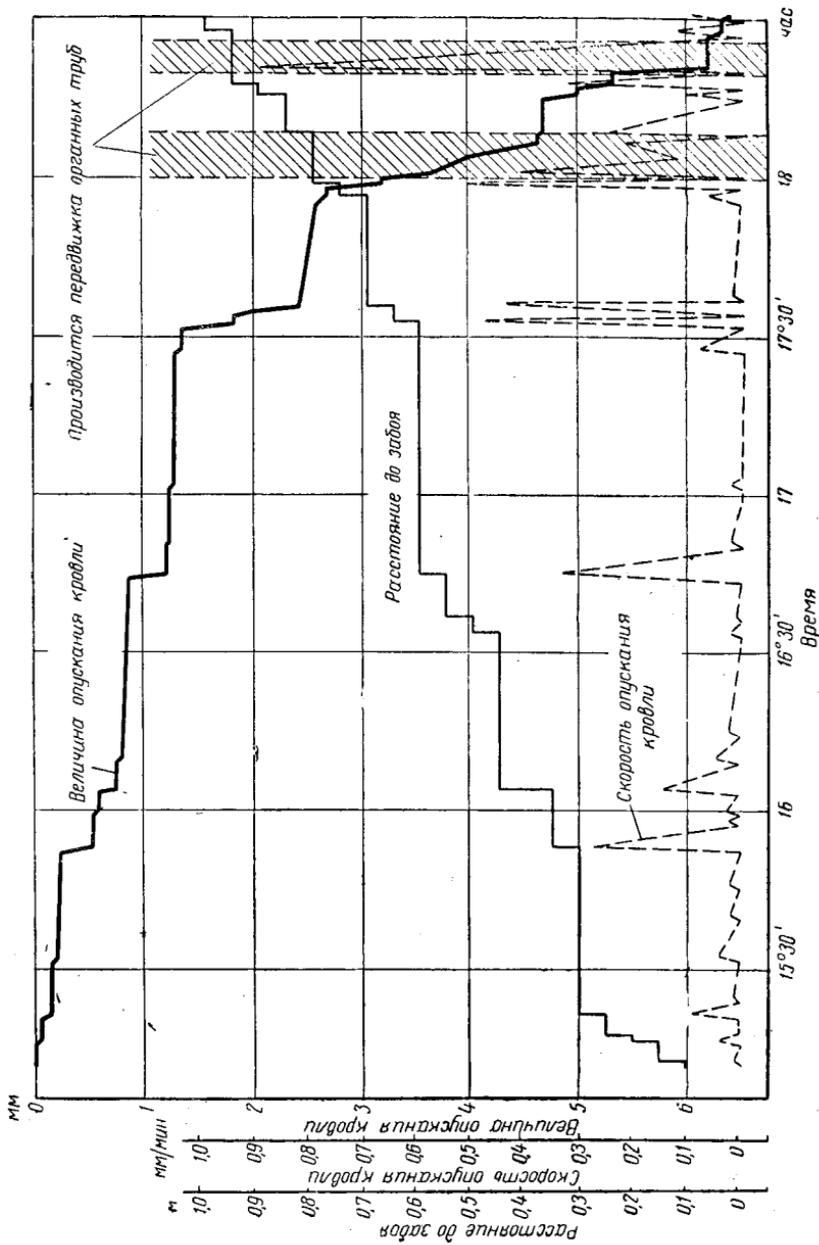


Рис. 9. Характер опускания кровли в бесстоечном призабойном пространстве лавы при струговой выемке угля

вании предохранительного клапана составляет 0,9 т, т. е. вполне удовлетворяет практическим требованиям к характеристике крепи.

В большинстве случаев гидравлическая стойка, установленная на расстоянии 1,3 м от забоя с первоначальным распором 6 т, достигает рабочего сопротивления 22—24 т при подвигании забоя лавы на 0,5—0,6 м. Изменение нагрузки на гидравлическую стойку ГС в струговой лаве показано на рис. 10, а.

Уменьшение высоты стоек ГС, устанавливаемых на расстоянии 1,3—1,4 м от забоя, составляло 8,2 мм, на расстоянии 2,5 м — 16,4 мм, на расстоянии 4,0 м — 19,0 мм. Средняя максимальная нагрузка на стойку ГС составляла 29,9 т. Изменение нагрузок на стойку ОКУ в струговой лаве показано на рис. 10, б. Как видно, органная крепь нагружалась далеко не на полное рабочее сопротивление. Средняя нагрузка на стойку ОКУ в течение первых 5—18 ч после установки на новом месте и распора не превышала 8 т, а наибольшая — 14,5 т, в дальнейшем за время до 35 ч средняя нагрузка не превышала 15,5 т, а наибольшая была равна 29,7 т. И только в отдельных случаях, когда крепь находилась под нагрузкой в течение 48—50 ч, средняя нагрузка на стойку доходила до 33,5 т.

Следует отметить, что при нормальном ведении работ период стояния крепи под нагрузкой не превышает 24 ч, средняя нагрузка на стойку в течение почти всего периода не превышает 10—12 т и только в последние 30—60 мин в связи с извлечением крепи и передвижкой соседних стоек увеличивается до 20—22 т. Средняя максимальная нагрузка на стойку ОКУ за весь период измерения составила 20,2 т и только в отдельных случаях максимальная нагрузка доходила до 30,2—33,4 т. В то же время средняя максимальная нагрузка на одну гидравлическую стойку ГС составила 22,9 т.

Средняя величина опускания кровли с момента установки крепи до ее разгрузки и извлечения в струговой лаве при различных режимах ее работы составляет 27,6—28,5 мм. За счет смятия пород кровли и раздавливания штыба, находящегося на почве под стойкой, средняя зафиксированная податливость стоек составила только 12,3 мм, достигая в отдельных случаях 22,0 м.

В связи с тем, что стойки в лаве практически несут небольшие нагрузки почти за весь период своего стояния, на участке лавы длиной около 25 м был произведен переход на безорганную посадку кровли. Паспорт крепления и управления кровлей на этом участке лавы приведен на рис. 11. Расстояние между рядами крепи составляло в среднем 0,92 м; средняя плотность крепления — 0,7 стойки на 1 м² поддерживаемой кровли. Среднее опускание кровли на участке безорганной посадки кровли

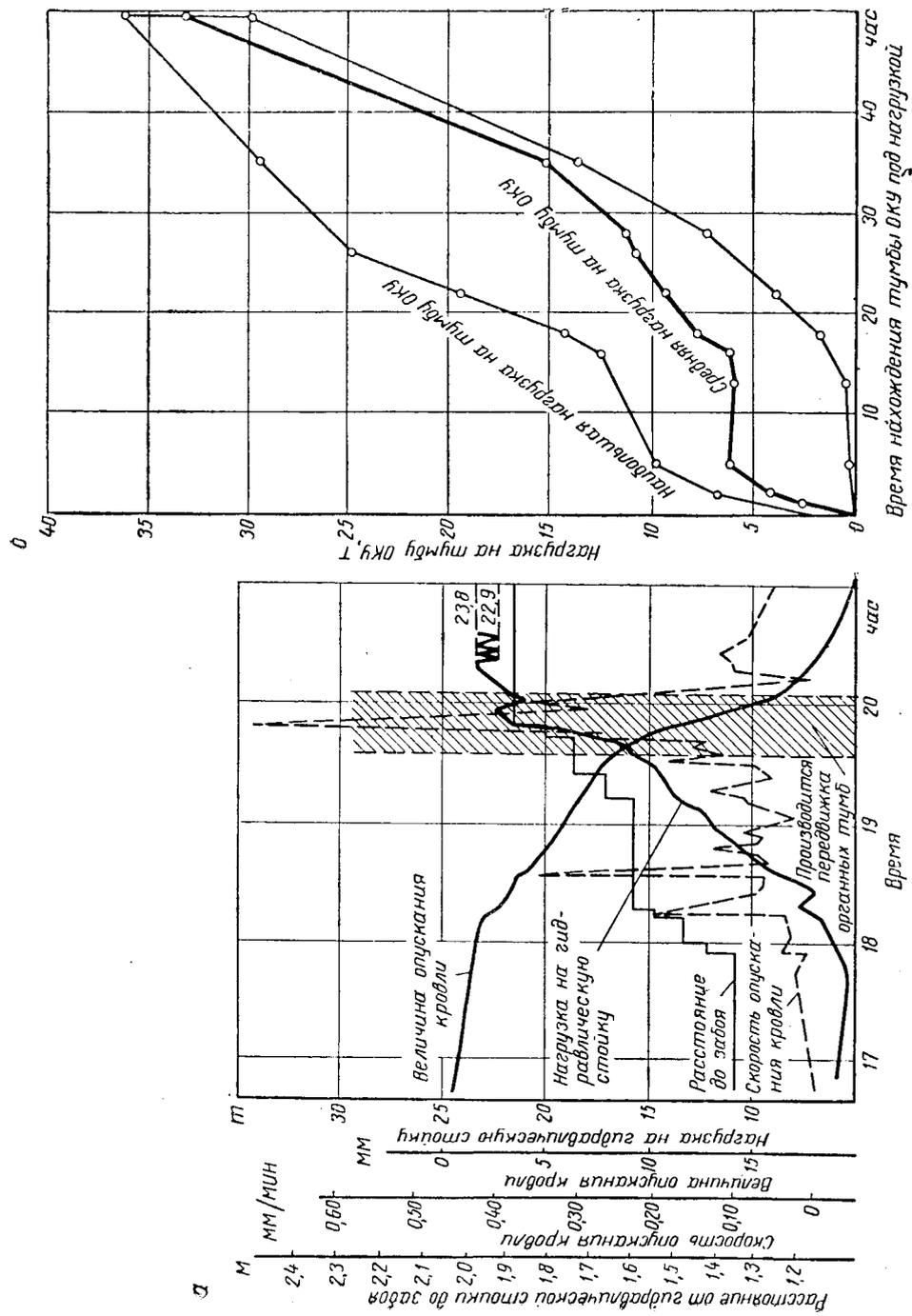


Рис. 10. Диаграммы нагрузки на элементы крепи в струговой лаве шахты № 27 треста Снежинантрацит (Донбасса):
 а — характер нарастания нагрузки на стойку ГС; б — характер изменения нагрузок на тумбу ОКУ

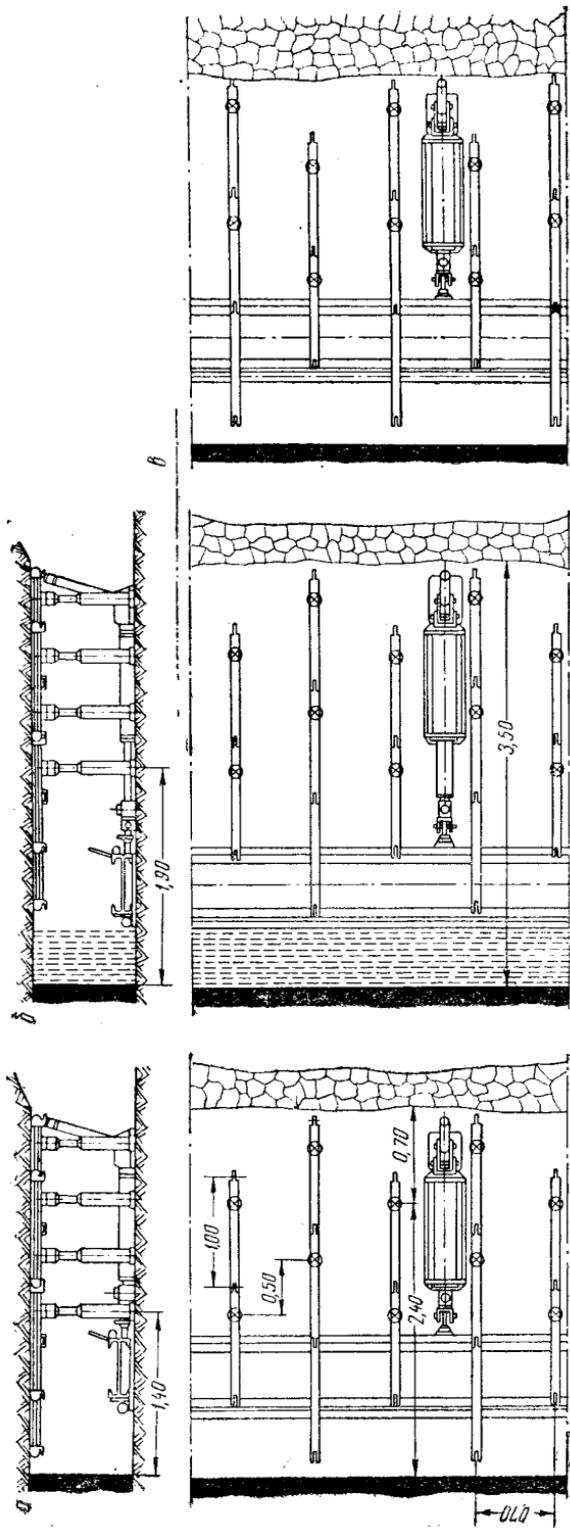


Рис. 11. Паспорт крепления лавы с применением стоек ГС-2 и шарнирных верхняков СВ-1 на шахте № 27 треста Снежноантрацит:

а — расположение крепи перед началом работы струга; б — после выемки первых 0,5 м; в — перед началом выемки вторых 0,5 м.

составляло на расстоянии 1,5 м от забоя 56,0 мм, на расстоянии 2,5 м от забоя 69,3 мм, на участке с применением стоек соответственно 57,8 и 65,5 мм, т. е. величина опускания кровли в лаве без применения посадочной крепи практически не изменялась.

Наблюдения, проведенные в течение 4 месяцев (подвигание лавы составило 150 м) на участке с безорганной посадкой кровли, показали, что непосредственная кровля в пределах призабойного пространства находилась в удовлетворительном состоянии, а при извлечении крепи, так же как и по всей лаве, легко обрушалась без больших зависаний по внешней линии установленной крепи, работы по управлению кровлей значительно облегчились.

В целях сравнения характера и степени проявления горного давления при струговой и комбайновой выемке угля на шахте № 27 были в это же время проведены соответствующие измерения в 9-й западной и 8-бис восточной лавах, работающих также по пласту h_6 .

Крепление этих лав производилось металлическими стойками СДТ в комплексе с шарнирными верхняками СВ и стойками крепи ОКУ.

Шаг обрушения кровли был равен 1,8 и 2 м, минимальная ширина поддерживаемого пространства 2 и 3 м, а максимальная — 4 м.

Результаты этих измерений показали, что при выемке угля стругом и узкозахватным комбайном величина опускания кровли на различных расстояниях до линии забоя практически одинакова, а при выемке широкозахватным комбайном увеличивается на 40%.

Сравнительные данные о величине и скорости опускания кровли при широкозахватной и узкозахватной выемке приведены в табл. 3.

Таблица 3

| Выемочная машина | Ширина захвата выемочной машины, м | Величина опускания кровли у забоя за полный цикл, мм | Величина опускания кровли на расстоянии 4 м до забоя, мм | Скорость опускания кровли у забоя за полный цикл, мм/мин | Средняя скорость опускания кровли по всей ширине поддерживаемого пространства, мм/мин |
|-----------------------------|------------------------------------|--|--|--|---|
| Широкозахватный комбайн | 1,8 | 42,8 | 138,7 | 0,017 | 0,025 |
| Узкозахватный комбайн . . . | 1,0 | 14,7 | 97,7 | 0,006 | 0,010 |
| Струг | 0,1 | 17,5 | 99,5 | 0,015 | 0,014 |

Как видно из табл. 3, величина опускания кровли у забоя составляет в лаве с широкозахватным комбайном 31% от сум-

марной величины опускания кровли в поддерживаемом пространстве лавы, а в лаве со стругом — 17,6%. Абсолютная величина опускания кровли у забоя в струговой лаве в 2,5 раза меньше, чем в лаве с широкозахватным комбайном, несмотря на то, что бесстоечное призабойное пространство в струговой лаве значительно больше, чем в комбайновой.

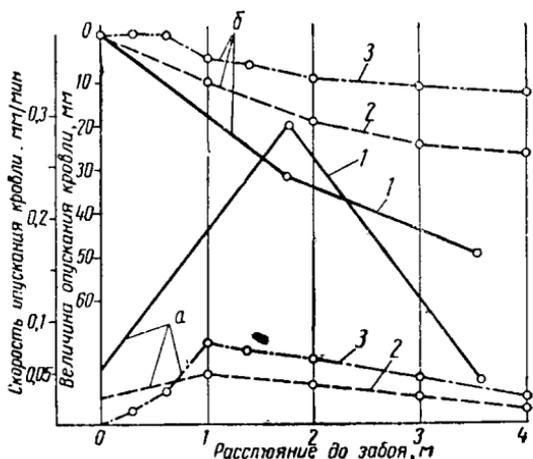


Рис. 12. Скорость (линии а) и средняя величина опускания (линии б) кровли в лаве в зависимости от расстояния до забоя:

- 1 — при работе комбайна с шириной захвата 1,8 м;
- 2 — при работе комбайна с шириной захвата 1,0 м;
- 3 — при работе струга с шириной захвата 0,1 м

Более резко влияние ширины захвата выемочной машины определяется величиной и скоростью опускания кровли в период выемки угля (рис. 12). Из приведенных графиков видно, что ширина захвата выемочной машины существенно влияет на величину и скорость опускания кровли, а именно: при уменьшении ширины захвата выемочной машины величина и скорость опускания кровли в лаве уменьшаются. Поэтому в тех случаях, когда при выемке угля широкозахватным комбайном в кровле у забоя развиваются заколы, приводящие к вывалам и мешающие нормальной работе лавы, следует переходить на выемку угля с меньшей шириной захвата.

Правильность этого положения подтверждается следующими примерами. В 8-й восточной лаве при работе комбайна «Донбасс» происходили систематические вывалы пород кровли у забоя, после перехода на выемку комбайном ДУ-1 вывалы почти полностью прекратились, однако заколы хотя и менее развитые продолжали образовываться.

Проявления горного давления исследовались также в лавках

13 и 27 пласта Емельяновский шахты им. С. М. Кирова треста Ленинуголь (Кузбасс). Мощность этого пласта колебалась от 1,0 до 1,5 м, угол падения 7°. Средняя глубина залегания пласта 80—130 м. Уголь средней крепости. Непосредственно над пластом залегает слой ложной кровли мощностью 0,05—0,3 м, представленной серым аргиллитом и одним-двумя тонкими пропластками угля. Выше ложной кровли залегают прочные, плотно спаянные слои песчано-глинистых пород общей мощностью примерно 14 м. В почве пласта залегают аргиллиты и прочные алевролиты.

Средняя длина 27-й лавы 85 м, 13-й лавы 110 м. Со стороны падения и восстания лавы ограждены целиками.

Выемка угля в 27-й лаве осуществлялась бистроходным стругом КС-2 с применением предварительного рыхления угля при помощи ВВ. Ширина отделяемой полосы угля стругом равна 60—80 мм. В 13-й лаве работал комбайн «Донбасс-1» с шириной захвата 1,5 м.

Сравнение результатов измерения смещений кровли при выемке угля стругом и комбайном «Донбасс» и при применении примерно однотипной крепи показало, что при выемке комбайном «Донбасс» создаются более тяжелые условия по поддержанию кровли в рабочем пространстве, чем при выемке стругом, так как резкое повышение скоростей смещения во время прохода комбайна «Донбасс» вызывало значительные деформации крепи вплоть до ее поломок. При работе же струга таких скоростей смещений кровли не наблюдалось и работа крепи несколько облегчалась.

Аналогичные результаты наблюдались при работе стругов УСБ-1 на шахте № 27 треста Снежинантрацит и шахте № 1—2 им. Войкова треста Свердловуголь. Мощность пласта на шахте № 1—2 им. Войкова составляет 0,8—1,1 м, угол падения — 10—14°. Непосредственная кровля пласта состоит из аргиллита мощностью 0,4—0,6 м, а выше из алевролита мощностью 10—11 м. Почва представлена аргиллитом мощностью 0,2 м, ниже — алевролитом. Поверхность почвы неровная. Длина лавы составляет 120 м. Выемка угля производилась стругом УСБ-1 с предварительным рыхлением массива пласта при помощи ВВ. Струг работал в комплексе с индивидуальной металлической крепью, состоящей из стоек ГС-2, шарнирных верхняков и посадочной крепи ОКУ-150.

Таким образом, результаты исследований показывают, что при струговой выемке угля уменьшаются величина и скорость опускания кровли в лаве и нагрузка на крепь. В связи с этим состояние кровли в лаве улучшается и облегчаются условия работы крепи, несмотря на увеличенное бесстоечное призабойное пространство.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЯ

3. Особенности угля как твердого тела

Выемка угля связана с процессом разрушения массива пласта. Ход этого процесса определяется главным образом физико-механическими свойствами и состоянием пачки угля, на которую распространяется воздействие рабочего инструмента, свойством и качеством материала, из которого инструмент изготовлен, его геометрией и режимом работы, параметрами отделения угля от массива пласта и принципом действия рабочего органа машины. Разное сочетание этих факторов может привести в одном случае к минимуму затраты усилий и энергии на выемку угля, в другом — к максимуму, а в третьем — к каким-то промежуточным значениям. Отсюда вытекает необходимость изучения силового и энергетического режима работы выемочной машины, физических и механических особенностей угля, структуры и текстуры угольных пластов и их поведения при разработке под влиянием горного давления и во время машинной выемки.

Уголь, как и всякая горная порода, представляет собой весьма сложное неоднородное твердое тело, состоящее из сочетания различных компонентов, сцементированных вяжущим материалом. Основные свойства угля зависят от его состава, условий образования и накопления [3].

Характерной особенностью, угольных пластов является слоистое строение и наличие в них трещин эндогенного и экзогенного происхождения [4].

Пласты угля часто разделены на отдельные пачки прослойками пустой породы разной мощности. Такими прослойками могут быть углистые и глинистые сланцы, сланцеватые глины и просто глины. Эти прослойки могут содержать мелкие частицы кварца и серного колчедана, отличающиеся высокой прочностью и абразивностью.

Петрографические ингредиенты угольного вещества и различные минеральные примеси распределены в массиве угля весьма неравномерно. Поэтому практически в совершенно геометрически одинаковых образцах угля нельзя получить тождества показателей их химического состава и физико-механических свойств. На разных участках пласта эти показатели обычно неодинаковы. Наряду с этим разные пласты угля все же сохраняют в какой-то мере свои индивидуальные качества, определяемые петрографическим составом и степенью метаморфизма.

Исследования физико-механических свойств углей разных

марок показывают, что уголь представляет собой твердое тело, пронизанное микроскопическими и макроскопическими трещинами.

В результате тектонических воздействий, а также вследствие проведения горных выработок разного назначения по плоскостям ослабления массива пласта постепенно скрытые трещины превращаются в явные. Трещины в угле можно наблюдать в различных направлениях. В большинстве случаев они направлены перпендикулярно к плоскостям напластования, реже под углом к ним. По трещинам и поверхностям напластования силы сцепления частиц угля сильно ослаблены и имеют неодинаковую величину по разным направлениям угольного пласта. Благодаря этому сопротивление разрушению угля неодинаково также в разных направлениях. Так, например, опытом установлено, что сопротивляемость образцов угля разрушению при одноосном сжатии в направлении, перпендикулярном к слоистости, больше, чем сопротивляемость соответствующих образцов угля при сжатии их вдоль слоистости.

В угольных пластах часто обнаруживаются весьма крепкие включения: серный колчедан, халькопирит, кварц и др. Они встречаются в виде желвакообразных, лепешкообразных и линзообразных форм и распределены по всему пласту. Трещины в пласте угля нередко заполнены пленками кварца, пирита, каолина и др. Желваки серного колчедана достигают иногда значительных размеров, а линзы могут образовывать целые пояса в определенных частях пласта, чаще всего ближе к почве. Так, например, в некоторых районах Подмосквовного и Кизеловского бассейнов содержание серного колчедана в угле достигает 5—7%. Так как сопротивляемость этих включений разрушению в 10—15 раз больше, чем угля, то при большом содержании их в угольном пласте машинная выемка угля оказывается весьма затруднительной.

Количественная оценка минеральных примесей в угольных пластах может быть охарактеризована процентом выхода золы, а качественная — химическим составом. Так как петрографические ингредиенты угля различным образом сопротивляются разрушению, то разные типы углей имеют разные механические показатели: прочность, крепость, хрупкость, вязкость, абразивность.

Эти показатели играют большую роль при выемке угля, так как они определяют величину и характер изменения нагрузки выемочной машины, режим ее работы, удельный расход энергии, затрачиваемой на выемку угля, выбор типа выемочной машины, выход угля по классам крупности и т. д.

Механическая прочность угля определяется различным образом, например ударом и истиранием образцов угля во вращающемся барабане, ударом при свободном падении кусков

угля с заданной высоты, испытанием образцов угля на прессах и т. д.

Проведенные исследования по определению механической прочности углей разными методами показали, что все они дают примерно один и тот же порядок расположения углей по механической прочности.

Механическая прочность на одноосное сжатие и упругие свойства некоторых марок углей характеризуются данными, приведенными в табл. 4 [5, 6, 7, 8, 9].

Таблица 4

| Наименование угля (согласно [5, 6, 7, 8, 9]) | Временное сопротивление сжатию, кг/см ² | | Модуль Юнга × 10 ⁸ , кг/см ² | Коэффициент Пуассона параллельно слоям, μ |
|--|--|-----------------------|---|---|
| | перпендикулярно наслоению | параллельно наслоению | | |
| Анжеро-Судженский | 75,6 | 49,4 | 41 | 0,23 |
| Ленинский | 103,8 | 47,6 | 36,6 | 0,17 |
| Прокопьевско-Киселевский | 250,2 | 212 | — | — |
| Хакасский | 69,7 | 47,9 | 37,5 | 0,05 |
| Черемховский | 143,3 | 36,6 | 60,4 | 0,29 |
| Сапропелиты | 160—310 | 83—119 | — | — |
| Полуматовые подмосковные | 75—189 | 37—63 | — | — |
| Матовые подмосковные | 83—155 | 37—105 | — | — |
| Матовые подмосковные | 161—186 | 115—123 | — | — |
| Антрацит | — | — | 46,1 | 0,48 |
| Антрацит—пласт Несветаевский | 78—234 | 83—118 | 42—65 | — |
| Антрацит—пласт Кашеевский | 153—157 | 35—40 | — | — |
| Уголь пласта Куцега (Донбасс) | 60—88 | 52—78 | — | — |
| Спекающийся | — | — | 37,7 | 0,41 |
| Уголь марки Г пласта Корунда (Донбасс) | 100 | 25 | — | 0,37 |

Из таблицы видно, что, во-первых, угли разных марок обладают различной прочностью на сжатие, во-вторых, у углей одной и той же марки временные сопротивления сжатию могут изменяться в широких пределах и, в-третьих, значения этих сопротивлений зависят от направления действия силы по отношению к плоскостям напластования угля. Это объясняется различным петрографическим составом углей разных марок, неодинаковой степенью их метаморфизма, влиянием разного количества и величины эндогенных трещин.

Упругие свойства углей можно характеризовать, например, модулем Юнга E и коэффициентом Пуассона μ . Эти величины неодинаковы для разных углей (табл. 4). Опытами была обнаружена способность к большим упругим деформациям блестящих разновидностей углей по сравнению с матовыми. Было установлено также, что для углей характерно явление упругого гистерезиса. При этом по мере повышения конечной нагрузки увеличивается петля гистерезиса. Модуль упругости повышается при переходе к наиболее метаморфизированным углям.

Каменные угли, обладая относительно высокой прочностью на сжатие, имеют очень малую прочность на растяжение (табл. 4, 5) [5, 10].

Таблица 5

| Наименование угля | Временное сопротивление, кг/см ² | | | Отношение | | |
|-----------------------------|---|-----------------------|---------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| | растяжению R_{δ} | сдвигу τ_s | | $\frac{R_{\delta}}{\sigma_{сж}}$, % | $\frac{\tau_s}{R_{\delta}}$ | $\frac{\tau_s}{\sigma_{сж}}$ |
| | | параллельно наслоению | перпендикулярно наслоению | | | |
| Анжеро-Судженский | 6,75 | 25 | 16,2 | 13,63 | 2,5 | 0,33 |
| Ленинский | 10,2 | 26,6 | 19,5 | 21,3 | 1,9 | 0,41 |
| Прокопьевско-Киселевский | 12,5 | 41,4 | 34,8 | 5,89 | 2,78 | 0,16 |
| Хакасский | 10,0 | 28,6 | 20,5 | 20,85 | 2,0 | 0,43 |
| Черемховский | 11,0 | 28,6 | 10,1 | 29,9 | 0,92 | 0,28 |
| Подмосковные | 1,8 | 32 | 20 | — | 11,1 | — |
| Кизеловские | 6,6 | 179 | 92 | — | 14,0 | — |
| Антрациты | 7,0 | 114 | 103 | — | 14,7 | — |
| Коксовый | 0,53 | 11—16 | | — | 30,0 | — |
| Марки ПС | 0,93 | 38 | | — | 41,0 | — |

Анализируя данные табл. 4 и 5, замечаем, что угли всех марок являются анизотропными твердыми телами, обладающими сравнительно большим сопротивлением деформации при одноосном сжатии. Анизотропия угля повышается по мере увеличения размеров его куска. Это обстоятельство существенно и положительно сказывается на эффективности разрушения угольного забоя стругом, так как рабочий орган его рассчитан на относительно большую глубину резания. Эти таблицы свидетельствуют также о малом сопротивлении углей разных марок разрыву и сдвигу по сравнению с сопротивлением одноосному сжатию. Сопротивляемость твердого тела разрушению

обычно характеризуют отношениями $\frac{\tau_s}{R_{\delta}}$ и $\frac{\tau_{max}}{\sigma_{сж}}$. Так как при простом нагружении отношение $\frac{\tau_s}{\sigma_{сж}}$ всегда меньше единицы,

а для углей $\frac{\tau_s}{R_{\delta}} > 1$ (табл. 5), то можно считать, что разрушение угольного забоя стругом происходит преимущественно под действием растягивающих усилий.

Если известен нормальный модуль упругости E и коэффициент Пуассона μ , то по известной формуле теории упругости можно найти касательный модуль упругости (сдвига):

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}.$$

4. Крепость угля

Помимо показателя механической прочности угля в практику горного дела широко вошло понятие «крепость» горной породы, в том числе и угля. Однако единого метода оценки крепости породы пока еще нет. В справочниках и нормировочниках можно встретить разные шкалы крепости, основанные на том, или ином способе разрушения угля или породы. Отсутствие единого метода оценки крепости породы не дает возможности сопоставлять между собой действительные механические свойства углей разных петрографических типов и бассейнов. Поэтому угли одного и того же типа и марки в разных бассейнах нередко относятся к разной категории по крепости.

В практике часто крепость угля оценивается так называемым коэффициентом крепости. Последний характеризует в той или иной мере всю совокупность физических и механических констант и параметров угля, а равно и природные особенности углеобразования, степень метаморфизма, условия залегания угольного пласта и т. д. Коэффициентом крепости пользуются, например, при установлении норм выработки на горные работы, производительности труда машинной бригады и т. п.

При этом следует отметить, что угли одной и той же крепости, но разные по степени вязкости, потребляют, как правило, различное количество энергии на разрушение. То же наблюдается при разной степени трещиноватости угля. С увеличением размеров отделяемой стружки угля рабочим инструментом машины эти факторы оказывают большое влияние на усилие резания и удельный расход энергии.

Таким образом, при характеристике механических свойств углей с точки зрения затраты энергии на отделение от массива пласта необходимо учитывать не только их крепость, но и вязкость, степень трещиноватости и газонасыщенности, площадь сечения (масштабный фактор) отделяемой стружки рабочим инструментом машины.

В настоящее время имеется несколько методов определения коэффициента крепости угля [11, 12]. Они могут быть объединены в две основные группы. Согласно первой группе методов коэффициент крепости угля определяется на его образцах. Сюда относятся, например, метод ИГД АН СССР (толчение угля), метод б. ВУГИ (раздавливание угля) и др.

Широко известен также метод проф. М. М. Протодяконова, которым предложена следующая формула для определения коэффициента крепости:

$$f = 0,01\sigma_{сж},$$

где $\sigma_{сж}$ — сопротивление угля (породы) разрушению при одноосном сжатии, $кг/см^2$.

Многочисленными наблюдениями установлена корреляционная связь между коэффициентом крепости угля по проф. М. М. Протождяконову и коэффициентами крепости его, определяемыми методами ИГД АН СССР ($f_{п}$) и б. ВУГИ ($f_{в}$), т. е.

$$f_{п} = f = 0,01 \sigma_{сж}$$

и

$$f_{в} \approx 10 f = 0,1 \sigma_{сж}.$$

Ко второй группе принадлежат методы, позволяющие определить коэффициент крепости угля непосредственно в массиве пласта. Среди них могут быть названы такие методы, как вдав-

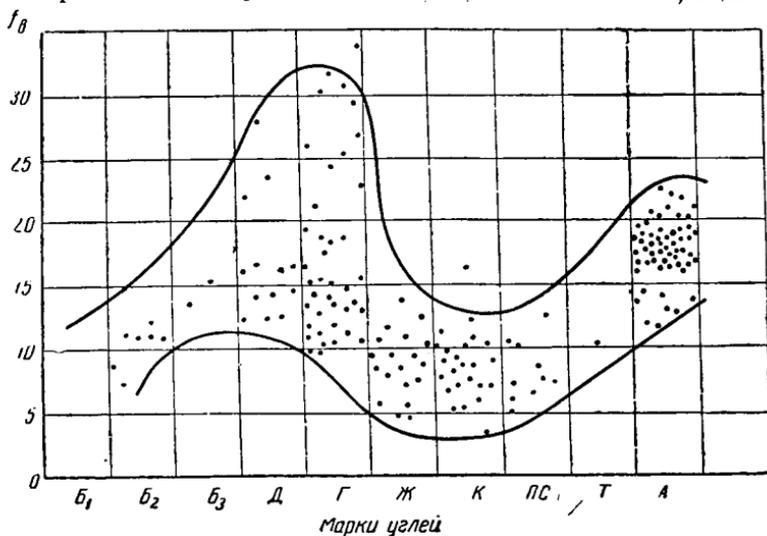


Рис. 13. Изменение коэффициента крепости $f_{в}$ углей в зависимости от марки угля, определяемого б. ВУГИ

ливание наконечников (конических, цилиндрических и др.) в массив пласта, сверление последнего и т. д.

Крепость угля, как показывает опыт, зависит во многом от степени его метаморфизма [13, 14]. Это можно видеть на диаграмме (рис. 13), которая показывает изменение коэффициента крепости $f_{в}$, определяемого методом ВУГИ, в зависимости от марки угля, или, что то же, от степени его метаморфизма. Как видно, коэффициент $f_{в}$ закономерно повышается по мере перехода от бурых углей (Б) к длиннопламенным (Д) и газовым (Г), а затем уменьшается у углей со средней степенью метаморфизма (Ж, К, ПС) и снова возрастает у антрацитов (А), обладающих высшей степенью метаморфизма.

Из диаграммы (см. рис. 13) видно, что $f_{в}$ изменяется в 2—5 раз у углей одной и той же марки. Особенно это явление наблюдается у длиннопламенных и газовых углей. Непостоянство

коэффициента крепости f_v у углей одной и той же марки обусловлено неодинаковым содержанием петрографических ингредиентов, минеральных примесей и другими природными факторами.

На рис. 14 представлена диаграмма изменения коэффициента крепости f_n , определяемого методом ИГД АН СССР; в зависимости от процента выхода летучих веществ V^r донецких углей разных марок. Эта диаграмма подобна, как и следовало ожидать, диаграмме, представленной на рис. 13. Из диаграмм

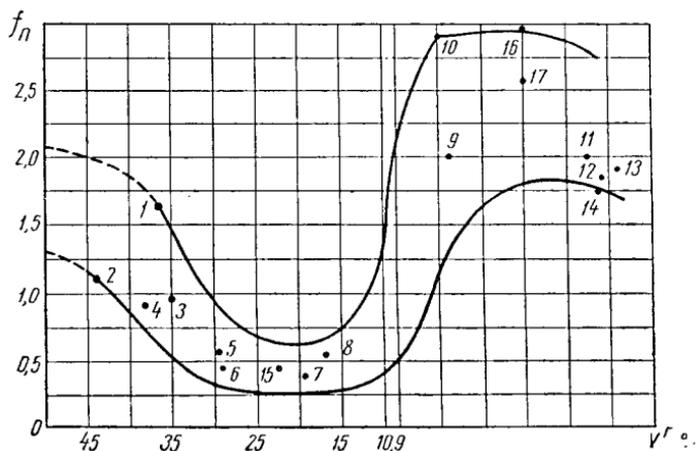


Рис. 14. Изменение коэффициента крепости f_n донецких углей в зависимости от выхода летучих веществ V^r , определяемого методом ИГД АН СССР

(см. рис. 13 и 14) следует, что, во-первых, крепость угля изменяется в зависимости от процентного содержания в нем летучих веществ, во-вторых, методы определения коэффициента крепости ВУГИ и ИГД АН СССР дают примерно один и тот же порядок расположения углей по крепости.

Влияние степени газоносности угольного пласта на коэффициент крепости угля показывают диаграммы, представленные на рис. 15 [15]. Здесь по оси ординат отложена длина лавы, а по оси абсцисс — коэффициент крепости угля f_n , определяемый методом ИГД АН СССР. Эти диаграммы построены по данным опытных наблюдений на шахтах № 17—17-бис и № 1—3 «Кочегарка» (Донбасс).

Вследствие обработки этажей, расположенных над и под вентиляционным штреком, произошла значительная дегазация угольного пласта в верхней и нижней части лавы (рис. 15, а). Благодаря этому крепость угля на первых 30—35 м от вентиляционного и откаточного штреков оказалась значительно выше чем в середине лавы.

В случае отсутствия дегазации пласта в нижней части лавы, когда она примыкает к его целику, крепость угля остается практически постоянной (рис. 15, б).

Диаграмма (см. рис. 15, б) показывает также, что коэффициент крепости угля разных пачек дегазированного и недегазированного пласта имеет одинаковую закономерность изменений и колеблется в широких пределах.

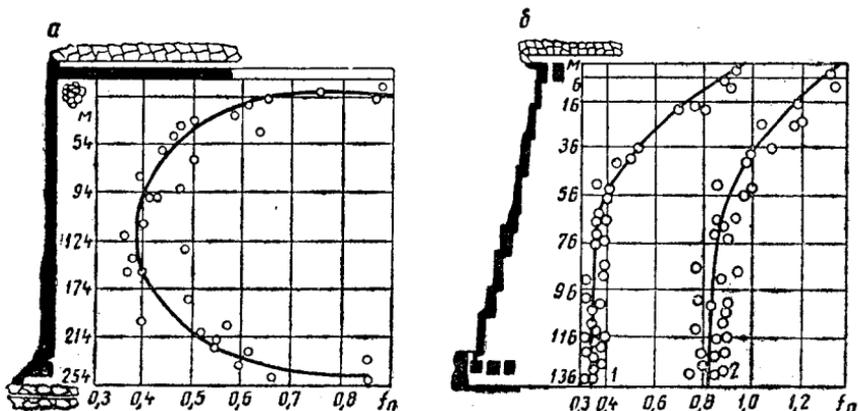


Рис. 15. Изменение коэффициента крепости f_n угля вдоль очистного забоя: а — пласт Смоляниновский, шахта № 17—17-бис (горизонт 565 м); б — пласт Толстый, шахта № 1—3 «Кочегарка» (горизонт 750 м) 1 — верхняя пачка; 2 — нижняя пачка

Увеличение крепости угля при дегазации происходит вследствие снижения расклинивающего действия свободного газа, находящегося в трещинах угля под давлением, и удаления с поверхности последних молекул сорбированного газа. В результате этого увеличиваются молекулярные силы сцепления между стенками микротрещин, что и приводит к смыканию последних и повышению крепости угля.

Таким образом, степень дегазации угольного пласта не может не учитываться при рассмотрении крепости угля. В связи с этим Ф. Г. Тютин предложил формулу, которая устанавливает зависимость между коэффициентом крепости f_n образцов угля и их газонасыщенностью V^r , $см^3/г$

$$f_n = f_{n_{\max}} \left(1 - \frac{V^r}{V^r_{\max}} \right),$$

$f_{n_{\max}}$ — максимальный коэффициент крепости угля.

V^r_{\max} — максимальный коэффициент крепости угля;

При $V^r = 0$, т. е. при полной дегазации пласта, коэффициент крепости угля становится максимальным, так как

$$f_n = f_{n_{\max}}.$$

Опыт показывает, что размеры и количество трещин существенно влияют на крепость угля. Это можно проследить, например, по диаграмме, представленной на рис. 16. Здесь на оси ординат отложен коэффициент крепости f_n , определенный методом ИГД АН СССР, и расстояние Δ между трещинами эндокливажа, а на оси абсцисс — выход летучих веществ V^r %.

В табл. 6 приведены средние расстояния между трещинами эндогенного кливажа и количество трещин на единицу длины для углей Донецкого бассейна (по Сарбеевой Л. И.).

Как видно из диаграммы (рис. 16) и табл. 6, антрацитовые угли имеют относительно крупные трещины, но они встречаются редко. Поэтому эти угли оказываются более монолитными и отличаются более высоким коэффициентом крепости и механической прочностью на одноосное сжатие и сдвиг (табл. 4 и 5).

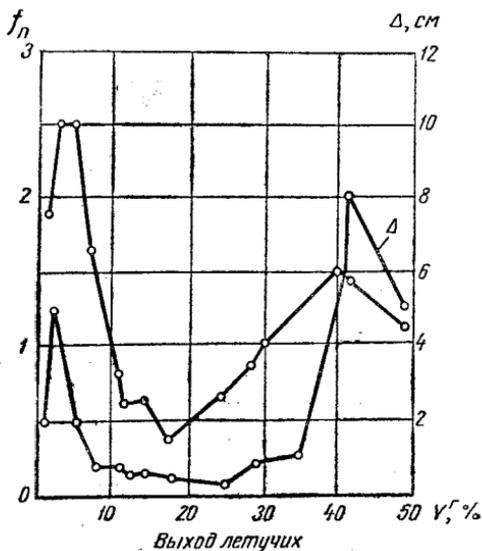


Рис. 16. Изменение коэффициента крепости f_n угля, определяемого методом ИГД АН СССР, и расстояния между трещинами Δ эндокливажа в зависимости от выхода летучих веществ

Таблица 6

| Содержание летучих веществ, % | Среднее расстояние между эндогенными трещинами, см | Количество трещин на 5 см длины | Упругость по Шору |
|-------------------------------|--|---------------------------------|-------------------|
| 49,06 | 1,7 | 5 | 75 |
| 40,97 | 3,3 | 1—2 | 84,5 |
| 40,09 | 2,5 | 2—3 | 84,7 |
| 35,36 | 0,7 | 12 | 68,0 |
| 29,75 | 0,5 | 12 | 65,0 |
| 28,61 | 0,2 | 25 | 57,0 |
| 24,77 | 0,2 | 25 | 44,5 |
| 17,56 | 0,2 | 22 | 56,0 |
| 14,18 | 0,3 | 22 | 58,5 |
| 11,77 | 0,8 | 22 | 61,0 |
| 11,5 | 0,5 | 17 | 86 |
| 7,65 | 0,5 | 10 | 108 |
| 4,58 | 1,0 | 6 | 109 |
| 2,45 | 1,4 | 2—3 | 94,6 |
| 1,5 | 0,5 | 8 | — |

Бурые угли отличаются от каменных углей малым числом кливажных трещин и большим количеством пор. Чем больше

пор, тем уголь слабее (рыхлее), что и отмечается на диаграмме (см. рис. 16).

Наибольшее число трещин и наименьшее расстояние между ними отмечается в углях средней степени метаморфизма (содержание летучих $V_f = 14-28\%$), т. е. у углей марок Ж, К, ПС. В связи с этим коэффициент крепости этих углей меньше по сравнению с другими углями (см. рис. 13, 14).

Степень трещиноватости оказывает решающее значение на механические свойства угля, а следовательно, и на силовой и энергетический режим работы рабочего органа машины.

Дело в том, что рабочий орган машины отделяет уголь от массива пласта преимущественно по трещинам, так как по ним ослаблены силы сцепления частиц угля. Особенно важную роль при этом играют мелкие трещины, скрытые в массиве пласта угля. Эти трещины определяют в основном выход продуктов разрушения по классам крупности.

Таблица 7

| Бассейн, шахта | Пласт | | Коэффициент крепости, f_v | Тип комбайна, размер бара*, м | Скорость подачи, м/мин | H_s **, квт·ч/м ³ |
|---------------------------------|------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------|--------------------------------|
| | название | вынимаемая мощность, м | | | | |
| Донбасс, «Центральная-Боквская» | K_5 (Антрацит) | 1,4—1,7 | 12,6—12,8 | «Донбасс-1» | 0,43 | 1,73—3,7 |
| Караганда, ш. № 31 | Четырехфутовый | 1,0—1,2 | 11,5 | «Донбасс-1» $h=1,2$ $H=1,0$ | 0,27 | 4,9—6,8 |
| | | | | | 0,405 | 4,1—5,0 |
| Караганда, ш. № 31-бис | Шестифутовый | 1,6 | 12,0 | «Донбасс-1» $h=1,6$ $H=1,6$ | 0,54 | 3,6—4,4 |
| | | | | | 0,135 | 6,0—8,0 |
| Караганда, ш. № 1-бис | Новый | 1,2—1,3 | 11,6 | «Донбасс-1» $h=1,5$ $H=1,2$ | 0,27 | 4,1—5,0 |
| | | | | | 0,405 | 3,5—4,5 |
| Караганда, ш. № 3-бис | Верхняя Марианна | 1,6 | 11,6 | «Донбасс-1» $h=1,5$ $H=1,6$ | 0,27 | 4,25—6,0 |
| | | | | | 0,405 | 3,4—4,6 |
| Караганда, ш. № 3-бис | Верхняя Марианна | 1,6 | 11,6 | «Донбасс-1» $h=1,5$ $H=1,6$ | 0,54 | 2,8—4,0 |
| | | | | | 0,135 | 5,0—8,0 |
| Караганда, шахта № 26 | Феликс | 1,6 | 11,4 | «Донбасс-1» $h=1,5$ $H=1,6$ | 0,27 | 4,3—5,3 |
| | | | | | 0,54 | 2,7—4,3 |
| | | | | | 0,27 | 2,0—3,5 |
| | | | | | 0,54 | 2,7—5,7 |
| | | | | | | 2,3—3,2 |

* Размеры бара: h — длина и H — высота.

** Значение H_s получено делением расхода энергии на клеммах главного двигателя комбайна на общий объем добытого угля.

Исследования показывают, что угли разной степени метаморфизма обладают не только неодинаковой крепостью, но и вязкостью. Последняя понижается с увеличением степени метаморфизма угля, т. е. по мере перехода от бурых углей (Б) к антрацитам. Степень вязкости существенно влияет на усилие и удельный расход энергии, затрачиваемой на разрушение угля рабочим органом машины. Из данных, приведенных в табл. 7

[16], видно, что угли примерно с одинаковым коэффициентом крепости, но разной степенью вязкости требуют разного количества энергии при одинаковом режиме разрушения; с повышением вязкости угля увеличивается и удельный расход энергии H_8 .

Поэтому при оценке силового и энергетического режима работы горной машины нельзя не учитывать вязкости разрушаемого угля. Практически она может быть учтена поправочным коэффициентом k , который представляет собой отношение удельных энергий, затрачиваемых на разрушение углей с разной степенью вязкости, т. е.

$$k = \frac{H_s}{H'_s} \geq 1.$$

Тогда действительный коэффициент крепости угля будет

$$f'_n = kf_n = f_n \frac{H_s}{H'_s}.$$

Это уравнение справедливо только для углей с одинаковыми или близкими коэффициентами крепости.

Коэффициент k , например, для карагандинских углей равен 1,5—1,9. Нижний предел этого коэффициента соответствует работе комбайна типа «Донбасс» с предварительным рыхлением массива пласта путем взрыва, а верхний — без рыхления.

В табл. 8 приведены значения коэффициента крепости углей разных марок, добываемых в различных бассейнах Советского Союза. Из этой таблицы видно, что коэффициент крепости f_n изменяется в широких пределах ($f_n = 0,4 \div 4,6$). Поэтому универсальная струговая установка в одном случае будет работать с недогрузкой, а в другом — с большой перегрузкой. Технически и экономически нерационально также иметь свою струговую установку для каждого класса крепости угля. Наиболее целесообразно было бы, если бы шахты и отдельные угольные бассейны имели в своем распоряжении не более двух-трех типоразмеров струговых установок.

Таблица 8

| Пласт | Марка угля | f_n | Пласт | Марка угля | f_n |
|------------------------|------------|---------|-------------------------|------------|---------|
| Донбасс | | | Донбасс | | |
| Трест Чистяковантрацит | | | Трест Шахмантрацит | | |
| Дроновский | А | 1,5—1,7 | Рыхлый k_5 | А | 1,2—2,5 |
| Фоминский h_8 | А | 1,5—1,6 | Нижнегрушевский k_5^H | А | 1,5—2,7 |
| Боковский k_5 | А | 1,6 | II Грушевский | А | 1,5—2,6 |
| Стекланный | А | 1,3—1,8 | Беглый k_5^2 | А | 1,6—2,1 |

| Пласт | Марка угля | $f_{п}$ | Пласт | Марка угля | $f_{п}$ |
|--|---------------|---------|---|----------------|-----------|
| Донбасс | | | Кузбасс | | |
| <i>Трест Несветайантрацит</i> | | | <i>Трест Ленинголь</i> | | |
| Несветаевский $i_3^{2в}$ | A | 1,3—2,5 | Емельяновский | | 0,9—1,1 |
| Несветаевский | A | 1,6 | <i>Трест Прокопьевскуголь</i> | | |
| <i>Трест Снежнянантрацит</i> | | | Мощный | | 1,9—2,1 |
| Кашеевский h_6 | A | 1,8—2,3 | <i>Трест Куйбышевуголь</i> | | |
| Ремовский h_3 | A | 1,7—2,5 | № 26а | | 1,1—1,4 |
| Стекланный | A | 1,6 | № 29а | | 1,6—2,1 |
| <i>Трест Гуковуголь</i> | | | Караганда | | |
| k_1 | A | 1,5—2,3 | Верхняя Марианна K_{12} | ПС | 0,8—1,1 |
| <i>Трест Рутченковуголь</i> | | | Феликс K_{10} | ПЖ | 0,7—1,1 |
| Семеновский k_8 | Г | 1,0—1,2 | Четырехфутовый K_{14} | ПЖ | 1,1—1,3 |
| <i>Трест Буденновуголь</i> | | | Шестифутовый K_{13} | ПЖ | 0,9—1,2 |
| Кальмиусский g_2 | Т | 0,4—0,8 | Новый K_{18} | | 0,8—1,1 |
| Лисичанский i_5 | Д | 1,0 | Замечательный | | 0,58—1,05 |
| Никанор l_4 , ш. «Ника- вор» | Т | 0,6 | Вышесредний | | 0,62—0,66 |
| III Каменский k_5 | ПС | 0,4 | Двойной | | 0,51—0,06 |
| Анастасиевский l_2 ш. 4—6 «Карбонит» | — | 1,2 | Средний | | 0,7—1,57 |
| Майдановский | A | 1,6 | Нижесредний | | 0,67—1,01 |
| Боковский k_5 ш. «Цен- тральная-Боков- ская» | A | 1,6 | Мосбасс | | |
| Лидиевский | | 1,6 | Сокольническое место- рождение ш. № 35 | Б ₂ | 0,9—2,0 |
| | | | <i>Трест Узловскуголь</i> | | |
| | | | III. № 1 | Б ₂ | 1,5 |
| | | | Кизеловский бассейн | | 0,7—4,6 |
| | | | Челябинский бассейн | | 0,7—1,8 |

В заключение следует отметить, что приведенные в табл. 4 значения механической прочности позволяют оценить степень прочности угля только в его образце. Прочность же последнего может значительно отличаться от прочности угля в массиве, так как образец угля освобожден от давления кровли, обнажен со всех сторон, дегазирован и т. д. В связи с этим в последнее время проводится большая работа по изысканию надежного и в то же время простого метода определения крепости угля непосредственно в массиве пласта.

Крепость или способность угля в массиве пласта сопротивляться внешним усилиям зависит не только от его состава, условий образования и накопления, но и от степени проявления

горного давления. В нетронutom массиве уголь находится в условиях всестороннего сжатия, а действующие на него силы уравновешены. При проведении горных работ это равновесие нарушается, благодаря чему в окружающих породах угольного пласта возникает движение, образуются новые деформации и появляются новые напряжения. По мере приближения из отдаленных точек массива пласта к обнаженной его поверхности эти напряжения и деформации возрастают до степени разрушающих.

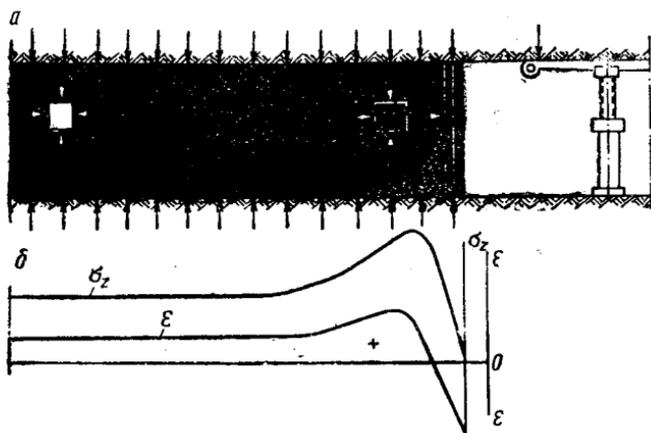


Рис. 17. Изменение напряжений σ_z и деформаций ϵ пласта угля в зависимости от горного давления:
 а — схема забоя; б — график изменения σ_z и ϵ .

В зоне обнаженной поверхности пласта наблюдается переход от всестороннего сжатия угля к двухосному, в результате чего в нем возникают деформации растяжения, направленные перпендикулярно к обнаженной поверхности (рис. 17). Поэтому в пласте образуются вертикальные или наклонные по кливажу трещины, которые нарушают монолитность пласта и облегчают отделение от него угля. О наличии таких трещин свидетельствует повседневная практика разработки угольных пластов. Опыт показывает также, что число этих трещин на единицу длины уменьшается по мере удаления от забоя в глубь пласта. Глубина распространения их зависит от местоположения зоны максимального опорного давления.

Образование трещин создает благоприятные условия для отделения угля от массива пласта. Таким образом, проявление горного давления обуславливает так называемый отжим угля от забоя, т. е. движение угля под влиянием этого давления в сторону выработанного пространства.

Степень и скорость отжима угля от массива пласта находятся в непосредственной зависимости прежде всего от свойств

боковых пород, структуры угольного пласта и его мощности, характера контакта пород с углем и фактора времени, способа управления кровлей и длины очистного забоя, наличия трещин кливажа и скорости подвигания очистного забоя, способа выемки угля из пласта (с врубом, без вруба) и т. д. Не останавливаясь на разборе влияния этих факторов на степень отжима угля от массива пласта, укажем лишь, что учесть их при оценке показателя крепости угля в зоне нарушенного горным давлением массива пласта в полной мере пока затруднительно. Это объясняется тем, что показатель крепости угля в зависимости от этих факторов почти не изучен, хотя явление отжима угля нередко широко используется на шахтах в целях повышения производительности труда и снижения себестоимости добываемого угля.

Зона нарушенной сплошности пластов вследствие проявления горного давления наблюдается в разной степени во всех угольных бассейнах нашей страны. Так, по данным Кравченко В. И. [17], отжим угля проявляется в 72 шахтах Донбасса с различным строением угольных пластов (табл. 9).

Таблица 9

| Показатели | Строение пласта | | | | | | Контакт угля | | | |
|---|-----------------|---------|---------------------------|----|----|--------------|--------------|--------------|----------|--------------|
| | одно- родное | сложное | в том числе про- слоек | | | | с кровлей | | с почвой | |
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 и более | ясный | неяс- ный | ясный | неяс- ный |
| Количество шахтопластов | 247 | 336 | 216 | 90 | 23 | 7 | 416 | 167 | 414 | 169 |
| Количество шахтопластов, где проявляется отжим угля | 19 | 53 | 30 | 13 | 7 | 3 | 58 | 14 | 61 | 11 |

Эта таблица показывает, что на шахтах Донбасса имеется достаточно большое количество пластов, на которых наблюдается отжим угля. Опыт свидетельствует о возможности проявления отжима угля не только при ясно выраженном контакте угля с почвой и кровлей, но и при отсутствии его. Однако наличие спаянности пласта угля с кровлей или почвой замедляет смещение угля в сторону выработанного пространства.

Достаточно выраженный кливаж в угольном пласте способствует также отжиму угля. Из 583 шахтопластов, разрабатываемых в Донбассе, кливаж не выражен лишь в 119.

Сказанное относится к так называемому естественному отжиму угля, обусловленному природными условиями залегания угольных пластов, ведением горных работ и т. д. В последнее время внедряется в практику искусственный способ отжима угля

путем нагнетания воды в массив угольного пласта посредством специальных скважин. Результаты внедрения такого способа отжима угля оказываются нередко обнадеживающими и достаточно эффективными.

Таким образом, имеются большие возможности для широкого применения и эффективной работы стругов, так как они работают обычно в зоне нарушенной сплошности пласта и отжатого угля.

В табл. 10 приведены справочные данные по коэффициентам трения покоя f_{Π} и движения $f_{дв}$ угля по металлу и металла по углю, полученные опытным путем некоторыми исследователями.

Т а б л и ц а 10

| Наименование трущихся материалов | Коэффициент трения | | Авторы |
|----------------------------------|--------------------|------------------|------------------------------|
| | покоя f_{Π} | движения $f_{д}$ | |
| Уголь по стали: | | | |
| антрацит | — | 0,29 | По Кузьмину П. С. |
| смолистый | — | 0,32 | |
| Уголь по стали: | | | |
| антрацит | 0,84 | 0,29 | По Диннику и Скуратову Г. А. |
| бурый | 1,0 | 0,58 | |
| смолистый | 0,84 | 0,32 | |
| мелкий | 0,84 | 0,32 | |
| Сталь по углю: | | | |
| черемховский | — | 0,454 | По Шубину В. П. |
| ленинский (Кузбасс) | — | 0,359 | |
| Уголь по углю: | | | |
| черемховский | — | 0,391 | По Шубину В. П. |
| ленинский (Кузбасс) | — | 0,328 | |
| Уголь по стали: | | | |
| подмосковный | 0,42—0,63 | — | По Левинсону Л. Б. |
| Уголь по стали: | | | |
| антрацит | 0,24—0,3 | 0,19—0,23 | По Мюллеру Е. Ф. |
| уголь | 0,35—0,6 | 0,26—0,45 | |
| Антрацит по стали | — | 0,1—0,18 | По Протодьяконову М. М. |
| Уголь по стали | 0,4—0,5 | 0,35 | По Склеперу |
| Уголь по стали | 0,5 | 0,2 | По Маркусу |
| Уголь по стали | 0,4 | 0,3 | По Кюпперу |

Приведенные данные о механических свойствах угля могут и должны быть использованы для создания рациональных конструкций струговых установок и для установления наиболее выгоднейшего режима их работы.

СТРУГОВЫЕ УСТАНОВКИ И ИХ РАБОТА

5. Классификация угольных стругов

Угольный струг, как известно, при своем движении вдоль линии забоя отделяет своими резцами от массива пласта уголь транспортабельными кусками и одновременно с этим наваливает его на забойный конвейер, т. е. он выполняет те же функции, что и угледобывающие комбайны с цепными, барабанными и другими рабочими органами. Поэтому угольный струг может быть отнесен к числу угледобывающих комбайнов.

Впервые в мире идея применения струговых установок для добычи угля возникла на нашей Родине.

Об этом свидетельствует первый патент на машину строгающего действия, выданный в 1896 г. русскому инженеру А. Калери [18]. Позднее, в 1907 г., А. Ф. Поляков-Ковтунов разработал первый струг челнокового типа. За границей первые патенты на струги были выданы лишь спустя 15 лет [19]. Так, в 1912 г. получил патент на струг К. Виссеман (Германия), в 1917 г. — Генри Хирст (Англия) и т. д. Однако эти патенты не были реализованы на практике.

В 1928 г. советский изобретатель Г. А. Гребенюк построил первый в мире самоотдирающий скрепер. Позднее, в 1939 г., самоотдирающий скрепер был построен и испытан Родионовым Г. В. и Бочкаревым В. Г. на шахте «Бутовка» треста Макеевуголь (Донбасс).

Применение угольных стругов и разработка более совершенных их конструкций получили развитие лишь в годы Великой Отечественной войны и особенно в послевоенное время. За истекшее время создан целый ряд угольных стругов, отличающихся не только своим назначением и конструктивным оформлением, но и принципом воздействия рабочего инструмента на массив угольного пласта.

Схема классификации угольных стругов представлена на рис. 18.

Эта схема, как и всякая классификация машин, является в известной мере условной и неполной. Как видно, угольные струги разделяются прежде всего на две большие группы: 1) статического действия и 2) динамического действия. Каждая группа стругов, в свою очередь, делится по конструктивным и эксплуатационным признакам. Так, например, статические струги делятся на собственно струги и скрепероструги. Первые применяются преимущественно на пологопадающих пластах мощностью от 0,4 до 3 м, а вторые служат для разработки пологопадающих и наклонных пластов мощностью 0,3—0,9 м. Второй отличительной особенностью их является то, что струги рабо-

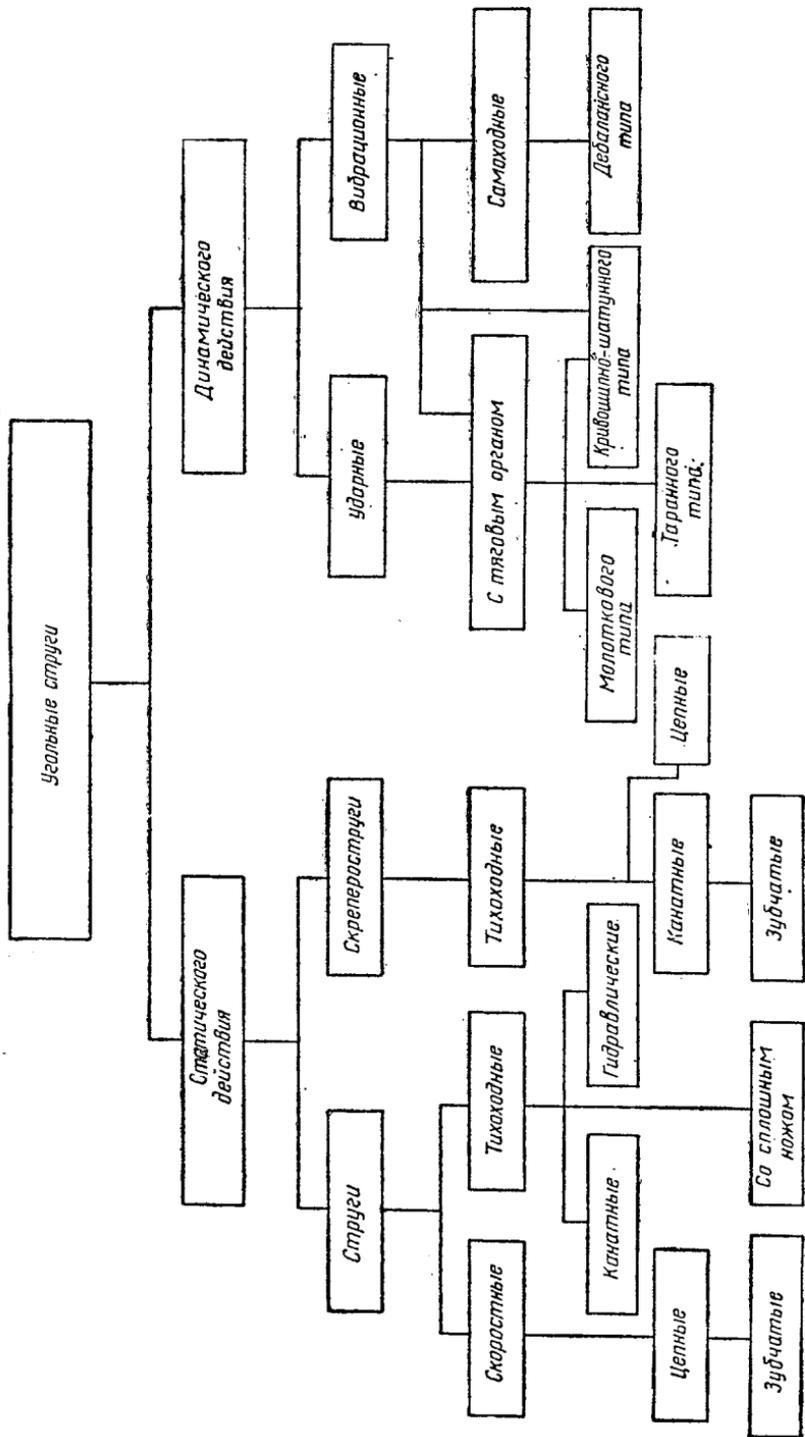


Рис. 18. Схема классификации угольных стругов

тают на пологопадающих пластах обычно в комплексе с забойными конвейерами, доставляющими уголь из забоя к погрузочному пункту, а скрепероструги не только отделяют уголь от массива пласта, но и доставляют его к погрузочному пункту. Далее эта группа стругов делится по скорости их движения вдоль забоя, по способу передвижения и конструкции их рабочей части.

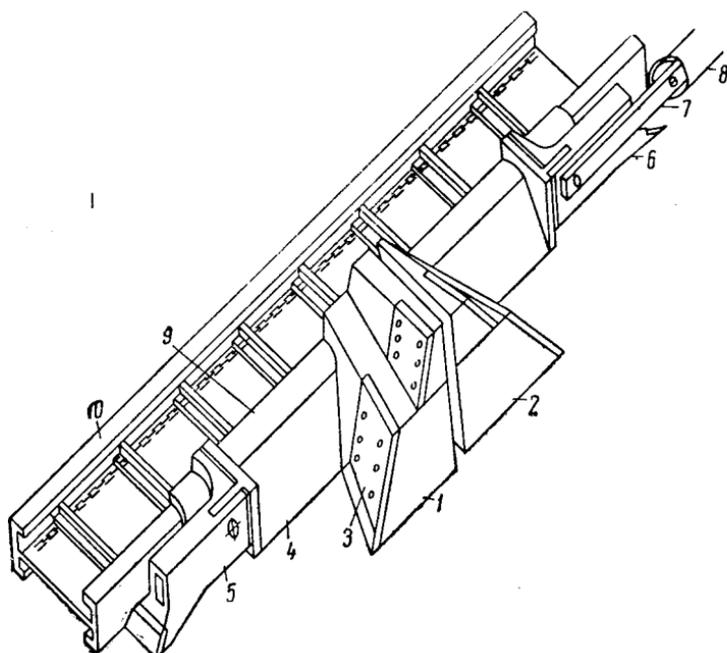


Рис. 19. Общий вид статического струга со сплошным ножом

По скорости движения струги делят на быстроходные и тихоходные. Быстроходными называют такие струги, у которых скорость движения изменяется от 20 до 40 м/мин. У тихоходных стругов скорость движения колеблется от 5 до 20 м/мин. Поэтому при одинаковой производительности этих стругов глубина захвата должна быть разной. Так, у быстроходных стругов она принимается равной 50—150 мм, а у тихоходных — 150—300 мм.

По способу перемещения вдоль линии забоя статические струги делятся на канатные, цепные и гидравлические. Наиболее широко применяются цепные струги.

Рабочий орган струга выполняется в виде зубчатых резцов или сплошного ножа. Поэтому струги делят на зубчатые и со сплошным ножом.

Первые образцы стругов со сплошным ножом (или так называемые стандартные струги) были созданы в 1942—1946 гг. Общий вид такого струга представлен на рис. 19. Рабочий орган его выполнен в виде клина со сплошным режущим ножом. Струг состоит из двух симметричных частей 1 и 2, соединенных между собой шарнирами. Такой способ соединения допускает относительное смещение половин струга при неровностях почвы. Каждая половина струга снабжена съемным сплошным ножом 3, устанавливаемым под острыми углами к вертикальной плоскости и к его продольной оси, и отвальным приспособлением 4 с наклоном к основанию струга около 40°. Такой угол наклона оказался наиболее благоприятным для навалки угля стругом на конвейер. С корпусами 1 и 2 соединены шарнирами чистильщики 5 и 6, снабженные также ножами. Передняя часть каждого чистильщика опирается на почву, угол наклона ее к почве равен примерно 30°. Чистильщики служат для зачистки забоя и навалки угля, остающегося после прохода струга, на конвейер. К чистильщикам шарнирами подсоединены тяги 7, на концах которых насажены блоки (левый блок на рисунке не показан), служащие для обвода тяговых канатов 8 струга. Эти канаты навиваются на барабаны тяговых лебедок, устанавливаемых в нижнем и верхнем штреках или в специальных нишах. Этими лебедками струг приводится в движение вдоль линии забоя в обоих направлениях.

Таким образом, рассматриваемый струг является выемочной машиной двухстороннего действия. Он относится к числу тихоходных стругов с глубиной захвата 150—300 мм, рабочая скорость движения его составляет 0,08—0,3 м/сек.

При движении струг своей боковой поверхностью и опорой 9 опирается на раму конвейера 10, которая является его направляющей.

Работа струга по разрушению угольного забоя производится либо в обоих направлениях лавы, т. е. челноковым способом, либо только в одном направлении, чаще всего снизу вверх лавы. Обратное направление движения его в последнем случае используется для зачистки забоя и навалки угля, оставшегося после рабочего хода, на конвейер.

Опыт применения угольных стругов со сплошными ножами в СССР и за рубежом показал, что они могут работать лишь на мягких углях, с саморазрушающейся верхней пачкой пласта.

Стремление повысить эффективность работы струга и расширить область его применения привело конструкторов и работников шахт к созданию зубчатых стругов статического действия. Общий вид одного из таких стругов представлен на рис. 20.

Зубчатые струги статического действия строятся обычно для двухсторонней работы. Представленный на рис. 20 струг состоит из массивного корпуса 1 и съемных резцедержавок 2, 3, и 4.

Число державок принимается в зависимости от мощности пласта. Струг снабжен съёмными резцами, выполненными в виде клиньев. Один из этих резцов, расположенный у почвы пласта, обычно делается более массивным. Резцы устанавливаются под определенным углом к забою. На верхней резцедержавке может быть установлен также резец для разрушения верхней пачки пласта у кровли. Для зачистки забоя с обеих сторон корпуса струга предусмотрены ножи 5.

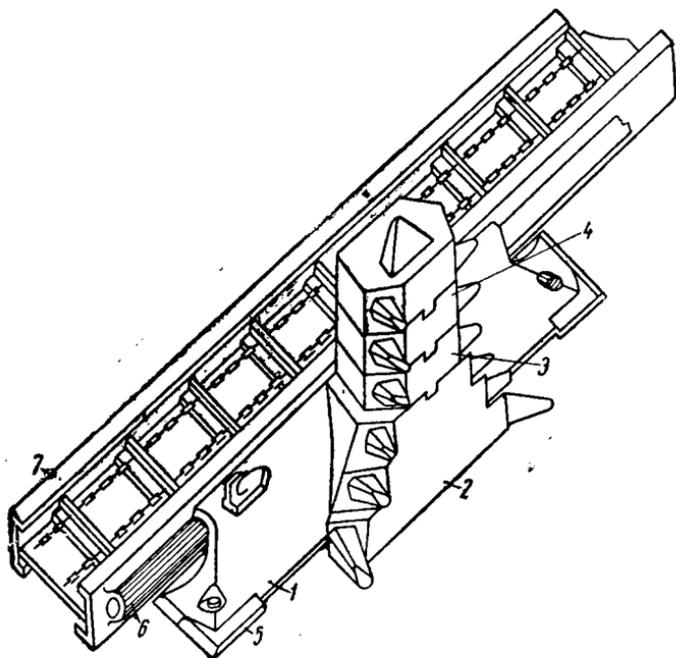


Рис. 20. Общий вид зубчатого статического струга

При движении струг своей боковой поверхностью опирается на прикрепленную к конвейеру 7 трубу 6, которая является направляющей струга. Струг перемещается в обоих направлениях вдоль линии конвейера при помощи калиброванной цепи, концы которой прикреплены к его корпусу. Цепь приводится в движение приводами, устанавливаемыми на концах конвейера.

Зубчатые струги строятся обычно быстроходными. Скорость движения их изменяется от 20 до 40 м/мин. При этом величина захвата не превышает 150 мм.

Зубчатые струги статического действия находят широкое применение при добыче угля во многих странах мира. Однако область применения их ограничивается главным образом пластами угля не выше средней крепости.

Струги со сплошными ножами и зубчатые могут быть раз-

делены, в свою очередь, по конструкции и расположению ножей и резцов на прямолинейные и ступенчатые, с предварительным врубом, с опережающим врубом или с тем и другим видом вруба. Под ступенчатым стругом понимается в данном случае такой струг, у которого ножи (рис. 19) или резцы (рис. 20), расположенные в вертикальной плоскости параллельно груди забоя, смещены относительно друг друга на некоторое расстояние по направлению движения струга. У струга с предварительным врубом устанавливается специальный резец (резцы) в средней части его торца со стороны забоя. Этот резец (резцы) после выемки полосы угля стругом оставляет вруб (врубы) в массиве пласта глубиной, равной или несколько большей полосы захвата струга.

В струге с опережающим врубом устанавливаются также специальные резцы на его торце со стороны забоя. Однако эти резцы размещаются впереди основных резцов и имеют неодинаковый вылет. Поэтому они образуют постепенно вруб глубиной, равной захвату струга.

Струг с опережающим и предварительным врубом имеет основные резцы, а также резцы для опережающего и предварительного врубов. Такие струги предназначаются для работы в крепких углях.

К числу стругов статического действия могут быть отнесены также скрепероструги. Они не требуют установки в забое конвейера, так как сами транспортируют отбитый уголь к погрузочному пункту. Скрепероструги строятся обычно тихоходными, областью применения их являются пласты с мягкими углями.

Для разработки пластов с крепкими углями предназначены струги динамического действия, конструкция которых дает возможность получить большие усилия на рабочем инструменте. Эти струги строятся ударного и вибрационного действия, с цепным тяговым органом или самоходные.

6. Струговые установки статического действия

Современная струговая установка состоит из: 1) одного или нескольких стругов статического действия, 2) привода струга или стругов, 3) забойного конвейера и 4) механизма передвижения конвейера.

В настоящее время в разных странах мира находятся в эксплуатации или проходят промышленные испытания различные типы струговых установок. Они отличаются прежде всего способом работы в очистном забое, областью применения, устройством основных своих элементов, креплением призабойного пространства и управлением кровлей.

Так, по способу работы струговые установки могут быть разделены на следующие группы: прерывного и непрерывного

действия, одноструговые и многоструговые. Наиболее широко распространены одноструговые установки прерывного действия.

а) **Струговые установки прерывного действия.** На рис. 21 представлены два типа струговых установок прерывного действия. Основными элементами их являются один, два и более

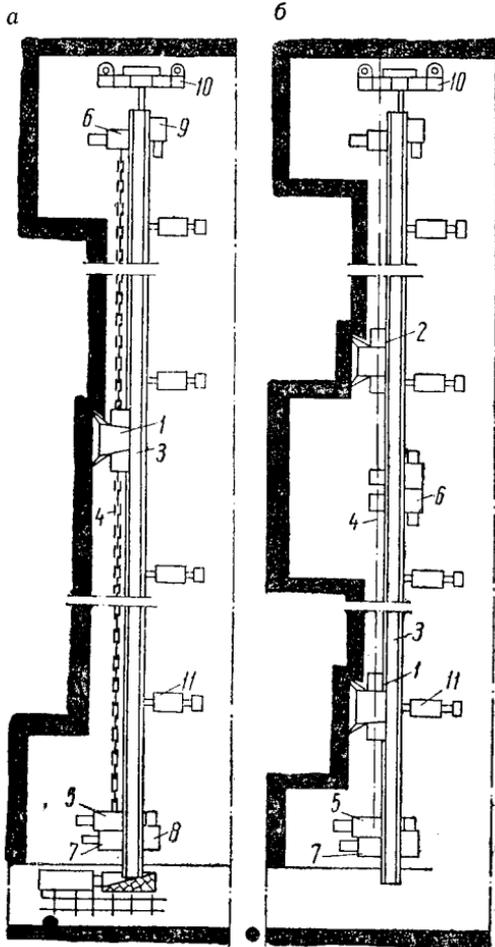


Рис. 21. Типы струговых установок прерывного действия

зубчатых стругов 1 и 2, двух- или трехцепной скребковый конвейер 3, служащий для транспортирования угля из лавы к погрузочному пункту и направления движения струга вдоль лавы, цепной или канатный (реже) тяговый орган 4, приводы 5 и 6 струга, приводы 7, 8 и 9 конвейера, устройство 10 для удержания конвейера от сползания по падению пласта и механизма 11 для передвижки конвейера вместе со стругом к забою после выемки каждой полосы угля, равной ширине захвата струга.

Представленные на рис. 21 струговые установки различаются между собой главным образом количеством работающих стругов и приводов.

Струг может работать как по челноковой схеме, так и в одном направлении, т. е. снизу вверх лавы. Движение струга сверху вниз в последнем случае используется для

зачистки забоя и погрузки угля, остающегося после рабочего хода.

Передвижка конвейера к забою производится либо сразу по всей линии забоя, либо по мере движения струга вдоль лавы. В первом случае применяется жесткий конвейер, во втором — изгибающийся в плоскости пласта. Применение того или другого способа передвижки конвейера зависит от местных горнотехни-

ческих условий работы струга и организации работ в очистном забое. Конвейер передвигается пневматическими или гидравлическими домкратами, которые устанавливаются обычно вдоль линии конвейера через 5—6 пог. м. Они же прижимают конвейер и струг к забою.

В момент передвижки конвейера струг должен находиться в верхнем или нижнем концах лавы, что зависит от способа его работы. На обоих концах лавы делаются ниши, размеры которых определяются размерами приводов конвейера и струга. В этих нишах устанавливается струг перед началом цикла работ и размещаются приводы установки.

Продолжительность рабочего хода струга определяется скоростью его движения и длиной очистного забоя. Что касается паузы в его работе, то продолжительность ее зависит от способа работы струга, порядка и скорости передвижки конвейера и продолжительности реверса привода струга.

В связи с тем, что зубчатые струги обычно имеют большие скорости движения, применение их целесообразно лишь в длинных лавах, так как при этом повышается время работы установки и сокращается относительное время, затрачиваемое на производство маневровых операций.

Струговые установки рассматриваемого типа работают преимущественно на пластах с углями не выше средней крепости. В настоящее время уже известны случаи применения стругов на пластах с крепкими и вязкими углями. Крепление призабойного пространства при струговой выемке производится чаще всего индивидуальными металлическими стойками с шарнирными верхняками. В последнее время применяют также механизированные передвижные крепи.

Струговую установку вместе с механизированным передвижным креплением называют нередко угледобывающим агрегатом. Такой агрегат позволяет осуществить не только безлюдную добычу угля в очистном забое, но и автоматизировать основные механизированные процессы в нем: выемку угля, доставку его к погрузочному пункту, крепление призабойного пространства и управление кровлей.

В Советском Союзе спроектирован и успешно испытан в производственных условиях угледобывающий агрегат А-2. Он состоит из одного зубчатого струга двустороннего действия, двухцепного конвейера и секций гидравлической передвижной крепи. Работа всех этих элементов совмещена во времени и увязана между собой в строгой определенной технологической последовательности.

В странах Западной Европы успешно применяются много-струговые установки прерывного действия. К таким установкам относятся, например, установки системы «Густо» (Голландия) и «Вальсум» (ФРГ).

На рис. 21, б представлена двухструговая установка системы «Вальсум» [20]. Как видно, очистной забой (длиной 230—270 м) разделен общей нишей на две части, в каждой из этих частей работает свой быстроходный зубчатый струг двустороннего действия. Работа стругов в обеих частях забоя может протекать независимо друг от друга.

Один из приводов каждого струга размещен на конце конвейера, а другой — посередине последнего у средней ниши забоя. При этом средние приводы стругов устанавливаются на конвейере таким образом, что они могут быть сдвинуты вдоль его оси вверх или вниз на требуемое расстояние. Этим самым можно изменить длину той или другой части лавы и приспособить работу струга к местным горнотехническим условиям.

Оба струга наваливают отбитый уголь на общий конвейер, приводы которого размещены в верху и в низу лавы. Благодаря этому достигается очень хорошее использование конвейера даже на пластах малой мощности. Передвижка конвейера к забою производится при помощи пневматических домкратов, расположенных вдоль его линии через 5—6 м.

Крепление призабойного пространства осуществляется индивидуальными металлическими стойками с шарнирными верхняками.

При двухструговой установке приходится иметь дополнительных рабочих для устройства средней ниши (длиной 6—6,5 м и глубиной 1—1,5 м) и для обслуживания установки. Это является крупным недостатком двухструговой установки, тем не менее общая трудоемкость работ по лаве, как показывает опыт, несколько снижается по сравнению с одноструговой установкой.

К числу двухструговых установок может быть отнесен угледобывающий агрегат системы «Аббау-Автомат» (рис. 22) фирмы «Байен» (ФРГ). Он состоит из двух быстроходных зубчатых стругов 1 и 2 двустороннего действия, цельнопередвижного конвейера 3 и секций пневмогидравлической передвижной крепи 4.

Один из стругов этого агрегата разрушает угольный забой нижней пачки пласта, а другой — верхней его пачки. Оба струга приводятся в движение бесконечной калиброванной цепью, расположенной в вертикальной плоскости. Высота нижнего струга равна примерно 400 мм, верхнего около 250 мм.

Струги движутся по направляющим из специального профиля, нижняя прикреплена к раме конвейера, верхняя к жестким верхнякам передних секций крепи. Между верхняками в этой направляющей установлены пружины, которые ослабляют эффект передачи динамической нагрузки струга на секции крепи.

По данным фирмы «Байен», этот агрегат может найти применение в благоприятных горнотехнических условиях. Фирмой

предусмотрена также возможность работы агрегата с полной закладкой выработанного пространства. В связи с этим на жестких верхняках задних секций крепи подвешивается специальный трубопровод, служащий для доставки закладочного материала в очистное пространство забоя.

Конвейер и струг передвигаются и прижимаются к забою пневматическими или гидравлическими домкратами. Прижатие пневматическими домкратами дает возможность стругу приспособляться к изменяющейся крепости угля за счет изменения

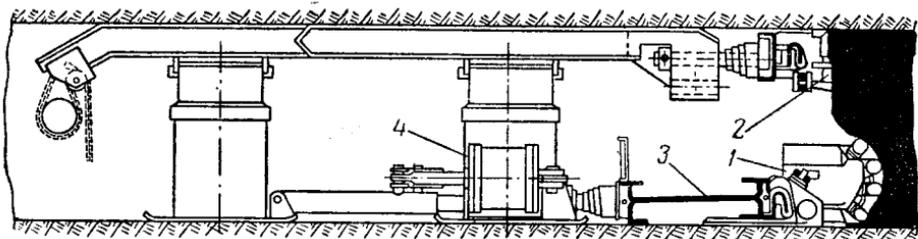


Рис. 22. Двухструговая установка угледобывающего агрегата фирмы «Байен»

глубины захвата, однако при этом с течением времени линия забоя искривляется, что вызывает необходимость периодически производить ее выпрямление. Гидравлические домкраты обеспечивают фиксированное положение конвейера относительно забоя, и струг работает с постоянной глубиной захвата, вследствие чего при неодинаковой крепости угля на разных участках длины забоя он может перегружаться.

б) Струговая установка непрерывного действия. К числу струговых установок непрерывного действия может быть отнесен советский угледобывающий агрегат А-3. Этот агрегат спроектирован Гипроуглемашем и успешно прошел промышленные испытания на шахте № 41 Подмосквовного бассейна и в Кузбассе. Закончившиеся предварительные испытания этого агрегата на шахте «Чертинская-Южная» треста Беловуголь (Кузбасс) [21] показали его высокие эксплуатационные качества (табл. 11).

Таблица 11

| Показатели | Кузбасс, 1960 г. | | Мос- басс, 1959 г. |
|---|------------------|---------|--------------------------|
| | сентябрь | октябрь | май |
| Добыча, т/смену | 260 | 450 | 256 |
| Подвигание, м/смену | 6,2 | 13,0 | 4,1 |
| Производительность труда по участку, т/смену | 43,1 | 75,6 | 25,6 |
| Производительность труда по забою, т/выход | 52,0 | 113,5 | 42,6 |

Агрегат А-3 (рис. 23) состоит из отбойно-доставочного органа, става и секций гидравлической передвижной крепи щитового типа. Став является базой агрегата. Отдельные элементы става соединены между собой шарнирно. Такое соединение их обеспечивает агрегату необходимую жесткость в направлении его подачи на забой и гибкость вдоль линии очистного забоя для приспособления к гипсометрии почвы пласта.

Отбойно-доставочный орган или рабочий орган агрегата представляет собой ряд кареток 1, оснащенных одним или несколькими

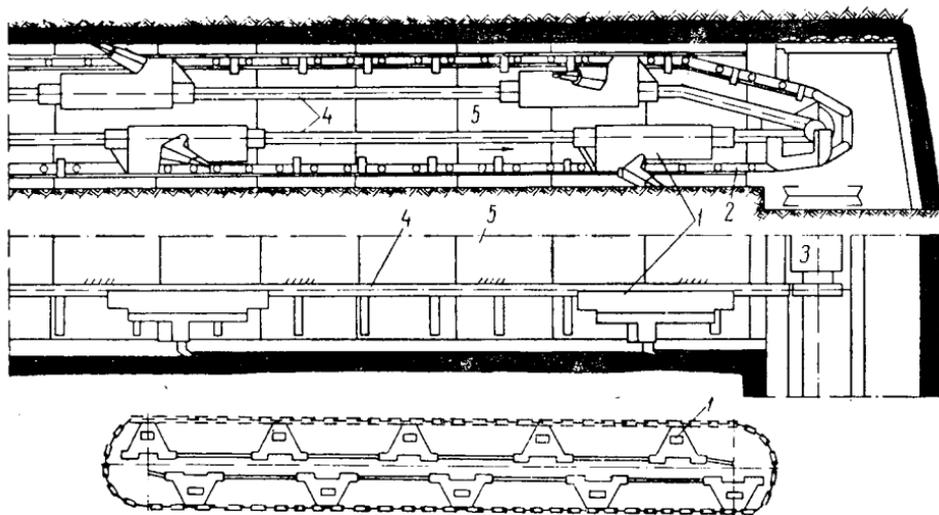


Рис. 23. Многоструговая установка непрерывного действия угледобывающего агрегата А-3

ми резцами и закрепленных на бесконечной длиннозвенной пластинчатой тяговой цепи 2. Эта цепь расположена в вертикальной плоскости и движется со скоростью $1,04 \text{ м/сек}$. Каждая каретка представляет собой своеобразный струг, отделяющий при своем движении уголь от массива пласта. Все резцы размещены по десяти линиям резания. Шаг резания составляет 100 мм .

Тяговая цепь рабочего органа приводится в движение двумя приводами 3, расположенными по одному на каждом конце агрегата. Каретки при этом движутся по трубчатым направляющим 4, шарнирно связанным между собой и закрепленным на вертикальной стенке каждой линейной секции 5 става. Эти направляющие могут перемещаться в вертикальной плоскости для регулирования вынимаемой мощности пласта.

Во время работы став агрегата может непрерывно подаваться на забой при помощи гидравлических домкратов со скоростью $100\text{—}140 \text{ мм/мин}$. При этом резцы кареток отделяют от массива пласта ленту угля толщиной до 80 мм . Одновременно с этим ка-

ретки нижнего ряда и скребки тяговой цепи транспортируют отбитый уголь по лаве к погрузочному пункту.

Агрегат А-3 рассчитан на работу в очистных забоях длиной 40—50 м пологопадающих пластов мощностью 1,6—2,1 м с неустойчивой кровлей и слабой почвой. Он полностью механизмирует основные производственные процессы в лаве и позволяет осуществить добычу угля без присутствия людей в лаве. Управление агрегатом А-3 производится с пульта, вынесенного на штрек.

В 1959—1960 гг. на шахте «Министр Ахенбах 3/4» (Рур)¹ проводились опыты по применению струга на наклонном пласте Президент мощностью 1,35 м. В начале опыта лава имела длину 185 м, а затем была увеличена до 275 м. Струг работал в комплексе с конвейером со складывающимися скребками. За период проведения опытов производительность труда рабочего по лаве колебалась от 5,05 до 7,75 т/смену. Этот опыт свидетельствует о возможности и целесообразности применения в некоторых случаях струговой выемки при разработке наклонных пластов.

Техническая характеристика рассмотренных типов струговых установок и угледобывающих агрегатов приведена в табл. 12 и 13 [22—31].

7. Скрепероструговые установки

Наряду со струговыми установками, в странах Западной Европы для добычи угля в очистных забоях широко внедряются также скрепероструговые установки. Опыт применения их показывает, что они успешно работают преимущественно на пластах мощностью от 0,3 до 0,9 м.

Скрепероструговые установки работают главным образом на пластах с мягкими и средней крепости углями с устойчивой кровлей и почвой пласта. На базе скрепероструговых установок делается попытка осуществить безлюдную добычу угля.

Современная скрепероструговая установка состоит из: 1) одного или нескольких скреперостругов, 2) направляющего и прижимного устройства, 3) привода и системы тяговых канатов или цепей и 4) системы направляющих и поддерживающих роликов.

Работающие скрепероструговые установки на шахтах Чехословакии, Голландии, Бельгии, Франции, Англии и Западной Германии отличаются между собой устройством самого скрепероструга, числом последних в установке, тяговым органом, способом направления движения скрепероструга вдоль линии забоя, креплением угловых блоков в забое, а также размещением силового оборудования [32, 33].

Не вдаваясь в подробности рассмотрения всех этих устройств,

¹ Gluckauf, 1961, № 5.

Техническая

| Тип струга, страна, фирма | Мощность пласта, м | Длина лавы, м | Тип рабочего органа | Захват, мм | |
|---|--------------------|---------------|---------------------------------|------------|-----------|
| | | | | глубина | высота |
| КС-2М, СССР | 1,0—2,1 | 120 | Зубчатый | 70—130 | 890—1700 |
| А-2, СССР | 0,83—1,3 | 50—80 | То же | 40—100 | — |
| А-3, СССР | 1,6—2,1 | 40—50 | » | До 80 | — |
| УС-4, СССР | 0,75—1,4 | 100—140 | Ступенчатый со сплошными ножами | 200 | 580—750 |
| УСБ-1, СССР | 0,9—1,7 | До 150 | Зубчатый | 50—150 | — |
| УСБ-2, СССР | 0,9—1,7 | До 150 | То же | 75—150 | — |
| «Леббе», ФРГ, «Вестфалия-Люнен» | 0,4—2,0 | 140—200 | » | 50—150 | 0,45—0,75 |
| «Короткий», ФРГ, «Вестфалия-Люнен» | | 120 | » | 50—150 | — |
| «Низкий», ФРГ, «Вестфалия-Люнен» | 0,4 | — | » | 50—150 | 350 |
| «Министр-Штейн», ФРГ, «Вестфалия-Люнен» | 0,85—1,2 | 160—180 | » | 50—150 | — |
| «Призматический», ФРГ | 0,6—3,0 | | » | 50—150 | — |
| «Бранд», ФРГ, «Бранд» | 0,85 | 145 | » | 250 | 500 |
| «Байен», ФРГ, «Байен» | — | 180 | » | 100—180 | — |
| «Байен», ФРГ, «Байен» | 1,0 | 180 | » | 140—180 | 610 |
| ЦМН, ГДР | 1,1—1,2 | 65 | » | 50—150 | 580 |
| «Густо», Голландия, «Густо» | — | 120 | » | 25—80 | — |
| «Родбод», ФРГ | 1,9—2,1 | — | Ступенчатый со сплошными ножами | 280 | — |
| «Шраммхобель», ФРГ, «Демаг» | 0,7—1,5 | 140—180 | То же | 150—300 | — |
| «Кемпел-Ричи», Англия | — | 180 | » | 200—300 | — |
| «Стандартный», ФРГ | 0,5—1,0 | | Сплошные ножи | 150—300 | 610 |

Таблица 12

характеристика стругов

| Размеры струга, мм | | | Тип тягового органа | Сила тяги, т | Скорость движения струга, м/сек | Двигатели струга | | |
|--------------------|--------|----------|---------------------|--------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| длина | ширина | высота | | | | тип | количество, мощность, квт | соединение с редуктором |
| 3600 | 430 | 890—1800 | Цепной | 20,0 | 0,8—0,4 | Электрический | 2×50 | — |
| — | — | — | То же | 29 | 0,7 | То же | 1×90 | Гидромуфтами |
| — | — | — | » | 20 | 1,04 | » | 2×120 | — |
| 5456 | 570 | — | Канатный | 40 | 0,12 | » | 2×25 | Жесткое |
| 1980 | 410 | 700—1500 | Цепной | 22 | 0,377 | » | 2×32 | Гидромуфтами |
| 2280 | 440 | 600—1100 | То же | 22 | 0,48—0,56 | » | 2×32 | То же |
| 2000 | 400 | 350—750 | » | 18—20 | 0,38 | » | 2×33 | — |
| — | — | — | » | 22 | 0,4 | » | 1×42 | — |
| — | — | 350 | » | 15 | 0,4 | » | 2×23 | Гидромуфтами |
| — | — | — | » | 22 | 0,4 | » | 2×33 | То же |
| — | — | 870 | » | — | — | — | — | — |
| 2700 | 500 | 500 | » | 12 | 0,29 | Электрический | 2×33 | Гидромуфтами |
| — | — | 610 | Канатный | 14,5 | 0,34 | Пневматический или электрический | 2×40 2×70 | — |
| — | — | 610 | Цепной | — | 0,25 | Пневматический | 2×50 | — |
| 2000 | 445 | 430—580 | » | 20 | 0,39 | Электрический | 1×38 | Гидромуфтами |
| 1000 | 140 | 350 | Канатный | — | 0,41—0,5 | — | 2×50 | То же |
| 6100 | — | — | То же | — | 0,11—0,2 | — | 2×32 | — |
| 7000 | 460 | — | » | 25—30 | 0,09—0,17 | — | 2×25 | — |
| 4005 | — | 450 | » | — | 0,1—0,14—0,2 | Электрический | 2×33 1×14 | — |
| 400 | 710 | 610 | » | 30 | 0,1 | То же | 2×34 | — |

Техническая характеристика конвейеров и механизмов их передвижки для струговых установок

| Тип струга | Конвейер струговой установки | | | | | Механизм передвижки конвейера | | | | Крепление |
|-------------------------|---|--|--|--|--|-------------------------------|----------------------------------|---------------------|--|-----------|
| | тип | тип двигателя | количество приво- дов, мощность, квт | скорость цепи кон- вейера, м/сек | расчетная производи- тельность, м ³ /ч | тип | давле- ние до- жрат, кг | ход порш- ня, мм | | |
| КС-2М | Скреповый цепной | Электри- ческий | 2X32 | 0,91 | До 300 | Гидравлические домкраты | — | — | Индивидуальные ме- таллические стойки с шарнирными верхняками | |
| А-2 | То же | То же | 1X32 | 0,90 | 186 | То же | — | — | Гидравлическое пе- редвижное | |
| А-3 | Цепной с консоль- ными скрепками | » | — | 1,04 | 200 | » | — | — | То же | |
| УС-4 | Скреповый двух- цепной | » | 1X25 | 0,65 | 100—150 | Пневматические домкраты | 1270 | 220— 280 | Индивидуальные ме- таллические стой- ки | |
| УСВ-1 | То же | » | 2X32 | 0,95 | 260 | То же | До 1500 | 600 | То же | |
| «Лебедь» | Скреповый двух- цепной или трех- цепной | » | 3X33 | 0,75 0,72 | До 300 | » | 1100 | 700 | Индивидуальные ме- таллические стойки, гидростойки с шар- нирными верхняка- ми | |
| «Министр- Штейн» | Скреповый двух- цепной | » | 3X33 | — | — | Гидравлические домкраты | — | — | Индивидуальные ме- таллические стой- ки с шарнирными верхняками | |
| «Бранд» | То же | » | 3X33 | — | — | Пневматические домкраты | — | — | То же | |
| ЦМН | » | » | — | — | — | То же | — | 700 | » | |
| «Густо» | » | — | — | 0,5—1,0 | 100 | » | — | — | » | |
| «Родбод» | Скреповый двух- цепной | Электри- ческий пневмати- ческий | 3X42 2X32 | — | — | — | — | — | Индивидуальные ме- таллические стойки с шарнирными верхняками | |
| «Стандарт- ный», ФРГ | То же | Электри- ческий | — | — | — | Пневматические домкраты | — | — | — | |

Отметим лишь особенности направления движения и прижатия к забою скреперостругов. По этому признаку скрепероструговые установки могут быть условно разделены на два вида: 1) с жесткими направляющими проводниками и 2) без направляющих проводников.

а) Скрепероструговые установки с жесткими направляющими проводниками. Скрепероструговые установки с жесткими направляющими проводниками применяются преимущественно на пологопадающих пластах. Схема одной из таких установок в качестве иллюстрации приведена на рис. 24. В очистном забое работает одновременно один или несколько скреперостругов 1, 2 и 3. Количество скреперостругов зависит от длины забоя и от других местных горнотехнических условий.

Во многоскрепероструговой установке скрепероструги распределены по длине забоя с определенными интервалами (12—18 м). Скрепероструги связаны между собой тяговыми канатами или цепями и при помощи приводов 4 и 5, установленных в нижнем и верхнем штреках, совершают челноковое движение.

Скрепероструг представляет собой ящик, открытый снизу, сверху и спереди. Задняя стенка скрепероструга подвешена на шарнирах и может открываться только во внутрь его. На боковой стенке скрепероструга со стороны забоя укреплены резцы, которыми

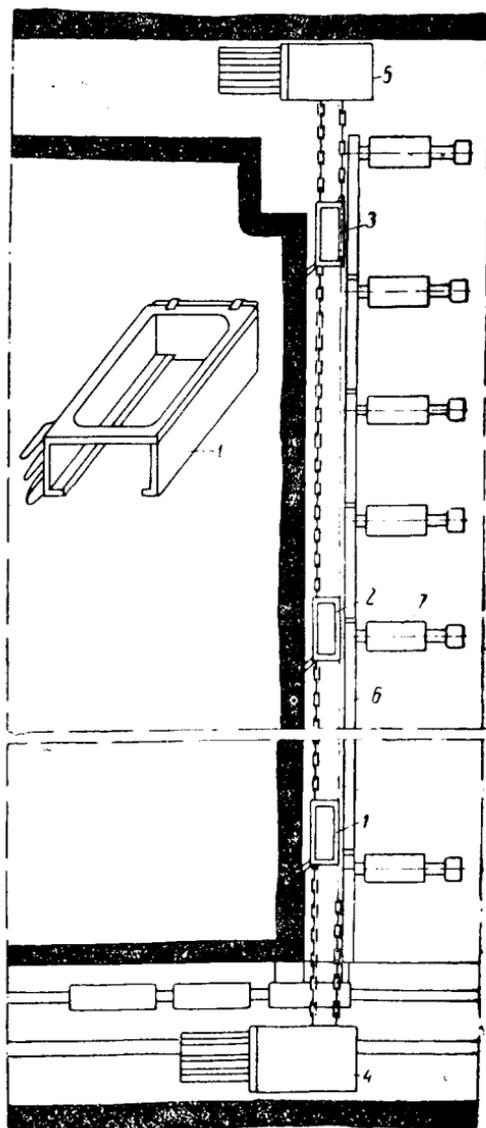


Рис. 24. Схема скрепероструговой установки с жестким направляющим устройством

разрушается угольный забой нижней пачки пласта. Опыт показывает, что высота подрубки пласта резцами скрепероструга не должна превышать 40—50% мощности его и должна быть тем больше, чем больше мощность пласта. Емкость скрепероструга колеблется от 0,5 до 1,0 м³.

Во время работы скрепероструг прижимается к забою жестким направляющим проводником *б* при помощи пневматических домкратов *7*, расположенных вдоль линии забоя через определенные интервалы (4—5 м). Направляющий проводник собирается из отрезков стандартных швеллеров длиной около 4—5 м, соединяющихся между собой при помощи двух шарниров, что допускает горизонтальное и вертикальное перемещение их. Скрепероструг движется по задней стенке швеллера, а его желоб используется для защиты шлангов сжатого воздуха, сигнальных проводов и т. д.

Пневматические домкраты проводника скрепероструга имеют обычно индивидуальное управление. Жесткое направляющее устройство скрепероструговой установки является достаточно сложным и мало удобным в эксплуатации. Поэтому в последнее время все чаще встречаются струговые установки без направляющих устройств.

При движении к погрузочному пункту скрепероструги разрушают угольный забой, захватывают отбитый уголь и оставляют его в конечном пункте своего хода. При обратном движении и проходе над углем, отбитым вышерасположенными скреперостругами, задние стенки скреперостругов приподнимаются, оставляя этот уголь позади себя. Следующее движение скреперостругов в направлении к погрузочному пункту сопровождается захватом оставленного угля. Таким образом, отбитый уголь передается от одного скрепероструга к другому до погрузочного пункта. Для того чтобы скрепероструги могли захватывать уголь, оставленный при предыдущем рабочем ходе, длина хода их должна быть равна интервалу между ними плюс 4—5 м.

б) Скрепероструговые установки без направляющих проводников. Скрепероструговые установки без направляющих проводников все чаще и чаще встречаются на шахтах Западной Европы, так как они отличаются большей простотой и их легче обслуживать. Эти установки работают на угольных пластах с разными углами падения и преимущественно на углях не выше средней крепости или на крепких пластах, но с ясно выраженными трещинами кливажа и наличием в них прослоек породы.

На рис. 25 показана одна из таких установок, применяемая на шахтах Бельгии при разработке тонких крутопадающих пластов. Эта установка системы «Порт ЭГардэн» состоит из одного скрепероструга *1* ящичного типа, оснащенного со стороны забоя с обоих концов мощными резцами, двухбарабанной лебедкой *б* тяговыми канатами *2* и *3* и направляющими блоками *4* и *5*,

укрепленными в нижнем и верхнем концах лавы на сопряжениях со штреками.

Как видно, благодаря дугообразной форме лавы струг прижимается к груди забоя составляющей тягового усилия канатов, соответствующего крепления канатов к скреперостругу и размещения направляющих блоков, а также частично, за счет собственного веса скрепероструга. Опытами установлено, что стрела провеса дугообразной формы забоя должна составлять 2400—2750 мм, при которой обеспечивается достаточное давление скрепероструга на забой.

Скрепероструг работает обычно сверху в низ лавы, отделяя при этом от массива пласта полосу угля толщиной 10—40 мм.

Успешная работа скрепероструговой установки зависит во многом от правильного и надежного крепления направляющих блоков канатов, поэтому установке и креплению этих блоков должно уделяться большое внимание. Особенно это относится к тому случаю, когда одновременно в лаве работает несколько скреперостругов, приводимых в действие одной лебедкой повышенной мощности. Максимальная производительность установки достигается при расположении тяговой лебедки в откаточном штреке, при этом улучшаются и условия работы машиниста установки.

Следует отметить, что при канатном тяговом органе наблюдается уход скреперостругов к кровле пласта. По этой причине, а также вследствие большого износа канатов, они во многих установках заменены калиброванными цепями.

При цепном тяговом органе основной привод скрепероструга размещается на нижнем штреке, а вспомогательный на верхнем

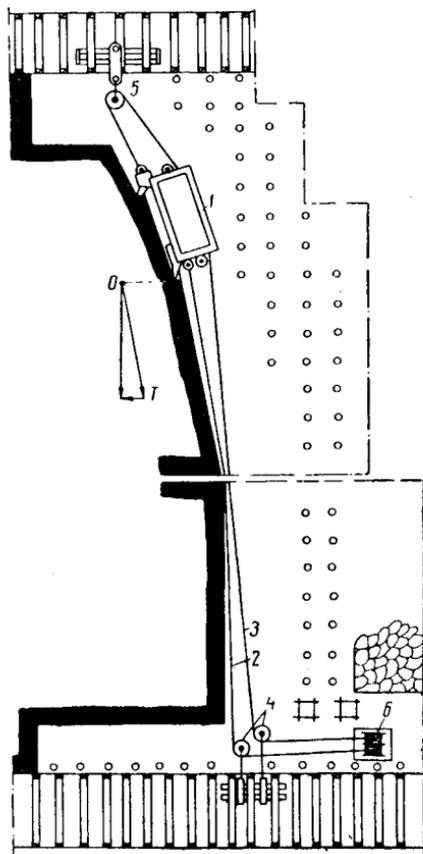


Рис. 25. Схема скрепероструговой установки с гибким направляющим устройством

штреке непосредственно у лавы. При таком расположении приводов значительно упрощается скрепероструговая установка и повышается надежность ее работы, так как отпадает необходимость в установке угловых блоков.

В табл. 14 приведена техническая характеристика некоторых типов скрепероструговых установок.

Таблица 14

| Показатели | Скрепероструги, фирма, страна | | | |
|---|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------------|
| | v S 240—E Чехословакия | «Густо», Голландия | «Порт э Гар- дэн», Бельгия | «Хаарманн», Голландия |
| Мощность пласта, м . . . | До 0,6 | 0,3—0,9 | 0,4—0,8 | 0,6—1,0 |
| Длина лавы, м | До 130 | 130 | 50—80 | 145 |
| Тип рабочего органа . . . | | Зубчатый | | |
| Глубина захвата, мм . . . | 10—40 | 12—60 | 10—40 | 60—120 |
| Длина, мм | 2700—4620 | 2200—3500 | — | 3200—2700 |
| Ширина, мм | 960 | 600—1100 | — | 840 |
| Высота, мм | 280—400 | 200—600 | — | 360 |
| Сила тяги, кг | 410—6250 | — | 1600 | — |
| Тип тягового органа . . . | Цепной | | Канатный | |
| Скорость движения, м/сек | 0,78—1,19 | 0,9 | 1,25—1,8 | 0,67 |
| Тип двигателя привода | | Электрический | | |
| Количество двигателей, мощность, квт | 2×30 | 74—220 | 23,5—42 | 1×165 |

Рассмотренные выше схемы скрепероструговой добычи угля в очистном забое имеют следующие основные преимущества:

1. Простота оборудования очистного забоя.
2. Возможность механизированной разработки весьма тонких пластов с любым углом падения.
3. Возможность безлюдной добычи угля.

Однако эти установки обладают рядом недостатков, к числу которых надо отнести следующие:

- 1) Весьма ограниченная область применения (пласты с углями не выше средней крепости).
2. Односкрепероструговые установки эффективно работают только в коротких лавах (40—50 м); в лавах большей длины требуется установка с несколькими скреперостругами.

8. Установки угольных пил

В результате изыскания более простых и надежных средств механизации разработки крутопадающих пластов был предложен и конструктивно разработан (1949—1960 гг.) [34—39] ряд так называемых угольных пил и их установок. Большинство угольных пил представляет собой по существу струг весьма облегченной конструкции и приспособленный для работы на тонких крутопадающих пластах.

Современные установки угольных пил состоят из: 1) угольной пилы (челнока), 2) привода с системой тяговых канатов или цепей, 3) системы прижимных приспособлений и направляющих роликов. Эти установки отличаются друг от друга конструкцией челнока, видом тягового органа, типом привода и способом его расположения и креплением системы направляющих роликов и блоков.

Техническая характеристика некоторых установок угольных пил приведена в табл. 15.

Таблица 15

| Показатели | Угольные пилы | | |
|--|----------------|----------------------------|---------------------|
| | УВК-1, СССР | «Альтер-Хель- вег», ФРГ | «Нейенбург», ФРГ |
| Мощность пласта, <i>м</i> | 0,3—0,7 | 0,45—0,6 | 0,3—1,0 |
| Длина лавы, <i>м</i> | 100 | 50—80 | 80—100 |
| Тип рабочего органа | | Резцовый | |
| Глубина захвата, <i>мм</i> | 10—20 | 70 | 10—20 |
| Высота захвата, <i>мм</i> | 300 | — | 300 |
| Длина, <i>мм</i> | — | — | 2400 |
| Ширина, <i>мм</i> | — | — | 660 |
| Высота, <i>мм</i> | 300 | — | 300 |
| Сила тяги, <i>кГ</i> | — | 4800 | 1000 |
| Тип тягового органа | Канатный | Цепной | Канатный |
| Скорость движения, <i>м/сек</i> | 1,2—1,5 | 0,75 | 0,7 |
| Тип двигателя привода | | Пневматический | |
| Количество двигателей, мощность, <i>л. с.</i> | 2×30 | 1×32 | 2×20 |

На рис. 26, *а* показана схема установки угольной пилы с цепным тяговым органом. Челнок 1 представляет собой металлическую конструкцию, оснащенную со стороны забоя резцами, поворачивающимися в плоскости пласта, что дает возможность разрушать им угольный забой при движении челнока вдоль линии забоя в обоих направлениях.

К концам корпуса челнока прикреплена калиброванная цепь 2, при помощи которой он движется по лаве. Эта цепь огибает угловой блок 3, прикрепленный к канату 4. Последний, в свою очередь, огибает угловой блок, прикрепленный к балке 5, устанавливаемой неподвижно. Калиброванная цепь приводится в движение при помощи тяговой звездочки 6, пневматического привода 7, при этом тяговая ветвь проходит внутри челнока. Посредством ручной лебедки 8 и закрепленного на ее барабане каната 4 создается необходимое усилие прижатия челнока к забояю. В целях лучшего прижатия челнока к забояю целесообразно придавать верхней части лавы дугообразную форму.

При движении челнок разрушает нижнюю пачку пласта мощностью, равной его высоте, верхняя пачка пласта при этом разрушается под влиянием горного давления и собственного веса или при помощи дополнительных резцов — скальвателей.

По мере подвигания лавы привод угольной пилы перемеща-

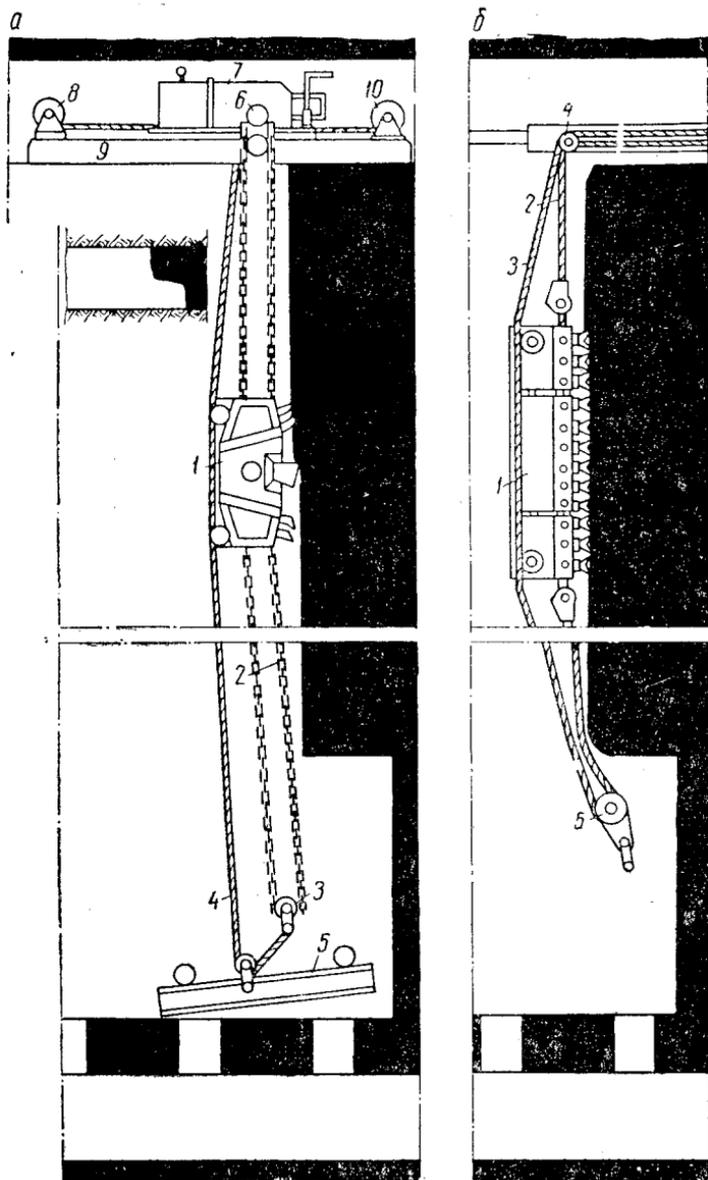


Рис. 26. Схемы установок угольных пил с цепным (а) и канатным (б) тяговым органом

ется при помощи вспомогательной пневматической лебедки 10 по специальным направляющим 9, сделанным в виде салазок. Балка 5 с угловыми блоками переносится периодически вручную и укрепляется на новом месте между кровлей и почвой пласта.

Привод челнока снабжается концевыми выключателями, устанавливаемыми в соответствующих местах на концах лавы. Эти выключатели позволяют осуществлять его передвижку по мере подвигания забоя.

Установка угольной пилы может работать в некоторых случаях без крепления призабойного пространства. Такие установки позволяют осуществить безлюдную добычу угля.

На рис. 26, б показана установка УВК-1, сконструированная и изготовленная Горловским машиностроительным заводом им. С. М. Кирова в 1957 г. Установка УВК-1 в принципе не отличается от установки с угольной пилой «Нейенбург». Различие между ними состоит лишь в конструктивном оформлении отдельных узлов.

На базе установки УВК-1 Горловский машиностроительный завод им. С. М. Кирова разработал комплекс машин КБС, позволяющий механизировать выемку угля и управление кровлей с полной закладкой выработанного пространства. Для ограждения призабойного пространства от попадания породы служит сетка. Последняя удерживается в выработанном пространстве, монтируется и передвигается по мере подвигания лавы с помощью специальных механизмов. Таким образом, комплекс КБС не только механизует основные производственные процессы в очистном забое, но и позволяет организовать добычу угля без постоянного присутствия рабочих в лаве.

Угольная пила или челнок УВК-1 представляет собой сварную раму, состоящую из трех шарнирных секций. На средней секции укреплено шесть, а на крайних по три кулака. В каждом кулаке укреплено по два зубка, острия которых направлены в противоположные стороны. Зубки устанавливаются в кулаках по пятилинейной схеме. Кулаки челнока могут автоматически поворачиваться на осях в плоскости пласта при перемене направления движения челнока вдоль линии забоя.

Движение челнока 1 вдоль линии забоя осуществляется посредством канатов 2 и 3, которые навиваются поочередно на барабаны тяговой лебедки. Последняя устанавливается на вентиляционном штреке впереди лавы на 25—30 м и передвигается 1—2 раза в месяц. При движении челнок прижимается к груди забоя канатом 3. Канаты 2 и 3 опираются на угловые блоки 4 и 5. Блок 4 закрепляется на подвижной каретке и располагается на верхнем штреке вблизи забоя лавы. Передвижка блока при подаче пилы на забой осуществляется ручной червячной лебедкой, которая находится у пульта управления установки. Длина

хода каретки (4 м) обеспечивает перестановку блока 4 не чаще одного раза в сутки.

В нижней части лавы располагается концевой блок 5, который прикрепляется цепью к упорной стойке, устанавливаемой на несколько метров ниже и впереди уступа, для обеспечения лучшего прижатия челнока к забойу.

Челнок делает в пласте угля вруб высотой 90 мм и глубиной 350 мм. Для отделения верхней пачки пласта над врубом на челноке предусмотрены два скальвателя, расширяющие вруб до 300 мм.

Путем регулирования наклона челнока относительно почвы при помощи винтовой пары исключается возможность ухода его в почву или в кровлю. Однако следует заметить, что такой способ регулирования является недостаточно эффективным.

Опыт эксплуатации канатных угольных пил показывает, что они обладают рядом существенных недостатков, к числу которых относятся, например, следующие:

1. При работе челнока в обоих направлениях вдоль забоя в сбегавшей ветви каната возникает достаточно большое тормозное усилие, снижающее к. п. д. установки.

2. Благодаря разности усилий в рабочей и холостой ветвях создается опрокидывающий момент челнока, который повышается при движении челнока сверху вниз лавы за счет составляющей его веса.

3. Вследствие эксцентричного положения прижимной ветви каната на направляющих роликах челнока по отношению к почве создается опрокидывающий момент, который стремится повернуть челнок на забой и заставить его уйти в почву пласта.

4. Крепление призабойного пространства приходится производить в основном деревянными стойками вручную.

Как показывает опыт разработки крутопадающих пластов в Донбассе, на креплении призабойного пространства и управлении кровлей занято около 60% рабочих лавы. Отсюда вытекает необходимость создания таких угледобывающих комплексов для разработки крутопадающих пластов, которые позволили бы механизировать все производственные процессы в очистном забое и осуществлять работу их без постоянного присутствия людей в лаве.

В настоящее время большую работу по созданию таких комплексов проводят проектно-конструкторские и исследовательские организации, а также СКБ заводов угольного машиностроения. Так, например, в настоящее время создается агрегат АКД для разработки на шахтах Донбасса крутопадающих пластов мощностью от 0,85 до 1,4 м.

В состав этого агрегата входят быстроходный струг, гидравлическая механизированная крепь, транспортирующее устройство

и другое оборудование, работа которых связана между собой кинематически и технологически.

Такой комплекс угледобывающих машин позволяет осуществить поточную и автоматизированную добычу угля на крутопадающих пластах без постоянного присутствия людей в лаве.

9. Измельчение угля и пылеобразование при работе струга

В связи с ростом механизированной выемки угля на наших и зарубежных шахтах происходит значительное увеличение выхода мелких сортов угля [40, 41, 42, 53]; за последние три десятилетия выход угольной мелочи возрос почти в 2 раза и достигает во многих случаях 60%.

Опыт показывает, что важнейшими причинами увеличения выхода мелких сортов углей являются: нерациональные конструкции рабочих органов многих угледобывающих машин и режимы их работы, а также широкое применение взрывчатых материалов для отбойки угля и предварительного рыхления угольного массива пласта. По исследованиям НИИУглеобогащения и б. ВУГИ в среднем выход штыба при работе комбайнов и врубовых машин характеризуется данными, приведенными в табл. 16.

Таблица 16

| Тип машины | «Донбасс-1» | «Горняк» | «Шахтер» | УТК-2 | Врубовая машина |
|-----------------------|-------------|----------|----------|---------|-----------------|
| Выход штыба 0—6 мм, т | 35 | 40 | 42 | 33—47,2 | 26 |

При работе этих машин на крепких углях, где нередко приходится прибегать к взрывным работам, выход штыбов увеличивается даже от врубовых машин.

По данным б. ВУГИ, только режущая цепь врубовой машины дает выход штыба крупностью 0—8 от 5,4 до 12%. Особенно сильно измельчают уголь кольцевые грузчики, установленные на комбайнах «Донбасс-1», «Горняк», УКТ-2 и т. д.

По сравнению с комбайновой выемкой струговая выемка обеспечивает наибольший выход крупнокусковатого угля. Это подтверждают результаты испытаний быстроходного струга фирмы «Вестфалия-Люнен» (ФРГ) на шахте № 27 треста Снежнянантрацит Донбасса (табл. 17).

Таблица 17

| Крупность угля, мм | Выход по классам, % | | | |
|--------------------|---|--|---------------------|------------------|
| | Струговая лава | | Комбайновая лава | |
| | при захвате $h=100-150$ мм и высоте струга 0,55 м | при захвате $h=50-100$ мм и высоте струга 0,65 м | комбайн «Донбасс-1» | комбайн «Горняк» |
| +25 | 65,8 | 33,7 | 24,6 | 23,5 |
| 6—9 (штыб) | 18,7 | 28,9 | 38,8 | 42,8 |

Табл. 17 показывает, что сортность угля в большой степени зависит от глубины захвата стругом. С увеличением захвата повышается выход более крупных классов угля. Поэтому работа стругом с большим захватом выгоднее по сравнению с малым захватом.

О большом преимуществе струговой выемки угля по сравнению с комбайновой свидетельствуют данные (табл. 18), полученные при испытании отечественного струга УСБ-1 и некоторых типов выемочных машин на шахтах Донбасса.

Таблица 18

| Крупность угля, мм | Выход классов угля, % | | | | |
|-----------------------|--------------------------------|------------------------|--|-------------|--------------------|
| | Шахта № 27 Снежин- антрацит | | Шахта № 1—2 им. Войкова Свердловуголь | | |
| | Струг УСБ-1 | Комбайн «Донбасс-1» | Струг УСБ-1 | Комбайн ЛГД | Врубмашин КМП-3 |
| +150 | 6,7 | 6,0 | 12,5 | 1,3 | 10,4 |
| 150—100 | 8,6 | 7,3 | 5,2 | 2,3 | 4,5 |
| 100—50 | 7,8 | 7,4 | 7,2 | 9,4 | 9,2 |
| 50—25 | 11,3 | 8,8 | 15,5 | 13,7 | 15,6 |
| 25—13 | 17,9 | 16,5 | 12,5 | 15,0 | 11,1 |
| 13—6 | 15,3 | 11,4 | 12,7 | 15,9 | 13,9 |
| 6—0 | 32,6 | 42,4 | 25,9 | 38,9 | 31,5 |

Аналогичные результаты получены также при испытании агрегата А-3 и комбайнов «Донбасс-1» и К-52М на шахте «Чертинская-Южная» (Кузбасс) в 1960 г. (табл. 19).

Таблица 19

| Крупность угля, мм | Выход классов угля, % | | |
|-----------------------|-----------------------|-------------|-------|
| | Агрегат А-3 | Комбайны | |
| | | «Донбасс-1» | К-52М |
| +25 | 31,6 | 25 | 11 |
| 6,0—0 | 28,2 | 27 | 35 |

Во время испытаний струга на шахте № 27 была исследована также запыленность атмосферы струговой и комбайновой лав в целях получения сравнительных данных; обе эти лавы имели аналогичные горногеологические условия.

В результате проведенных исследований обнаружилось, что количество образующихся частиц пыли (размером до 1,5 мк) при работе комбайна «Донбасс-1» в 2—2,5 раза превышает количество таких же частиц, образующихся при работе струга. Количество частиц размером более 1,5 мк в обоих случаях почти одинаково.

При работе струга образование и поступление пыли в воздух происходит более или менее равномерно по всей длине лавы, запыленность воздуха при этом составляет в среднем 366 мг/м³. При выемке угля комбайном «Донбасс-1» концентрация пыли бо-

лее значительна по всей длине лавы, особенно около комбайна и при пахождении его внизу лавы.

Аналогичные результаты получены при наблюдениях в струговых и комбайновых лавах зарубежных шахт.

10. Эффективность применения струговых установок

Как известно, естественные условия залегания угольных пластов весьма разнообразны не только в разных районах нашей страны, но и нередко в одном и том же угольном бассейне и даже шахте. В связи с этим применяют разные методы разработки угольных пластов и различные угледобывающие машины. Поэтому возникает необходимость выбора того или иного типа угледобывающей машины для определенных горногеологических условий работы. Для этого требуется прежде всего установить критерий для выбора угледобывающей машины, т. е. критерий эффективности ее применения.

Опыт показывает, что основными показателями эффективности применения угледобывающей машины являются: 1) стоимость машины, 2) срок окупаемости машины, 3) суточная добыча участка, где работает машина, 4) сменная производительность машины, 5) сменная производительность рабочего по забюю, 6) качество добываемого угля, 7) себестоимость единицы добытого угля и 8) безопасность труда в забюю.

Таким образом, при выборе угледобывающей машины задача сводится к определению по существу экономической эффективности ее применения в данных горногеологических и горнотехнических условиях работы. Экономически эффективной будет та из рассматриваемых угледобывающих машин, которая обеспечивает максимальный суточный выход из забюю продукции высокого качества, максимальную производительность рабочих по забюю и минимальную стоимость единицы добываемого угля и т. д.

К сожалению, пока еще отсутствует общепризнанный метод исчисления экономической эффективности применения угледобывающих машин. Поэтому при выборе средств механизации очистного забюю приходится пользоваться методом вариантов, используя при этом производственные данные по стоимости оборудования, производительности труда и себестоимости добываемой продукции и т. д.

Важнейшими преимуществами струговой выемки являются более высокая производительность очистного забюю, высокое качество добываемого угля, малая стоимость добытого угля и т. д.

Сравнительные данные по производительности наиболее распространенных в Англии угледобывающих машин приведены в табл. 20. За основу для сравнения приняты: шестичасовая рабочая смена, длина лавы 219 м, мощность пласта 0,91 м.

Таблица 20

| Тип машины | Глубина захвата, м | Скорость движения машины, м/мин | Подвигание забоя в смену, м | Добыча угля в смену, т | Производительность | |
|------------------------------------|--------------------|---------------------------------|-----------------------------|------------------------|--------------------|------------------|
| | | | | | т/мин | относительная, % |
| Струг «Леббе» | 0,1 | 22,86 | 3,66 | 813 | 3,048 | 100 |
| Струг ударного действия | 0,1 | 12,19 | 2,44 | 538 | 1,504 | 53 |
| Комбайн «Меко-Мур» . . | 1,52 | 0,69 | 1,52 | 335 | 1,280 | 45 |
| Комбайн «Андертон» . . | 0,51 | 2,13 | 1,52 | 335 | 1,321 | 47 |
| Комбайн «Глостер-Геттер» | 0,76 | 1,22 | 1,52 | 335 | 1,128 | 40 |

Из таблицы видно, что при сравнении расчетной производительности стругов и комбайнов преимущество остается за стругами. Оно объясняется главным образом большой скоростью рабочего хода струга и применением простых быстродействующих реверсирующих и других устройств, позволяющих до минимума сократить продолжительность цикла работы струга.

По 38 струговым лавам на английских шахтах средняя производительность труда на выход рабочего по забою в первом полугодии 1958 г. составила 5,47 т, а на отдельных шахтах в период 1958—1960 гг. она достигла 10—13,5 т. В то же время производительность труда на выход рабочего по забою при выемке угля комбайнами «Меко-Мур» составила 6,31 т, «Андертон» — 6,64 т и «Глостер-Геттер» — 6,01 т.

На одной из шахт США на пласте мощностью 0,89 м средняя скорость подвигания забоя при струговой выемке достигла 4,27 м в смену, а средняя производительность труда на выход рабочего по забою при этом составила 17,37 т.

Максимальная скорость подвигания очистного забоя при струговой выемке угля была достигнута в Голландии, а именно, 11,25 м в сутки.

Таким образом, при струговой выемке легко может быть достигнута бо́льшая нагрузка на очистной забой и значительная экономия средств на тонну добытого угля. Это подтверждают средние показатели суточной добычи угля и производительности труда на выход рабочего по забою 75 струговых лап на шахтах ФРГ, приведенные в табл. 21.

Таблица 21

| Тип струга | Число установок | Среднесуточная добыча, т | Средняя производительность труда на выход рабочего по забою, т |
|---|-----------------|--------------------------|--|
| Струг быстроходный «Вестфалия-Люнен» . . . | 52 | 452 | 6,471 |
| Струговая установка системы «Вальсум» . . . | 21 | 465 | 6,553 |
| Струг ступенчатый . . . | 2 | — | 4,978 |

В последнее время на шахте «Вальсум» (ФРГ) производительность струговой установки системы «Вальсум» достигает 1280 *т/сутки*, а производительность труда рабочих по лаве составляет при этом около 12 *т* на выход.

В период опытной эксплуатации струговой установки КС-2М на пласте Чертинском-2 шахты «Чертинская-1» треста Беловуголь (Кузбасс) производительность труда на выход по забойной группе рабочих составила 9—14 *т*. При этом максимальная месячная добыча угля достигала 14 230 *т*, а подвигание лавы — до 63,8 *м*. Хорошие показатели работы струга КС-2М были достигнуты также в период опытной эксплуатации его на шахте «Журинка-3» треста Ленинуголь (Кузбасс).

В табл. 22 представлены показатели за три месяца работы быстроходного струга системы «Леббе», комбайнов «Донбасс-1» и ДУ-1 и струговой установки УСБ-1 практически в одинаковых горногеологических условиях пласта Кащеевский шахты № 27 треста Снежнянантрацит (Донбасс).

Таблица 22

| Показатели | Струги | | Комбайн «Донбасс-1» | | | | Комбайн ДУ-1 |
|---|-------------------|------------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| | УСБ-1 | Леббе | 9 | 7 | 9 | 10 | 8 |
| | 10 восточная лавы | 10 западная лавы | западная лавы | восточная лавы | восточная лавы | восточная лавы | |
| Мощность пласта, <i>м</i> | 0,93 | 0,93 | 0,91 | 0,94 | 0,97 | 0,99 | 0,94 |
| Длина лавы, <i>м</i> | 180 | 137 | 116 | 193 | 205 | 148 | 187 |
| Подвигание забоя в смену, <i>м</i> | 1,1 | 1,05 | 0,504 | 0,25 | 0,2 | 0,428 | 0,167 |
| Среднесуточная добыча лавы, <i>т</i> | 360 | 257 | 264 | 230 | 220 | 335 | 187 |
| Среднесменная добыча лавы, <i>т</i> | 180 | 208 | 87,8 | 76,4 | 73 | 112 | 62 |
| Производительность труда рабочего по лаве, <i>т/выход</i> | 6,8 8,3 | 5,78 | 6,44 | 6,24 | 4,75 | 7,6 | 5,4 |

Эта таблица показывает, что среднесменная подвигание лавы и среднесменная добыча угля при струговой выемке антрацита выше, чем при комбайновой выемке. Что касается производительности труда рабочего на выход по лаве, то она оказалась выше в некоторых комбайновых лавах по сравнению с 10 западной струговой лавой. Однако не все комбайновые лавы имеют технико-экономические показатели выше показателей струговой лавы.

Необходимо отметить, что в отдельные периоды работы струговой установки производительность труда на выход рабочего по лаве удерживалась на уровне 6,0—7,8 *т*, а в некоторые дни она доходила до 15—20 *т*. Это свидетельствует о том, что при из-

вестных условиях выемка угля быстроходным стругом может обеспечить высокие технико-экономические показатели работы лавы.

При установлении нормального штата в струговой лаве общая трудоемкость на единицу добытого угля может быть доведена по крайней мере до уровня общей трудоемкости на единицу добытого угля комбайном.

Если учесть при всем этом качество добываемого угля стругом, то все преимущества будут на стороне струговой выемки.

11. Расчет производительности струговых установок

К струговым установкам относятся, как известно, собственно струговые установки, скрепероструги и установки угольных пил. Производительность их зависит от ряда факторов, важнейшими из которых являются: глубина захвата, мощность пласта, угол падения, прочность и вязкость угля, устойчивость боковых пород, длина лавы, тип установки, скорость движения рабочего органа, продолжительность подготовительно-заключительных и маневровых операций и т. д. [43].

а) Производительность струга

Расчетная сменная производительность стругов может быть определена из следующего выражения:

$$Q = 3600 h m_0 v_1 \gamma (T - \Sigma t), \text{ т/смену}, \quad (1)$$

где h — глубина захвата стругом, м;

m_0 — мощность пласта, м;

v_1 — рабочая скорость движения струга, м/сек;

γ — объемный вес угля, т/м³;

T — продолжительность смены, ч;

Σt — продолжительность подготовительно-заключительных и маневровых операций, ч.

Значения h и v_1 в уравнении (1) принимают по данным технической характеристики струга, а Σt устанавливают либо расчетом, либо по данным хронометражных наблюдений.

Кроме того, расчетная сменная производительность струга может быть найдена также по формуле

$$Q = (L - n_0 A) h m_0 \gamma n, \text{ т/смену}, \quad (2)$$

где L — длина очистного забоя, м;

A — длина ниши, м;

n_0 — число ниш в лаве;

n — число рабочих ходов струга в смену.

Если обозначить через t_a продолжительность подготовительно-заключительных операций, то значение n может быть определено по формуле

$$n = \frac{T - t_a}{\Sigma t_0}. \quad (3)$$

Продолжительность цикла Σt_0 работы струговой установки складывается из суммы времени, затрачиваемого на производство отдельных операций, и равна

$$\Sigma t_0 = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6, \quad (4)$$

где $t_1 = \frac{L}{v_1}$ — продолжительность рабочего хода струга со скоростью v_1 , сек;

$t_2 = \frac{L}{v_2}$ — продолжительность холостого хода струга со скоростью v_2 , сек;

$t_3 = \frac{h}{v_3}$ — продолжительность передвижки конвейера со скоростью v_3 , сек;

t_4 — продолжительность пуска двигателя в ход, сек;

$t_5 = \frac{h}{v_5}$ — продолжительность передвижки посадочных секций крепи агрегата А-2 или распорных приспособлений домкратов, служащих для передвижения конвейера, отнесенная к одному циклу работы струга, сек;

t_6 — продолжительность реверса тягового двигателя струга.

Положим, что продолжительность реверса двигателя струга равна $t_6 = \lambda t_4$. Тогда будем иметь

$$t_4 + t_6 = (1 + \lambda) t_4. \quad (5)$$

В первом приближении можно считать, что $\lambda = 1,5$.

Принимая во внимание равенства (3), (4) и (5) и производя соответствующие преобразования, найдем

$$n = \frac{T - t_a}{\frac{L(v_1 + v_2)}{v_1 v_2} + \frac{h(v_3 + v_5)}{v_3 v_4} + 1,5 t_4}. \quad (6)$$

На основе равенств (2) и (6) получим

$$Q = \frac{(L - n_0 A) (T - t_a) h m_0 \gamma}{L \frac{v_1 + v_2}{v_1 v_2} + h \frac{v_3 + v_5}{v_3 v_5} + 1,5 t_4}, \text{ м/смену.} \quad (7)$$

В равенствах (6) и (7) значения v_3 и v_5 определяются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} v_3 &= \frac{Q_1}{F}, \text{ м/сек;} \\ v_5 &= \frac{Q_0}{F_0}, \text{ м/сек.} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

где Q_1 и Q_0 — количества подаваемой в цилиндры жидкости соответствующих домкратов, $\text{м}^3/\text{сек}$;

F_1 и F_0 — площади полезного сечения цилиндров соответствующих домкратов, м^2 .

Подавляющее число работающих струговых установок имеют $v_1 = v_2$.

В этом случае формула (7) переписывается так:

$$Q = \frac{(L - n_0 A) (T - t_a) h m_0 \gamma}{L \frac{2}{v} + h \frac{v_3 + v_5}{v_3 v_5} + 1,5 t_4}, \text{ м/смену.} \quad (9)$$

Как показывает практика применения угольных стругов, фактическая производительность их менее расчетной. Это объясняется тем, что фактическая скорость движения струга оказывается меньше расчетной вследствие, например, перегрузки двигателя привода струга. Кроме того, наблюдаются остановки работы струга из-за заштыбовки конвейера, неполадок в работе струговой установки.

Поэтому фактическая производительность струговой установки равна

$$Q_{\text{ф}} = kQ, \text{ м/смену.} \quad (10)$$

Коэффициент машинного времени в этом уравнении равен

$$k = \frac{T - \Sigma t_{\text{в}}}{T} \leq 1, \quad (11)$$

где $\Sigma t_{\text{в}}$ — продолжительность простоя струговой установки по организационно-техническим причинам (отсутствие порожняка и энергии, неполадки в работе установки и т. д.).

Эта величина устанавливается по данным хронометражных наблюдений.

По формулам (6) и (9) вычислены значения $n = f(L)$ и $Q = f(L)$ при разных скоростях движения струга и разных величинах чистого времени работы струговой установки. При этом было принято $h = 100 \text{ мм}$, $m_0 = 1,0 \text{ м}$ и $\gamma = 1,3 \text{ т/м}^3$. Результаты вычислений представлены в виде графиков на рис. 27. Здесь на оси абсцисс отложена длина лавы, а на оси ординат — число циклов n , производительность Q струга в смену. Эти графики позволяют сравнительно просто определить производительность струга в зависимости от числа циклов n его работы и установить при этом длину лавы и скорость рабочего хода струга.

Приведенные выше формулы можно использовать также для определения числа циклов и производительности установок угольных пил. В этом случае v_3 будет скорость передвижения верхнего блока при канатном тяговом органе или скорость передвижения привода челнока при цепном тяговом органе, а v_5 — скорость перестановки нижнего блока.

б) Производительность конвейера.

Производительность конвейера должна соответствовать производительности струга в единицу времени. При выборе производительности конвейера лучше всего ее следует считать

в минуту, так как такая производительность лучше всего характеризует работу струговой установки.

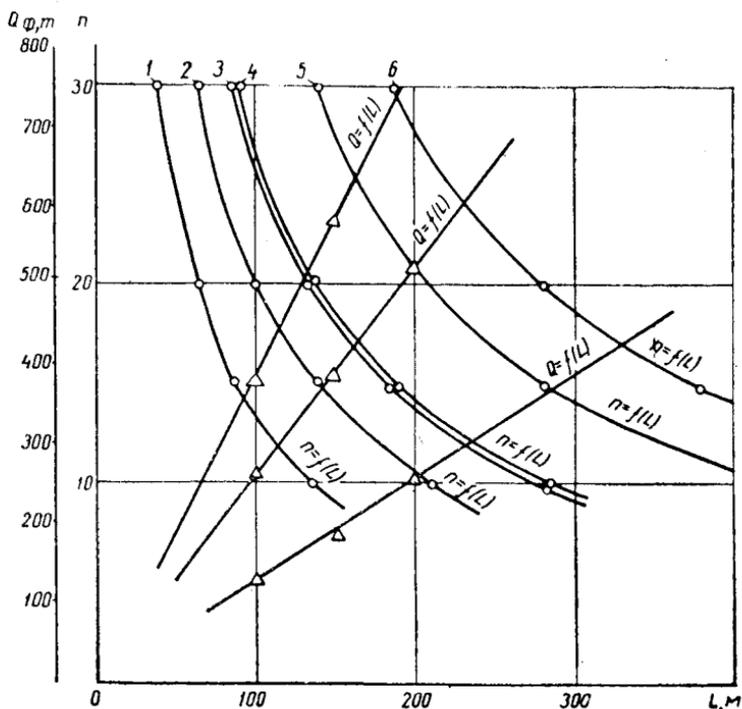


Рис. 27. Графики изменения числа циклов n и производительности Q струговой установки в зависимости от длины лавы L .

| Показатели | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------|------|-----|------|------|-----|------|
| v , м/сек | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| ПР, % | 0,33 | 0,5 | 0,66 | 0,33 | 0,5 | 0,66 |

Производительность за один проход струга по аналогии с равенством (2) будет равна

$$Q_1 = (L - A) h m_0 \gamma, m$$

и время этого прохода

$$t_1 = \frac{L}{60 v_1}, \text{ мин.}$$

Тогда минутная производительность струга будет равна

$$Q_m = \frac{Q_1}{t_1} = 60 h m_0 v_1 \gamma \left(1 - \frac{A}{L}\right), m/\text{мин.}$$

Производительность конвейера, как известно, определяется следующим уравнением:

$$Q_k = 60 F q v_k, \text{ т/мин},$$

где F — площадь сечения потока груза конвейера, м^2 ;

v_k — скорость скребковой цепи конвейера, м/сек ;

q — насыпной вес угля, т/м^3 .

Конвейер при работе струга должен загружаться углем равномерно и непрерывно. Это возможно при условии, если

$$Q_k = Q_m$$

или

$$h m_0 v_1 \gamma \left(1 - \frac{A}{L}\right) = F v_k q.$$

Отсюда находим

$$F = \frac{\left(1 - \frac{A}{L}\right) h m_0 v_1 \gamma}{v_k q}$$

или

$$v_k = \frac{\left(1 - \frac{A}{L}\right) h m_0 \gamma}{F q}.$$

Таким образом, эти формулы позволяют определить площадь сечения потока груза по конвейеру или скорость движения скребковой цепи при работе струга снизу вверх лавы. Уголь из верхней части лавы, попавший на конвейер в конце хода струга, достигнет погрузочного пункта только по истечении времени

$$t_k = \frac{L}{60 v_k}.$$

Тогда общее время выемки и доставки угля за один ход струга снизу вверх составит

$$T_1 = t_1 + t_k.$$

Подставляя в это равенство значения t_1 и t_k , найдем

$$T_1 = \frac{L}{60 v_1} \left(1 + \frac{v_1}{v_k}\right).$$

Производительность конвейера при движении струга снизу вверх лавы будет

$$Q_k = \frac{Q_1}{T_1} = \frac{60 Q_1 v_1}{L \left(1 + \frac{v_1}{v_k}\right)}, \text{ т/мин}.$$

При работе струга сверху вниз лавы общее время выемки и доставки угля за один ход составляет

$$T_2 = t_1 - t_k$$

или

$$T_2 = \frac{L}{60 v_1} \left(1 - \frac{v_1}{v_k}\right),$$

а производительность конвейера при этом определится по уравнению

$$Q'_k = \frac{Q_1}{T_2} = \frac{60 Q_1 v_1}{L \left(1 - \frac{v_1}{v_k}\right)}, \text{ м/мин.}$$

Следовательно при одинаковых условиях отделяемой стругом полосы угля от массива пласта и одинаковых параметрах конвейера будет разная производительность последнего. При работе струга снизу вверх лавы требуемая производительность конвейера меньше, чем при работе его сверху вниз лавы.

в) Производительность скрепероструга

Сменная фактическая производительность скрепероструговой установки может быть найдена из выражения

$$Q = \frac{3600 v V_1 k (T - \Sigma t)}{2(L - A)}, \text{ м}^3/\text{смену}, \quad (12)$$

где v — скорость движения скрепероструга, м/сек;

V_1 — емкость скрепероструга, м³;

L — длина лавы, м;

A — длина ниши, м;

T — продолжительность смены;

Σt — продолжительность подготовительно-заключительных и маневровых операций со скрепероструговой установкой.

Коэффициент машинного времени k в уравнении (12) определяется по формуле (11).

Сменную фактическую производительность скрепероструговой установки можно определить также по формуле

$$Q = (L - A) h m_0 n k k_0, \text{ м}^3/\text{смену}, \quad (13)$$

где m_0 — мощность пласта;

h — глубина захвата скрепероструга;

k_0 — коэффициент разрыхления угля.

Число циклов n в уравнении (13) определяется по формуле

$$n = \frac{T - t_a}{\Sigma t_0}. \quad (14)$$

Значение Σt_0 определяется по аналогии с предыдущим, т. е. по формуле (4). Так как большинство скрепероструговых установок имеет $v_1 = v_2$, то, принимая во внимание равенство (6), будем иметь

$$n = \frac{T - t_a}{\frac{2L}{v_1} + h \frac{v_3 + v_5}{v_3 v_5} + 1,5 t_4}. \quad (15)$$

На основе равенств (13) и (15) получим

$$Q = \frac{(L - A) (T - t_a) h m_0 \gamma k k_0}{\frac{2L}{v_1} + h \frac{v_3 + v_5}{v_3 v_5} + 1,5 t_4}, \text{ м}^3/\text{смену}. \quad (16)$$

Эта формула позволяет подсчитать фактическую сменную производительность скрепероструговой установки.

Определим теперь зависимость между рациональной длиной лавы и скоростью ее подвигания. Для этого обозначим значение $L - A$ через L_1 , а скорость подвигания лавы $nh = B$ и воспользуемся равенствами (12) и (13). Тогда будет иметь

$$Q_{\text{ср}} = \frac{3600 v_1 V (T - \Sigma t) k}{2L_1} = L_1 m_0 B k_0, \text{ м}^3/\text{смену}, \quad (17)$$

где

$$B = \frac{1800 v_1 V (T - \Sigma t) k}{m_0 k_0 L_1^2}, \quad (18)$$

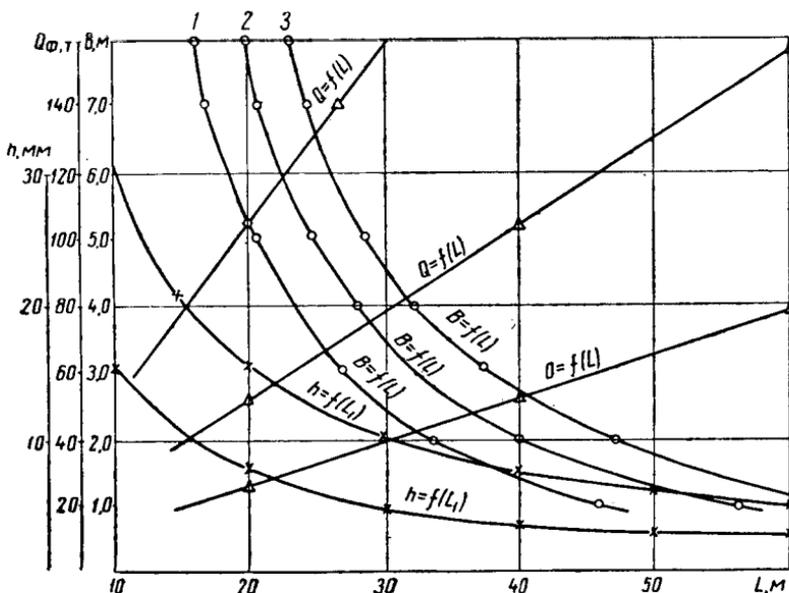


Рис. 28. Графики изменения фактической производительности $Q_{\text{ф}}$ скорости подвигания лавы при скрепероструговой выемке в зависимости от длины лавы

| Показатели | 1 | 2 | 3 |
|--------------------|------|------|------|
| | B | B | B |
| $v, \text{ м/сек}$ | 1,25 | 1,25 | 1,25 |
| $V, \text{ м}^3$ | 0,5 | 0,75 | 1,0 |
| k | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| k_0 | 1,6 | 1,6 | 1,6 |

По формулам (16) и (18) подсчитаны сменная фактическая производительность скрепероструговой установки и скорость подвигания лавы в зависимости от ее длины. Результаты этих под-

счетов представлены графически на рис. 28. Здесь по оси абсцисс отложена длина лавы за вычетом длины пиши, а по оси ординат фактическая производительность Q_{ϕ} и скорость подвигания лавы B .

Опыт показывает, что максимальное подвигание лавы при наличии в ней одного скрепероструга достигается при длине забоя 20—40 м. Поэтому в более длинных лавах приходится применять установку с несколькими скреперостругами. Сказанное справедливо лишь при работе скреперостругов на пологопадающих пластах. При увеличении угла падения производительность доставки повышается за счет движения угля под действием собственного веса, и поэтому длина лавы при работе одного скрепероструга может быть принята большей.

Глубина захвата скрепероструга определяется исходя из заданного его объема, т. е.

$$V \leq 2L_1 h m_0 k_0, \text{ м}^3,$$

откуда находим

$$h \geq \frac{V}{2L_1 m_0 k_0}, \text{ м.}$$

Как видно, глубина захвата при заданном объеме скрепероструга обратно пропорциональна длине его хода и мощности пласта. Значения h в зависимости от L_1 при $V = 0,5 \text{ м}^3$, $m_0 = 1,0 \text{ м}$, и $k_0 = 1,5$ представлены кривыми на рис. 28.

Глава IV

КРЕПЛЕНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ КРОВЛЕЙ В СТРУГОВЫХ ЛАВАХ

12. Особенности крепления призабойного пространства лав

Крепление струговых лав качественно отличается от крепления комбайновых лав вследствие специфики выемки угля. Небольшая ширина захвата струга требует либо диагонального (пилообразного или треугольного) расположения крепи, либо оставления больших, последовательно увеличивающихся незакрепленных площадей обнаженной кровли по всей длине лавы. Кроме этого, для движения струга и установки конвейера у забоя должна оставаться свободной от стоек полоса шириной 1,0—1,3 м, в пределах которой кровля может быть поддержана только консольно выступающими верхняками (рис. 29), никаких временных стоек у забоя в период работы струга ставить нельзя. При работе струга необходимо не только поддерживать кровлю в бесстоечном пространстве у забоя, но также необходимо закреплять конвейер со стороны выработанного пространства для того, чтобы он мог служить опорой стругу.

В настоящее время широко применяется индивидуальная металлическая крепь, так как она позволила создать свободное от стоек пространство у забоя и успешно применять узкозахватные комбайны и угольные струги.

В струговых лавах наибольшее распространение получила Т-образная крепь, состоящая из металлических стоек и коротких несоединенных верхняков длиной до 1,5 м или шарнирно соединенных верхняков, которые располагают по простиранию.

Крепление струговых лав короткими несоединяемыми верхняками производится по пилообразной и треугольной схемам (рис. 30). Преимущество такого способа крепления состоит в том, что в результате отсутствия связи между отдельными рамами

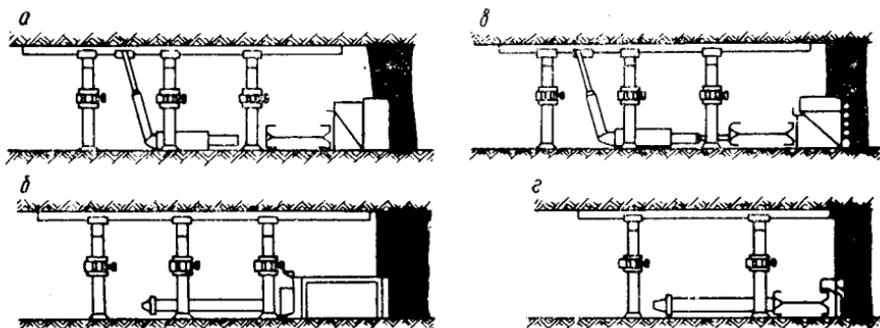


Рис. 29. Крепление металлическими стойками призабойного пространства при работе стандартного струга (а), скрепероструга (б), быстроходного струга (в) и многоструговой установки типа «Густо» (г)

крепь может легко приспособляться к постоянно изменяющейся ширине незакрепленного призабойного пространства, образующегося при работе струга.

В зависимости от устойчивости кровли, условий проветривания лавы и организации работ в каждом ряду Т-образной крепи по простиранию располагается 3 звена, состоящих из стойки и верхняка (рис. 30, а), или 2 звена (рис. 30, б и в).

В большинстве случаев в струговых лавах работы по добыче угля, установке и извлечению крепи, управлению кровлей и передвижке конвейера производятся одновременно, за счет чего поддерживаемая ширина призабойного пространства всегда остается одинаковой и в лаве находится незначительное количество резервных стоек и верхняков.

Пилообразная схема крепи (рис. 30, а) по сравнению с треугольной (рис. 30, б и в) обеспечивает лучшее поддержание кровли при неустойчивых породах и более равномерное распределение во времени работ по креплению, однако она отличается сложностью и не обеспечивает удобных проходов для передвижения рабочих. Поэтому наибольшее распространение получила треугольная схема крепи.

При креплении Т-образной крепию с шарнирным соединением верхняков применяют схемы расположения крепи прямыми рядами, треугольную и пилообразную. Устойчивая кровля крепится шарнирными верхняками длиной около 0,9 м, расположенными

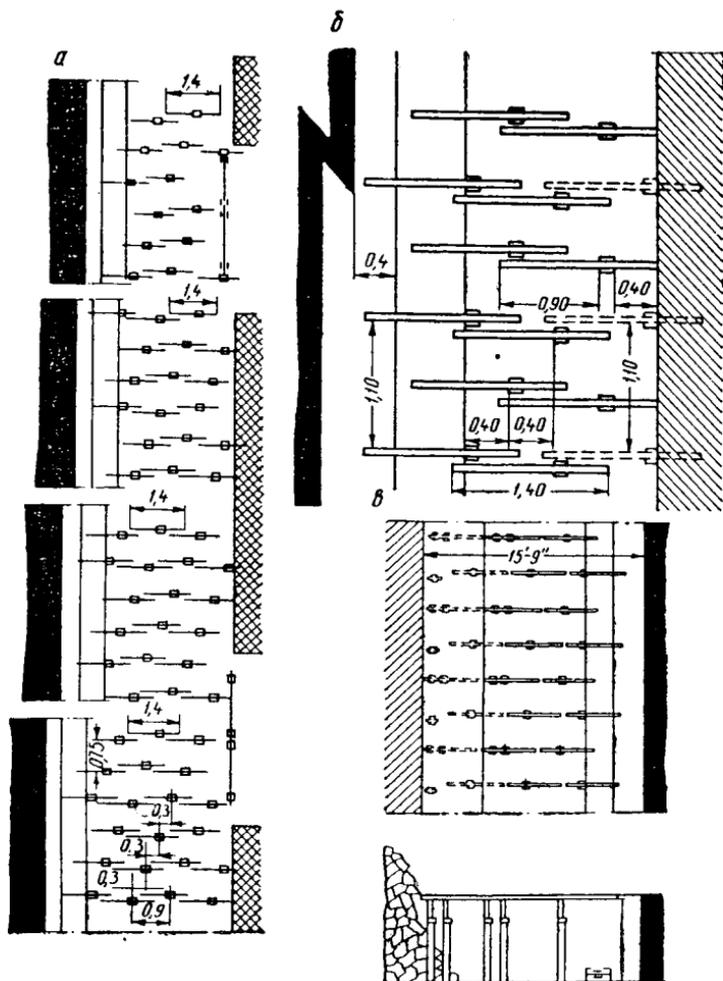


Рис. 30. Схема крепления в струговых лавах короткими несоединяемыми верхняками:

а — пилообразная; б — треугольная; в — треугольная схема с усилением последнего ряда крепи

ми по прямым линиям. Когда при работе струга обнажается достаточно большое пространство кровли, то устанавливается новый верхняк, а верхняк у выработанного пространства снимается. При этом вновь устанавливаемый верхняк удерживается соединительным башмаком или клином и работает, как консоль.

В тех случаях, когда кровля не допускает обнажения на ширину, позволяющую установить новый верхняк, применяется треугольная или пилообразная схемы крепления (рис. 31), при которых каждый зуб образуется двумя или несколькими рядами крепи. Каждый из верхняков по этой системе устанавливается с отставанием от линии забоя по отношению к соседнему верхняку. Преимуществом такого расположения является то, что участок обнаженной кровли при этом значительно меньше, чем при применении крепления прямыми рядами, и, кроме того, имеется

возможность, извлекая верхняк и стойку, немедленно использовать их для крепления кровли у забоя.

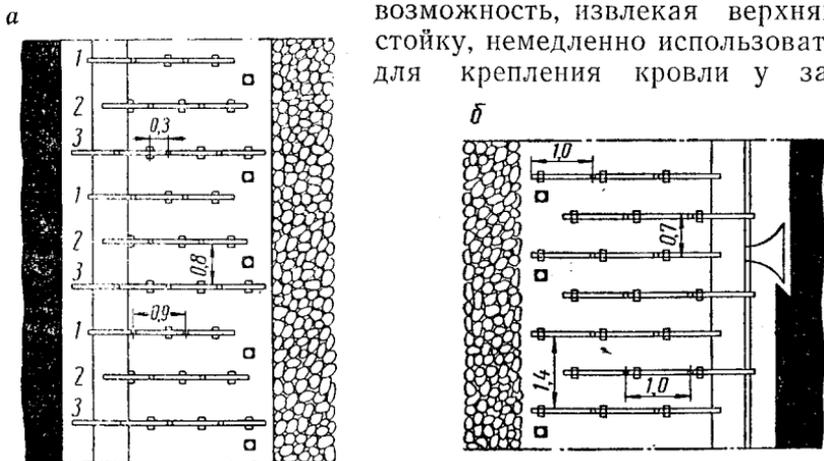


Рис. 31. Схемы крепления в струговых лавах шарнирными верхняками: а — пилообразная; б — треугольная

Главным недостатком этой системы является необходимость в квалифицированных крепильщиках и тщательном наблюдении за установкой крепи.

Наиболее часто применяется система крепления в шахматном порядке, или треугольная система (рис. 31, б). При применении верхняков длиной 1 м, расстояние от конца верхняков до линии забоя при такой системе никогда не превышает 0,5 м. Выбор длины верхняка и расстояния между рядами крепи зависит от горно-геологических условий. В связи с тем, что по таким паспортам стойки извлекают и устанавливают почти одновременно, количество стоек и верхняков в работе невелико и в лаве отсутствуют неиспользуемые стойки и верхняки.

В 1958 г. в струговой лаве шахты № 27 треста Снежнянантрацит (Донбасс) были проведены испытания различных паспортов крепления и управления кровлей, представленных на рис. 6, 11, 32.

Эти исследования показали, что для надежного поддержания кровли в бесстоечном призабойном пространстве наиболее целесообразно треугольное расположение шарнирных верхняков дли-

ной 1,0 м. Установка стоек может производиться либо по треугольной схеме (рис. 6), либо прямыми рядами (рис. 32), но с обязательным применением временно устанавливаемых стоек для сокращения ширины бесстоечного призабойного пространства.

Кроме шарнирных верхняков, на шахтах при работе струга применялись пружинные верхняки. При длине верхняка 1,2 м и расстоянии между ними 0,85 м достигалось весьма удовлетворительное управление кровлей и крепь работала достаточно хорошо.

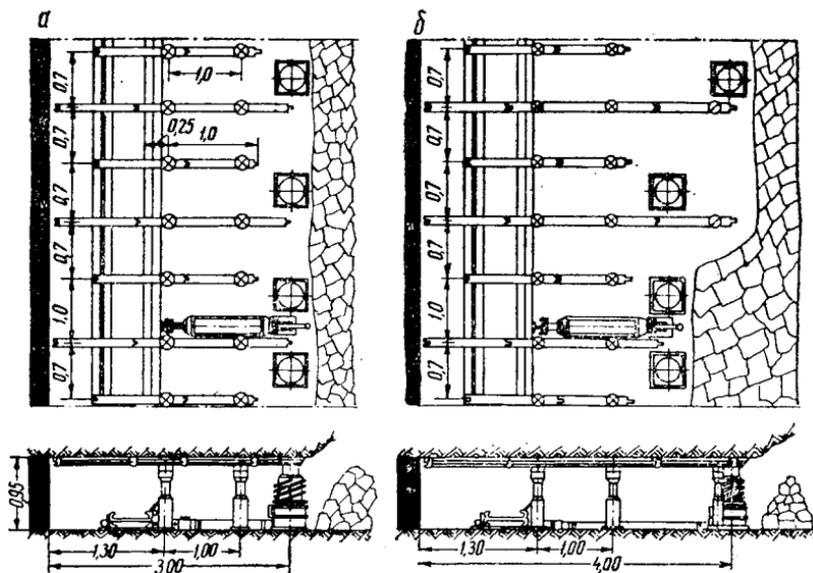


Рис. 32. Паспорт крепления струговой лавы с расположением верхняков по треугольной схеме, а стоек и органных тумб — прямыми рядами:
 а — перед началом работы струга; б — в период передвижки тумб

В струговых лавах наиболее широкое применение получил способ управления кровлей полным обрушением. Для усиления границы с выработанным пространством при этом способе управления кровлей применяют костры, посадочные стойки, располагаемые в один ряд (рис. 32) или в шахматном порядке (рис. 6), либо устанавливают дополнительный ряд стоек призабойной крепи.

При применении паспорта крепления и управления кровлей с расположением посадочных стоек в один ряд на отдельных участках лавы происходили частичные вывалы кровли между призабойной и посадочной крепями вследствие того, что рабочие по передвижке стоек не успевали своевременно завершить посадку на своем участке лавы. Поэтому было решено применить расположение посадочных стоек в два ряда в шахматном порядке,

в этом случае передвижка одного ряда стоек производилась под защитой другого ряда и частичных обрушений кровли не происходило.

Однако применение двух рядов посадочных стоек приводило к увеличению ширины призабойного пространства лавы на отдельных участках до 6—8 м вместо 3,5—4,0 м, предусмотренных по паспорту, что затрудняло организацию работ в лаве и сдерживало работу струга. В связи с этим, а также по результатам замеров давления на посадочную крепь, показавших, что нагрузки на стойки малы, был осуществлен переход на безорганную посадку.

Как было показано выше (п. 2), непосредственная кровля в пределах призабойного пространства струговой лавы шахты № 27 треста Снежнянантрацит при безорганной посадке находилась также в удовлетворительном состоянии.

Опыт работы лав в СССР и за рубежом показывает, что при применении достаточно надежных стоек постоянного сопротивления при узкозахватной выемке угля на пластах, относящихся к I классу вмещающих пород по классификации ВУГИ, можно отказаться от применения специальной крепи для усиления последнего ряда и перейти на самый прогрессивный и экономичный способ управления кровлей — безорганную посадку (рис. 11).

В результате длительных работ установлено, что в струговых лавах наиболее успешно может применяться крепь, состоящая из податливых раздвижных стоек постоянного или слабо нарастающего сопротивления со значительным начальным распором и шарнирных верхняков.

13. Выбор конструкций индивидуальной переносной крепи

Конструкции индивидуальной переносной крепи по выполняемым функциям разделяются на стойки и верхняки призабойной крепи и посадочные крепи.

В отечественной и зарубежной практике известно около 100 различных конструкций металлических стоек.

Наиболее широко из них распространены раздвижные стойки. Они состоят из двух основных частей: корпуса и выдвижной части, соединенных при помощи замка. Замок у раздвижных жестких стоек выполняет две функции: позволяет регулировать высоту стойки в соответствии с мощностью пласта и разгружать ее перед извлечением. В раздвижных податливых стойках замок, кроме этого, обеспечивает податливость стойки при сохранении необходимого рабочего сопротивления.

В СССР наибольшее распространение получили стойки нарастающего сопротивления — податливые стойки трения с клиновым замком. Уклон выдвижной части применяется в пределах от 1 : 60 до 1 : 130.

Наибольшее рабочее сопротивление таких стоек составляет 35—50 т. Основным недостатком таких стоек является низкое начальное сопротивление (до 5—7 т) и обеспечение податливости за счет упругих деформаций замка, что ведет к значительному увеличению веса стоек. Для пластов мощностью около 1,5 м такие стойки весят около 50 кг. Практика применения стоек нарастающего сопротивления показала, что такие стойки вполне работоспособны, но их серьезным недостатком является малое начальное сопротивление, рассеивание и нестабильность характеристик, а также отсутствие предохранительной податливости.

Совершенствование конструкций этих стоек идет по пути повышения начального сопротивления за счет увеличения числа поверхностей трения и изменения схемы клиновой системы замка. Для увеличения начального сопротивления стойки производят специальную обработку поверхностей трения и применяют фрикционные пластинки с высоким коэффициентом трения.

Стойки новых конструкций развивают начальное сопротивление порядка 10—15 и даже 25—30 т против 5 и 10 т в старых конструкциях. Для обеспечения необходимой податливости при таком же максимальном рабочем сопротивлении и улучшения рабочих характеристик таких стоек применяется меньший уклон выдвигной части от 1:100—1:150 (в стойках с начальным сопротивлением 10—15 т) до 1:250—1:500 (в стойках с начальным сопротивлением 25—30 т).

При струговой выемке важно, чтобы крепь развивала достаточное сопротивление немедленно вслед за выемкой угля, а затем рабочее сопротивление стоек сохранялось постоянным или несколько увеличивалось. Стремление улучшить рабочую характеристику стоек привело к созданию стоек с самозатяжным устройством либо в виде затяжного клина (стойки типа ТС), либо с поворотным клином (стойка М-20). Дальнейшее совершенствование пошло по пути повышения начального сопротивления этой группы стоек.

Ход самозатяжки стоек этой группы колеблется от 5 до 12 мм в отечественных конструкциях и до 25 мм — в зарубежных. Рабочее сопротивление этих стоек для пластов мощностью до 1 м — 10 т, более 1 м — 15, 25 и даже 40—50 т. Для увеличения начального сопротивления до 10—15 т применяют крестообразную выдвигную часть, дополнительные металлические пластины, огибающие выдвигную часть, сложные профили корпуса и выдвигной части и др.

Измерения, проведенные в шахте на стойках трения, находившихся долгое время в работе, показали, что их рабочее сопротивление колеблется в очень больших пределах. Этого не наблюдается при работе гидравлических стоек, которые к тому же имеют устойчивую характеристику постоянного сопротивления. Поэтому с внедрением узкозахватной выемки и бесстоечного

призабойного пространства гидравлические стойки начинают приобретать во всех странах все большее значение. Начальный распор их порядка 5—15 т в большинстве конструкций обеспечивается встроенным двухступенчатым, реже одноступенчатым насосом. Рабочее сопротивление гидравлических стоек принято 20—30 т. Серьезным недостатком гидравлических стоек является их малая раздвижность, особенно на пластах мощностью менее 1,2 м.

Применяется целый ряд конструкций стоек, у которых выдвижная часть, а иногда и корпус изготавливаются из легкого сплава на основе алюминия, в результате чего все стойки снижается в 1,5—2,0 раза.

В отечественной и зарубежной угольной промышленности создано большое число типов шарнирных верхняков, различающихся в основном конструкцией замкового соединения, сечением и несущей способностью; при этом помимо стандартных стальных верхняков выпускаются облегченные верхняки, предназначенные для тонких пластов, а также верхняки из легкого алюминиевого сплава, причем верхняки из легкого сплава часто оснащаются отдельными деталями, обычно замками и шарнирами, из легированной стали.

Корпус верхняков изготавливается из корытообразного спецпрофиля, коробчатого профиля или широкополочного усиленного двутавра, нередко с волнистыми стенками, ширина которых соответствует размеру специальных головок стоек. Длина верхняков колеблется от 0,7 до 1,25 м, ширина от 70 до 120 мм, высота от 50 до 100 мм. Допускаемая нагрузка на середине звена составляет в отечественных конструкциях 30—35 т, на конце консоли длиной 1,3 м — 2—2,5 т. Вес стальных верхняков колеблется от 15 до 40 кг, вес верхняков из легкого сплава — от 12 до 17 кг. При слабых боковых породах успешно применяются тарельчатые верхняки, состоящие из металлической головки с опорной площадью 1200 или 1750 см², которая надевается на головку стойки и коротких консолей.

Шарнирный верхняк обычно подвешивают на оси шарнира к ранее навешенному верхняку, затем, поворачивая, подводят к кровле и жестко закрепляют при помощи чеки, клина, клинового болта или башмака. Конструкция замка позволяет получить сравнительно хорошее прилегание верхняка к кровле за счет возможного отклонения звеньев в вертикальной плоскости до 5—12°, в горизонтальной плоскости — до 4° в обе стороны.

Шарнирные верхняки по сравнению с простыми, балочными обладают рядом преимуществ, вытекающих из наличия шарнирных замков. Основные из них — более легкая установка, возможность применения более прочных балок в коротких звеньях и большая устойчивость против деформации изгиба и скручивания. Недостатком шарнирных верхняков является их высокая

стоимость. Шарнирные верхняки рекомендуется применять в комплексе со стойками постоянного или слабо нарастающего сопротивления.

Металлические костры обладают высоким сопротивлением, легкой приспособляемостью к резким колебаниям мощности пласта.

Несмотря на значительные усовершенствования, внесенные в новые конструкции костров, применение их сопряжено с трудностями обслуживания: большим объемом ручных операций при установке, разгрузке и переноске, относительно большим весом конструкций и большими габаритами.

В отечественной угольной промышленности наряду с применением обычных переносных костров, нередко с разгрузочными устройствами, все большее применение находят посадочные стойки, отличающиеся от стоек призабойной крепи повышенным рабочим сопротивлением и увеличенными опорными поверхностями. Наиболее широкое промышленное применение получили стойки крепи типа ОКУ нарастающего сопротивления.

В настоящее время изготавливаются и проходят промышленные испытания партии посадочных стоек постоянного сопротивления М-32 и стоек ОКМ и ОКД с дистанционной разгрузкой, а также гидравлические стойки.

В зарубежной практике применяются как жесткие посадочные стойки, так и стойки постоянного сопротивления и гидравлические с рабочим сопротивлением 50—100 т.

В настоящее время в отечественной угольной промышленности имеется ряд конструкций металлической переносной крепи, пригодных для применения в струговых лавах: металлические стойки трения типа ТС, М-53К, М-20, М-67, КСТ, ЛС, гидравлические стойки ГС и конструкции ВУГИ, шарнирные верхняки М-45 и СВ-3, стойки ОКУ и М-32.

14. Направления в создании механизированных крепей

Создание механизированных крепей для очистных забоев является важнейшим мероприятием по завершению комплексной механизации угольных шахт. Такие крепи облегчают труд рабочих очистного забоя, уменьшают трудоемкость работ по креплению и устраняют обрушения и вывалы пород кровли в призабойном пространстве.

Механизированные гидравлические крепи, работающие в комплексе с узкозахватными выемочными машинами, создают возможность подвигания длинных очистных забоев на 5—8 м и выше в сутки. Они позволяют также механизировать основные производственные процессы в лаве и осуществить их автоматизацию.

Наша страна является пионером в создании механизированных крепей. В послевоенный период на шахтах СССР в промышленных масштабах применяются крепи М-9, щиты «Мосбасс», проходят испытания и внедряются комплексы М-87, КТУ, агрегаты А-2, А-3 и др.

Впервые в мире механизированная гидравлическая крепь была разработана, изготовлена и испытана в 1948 г. в Кузнецком бассейне. Эта гидравлическая крепь работала в комплексе со стругом статического действия и с забойным скребковым конвейером, технологически связанными между собой. Основным положительным результатом испытаний агрегата «Кузбасс»

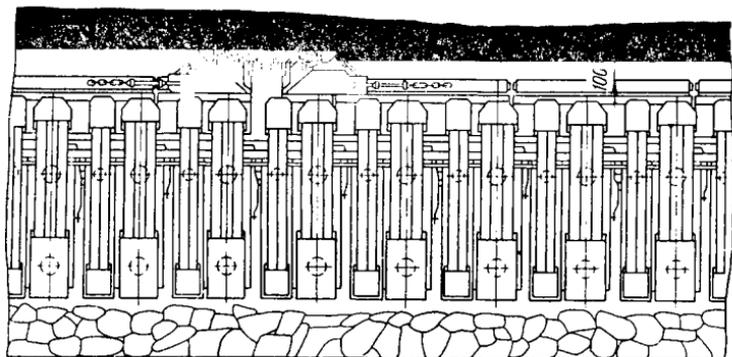


Рис. 33. Общий вид участка лавы с агрегатом А-2

явилось практическое подтверждение возможности создания работоспособного очистного агрегата с гидравлической крепью и струговой выемкой угля, обеспечивающего полную механизацию очистных работ.

Значительные достоинства применения струга в качестве выемочной машины и относительная простота механизированной крепи при выемке угля узкими полосами вызвали в последующие годы появление большого количества предложений по стругам и механизированным крепям для узкозахватной выемки. В основе многих этих крепей лежит крепь агрегата «Кузбасс».

Особого внимания заслуживает узкозахватный выемочный агрегат А-2 (рис. 33). Он является продолжением работ перспективного направления по созданию отечественных выемочных агрегатов для пологопадающих пластов мощностью 0,85—1,8 м с узкозахватной выемкой угля, полностью механизующих все процессы в лаве.

Агрегат А-2 состоит из быстроходного струга или специального рабочего органа барабанного типа, скребкового конвейера механизированной гидравлической крепи М-52, насосной станции и пульта управления. Разделение агрегата на отдельные узлы носит несколько условный характер, так как он работает как

едини́й комплекс механизмов, имеющих не только технологическую, но и кинематическую связь.

Выемка угля осуществляется быстроходным стругом с захватом 50—150 мм на полную мощность с принудительной регулировкой высоты захвата выемочной машины и приспособлением ее к гипсометрии почвы и кровли пласта. Конструкция агрегата приспособлена также к работе с узкозахватным комбайном.

В качестве механизированной крепи применяется крепь поддерживающего типа, состоящая из забойных и посадочных секций, что позволяет осуществлять управление кровлей способом полного обрушения.

Силовые устройства крепи приводятся в действие при помощи гидравлической системы. Такая система обеспечивает одновременное действие всех силовых устройств, широкие возможности для дистанционного управления и последующей автоматизации работы этих устройств, возможность защиты их от перегрузок при помощи предохранительных клапанов, что позволяет получить постоянную характеристику податливости стоек. Отсюда же вытекает возможность регулирования рабочего сопротивления и усилий гидравлических силовых устройств в весьма широких пределах.

Став забойного конвейера используется в качестве базы крепи и всего агрегата, соединяющей все секции крепи и другие узлы агрегата, расположенные вдоль лавы, в единую кинематически связанную систему. Кроме того, конвейер обеспечивает направленное передвижение крепи и всего агрегата.

Управление агрегатом производится с центрального пульта управления.

Крепь М-52 состоит из забойных и посадочных секций.

Забойная секция крепи (рис. 34) состоит из основания 1, одной гидростойки 2 с рабочим сопротивлением 20 т, верхняка 3 и блока управления 4, расположенного в основании. Основание секции крепится к конвейеру так, что соединение в целом исключает поворот в плоскости пласта, но позволяет секции перемещаться вверх и вниз относительно конвейера. В передней части основания установлена гидростойка 2, плунжер которой упирается шаровой пятой в основание и является неподвижным. Цилиндр перемещается в специальном стакане 5, укрепленном на основании. Верхняя секция опирается на сферическую головку 6 цилиндра. Для лучшего приспособления к неровностям кровли верхняк выполнен рессорным. При распоре стойки с усилием до 5 т верхний лист перекрытия не касается стойки. Если давление кровли увеличивается, то консоли верхняка прогибаются и стойка начинает непосредственно воспринимать нагрузку.

Посадочная секция (рис. 35) состоит из основания 1, перекрытия 2, двух гидростоек 3 с рабочим сопротивлением по 100 т каждая, гидродомкрата передвижения 4, рессорного буфера 5

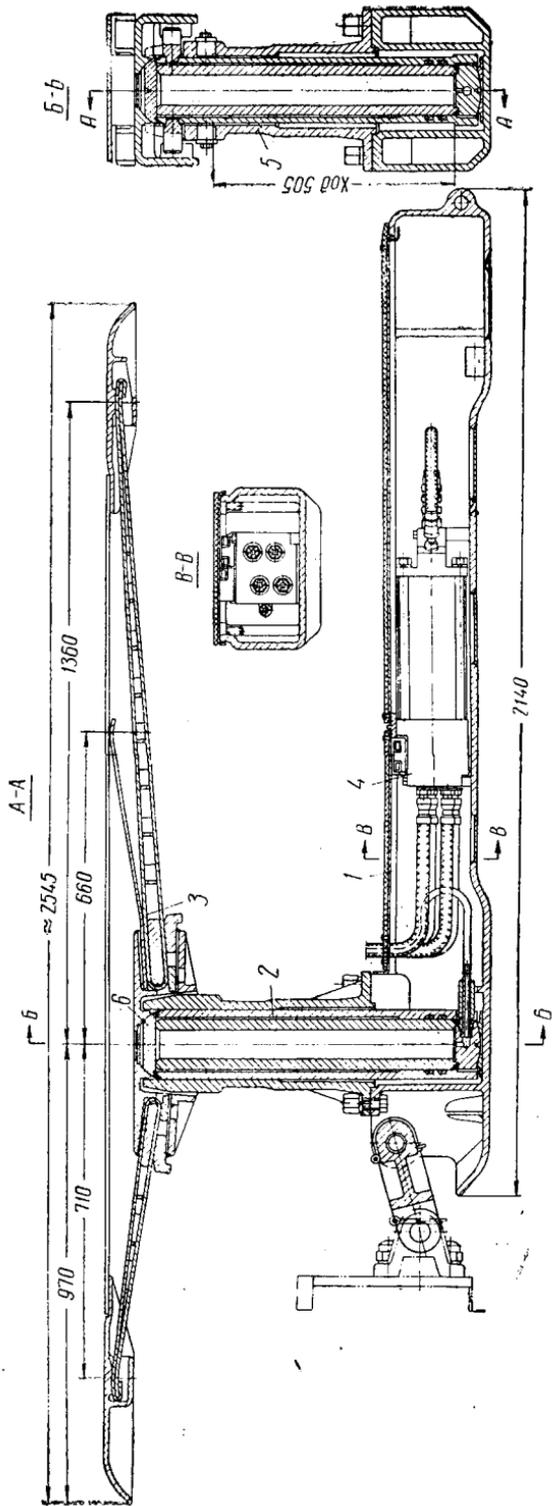


Рис. 34. Забойная секция крепи агрегата А-2

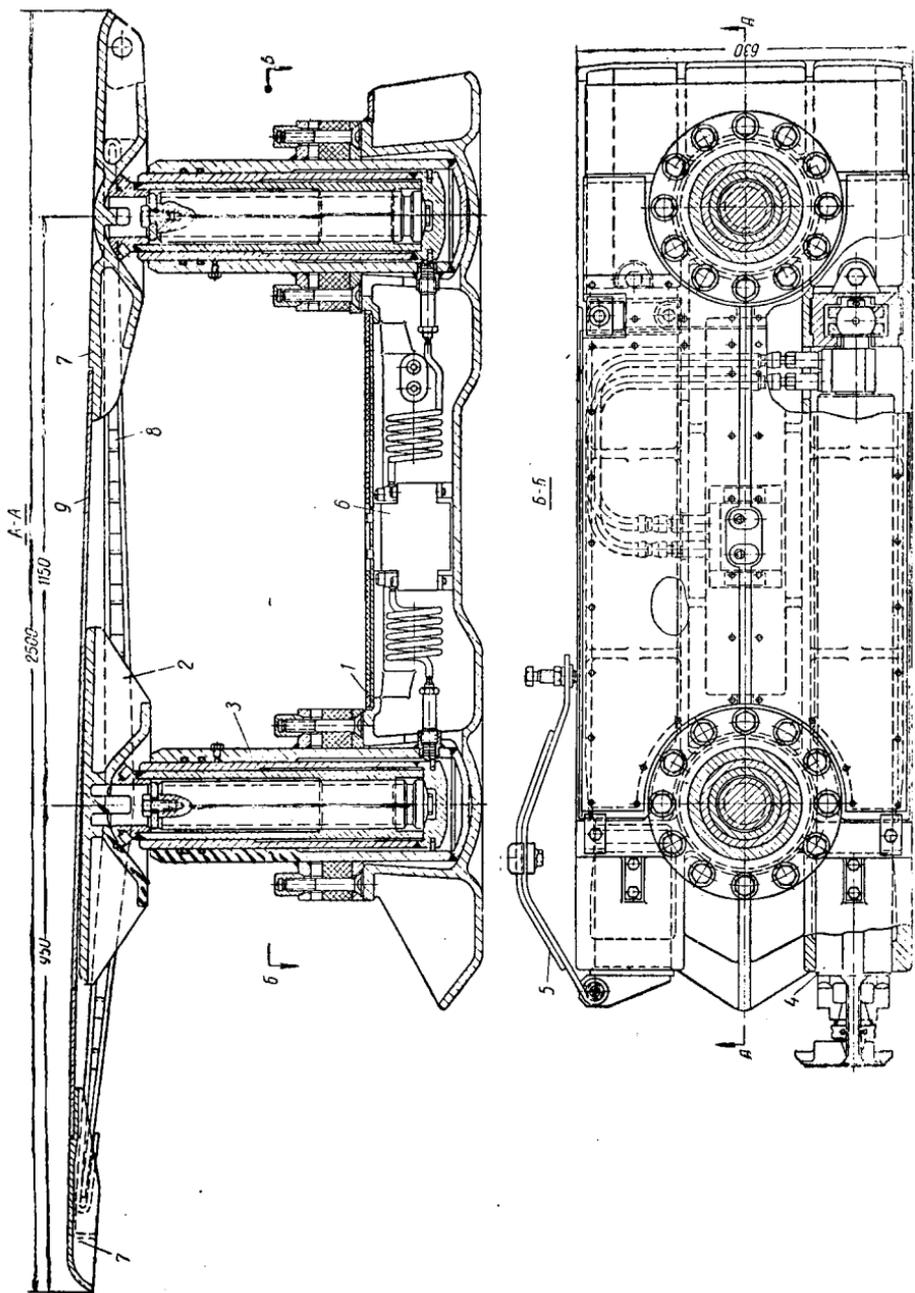


Рис. 35. Посадочная секция крені агрегата А-2

и блока управления 6, расположенного в основании. Основание секции 1 — балка коробчатого сечения. Перекрытие секции 2 состоит из трех башмаков 7 из стального литья, двух силовых ресор 8 и верхней рессорной перемычки 9; оно установлено на сферических головках гидростоек. Гидростойки 3 выполнены плунжерными гидровинтовыми с одинаковым рабочим сопротивлением. Осевые перемещения цилиндров гидростоек происходят в специальных направляющих стаканах, соединенных при помощи резиновых буферов с основанием. Гидродомкрат передвижения 4 принят двойного действия. Шток гидродомкрата соединен с основанием секции, а цилиндр — с конвейером. Соединение домкрата с конвейером обеспечивает возможность вертикальных и горизонтальных смещений конвейера относительно домкрата. Рессорный буфер 5 предназначен для удержания секции крепи и конвейера от сползания вниз по падению.

При применении в качестве выемочной машины быстроходного многорезцового струга агрегат работает следующим образом. После прохода струга по лаве передвигаются на 100 мм все сразу с остаточным подпором 0,5—4,5 т забойные секции крепи, передвигая впереди себя конвейер. Так производится восемь передвижек секций крепи, пока забой не уйдет на 800 мм, после чего во время снятия девятой стружки начинают передвигаться посадочные секции крепи. Посадочные секции с остаточным подпором 0,5—0,8 т передвигаются сразу на 800 мм индивидуально каждая в любом порядке как в процессе работы струга, так и во время его остановок.

Гидропривод крепи (рис. 36) состоит из насосной станции, маслораспределителя и гидросистемы забойных и посадочных секций, соединенных трубопроводами. Рабочая жидкость — масло индустриальное 20.

Насосная станция располагается на откаточном штреке на расстоянии 50—100 м от лавы. В ней размещены: рабочие насосы 1 и 2, подпиточный насос 3, электродвигатель 4, маслбак 5, фильтры 6 и 7 и гидроблок 8. В гидроблоке имеются два предохранительных клапана 9 и 10, отрегулированных соответственно на 80 и 200 кг/см², подпорный 11 и переливной 12 клапаны. Во время зарядки порционеров и передвижения забойных секций и конвейера производительность насосной станции 70 л/мин при давлении жидкости до 80 кг/см², при передвижении посадочных секций давление жидкости повышается до 200 кг/см², но большой производительности в этом случае не требуется; поэтому насос 1 автоматически выключается. При повышении давления в напорной линии больше 200 кг/см² насос 2 также автоматически отключается от магистрали и начинает работать на слив. Если давление в напорной линии станет меньше 200 кг/см², насос 2 автоматически отключается от сливной линии и начинает подавать масло в напорную линию. При давлении в напорной линии

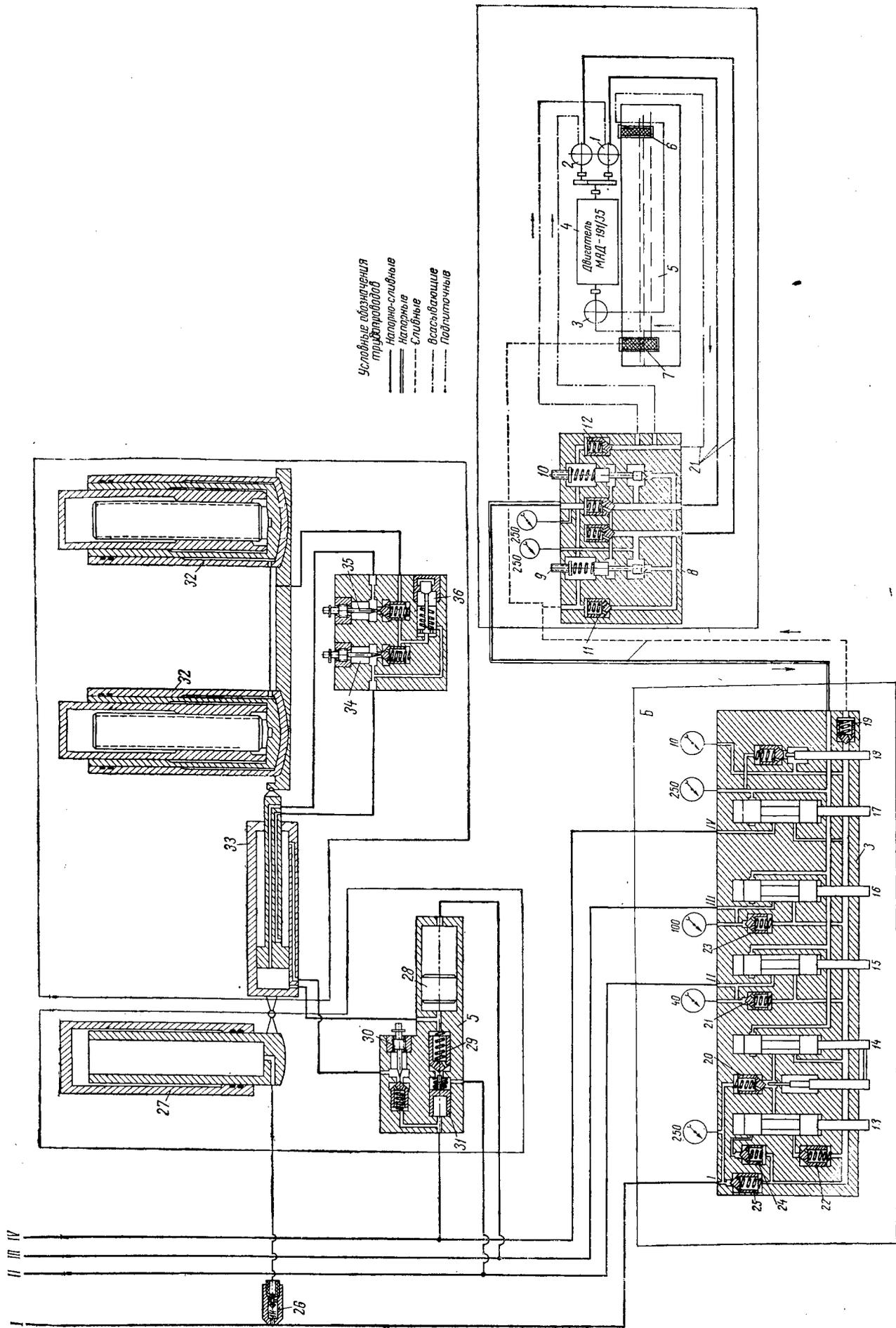


Рис. 36. Схема гидропровода крепи агрегата А-2

меньше 80 кг/см^2 автоматически отключится от слива и начнет подавать жидкость в напорную линию насос 1. Питание рабочих насосов 1 и 2 осуществляется шестеренчатым насосом 3. Излишки подаваемого им масла через клапан 12 сливаются в маслобак. Клапан 11 создает некоторое давление в сливной линии блока.

Маслораспределитель Б имеет пять золотников 13—17, сливной вентиль 18, подпорный клапан 19, обратный клапан 20, пять предохранительных клапанов 21—25, отрегулированных соответственно на давление 15, 40, 40, 80 и 200 кг/см^2 и пять манометров. Маслораспределитель соединен с насосной станцией напорным и сливным трубопроводами.

По всей длине лавы от маслораспределителя идут четыре магистральные трубопровода, к которым присоединены гидросистемы забойных секций В, состоящие из обратного клапана 26, предотвращающего вытекание жидкости при отсоединении гидросистемы секции, гидростойки 27 и блока с порционером 28, дистанционно управляемым обратным клапаном 29, клапаном передвижения 30 и поршнем 31, соединенных трубопроводами с магистралями, между собой и с гидросистемой посадочной секции.

Гидросистема посадочной секции Г состоит из двух гидростоек 32, домкрата передвижения 33 и блока с клапанами распора 34, слива 35 и предохранительного 36, соединенных между собой трубопроводами.

Перед началом передвижки крепи насосная станция выключена, клапаны всех секций закрыты, золотники маслораспределителя находятся в нейтральном положении, сливной вентиль 18 открыт, магистраль I находится под давлением $40\text{—}200 \text{ кг/см}^2$, магистрали II, III и IV соединены со сливом.

Для передвижения забойных секций и конвейера на забой открывается золотник 14, вследствие чего давление в магистрали I падает до 40 кг/см^2 , если оно превышало эту величину, затем включается насосная станция, закрывается сливной вентиль 18 и открывается золотник 15. По магистрали II жидкость под давлением 15 кг/см^2 поступает в управляемые обратные клапаны 29, заполняет левые полости порционеров 28, перемещая их поршни в крайнее правое положение. Жидкость из правых полостей порционеров вытесняется при этом в соединенную со сливом магистраль III; одновременно жидкость поступает в поршневые полости домкратов передвижения, однако выдвижения забойных секций не происходит, так как усилия домкратов при давлении жидкости 15 кг/см^2 недостаточны. При давлении 15 кг/см^2 в магистрали II начинает срабатывать предохранительный клапан 21, что указывает на окончание зарядки порционеров. После этого золотник 15 переводится в нейтральное положение, открывается золотник 16, в результате чего жидкость под давлением $40\text{—}50 \text{ кг/см}^2$ по магистрали III поступает в правые полости порционеров, перемещает их поршни в крайнее ле-

вое положение, вытесняя жидкость в поршневые полости домкратов передвижения, и таким образом передвигает забойные секции и конвейер на забой. При давлении 50 кг/см^2 в магистрали III начинает срабатывать предохранительный клапан 23, что указывает на окончание выдвижения конвейера. После этого золотник 16 переводится в нейтральное положение.

Для распора забойных секций на новом месте открываются золотники 13 и 14, жидкость под давлением 80 кг/см^2 , которое регулируется клапаном 24, поступает в магистраль I и распирает забойные секции.

Для подтягивания посадочных секций открывается золотник 17, жидкость под давлением 200 кг/см^2 поступает по магистрали IV и давит на поршни 31, которые открывают дистанционно управляемые обратные клапаны 29. Затем на блоках посадочных секций открывается сливной клапан 35, в результате чего жидкость из гидростоек поступает через шток домкрата передвижения, его поршневую полость и обратный клапан 29 в магистраль II, соединенную со сливом. После этого открывается клапан передвижения 30 и жидкость под давлением 200 кг/см^2 поступает в штоковую полость домкрата передвижения, передвигая секцию. Из поршневой полости домкрата жидкость вытесняется в магистраль II. Для распора посадочной секции на новом месте закрывается клапан 35 и открывается клапан распора 34, жидкость под давлением 200 кг/см^2 поступает в стойки и распирает секцию. После этого закрываются клапаны распора 34 и передвижения 30 и начинается передвижка следующей посадочной секции.

Небольшая ширина секций (забойных 340 мм и посадочных 630 мм) сводит к минимуму возможность местных нарушений кровли при передвижке крепи. Рессорные перекрытия секций обеспечивают хорошую приспособляемость к неровностям кровли. Конструкция одно- и двухстоечных секций обеспечивает удобный проход по лаве при любом положении секций крепи.

При выдвижении забойных секций опорами служат распертые посадочные секции, а при подтягивании посадочных секций опорами служат забойные и другие посадочные секции. Порядок передвижения забойных секций обеспечивает быстрое закрепление свежееобнаженной полосы кровли, а передвижение посадочных секций поодиночке в любой последовательности обеспечивает гибкое и надежное управление кровлей.

Значительный интерес представляет использование штоков гидродомкратов передвижения одновременно в качестве телескопических трубопроводов для подачи рабочей жидкости в гидростойки. Это дает возможность не иметь в крепи гибких шлангов. Гидросистема крепи с индивидуальными предохранительными клапанами обеспечивает безопасность работ в случае повреждения магистральных трубопроводов и индивидуальную подательность при постоянном сопротивлении каждой секции,

Как известно (п. 6), на шахтах Мосбасса и Кузбасса успешно прошли испытания агрегаты А-3. В этом агрегате применена механизированная гидравлическая крепь М-64 с оградительно-поддерживающим перекрытием, основания которой образуют базу агрегата (рис. 37). Одностоечные секции крепи с перекрытием и защитной спинкой выдвигаются с шагом 0,4 м гидравлическими домкратами, которые также служат для подачи на

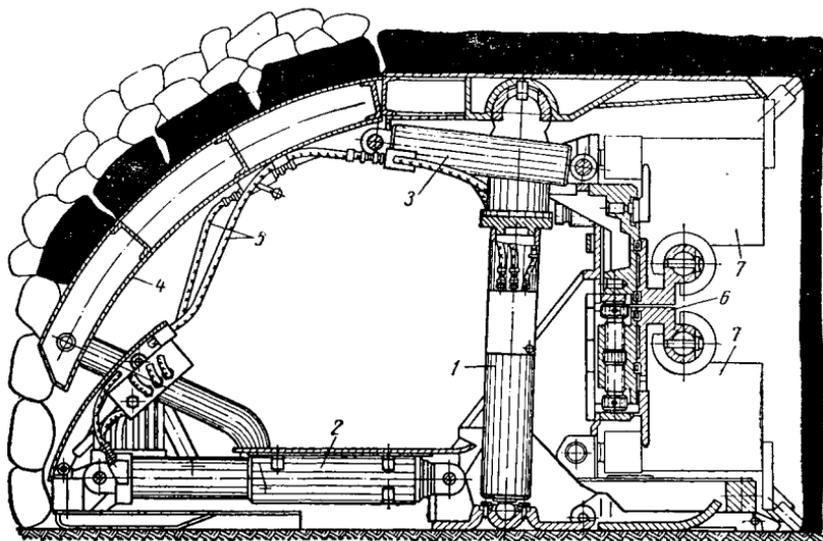


Рис. 37. Агрегат А-3:

1 — гидравлическая стойка; 2 — нижний гидродомкрат подачи; 3 — верхний гидродомкрат подачи; 4 — перекрытие крепи; 5 — маслопровод; 6 — направляющие кареток; 7 — каретки струга

забой всего агрегата вместе с исполнительным органом. Управление агрегатом производится дистанционно с центрального пульта. Рабочее сопротивление гидростойки 90 т, несущая способность крепи 60 т/м² поддерживаемой площади. Агрегат обеспечивает подвигание забоя около 7 м в смену при скорости непрерывной подачи рабочего органа на забой 120—140 мм/мин.

В зарубежной угольной промышленности также ведутся работы по созданию механизированных крепей. Этому способствует широкое применение для выемки угля узкозахватных комбайнов и стругов, требующих бесстоечного призабойного пространства.

В Англии созданы механизмирующие гидравлические крепи «Симен-Гуллик», «Даути-Руфмастер», «Десфорд», «Добсон» и др.

В конструкциях английских механизированных крепей секции крепи не ставятся вплотную одна к другой, а между ними остаются неподкрепленные промежутки шириной от 0,6 до 1,2 м.

В конструкциях механизированных крепей Англии можно выделить основное направление: создание на границе выработанного пространства линии поддерживающих элементов крепи с консольным поддержанием бесстоечного призабойного пространства либо с установкой дополнительной стойки сразу за конвейером.

Конструкция перекрытия — жесткий длинный верхняк у крепей с консольным поддержанием бесстоечного призабойного пространства или верхняк с шарнирным соединением между стойками (шарнир или гибкие пластины).

Общим для большинства английских крепей является то, что направляющей базой крепи служит забойный конвейер. В подавляющем большинстве крепей применены гидравлические стойки, по 2, 3 или 4 стойки в секции. Основания крепей выполняются в виде жестких балок (крепь «Руфмастер») или жестких постелей (крепь «Симен»). Что касается механизма передвижки, все крепи передвигаются при помощи гидродомкратов двойного действия.

Крепь «Симен» (рис. 38, а) применяется в комплексе с узкозахватными комбайнами или стругами. Секции ее устанавливаются либо в одну линию, либо в шахматном порядке в две линии вдоль лавы позади забойного конвейера. Во втором случае передний ряд секций находится на расстоянии 0,45 м от конвейера. Длина консоли зависит от величины, необходимой для прохода машины, ширины конвейера и прохода для людей. Обычно длина консоли принимается равной 1,0—1,2 м. Все четыре стойки секции гидравлически связаны между собой и имеют общий предохранительный клапан, в результате чего сопротивление всех стоек одинаково. Рабочей жидкостью, применяемой для питания стоек и домкратов передвижения, является эмульсия — вода, содержащая 2% растворимого масла. Эмульсия под давлением подается по напорному трубопроводу. Большинство секций крепи «Симен» имеет открытую гидросхему, т. е. рабочая жидкость при разгрузке стоек выливается в выработанное пространство. Рабочее сопротивление секции 120 т достигается после проседания выдвинутой части стоек на 10—25 мм.

Измерения нагрузок на крепь и податливости крепи показали, что крепь быстро воспринимает нагрузку с минимальной податливостью и имеет удовлетворительное рабочее сопротивление. Одной из наиболее существенных особенностей установки крепи «Симен» было уменьшение величины и скорости опускания кровли в лаве: опускание кровли за 24 ч на участке индивидуальной крепи составляло 88,9 мм, а на участке механизированной крепи — только 44,5 мм. Это улучшение состояния кровли сделало возможным увеличить расстояние между секциями крепи до 1,2 м, между центрами.

В крепи «Руфмастер» (рис. 38, б) две задние стойки посадоч-

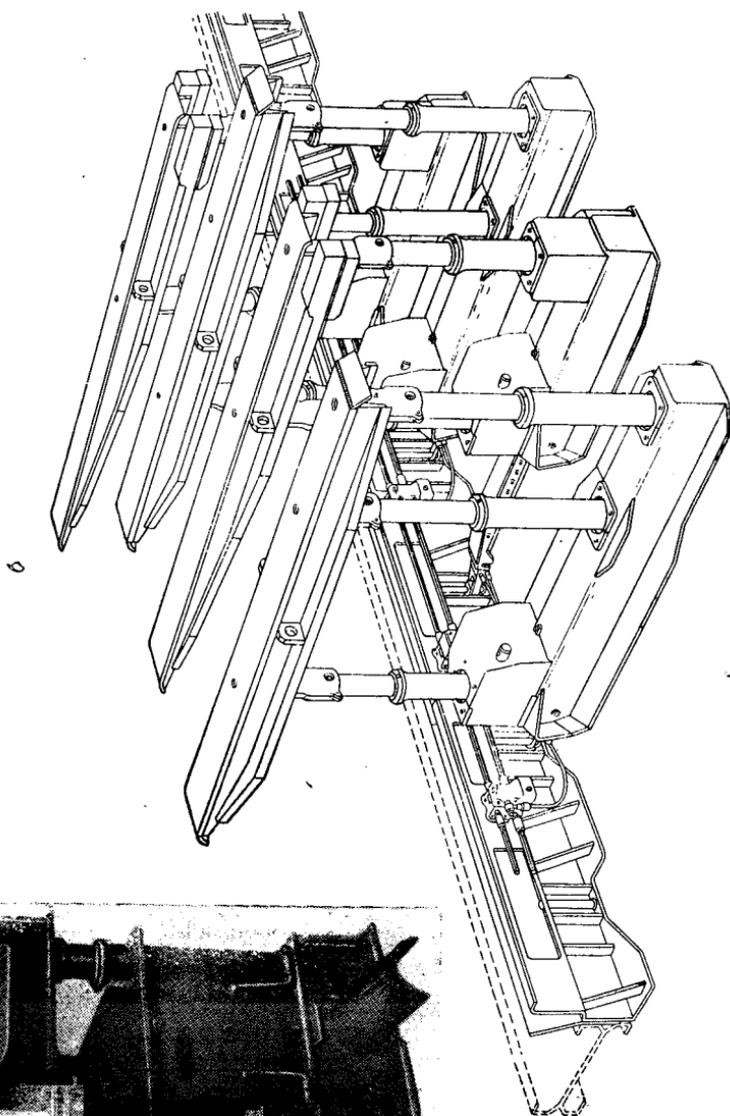
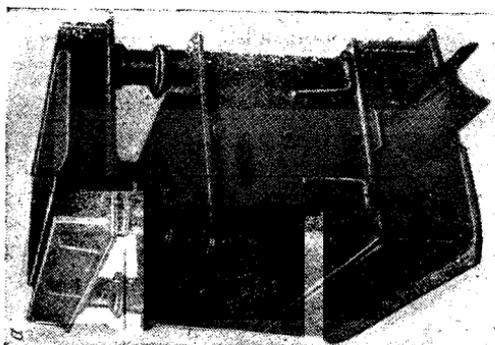


Рис. 38. Общий вид секции крени «Симен» (а) и «Дауги-Руфмастер» (б)

ных секций, расположены на нижней плите коробчатого основания, а передняя стойка опирается на верхнюю плиту основания, освобождая таким образом место для размещения гидродомкрата передвижения. Специальное кольцевое соединение домкрата передвижения обеспечивает возможность при передвижении отклонения секции в любую сторону на угол до 6° . Домкрат передвижения развивает давление на конвейер порядка 1,5—3,0 т.

На головках стоек с ограниченной шарнирностью установлен жесткий сплошной верхняк желобчатого сечения; головки стоек отделяются от кровли только толщиной стенки верхняка.

В крепях «Гоул-Пост» и «Гал-Винг» фирмы «Уайлд-Десфорд» (рис. 39) в качестве опор используются гидравлические стойки «Десфорд» с рабочим сопротивлением 50 т. Крепь «Гоул-Пост» (рис. 39, а) состоит из секций, связанных с конвейером при помощи домкрата передвижения. Каждая секция крепи состоит из двух гидравлических стоек, установленных на увеличенных башмаках, которые связаны пружинной связью; на стойках установлен большой жесткий верхняк, к передней части верхняка прикреплен консольный козырек, прижатие которого к кровле регулируется двумя небольшими гидродомкратами, прижимающими его к кровле с усилием около 1,5 т. Гидродомкрат передвижения расположен в основании. Крепь имеет три отдельные гидросистемы: для задней стойки, для передней стойки и домкратов консоли и для домкрата передвижения конвейера. Каждая гидросистема имеет отдельный рычаг для управления клапанами, которые смонтированы на крепи около передней части. Недостатком крепи «Гоул-Пост» является большое обнажение кровли при передвижке крепи.

Для решения проблемы поддержания кровли при передвижке крепи была разработана крепь «Гал-Винг» (рис. 39, б), которая отличается от крепи «Гоул-Пост» тем, что стойки крепи работают независимо и соединяются только домкратом передвижения. В некоторых конструкциях верхняки также полностью отделяются. Эта крепь предназначена для применения при более слабых кровлях, чем крепь «Гоул-Пост».

Механизированная гидравлическая крепь «Добсон Дабл Ту» (рис. 39, в) состоит из отдельных секций, представляющих собой две спаренные рамы, каждая из которых имеет две гидравлические стойки — перекрытие и основание, соединенные домкратом передвижения. Рабочее сопротивление каждой стойки 25 т. В переднюю стойку каждой рамы встроен интенсификатор-усилитель, который способен повышать внутреннее давление жидкости при установке крепи со 105 до 319 кг/см^2 . Перекрытие каждой рамы состоит из трех жестких верхняков, шарнирно соединенных со стойками и между собой. Для прижатия консольного верхняка к кровле предусмотрен гидропатрон. Основание каждой рамы представляет собой жесткую коробчатую конструкцию, на кото-

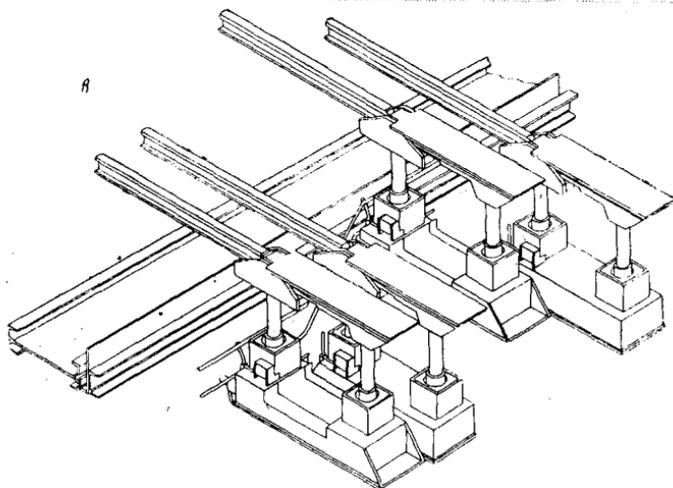
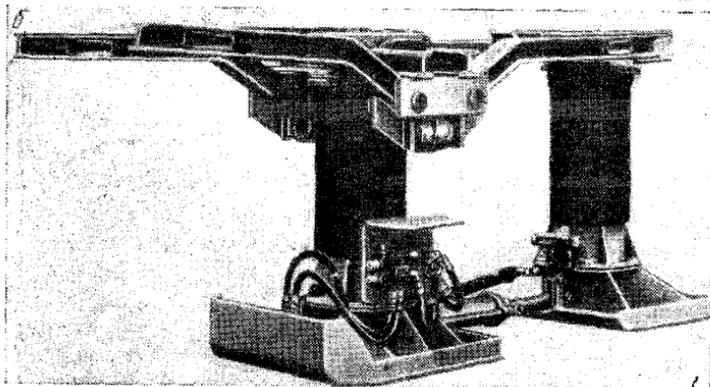
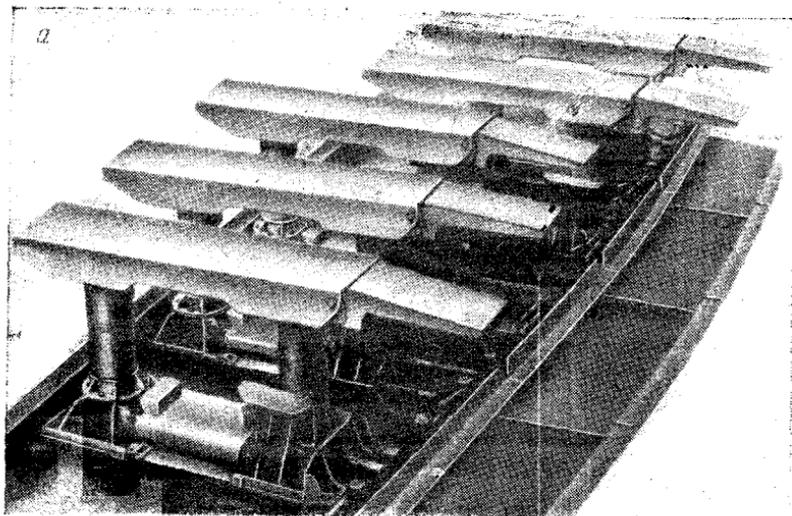


Рис. 39. Общий вид крепи «Гоул-Пост» (а), «Гал-Винг» (б) и «Добсон Дабл Ту» (в)

рой в специальных гнездах при помощи резиновых втулок установлены стойки, а также располагаются органы управления крепью. Гидродомкрат передвижения, установленный между каждой парой рам в секции, обеспечивает передвижение рам относительно друг друга. Каждая шестая секция снабжается дополнительным гидродомкратом для передвижки конвейера. Расстояние от передней стойки до забоя составляет около 1,3 м, что обеспечивает проход между конвейером и стойками. Рабочая жидкость (эмульсия воды и масла) подается к секциям крепи по бронированным шлангам под давлением 70 кг/см² от централизованной насосной станции.

В ФРГ применяются механизированные крепи «Гидрофант», «Вестфалия-Люнен», «Гёш», «Клёкнер-Ферроматик» и др.

Гидравлическая передвижная крепь «Гидрофант» (рис. 40, а) состоит из независимых одностоечных секций, представляющих собой гидравлическую стойку с рабочим сопротивлением 60 т, жестко установленную на прямоугольном основании размером 400 × 500 мм, и перекрытие, подвижно соединенное с выдвигной частью стойки. Большой диаметр гидравлической стойки позволил снизить рабочее давление внутри стойки и этим улучшить работу ее уплотнений и предохранительного клапана. Перекрытие крепи состоит из жесткого верхняка длиной 1750 мм, установленного на сферическом конце выдвигной части стойки; на конце верхняка, обращенном к забою, навешивается шарнирный верхняк. Чтобы при разгрузке секции верхняк не падал, он прикреплен к выдвигной части стойки двумя пружинами.

В конструкции крепи применяется либо гидросистема с внешним питанием рабочей жидкостью, подводимой к стойке при распоре извне, либо замкнутая гидросистема с встроенным в стойку насосом, приводимым в действие переносным электрическим или пневматическим двигателем. Начальное сопротивление стойки 30—35 т. Передвижение крепи осуществляется при помощи пневмодомкратов или переносными тягальными приспособлениями. При работе струга крепь устанавливается в шахматном порядке на расстоянии 1,5 м по падению между осями секций и 0,5 м по простиранию. Для поддержания кровли над конвейером к верхнякам второго ряда крепи навешивались шарнирные верхняки длиной 750 мм. После подвигания забоя на 0,75 м такие верхняки навешиваются на крепь первого от забоя ряда. При подвигании забоя еще на 0,75 м снимаются верхняки с крепи второго ряда, и этот ряд крепи передвигается путем поочередной разгрузки, передвижки и распора каждой секции. При укладке на перекрытие резиновых или пластмассовых полосок состояние пород кровли заметно улучшалось.

Гидравлическая передвижная крепь фирмы «Вестфалия-Люнен» (рис. 40, б) состоит из секций, не связанных с конвейером. Каждая секция крепи состоит из пары двухстоечных рам, соеди-

ненных гидродомкратом передвижения, цилиндр которого связан с основанием одной рамы, а шток — с основанием другой рамы. Каждая рама имеет две гидравлические стойки с внешним питанием, которые опираются на отдельные сферические башмаки,

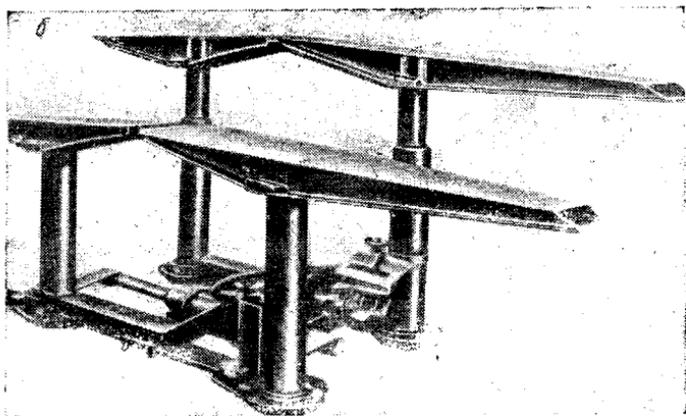
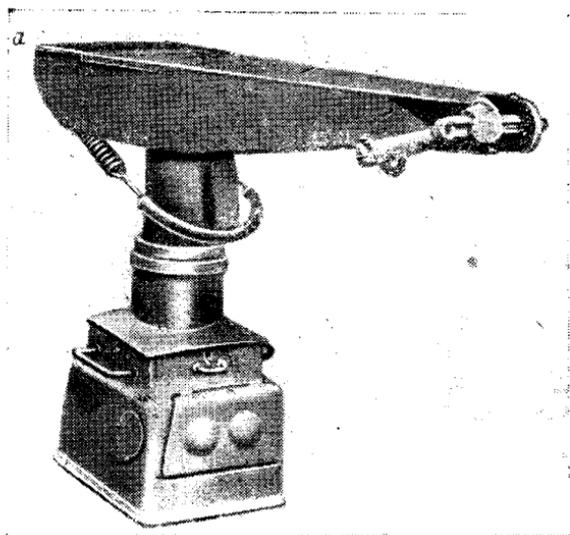


Рис. 40. Общий вид секций крепей «Гидрофант» (а) и «Вестфалия-Люнен» (б)

связанные по простиранию пружинной связью. Перекрытие рам сделано в виде двух башмаков, соединенных пружинным листом; передний башмак несет также консольный верхняк, поддерживающий кровлю над конвейером. Питание секций производится

от насосных станций с пневматическим приводом, расположенных в лаве и обслуживающих участок лавы около 30 м. Рабочее сопротивление каждой стойки 40 т. Шаг передвижки крепи 0,7—0,8 м. Крепь успешно работала в струговой лаве.

В комплексе со струговой установкой на пласте мощностью 0,7—1,6 м с углом падения 6—9° также успешно применяется механизированная гидравлическая крепь фирмы «Гёш», состоящая из отдельных секций (рис. 41). Каждая секция крепи представляет

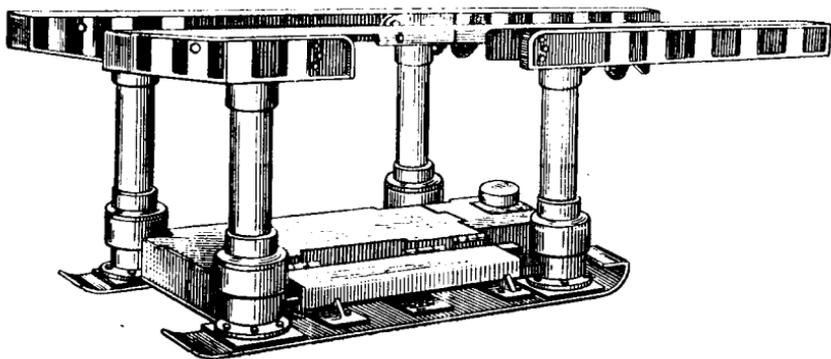


Рис. 41. Общий вид секции крепи фирмы «Гёш»

собой две двух- или трехстоечные рамы, которые соединены между собой в нижней части при помощи корпуса для размещения гидродомкрата передвижения. Рама секции состоит из перекрытия, двух или трех стоек и основания. Перекрытие каждой рамы представляет собой два жестких коробчатых верхняка, которые имеют сферические гнезда для установки стоек и соединены между собой стальной лентой. Передний верхняк перекрытия консольно выступает к забою и снабжен дополнительным консольным верхняком, который при помощи специального гидродомкрата может быть выдвинут на 0,65 м. Стойки каждой рамы представляют собой гидравлические домкраты, которые выполнены таким образом, что выдвигаемая часть их находится у почвы, а корпус соединен с перекрытием у кровли. Такое расположение облегчает подвод рабочей жидкости к стойкам. Для защиты от пыли и механических повреждений рабочей поверхности нижняя часть стойки снабжается защитным кожухом. Рабочее сопротивление каждой стойки может регулироваться на месте в лаве в пределах от 20 до 40 т. В дне поршня каждой стойки имеется предохранительный клапан, соединенный со сливным трубопроводом. Особенностью стоек, применяемых в этой крепи, является наличие штоковой полости, при помощи которой стойка может быть быстро сдвинута (а перекрытие опущено) под воздействием гидравлического давления с усилием около 5 т. Для мощности пластов от 0,7 до 1,6 м предусматривается 5 типоразмеров

стоек. Основание каждой рамы представляет собой лежень из рессорной стали, на котором в специальных гнездах укреплены стойки. Это крепление за счет резиновых прокладок допускает некоторое отклонение стоек от вертикали и обеспечивает возврат их в исходное положение при разгрузке секции.

Гидродомкрат для передвижки секций помещен в корпусе, который подвешен между обеими рамами на пружинных полосах, в этом же корпусе помещается предохранительный клапан для рам. Усилие передвижки составляет 6—10 т, шаг передвижки четырехстоечной секции 0,65 м, шестистоечной секции 1,25 м, время передвижки 45—50 сек. При работе в комплексе со струговой установкой в основании каждой секции кроме домкрата

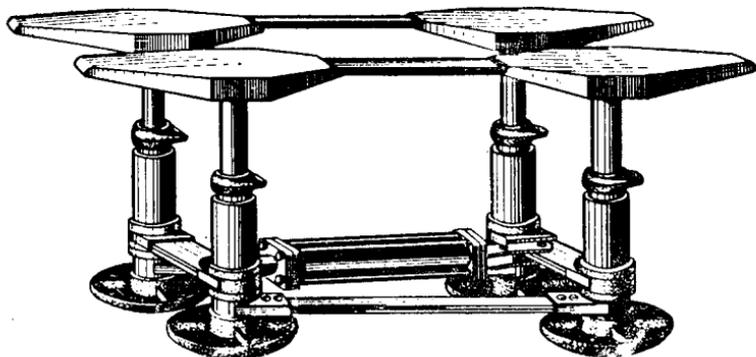


Рис. 42. Общий вид секции крепи фирмы «Клекнер-Ферроматик»

для передвижки секций расположен еще один домкрат для передвижки и удержания забойного конвейера. Внутри основания имеется также пятизолотниковый блок управления с перестановкой золотников посредством дистанционно управляемых со штрека электромагнитов во взрывобезопасном исполнении, работающих на напряжении 40 в.

Питание всех секций производится от централизованной насосной станции, установленной на штреке и связанной с секциями крепи двумя гибкими трубопроводами; рабочая жидкость подается под давлением 200 кг/см^2 . Автоматический запуск двигателя насоса при снижении давления и автоматическую остановку двигателя при превышении номинального давления на 30 кг/см^2 обеспечивает специальное гидравлическое реле.

На шахте «Виктор-Икерн» в Руре и на одной из шахт в Голландии успешно работает гидравлическая механизированная крепь фирмы «Клекнер-Ферроматик» для пластов пологого падения. Эта крепь состоит из отдельных секций (рис. 42), представляющих собой четыре гидравлические стойки с развитыми

верхними и нижними опорами, соединенные сверху и снизу попарно по простирацию в рамы при помощи стальных полос, а также по падению снизу при помощи стальных пружинных полос. Каждая гидростойка представляет собой обыкновенный гидродомкрат, получающий внешнее питание от центральной насосной станции. Рабочее сопротивление каждой стойки составляет 40 т, начальный распор около 30 т. Две стойки каждой рамы в секции соединены одна с другой при помощи гибких шлангов и имеют общий запорный кран с обратным и предохранительным клапанами. Предохранительный клапан рассчитан на максимальную нагрузку, которую может воспринять рама, он открывается, как только нагрузка превосходит заданную величину. Обратный клапан располагается между запорным краном и трубопроводом высокого давления, что позволяет стойкам секций крепи сохранять при передвижке давление рабочей жидкости, равное давлению в напорном трубопроводе. Верхние опоры стоек шарнирно соединены со стойками и представляют собой удлиненные опоры примерно эллиптической формы, связанные между собой по простирацию одной или двумя стальными лентами. Сферические основания стоек диаметром около 400 мм связаны в секции крепи между собой при помощи плоских пружинных тяг, образующих шарнирный четырехзвенник.

Передвижение секций крепи осуществляется при помощи гидродомкрата передвижения двойного действия, расположенного внизу по диагонали между рамами секции; этот гидродомкрат при прямом ходе развивает усилие до 13 т, при обратном — до 8 т. При передвижке секции сначала разгружается от давления одна рама и при помощи домкрата передвижения передвигается вперед, смещаясь на шарнирных связях основания, после ее закрепления на новом месте передвигается вторая рама. Для предупреждения одностороннего смещения секций крепи следующая передвижка производится начиная от второй рамы. В результате того, что передвижка рам происходит зигзагообразно, частично уменьшается «топтанье» кровли. Шаг передвижки крепи составляет 700 мм, время передвижки одной секции составляет 40—50 сек. Управление каждой секцией крепи — местное, ручное.

Секции крепи соединены с напорным и сливным гибкими трубопроводами, расположенными вдоль лавы. В качестве рабочей жидкости применяется эмульсия из воды, 2% масла и других антикоррозийных добавок, подаваемая от центральной насосной станции производительностью 34 л/мин под давлением до 350 кг/см². Работа электро- или пневмопривода насоса автоматизирована на заданное давление в гидросистеме крепи.

В последнее время во Франции успешно применяется в лаве со сложными горногеологическими условиями (на пласте с переменной мощностью от 0,95 до 1,55 м и слабыми породами

кровли) механизированная гидравлическая крепь «Саи-Сомеми». Эта крепь состоит из отдельных секций (рис. 43). Каждая секция крепи представляет собой две спаренные одностоечные рамы, расположенные в лаве в шахматном порядке. Ширина рабочего пространства составляет 2,4 м. Каждая рама представляет собой одну стойку с Т-образным верхняком, развитым основанием и отдельным гидродомкратом передвижения двойного действия. Рабочее сопротивление каждой стойки сначала было принято 35 т, потом 48 т, начальный распор каждой стойки 13 т.

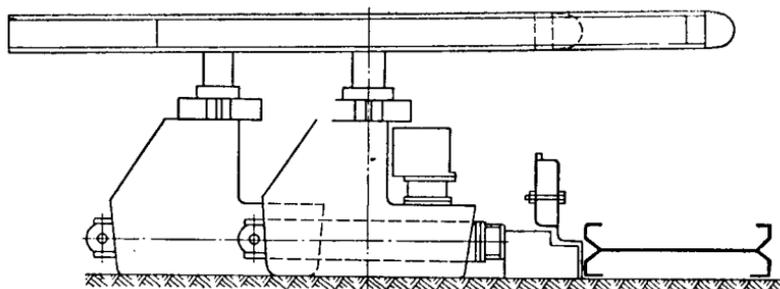


Рис. 43. Общий вид секции крепи «Саи-Сомеми»

Минимальная высота стойки составляет 0,75 м, раздвижность 40 см, при значительном увеличении мощности пласта применяются надставки высотой 20, 40 или 60 см. Верхняки — жесткие из стального литья, шарнирно соединены со стойками. Основание по почве имеет размеры 700×700 мм, на нем размещаются стойка и органы управления секцией крепи. Основания каждой рамы служат также резервуаром для масла. Передвижка отдельных секций крепи и конвейера может производиться независимо. На каждой секции или на группу из 5 секций устанавливается станция управления, состоящая из насоса производительностью 12 л/мин при рабочем давлении 120 кг/см² и пневматического двигателя мощностью 3,5 л. с.

Применение механизированных крепей обеспечивает следующие преимущества:

1. Увеличивается скорость, с которой может двигаться выемочная машина, в результате этого увеличивается добыча угля.

2. Улучшается поддержание кровли в призабойном пространстве и увеличивается безопасность работ в забое, а работа выемочной машины становится более устойчивой.

3. Увеличивается производительность и улучшаются условия труда рабочих в очистном забое.

Механизированная крепь позволяет сравнительно просто осуществить комплексную механизацию и автоматизацию производственных процессов в очистном забое.

Эти преимущества механизированных крепей создают условия для расширения области применения струговой выемки угля.

Глава V

КОНСТРУКЦИИ СТАТИЧЕСКИХ СТРУГОВ

15. Устройство отечественных стругов

В послевоенные годы в нашей стране были спроектированы, изготовлены и испытаны в промышленных масштабах тихоходные ступенчатые струги с рабочим органом в виде сплошных режущих ножей и быстроходные зубчатые струги. В годы Великой Отечественной войны в СССР была развернута работа по созданию комплексной установки струга статического действия [44]. Вначале были созданы струг УС-2 сварной конструкции и УС-3 литой конструкции (1945—1946 гг.); позже в 1948—1950 гг. в Советском Союзе работало уже 28 струговых установок, из них 3 установки работали в Кузбассе, а остальные — в Донбассе. При этом 22 лавы были оборудованы стругами УС-4. Экспериментальные наблюдения за работой промышленных образцов струговых установок УС-4 и опыт их эксплуатации показали, что они работают удовлетворительно лишь на пластах с мягким и кливажистым углем, при хорошем отжиге угля от массива пласта и крепкой почве со спокойной гипсометрией. Предварительное рыхление угольного массива ВВ в случае отсутствия отжима угля оказалось недостаточно эффективным, так как остающиеся после взрывания целички угля не отделялись стругом от массива пласта, струг при этом расклинивался между ними и направляющей рамой конвейера, вследствие чего наблюдались разрывы тягового каната струга. При работе струговой установки УС-4 наблюдался также сильный отжим струга от забоя в сторону выработанного пространства вплоть до поворота его вокруг своей продольной оси. Одной из причин отжима струга являлось наличие у его ножей непрерывной длинной режущей кромки, контактирующей с массивом пласта.

Наряду с этим струговая установка УС-4 имела ряд других недостатков, как например канатный тяговый орган, сползание конвейера вдоль линии забоя, заштыбовывание конвейера и др. Все это крайне затрудняло нормальную и эффективную работу струговой установки УС-4.

Дальнейшее развитие конструкции стругов пошло по пути создания стругов со сплошными режущими ножами и резцами для предварительного или опережающего вруба. К числу стру-

гов с предварительным врубом относится, например, советский струг СКУ-2, а с опережающим врубом — струги фирмы «Де-маг» (ФРГ) и «Кемпел-Ричи» (Англия). Одновременно с этим создавались зубчатые струги. Эти струги, как показывает опыт, являются наиболее прогрессивными, и в последнее время они нашли широкое применение во многих странах мира. Поэтому ниже рассматриваются только лишь конструкция и работа зубчатых стругов.

Один из первых советских быстроходных зубчатых стругов был создан Гипроуглемашем (Новосибирск) по предложению Стажевских. Первые испытания этого струга были проведены в конце 1946 и начале 1947 гг. Дальнейшая работа Стажевских по усовершенствованию первоначальных вариантов струговой установки привела к созданию установки типа КС-2М.

Эта установка предназначена для комплексной механизации очистных работ в лавах длиной до 120 м при разработке опускающихся пластов мощностью от 1,0 до 2,1 м. Она состоит из зубчатого струга, двухцепного скребкового конвейера, привода струга, механизмов передвижения конвейера, комплекта индивидуальной металлической крепи, насосной станции и пульта управления механизмами установки. Комплект крепи состоит из металлических стоек, шарнирных верхняков и посадочных стоек ОКУ. Техническая характеристика струговой установки КС-2М приведена в табл. 12 и 13.

Общий вид струга, или, что то же, челнока струговой установки КС-2М, представлен на рис. 44, а разрезы по АА и ББ (рис. 44) показаны на рис. 45. Струг двухстороннего действия и предназначен для выемки углей не выше средней крепости.

Челнок состоит из верхней 1 и нижней 2 литых балок, соединенных между собой стойками 3 и 4, нижней 5, средней 6 и верхней 7 резцедержавок, в которых устанавливаются и закрепляются три вида резцов: нижние, средние и верхние. Конструкции этих резцов рассматриваются ниже. Нижняя и средняя резцедержавки изготавливаются разной высоты, каждая из них рассчитана на крепление различного количества резцов. Только лишь верхняя резцедержавка имеет постоянную высоту, рассчитанную на крепление одного резца с каждой стороны. Расстояние между осями резцов по высоте челнока принято 130 мм.

На нижней резцедержавке укреплены средние и нижние резцы 8 и 9, сделанные в виде сплошных ножей. Для разрушения верхней пачки угля предусмотрен резец 10, вылет которого над резцедержавкой может изменяться при помощи винтовой пары 1 (рис. 45), приводимой в действие вручную коническую зубчатую передачей 2. Челнок разрушает угольный забой на всю разрабатываемую мощность пласта.

На стойках 3 и 4 (рис. 44) укреплены ножи 11 и 12, служащие для зачистки почвы пласта. В специальных гнездах, сле-

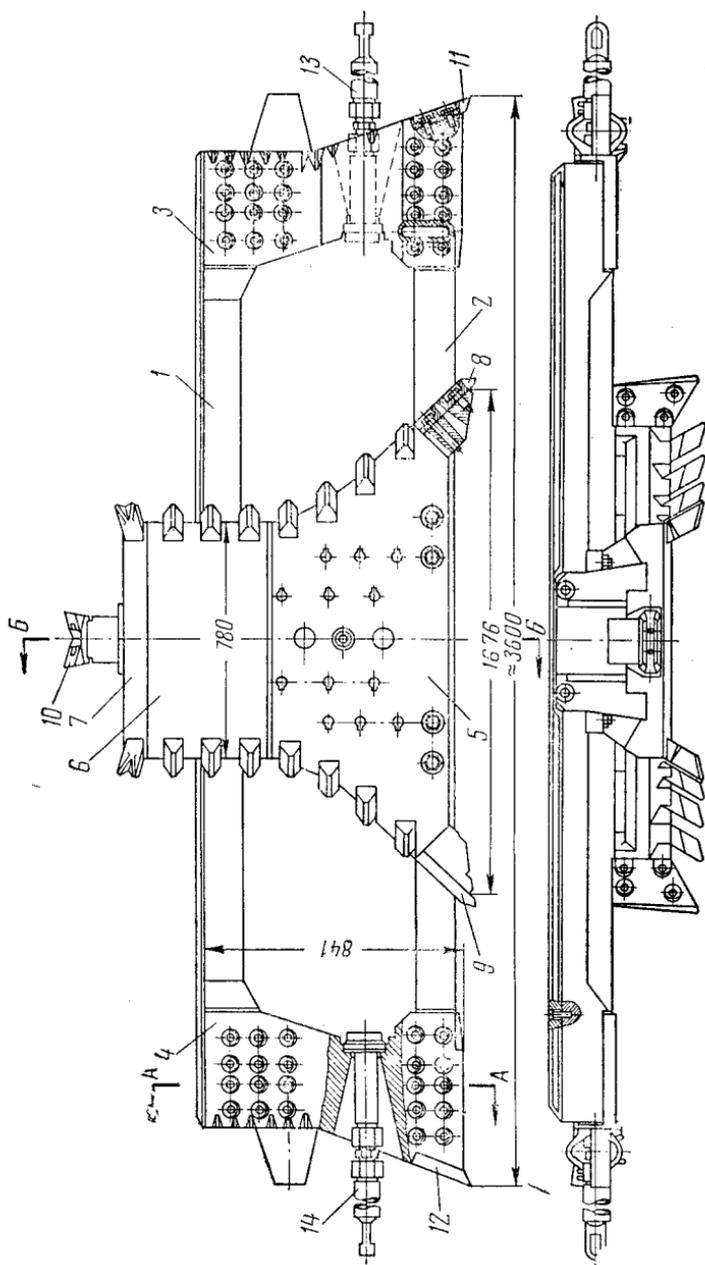


Рис. 44. Общий вид струга КС-2М

Ланнх в этлх стolkх, укpелнены натяжные устройства 13 и 14 тяговой цепи челнока.

Направляющими опорами челнока 1 являются секции 2 скребкового конвейера рамной конструкции (рис. 46). Челнок имеет две направляющие опоры, расположенные внизу и вверху рамы

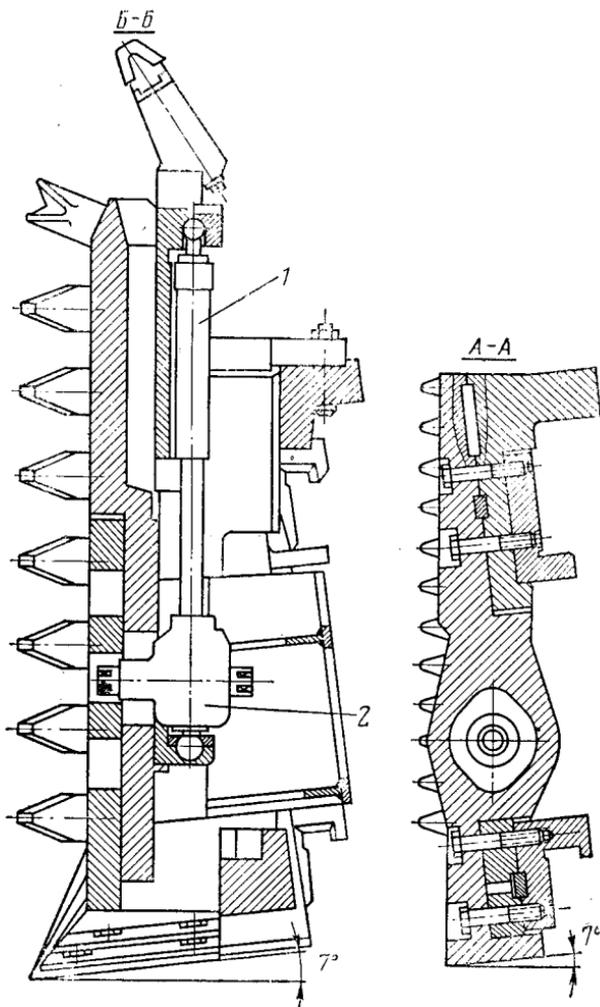


Рис. 45. Поперечные разрезы струга КС-2М

конвейера со стороны забоя. Челнок на направляющих занимает наклонное положение в вертикальной плоскости, чем достигаются наиболее благоприятные условия для его работы. Для регулирования положения челнока и конвейера в вертикальной плоскости при неровной почве пласта предусмотрены специальные винтовые домкраты 3, смонтированные на раме конвейера

со стороны выработанного пространства. Челнок, двигаясь снизу в верх лавы с рабочей скоростью $0,8 \text{ м/сек}$, отделяет своими резцами уголь от массива пласта в виде полосы шириной $70\text{—}130 \text{ мм}$ и наваливает его на конвейер. Ширина отделяемой полосы устанавливается в зависимости от крепости угля.

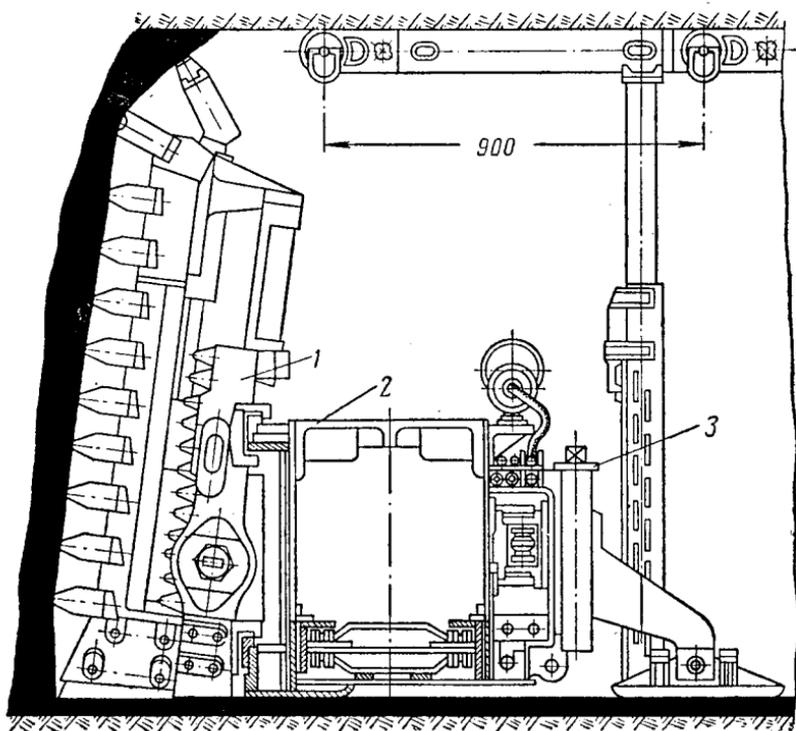


Рис. 46. Вид струга КС-2М совместно с конвейером

При обратном холостом ходе челнок зачищает призабойную полосу почвы и наваливает уголь на конвейер. По окончании этого хода и передвижения струга совместно с конвейером к груди забоя на величину захвата, струг снова движется вверх по лаве, отделяя новую полосу угля от массива пласта.

Скорость движения челнока при холостом ходе $0,4 \text{ м/сек}$. Уменьшение этой скорости в два раза по сравнению со скоростью рабочего хода обусловлено необходимостью получения относительной скорости скребковой цепи конвейера по отношению к движущемуся вниз челноку, равной $0,5 \text{ м/сек}$, при которой обеспечивается нормальная работа конвейера.

К существенным недостаткам конструкции струга КС-2М надо

отнести сложное устройство его направляющих опор, наличие нижних ножей с длинной режущей кромкой и малым сроком их службы и конструкцию подъемного механизма для верхнего резца. Так, нижние ножи приходилось менять после добычи 6—8 тыс. т угля, а верхний резец — после 3—5 тыс. т.

Советский быстроходный струг для выемочного агрегата А-2 [45, 46] разработан в последние годы Гипроуглемашем и предназначен для комплексной механизации очистных работ в лавах длиной до 100 м при разработке пологопадающих пластов мощностью от 0,85 до 1,8 м. Техническая характеристика некоторых элементов агрегата А-2 приведена в табл. 12 и 13.

Агрегат А-2 может снабжаться стругами двух типоразмеров, один из которых служит для разработки угольных пластов мощностью 0,83—1,3 м, а другой — для пластов мощностью 1,3—1,8 м.

Струг двухстороннего действия предназначен для выемки угля не выше средней крепости, оснащен нижними, средними и верхними резцами, конструкции которых рассматриваются ниже. Струг, двигаясь снизу в верх лавы на рабочей скорости 0,7 м/сек, резцами отделяет от массива пласта полосу угля шириной 50—150 мм и наваливает уголь на конвейер. Движение струга вдоль лавы осуществляется при помощи калиброванной круглозвенной цепи и привода, смонтированного на натяжной головке конвейера.

Струг (рис. 47) состоит из корпуса 1, выдвижной части 2, опорного хобота 3, гидравлического домкрата 4 выдвижной части струга, блока 5 гидравлических домкратов копира, опорной тележки 6 и прицепного устройства (рис. 47 и 48).

Корпус струга изготовлен из стального литья. В средней части его предусмотрено гнездо с обработанными поверхностями, в котором размещается выдвижная часть струга. Корпус снабжен бронзовыми вкладышами 7, которые при движении струга вдоль забоя скользят по направляющей трубе, приваренной к раме конвейера со стороны забоя. В корпусе имеются также гнезда для установки и крепления нижних 8 и средних 9 резцов. Расстояние между осями резцов по высоте струга принято 130 мм. Помимо этого, на корпусе устанавливаются ножи 10, служащие для зачистки забоя (рис. 47).

Средние резцы устанавливаются и крепятся на корпусе 1 и выдвижной 2 части струга (рис. 47). Минимальная мощность пласта, вынимаемая этим стругом, составляет 830 мм, а максимальная, при полном подъеме выдвижной части, 1180 мм. При установке на выдвижной части струга специальной резцедержавки вынимаемая мощность пласта может быть увеличена до 1300 мм.

Опорный хобот 3 (рис. 48), выполненный из стального литья в виде балки коробчатого сечения, присоединен болтами к кор-

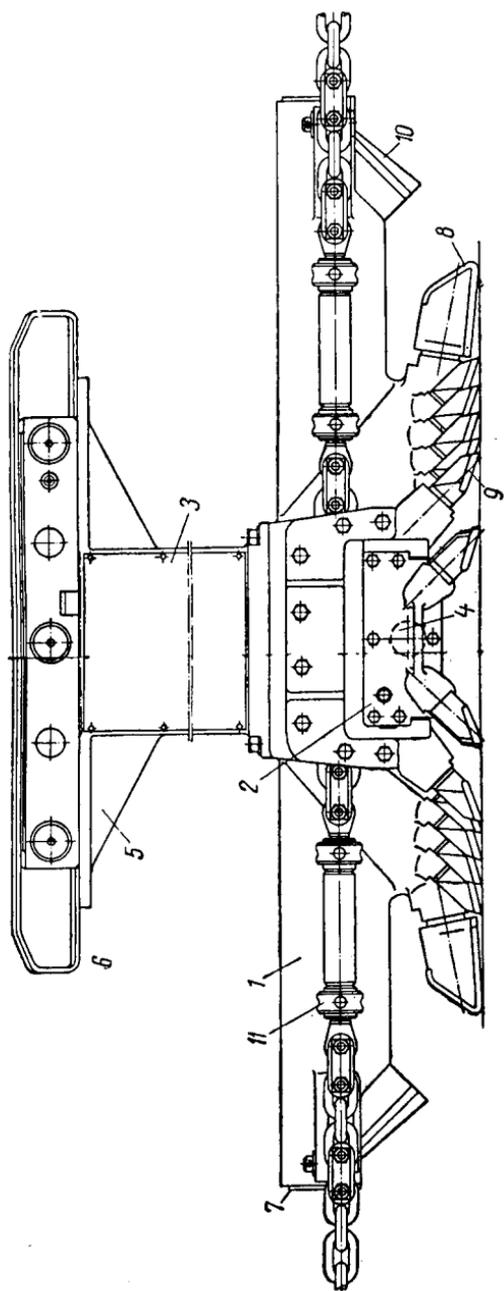


Рис. 47. Общий вид струга агрегата А-2 (план)

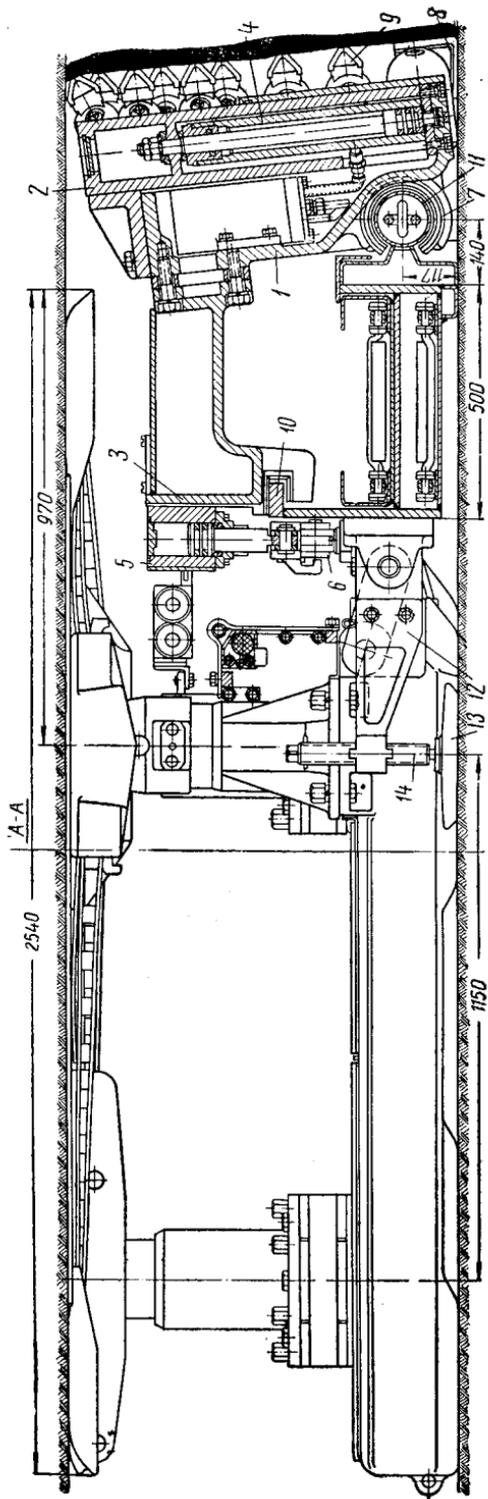


Рис. 48. Вид струга в разрезе совместно с конвейером и секциями гидравлической крепи агрегата А-2

пусу 1 струга. Последний с помощью этого хобота опирается на полосу 10, приваренную к высокому борту секции конвейера. Таким образом, струг посредством своего корпуса 1 опирается при движении на направляющую трубу 11, внутри которой проходит холостая ветвь тяговой цепи, и хоботом 3 — на борт секции конвейера.

К борту секции конвейера со стороны выработанного пространства прикреплен кронштейн 12, который связан с опорной лыжей 13 при помощи винта 14. Этим винтом осуществляется изменение угла наклона секций конвейера, а следовательно, и струга в сторону выработанного пространства или забоя.

Прицепное устройство 11 (рис. 47) служит для соединения тяговой цепи со стругом; оно состоит из двух винтов с правой и левой резьбой, стяжной муфты и контргаек.

Высота струга может автоматически изменяться во время работы в зависимости от мощности пласта, что достигается путем подъема или опускания выдвигной части струга (рис. 48). Для этого в струге предусмотрен гидравлический домкрат 4 подъема и опускания выдвигной части и гидравлические домкраты блока копира 5. Гидравлический блок 5 соединен с хоботом струга. Поршневые полости цилиндров гидродомкратов выдвигной части струга 1 и гидроблока 2 соединены между собой гидравлически (рис. 49). Три гидродомкрата блока 2 копира работают синхронно, так как они соединены между собой также гидравлически.

Штоки поршней гидродомкрата копира имеют роликовую опорную каретку 3, которая скользит при работе струга по копирной линейке 4. Последняя представляет собой набор отрезков балок прямоугольного сечения, связанных между собой шарнирами. Эти балки могут перемещаться в вертикальной плоскости при помощи винтов, установленных в гнездах кронштейнов, изготовленных из стального литья и прикрепленных болтами к борту линейной секции конвейера со стороны выработанного пространства. Перед работой струга предварительно винтами настраиваются копирные линейки по гипсометрии кровли пласта. Во время работы струга опорная каретка, перемещаясь по копирной линейке, заставляет масло из гидродомкратов блока копира перетекать в гидродомкраты выдвигной части струга, благодаря чему увеличивается или уменьшается его высота.

Гидросистема струга является замкнутой. При такой системе количество масла, поступающего в силовой гидродомкрат выдвигной части струга или в двигатель, которым в данном случае являются гидродомкраты блока копира, должно быть равно количеству масла, уходящего из него за то же время. Поэтому при заполненном маслом трубопроводе уравнение объема циркулирующего масла в цилиндрах гидродомкратов в случае подъ-

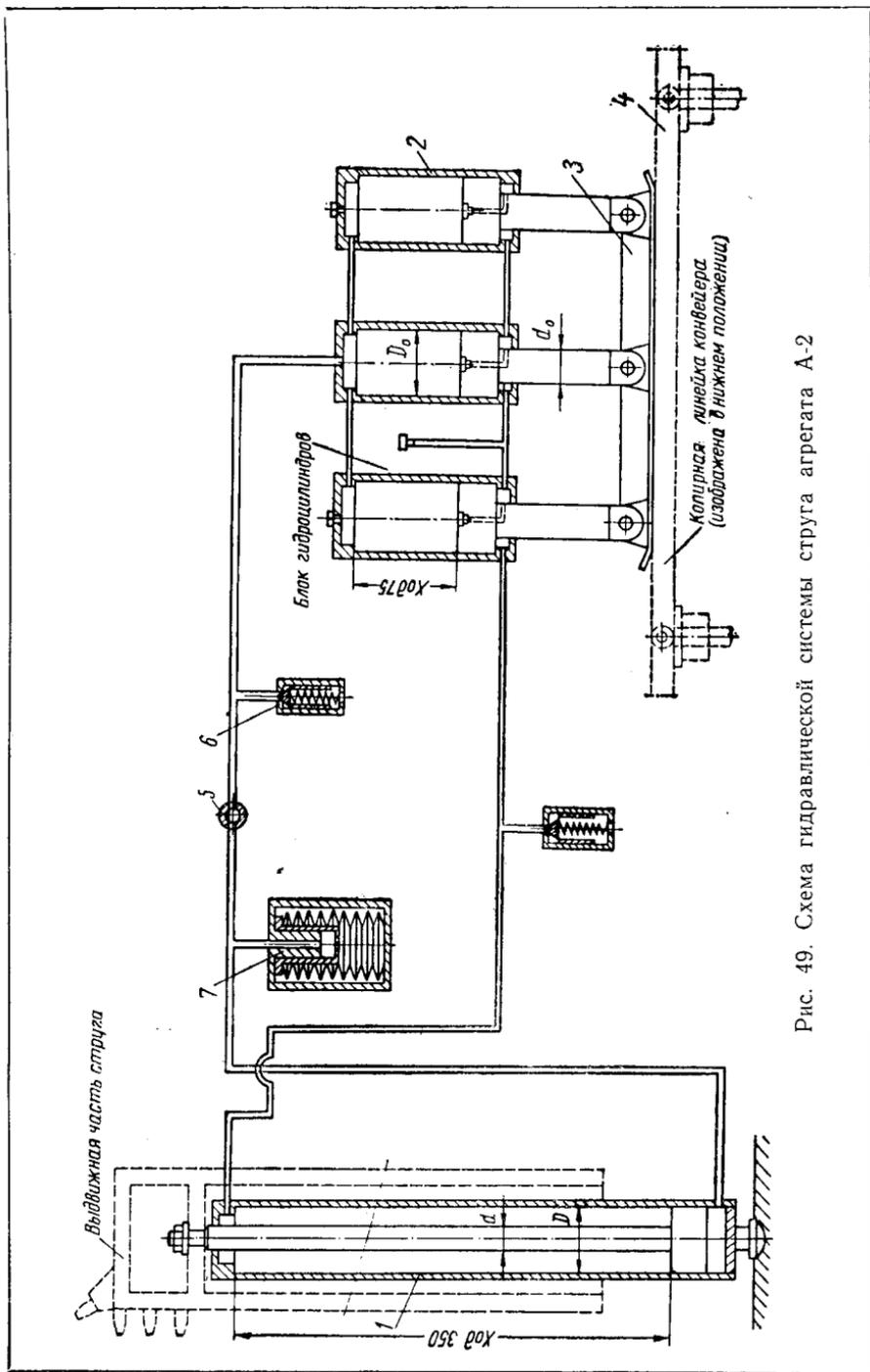


Рис. 49. Схема гидравлической системы стрига агрегата А-2

ема выдвигной части струга будет иметь вид

$$\frac{\pi D^2}{4} l = z \frac{\pi D_0^2}{4} l_0,$$

где D — диаметр цилиндра гидродомкрата выдвигной части струга;

l — величина хода выдвигной части струга;

z — количество гидродомкратов блока копира;

D_0 — диаметр цилиндра гидродомкрата блока копира;

l_0 — величина хода штока гидродомкрата блока копира.

При заданном значении l величина хода штока гидродомкрата копира будет равна

$$l_0 = \frac{D^2 l}{D_0^2 z}.$$

Ход поршня гидродомкрата выдвигной части струга составляет 350 мм, а ход поршня каждого гидродомкрата блока копира — 75 мм.

Уравнение объема циркулирующего масла в цилиндрах гидродомкратов при опускании выдвигной части струга имеет вид

$$\frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} l = \frac{\pi (D_0^2 - d_0^2)}{4} \cdot z l_0,$$

откуда найдем диаметр цилиндра каждого гидродомкрата блока копира

$$D_0 = \sqrt{\frac{(D^2 - d^2)}{z l_0} l + d_0^2},$$

где d — диаметр штока поршня гидродомкрата выдвигной части струга.

Гидросистема должна содержать такое количество масла, чтобы был исключен избыток или недостаток в ней масла при любом положении гидродомкратов. В противном случае будет нарушена нормальная работа гидросистемы.

Трубопровод гидросистемы размещен внутри коробки хобота струга, в ее цепь включен кран 5. Гидросистема рассчитана на давление 120 кг/см². Если давление в ней оказывается выше расчетного, то срабатывает предохранительный клапан 6.

Аккумулятор 7 представляет собой цилиндр, внутри которого размещены поршень и пакет тарельчатых пружин с наружным диаметром 120 мм. Он предохраняет верхние резцы струга от перегрузки. Так, в случае увеличения нагрузки на эти резцы, система действующих сил на выдвигную часть струга выходит из состояния равновесия и масло благодаря этому начинает поступать в некотором количестве в аккумулятор, а выдвигная часть струга опускаться до тех пор, пока не восстановится равновесие этих сил.

Давление p в гидросистеме определяется по усилию R_0 , необходимому для подъема и опускания выдвигной части струга во время работы

$$p = \frac{R_0}{F},$$

где F — площадь поршня гидродомкрата выдвигной части струга. Эта площадь при подъеме выдвигной части струга равна

$$F = \frac{\pi D^2}{4},$$

а при опускании ее

$$F = \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4}.$$

Сила R_0 определяется из условия равновесия сил, действующих на выдвигную часть струга. В общем виде уравнение равновесия выдвигной части струга может быть записано так:

$$R_0 = \sum_{m=1}^m P_z + F_t \pm G,$$

где P_z — вертикальная составляющая силы, действующая на резец струга со стороны угольного забоя;

m — число одновременно работающих резцов;

F_t — сила трения выдвигной части о корпус струга;

G — вертикальная составляющая собственного веса выдвигной части струга.

Сила F_t зависит от сил, действующих на резцы струга со стороны забоя, и коэффициента трения трущихся пар.

Пройодимость струга при разработке угольных пластов с неспокойной гипсометрией кровли и почвы иллюстрируют схемы, представленные на рис. 50. Отсюда видно, что, во-первых, линейные секции конвейера, являющиеся направляющими струга и секций механизированной крепи, допускают установку их на волнистой почве и, во-вторых, струг может обрабатывать угольный забой на полную мощность при разной гипсометрии кровли пласта. Конструкция струга допускает изменение высоты обрабатываемого забоя на 350 мм на участке 1,9 м его длины. При этом, в зависимости от гипсометрии почвы пласта, струг обрабатывает кровлю по радиусу кривизны от 4100 до 5500 мм.

Устройства копирной линейки и механизма перемещения ее в вертикальной плоскости позволяют построить любую копирную ломаную линию непосредственно в забое и приспособить ее, таким образом, к гипсометрии кровли разрабатываемого угольного пласта.

Регулирование положения струга по гипсометрии почвы в направлении простирания пласта осуществляется, как указы-

валось выше, путем наклона конвейера на забой или в сторону выработанного пространства. Как показали промышленные испытания агрегата А-2, такой способ регулирования струга по гипсометрии почвы пласта в направлении простираения оказался недостаточно совершенным.

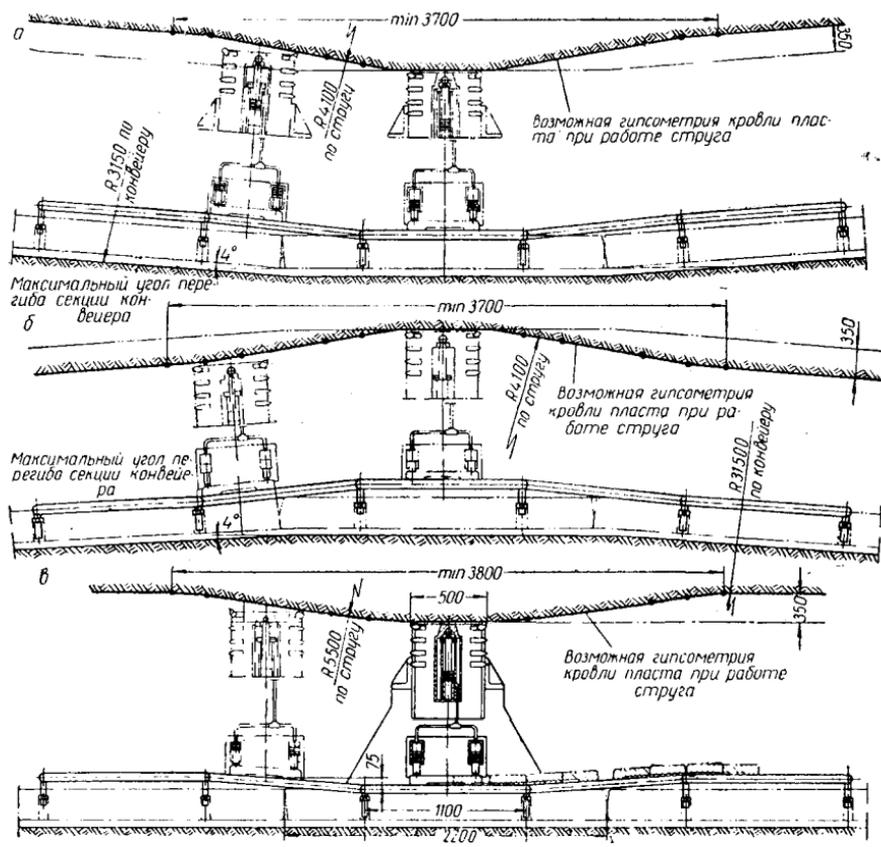


Рис. 50. Схемы проходимости струга по падению пласта при разной гипсометрии кровли и почвы:
 а — вогнутая поверхность почвы; б — выпуклая поверхность почвы; в — ровная поверхность почвы

Промышленные испытания агрегата А-2 проводились в 1958 г. на шахте «Ново-Моспино» треста «Буденновуголь» (Донбасс) в лаве длиной 25 м, нарезанной на пласте Кальмиусский g_2 . Мощность пласта изменялась в пределах лавы от 0,9 до 1,15 м. Уголь этого пласта блестящий с большим количеством матовых прослоек и с ясно выраженным кливажем. Коэффициент крепости угля, определенный методом ИГД АН СССР, колеблется от 0,45 до 0,8.

В период испытаний агрегата А-2 применялись две схемы разрушения угольного забоя резцами струга (рис. 51). На рис. 51, а, б представлены схемы размещения резцов в струге и последовательность отделения ими стружки угля от массива пласта. Нижний мощный резец 1 движется впереди остальных резцов и первым начинает разрушать угольный пласт на уровне почвы, подготавливая таким образом благоприятные условия

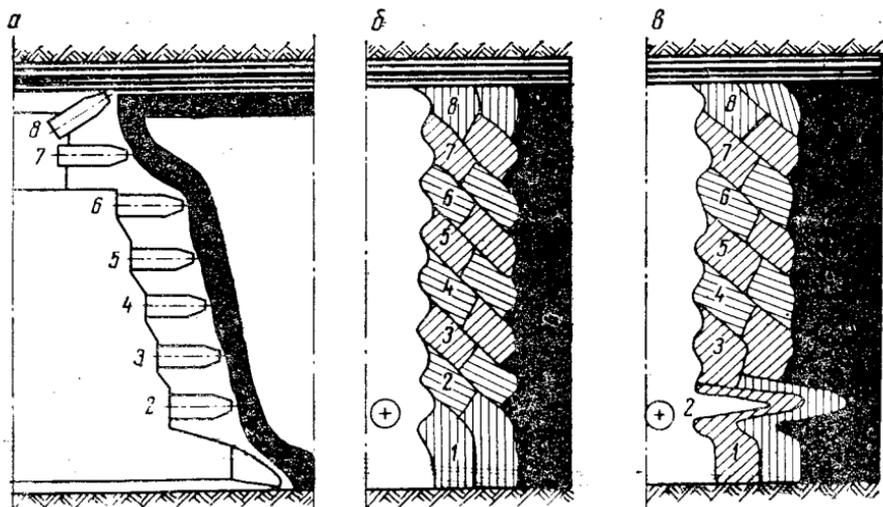


Рис. 51. Схемы:

а — расположения резцов у струга агрегата А-2; б — разрушения угольного забоя без предварительного вруба; в — то же с предварительным врубом

для работы остальных резцов. Нижний резец работает в условиях блокированного резания и уже только по одному этапу он воспринимает наибольшее сопротивление со стороны массива пласта. Работа других резцов облегчена тем, что они разрушают угольный забой в условиях полублокированного резания и в более отжатой горным давлением пачке пласта. Наряду с этой схемой применялась также схема разрушения угольного забоя с предварительным врубом (рис. 51, в). Последний производился на некотором уровне над почвой пласта. Глубина этого вруба составляла 135 мм при захвате струга — 100 мм.

Как показали испытания, предварительный вруб облегчает работу резцов струга, так как при этом монолитность угольного пласта оказывается более нарушенной в зоне их работы вследствие проявления горного давления. При работе струга с предварительным врубом не только улучшается его силовой режим, но и уменьшается удельный расход энергии на разрушение угольного забоя. Поэтому в зарубежной практике широко применяются струги с предварительным или опережающим врубами, в особенности при разработке пластов с крепкими углями.

В результате испытаний струга агрегата А-2 удалось установить следующее.

1. Конструкция струга оказалась сравнительно простой и надежной в эксплуатации.

2. Струг с принудительной регулировкой своей высоты полностью себя оправдал.

3. Применение гидравлического устройства для регулирования высоты струга позволило создать надежную защиту верхним резцам от перегрузки.

4. В целях лучшего регулирования струга в вертикальной плоскости целесообразно предусмотреть в его конструкции регулирование нижних резцов по высоте.

5. При ходе струга наблюдается подштыбовка конвейера, что вызывало необходимость вручную убирать штыб перед передвижением посадочных секций крепи.

6. Отмечались случаи нарушения работы гидравлической системы и заштыбовка гнезда корпуса струга, в котором размещена выдвижная его часть, в результате чего струг не регулировался по мощности пласта.

7. Целесообразно применять струги с предварительным врубом, особенно на крепких углях.

8. Струг имеет относительно большие размеры и большой вес, которые обусловлены главным образом принятой системой регулирования выдвижной его части. Расстояние между забоем и конвейером оказалось сравнительно большим (расстояние между направляющей трубой и забоем составляет 400 мм). Вследствие этого наблюдалось образование и перемещение штабеля угля впереди струга, что вызывает дополнительное измельчение угля и заштыбовку конвейера.

В этой связи возникает вопрос о целесообразности ведения разработки угольных пластов стругами с полуавтоматической или автоматической регулировкой по мощности пласта. Тем более, что на многих угольных пластах, разрабатываемых в СССР, подкровельная пачка угля легко обрушается под действием собственного веса и горного давления или требует незначительных усилий для ее отделения. Так, например, по данным ВУГИ в подавляющем большинстве лав на шахтах Донбасса отсутствует прочная спаянность угля с кровлей, которая затрудняет обычно отделение подкровельной пачки угля.

Поэтому полуавтоматическая или автоматическая система регулирования струга по мощности в агрегате А-2 целесообразна лишь для тех пластов, в которых наблюдается прочная спаянность угля с кровлей пласта или при наличии в верхней пачки угля прослоек крепкой породы. Во всех же других случаях можно успешно применять струги со съёмными державками и резцами, что также подтверждается многолетним положитель-

ным опытом в странах Западной Европы. Струги при этом оказываются проще по конструкции, имеют меньший вес и размеры, особенно по ширине, их легче обслуживать и эксплуатировать. В то же время они весьма производительны и эффективны в работе даже на пластах с крепкими углями.

Обнаруженные недостатки в опытном образце агрегата А-2 во время промышленных испытаний на шахте «Ново-Моспино» устранены при корректировке чертежей, по которым намечено изготовить 5 агрегатов А-2. Этот агрегат рассчитан на рост добычи угля из лавы более чем в 2 раза, повышение производительности труда рабочих в 2,3 раза.

Общий вид усовершенствованной конструкции струга агрегата А-2 представлен на рис. 52. Этот струг рассчитан на выемку угля не выше средней крепости. Величина захвата струга изменяется от 50 до 125 мм. Длина и ширина струга соответственно составляет 3160 и 505 мм.

В отличие от ранее рассмотренного струга агрегата А-2 этот струг помимо основных резцов имеет резец 1 для образования предварительного и три резца 2, 3 и 4 для опережающего врубов. Резец 1 размещен в средней части струга со стороны забоя и может устанавливаться на разном уровне пад дочвой пласта. Это достигается путем перестановки и крепления его резцедержавки в разных положениях в вертикальной плоскости струга.

Так как струг может работать по челноковой схеме, то резцы для производства опережающего вруба устанавливаются с каждой его стороны. Они крепятся в специальных резцедержавках 5 и 6, которые могут поворачиваться вокруг горизонтальной оси в вертикальной плоскости при помощи винтовых пар 7 и 8, приводимых в действие вручную. Эти резцы работают обычно в блокированных условиях резания и имеют различную величину вылета из своих резцедержавок, причем каждый резец опережающего вруба производит рез глубиной 40—45 мм высотой 125 мм.

Благодаря наличию резцов опережающего вруба длина корпуса струга, изготовленного из стального литья, увеличилась против длины струга ранее рассмотренной конструкции.

На обеих сторонах корпуса струга укреплены болтами ножи 9 и 10, служащие для зачистки забоя. Эти ножи могут регулироваться по высоте и приспособляться таким образом к местным условиям работы струга.

Нижний резец и часть средних нижних резцов закреплены в специальных гнездах корпуса струга, а другая часть средних резцов установлена в выдвижном корпусе 11 струга. В этом же корпусе закреплены резцы, разрушающие верхнюю пачку угля. Расстояние между осями средних резцов или шаг резания составляет 130 мм.

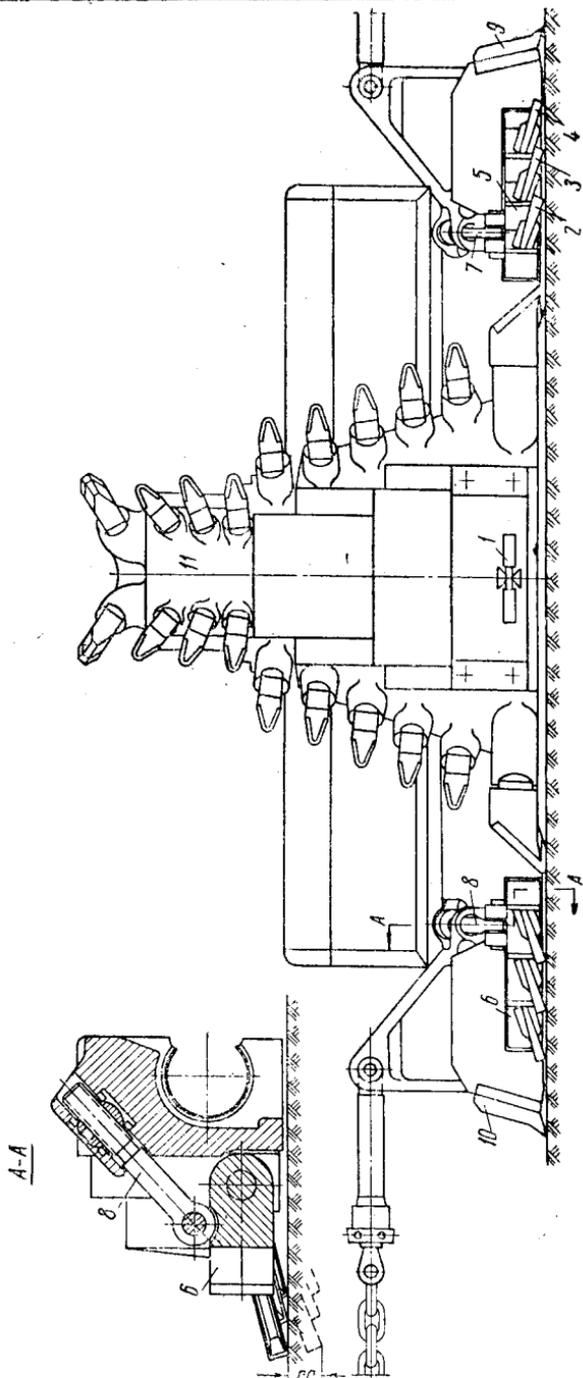


Рис. 52. Общий вид усовершенствованного струга агрегата А-2

Минимальная мощность пласта, вынимаемая этим стругом, 850, а максимальная 1330 мм. Величина хода выдвигной части струга равна 350 мм.

Высота струга может автоматически изменяться во время работы в зависимости от мощности пласта, что достигается за счет изменения положения выдвигной части. Для этого в струге предусмотрен гидравлический домкрат подъема и опускания выдвигной части и гидравлические домкраты блока копира. Работа этих домкратов аналогична работе домкратов, предусмотренных в струге агрегата А-2 ранее рассмотренной конструкции.

Усовершенствованный струг агрегата А-2 при своем движении вдоль линии забоя опирается на раму конвейера. Одной опорой струга является труба, отдельные отрезки которой приварены к раме конвейера со стороны забоя, а другой — рама конвейера со стороны выработанного пространства. Иначе говоря, устройство опор струга подобно устройству опор струга агрегата А-2 ранее рассмотренной конструкции.

Во второй половине 1960 г. на шахтах Донбасса проводились промышленные испытания струговой установки УСБ-1, техническая характеристика которой приведена в табл. 12 и 13. Она состоит из быстрого зубчатого струга, специального двухцепного скребкового конвейера, комплекта индивидуальной крепи и пульта управления механизмами установки.

На основе опыта промышленных испытаний струговой установки УСБ-1 на шахтах № 27 треста Снежнянантрацит и № 1—2 им. Войкова треста Свердловуголь разработана более совершенная конструкция струга УСБ-2 (рис. 53).

Струг состоит из корпуса 1, изготовленного из стального литья, и стальных съемных резцедержавок 2, 3 для крепления нижнего, средних и верхнего резцов, причем державки соединяются между собой при помощи болтов. Высота струга может регулироваться путем установки разного числа съемных резцедержавок от 600 до 1100 мм и приспособляться таким образом к разной мощности пласта.

Основная резцедержавка 2 может поворачиваться в горизонтальной плоскости на угол 4—7°, благодаря чему при работе струга исключается контакт неработающих резцов с забоем. Для этого резцедержавка шарнирно закреплена на корпусе 1 при помощи пальца, другой палец ограничивает угол поворота резцедержавки относительно корпуса.

Кроме основных резцов струг снабжен резцом 4 для производства предварительного вруба. Резцы 5 и 6 (рис. 53) служат для производства опережающего вруба. Резцы опережающего и предварительного врубов работают обычно в условиях блокированного резания. При этом каждый резец опережающего вруба производит рез глубиною 50 мм и высотой 100 мм. Эти резцы

закреплены в специальных державках 7 и 8, которые могут поворачиваться вокруг горизонтальной оси в вертикальной плоскости вручную при помощи винтовой пары 9 и устанавливаться таким образом на нужном уровне над почвой пласта или заглабливаться в нее на требуемую величину.

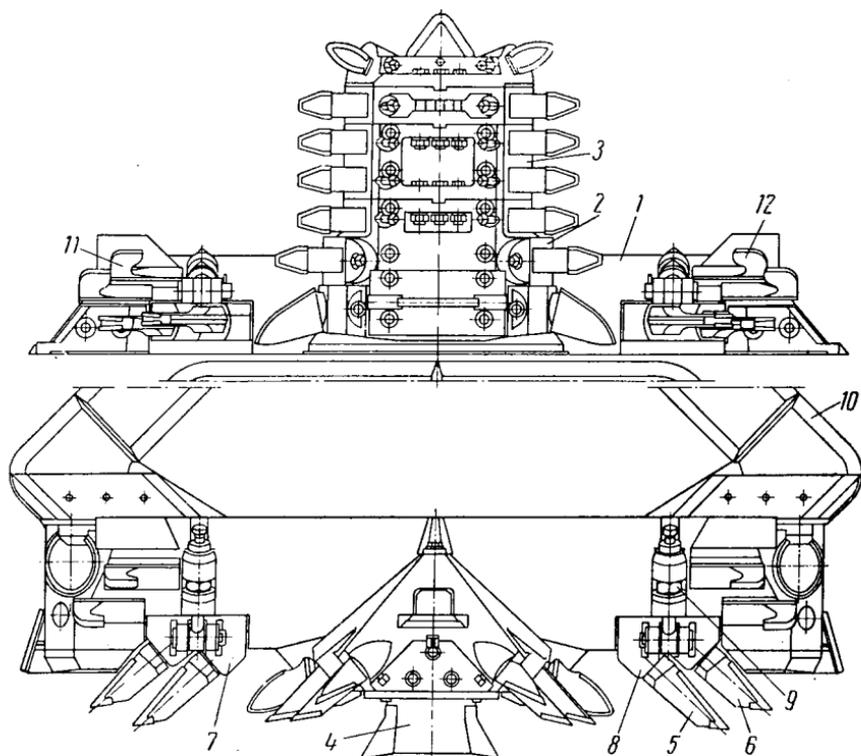


Рис. 53. Общий вид струга УСБ-2

Струг во время работы опирается своим хвостовиком 10, сделанным заодно с корпусом, на почву пласта под ставом конвейера и на направляющую трубу, прикрепленную к рамам секций конвейера. Возможна также работа струга без направляющей трубы, в этом случае он опирается хвостовиком на почву, а боковой своей поверхностью прижимается к раме конвейера. Крюки 11 и 12 служат для крепления концов тяговой калиброванной цепи струга. При работе струга с направляющей трубой холостая ветвь тяговой цепи проходит внутри этой трубы.

16. Устройство зарубежных стругов

В угольной промышленности Западной Европы и Америки широко применяются быстроходные струговые установки фирмы «Вестфалия-Люнен» [47—49, 51—59].

Эти установки предназначены для механизации очистных работ в лавах длиной до 200 м и выше при разработке пологопадающих и наклонных пластов мощностью от 0,4 до 2,0 м. Струговая установка состоит из скоростного зубчатого струга, панцирного двухцепного скребкового конвейера, привода струга, механизмов передвижения конвейера к забою, компрессорной или насосной станции и пульта управления ее механизмами. Техническая характеристика многих струговых установок приведена в табл. 12 и 13.

Фирма «Вестфалия-Люнен» изготавливает несколько типов быстроходных стругов, предназначенных для разработки пологопадающих пластов с разными естественными условиями залегания.

Один из стругов представлен на рис. 54. Он относится к числу стругов нормального исполнения системы «Леббе» и предназначен для выемки мягких и средней крепости углей из пластов мощностью от 0,6 до 2,0 м. Техническая характеристика его приведена в табл. 12. Этот струг двухстороннего действия, состоит из массивного корпуса 1 и съемных резцедержавок 2. Корпус и резцедержавки струга изготовлены из стального литья. Отдельные резцедержавки скреплены между собой болтами.

Для зачистки забоя на каждой стороне струга имеются почвенные ножи 3.

Длина корпуса струга составляет 2000 мм, а высота его принимается от 300 мм и выше в зависимости от мощности разрабатываемого пласта. Изменение высоты струга достигается установкой разного количества съемных резцедержавок.

На каждой стороне струга укреплено в конусных гнездах по одному нижнему и несколько средних резцов. Они легко могут быть заменены при износе. На верхней резцедержавке укреплен, кроме того, резец, служащий для разрушения подкровельной пачки пласта. Резцедержавки струга могут поворачиваться относительно его корпуса в горизонтальной плоскости на угол 4°, благодаря чему резцы, не работающие при рабочем ходе струга, автоматически отходят от забоя и образуют с ним некоторый зазор. Это позволяет уменьшить износ резцов и вредные сопротивления движению струга.

При движении корпус 1 струга опирается с одной стороны на направляющую трубу 5 (рис. 54, б), прикрепленную к бортам секций панцирного конвейера, а с другой — на почву пласта двумя своими хвостовиками 4, отлитыми заодно с корпусом струга с каждой его стороны. Эти хвостовики располагаются под панцирным конвейером. Таким образом, панцирный конвейер создает надлежащее направление стругу и устойчивое положение его во время работы, хотя при движении последнего вдоль забоя он несколько приподнимается опорными хвостовиками. При движении струга эти хвостовики удаляют штыб

из-под конвейера, однако это не всегда удается, в ряде случаев происходит скопление большого количества штабы под конвейером, что приводит к подъему его и нарушению нормальной работы. Длина направляющей трубы каждой секции конвейера

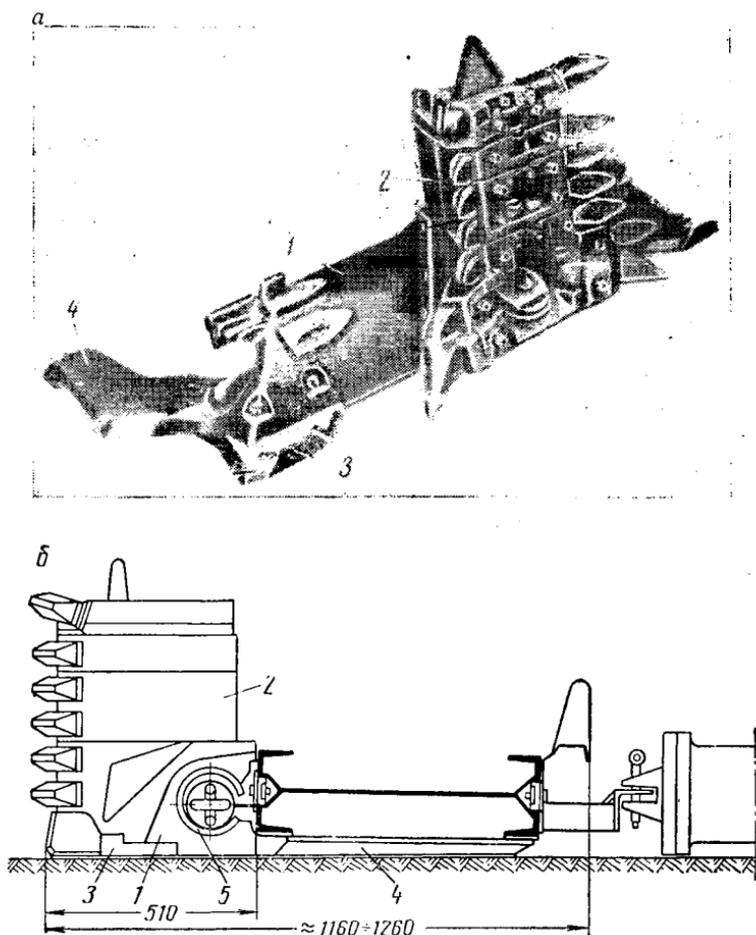


Рис. 54. Струг нормального исполнения фирмы «Вестфалия-Люнен»

составляет 1,5 м. В стыках этих труб предусмотрен зазор в 10 мм, который обеспечивает необходимую гибкость конвейерному ставу и нормальную работу струга.

Струг перемещается вдоль линии забоя при помощи калиброванной круглозвенной тяговой цепи, приводимой в действие приводами, расположенными на верхнем и нижнем концах панцирного конвейера. При этом холостая ветвь тяговой цепи проходит внутри направляющей трубы (рис. 54, б). С помощью прицепных устройств концы этой цепи закреплены на специаль-

ных крюках, находящихся на корпусе струга (рис. 54, *a*). На каждой стороне корпуса сделано по два таких крюка, расположенных на разном уровне над почвой пласта. Цепляя конец цепи за тот или другой крюк, можно отрегулировать положение струга в вертикальной плоскости пласта.

Схема разрушения угольного забоя резцами рассматриваемого струга приведена на рис. 55. На нижней державке струга может быть установлен также резец 9 для предварительного вруба. Этот резец будем называть в дальнейшем врубовым резцом. Схемы разрушения угольного забоя стругом с врубовым

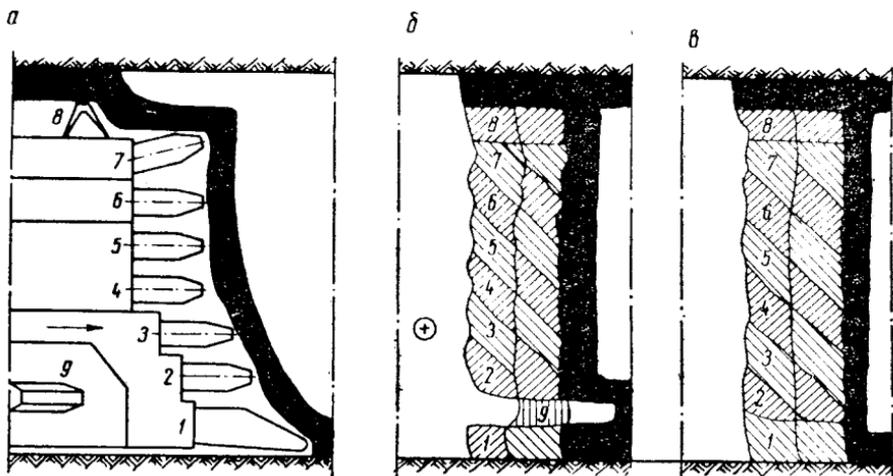


Рис. 55. Схемы:

a — расположения резцов у струга; *б* — разрушения угольного забоя с предварительным врубом; *в* — то же без предварительного вруба

и без врубового резца приведены на рис. 55, *б*, *в*. Последовательность отделения резцами струга стружки угля от массива пласта показана цифрами 1, 2, 3 и т. д.

Струг при движении вдоль забоя отделяет от массива пласта уголь в виде полосы шириною 50—150 мм и высотой, равной высоте струга, и одновременно с этим грузит его на панцирный конвейер. Высота отделяемой полосы угля стругом обычно меньше мощности пласта на 250—400 мм. Ширина и высота этой полосы устанавливается в зависимости от структуры пласта, механических свойств угля и мощности привода струга. Остающаяся верхняя пачка угля либо обрушается после нескольких проходов струга на конвейер под действием собственного веса и горного давления, либо ее приходится предварительно разрыхлять ВВ или отбивать отбойными молотками.

Отделение полосы угля может производиться при движении струга как снизу вверх лавы, так и сверху вниз. Чаще всего он

разрушает угольный забой при движении снизу вверх лавы, а обратный ход его используется для зачистки забоя при помощи почвенных ножей, прикрепленных болтами к его корпусу. Этими ножами регулируется также ширина отделяемой полосы угля стругом. Для этого к стругу прилагается набор почвенных ножей разной ширины. На каждом почвенном ноже предусмотрена лыжа, при помощи которой струг опирается на забой.

Скорость движения струга составляет $0,38$ м/сек, а скребковой цепи конвейера $0,75$ м/сек. Поэтому относительная скорость

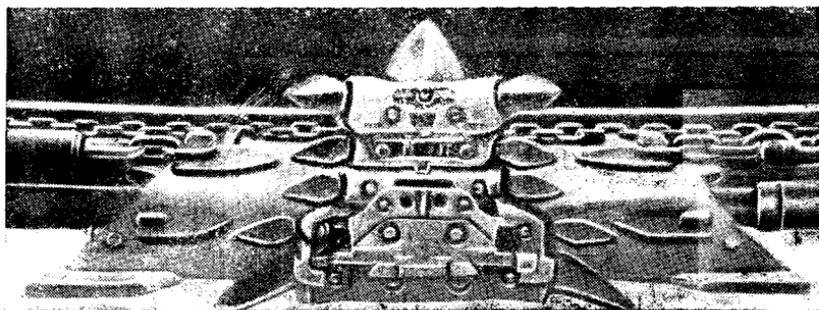


Рис. 56. Струг фирмы «Вестфалия-Люнен», работавший на шахте № 27 треста Снежнянантрацит (Донбасс)

их при движении струга снизу вверх лавы будет равна $1,13$ м/сек, а при ходе вниз лавы — $0,37$ м/сек. Отсюда следует, что наиболее благоприятная работа струговой установки будет при движении струга снизу вверх лавы.

После каждого цикла работы струга производится передвижка панцирного конвейера к забою на ширину вынудой полосы угля, что осуществляется пневматическими домкратами, устанавливаемыми вдоль линии конвейера через каждые 5—6 м; они же прижимают конвейер и струг к забою.

Другой тип струга, изготавливаемый фирмой «Вестфалия-Люнен», представлен на рис. 56. Устройство этого струга в основном подобно рассмотренному выше. Длина его около 2000 мм, а высота $0,45$ — $0,75$ м. Он может отделить полосу угля шириной 50—150 мм, величина которой регулируется почвенным ножом разной ширины. Другие технические данные его приведены в табл. 12.

Отличие этого струга от рассмотренного выше состоит лишь в конструктивном исполнении некоторых его узлов и деталей. Так, например, у почвенного ножа отсутствует опорная лыжа, в связи с чем болты, служащие для крепления почвенных ножей к корпусу струга, менее защищены от износа, чем в ранее рассмотренном струге.

На нижней резцедержавке струга установлен резец для

предварительного вруба. Поэтому схема разрушения угольного забоя этим стругом подобна схеме, представленной на рис. 51, б.

Резцедержавки рассматриваемого струга могут поворачиваться в горизонтальной плоскости, чем и исключается трение неработающих резцов о забой.

Наряду с высокой производительностью струги системы «Леббе» отличаются простотой устройства и имеют сравнительно небольшой вес.

Вместе с тем они обладают существенными недостатками, к числу которых относятся прежде всего следующие.

1. Наблюдаются случаи разрыва тяговой цепи струга и направляющей трубы, на которую он опирается при своем движении вдоль забоя и внутри которой проходит холостая ветвь тяговой цепи. Это происходит вследствие заштыбовки внутренней полости направляющей трубы угольной и породной мелочью, затаскиваемой холостой ветвью тяговой цепи. Это явление наблюдается особенно часто при разработке угольных пластов малой мощности со значительным притоком воды.

2. Относительно большой диаметр направляющей трубы, обусловленный размерами тяговой цепи струга, делает конвейер тяжелым и громоздким. К тому же расстояние между забоем и конвейером оказывается относительно большим, что ухудшает навалку угля стругом на конвейер.

3. Струг трудно приспособляется к неровностям почвы пласта из-за наличия опорных хвостовиков. Благодаря этому при беспокойной гипсометрии почвы пласта струг либо оставляет пачку угля у почвы, либо разрушает последнюю в местах изменения кривизны.

4. Наблюдается искривление конвейерного става в вертикальной плоскости вследствие транспортирования опорными хвостовиками струга угольного штыба и породной мелочи, которые попадают под конвейер.

5. При криволинейном положении става конвейера в плоскости пласта возможно зацепление опорных хвостовиков струга за холостую ветвь скребковой цепи конвейера и обрыв ее вследствие этого.

В последние годы фирма «Вестфалия-Люнен» сделала ряд усовершенствований в конструкции своих стругов. Эти усовершенствования проводились в направлении изменения расположения холостой ветви тяговой цепи струга, уменьшения расстояния между забоем и конвейером, более простого способа приспособления струга к разной мощности угольных пластов и к гипсометрии их почвы. Наряду с этим создавались также струги для разработки пластов с крепкими углями.

Один из усовершенствованных в последнее время фирмой «Вестфалия-Люнен» стругов представлен на рис. 57, а. Он предназначен для разработки мягких и средней крепости углей на

пологопадающих пластах мощностью от 0,4 до 0,8 м. Этот струг отличается относительно небольшими размерами, малым весом, более простым устройством для направления движения

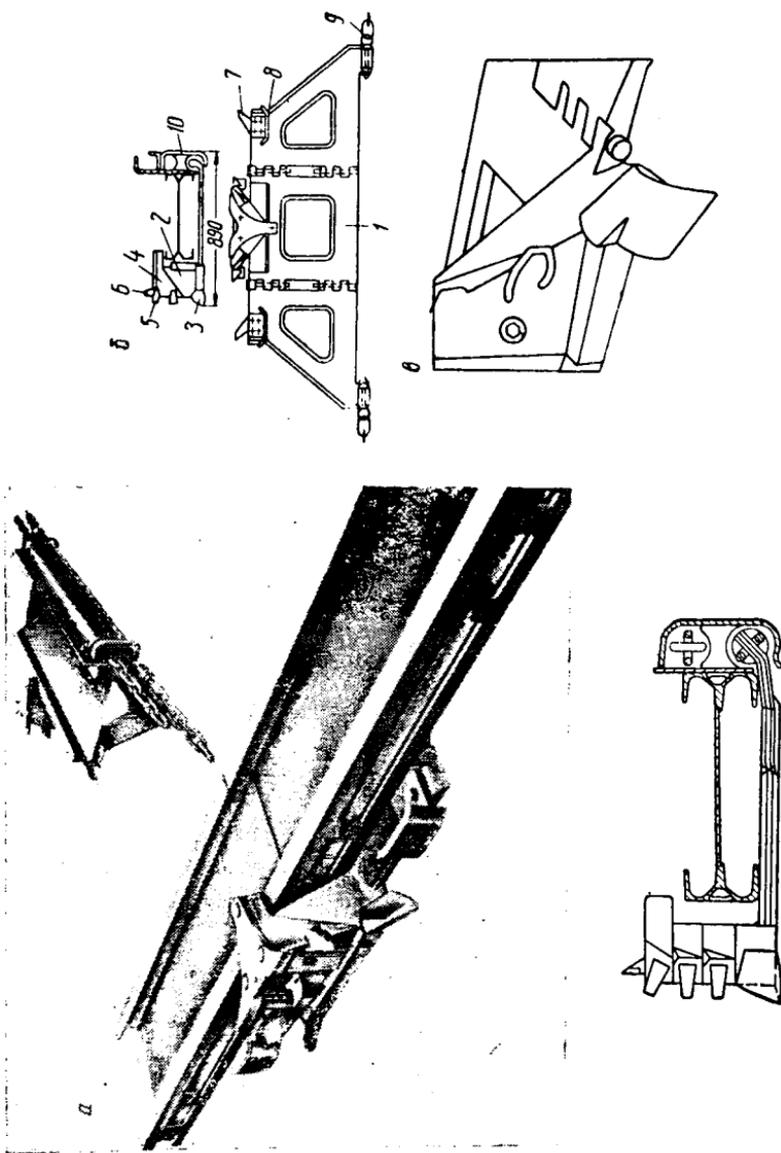


Рис. 57. Струг фирмы «Вестфалия-Лиунен» для разработки весьма тонких и тонких пологопадающих пластов

вдоль лавы струга и холостой ветви тяговой цепи. Он двухстороннего действия и состоит из корпуса и резцедержавок, изготовленных из стального литья. Резцедержавки связаны между собой жестко и могут поворачиваться в плоскости пласта от-

носителем корпуса струга на угол до 6° , благодаря чему неработающие резцы отходят от забоя и тем самым предохраняются от излишнего износа.

На каждой стороне струга укреплены обычные резцы. Кроме того, струг снабжен резцом для предварительного вруба. На нижней, неподвижной части корпуса струга закреплены еще два резца, отделяющие уголь от массива на уровне почвы пласта.

Высота струга может быть изменена за счет установки разного количества резцедержавок и приспособлена таким образом к разрабатываемой мощности угольного пласта. На верхней резцедержавке может быть установлен резец, служащий для разрушения подкровельной пачки пласта. Выемка угля стругом производится не на полную мощность пласта. Остающаяся подкровельная пачка угля после нескольких проходов струга саморазрушается и падает на конвейер.

Струг работает в комплексе с двухцепным конвейером. Особенностью этого струга является то, что обе ветви тяговой цепи его размещены за бортом конвейера со стороны выработанного пространства и отсутствует направляющая труба на конвейере со стороны забоя. Это дало возможность уменьшить расстояние между забоем и конвейером и облегчить таким образом навалку угля стругом на конвейер. Кроме того, такое размещение тяговой цепи делает возможным легкий доступ к ней для осмотра.

Направляющими струга служат гладкий борт конвейера со стороны забоя и хвостовик корпуса струга, который опирается непосредственно на почву и размещается под конвейером. К хвостовику прикреплены концы тяговой цепи. В целях лучшего приспособления струга к гипсометрии почвы пласта хвостовик имеет два шарнирных соединения. Регулирование ширины отделяемой полосы угля от массива пласта производится при помощи лыж, прикрепляемых к хвостовику струга с обеих сторон передней его части. Во время выемки угля одна из этих лыж опирается на забой и воспринимает опрокидывающее усилие, действующее на струг в плоскости пласта. Для разгрузки рамы конвейера от поперечных сил на корпусе струга со стороны забоя установлены башмаки, передающие часть поперечного усилия на забойный борт секции конвейера.

Существенный недостаток конструкции рассматриваемого струга состоит прежде всего в том, что силы сопротивления резанию угля, приложенные на его резцах, расположены по отношению к силе тяги струга с относительно большим эксцентриситетом. Вследствие этого возникает перекокс струга в плоскости пласта, что вызывает вредные сопротивления движению струга. На рис. 57 б, в показана усовершенствованная модель струга фирмы «Вестфалия-Люнен» для разработки

весьма топких и тонких угольных пластов пологого и наклонного падения.

Струг высотой 280 мм состоит из опорной рамы 1 трапециевидной формы относительно большей длины (2230 мм), в средней части которой со стороны забоя закреплен корпус 2, несущий два нижних резца 3, и поворотную верхнюю часть 4 корпуса. Последняя несет на себе с каждой стороны один или несколько резцов. Кроме того на ней может быть закреплен резец для предварительного вруба. Прилив в верхней части корпуса струга охватывает верхнюю полку секции конвейера, что дает возможность при беспокойной гипсометрии почвы пласта направлять струг по раме конвейера.

В верхней части корпуса струга установлена резцедержавка, в которой закреплены резцы 5 и 6.

На концах опорной рамы струга со стороны забоя около нижних опережающих резцов 7 закреплено по одному регулируемому башмаку 8. Эти башмаки опираются на борт секций конвейера в зависимости от направления движения струга и этим способствуют уменьшению усилий, передающихся на раму конвейера. Около опорных башмаков могут быть установлены ограничители толщины снимаемой стружки стругом. Толщина этой стружки регулируется в пределах 60—110 мм.

На концах опорной рамы струга со стороны выработанного пространства расположены направляющие выступы с устройством для закрепления тяговой цепи 9 струга. Опорная рама струга состоит из трех шарнирно соединенных частей. Такая конструкция рамы способствует хорошей приспособляемости струга к неровностям почвы пласта.

Направляющие тяговой цепи струга прикреплены к линейным секциям конвейера со стороны выработанного пространства. Посредством распорок-направляющих 10 карман для прохода тяговой цепи разделен на верхний и нижний каналы, по которым скользят рабочая и холостая ветви тяговой цепи. Нижний канал тяговой цепи со стороны почвы открыт для прохода хвостовика опорной рамы струга.

Так как струг не имеет направляющей трубы со стороны забоя, он занимает мало места.

Стремление улучшить условия работы тяговой цепи привело к созданию струга, конструкция которого представлена на рис. 58. Этот струг предназначен для разработки маломощных пологопадающих пластов с углями не выше средней крепости. Он состоит из корпуса и резцедержавок, которые соединены между собой жестко и могут поворачиваться в плоскости пласта на некоторый угол. Помимо основных резцов струг имеет резец для производства предварительного вруба. Высота струга устанавливается в зависимости от мощности пласта и регулируется количеством съемных резцедержавок,

На каждой стороне корпуса струга предусмотрены специальные крюки, за которые укрепляются прицепные устройства тяговой калиброванной цепи. В этом струге, в отличие от других, холостая ветвь тяговой цепи проходит внутри трубы корпуса струга.

Так как холостая ветвь тяговой цепи при входе в трубу не соприкасается с разрушенным углем, то благодаря этому исключается возможность затягивания ею угольной и породной

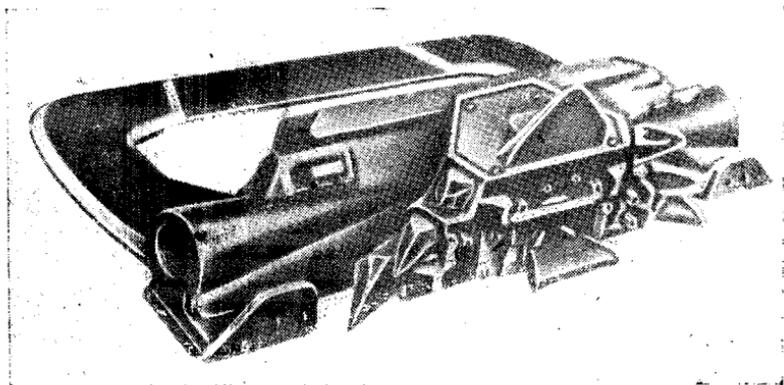


Рис. 58. Струг фирмы «Вестфалия-Люнен» с трубчатой направляющей холостой ветви тяговой цепи

мелочи в трубу и тем самым создаются благоприятные условия для ее работы. При таком способе направления холостой ветви тяговой цепи отпадают трудности, связанные с определением места обрыва цепи и устранения его, что особенно важно при работе струга на тонких пластах.

Однако при таком способе направления холостой ветви тяговой цепи происходит более сильное измельчение угля между ветвями тяговой цепи и при зачистке забоя стругом возможно затягивание угольной и породной мелочи в направляющую трубу холостой ветвью тяговой цепи струга.

Струг работает в комплексе с двухцепным скребковым конвейером. Опорами струга является борт конвейера со стороны забоя и хвостовик, изготовленный заодно с его корпусом и размещаемый под конвейером. Ввиду отсутствия у конвейера направляющей трубы для струга конструкция его упростилась.

Ширина отделяемой полосы угля от массива пласта регулируется при помощи лыж, которые прикрепляются к корпусу струга с обеих сторон передней его части. Одна из этих лыж во время работы струга опирается на забой и воспринимает опрокидывающее усилие, действующее на струг в плоскости пласта.

В последние годы фирма «Вестфалия-Люнен» совместно с шахтами «Министр-Штейн» и «Фюрст-Херденберг» (ФРГ) проводила опыты по применению стругов для разработки пластов с крепкими углями. Опыты проводились с модифицированным стругом нормального исполнения этой фирмы (рис. 50), получившим в дальнейшем название струга системы «Министр-Штейн». Техническая характеристика этого струга приведена в табл. 12. Он отличается от струга нормального исполнения главным образом конструкцией своего корпуса и наличием

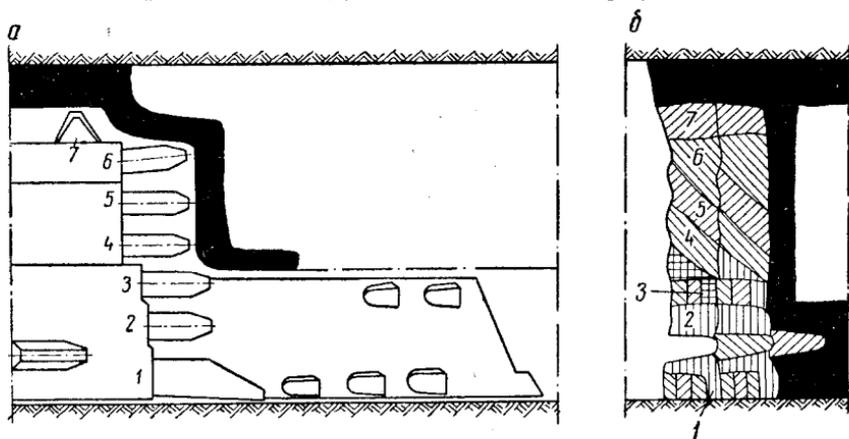


Рис. 59. Схема разрушения угольного забоя стругом «Министр-Штейн»

резцов для производства опережающего вруба (рис. 59). Корпус струга имеет относительно большую длину и несет на себе не только основные резцедержавки, но и резцы для создания опережающего вруба. По три в один ряд или по пять в два ряда таких резцов укреплено на обеих сторонах корпуса струга (рис. 59, а). При этом подрезные резцы каждого ряда установлены с разным вылетом относительно корпуса. Одна из схем размещения резцов в струге системы «Министр-Штейн» и последовательность разрушения ими угольного забоя приведены на рис. 59, б.

Для ограничения ширины отделяемой полосы угля в струге предусмотрены вертикальные распоры пластины, укрепленные впереди опережающих резцов.

Для зачистки забоя и почвы на обеих сторонах корпуса струга установлены ножи, которые могут регулироваться по высоте.

Опыты проводились на шахте «Фюрст-Херденберг» на пласте Лаура мощностью 0,85 м и на пласте Цольферейн-5 мощностью 1,2 м, разрабатываемого на шахте «Министр-Штейн».

Угол падения пластов на разрабатываемых стругами уча-

стках обеих шахт был равен 2—7°. Средняя длина лавы составляла 160—180 м. Крепление лав производилось металлическими индивидуальными стойками «Дуплекс», устанавливаемыми в шахматном порядке через 0,6 м, и шарнирными верхняками фирмы «Ванверш» длиной 1,12 м. Кровля обоих пластов была малоустойчивой и поэтому на некоторых участках в лавах большой длины было необходимо устанавливать передовую крепь. Управление кровлей осуществлялось полным обрушением.

Уголь пластов Лаура и Цольферейн-5 отличается большой крепостью и имеет ясно выраженный кливаж, который способствовал успешному применению стругов. Передвижка конвейера осуществлялась при помощи гидравлических домкратов.

Полуторогодичный опыт эксплуатации стругов на пластах с крепкими углями показывает, что процесс выемки из таких пластов необходимо разделить на подрубку пласта, и собственно выемку. Подрубка пласта может осуществляться, как известно, либо опережающим, либо предварительным врубами, либо тем и другим способом. Эти врубы способствуют лучшему отжму угля от массива пласта и наряду с этим значительно облегчают работу нижних резцов струга. Производство одного предварительного вруба на некотором расстоянии от почвы пласта оказалось нецелесообразным, так как при этом возникают большие опрокидывающие усилия, вызывающие отход струга от груди забоя. Лучшие результаты были получены при работе струга с опережающим врубом. При этом оказалось наиболее целесообразно располагать врубовую щель непосредственно у почвы пласта. Это объясняется тем, что основная работа по отделению угля происходит именно в этом месте. Кроме того, такое расположение вруба устраняет возможность подъема струга к кровле пласта.

Глубина опережающего вруба должна образовываться постепенно и с таким расчетом, чтобы она была примерно на 15 мм меньше ширины отделяемой стругом полосы угля от массива пласта. Постепенное образование глубины вруба позволяет улучшить условия работы резцов и уменьшить таким образом нагрузку на них. Уменьшенная глубина опережающего вруба против ширины отделяемой полосы угля исключает возможность контакта с угольным забоем неработающих подрезных резцов и тем самым повышает к. п. д. струговой установки.

В процессе эксплуатации стругов наблюдался подъем их к кровле пласта или зарывание в почву. Это удалось устранить путем изменения положения отдельных резцов, производящих опережающий вруб. При этом нижние резцы должны обязательно проходить по опережающему врубу. Кроме того, при разработке стругом крепких угольных пластов следует по воз-

возможности повышать удельное усилие подачи резцов на забой. Чем больше это усилие, тем лучше резцы внедряются в массив угольного пласта. Однако удельное усилие подачи резцов на забой не может быть увеличено произвольно, так как величина суммарного распорного усилия конвейера зависит от расстояния между домкратами и величин усилия каждого из них. Оптимальное расстояние между домкратами было установлено 4,5 м. С увеличением этого расстояния распорное усилие становится недостаточным, вследствие чего став конвейера при проходе струга прогибается и ведет к искривлению линии забоя. Уменьшение расстояния между домкратами позволяет увеличить суммарное распорное усилие конвейера, однако при этом не исключена возможность подъема струга к кровле пласта. Поэтому при выемке стругами крепких углей и при наличии оптимального суммарного распорного усилия конвейера следует повышать удельное усилие подачи резцов на забой по возможности за счет уменьшения их количества. Исходя из этих соображений в стругах для выемки крепких углей были оставлены лишь основные и опережающие резцы.

Опыт показывает, что при струговой выемке крепких углей целесообразно производить предварительное рыхление массива пласта с помощью ВВ или других средств. Особенно это мероприятие целесообразно проводить в начальной стадии работы лавы после ее нарезки.

Производительность труда рабочего по лаве на выход при струговой выемке на пласте Лаура колебалась от 5,4 до 5,9 т, а на пласте Цольферейн-5 составила 8,7 т. При выемке угля врубовыми машинами в сочетании с отбойными молотками из этих пластов она не превышала соответственно 2,7 и 4,5 т. По сравнению с лавами, оборудованными врубовыми машинами, в струговых лавах себестоимость угля при подвигании забоя 2,24 м в сутки на пласте Лаура уменьшилась на 22%, а на пласте Цольферейн-5 на 45%. Большая разница в снижении себестоимости на единицу добытого угля объясняется главным образом неодинаковой мощностью этих пластов.

Таким образом, струговая выемка крепких углей оказалась не только технически возможной, но и экономически целесообразной.

На основе результатов испытания струга системы «Министр-Штейн», фирма «Вестфалия-Люнен» разработала специальные струги для выемки крепких углей. Общий вид одного из этих стругов показан на рис. 60, а. Он состоит, так же как и струг системы «Министр-Штейн», из удлиненного корпуса и съемных державок для резцов. Конструкция корпуса струга позволяет применять его в сочетании со всеми типами державок стругов, выпускаемыми этой фирмой.

Корпус струга, изготовленный из стального литья, несет на

себе основные резцедержавки и по три опережающих резца с каждой стороны струга. Эти резцы укреплены в отдельном поворотном корпусе, который может опускаться и подниматься при помощи винтовой пары (рис. 60, б). Положение этих резцов можно изменять в пределах от 47 мм ниже и до 100 мм выше опорной поверхности корпуса струга. Это дает возможность

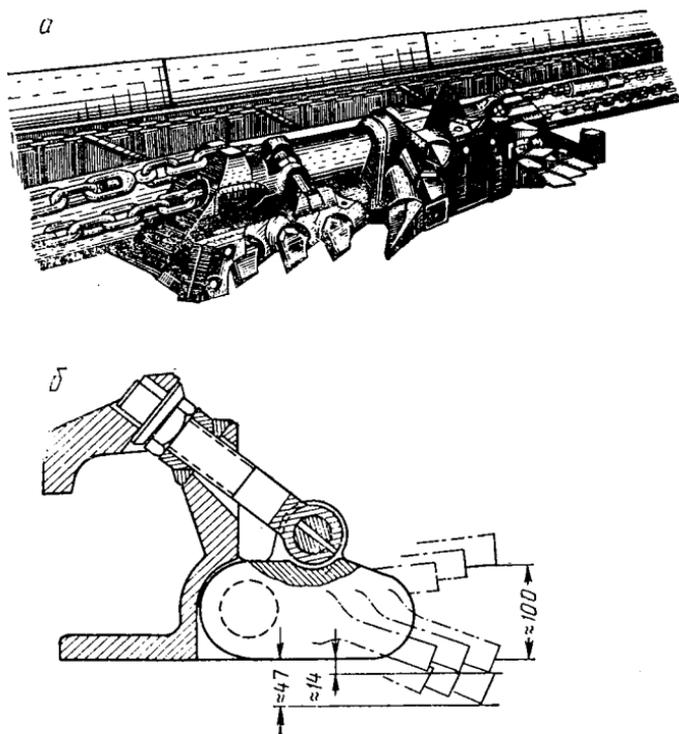


Рис. 60. Струг для выемки крепких углей с поворотными подрезными резцами

легко приспособлять струг к гипсометрии почвы пласта и крепости угля.

Усовершенствована также конструкция резцедержавок. Конусные отверстия их рассчитаны на взаимозаменяемость как основных, так и подрезных резцов, за исключением нижнего резца.

Высота струга принимается в зависимости от мощности разрабатываемого пласта и регулируется количеством установленных съемных резцедержавок. На верхней резцедержавке обычно устанавливается резец для разрушения верхней пачки пласта. Для лучшего отделения этой пачки угля может быть установлен также верхний врубовый резец (рис. 60, а).

Ширина отделяемой стругом полосы угля от массива пласта

регулируется в зависимости от крепости угля при помощи вертикальных пластин, которые крепятся болтами к корпусу струга впереди подрезных резцов (рис. 60, а).

Струг для крепких углей рассчитан на работу в комплексе с панцирным двухщепным конвейером. Направляющими его служат трубы с внешним диаметром 70 мм, прикрепляемые к борту конвейера со стороны забоя и опорные хвостовики, размещаемые на почве пласта под конвейером (рис. 61, а). При

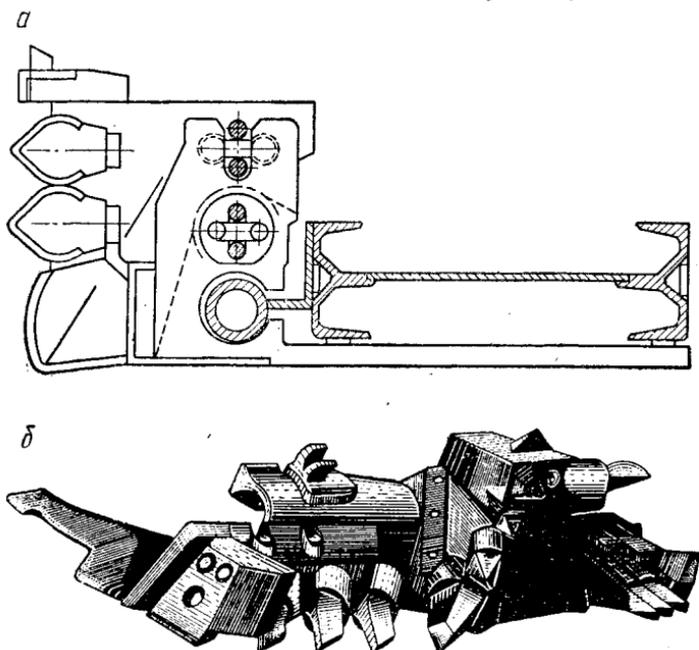


Рис. 61. Струг для выемки крепких углей:
а — направляющие струги; б — струг с неподвижными подрезными резцами

этом холостая ветвь тяговой цепи проходит через отверстие корпуса струга.

В отличие от обычных стругов концы тяговой цепи в этом струге закрепляются в специальных карманах, устраиваемых в его корпусе (рис. 61, а). Такой способ крепления является более надежным в сравнении с креплением с помощью крюков, что особенно важно при работе стругов на пластах с крепкими углями.

На рис. 61, б представлена вторая конструкция струга для выемки крепких углей. В отличие от первой корпус этого струга снабжен неподвижными резцами, производящими опережающий вруб у почвы пласта примерно на 15 мм ниже опорной поверхности струга. Однако предусмотрена возможность образования опережающего вруба выше этого уровня. Это до-

стигается за счет установки боковых ножей в трех различных положениях.

Изложенное выше показывает, что струговые установки фирмы «Вестфалия-Люнен», максимально приспособлены к различным горногеологическим условиям работы, отличаются простотой своего устройства и состоят в большинстве случаев из стандартных, хорошо отработанных и взаимозаменяемых узлов и деталей.

Изготовлением зубчатых стругов в ФРГ занимается также фирма «Бранд». Общий вид струга «Бранд» представлен на

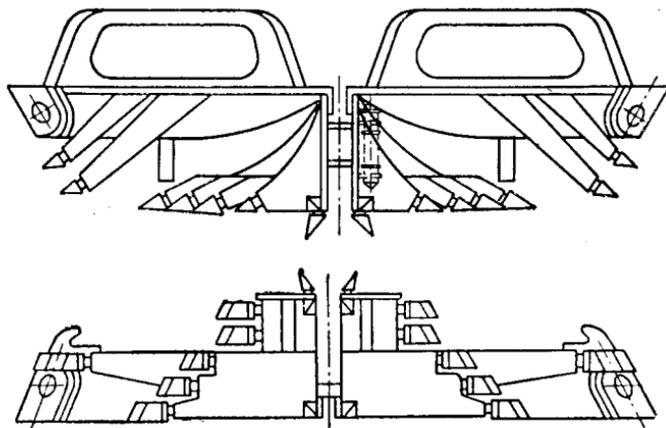


Рис. 62. Зубчатый струг фирмы «Бранд»

рис. 62. Этот струг предназначен для выемки мягких и средней крепости углей из пластов пологого падения мощностью от 0,7 м и выше. Техническая характеристика его приведена в табл. 12.

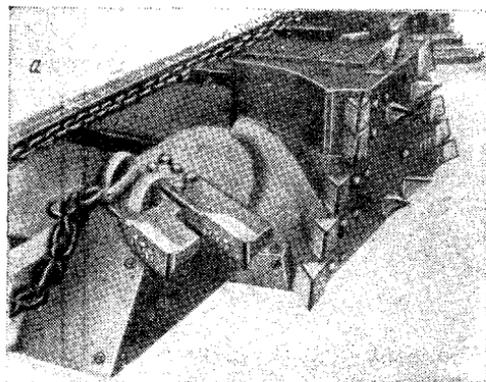
Струг состоит из двух симметричных частей, которые соединены между собой шарнирами. Такое соединение позволяет стругу легко приспосабливаться к неровностям почвы пласта и упрощает его эксплуатацию.

На обеих частях струга укреплены резцы, с помощью которых от массива пласта отделяется полоса угля шириною 250 мм. Максимальная высота отделяемой стругом полосы угля составляет 500 мм при мощности пласта 0,85—0,9 м. Высота отделяемой полосы может быть изменена за счет вставок.

Помимо основных резцов каждая сторона струга снабжена также двумя опережающими резцами, имеющими неодинаковый вылет относительно корпуса струга и производящими предварительный вруб в пласте примерно на половине высоты струга. Кроме того, установлены врубные резцы для произ-

водства предварительного вруба у почвы пласта и резцы для подрезания остающейся подкровельной пачки угля.

Струг работает в комплексе с панцирным двухцепным скребковым конвейером. Опорами струга служат борт конвейера и его хвостовики, которые опираются на почву под конвейером.



б

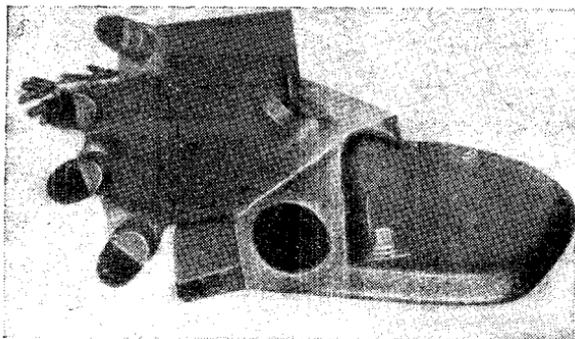


Рис. 63. Зубчатые струги фирмы «Бранд» (а) и фирмы «Байен» (б)

Струг приводится в движение при помощи калиброванной цепи и двух приводов, расположенных на обоих концах конвейера. Тяговая цепь состоит из отдельных кусков длиной около 8,0 м, которые соединяются между собой замками; такое соединение дает возможность увеличивать по мере надобности длину тяговой цепи. Холостая ветвь последней проходит внутри трубы, предусмотренной в корпусе струга, благодаря чему исключается ее заштыбовка угольной и породной мелочью. Скорость движения струга составляет 0,29 м/сек.

Существенный недостаток конструкции струга «Бранд» со-

стоит в том, что большая ширина отделяемой им полосы угля затрудняет навалку угля на конвейер и значительно повышает сопротивление движению струга.

Несмотря на это, он широко применяется на шахтах ФРГ Англии и других стран. Так, например, струг «Бранд» успешно работал на шахте «Людвиг» Остравакарвинского бассейна (Чехословакия) на пласте мощностью 0,85 м в комплексе с польским панцирным двухцепным скребковым конвейером, металлическими стойками «Шверц» и шарнирными верхняками

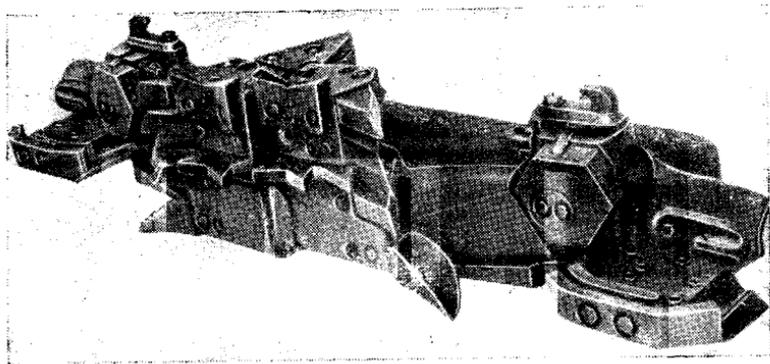


Рис. 64. Новый зубчатый струг фирмы «Байен»

фирмы «Бранд» длиной 1,0 м. При этом производительность труда рабочего по лаве на выход составила 4,17 т. После устранения некоторых недостатков в работе струга производительность труда рабочих по лаве может быть доведена до 9,0 т на выход.

На рис. 63 представлен зубчатый струг усовершенствованной конструкции той же фирмы «Бранд». Он состоит из корпуса и державок съемной конструкции и предназначен для выемки мягких и средней крепости углей из пологопадающих пластов. Струг двухстороннего действия.

Помимо основных резцов струг имеет также резцы для производства опережающего и предварительного вруба на разных уровнях от почвы пласта. В целях повышения стойкости в работе все резцы армированы металлокерамическим твердым сплавом. Для зачистки забоя в струге предусмотрены ножи. Ширина отделяемой полосы угля от массива пласта составляет около 200 мм.

Фирма «Байен» (ФРГ) создала также угледобывающий агрегат под названием «Аббау-Автомат».

В этом агрегате применен быстроходный зубчатый струг (см. рис. 63, б) двухстороннего действия, предназначенный для разрушения нижней пачки пласта. Высота струга обычно со-

ставляет около 400 мм, однако она может быть изменена за счет вставок. Особенностью конструкции струга является применение резцов цилиндрической формы, режущие грани которых армированы кернами твердого сплава и изогнутой из спецпрофиля направляющей, прикрепленной к борту секций конвейера со стороны забоя.

Этот струг может работать как в комплексе с механизированной передвижной крепью, так и с индивидуальной крепью. В последнем случае холостая ветвь тяговой цепи проходит внутри трубы, предусмотренной в самом корпусе струга.

На рис. 64 представлен общий вид зубчатого струга одной из последних конструкций фирмы «Байеп» (ФРГ). Он состоит из корпуса, снабженного на обоих своих концах специальными ножами для зачистки забоя, и съемных резцедержавок. Помимо основных резцов струг снабжен также резцами для опережающего вруба. Эти резцы выполнены в виде пластин, у которых предусмотрены по три режущих кромки, имеющих разный вылет. Благодаря этому предварительный вруб образуется постепенно на величину захвата стругом. Величина захвата струга регулируется специальными лыжами, закрепленными на корпусе.

Во время движения струг опирается хвостовиком корпуса на почву пласта под ставом конвейера и на его направляющую трубу.

Концы тяговой калиброванной цепи укрепляются за специальные крюки, предусмотренные на корпусе струга. Холостая ветвь этой цепи проходит через специальную трубу, устроенную в корпусе струга.

Представляет также интерес струг, изготовленный заводом в Нидервюршнице (ГДР) и испытанный в Саксонском каменноугольном бассейне (рис. 65) [51]. Слева на рисунке показана первоначальная конструкция, справа усовершенствованная. Конструкция его сходна с конструкцией струга нормального исполнения фирмы «Вестфалия-Люнен». Техническая характеристика струга приведена в табл. 12. Он предназначен для разработки пологопадающих пластов, угли которых не выше средней крепости. Резцедержавки струга сделаны съемными, что дает возможность регулировать высоту его и приспособлять ее к разрабатываемой мощности пласта.

Тяговым органом струга служит калиброванная цепь, сечение отдельных звеньев которой составляет 22 мм. Она приводится в движение электрическим приводом, установленным на раме привода конвейера в нижней части лавы и огибает звездочку обводной головки, которая может быть размещена в любой части лавы. Направляющими струга в первой конструкции служила труба, прикрепленная к секциям конвейера со стороны забоя, и опорные хвостовики, размещенные под конвейером.

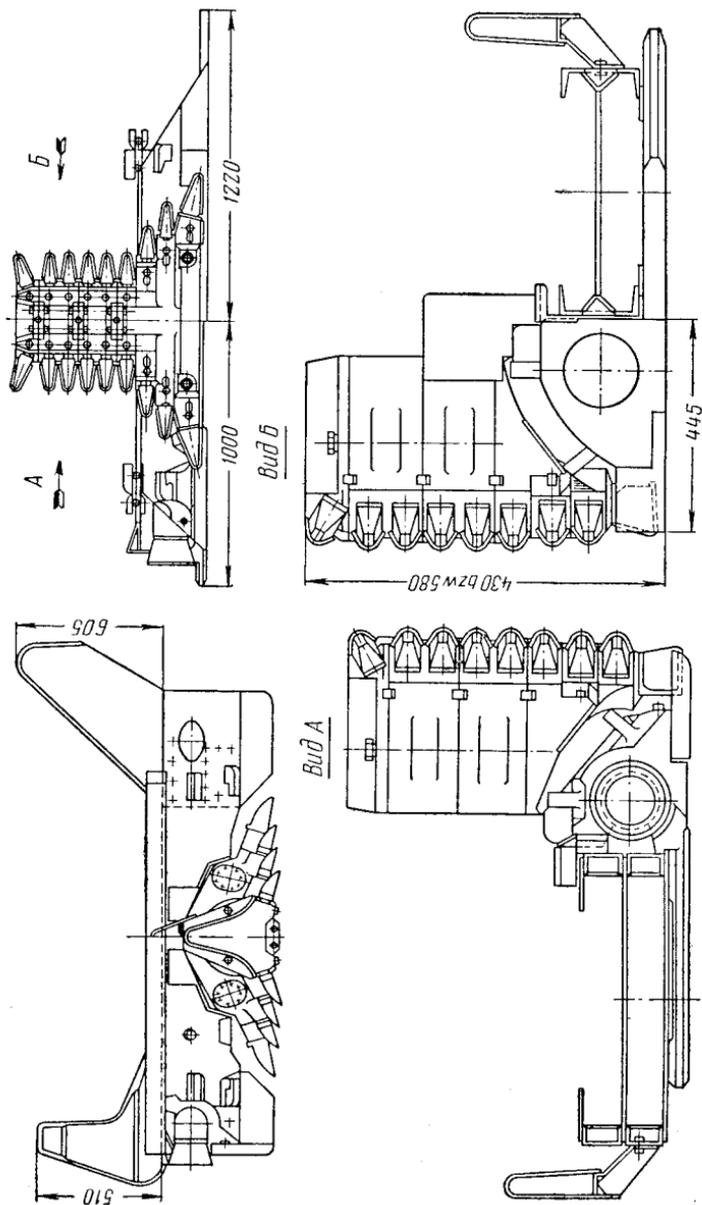


Рис. 65. Зубчатый струг завода Нидервюршице (ГДР)

Струг работает в комплексе с панцирным двухцепным скребковым конвейером и с индивидуальной металлической крепью. Передвижка конвейера совместно со стругом к забоям осуществляется пневматическими домкратами.

В результате испытания в первоначальную конструкцию струга был внесен ряд изменений, направленных на улучшение навалки угля на конвейер, устранение скопления угля у направляющей трубы и опор струга и уменьшение его тягового усилия.

В связи с этим в струге пришлось изменить конструкцию опорных хвостовиков, отказаться от направляющей трубы, и применить конвейер с более жесткими секциями и с открытой нижней ветвью скребковой цепи. В усовершенствованной конструкции струга холостая ветвь тяговой цепи проходит через трубу, сделанную в корпусе струга.

Испытания показали, что весь комплекс струговой установки может успешно работать на пластах с мягкими и средней крепости углями и с устойчивой кровлей и почвой.

17. Рабочий инструмент стругов

Рабочим инструментом стругов являются режущие ножи и резцы. Основное их отличие состоит в том, что ножи по сравнению с резцами имеют более длинную главную режущую кромку.

В зависимости от назначения и условий работы резцы подразделяются на рядовые (средние) производящие сплошное отделение угля от массива пласта, нижние, осуществляющие отбойку угля у почвы, верхние, отделяющие уголь от подкровельной пачки пласта, и врубовые, предназначенные для производства предварительного или опережающего врубов.

Во время работы струга резцы находятся в непосредственном контакте с массивом угольного пласта. В результате этого взаимодействия резцы отделяют с поверхности забоя частицы угля разной крупности. При этом каждый работающий резец или нож воспринимает реакцию P , которая обусловлена нарушением связи частиц угля при отделении их от массива пласта. В общем случае эта реакция имеет три составляющих, направленных по осям прямоугольной системы координат X , Y и Z .

Составляющая P_x , или сила резания, (рис. 66, *a*) направлена вдоль линии забоя и противоположно направлению движения струга. Составляющая P_y , или сила отжима, действующая перпендикулярно к линии забоя, стремится отжать резец от забоя в сторону выработанного пространства. Вертикальная составляющая P_z стремится поднять струг к кровле или прижать его к почве пласта. Значения этих составляющих сил зависят от многих факторов, в том числе от геометрической формы резца, его стойкости в работе, условий работы и т. д.

Одна из геометрических форм резца представлена в качестве примера на рис. 66, а. Резец состоит из державки 1 и головки 2. Державка изготавливается чаще всего конусообразной фор-

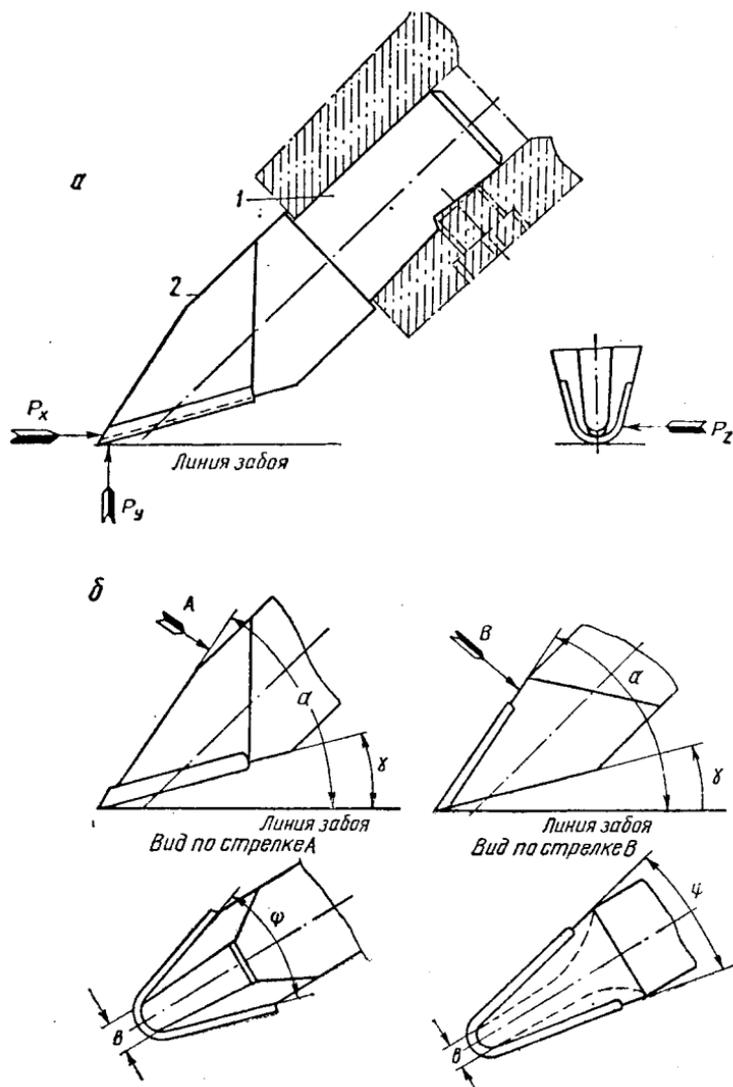


Рис. 66. Схемы действующих сил на резец (а) и геометрические формы головок с узкой рабочей и широкой задней гранями (б) с широкой рабочей и узкой задней гранями (в)

мы и служит для закрепления резца болтом в гнезде державки струга. Так как головка резца при работе имеет непосредственный контакт с массивом угольного пласта, то геометрическая

форма ее оказывается более сложной. Геометрия головки определяется углом резания α , задним углом γ , углом задстреления передней (рабочей) грани резца ψ и шириной рабочей или задней грани b (рис. 66, б, в).

Рабочая и задняя грани резца имеют непосредственный контакт с массивом угля, при этом задняя грань обращена к линии забоя. На рис. 66 представлены два вида головок резцов, применяющихся на практике: 1) с узкой рабочей и широкой задней гранями (рис. 66, б) и 2) с широкой рабочей и узкой задней гранями (рис. 66, в).

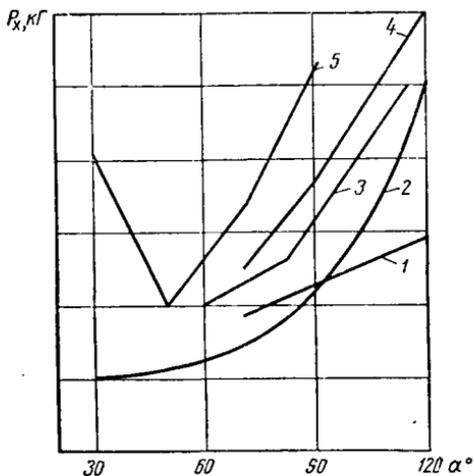


Рис. 67. Зависимость силы резания $P_{ок}$ от угла резания α при выемке:

1 — горючего сланца; 2 — подмосковного угля; 3 — кизеловского угля; 4 и 5 — донецкого антрацита

Режущие свойства головки резца определяются в основном углом резания, задним углом и шириной передней и задней граней ее. Эти параметры существенно влияют на составляющие усилия резания и удельные затраты энергии на разрушение угля.

На рис. 67 представлены в виде графиков результаты экспериментальных наблюдений по резанию углей разных марок зубками врубочных машин и комбайнов [60]. Здесь на оси абсцисс отложены значения угла резания α , а на оси ординат —

усилия резания P_x . Как видно, усилие резания при углах резания свыше 60° растет значительно быстрее, чем угол резания. В интервале $\alpha = 60-90^\circ$ оно увеличивается на 50—60% по сравнению с интервалом $\alpha = 50-60^\circ$. Таким образом, минимальные усилия резания оказываются при углах резания $\alpha = 50-60^\circ$. Так как механизмы разрушения угля зубком врубочной машины (комбайна) и резцом струга качественно подобны, то эти значения угла резания и следует принимать при конструировании резцов струга. К аналогичным выводам пришли также и английские исследователи Potts и Vins [61, 62].

При разрушении угля резцом возникает различные элементарные сопротивления: растяжению, сжатию, сдвигу. Наибольшее сопротивление уголь оказывает сжатию, затем в убывающем порядке следует сопротивление изгибу, сдвигу, растяжению. В каждом случае степень сопротивляемости угля разрушению определяется комбинацией элементарных сопротивлений. При углах резания $\alpha = 50-60^\circ$ получается, по-видимому,

более благоприятная комбинация этих сопротивлений с точки зрения затраты усилия и энергии на разрушение угля резцом. Уголь при этом отделяется от массива пласта более крупными частицами с минимальным выходом его мелких фракций.

Как показывают исследования работы зубков комбайнов и врубовых машин, и ножей струга УС-4 при малых значениях заднего угла усилие резания P_x значительно повышается за счет увеличения силы трения головки зубка об уголь. Повышение же силы трения вызвано ростом составляющей P_y , выталкивающей струг из забоя в сторону выработанного пространства, за счет быстрого увеличения площадки затупления резца со стороны забоя. Исходя из этих соображений и прочности головки резца задний угол следует принимать $\gamma = 10-15^\circ$.

Весьма важным параметром резца струга является также длина главной режущей кромки или ширина b рабочей грани головки резца (рис. 66, б, в). Как установлено многими опытами, усилие резания в зависимости от этого параметра изменяется в первом приближении по закону прямой линии. При этом в ряде случаев наблюдались минимальные значения усилий резания и удельные затраты энергии на разрушение углей разных марок. Этим минимумам соответствовала длина главной режущей кромки $b = 20$ мм. Такое значение b обеспечивает не только минимальные затраты усилия резания и удельного расхода энергии на разрушение углей, но и необходимую прочность резца.

Можно рекомендовать также следующую формулу для расчета длины главной режущей кромки резца струга:

$$b = \lambda h,$$

где h — глубина захвата струга или ширина отделяемой стругом полосы от массива пласта;
 $\lambda = 0,15 \div 0,25$ — коэффициент угла наклона прямой к оси абсцисс.

Нижний предел значения λ следует принимать при $h > 100$ мм, а верхний — при $h < 100$ мм.

Как было отмечено выше, в стругах применяются резцы как с узкой рабочей и с широкой задними гранями, так и с широкой рабочей и узкой задней гранями. Наибольшее распространение из них получили резцы первого типа, хотя в последнее время отмечается тенденция к применению также резцов с широкой рабочей и узкой задней гранями.

На рис. 68 приведены рядовые резцы струга КС-2М. Так, на рис. 68, а представлен резец с острой главной режущей кромкой, которая своим острием как клином врезается в массив пласта и производит постепенное разрушение его, начиная с острия.

На рис. 68, б, в приведены резцы с разными значениями длины главной режущей кромки ($b = 8$ и 26 мм). Как было пока-

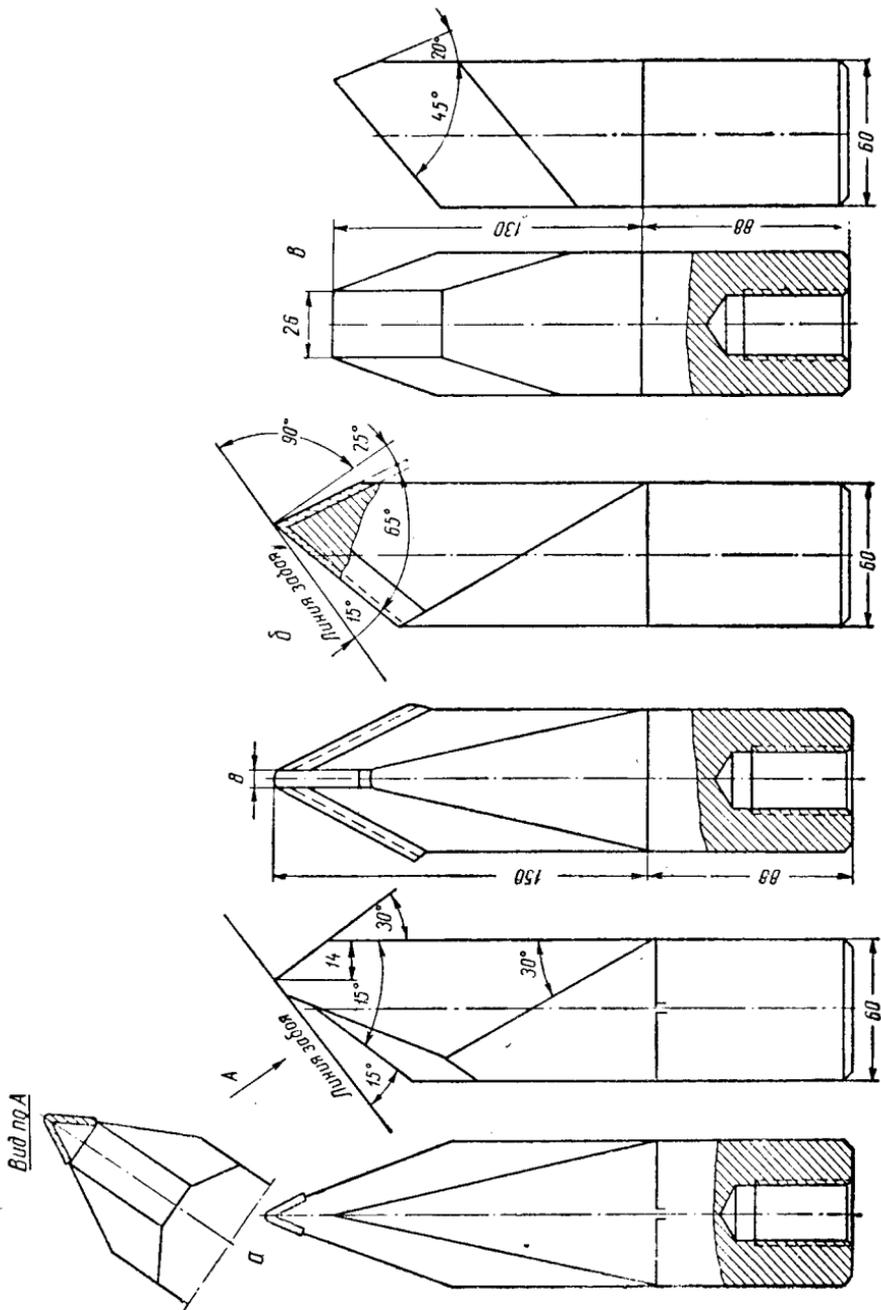


Рис. 68. Конструкции резцов струга КС-2М

зано выше, резцы с длиной главной режущей кромки $b = 8$ мм являются нерациональными с точки зрения усилия резания и удельной затраты энергии на разрушение угольного забоя.

Материалом для изготовления рядовых резцов струга КС-2М служит сталь марки У-7. В целях повышения стойкости в работе головок резцов режущие грани их армированы твердым сплавом Сормайт или Т-590.

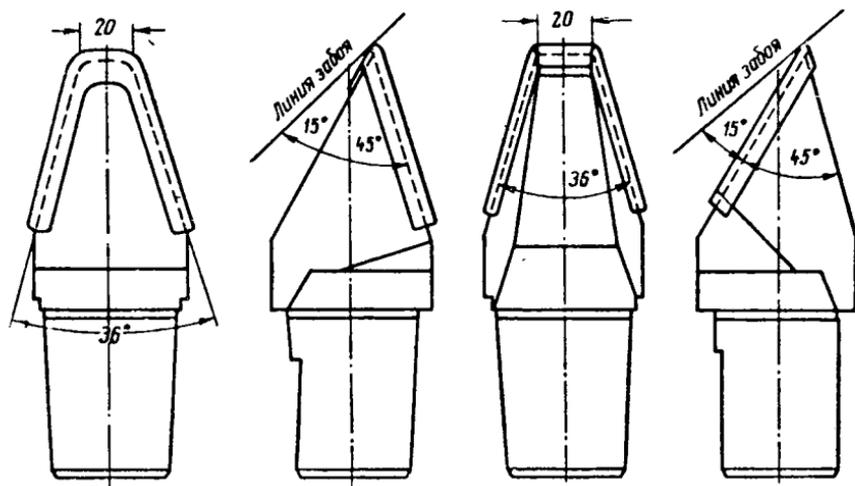


Рис. 69. Конструкции резцов струга агрегата А-2:

а — с широкой рабочей и узкой задней гранями; б — с узкой рабочей и широкой задней гранями

Во время промышленных испытаний струга агрегата А-2 на шахте «Ново-Моспино» треста Буденновуголь (Донбасс) применялись рядовые резцы как с узкой рабочей и широкой задней гранями, так и с широкой рабочей и узкой задней гранями. Это было сделано в целях получения сравнительных данных о работе рядовых резцов с разными геометрическими формами головок. Конструкция этих резцов показана на рис. 69. В этих резцах угол резания, задний угол и длина главной режущей кромки были приняты одинаковыми. Они были изготовлены из стали марки 40Х и 40ХН и армированы по режущим граням твердым сплавом Рэлит.

Результаты испытаний этих резцов представлены в табл. 23 [63].

Эта таблица показывает, что резец с широкой рабочей и узкой задней гранями требует меньше усилий и затраты энергии на разрушение угольного забоя по сравнению с резцом с узкой рабочей и широкой задней гранями. Правда это снижение на мягких и трещиноватых углях относительно невелико и со-

ставляет всего лишь около 11%. При разрушении вязких и крепких углей эта разница в усилии резания и затрате энергии будет, надо полагать, более значительной. Кроме того, резцы, имеющие узкую рабочую и широкую заднюю грани и работающие у кровли пласта, воспринимают повышенное сопротивление P_z (рис. 66), так как они подминают уголь своей боковой гранью, обращенной к кровле пласта. Благодаря этому струг прижимается к почве пласта с большим усилием, чем при резцах с широкой рабочей и узкой задней гранями.

Т а б л и ц а 23

| Резец с широкой рабочей и узкой задней гранями | | | | | Резец с узкой передней и широкой задней гранями | | | | |
|--|------------|--------------|------------|--------------|---|------------|--------------|------------|--------------|
| Число проходов струга | P_x , кг | | P_y , кг | | Число проходов струга | P_x , кг | | P_y , кг | |
| | среднее | максимальное | среднее | максимальное | | среднее | максимальное | среднее | максимальное |
| 6 | 168 | 1485 | 54 | 628 | 6 | 204 | 1450 | 56 | 681 |
| 5 | 173 | 1377 | 54 | 561 | 3 | 199 | 1270 | — | — |

Таким образом, целесообразность применения резцов с узкой рабочей и широкой задней гранями не всегда оправдывается практикой. Возможны многие случаи работы стругов, когда более рационально применять резцы с широкой рабочей и узкой задней гранями. Поэтому выбор геометрической формы головок резцов должен производиться на основе сравнительного испытания их в конкретных условиях эксплуатации струга.

Как отмечено выше, режущие кромки рядовых резцов армируются твердым сплавом. В связи с этим несколько искажаются геометрические параметры головки резца. Чтобы устранить это, нередко затачивают режущие кромки до требуемого размера. Эта операция весьма трудоемка. Поэтому стремятся производить более тщательную армировку резцов твердым сплавом, что может быть достигнуто, например, наплавкой в графитовых формах. Армированные таким образом резцы были испытаны на струге агрегата А-2. При этом для сравнения применялись резцы без заточки и с заточкой режущих кромок. В результате испытаний этих резцов не удалось установить существенной разницы в усилиях резания. Поэтому при тщательно выполненной наплавке твердым сплавом можно не производить заточку режущих кромок резцов.

На рис. 70 представлены резцы струга системы «Левбе», который работал на шахте № 27 треста Снежнянантрацит (Донбасс). Верхний и средний резцы показаны соответственно на рис. 70, а, б; они отличаются друг от друга конструкцией и геометрической формой головок. Это объясняется различными ус-

ловиями их работы. У верхних резцов рабочая грань сделана широкой, а задняя — узкой, а у средних резцов наоборот. На шахте режущие кромки резцов армировались твердым сплавом Рэлит марки РЭ-3, РЭ-4 и РЭ-5. Межремонтный средний срок службы верхних и средних резцов составлял не менее 2 недель, что соответствует добыче 3500—4500 т угля. С увеличением кре-

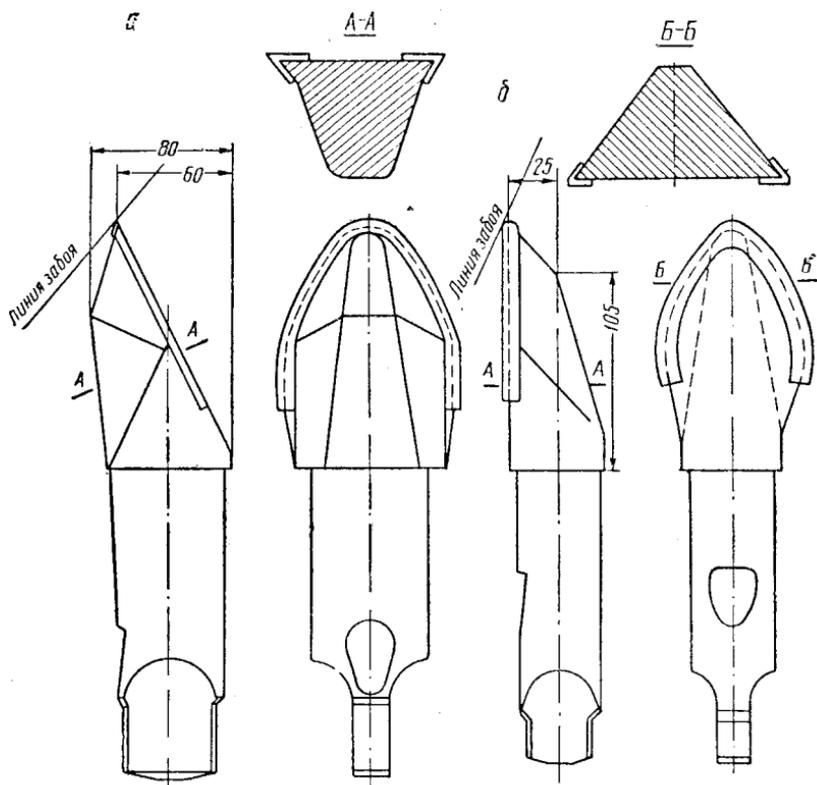


Рис. 70. Конструкции верхнего (а) и среднего (б) резцов струга системы «Леббе» фирмы «Вестфалия-Люнен»

пости угля срок службы резцов уменьшался до одной недели и даже до 3—5 дней, что соответствовало проходу струга 6000—10 000 м забоя или добыче 1200—2000 т угля.

В табл. 24 приведены значения геометрических параметров головок, рассмотренных выше резцов.

Сравнивая данные табл. 23 и 24 с экспериментальными данными, представленными в виде графиков на рис. 67, замечаем, что углы резания резцов $\alpha = 50\text{--}60^\circ$ стругов агрегата А-2, системы «Леббе» и КС-2М являются оптимальными. Задние же углы резцов $\gamma = 23\text{--}25^\circ$ стругов системы «Леббе» и КС-2М приняты завышенными.

| Тип струга | Угол резания α , град | Задний угол γ , град | Длина главной режущей кромки b (наплавки), мм | Материал | Примечание |
|-----------------------|------------------------------|-----------------------------|---|-----------------|---|
| КС-2М | 60—90 | 15—25 | 8—26 | Сталь 40Х, 40ХН | Резец почвенный Резец опережающего вруба |
| Агрегат А-2 | 60 | 15 | 20 | | |
| УСБ-1 | 50—56 | 12—18 | 20 | Сталь 40Х | |
| УСБ-1 | 47—49 | 7—9 | — | Сталь 40ХЛ | |
| УСБ-1 | 50 | 4 | — | Сталь 40Х | |
| «Леббе» | 50—60 | 23 | — | — | — |

Успешная работа струга во многом зависит от конструкции и стойкости в работе нижнего резца. Этот резец работает чаще всего в блокированных условиях, так как ему приходится отделять уголь в двух основных плоскостях, расположенных параллельно почве пласта и плоскости забоя. Ввиду тяжелых условий работы этот резец делается более массивным в сравнении с рядовыми резцами. Выбор параметров его производится в зависимости от крепости разрушаемой им пачки угля и почвы пласта. Так, при малоустойчивой почве пласта он делается относительно коротким, а при устойчивой почве, наоборот, выполняется более длинным.

На рис. 71 в качестве иллюстрации приведены улучшенная (а) и стандартная (б) конструкции нижних резцов струга системы «Леббе». Стандартный резец применялся при промышленных испытаниях этого струга на шахте № 27 треста Снежинантрацит. Режущие кромки его армировались твердым сплавом Рэлит. Нижний резец вполне удовлетворительно отделял уголь, а при неровностях почвы даже поддирал ее. Межремонтный срок службы нижнего резца составлял всего лишь 3—5 дней, что соответствовало добыче 1200—2000 т угля. Углы резания α_1 и задние углы γ_1 по отношению к горизонтальной режущей кромке и по отношению к забойной режущей кромке в стандартном резце приняты одинаковыми и составляют соответственно $\alpha_1=60^\circ$ и $\gamma_1=10^\circ$.

Нижний резец улучшенной конструкции отличается от стандартного в основном тем, что конец его отогнут. Такой резец лучше подрезает твердый прослойку угля у почвы и не разрушает последнюю.

Шахтные испытания струга агрегата А-2 показали, что на нижнем резце возникает относительно большое усилие, отжимавшее струг вверх. Оно обусловлено наличием площадки при тупления головки резца со стороны почвы пласта и значитель-

ной длиной рабочей грани. Устранить подъем струга вверх удалось путем изменения конструкции нижнего резца, придав форму двух зубьев рабочей грани его и сделав задний угол $\gamma_1 = 15-20^\circ$.

Врубные резцы и резцы для опережающих врубов имеют обычно широкую рабочую и узкую заднюю грани. Угол резания у этих резцов принимается равным 60° . Эти резцы работают обычно в условиях блокированного резания угля и потому воспринимают относительно большие сопротивления со стороны забоя.

На рис. 71, в представлена конструкция резца для производства опережающего вруба и способ закрепления его. Резец имеет широкую рабочую и узкую заднюю грани и применяется в струге фирмы «Вестфалия-Люнен» для крепких углей.

Державка резца сделана конусообразной формы, что позволяет надежно закрепить его в гнезде корпуса струга. Крепление резца против осевого смещения осуществлено штифтом, что хорошо оправдало себя на практике. Так сделаны все подрезные резцы в струге для крепких углей.

Подрезные резцы, так же как и рядовые, рекомендуется применять однотипные.

Струги системы «Леббе» и некоторые другие оснащаются также верхними (кровельными) резцами, служащими для отбойки подкровельной пачки пласта (см. рис. 54). Этот резец изготавливается чаще всего в виде треугольной пластины с двумя режущими кромками. Его устанавливают в верхней части струга с некоторым смещением в сторону выработанного пространства.

По мере износа резцов наблюдается, как отмечалось выше,

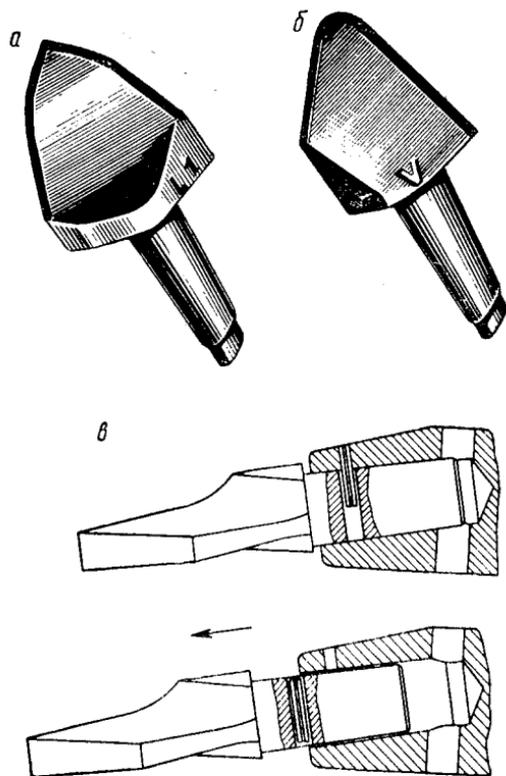


Рис. 71. Общий вид нижних резцов улучшенной (а) и стандартной (б) конструкции и врубных (в) резцов

увеличение силы тяги струга и отжим его как в сторону выработанного пространства, так и нередко в сторону кровли пласта. Это объясняется в основном, при прочих равных условиях, изменением геометрии головок резцов.

Дело в том, что по мере износа резца (рис. 72) происходит уменьшение заднего угла с γ до γ_0 и увеличение угла резания с α до α_0 при соответствующем уменьшении переднего угла

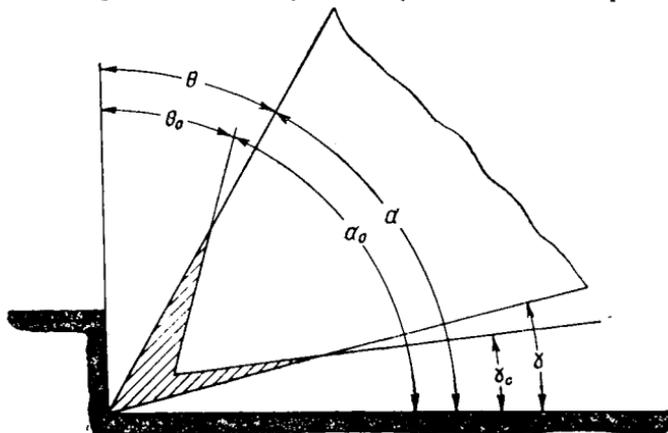


Рис. 72. Изменение геометрии головки резца при износе

с θ до θ_0 . С уменьшением угла γ увеличивается площадь контакта задней грани резца с массивом пласта, в результате чего повышается значение силы P_y , которая постоянно стремится отжать струг от забоя в сторону выработанного пространства. Благодаря этому растут также вредные сопротивления движению струга. Увеличение же угла резания приводит, как видно из диаграмм (рис. 67), к повышению сопротивления P_x углю резания, а следовательно и к увеличению силы тяги струга.

Поэтому в целях уменьшения силы тяги струга и отжима его в сторону выработанного пространства или к кровле пласта, следует по возможности чаще производить замену изношенных резцов, в особенности тех резцов, которые работают в условиях блокированного резания.

Глава VI

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ НА РЕЗЦАХ СТРУГА

18. Условия работы резцов струга

Большую роль в формировании значений усилий P_x , P_y и P_z , действующих на резцы струга, играют условия их работы. Последние могут существенно изменяться при работе струга даже в одном и том же забое. Объяснения этому находим прежде

всего в том, что резцам струга приходится разрушать уголь неодинаковой крепости, работать в условиях блокированного и полублокированного резания, быть направленными при своем движении вдоль линии забоя под разными углами по отношению к трещинам кливажа и т. п.

Опыт показывает, что расположение линии забоя по отношению к направлению линий кливажа оказывает существенное влияние на выход крупнокускового угля, на значение усилий

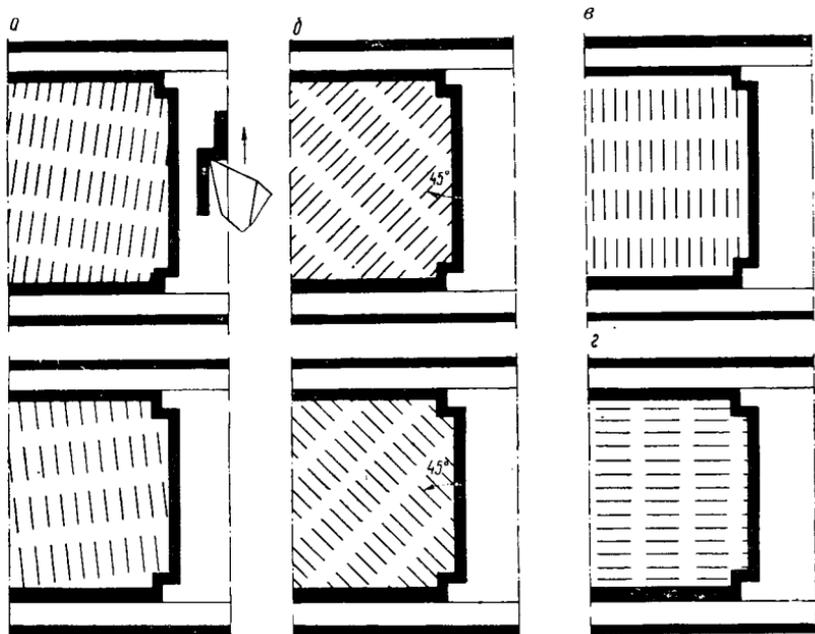


Рис. 73. Схемы расположения линии очистного забоя по отношению к плоскости кливажа

резания и удельный расход энергии, на устойчивость струга при работе и его производительность, на срок службы резцов и других элементов струговой установки.

На рис. 73 приведены наиболее характерные схемы расположения линии забоя по отношению к трещинам кливажа.

Экспериментальные наблюдения при разрушении углей резцовым инструментом горных машин в условиях лаборатории и забоя шахты показывают, что наиболее ощутимое облегчение разрушения угля от трещин кливажа проявляется при движении резцов параллельно линиям трещин или под небольшим углом к ним. Так, по данным лаборатории разрушения горных пород б. ВУГИ, «эффективнее разрушать уголь вдоль кливажа или под углом менее 45° » (рис. 73, а). При резании угля попе-

рек трещин кливажа увеличивается усилие резания и удельный расход энергии на 30—40%. На зарубежных шахтах нередко линию забоя располагают под углом 45° к плоскостям кливажа (рис. 73, б). Такое расположение лавы рекомендуется принимать лишь при односторонней работе струга. При двухсторонней же работе вектор скорости в одном из направлений движения струга оказывается расположенным к плоскостям кливажа под невыгодным углом в 135° . В этом случае наблюдается повышенный отжим струга в сторону выработанного пространства, так как резцы его стремятся двигаться по трещинам кливажа.

Расположение линии забоя параллельно плоскостям кливажа (рис. 73, в) следует принимать при двухсторонней работе струга. В этом случае резцы струга наилучшим образом используют естественные трещины отдельности в пласте, что приводит к снижению удельного расхода энергии на разрушение угольного забоя и повышению выхода крупнокускового угля.

При расположении забоя перпендикулярно к плоскостям кливажа (рис. 73, г) наблюдается сильное дробление угля стругом, повышенный в связи с этим удельный расход энергии и менее производительная работа струговой установки.

Английскими исследователями были поставлены опыты в условиях забоя шахты и лаборатории с целью изучения влияния направления кливажа на усилие резания и удельные затраты энергии на разрушение угля [62]. В лаборатории опыты проводились на специальной установке. Для исследования были взяты образцы угля с хорошо развитой системой кливажных трещин, расположенных перпендикулярно плоскости напластования.

В опытах применялись резцы с углом резания α , равным 30, 50 и 70° . Вектор скорости движения резца был направлен при этом под углом 0, 45, 90 и 135° к направлению трещин основного кливажа. Толщина отделяемой стружки угля поддерживалась постоянной. Усилие резания регистрировалось электрическим динамометром.

Таблица 25

| Направление резания по отношению к основному кливажу, град | Сила резания P_x , кг | | Удельные затраты энергии H_3 , кат·ч/м ³ |
|--|-------------------------|--------------|---|
| | средняя | максимальная | |
| 0 | 36 | 197 | 0,363 |
| 45 | 40 | 203 | 0,257 |
| 90 | 107 | 353 | 0,539 |
| 135 | 75 | 234 | 0,896 |

На рис. 74 приведены примеры записи усилий резания и характер разрушения угольного забоя резцом. Штриховка показывает направление кливажа к линии забоя. В табл. 25 представлены усилия резания и удельные затраты энергии на раз-

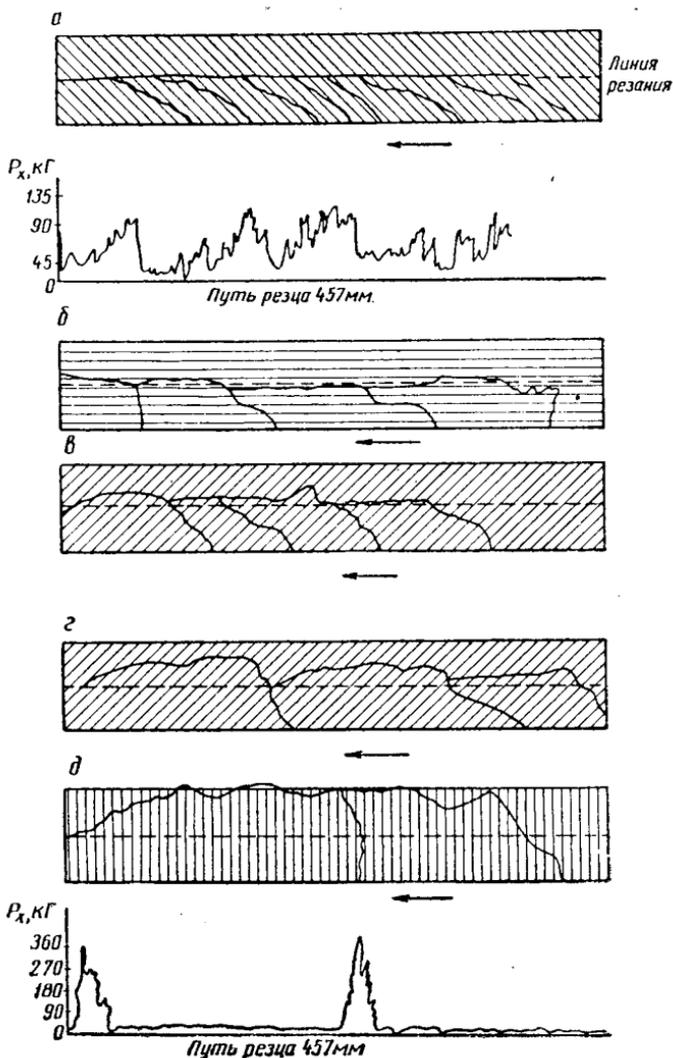


Рис. 74. Диаграммы усилий резания и формы выколов угля при разном направлении резца к трещинам кливажа:

а — $\alpha = 30^\circ$; направление кливажа 135° ; б — $\alpha = 30^\circ$; направление кливажа 0° ; в — $\alpha = 30^\circ$; направление кливажа 45° ; г — $\alpha = 50^\circ$; направление кливажа 45° ; д — $\alpha = 50^\circ$; направление кливажа 90° .

рушения угля при разном направлении движения резца по отношению к трещинам кливажа.

Как видно из таблицы, максимальная сила резания была получена при расположении линии забоя под углом 90° к направлению кливажа, а максимальная энергоемкость при расположении линии забоя под углом 135° к направлению основного кливажа. Минимальная сила резания оказалась при движении резца параллельно линиям кливажа, а минимальная энергоемкость при направлении вектора скорости резца под углом 45° к трещинам кливажа. Приведенные в таблице данные согласуются с результатами исследований в этой области советских научных организаций.

Опыт показывает, что направление подвигания очистного забоя и угол, под которым он пересекает трещины кливажа, оказывает непосредственное воздействие на состояние кровли пласта. Так, например, при расположении линии забоя параллельно плоскостям главного кливажа угольного пласта и кровли наблюдаются нередко обрезы последней, что приводит к завалу забоя и выводу его, таким образом, из эксплуатации. Ввиду этого линию забоя устанавливают обычно под некоторым углом к направлению главного кливажа.

При двухсторонней работе струга линию забоя целесообразно располагать под углом менее 45° к трещинам кливажа (см. рис. 73, а).

Исходя из опыта эксплуатации струговых установок в СССР и за рубежом этот угол должен быть $10-15^\circ$, так как при расположении забоя под углом $15-45^\circ$ к трещинам кливажа наблюдается либо затягивание струга в забой, либо выталкивание его из забоя в сторону выработанного пространства.

Насколько важно правильное расположение забоя относительно плоскости кливажа показывает, например, опыт эксплуатации струга системы «Леббе» на шахте № 27 треста Снежнянтранцит (Донбасс). Струг на первых порах своей работы оставлял подкровельную пачку угля мощностью $0,35-0,4$ м. Эта пачка под действием собственного веса после трех-четырех проходов струга обычно обрушалась на конвейер, нередко большими глыбами, достигавшими 2 м длины. Эти глыбы расклинивались между кровлей пласта и головкой конвейера, что приводило к деформации скребков последнего. Поэтому негабаритные куски угля приходилось разбивать на конвейере отбойными молотками. После же поворота линии забоя относительно плоскостей кливажа на угол 8° уголь стал отделяться от массива пласта вполне транспортабельными кусками.

Таким образом, при выборе расположения стругового забоя относительно плоскостей кливажа необходимо исходить прежде всего из направления трещин кливажа угольного пласта и кровли относительно друг друга, простоты управления кровлей, наи-

выгоднейших условий работы струга с точки зрения затраты усилий и энергии на разрушение угольного забоя, возможности добывания транспортабельного крупнокускового угля. Наилучшее сочетание этих факторов при струговой выемке угля можно установить лишь опытным путем.

Большое влияние на работу струга оказывает структура пласта. При наличии крепкого прослойка породы в пределах

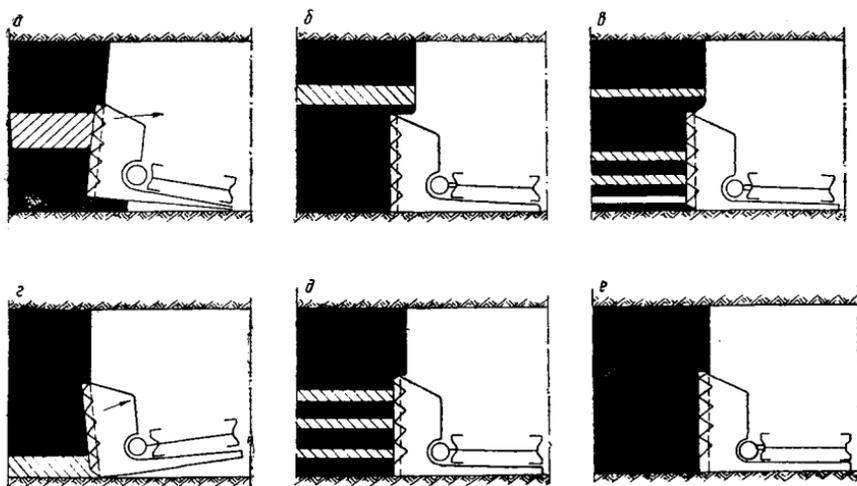


Рис. 75. Устойчивость струга при выемке угля из пластов разной структуры

работы верхних резцов наблюдается при струге, опирающемся на конвейер и почву пласта, уменьшение величины захвата, уход струга под кровлю пласта и опрокидывание в сторону выработанного пространства (рис. 75, а). В связи с этим нарушается нормальная работа струговой установки и возникает необходимость отделения угля от почвы после прохода струга.

Ход струга может регулироваться изменением места закрепления тяговой цепи и давлением прижимных домкратов конвейера. При движении струга в тех местах, где он склонен уходить под кровлю пласта, повышают давление этих домкратов путем регулирования подаваемого количества сжатого воздуха или жидкости.

Если прослойка породы в угольном пласте оказывается расположенной выше резцов струга (рис. 75, б), то отделение подкровельной пачки угля нередко затруднено. Для того чтобы эта пачка могла самообрушиться, ее предварительно рыхлят либо взрывным способом, либо путем нагнетания в нее воды.

Прибегают также к отбойке ее при помощи, например, отбойных молотков. Что касается струга, то работа его в этих условиях протекает обычно нормально.

На рис. 75, в показано разрушение угольного забоя стругом, когда угольный пласт содержит несколько прослоек породы, каждый из которых относительно небольшой мощности. Такое строение угольного пласта уменьшает срок службы резцов струга из-за большой абразивности породы и повышает сопротивление тяги струга.

В случае беспокойной гипсометрии почвы пласта нижний резец струга на отдельных участках забоя может входить в контакт с породой почвы и разрушать ее при этом. Так как эти резцы работают в заблокированных условиях и к тому же разрушают породу, крепость которой обычно выше крепости угля, то они воспринимают на себя повышенное сопротивление со стороны забоя. Под действием этого сопротивления струг уменьшает глубину захвата у почвы пласта и может опрокидываться верхней своей частью на грудь забоя (рис. 75, з).

Поэтому струг должен быть отрегулирован таким образом, чтобы резцы его по возможности не входили в контакт с породой почвы пласта. Это можно достигнуть, путем изменения места закрепления тяговой цепи. Явление опрокидывания струга на грудь забоя наблюдается также при крепком земнике. Чтобы исключить это, следует организовать работу струга с предварительным врубом.

При наличии в зоне работы струга большого количества крепких прослоек породы в угольном пласте (рис. 75, д) приходится уменьшать величину захвата с тем, чтобы сохранить нормальное значение тягового усилия и избежать таким образом перегрузку привода струга и преждевременный износ его резцов. Хорошие результаты в этом случае дает также работа струга с опережающим и предварительным врубам по прослойкам породы.

На рис. 75, е представлен угольный пласт, в котором рассеяны включения пирита. Наличие его в пласте угля весьма затрудняет, а нередко делает невозможным работу струга, вследствие широкого колебания усилий в тяговой цепи и сравнительно быстрого износа его резцов.

19. Удельные давления на гранях резца

При проектировании рабочего органа угледобывающей машины приходится сталкиваться прежде всего с вопросом износа рабочего инструмента, так как от стойкости его зависит во многом производительность машины и расходы на ее эксплуатацию.

Под стойкостью понимается показатель времени, в течение которого рабочий инструмент может работать при определенных не меняющихся условиях резания угля до полного своего затупления.

Стойкость резцов зависит от многих факторов, как например от конструкции его рабочих элементов и материалов, из которых он изготавливается и при помощи которых защищается от износа, механических свойств угольного пласта, степени абразивности последнего и т. д.

Наряду с этим, стойкость резцов определяется во многом теми удельными давлениями, которые возникают на его гранях при разрушении массива угольного пласта. До последнего времени считалось, что удельное давление на передней грани резца угледобывающей машины распределяются равномерно.

Исходя из этого конструировалась рабочая часть (головка) резца, выбирался материал для его изготовления и устанавливался способ защиты резца от износа. Между тем, как показывают экспериментальные исследования [63], эти давления на гранях резца распределяются неравномерно (рис. 76, а).

Здесь по оси ординат отложены удельное нормальное усилие (давление) q и удельное касательное усилие q_0 , а по оси абсцисс — длина передней грани резца l . Из этих графиков видно, что максимальное значение q_{\max} находится вблизи главной режущей кромки резца, и по мере удаления от нее происходит постепенное уменьшение его до нуля при любой глубине резания h .

При разрушении угля резцом наблюдаются два вида контакта его передней грани с углем. Первый вид контакта можно назвать активным, посредством его передается усилие резания на отделение элементов стружки угля. На эту работу затрачивается наибольшая часть усилия резания P_x . Поэтому на этом участке контакта передней грани с массивом пласта концентрируются наибольшие удельные давления. При этом максимальные значения их наблюдаются около главной режущей кромки, где прежде всего происходит нарушение монолитности массива угля и отделение от него элементов стружки.

При втором — пассивном контакте передняя грань резца находится в соприкосновении лишь с уже отделенной стружкой угля, которая перемещается вдоль оси передней грани резца и дополнительно разрушается им. На эту работу затрачивается незначительная часть усилия резания P_x , что и обуславливает относительно небольшие и к тому же все убывающие значения удельных давлений на этом участке длины передней грани резца.

При изменении угла резания α изменяется величина контакта передней грани резца с углем (рис. 76, а), что приводит к некоторому смещению кривой q относительно начала коор-

динат и изменению удельного давления, так как при этом сила резания P принимает другое значение.

Однако уменьшение угла резания более благоприятно сказывается на работе резца, чем увеличение его. Дело в том, что

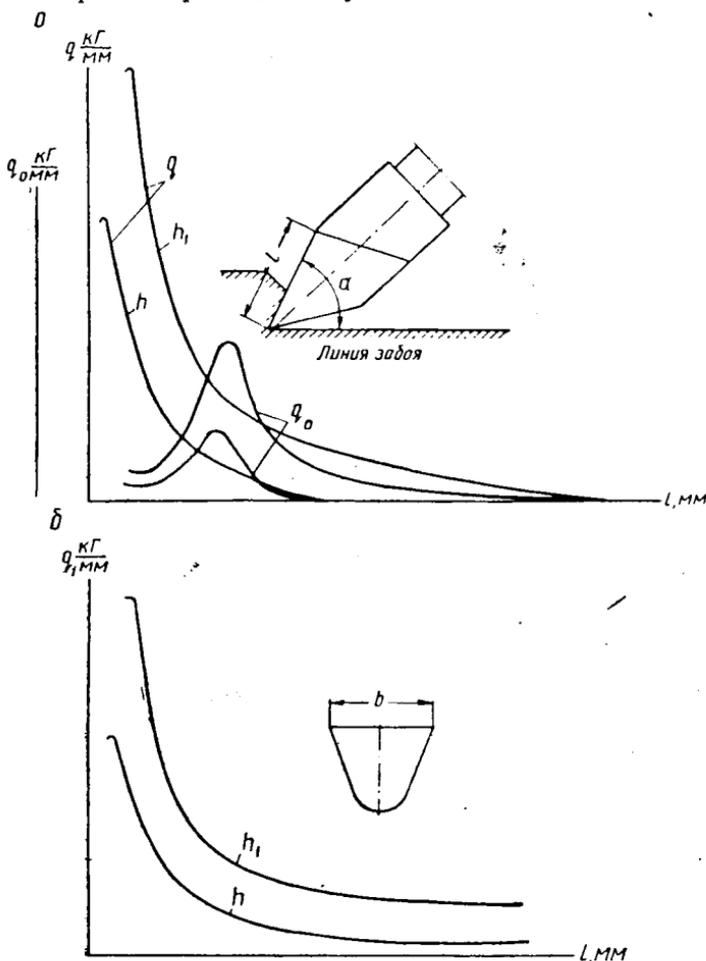


Рис. 76. Графики удельных нормальных давлений (q), удельных касательных сил (q_0) на передней грани резца и удельных давлений (q_1) на главной режущей кромке резца

с уменьшением угла резания α не только создаются лучшие условия отделения угля от массива пласта, но и во многом облегчается выход элементов угольной стружки из-под резцовой зоны.

Как видно (рис. 76, а), с увеличением глубины резания с h до h_1 значения удельных давлений q на рабочей грани резца при прочих равных условиях увеличиваются и кривая q сме-

щается вправо относительно начала координат. Кроме того, местоположение кривой в системе координат зависит также от радиуса r скругления главной режущей кромки резца. С ростом этого радиуса кривая смещается вправо относительно начала координат и увеличивается при этом максимальное значение удельного давления.

Однако все эти изменения не отражаются на характере протекания кривой удельных давлений. Можно построить таким образом семейство кривых q для разных параметров резания и геометрии резца. Эти кривые будут отличаться, при прочих равных условиях лишь значениями своих координат.

Представленные на рис. 76, *а* графики позволяют определить также место приложения силы резания, что имеет большое значение при расчете сечения головки резца на прочность.

На рис. 76, *а* представлены кривые удельных касательных усилий q_0 для разных глубин резания. Эти кривые совмещены с кривыми удельных давлений q и имеют одинаковый масштаб по осям координат. Рассматривая эти кривые, замечаем, что максимальные значения удельных касательных усилий q_0 не совпадают с максимальными значениями удельных давлений q . Они оказались сдвинутыми вправо относительно q_{\max} .

Это объясняется тем, что, по-видимому, передняя грань резца около главной режущей кромки производит лишь уплотнение частиц массива угля до такой степени, при которой происходит нарушение связи между ними и весьма незначительное перемещение их вдоль передней грани резца. По мере же удаления от этой кромки элементы стружки угля перемещаются со все увеличивающейся скоростью, что и приводит к постепенному увеличению удельных касательных усилий до максимального значения. Таким образом, в формировании удельного касательного усилия существенную роль играют не только удельные давления на переднюю и заднюю грани резца, но и скорость перемещения частиц элементов стружки вдоль передней грани его.

На рис. 76, *б* представлены графики распределения удельного давления q_1 на половине ширины главной режущей кромки резца при глубинах резания $h < h_1$. Здесь по оси ординат отложено удельное давление q_1 , а по оси абсцисс — ширина b главной режущей кромки. Эти графики показывают, что q_1 распределяется по ширине b неравномерно. Наибольшая величина q_1 концентрируется вблизи боковой режущей грани резца, а наименьшая — в средней части главной режущей кромки. Удельное давление на этом участке не изменяется даже при увеличении ширины этой кромки.

Удельное давление q_1 изменяется лишь в зависимости от глубины резания, радиуса r скругления режущих кромок и крепости угля.

По мере увеличения r кривая q_1 при любом значении h сдвигается вправо от начала координат.

Зеркальным отражением этих кривых будут кривые распределения удельного давления на второй половине главной режущей кромки резца. Это справедливо, однако, лишь при блокированных условиях работы резца. При свободном или полусвободном резании кривая распределения удельного давления на главной режущей кромке может оказаться односторонней или несимметричной.

Что касается удельных касательных усилий на главной режущей кромке резца, то они распределяются так же, как и нормальные удельные силы (давления).

Приведенные выше графики распределения удельных давлений позволяют построить примерные эпюры нормальных напряжений, действующих по режущим граням резца. Одна из возможных таких эпюр в пространственной системе координат приведена на рис. 77, а. Она постро-

ена применительно к технически острому резцу, при этом на участках скругления режущих кромок эпюра опущена. Подобными же будут эпюры нормальных напряжений на режущих кромках при любых параметрах резания и геометрии резца.

Из рис. 77, а видно, что у резцов с прямоугольной или трапециевидальной формой передней грани наибольшие нормальные напряжения концентрируются у главной и боковой режущих кромок. В углах передней грани наблюдаются два максимума нормальных напряжений, которые, однако, по своим значениям могут быть различными. Это зависит от степени однородности массива пласта в зоне работы данного резца и блоки-

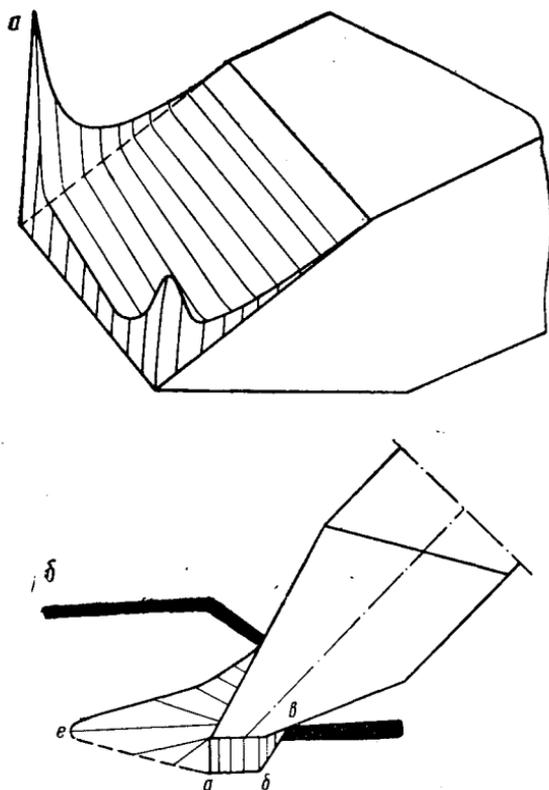


Рис. 77. Эпюры удельных давлений на гранях резца

ровки резания. При блокированном резании более или менее однородного угля эпюра напряжений на передней грани резца будет симметричной. В условиях полублокированного резания, что имеет место у подавляющего большинства резцов струга, эпюра нормальных напряжений будет несимметричной (рис. 77, а).

Как известно, задняя грань резца находится в непосредственном контакте с массивом пласта и воспринимает поэтому на себя усилие отжима P_y , действующее со стороны забоя (см. рис. 66). Это усилие в стругах уравнивается домкратами, прижимающими конвейер и струг к забюю. В результате этого задняя грань резца при его движении деформирует уголь массива пласта. Одна часть деформированного угля истирается и превращается в порошок, а другая — благодаря упругим свойствам угля — после прохода резца восстанавливается.

Если предположить, что задняя грань резца изношена до некоторой степени, что практически всегда имеет место, то удельные нормальные силы (давления), возникающие в связи с деформацией угля, на задней грани резца распределяются на участке $a—б$, по-видимому, по закону прямоугольника, а на участке $б—в$ — треугольника (рис. 77, б). Это удельное давление зависит от упругих свойств угля, его крепости и влажности, а также и от значения заднего угла.

Зная закон распределения удельных нормальных усилий на передней и задней гранях резца, можно построить эпюру нормальных напряжений на головке резца (рис. 77, б). Участок $a—e$ этой эпюры построен предположительно исходя из эпюры нормальных напряжений на гранях резца.

По этой эпюре можно судить о месте наиболее интенсивного износа головки резца и определить необходимые размеры защитного слоя твердого сплава.

20. Методы определения усилий на резце

Главными составляющими сопротивления разрушению угля резцовым инструментом угледобывающих машин являются сила резания P_x и сила отжима P_y инструмента от массива пласта. От значений этих сил в основном зависят, например, сила тяги струга и мощность его привода. Неоднократно делались попытки определить эти усилия аналитическим путем. Однако полученные многими авторами аналитические зависимости сил P_x и P_y не нашли пока еще практического применения. Объясняется это тем, что эти зависимости получены исходя из более или менее произвольных допущений и к тому же не учитывают ряд весьма важных факторов, влияющих на механизм разрушения угля резцовым инструментом и на процесс формирования этих сил.

Поэтому единственно надежным путем определения сил P_x и P_y является проведение научно поставленных опытов по разрушению угольного массива резцовым инструментом с тщательным изучением всех факторов, влияющих на результат эксперимента. Только на основе опытных данных можно получить формулы и зависимости, действительно отражающие физические явления, происходящие при разрушении угля резцом, например, струга.

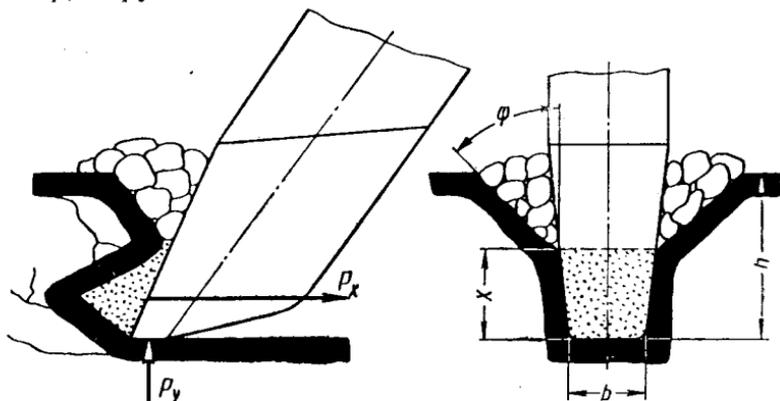


Рис. 78. Схема работы резца

В связи с этим становится понятным, почему в последнее десятилетие экспериментальный метод изучения сил P_x , P_y и P_z получил широкое распространение в практике научных организаций. Такого рода исследования проводятся как в условиях лаборатории, так и на шахте. Для этих целей ряд организаций создали специальную измерительную аппаратуру.

При изучении процесса разрушения углей разных марок и глинистых сланцев с помощью этой аппаратуры удалось обнаружить, что профиль борозды, образующейся при работе резца, не соответствует форме передней грани его [64]. Как правило, имеет место боковой развал борозды, который в большинстве случаев начинается несколько выше подошвы реза, т. е. на расстоянии x от нее (рис. 78). Боковой развал борозды определяется так называемым углом развала ϕ . Значение этого угла зависит, как увидим ниже, от физико-механических свойств разрушаемого угля и глубины резания. С увеличением ϕ растет площадь сечения борозды резания и увеличиваются в связи с этим затраты энергии на процесс разрушения угольного массива. При этом установлено также, что передняя грань зубка контактирует с полезным ископаемым и породой не по всей глубине реза.

В месте активного контакта зубка с полезным ископаемым или породой образуется так называемое уплотненное ядро из

диспергированного материала, находящегося в объемном напряженном состоянии. Это ядро увеличивается по мере движения резца и по достижении максимального своего значения производит отделение элементов стружки угля от массива пласта путем отрыва.

Моменту отделения крупного элемента стружки от массива пласта соответствует максимальное значение нагрузки на резце. После отделения такой стружки нагрузка на резец снижается до минимального своего значения. Дальнейшее движение резца обуславливает вначале промежуточное отделение мелких элементов стружки и в связи с этим постепенное неравномерное нарастание нагрузки на него до максимального значения.

Таким образом, процесс формирования уплотненного ядра и отделение элементов стружки угля от массива пласта происходит периодически. При этом продолжительность периода может изменяться в некотором интервале, что зависит от направления вектора скорости резца по отношению к трещинам кливажа, механических и физических свойств угля и т. д.

На образование уплотненного ядра и напряженного поля вокруг него в массиве пласта расходуется, таким образом, значительная часть энергии, которую получает резец от внешнего источника. Наибольшая часть ее при этом затрачивается, по-видимому, на образование уплотненного ядра, а меньшая — на отделение элементов стружки угля и на перемещение их из подрезцово́й зоны.

Кроме того, некоторое количество подведенной энергии к резцу расходуется на преодоление вредного сопротивления, обусловленного трением задней и боковой граней резца о массив угольного пласта.

Исходя из этого уравнение силы резания будет иметь вид

$$P_x = P'_x + fP_y + P_z,$$

где P'_x — сила, затрачиваемая только на разрушение угольного забоя резцом;

P_y — сила отжима резца от массива пласта;

f — коэффициент трения стали по углю;

P_z — вертикальная составляющая силы веса.

Форма, размеры и строение уплотненного ядра изменяются в зависимости от свойств разрушаемого материала, геометрии и формы резца, степени блокировки резания и т. д. Отделяемые элементы угольной стружки от массива пласта имеют обычно неправильную форму.

В целях выявления угольных пластов, пригодных для разработки быстроходными стругами, фирма «Вестфалия-Люнен» сконструировала специальный прибор, позволяющий непосредственно в забое определить сопротивляемость угля разруше-

нию резцовым инструментом (рис. 79, а). Этот прибор состоит из головки 1, оснащенной резцами, штанги 2, распорной стойки 3, винтовой пары 4, динамометра 5 и тяговой лебедки (не показана на рисунке). Последняя служит для поворота штанги вместе с головкой вокруг распорной стойки. При этом резцы головки отделяют от массива пласта стружку угля глубиной 50—150 мм. Подача головки 1 осуществляется вручную

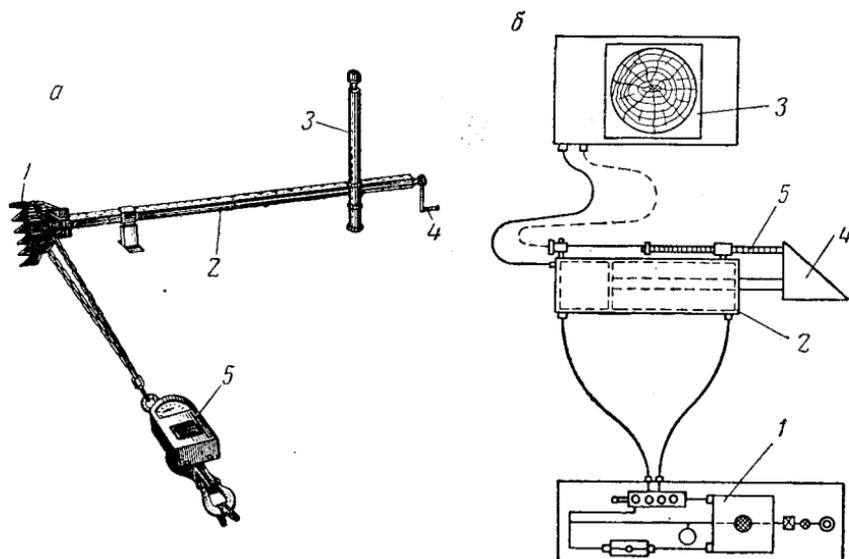


Рис. 79. Схемы приборов «Вестфалия-Люнен» (ФРГ) и «Моррисон Басти» (Англия)

при помощи винтовой пары 4. С одной установки прибора производят обычно несколько резов, общая глубина которых достигает примерно 0,65 м. Если тяговое усилие лебедки, определяемое динамометром, не превышает 10 т, то такой пласт считается пригодным для струговой выемки.

Существенный недостаток прибора состоит в том, что он не в полной мере воспроизводит схему разрушения угольного забоя стругом нормального исполнения, в особенности при выемке крепких углей. Однако он позволяет предварительно оценить возможность разработки стругом угольного пласта, хотя и с некоторыми погрешностями, и тем самым исключить дорогостоящие работы по доставке, монтажу и т. д. оборудования струговой установки в неправильно выбранную лаву.

В Англии пригодность угольного пласта для струговой выемки определяется при помощи прибора «Моррисон-Басти» (рис. 79, б). Он состоит из насосной установки 1, гидравлического домкрата 2 и гидравлического самописца 3. На штоке гидродомкрата укреплен резец 4. Величина перемещения пос-

ледного определяется по линейке 5. Насосная установка, гидродомкрат и самописец соединены между собой гидравлически. Прибор во время производства опытов в шахте устанавливается в специальной нише и закрепляется на распорной стойке. При этом уголь разрушается подобно разрушению угольного забоя резцом струга. Такой прибор позволяет исследовать усилие резания угля непосредственно в забое в зависимости, например, от угла резания, ширины главной режу-

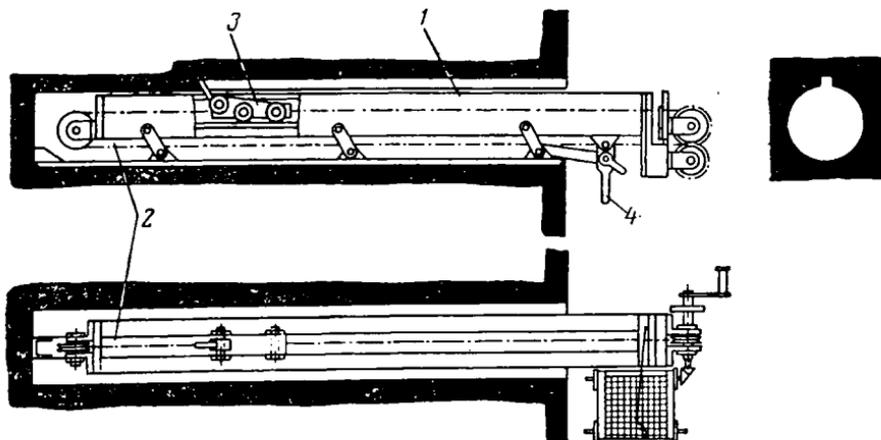


Рис. 80. Схема прибора Вильмса (ФРГ)

щей кромки, глубины резания и т. д. Этим прибором можно установить не только пригодность данного угольного пласта для струговой выемки, но основные параметры резания и геометрию реза струга. На шахтах ФРГ используется также прибор Вильмса (рис. 80). Он устанавливается в специальном шпуре, пробуренном непосредственно в забое. Прибор состоит из направляющей 1, вдоль оси которой цепью 2 перемещается каретка 3, оснащенная резцом. Эта цепь приводится в действие вручную. Направляющая 1 вместе с кареткой 3 устанавливается в рабочее положение в шпуре при помощи рукоятки 4 шарнирного механизма.

Угол резания и задний угол реза составляют соответственно 30° и 7° , а ширина режущей кромки — 10 мм. Глубина резания равна 6 мм. Усилие резания записывается на ленту. Делением среднего усилия резания P_x на площадь сечения стружки F определяют условное напряжение угля, т. е.

$$\psi_w = \frac{P}{F} \text{ кг/см}^2.$$

Опыт показывает, что полученные таким образом значения ψ_w имеют хорошую корреляционную связь с показателями тягового усилия струга.

В СССР сопротивление угля разрушению непосредственно в забое определяется прибором типа ДКС-2 конструкции б. ВУГИ (рис. 81). Этот прибор приводится в действие лебедкой. Измерение силы резания производится гидравлическим самопишущим динамометром.

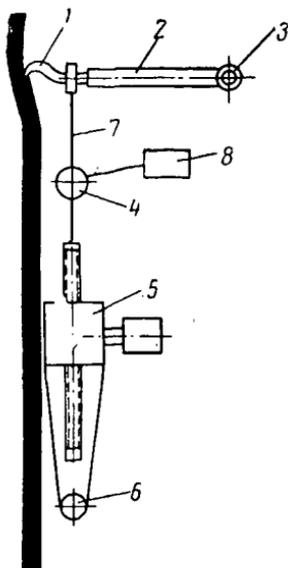
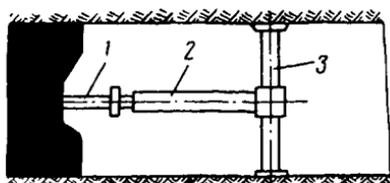


Рис. 81. Схема прибора ДКС-2 (СССР)

1 — резец; 2 — рукоятка; 3 — распорный дократ; 4 — динамометр; 5 — лебедка; 6 — упорная стойка; 7 — тяговый канат и 8 — самопишущий аппарат

Рукоятка вместе с резаком может быть установлена на разном уровне над почвой пласта. Максимальное усилие, развиваемое прибором, составляет 5000 кг.

Вначале производят зачистку забоя резаком прибора, а затем уже резы с замерами усилий и глубины резания. Этим прибором можно производить резание до 200 мм глубиной (по мягкому углю) и исследовать усилие резания в зависимости, например, от глубины резания, геометрических параметров резца и т. д.

Нормально резец имеет угол резания 50° , задний угол 10° , а ширину режущей грани $b = 20$ мм.

Прибор ДКС-2 имеет существенные недостатки, к числу которых относятся: необходимость перестановки распорной стойки через каждые 200 мм заглубления в забой; неудачная конструкция выдвигной части державки и др. Эти недостатки устранены в приборе ДКС-4, в котором рукоятка 2 позволяет заглубляться в массив пласта на 1,0—1,2 м без перестановки распорной стойки.

Рассмотренные выше приборы позволяют определить лишь средние значения усилий резания. Для выявления динамики составляющих усилий резания приходится прибегать к более сложным измерительным приборам. Один из таких приборов представлен на рис. 82. Он применялся для исследования работы струга агрегата А-2 во время промышленных испытаний на шахте «Ново-Моспино» (Донбасс).

Прибор представляет собой трехкомпонентный динамометр, оснащенный датчиками омического сопротивления. Он состоит из державки 1 с резаком и корпуса 2 с коническим хвостовиком, при помощи которого производится крепление его в гнезде рез-

державки 3 струга. Державка 1 одним своим концом закреплена в корпусе, а на свободном конце ее закреплен резец 4 струга. Этот динамометр может быть установлен вместо любого

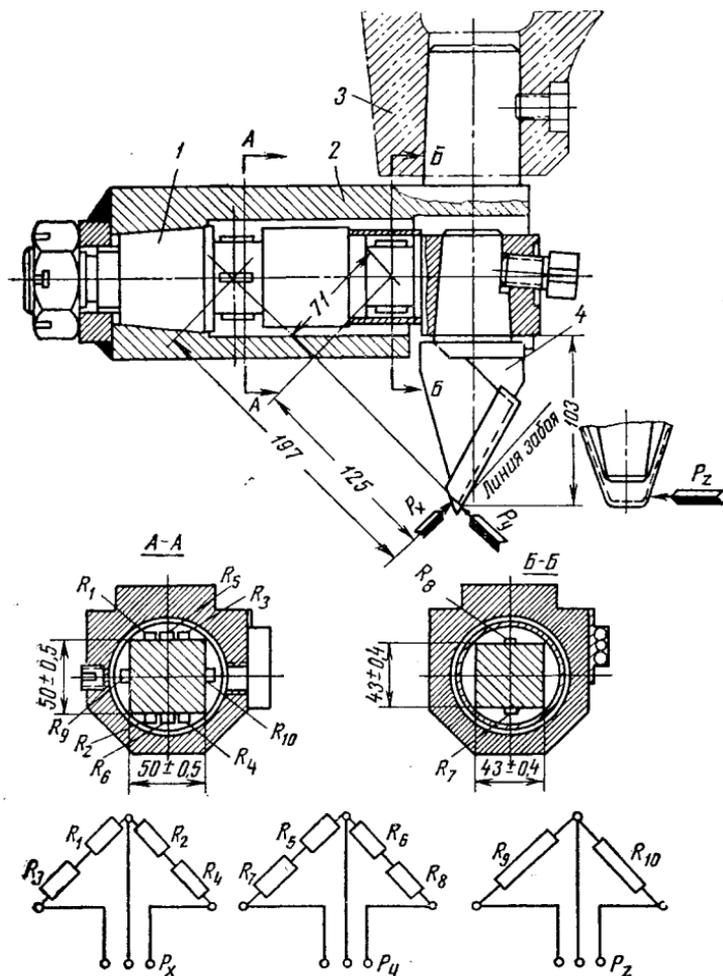


Рис. 82. Электрический динамометр для определения составляющих сил на резце струга

резца струга агрегата А-2, за исключением нижнего и верхнего резцов (см. рис. 47 и 51). Одна из схем установки его показана на рис. 83.

Такой динамометр позволяет определить три составляющих усилия резания P_x , P_y и P_z на резце струга. Это достигается при помощи проволочных датчиков, наклеенных на державку 1, которая во время работы резца деформируется, трехканального усилителя и осциллографа.

Схема соединения датчиков показана внизу на рис. 82. Усилие P_x регистрируется датчиками R_1, R_2, R_3 и R_4 , расположенными таким образом, что направление линии действия силы P_y пересекает ось державки I посередине места наклейки датчиков, вследствие чего датчики не оказывают влияния на эту составляющую. Влияние на P_x усилия P_z , возникающее благодаря смещению датчиков относительно оси державки, исключается попарным соединением датчиков R_1 и R_3, R_2 и R_4 . Усилие P_y регистрируется

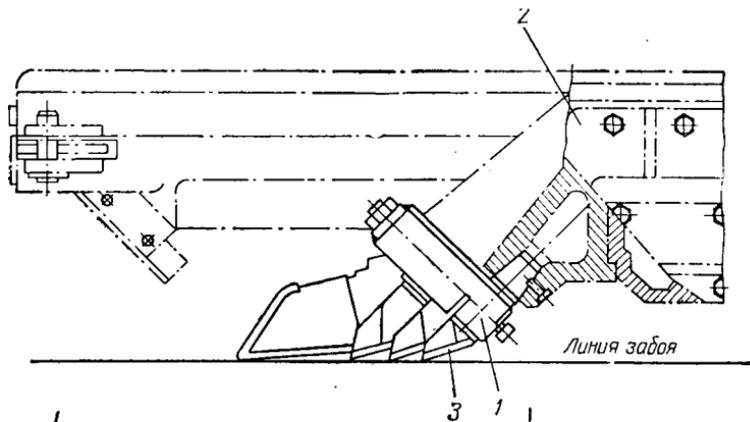


Рис. 83. Схема установки электрического динамометра на струге:

1 — динамометр; 2 — резцедержавка струга; 3 — резец динамометра

стрируется при помощи датчиков R_7 и R_8 . Для устранения влияния P_x на P_y эти датчики соединены электрически с датчиками R_5 и R_6 .

Необходимо также соблюдать условие, чтобы в сечениях AA и BB (см. рис. 82) было обеспечено равенство напряжений, а разница в сопротивлениях датчиков не превышала 0,1-ом. Равенство напряжений в этих сечениях достигается подбором геометрических параметров.

Усилие P_z регистрируется датчиками R_9 и R_{10} , наклеенными на державку таким образом, что линия действия силы P_y проходит через их середину. Этим самым исключено влияние силы P_y на значение P_z .

При этих условиях удалось создать динамометр, у которого взаимовлияние усилий P_x, P_y и P_z не превышает 2—3%. Тарировка динамометра производится на специальном тарировочном стенде, которым можно пользоваться также непосредственно в шахте.

Собственная частота динамометра составляет 220—250 колебаний в секунду, что указывает на пригодность его применения при резании угля резцовым инструментом.

При помощи такого прибора можно изучить не только динамику действующих усилий на средних резцах струга, но и выявить при этом наиболее рациональное размещение их в струге. Особенно полезным может оказаться такой прибор при изучении возможности применения стругов на пластах с крепкими углями.

Хотя изучение разрушения угольного забоя стругом при помощи тензометрического резца является относительно сложным делом, но зато результаты исследований оказываются более достоверными и эффективными по сравнению с любым другим способом.

21. Сила резания и сила отжима резца от забоя

За последние годы в СССР проведена большая работа по выявлению закономерностей между силой резания и параметрами разрушения угля. Эта работа проводилась как в условиях лаборатории, так и в забое шахты. Особенно большая работа была проделана ВУГИ по определению сопротивления разрушению угля разных марок непосредственно в забое при помощи прибора ДКС-2. Опыты проводились одиночным резцом с углом резания $\alpha = 50-60^\circ$, с задним углом $\gamma = 10^\circ$, при ширине главной режущей кромки $b = 20$ мм. При этом глубина резания изменялась в широких пределах. Таким образом, эти параметры соответствуют параметрам резания угля и геометрии резцов струга.

Результаты исследований разрушения угля ВУГИ и другими организациями представлены графически на рис. 84 [65]. Здесь за ось абсцисс принята глубина резания h , а за ось ординат — средняя сила резания P_x и удельная энергия, расходуемая на разрушение угля.

Каждая прямая 1, 2, 3, 4 и т. д. на этом графике выражает собой изменение средней силы резания P_x угля данного пласта в зависимости от глубины резания. Кривые же А и Б показывают закономерности изменения удельной энергии H_s , расходуемой на разрушение угольных пластов резцом и ограничивают поле изменения H_s , в котором размещаются кривые $H_s = f(h)$ для исследованных угольных пластов. Как видно (рис. 84), удельная энергия H_s изменяется в зависимости от h по кривой гиперболического типа. Чем больше глубина резания, тем меньше расходуется энергия на процесс разрушения угля резцом. Отсюда следует, что с точки зрения затраты энергии на разрушение угля выгодно работать с возможно максимальной глубиной резания. Однако это не всегда возможно осуществить по техническим причинам, например из-за недостаточной мощности привода струга, сильного отжима последнего от забоя в сторону выработанного пространства и т. д.

Из графиков видно (см. рис. 84), что сила резания изменяется по закону прямой линии, т. е.

$$P_x = a_0 h, \quad (19)$$

где h — глубина резания или захвата стругом;
 a_0 — коэффициент сопротивляемости резанию угля.

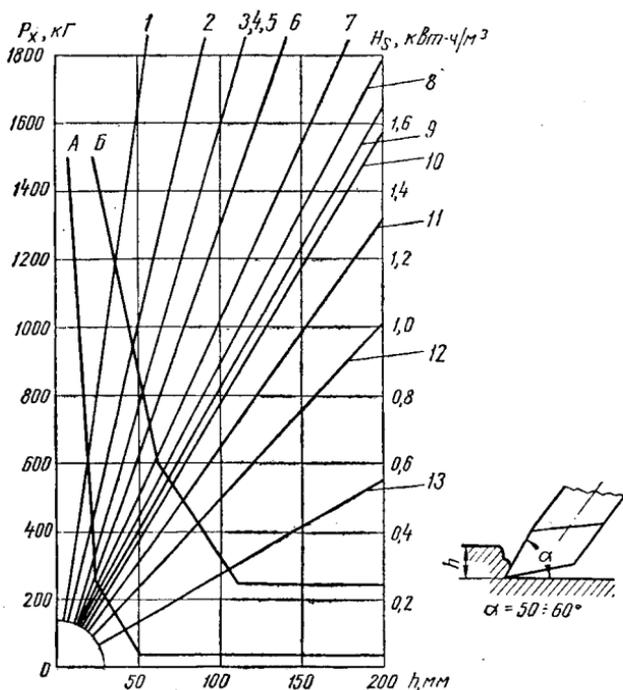


Рис. 84. Диаграмма сил резания P_x и удельного расхода энергии в зависимости от глубины резания h :

Угольные пласты: 1 — Несветаевский i_2^{2H} ; 2 — Нижнегрушевый k_5^H ; 3 — Майдаковский k_8 ; 4 — Несветаевский; 5 — Боковский k_8 ; 6 — Лисичанский l_8 ; 7 — Несветаевский; 8 — III Каменский k_8 ; 9 — Коминтерновский i_3^B ; 10 — Анастасиевский l_8 ; 11 — Никанор l_8 ; 12 — k_1 и 13 — Стекланный

Этот коэффициент, равный тангенсу угла наклона этой прямой к оси абсцисс, имеющий размерность кг/см , характеризует относительную крепость угля в массиве во время его разрушения резцовым инструментом. Он зависит от физико-механических свойств угля.

На рис. 85 представлена графическая зависимость средней силы резания P_x от глубины h и шага t резания (расстояние между соседним резцом), построенная по результатам исследования разрушения угля резцом в условиях лаборатории. Коэф-

коэффициент крепости f_{II} антрацита при этом изменялся от 1,8 до 2,1, а подмосковного угля от 1,4 до 1,6. Как видно, зависимость $P_x = f(h, t)$ для малых глубин резания h является также почти прямой, как и для больших глубин резания (см. рис. 84).

Прямые 1—4 соответствуют антрацитовым углям, а 5—9 — подмосковному углю. Поле изменения силы резания в зависимости от шага и глубины резания представлено штриховкой в разных направлениях между соответствующими прямыми (см. рис. 85). Таким образом, сила резания зависит не только от глубины, но и от его шага. С увеличением шага резания увеличивается, при прочих равных условиях, и сила резания.

Коэффициент сопротивляемости угля резанию a_0 (уравнение 19) М. М. Протодьяконов предлагает определять по формуле [66]

$$a_0 = (50 \div 250) f_{II}, \quad (20)$$

где f_{II} — коэффициент крепости угля определяемый методом толчения ИГД.

Эта зависимость записана на основе экспериментальных наблюдений по резанию угля на 5 шахтопластах и данных б. ВУГИ по двум пластам.

Нижний предел значения a_0 относится к кливажистым и хрупким антрацитам, а верхний — к вязким углям, как например карагандинским углям марок ПС и ПЖ.

В табл. 26 приведены значения коэффициента сопротивляемости резанию a_0 углей разных пластов и марок прибором ДКС-2 в неотжатом массиве на шахтах Донбасса, Караганды и Мосбасса [67—68].

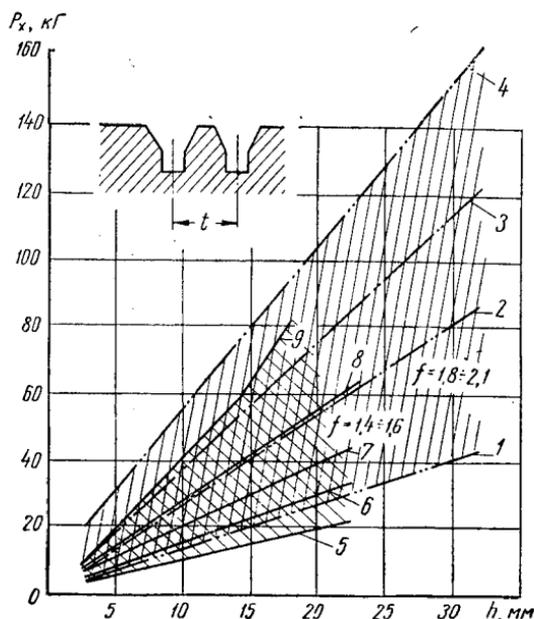


Рис. 85. Диаграммы сил резания P_x в зависимости от глубины h и шага t резания: Антрацитовый уголь (прямые 1—4) и подмосковный уголь (прямые 5—9)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|------|
| α , град | 60 | 60 | 60 | 60 | 77 | 77 | 77 | 77 | 77 |
| γ , град | 10 | 10 | 10 | 10 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| b , мм | 25 | 25 | 25 | 25 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| t , мм | 2 | 8 | 16 | 32 | 5 | 10 | 15 | 32 | Блок |

| Пласт | Марка угля | Глубина ре- зания, h см | a_0 , кг/см | Средний коэффици- ент дина- мичности | f_p |
|--------------------------------------|---------------|------------------------------|------------------|---|----------|
| <i>Донбасс</i> | | | | | |
| Стекланный | А | — | 30 | 2,9—4,5 | 1,3—1,8 |
| Коминтерновский, l_3^B | А | 3,25—5,0—7,0 | 91 | 1,6—1,8 | — |
| Майдановский, h_8 | А | 2,5—3,5—5,0 | 168 | — | 1,5 |
| Боковский, k_5 | А | 2,5—5,0—7,0 | 166 | 1,68—1,96 | 1,6 |
| Несветаевский, i_3^{2B} | А | 2,0—3,0—4,0 | 168 | 1,59—1,79 | 2,1 |
| Нижнегрушевский, k_6^H | А | 2,5—4,0—5,0 | 212 | 1,22—1,77 | 1,5—2,7 |
| Несветаевский, l_8^{2H} | А | 1,0—2,0—3,0 | 334 | 1,4—1,64 | 1,3—2,5 |
| II Лисичанский, l_5 | Д | 5,0—7,5 | 137 | — | 1,0 |
| III Каменский, k_5 | ОС | 2,5—5,0—10,0 | 98,5 | 1,48—1,77 | — |
| Анастасьевский, l_2 | Г | 2,5—5—10—15 | 83,5 | — | 1,2 |
| Никанор, l_4 | Т | 2,5—5,0—10,0 | 73 | — | — |
| Кальмиусский, g_2 | Т | 15,0 10,0 | 55 | — | 0,4—0,8 |
| <i>Караганда</i> | | | | | |
| Четырехфутовый, K_{14} | ПЖ | 2,0—4,0 | 290 | 2,2 | 1,1—1,3 |
| Верхняя Марианна, K_{12} | ПС | 5,0 | 250 | 2,3 | 0,7—1,1 |
| Шестифутовый, K_{13} | ПЖ | 2,0—4,0 | 230 | 2,28 | 0,9—1,2 |
| Нижнесредний | — | — | 185 | 2,3 | — |
| Новый, K_{18} | — | 2,0—4,0—6,0 | 180 | 2,52 | — |
| Средний | — | — | 165 | 2,47 | 0,7—1,57 |
| Феликс, K_{10} | — | 2,5—5,0—7,5 | 30—145* | 2,58 | 0,7—1,1 |
| Замечательный, K_7 | — | — | 85* | — | — |
| 4-й Долинский, d_4 | — | — | 85 | — | — |
| 5-й Долинский, d_5 | — | — | 95 | — | — |
| <i>Мосбасс</i> | | | | | |
| Сокольническое месторождение | Б | — | 90 | 2,4—4,8 | 0,9—1,1 |

* Пласт угля ослаблен отжимом.

Табл. 26 показывает, что не всегда наблюдается пропорциональность между коэффициентом сопротивляемости резанию a_0 и коэффициентом крепости угля f_p . Поэтому при пользовании формулой (20) необходимо соблюдать осторожность.

По исследованиям лаборатории разрушения горных пород Института горного дела им. А. А. Скочинского (ИГД) усредненные значения коэффициентов сопротивляемости резанию a_0 углей разных марок характеризуются данными, приведенными в табл. 27.

| Бассейн | Марка угля | Коэффициенты | | | | | |
|----------------|-----------------|--|-----|-----|-------------------|------|------|
| | | Сопротивляемость резанию a_0 , кг/см | | | Крепость f_{II} | | |
| | | средняя | min | max | средняя | min | max |
| Донецкий | Г, Д | 166 | 84 | 225 | 1,1 | 0,92 | 1,47 |
| Донецкий | Ж, КЖ, ОС, Т | 81 | 24 | 160 | 0,48 | 0,26 | 0,76 |
| Донецкий | ПА, А | 166 | 50 | 336 | 1,76 | 0,8 | 2,58 |
| Карагандинский | | 150 | 36 | 300 | 0,7 | 0,6 | 1,2 |
| Печорский | | 81 | 24 | 160 | 0,85 | 0,2 | 1,6 |
| Кизеловский | | 230 | 140 | 450 | 2,16 | 0,6 | 3,9 |

Как видно из табл. 26 и 27, коэффициент сопротивляемости резанию a_0 разных углей изменяется в широких пределах от 24 до 450 кг/см. Нижний предел соответствует весьма мягким углям, а верхний — крепким и вязким углям.

На основе проведенных данных значения коэффициентов сопротивляемости резанию углей разной крепости при расчете усилий резания можно принимать:

| a_0 | |
|---------------------------------|------------------|
| Мягкие угли | До 100 кг/см |
| Угли средней крепости | 100—200 кг/см |
| Крепкие угли | 200 кг/см и выше |

Усилие резания острым резцом в установившемся режиме зависит от многих факторов, к числу которых относятся: физико-механические свойства разрушаемого угля и степень блокирования резания, геометрия режущего инструмента и степень ослабления угля отжимом в зоне действия резца, ширина главной режущей кромки резца и площадь сечения реза.

По исследованиям лаборатории разрушения горных пород ИГД с увеличением площади сечения усилие резания растет медленнее, чем площадь сечения реза, удельная энергия резания уменьшается. Однако существенное уменьшение удельной энергии резания наблюдается до определенного значения глубины резания h каждой марки угля (см. рис. 84). Дальнейшее увеличение значения h не вызывает заметного снижения удельной энергии резания. Поэтому в целях обеспечения эффективного режима разрушения угля резцовым инструментом следует выбрать такую глубину реза, при которой удельная энергия резания была бы минимальна, а среднее усилие резания небольшим. Этому условию лучше всего удовлетворяет пологая часть кривой удельной энергии резания H_s (см. рис. 84).

Согласно рис. 78 площадь сечения реза равна

$$F = bh + (h - x)^2 \operatorname{tg} \psi$$

или

$$F = h[b + (h - 2x) \operatorname{tg} \psi] + x^2 \operatorname{tg} \psi.$$

Откуда находим

$$h = \frac{F}{b + (h - 2x) \operatorname{tg} \psi + x^2 \operatorname{tg} \psi}. \quad (21)$$

При $x=0$, т. е. когда развал борозды начинается от ее подошвы, будем иметь

$$h = \frac{F}{b + h \operatorname{tg} \psi}. \quad (22)$$

Площадь сечения борозды может быть определена, как среднее значение по формуле

$$F_{\text{ср}} = F = \frac{Hh}{z} = th, \quad (23)$$

где H — разрушаемая мощность пласта;

z — количество резцов;

t — шаг реза.

Тогда, принимая во внимание изложенное выше и учитывая равенства (19), (21) и (22), найдем уравнения в общем виде для определения силы резания острым резцом в установившемся режиме резания

$$P_{\text{хo}} = a_0 \frac{F \cdot k_{\text{от}} k_{\text{бл}} k_a k_b}{b + (h - 2x) \operatorname{tg} \psi + x^2 \operatorname{tg} \psi}. \quad (24)$$

$$P_{\text{хo}} = a_0 \frac{F k_{\text{от}} k_{\text{бл}} k_a k_b}{b + h \operatorname{tg} \psi},$$

где $k_{\text{от}}$ — коэффициент, учитывающий степень отжима угля горным давлением;

$k_{\text{бл}}$ — коэффициент, учитывающий степень блокирования реза;

k_a — коэффициент, учитывающий значение угла резания;

k_b — коэффициент, учитывающий значение ширины главной режущей кромки реза.

По данным ИГД, усредненные значения углов развала борозды при резании прибором ДКС-2 (со стандартным резцом) углей с выровненной поверхностью имеют следующие значения (табл. 28).

Как видно из этой таблицы, с увеличением глубины резания и вязкости углей угол бокового развала борозды уменьшается.

Как отмечалось выше, сопротивляемость угля разрушению во многом зависит от отжима его горным давлением. Так, по данным А. И. Берона, удельные затраты энергии на разрушение

угля в забое, простоявшем несколько часов, при глубине резания, не превышающей одной трети мощности пласта, уменьшается примерно в 1,5—2,0 раза в сравнении с разрушением неотжатого угля [69]. Установлено также, что на усилии резания и глубину отжатого слоя угольного пласта оказывает существенное влияние ширина призабойного пространства. С увеличением этой ширины уменьшается сопротивление угля резанию и повышается эффективность отжима угля. По мере уменьшения времени простоя забоя и увеличения глубины реза эффективность отжима снижается. Это подтверждают также результаты исследования разрушения прибором ДКС-2 со стандартным резцом верхнего слоя пласта Верхняя Марианна (Караганда) [70]. Во время исследования резы производились по трем линиям резания, расстояние между которыми по высоте забоя было равно 400 мм. Глубина каждого реза составляла $h = 50$ мм. Общая глубина заглабления резца в массив пласта доводилась до 850 мм.

На рис. 86, а представлены графики, составленные по результатам этих опытов. Пунктирные линии здесь ограничивают поле разброса точек, а сплошная линия показывает изменение средней силы резания в зависимости от величины заглабления резца в массив пласта. Как видно, усилие резания P_x по мере заглабления резца первоначально возрастает по закону прямой линии, а затем практически стабилизируется. Из графиков видно, что стабилизация усилия резания P_x происходит при заглавлении реза в массив на величину $a = 40—45$ ст. На шахте «Никонор» (Донбасс) эта стабилизация наблюдалась при значениях $a = 20—30$ ст.

О влиянии отжима угля горным давлением на усилие резания свидетельствует также опыт промышленных испытаний струга агрегата А-2 на шахте «Ново-Моспино» (Донбасс).

Таблица 28

| Характеристика угля | Значения углов развала борозды ϕ при глубине реза h , см | | | | | | | | | | |
|------------------------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0,5 | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 6,0 | 8,0 | 10,0 | 15,0 | 20,0 | 25,0 |
| Хрупкие | 84—74 81 | 82—67 77 | 79—58 71 | 75—52 65 | 72—49 61 | 68—44 55 | 64—42 52 | 61—40 49 | 53—35 48 | 46—31 38 | 42—27 34 |
| Вязкие | 75—57 67 | 71—51 63 | 2—40 55 | 55—34 49 | 52—32 45 | 46—31 41 | 43—30 38 | 41—29 36 | 37—25 32 | 32—23 29 | 28—23 25 |

Во время этого опыта, вместо обычных резцов 3, 4 и 6 (см. рис. 51, а), устанавливался резец с трехкомпонентным электрическим динамометром (см. рис. 82). Ширина отделяемой стругом полосы при этом составляла $h = 100$ мм, а резцы имели радиус скругления режущих кромок $r = 2 \pm 1$ мм. Опыт проводился в течение нескольких проходов струга и с разной продолжительностью его

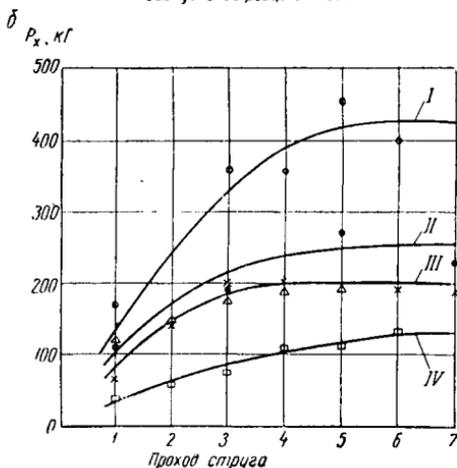
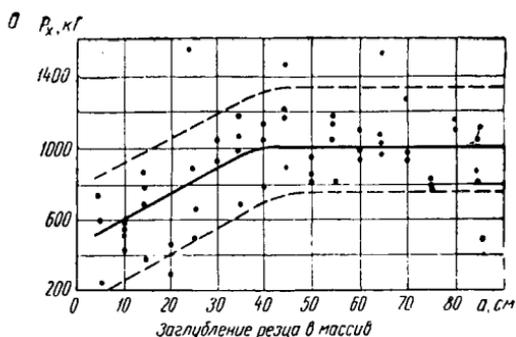


Рис. 86. Изменение усилия резания в зависимости от заглубления реза в массив пласта при глубине реза $h = 50$ мм (а) и числа проходов струга (б)

снятия стругом 3—5 полос угля, чему соответствует подвигание забоя на 0,4—0,5 м. Таким образом длительное стояние забоя увеличивает отжим угля и повышает эффективность работы струга.

Однако когда струг работал с небольшими перерывами (30—60 мин) и подвигание забоя в смену было значительным, то отжим угля проявлялся мало, а усилия резания на резцах стабилизировались уже при выемке первых двух полос угля после паузы. При работе же струга с предварительным врубом (см. рис. 51, в) отжим угля проявлялся сильнее и усилия резания

должительностью его остановки для передвижения посадочных секций крепи агрегата.

Результаты опытных наблюдений представлены в виде графиков на рис. 86, б. Здесь по оси абсцисс отложено число проходов струга, а по оси ординат — среднее усилие резания P_x . Кривые I и IV соответствуют резцам 3 и 4, а кривые II и III — резцу 6 (см. рис. 51, а).

Из этих графиков видно, что усилия на резцах при первом проходе струга оказались относительно небольшими, вследствие продолжительного стояния забоя. По мере же нарастания числа проходов струга эти усилия увеличиваются примерно по закону прямой линии и затем стабилизируются после

на резах поэтому были на 25—40% меньше. Свидетельством этому является кривая IV (рис. 86, б), которая относится к резу 4 (см. рис. 51, а) струга.

Значение коэффициента отжима $k_{от}$ угля от забоя горным давлением при расчете усилия резания P_x можно принимать по табл. 29. Эта таблица составлена по данным исследования б. ВУГИ и КНИУИ влияния отжима на усилие резания угля.

Таблица 29

| Уголь бассейнов | Степень заглабления в долях от мощности пласта | | | | | |
|-----------------|--|-----------|----------|---------|---------|---------|
| | 0—0,1 | 0,1—0,2 | 0,2—0,3 | 0,3—0,4 | 0,4—0,5 | 0,5—0,6 |
| | Коэффициенты отжима угля $k_{от}$ | | | | | |
| Донбасса | 0,3÷0,65 | | 0,5÷0,75 | — | 0,8÷0,9 | 1 |
| Караганды | 0,5÷0,65 | 0,55÷0,85 | 0,7÷0,95 | 0,9÷1 | 0,95÷1 | 1 |

Значение усилия резания P_x , как показывает опыт, зависит во многом от степени блокировки реза, которая определяется величиной отношения шага t к глубине резания h , т. е. $\frac{t}{h}$. Дело в том, что резец при работе отделяет от массива пласта элементы стружки и удаляет их со своего пути. При этом противодействующие отделению силы сцепления частицы угля с массивом пласта определяются не только его механическими свойствами, но и величиной поверхностей, по которой отделяемые частицы стружки связаны с массивом. Кроме того, при данной глубине реза h имеется такая критическая величина шага t резания, при которой происходит почти полное отделение угля от массива при ширине главной режущей кромки резца меньшей величины этого шага. В этом случае элементы стружки угля удаляются не только с пути движения резца, но и в сторону соседнего реза. Таким образом, усилие резания существенно зависит от величины и конфигурации поверхностей бороздки реза, определяемых отношением $\frac{t}{h}$.

Влияние этого отношения на величину усилия резания учитывается коэффициентом блокировки $k_{бл}$, значение которого для каждого случая работы резца может быть вычислено по формуле

$$k_{бл} = \frac{\left(0,34 + 0,16 \frac{t}{h}\right) \frac{t}{h}}{0,2 + \frac{t}{h}} \quad (25)$$

При $\frac{t}{h} \geq 5$ следует принимать $k_{бл} = 1,0$.

Как указывалось выше, усилие резания зависит от угла резания α (см. рис. 67). Поэтому влияние этого угла на усилие резания, определяемое по формуле (24), учитывается коэффициентом k_b . При выборе этого коэффициента можно руководствоваться данными ИГД, представленными в табл. 30.

Таблица 30

| Характеристика | Углы резания α , град | | | | | | |
|--|------------------------------|-----|------|------|------|------|------|
| | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 105 |
| | Коэффициент k_b | | | | | | |
| Каменные угли (донецкие, карагандинские) | 0,85 | 1,0 | 0,93 | 0,95 | 1,08 | 1,3 | 1,7 |
| Антрациты | 1,06 | 1,0 | 0,90 | 1,17 | 1,44 | 1,69 | 1,82 |
| Подмосковные угли | 1,04 | 1,0 | 0,90 | 0,94 | 0,96 | 1,03 | 1,52 |
| Кизеловские угли | 1,05 | 1,0 | 0,85 | 0,90 | 1,2 | 1,4 | 1,87 |

Согласно исследованиям ВУГИ при разрушении угольного забоя с большими глубинами резания рекомендуется принимать следующие значения коэффициента k_b (табл. 31).

Таблица 31

| Уголь | Коэффициент k_b при ширине главной режущей кромки b | | | |
|---------------------------|---|----------|----------|----------|
| | $b=0,1h$ | $b=0,2h$ | $b=0,4h$ | $b=0,8h$ |
| Антрацит | 1,51 | 1,0 | 1,34 | 2,1 |
| Подмосковный | — | 1,0 | 1,17 | — |
| Карагандинский* | 0,69 | 1,0 | 1,64 | 2,46 |

* При $h = 100$ мм.

Берон А. И. предложил следующую формулу для определения средней силы резания затупленным резцом

$$P_{x\text{ ср}} = P_{x0} + f'P_y,$$

где P_{x0} — сила резания острым резцом;

P_y — сила отжима реза от массива пласта.

Коэффициент сопротивления f' в этом уравнении изменяется в пределах 0,33—0,44. Он увеличивается с уменьшением крепости угля и повышением его зольности.

Что касается силы отжима P_y реза струга от груди забоя, то, как показывает осциллограмма (рис. 87, а), она точно следует за изменением силы резания P_x и значение ее зависит при прочих равных условиях от степени износа реза и глубины резания. Эта осциллограмма относится к резу 3 струга (см. рис. 51, б). Аналогичные осциллограммы были получены также и для других его резцов.

На рис. 87, б приведены также осциллограммы силы резания P_x и силы P_z , действующей на резец в вертикальной плоскости пласта. Отсюда видно, что изменение силы P_z следует за изменением силы резания P_x . Как показывает опыт работы струга агрегата А-2, вектор этой силы может изменять свое направление. В большинстве же случаев он направлен от кровли к почве пласта.

Представленные на рис. 87 осциллограммы показывают таким образом, что составляющие силы резания P_x , P_y и P_z имеют синхронное изменение во времени. Поэтому каждую из этих сил можно выразить через одну из них. Так как сила P_x является главной составляющей силы резания, то удобнее всего силы P_y и P_z выразить через P_x . В таком случае будем иметь:

$$P_y = \lambda_0 P_x; \quad (26)$$

$$P_z = \lambda_1 P_x, \quad (27)$$

где λ_0 и λ_1 — коэффициенты, учитывающие условия работы резца, степень затупления его головки и глубину резания.

Значения этих коэффициентов, подсчитанные по средним и максимальным усилиям, действующим на средние резцы струга

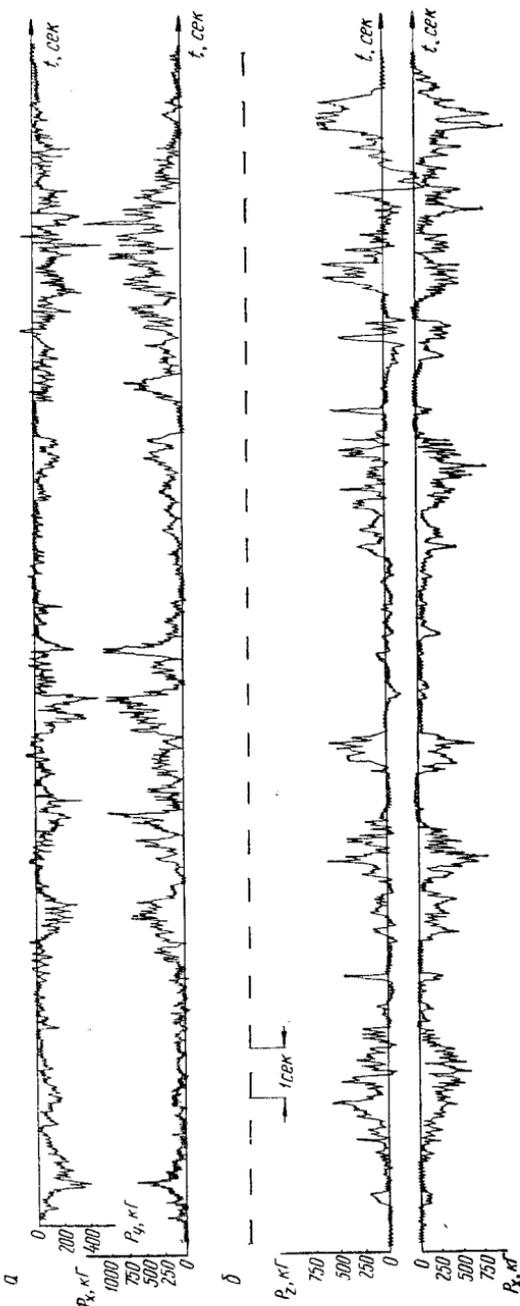


Рис. 87. Осциллограммы силы резания P_x и силы отжима P_y резца от забор

агрегата А-2, при глубине резания $h = 100$ мм приведены в табл. 32.

Таблица 32

| Число проходов струга | Резец с узкой передней и широкой задней гранями | | | | Число проходов струга | Резец с широкой передней и узкой задней гранями | |
|-----------------------|---|--------------|-------------|--------------|-----------------------|---|--------------|
| | λ_0 | | λ_1 | | | λ_0 | |
| | среднее | максимальное | среднее | максимальное | | среднее | максимальное |
| 6 | 0,27 | 0,47 | 0,51 | 0,83 | 6 | 0,31 | 0,42 |
| — | — | — | — | — | 5 | 0,32 | — |

Из табл. 32 видно, что коэффициенты λ_0 и λ_1 неодинаковы по величине, они колеблются в широких пределах и значения их зависят от геометрии резца. Как показывает опыт, коэффициенты λ_0 и λ_1 уменьшаются по мере увеличения глубины резания и, наоборот, они возрастают с уменьшением ее.

По данным б. ВУГИ, коэффициенты λ_0 и λ_1 в первом приближении при $h > 20$ мм можно принять по табл. 33.

Таблица 33

| Острые резцы | | Тупые резцы | |
|--------------|-------------|-------------|-------------|
| λ_0 | λ_1 | λ_0 | λ_1 |
| 0,3÷0,5 | 0,20÷0,5 | 0,5÷1,0 | 0,5÷1,0 |

Как видно из осциллограмм (см. рис. 87), составляющие усилия резания P_x , P_y и P_z в процессе формирования стружки угля и отделения ее резцом струга от массива пласта изменяются в широких пределах. Так, например, на резце 3 (см. рис. 51) струга агрегата А-2 максимальное значение силы резания $P_{x\max}$ достигало

$$P_{x\max} = (7 \div 8) P_x,$$

а максимальное значение силы отжима $P_{y\max}$ резца 6 от забоя составляло

$$P_{y\max} = (10 \div 11) P_y.$$

Это обстоятельство обуславливает динамический режим работы не только данного резца, но и струга в целом. Степень динамичности работы резцов зависит от особенностей физико-механических свойств угля и строения угольного пласта.

При работе одиночного резца ее можно учесть так называемым коэффициентом динамичности

$$k_x = \frac{\sum_{m=1}^m P_{x \max}}{mP_x};$$

$$k_y = \frac{\sum_{m=1}^m P_{y \max}}{mP_y};$$

$$k_z = \frac{\sum_{m=1}^m P_{z \max}}{mP_z},$$

где $P_{x \max}$, $P_{y \max}$ и $P_{z \max}$ — пиковые значения сил;
 P_x , P_y и P_z — средние значения сил;
 m — число пик нагрузок.

На рис. 88 приведены кривые изменения частоты коэффициентов динамичности силы резания P_x и силы отжима P_y резца 3 струга агрегата А-2 (см. рис. 51) от забоя. Как видно значение коэффициента динамичности силы P_x $k_x = 8 \div 9$ наблюдается примерно лишь в 0,25% случаях, в 30% случаях он изменяется от 1,5 до 2,0 и в 15% случаев — от 3 до 4.

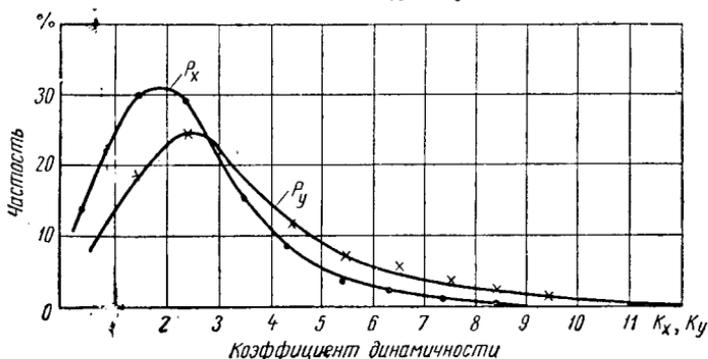


Рис. 88. Графики частоты пиковых усилий резания P_x и отжима P_y резца от забоя

Подобная частота коэффициента динамичности k_y наблюдается также и для силы P_y . Значение k_y чаще всего колеблется от 2 до 3. Максимум значения его ($k_y = 10 \div 12$) отмечается лишь в очень небольшом числе случаев.

Аналогичная частота коэффициента динамичности k_x была получена б. ВУГИ при разрушении углей разных марок одиночным резцом. Так, например, при разрушении крепких углей, содержащих раздробленные твердые включения k_x достигает

7÷8. Однако частота появления таких нагрузок на резце не превышает в 0,6% случаев. При разрушении резцом других углей коэффициент динамичности $k_x = 5 \div 6$ встречается не чаще 1,3% случаев.

Кривые распределения частоты коэффициента динамичности (см. рис. 88) позволяют, таким образом, правильно оценить их значение при расчете тягового усилия струга, прочности его элементов и устойчивости.

22. Шаг между резцами струга

Опыт разрушения угля резцовым инструментом показывает, что сила резания P_x зависит, при прочих равных условиях, от

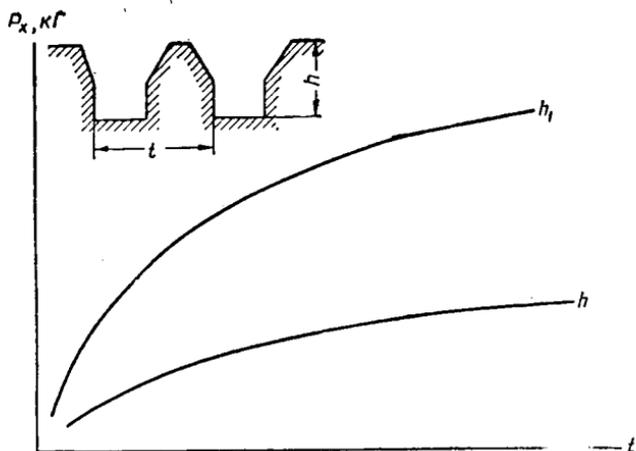


Рис. 89. Зависимость усилия резания на резце от шага резания

шага резания или шага между соседними резцами струга (рис. 89). На этом графике по оси абсцисс отложен шаг между резцами t , а по оси ординат — усилие резания P_x .

Увеличение шага резания t приводит вначале к возрастанию силы P_x по кривой, выпуклой к оси ординат. Однако при все увеличивающемся шаге реза рост силы P_x вначале замедляется, а затем вовсе прекращается. Стабилизация этой силы обусловлена прекращением влияния дополнительной открытой поверхности вокруг резца на процессе ее формирования. Такой характер протекания кривой $P_x = f(t)$ наблюдается при любой глубине резания h . С увеличением глубины резания с h и h_1 (см. рис. 89), усилие резания повышается при любом значении шага резания t .

Критическое значение шага резания t , при котором прекращается влияние дополнительной открытой поверхности, образованной соседним резом, зависит от физико-механических

свойств угля. Опыт показывает, что критические и оптимальные значения шага резания связаны с глубиной резания определенным образом, что можно видеть из табл. 34.

Т а б л и ц а 34

| Показатели | Подмосковный уголь | Антрацит | Горячий сланец | Глинистый сланец |
|--|--------------------|---------------|----------------|------------------|
| Пределы изменения глубины реза h , мм . . . | 5÷20 | 2÷32 | 10÷15 | 2÷12 |
| Критические значения шага реза t_k | (4÷6) h | (5÷10) h | (3÷4) h | (6÷10) h |
| Оптимальное значение шага реза t | $b+h$ | (1,5÷2,0) h | (1,0÷2) h | $b+(1,0÷1,3)h$ |

В этой таблице b обозначает ширину главной режущей кромки реза. Этими формулами можно пользоваться при определении шага резания, например в угольных пилах и скреперостругах.

При выемке вязких углей стругами шаг между резами его следует определять по формуле

$$t = (1,5 \div 1,8) h,$$

а слабых и трещиноватых углей по формуле

$$t = (1,8 \div 2,3) h.$$

При этом следует помнить, что с увеличением шага между резами уменьшается выход мелких фракций угля, отжим струга от груди забоя и сила тяги его.

23. Расчет суммарных сил резания

Как известно, у современных стругов одновременно могут работать от 3 до 10 и более резцов, поэтому для расчета струга необходимо знание суммарных сил резания X , Y и Z , т. е.

$$X = \sum_{n=1}^n P_x; \quad Y = \sum_{n=1}^n P_y; \quad Z = \sum_{n=1}^n P_z,$$

где n — число одновременно работающих резцов. Средние значения суммарных сил X , Y и Z , если резцы работают в одинаковых условиях, определяются по формулам:

$$X_{\text{ср}} = nP_x; \quad Y_{\text{ср}} = nP_y \quad \text{и} \quad Z_{\text{ср}} = nP_z.$$

Так как усилия P_x , P_y и P_z непрерывно изменяются (см. рис. 87), то и составляющие сил резания X , Y и Z не остаются постоянными. Однако при одновременной работе n резцов пики усилий на них не совпадают между собой. Вследствие этого нагрузка многорезцового струга оказывается более равномерной по сравнению со стругом с одним резцом, например со сплошными ножами.

Коэффициент динамичности струга в первом приближении может быть определен по известной формуле

$$k = \frac{k_{x, y, z} - 1}{\sqrt{n}} + 1.$$

В табл. 35 приведены округленные числовые значения этого коэффициента при разном количестве одновременно работающих резцов и разной степени их перегрузки.

Таблица 35

| $k_{x, y, z}$ | Значение k при n равном | | | | | |
|---------------|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| 2,0 | 2,0 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,3 |
| 3,0 | 3,0 | 2,4 | 2,0 | 1,8 | 1,7 | 1,6 |
| 4,0 | 4,0 | 3,1 | 2,5 | 2,2 | 2,1 | 2,0 |
| 5,0 | 5,0 | 3,8 | 3,0 | 2,6 | 2,4 | 2,3 |
| 6,0 | 6,0 | 4,5 | 3,5 | 3,0 | 2,8 | 2,6 |
| 7,0 | 7,0 | 5,3 | 4,0 | 3,5 | 3,1 | 2,9 |
| 8,0 | 8,0 | 6,0 | 4,5 | 3,8 | 3,8 | 3,2 |
| 9,0 | 9,0 | 6,5 | 5,0 | 4,2 | 3,9 | 3,5 |
| 10 | 10,0 | 7,2 | 5,5 | 4,7 | 4,1 | 3,7 |

Из этой таблицы видно, что при одновременной работе 3—4 резцов происходит существенное снижение коэффициента динамичности k , с дальнейшим увеличением числа резцов он уменьшается незначительно.

Максимальные значения суммарных сил резания при расчете прочности элементов струга могут быть найдены по формулам:

$$\left. \begin{aligned} X_{\max} &= P_x \left(\frac{k_x - 1}{\sqrt{n}} + 1 \right); \\ Y_{\max} &= P_y \left(\frac{k_y - 1}{\sqrt{n}} + 1 \right); \\ Z_{\max} &= P_z \left(\frac{k_z - 1}{\sqrt{n}} + 1 \right). \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

Пиковые значения усилий, определяемые формулой (28), действуют обычно кратковременно, и они преодолеваются частично за счет кинетической энергии, накопленной стругом. В связи с этим формулы (28) дают завышенное значение сил при определении силы тяги струга и опрокидывающего момента при расчете его на устойчивость. Это необходимо иметь в виду при расчете струга.

О действительном характере распределения суммарных сил резания по величине можно судить по кривым вероятности и плотности вероятности этих сил.

Построение таких кривых применительно к стругу агрега-

та А-2 при его работе на пласте g_2 Кальмиуском рассматривается ниже. Для этого необходимо лишь знать распределение усилия резания на одном резце.

Как известно, усилия на одиночном резце зависят от большого числа случайных и неслучайных факторов. Поэтому в данный момент величина нагрузки на резец может считаться случайной. При суммировании случайных величин, распределенных

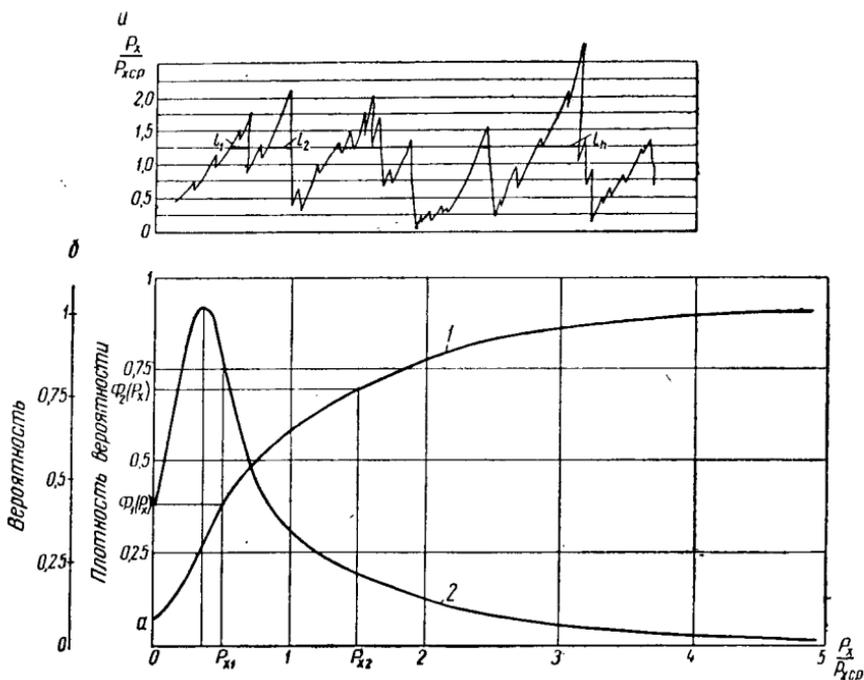


Рис. 90. Осциллограмма усилия резания P_x и кривые вероятности (1) и плотности вероятности (2) распределения усилия P_x на резце струга

по нормальному закону, их сумма распределяется по такому же закону.

Обработка осциллограмм усилий резания угля Подмосковного бассейна одиночным резцом (глубина реза 5÷10 мм) показывает, что распределение значений этого усилия мало отклоняется от нормального распределения (кривых Гаусса). С увеличением глубины реза растет коэффициент динамичности и отклонение кривых распределения усилия резания от кривой Гаусса. Это подтверждают кривые распределения усилий на одиночных резцах струга.

На рис. 90, а, б представлены соответственно образец осциллограммы усилия резания на резце струга и интегральная кривая 1 распределения этого усилия. Она построена по данным

обработки осциллограмм, записанным на пути движения струга в 200 м во время испытания агрегата А-2 на шахте «Ново-Моспино». Осциллограммы обрабатывались следующим образом. Вначале определялось среднее усилие резания P_x , затем на осциллограмме проводились горизонтальные линии с интервалом $0,25 P_{xcp}$. После этого определялись на каждой горизонтальной линии P_{xi} суммарная длина отрезков $l_i = l_1 + l_2 + \dots$, на которых усилие P_x было выше этой линии. Если длина осциллограммы l , то отношение $\frac{l_i}{l}$ показывает вероятность появления

усилия P_x больше P_{xi} . По данным вычислений отношений $\frac{l_i}{l}$ для всех горизонтальных линий была построена кривая 1 вероятности распределения усилия P_x на одиночном резце струга (рис. 90, б). Ордината 0 — a кривой характеризует вероятность появления усилия $P_x = 0$.

Путем графического дифференцирования кривой 1 (рис. 90, б) была получена кривая плотности вероятности 2. Как видно, эта кривая асимметрична, наибольшая плотность вероятности наблюдается при усилии, равном $\approx 0,4P_{xcp}$. Представленные на рис. 90, б кривые 1 и 2 позволяют определить вероятность появления усилия резания P_x в любых заданных пределах. Для того, чтобы определить вероятность $\Phi(P_x)$ усилия P_x в пределах $P_{x1} \leq P_x \leq P_{x2}$, достаточно замерить площадь под кривой 2 на участке $P_{x2} - P_{x1}$ или найти разность $\Phi(P_x) = \Phi_2(P_x) - \Phi_1(P_x)$ по кривой 1 на этом же участке.

Закон распределения усилия резания определяется условиями работы резца. При работе резцов, например, в одинаковых условиях распределение усилия резания происходит по одному и тому же закону. Поэтому задача определения кривой плотности вероятности распределения суммарных усилий резания на n резцах сводится к суммированию n случайных величин, распределенных по одному и тому же или разным законам.

На рис. 91, а представлены кривые 1, 2 и 3, показывающие плотность вероятности распределения суммарных усилий резания на 2, 4 и 8 резцах. Эти кривые построены на основании кривой плотности вероятности распределения усилия резания на одиночном резце струга агрегата А-2, в предположении, что резцы его работают в одинаковых условиях. При построении кривой 1 (рис. 91, а) кривая 2 (см. рис. 90, б) разбивалась вертикальными параллельными линиями с интервалом $0,25 P_{xcp}$. Для каждого интервала находилось среднее значение плотности вероятности и среднее для интервала усилие P_x . Затем определялись плотности вероятности при всех возможных сочетаниях интервалов и производилось суммирование плотностей вероятностей при одинаковых значениях суммарного усилия резания. По полученным данным была построена кривая плотности

вероятности для двух резцов (рис. 91, а). Площадь под этой кривой равна сумме вероятностей $\Phi(P_x)$ всех сочетаний интервалов, за исключением вероятностей $\Phi_1(P_x)$ появления на обоих резцах усилия $P_x = 0$, т. е.

$$\Phi(P_x) = 1 - \Phi_1(P_x) = 0,993.$$

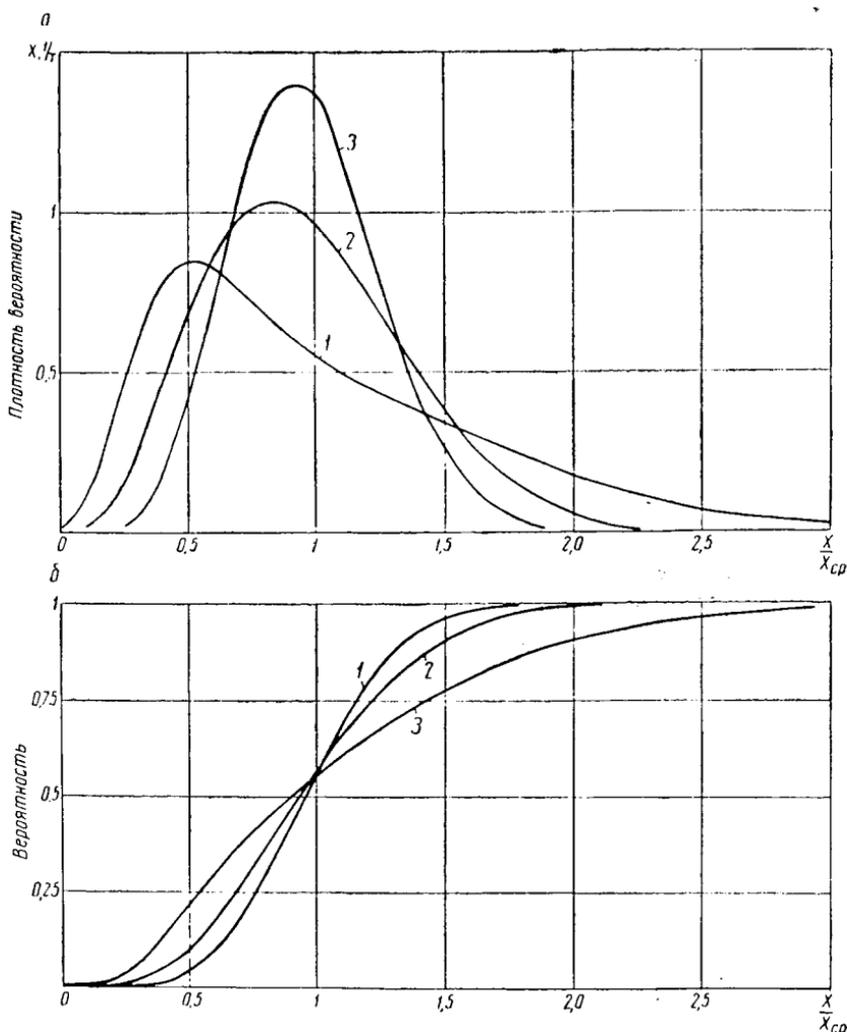


Рис. 91. Кривые плотности вероятности (а) и интегральные кривые (б) распределения суммарного усилия: кривая 1 — на двух резцах, 2 — на трех и 3 — на четырех резцах

Аналогичным образом были построены кривые плотности вероятности суммарных усилий резания при одновременной работе

4 и 8 резцов. При этом были использованы графики распределения усилий для 2 и 4 резцов. Подобным же образом можно построить кривые плотности вероятности для любого числа резцов n .

Графическое интегрирование кривых плотности вероятности позволяет получить кривые вероятности распределения суммарного усилия резания X . Такие кривые для 2, 4 и 8 одновременно работающих резцов струга приведены на рис. 91, б.

Представленные на рис. 91 кривые распределения суммарных усилий резания показывают, что они приближаются к кривым Гаусса при $n \geq 10$.

Таким образом, по осциллограммам усилия резания одиночного резца можно построить кривую распределения суммарных усилий резания для любого количества резцов углей с разными механическими свойствами. Эти кривые дают возможность сравнительно просто определить суммарные усилия резания, необходимые для расчета силы тяги и устойчивости струга, а равно и мощности его привода.

Пример № 1. Рассчитать среднее суммарное усилие резания X , Y и Z при работе струга типа УСБ на антрацитовом пласте h_6 Кашеевском, мощностью 0,85—1,0 м. Уголь пласта трещиноватый, хрупкий и содержит 3,5% летучих веществ. Разрушение угольного забоя стругом производится по схеме, представленной на рис. 92. Резец 9 для предварительного вруба работает в условиях блокированного резания, а остальные резцы — в условиях полублокированного резания. Струг снабжен резцами с углом резания $\alpha = 60^\circ$ и задним углом $\gamma = 10^\circ$. Длина главной режущей кромки средних резцов и резцов для опережающего вруба $b = 20$ мм, нижнего резца 50 мм и резцов предварительного вруба и верхнего по 30 мм. Глубина захвата стругом $h = 75$ мм.

Далее принимаем, что струг работает в зоне неотжатого угля, и схему разрушения им угольного забоя, представленную на рис. 92. Так как уголь рассматриваемого пласта относится к средней крепости, то значение коэффициента сопротивления резанию угля можно принять $a_0 = 165$ кг/см² (табл. 26 и 27). При расчете усилий резания на резцах струга воспользуемся формулами (23) — (27) и табл. 28—33.

Тогда, подставляя соответствующие значения в уравнения (23) — (27), найдем усилие резания на резце 4 струга (см. рис. 92)

$$P_{x0} = 165 \frac{90 \cdot 1 \cdot 0,53 \cdot 0,9 \cdot 1}{2 + 7,5 \cdot \text{tg } 52^\circ} = 610 \text{ кг};$$

$$F_{cp} = 7,5 \cdot 12 = 90 \text{ см}^2;$$

$$k_{0л} = \frac{\left(0,34 + 0,16 \frac{120}{75}\right) \frac{120}{75}}{0,2 + \frac{120}{75}} = 0,53;$$

$$P_y = 0,5 \cdot 610 = 305 \text{ кг};$$

$$P = 0,5 \cdot 610 = 305 \text{ кг}.$$

Аналогичным способом находим усилия резания на резцах 5, 6 и 7 струга (табл. 31).

В связи с тем, что для каждого в отдельности реза 1—3 и 8—9 струга трудно определить площадь сечения $F_{ср}$ реза (см. рис. 92), то при определении усилия резания этими резами пользуемся формулой

$$P_{x0} = a_0 h k_{от} k_{бл} k_a k_b,$$

которая получена на основе равенства (19) и сказанного относительно влияния на усилие резания отжима угла, степени блокировки резания угла резания и ширины главной режущей кромки.

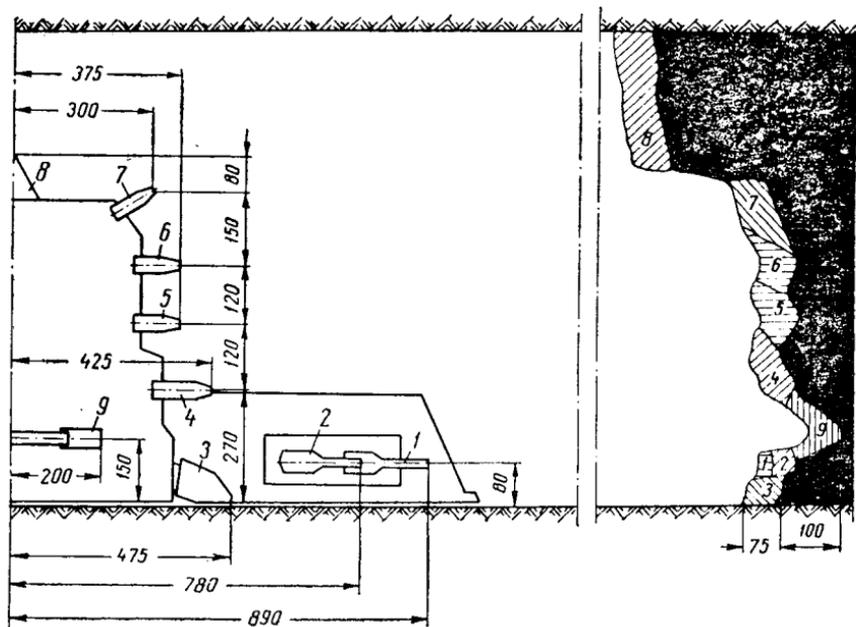


Рис. 92. Схема разрушения угольного забоя стругом типа УСБ

Подставляя в это равенство соответствующие значения, найдем усилия резания на указанных выше резах (табл. 36). Средние суммарные силы резания составляют $X = 6225$, $Y = 3280$ и $Z = 720$ кг.

Таблица 36

| № реза | Значения глубины реза, площади сечения реза и коэффициентов | | | | | | | | Значения сил резания, кг | | |
|--------|---|----------------------------|----------|----------|-------|-------|-------------|-------------|--------------------------|----------|----------|
| | h , см | $F_{ср}$, см ² | $k_{от}$ | $k_{бл}$ | k_a | k_b | λ_0 | λ_1 | P_{x0} | P_{yc} | P_{z0} |
| 1 | 2,5 | — | 1 | 0,77 | 0,9 | 1 | 0,5 | 0,5 | 285 | 142 | -142 |
| 2 | 5,0 | — | 1 | 0,5 | 0,9 | 1 | 0,5 | 0,5 | 370 | 185 | -185 |
| 3 | 7,5 | — | 1 | 0,43 | 0,9 | 1,72 | 0,7 | 0,7 | 825 | 580 | -580 |
| 4 | 7,5 | 90 | 1 | 0,53 | 0,9 | 1 | 0,5 | 0,5 | 610 | 305 | +305 |
| 5 | 7,5 | 90 | 1 | 0,53 | 0,9 | 1 | 0,5 | 0,5 | 610 | 305 | +305 |
| 6 | 7,5 | 90 | 1 | 0,53 | 0,9 | 1 | 0,5 | 0,5 | 610 | 305 | +305 |
| 7 | 7,5 | 105 | 1 | 0,576 | 0,9 | 1 | 0,5 | 0,5 | 775 | 388 | +388 |
| 8 | 7,5 | — | 1 | 0,435 | 0,9 | 1,34 | 0,5 | 0,5 | 650 | 325 | +325 |
| 9 | 7,5 | — | 1 | 1 | 0,9 | 1,34 | 0,5 | 0 | 1490 | 745 | 0 |

Определим теперь максимальные значения суммарных сил резания X_{\max} , Y_{\max} и Z_{\max} по формулам (28) и табл. 35. В расчете примем максимальные значения коэффициентов динамичности при работе одного резца $k_x = 8$, $k_y = 10$ и $k_z = 10$. Более высокие коэффициенты встречаются, как показывают опыты (см. рис. 88), в незначительном числе случаев и в практических расчетах их можно не принимать во внимание.

$$X_{\max} = 6225 \left(\frac{8-1}{\sqrt{9}} + 1 \right) = 20\,700 \text{ кг};$$

$$Y_{\max} = 3280 \left(\frac{10-1}{\sqrt{9}} + 1 \right) = 13\,100 \text{ кг};$$

$$Z_{\max} = 720 \left(\frac{10-1}{\sqrt{9}} + 1 \right) = 2880 \text{ кг}.$$

Значения этих сил являются, таким образом, пиковыми и действуют кратковременно. Они погашаются частично за счет кинетической энергии самого струга.

Глава VII

РАСЧЕТ СИЛЫ ТЯГИ И УСТОЙЧИВОСТИ СТРУГОВ

24. Расчет силы тяги струга с опорами на конвейер

Струг при своем движении вдоль линии забоя преодолевает полезные и вредные сопротивления (рис. 93). К полезным сопротивлениям относятся силы резания и усилия, затрачиваемые на погрузку угля, а к вредным — силы трения струга о направляющие конвейера, нерабочих резцов о забой и др. Вредные сопротивления обусловлены весом струга, эксцентричным приложением сил резания и навалки угля на конвейер относительно силы тяги струга, разными направлениями действия этих сил и т. д. Тогда уравнение силы тяги струга может быть записано в таком виде:

$$T = X + N_x + T_0 + F_1 + F_2 + F_3 + F_4, \quad (29)$$

где X — суммарная составляющая сил P_x на резцах струга;

N_x — составляющая сила, возникающая при навалке угля стругом на конвейер;

T_0 — сопротивление перемещению холостой ветви тягового органа;

F_1 , F_2 и F_3 — силы трения в опорах струга;

F_4 — дополнительные сопротивления движению струга, вызванные трением каретки о копирную линейку, и т. д.

Значение X в уравнении (29) определяется исходя из усилий P_x на отдельных резцах, как было показано в п. 23.

Сила N_x в этом уравнении может быть найдена приближенно либо по данным экспериментальных наблюдений, либо расчетным путем на основе следующих соображений.

Корпус струга можно рассматривать как отвальный лемех, имеющий несколько погрузочных поверхностей, расположенных под разными углами. Однако в связи с разрушением угля нижними резцами работа струга по погрузке угля отличается от работы обычных отвальных грузчиков. Опыт показывает, что при

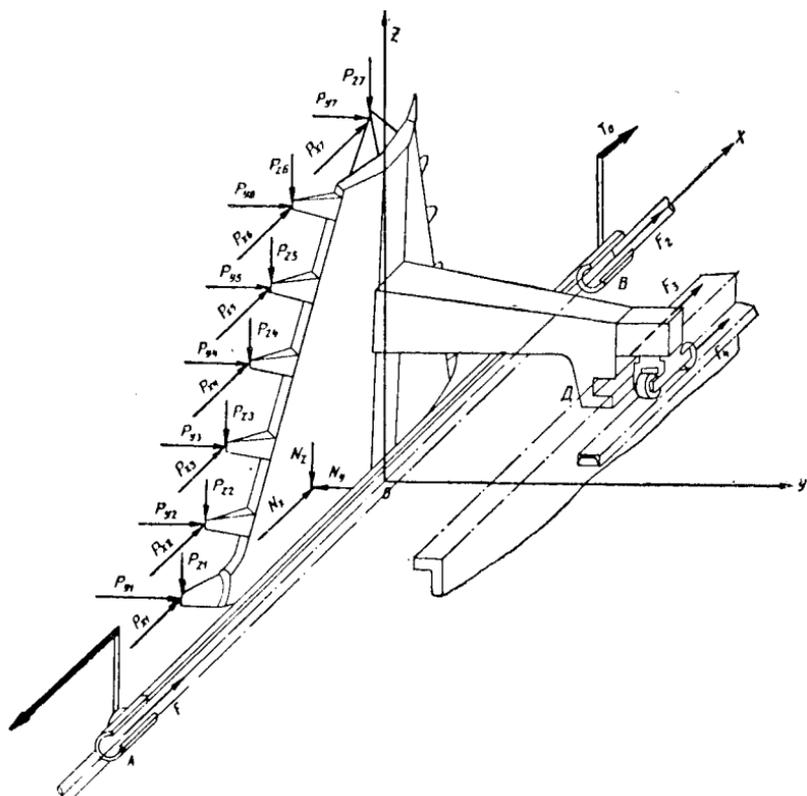


Рис. 93. Схема действующих сил на струг с опорами на конвейер

рабочем ходе струг перемещает впереди себя штабель угля, в результате чего нижние резцы всегда засыпаны углем. Для того чтобы эти резцы могли разрушать массив пласта, они должны посредством отделяемых ими элементов угля раздвигать окружающий их штабель и таким образом способствовать навалке угля на конвейер.

Высота перемещаемого штабеля определяется высотой погрузки H_1 угля, углом естественного откоса φ_0 и расстоянием конвейера от забоя b_0 (рис. 94).

$$H_{ш} = H_1 + b_0 \operatorname{tg} \varphi_0.$$

Уголь, отбитый от массива пласта резцами выше штабеля, скатывается по его поверхности на конвейер под действием силы тяжести. Уголь, отделяемый в зоне I штабеля, принудительно

сдвигается на конвейер, а в зоне II, кроме того, он поднимается до уровня погрузки. По данным английских исследователей [27], усилие N составляет 10—15% от общей силы тяги струга. Значение этого усилия зависит от глубины реза, расстояния между конвейером и забоем, высоты конвейера и т. д.

Сила T_0 обусловлена трением холостой ветви тягового органа о конвейер, струг, уголь или направляющую трубу и заштыбовкой этой ветви. Без учета заштыбовки

$$T_0 = \mu_0 q_0 l_0,$$

где μ_0 — коэффициент трения холостой ветви о конвейер и уголь;

q_0 — вес 1 пог. м тягового органа струга;

l_0 — длина холостой ветви тягового органа, м.

Определим теперь силы трения в опорах струга. Для этого воспользуемся схемой, представленной на рис. 95. Отсюда находим:

$$F_1 = \mu \sqrt{R_{z1}^2 + R_{y1}^2};$$

$$F_2 = \mu \sqrt{R_{z2}^2 + R_{y2}^2}; \quad (30)$$

$$F_3 = \mu_1 R;$$

$$F_4 = \mu_2 R_0,$$

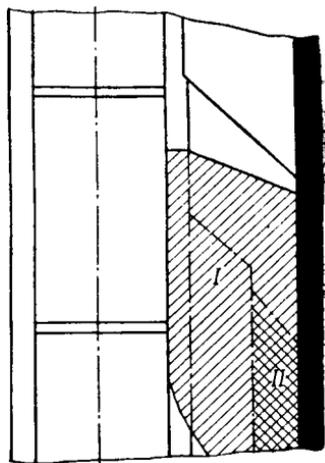
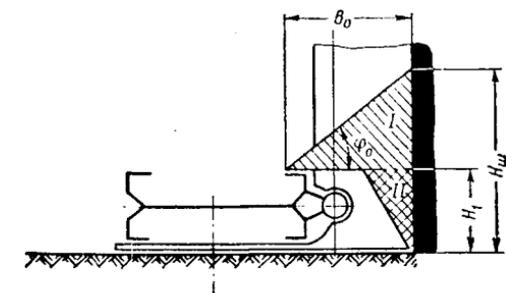


Рис. 94. Схема навалки угля стругом на конвейер

где μ и μ_1 — коэффициенты трения опор струга о направляющие конвейера;

μ_2 — коэффициент трения каретки струга о копирную линейку.

В этих уравнениях R_z , R_y и R означают реакции в опорах А, В и Д струга, а R_0 — давление каретки на копирные линейки (см. рис. 93 и 95).

Реакция R в опоре Д вызывается силами резания Y , Z и весом струга. В зависимости от их значения, направления и расположения она может быть направлена к кровле или к почве.

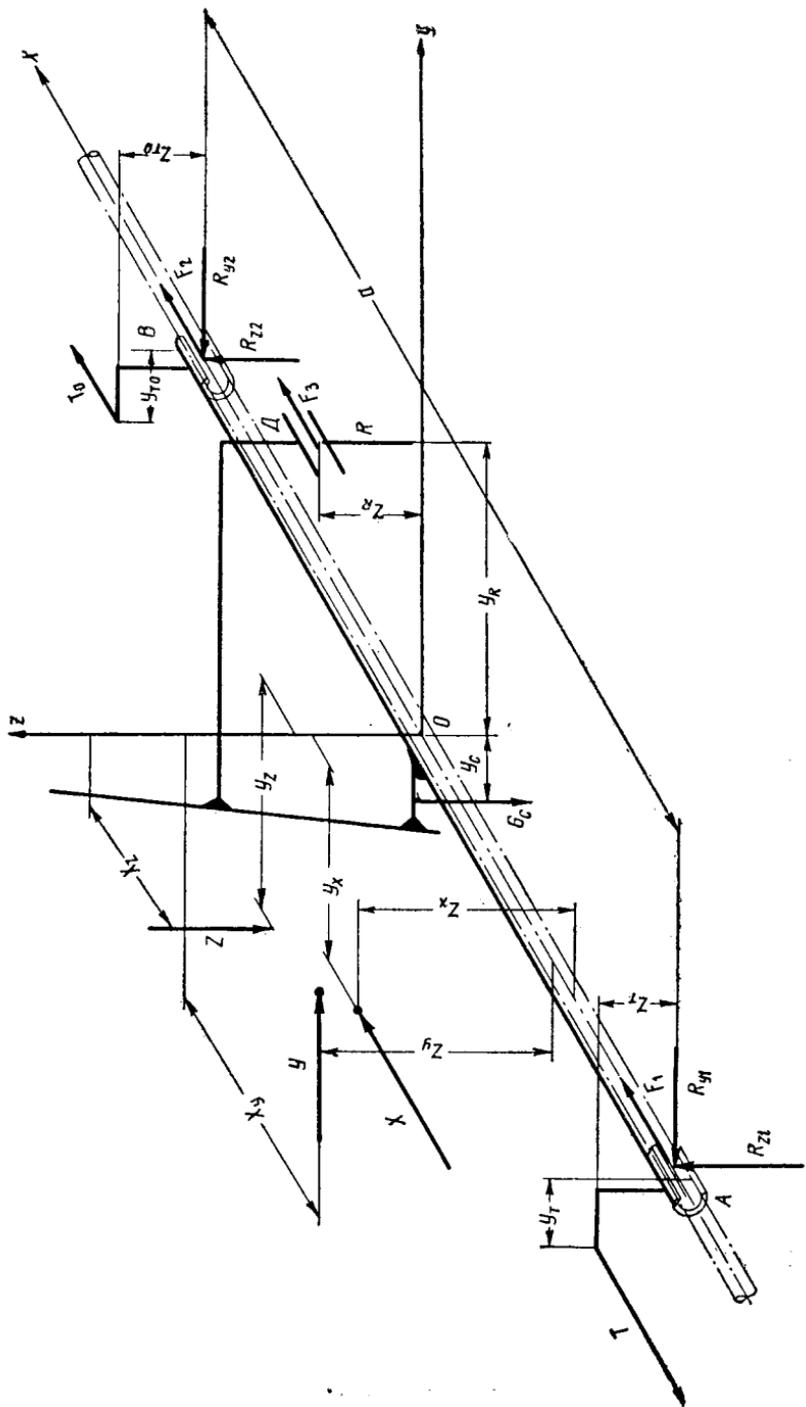


Рис. 95. Расчетная схема действующих сил на струг с опорами на конвейер

Реакции в опорах A и B возникают в результате действия сил X , Y , Z , веса струга и усилий T и T_0 и имеют различное направление; поэтому они представлены в виде составляющих R_{y1} , R_{y2} , R_{z1} и R_{z2} , направленных по осям y и z . Реакции R_{y1} и R_{y2} препятствуют нарушению устойчивости струга в плоскости пласта, а R_{z1} и R_{z2} — в плоскости zox . У современных многолезцовых стругов R_{y2} может быть направлена только в сторону забоя, так как точка приложения силы Y расположена между опорами A и B , а сила X не может стать отрицательной. R_{y1} , R_{z1} и R_{z2} могут менять знаки.

Реакции в опорах могут быть найдены из условия равновесия струга. В целях упрощения расчета примем, что, во-первых, усилия в рабочей и холостой ветвях тягового органа действуют по одной прямой, совпадающей с направлением вектора скорости струга, во-вторых, угол падения пласта равен нулю и, в-третьих, опускаем силу N_x , обусловленную навалкой угля стругом на конвейер, эта сила может быть учтена дополнительно по опытным данным. Тогда, принимая во внимание расчетную схему струга (см. рис. 95), можно написать следующие уравнения равновесия струга:

$$\Sigma Z = R_{z1} + R_{z2} - G_c - Z + R = 0;$$

$$\Sigma Y = Y - R_{y1} - R_{y2}; = 0$$

$$\Sigma M_z = Xy_x - Yx_y + T_0y_{T0} - Ty_T + (R_{y1} - R_{y2}) \frac{a}{2} - F_3y_R = 0;$$

$$\Sigma M_y = -Zx_z + Xz_x + T_0z_{T0} - Tz_T + (R_{z1} - R_{z2}) \frac{a}{2} - F_3z_R = 0;$$

$$\Sigma M_x = Yz_y - G_cy_c - Zy_z - Ry_R = 0.$$

Выразим усилия Y и Z через X , т. е.

$$Y = \lambda_0 X;$$

$$Z = \lambda_1 X,$$

где λ_0 и λ_1 — коэффициенты, зависящие от условий работы струговых резцов и их геометрии.

Решая совместно написанные выше уравнения, найдем реакции в опорах струга:

$$R_{y1} = \frac{XB - Ty_T + T_0y_{T0} - A}{a}; \quad (31)$$

$$R_{y2} = \frac{X(\lambda_0 a - B) + Ty_T - T_0y_{T0} - A}{a}; \quad (32)$$

$$R_{z1} = \frac{XB_1 + Tz_T - T_0z_{T0} + A_1}{a}; \quad (33)$$

$$R_{z2} = \frac{XB_2 - Tz_T + T_0z_{T0} + A_2}{a}; \quad (34)$$

$$R = XC + \xi, \quad (35)$$

В этих уравнениях обозначено:

$$B = -y_x + \lambda_0 x_y + \lambda_0 \mu z_y - \lambda_1 \mu y_z + \frac{\lambda_0 a}{2}; \quad (36)$$

$$B_1 = \lambda_1 x_z - z_x + \frac{\lambda_1 a}{2} + (\lambda_1 y_z - \lambda_0 z_y) \left(\frac{a}{2y_R} + \frac{\mu z_R}{y_R} \right); \quad (37)$$

$$B_2 = \frac{\lambda_1 a}{2} - \lambda_1 x_z + z_x + (\lambda_1 y_z - \lambda_0 z_y) \left(\frac{a}{2y_R} - \frac{\mu z_R}{y_R} \right); \quad (38)$$

$$C = \frac{\lambda_0 z_y - \lambda_1 y_z}{y_R}; \quad \xi = \frac{G_c y_c}{y_R}; \quad A = \mu G_c y_c; \quad (39)$$

$$A_1 = \frac{G_c a}{2} \left(1 + \frac{y_c}{y_R} \right) + \frac{\mu G_c y_c z_R}{y_R}; \quad (40)$$

$$A_2 = \frac{G_c a}{2} \left(1 + \frac{y_c}{y_R} \right) - \frac{\mu G_c y_c z_R}{y_R}. \quad (41)$$

В уравнениях (40) и (41) второй член правой части мал по сравнению с первым членом, поэтому им можно пренебречь. Тогда уравнения (40) и (41) можно написать в таком виде:

$$A_1 = A_2 = \frac{G_c a}{2} \left(1 + \frac{y_c}{y_R} \right). \quad (42)$$

Равенство (30) показывает, что в уравнение силы тяги струга (29) входят реакции в опорах под знаком корня. При решении задачи воспользуемся приближенными формулами

$$\sqrt{a^2 + b^2} \cong 0,960 |a| + 0,398 |b|, \quad (43)$$

если

$$a > b$$

или

$$\sqrt{a^2 + b^2} \cong 0,8 (|a| + |b|). \quad (44)$$

Формула (43) дает погрешность не выше 4%, а формула (44) — 14%. При пользовании формулой (43) требуется делать сравнительную оценку величин R_{y1} и R_{z1} , R_{y2} и R_{z2} . При этом следует помнить, что a и b в формулах (43) и (44) должны суммироваться по абсолютной величине.

Если реакции R_{z1} , R_{y1} , R_{z2} и R_{y2} положительны, то, воспользовавшись приближенной формулой (44), найдем

$$T \cong X + 0,8 \mu (Y + Z + G_c) + R (\mu_1 - 0,8 \mu) + T_0,$$

где

$$R = \frac{-G_c y_c + Y z_y - Z y_z}{y_R}.$$

Это уравнение показывает, что тяговое усилие не зависит от расстояния между опорами струга a .

В случае направления реакций R_{y1} и R_{y2} ; R_{z1} и R_{z2} : противоположно друг другу сила тяги струга будет больше и зависит от a . Следовательно, при создании струга с тремя опорами на конвейер надо стремиться, чтобы реакции R_{y1} , R_{y2} и R_{z1} , R_{z2} были всегда положительны.

Пример № 2. Рассчитать силу тяги струга с опорами на конвейер. В расчете значения суммарных сил резания принимаем из примера № 1. Остальные исходные данные принимаем по следующей таблице:

| Величина в метрах | | | | | | | | | | G_c , кг | g_0 , кг/м | μ , μ_1 | μ_0 |
|-------------------|------------|-------|-------|-----|-------|--------------------|--------------------|-------|------|---------------|-----------------|-----------------|---------|
| z_x, z_y | x_y, y_z | x_z | y_x | a | y_R | z_R, z_T, z_{T0} | y_T, y_{T0}, y_C | l_0 | | | | | |
| 0,2 | 0,3 | 0,13 | 0,4 | 2,0 | 0,5 | 0,15 | 0 | 100 | 1600 | 12 | 0,3 | 0,4 | |

Значения коэффициентов λ_0 и λ_1 суммарных сил резания определяем из выражений:

$$\lambda_0 = \frac{Y}{X} = \frac{3280}{6225} = 0,527; \quad \lambda_1 = \frac{Z}{X} = \frac{720}{6225} = 0,116.$$

По формулам (36) — (40) и (42) находим коэффициенты B , B_1 , B_2 и C , а также значения A , A_1 , A_2 и ξ :

$$B = -0,4 + 0,527 \cdot 0,3 + 0,527 \cdot 0,3 \cdot 0,2 - 0,116 \cdot 0,3 \cdot 0,3 + \frac{0,527 \cdot 2}{2} = 0,307;$$

$$B_1 = 0,116 \cdot 0,13 - 0,2 + \frac{0,116 \cdot 2}{2} + (0,116 \cdot 0,3 - 0,527 \cdot 0,2) \cdot \left(\frac{2}{0,2 \cdot 0,5} + \frac{0,3 \cdot 0,15}{0,5} \right) = -0,21;$$

$$B_2 = \frac{0,116 \cdot 2}{2} - 0,116 \cdot 0,13 + 0,2 + (0,116 \cdot 0,3 - 0,527 \cdot 0,2) \left(\frac{2}{2 \cdot 0,5} - \frac{0,3 \cdot 0,15}{0,5} \right) = 0,166;$$

$$C = \frac{0,527 \cdot 0,2 - 0,116 \cdot 0,3}{0,5} = 0,14; \quad \xi = 0; \quad A = 0;$$

$$A_1 = A_2 = \frac{1600 \cdot 2}{2} = 1600 \text{ кг}.$$

Далее определяем усилие в холостой ветви тяговой цепи струга по формуле

$$T_0 = \mu_0 g_0 l_0 = 0,4 \cdot 12 \cdot 100 = 480 \text{ кг}.$$

Находим реакции в опорах струга по формулам (31) — (35)

$$R_{y1} = \frac{6225 \cdot 0,307}{2} = 955 \text{ кг};$$

$$R_{y2} = \frac{6225 (0,527 \cdot 2 - 0,307)}{2} = 2325 \text{ кг};$$

$$R_{z1} = \frac{6225(-0,210) + 0,15 T - 0,15 \cdot 480 + 1600}{2} = 114 + 0,075 T, \text{ кг}$$

$$R_{22} = \frac{6225 \cdot 0,166 - 0,15 T + 0,15 \cdot 480 + 1600}{2} = 1350 - 0,075 T, \text{ кг};$$

$$R = 5225 \cdot 0,14 = 870 \text{ кг}.$$

Воспользовавшись формулами (30) и (43), определим силы трения в опорах струга

$$\begin{aligned} F_1 &= 0,3 \sqrt{955^2 + (114 + 0,075 T)^2} = \\ &= 0,3 [0,96 \cdot 955 + 0,398 (114 + 0,075 T)] = 288 - 0,009 T \text{ кг}; \\ F_2 &= 0,3 \sqrt{2325^2 + (1350 - 0,075 T)^2} = \\ &= 0,3 [0,96 \cdot 2325 + 0,398 (1350 - 0,075 T)] = 830 - 0,009 T, \text{ кг}; \\ F_3 &= 0,3 \cdot 870 = 251 \text{ кг}. \end{aligned}$$

По формуле (29) найдем усилие в рабочей ветви тяговой цепи струга

$$T = 6225 + 288 + 0,009 T + 830 - 0,009 T + 261 + 480 = 8085 \text{ кг}.$$

Опыт работы струга агрегата А-2 показывает, что действительная сила тяги значительно превышает расчетные значения. Это объясняется тем, что в расчете не учитываются силы трения в направляющих, возникающих при выпрямлении конвейера стругом, усилия погрузки угля, сопротивления от заштыбовки струга и т. п.

Рассмотрим случай работы струга, когда при его движении происходит выпрямление конвейера, лежащего на неровной почве.

Если обозначим через Δ зазор между направляющими конвейера и струга, S_1 — длину направляющей опоры струга и φ — суммарный угол перегиба двух соседних секций конвейера (рис. 96), то выпрямление последнего стругом будет происходить при условии

$$\varphi > \arctg \frac{\Delta}{S_1}.$$

Струг, дойдя до точки O_1 соединения секций конвейера (место перегиба), стремится выпрямить его своей опорой А. Так как соединение O_2 не может опуститься ниже (оно лежит на почве), то начнет вверх подниматься соединение O_1 . Это соединение поднимается на максимальную высоту в момент прохождения его опорой А струга. Затем по мере перемещения струга конвейер будет постепенно опускаться. Причем под поднятые секции может попасть штыб, и они могут не опуститься до прежнего положения. Тогда выпрямление конвейера стругом приведет к подъему струга вместе с конвейером к кровле.

Когда опора А струга подойдет ко второму соединению O_2 , то при угле перегиба в этом соединении $\varphi_1 > \arctg \frac{\Delta}{S_1}$ она начнет поднимать секции 4 и 5 (рис. 96, в).

На поднимаемые секции конвейера действуют их вес, усилия в соединениях секций, силы со стороны струга R'_{21} , R''_{22} и R . Если

опора B находится на поднимаемой секции, то действует также реакция R_{z2} . В зависимости от положения опор A и B , соотношения длины секций конвейера l и базы струга a могут иметь место различные случаи системы сил, действующих на струг и конвейер.

Пусть струг имеет базу $a > l$ и занимает положение, когда

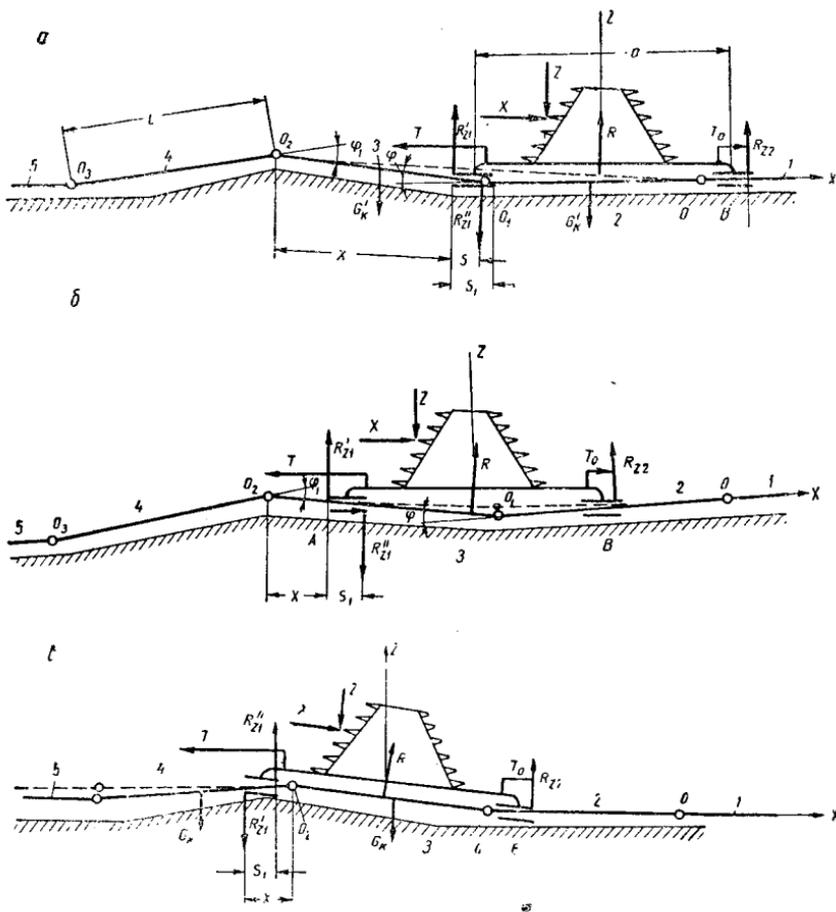


Рис. 96. Схема сил, действующих на струг при выпрямлении конвейера

его опора A проходит или прошла соединение O_1 (рис. 96, a). Опора B находится на секции I ; реакция этой опоры R_{z2} на поднимаемую секцию 2 не действует. В этом случае уравнения моментов сил, действующих на секции 2 и 3 конвейера (рис. 96, a), имеют вид:

$$\Sigma M_{01} = G'_k \cdot 0,5 l - P_c l + R'_{z1} \left(2l - x - \frac{a + S_1}{2} \right) = 0; \quad (45)$$

$$\Sigma M_{02} = G'_k \cdot 0,5 l + P_c l + R'_{z1} x - R''_{z1} (x + S) = 0; \quad (46)$$

а уравнения сил, действующих на струг (рис. 95 и 96, а) в виде:

$$\Sigma X = X + F_1 + F_2 + F_3 + T_0 - T = 0; \quad (47)$$

$$\Sigma Z = R'_{z1} + R_{z2} - R''_{z1} + R - Z - G_c = 0; \quad (48)$$

$$\Sigma M_y = Zx_z - Xz_x - R_{z1}z_R + R_{z2} \frac{a+S_1}{2} + R'_{z1} \left(\frac{a+S_1}{2} - S \right) - R'_{z1} \frac{a+S_1}{2} + Tz_T - T_0z_{T0} = 0. \quad (49)$$

В уравнениях (45), (46) через P_c обозначена сила, действующая в соединении O_1 секций, если отбросить соседнюю секцию конвейера.

Решая совместно равенства (45) — (49), можно найти силу тяги струга при подъеме им конвейера. При ее определении по уравнению (47) реакции R''_{y1} , R_{y2} и R определяются по формулам (31), (32) и (35).

Если опора B струга находится на поднимаемой секции 2 (рис. 96, б), то в уравнении (45) необходимо учесть момент от реакции R_{z2} .

Наиболее неблагоприятным для работы струга является случай, когда его опора A проходит или прошла соединение O_2 . При таком положении опоры A направление реакций R'_{z1} и R''_{z1} меняется на обратное и струг поднимает секции 4 и 5 конвейера (рис. 96, в). Тогда уравнение моментов сил, действующих на секцию 4 относительно соединения O_2 , будет

$$\Sigma M_{O_2} = G'_k l - R'_{z1} X + R''_{z1} (x - S_1) = 0. \quad (50)$$

Решая совместно уравнения (31), (32), (35), (47) — (49) и (50), найдем силу тяги струга.

Пример № 3. Рассчитать силу тяги струга с опорами на конвейер при подъеме стругом секций 4 и 5 конвейера (см. рис. 96). Исходные данные принимаем такие же, как и в примере № 2. Кроме того, принимаем длину секции конвейера $l = 2,2$ м, ее вес $G'_k = 1200$ кг, длину направляющего вкладыша опоры (см. рис. 96) $S_1 = 0,2$ м и расстояние x между опорой A струга и соединением секций конвейера O_2 равным 0,3 м.

При совместном решении уравнений (48) — (50):

$$\Sigma Z = -R'_{z1} + R_{z2} + R''_{z1} + 870 - 720 - 1600 = 0;$$

$$\Sigma M_y = 720 \cdot 0,13 - 6225 \cdot 0,2 - 870 \cdot 0,3 \cdot 0,15 + R_{z2} \frac{2+0,2}{2} - R''_{z1} \left(\frac{2+0,2}{2} - 0,2 \right) + R'_{z1} \frac{2+0,2}{2} + T \cdot 0,15 - 480 \cdot 0,15 = 0;$$

$$\Sigma M_{O_2} = 1200 \cdot 2,2 - R'_{z1} \cdot 0,3 + R''_{z1} (0,3 - 0,2) = 0.$$

Находим реакции в опорах струга:

$$R'_{z1} = 14\,000 + 0,04 T; \quad R''_{z1} = 15\,600 \text{ кг} + 0,12 T;$$

$$R_{z2} = -150 - 0,08 T.$$

Воспользовавшись формулами (30), (44) и (47) определяем силы трения в опорах и силу тяги струга:

$$F_1 = 0,3 (14\,000 + 0,04 T + 15\,600 + 0,12 T) = 8\,880 + 0,048 T, \text{ кг};$$

$$F_2 = 0,3 \sqrt{(-150 - 0,08 T)^2 + 2325^2} =$$

$$= 0,3 \cdot 0,8 (150 + 0,08 T + 2325) = 597 + 0,019 T, \text{ кг};$$

$$T = 6\,225 + 8\,880 + 0,048 T + 597 + 0,019 T + 261 + 480 = 16\,440 + 0,067 T;$$

$$\text{Откуда } T = \frac{16\,440}{0,933} = 17\,620 \text{ кг}.$$

При этом значения R_{y2} , F_3 и T_0 взяты из примера № 2, а реакция R_{y1} ввиду ее малости по сравнению с силами R'_{z1} и R''_{z1} и трудности ее учета не принята во внимание.

Из примеров № 2 и 3 видно, что при выпрямлении конвейера стругом сила его тяги сильно возрастает. Наблюдавшиеся постоянные выпрямления конвейера в значительной мере объясняют большие тяговые усилия, имевшие место во время промысленных испытаний струга агрегата А-2 на шахте «Ново-Моспино», несмотря на небольшие усилия резания. Выпрямление конвейера происходило вследствие малого зазора между опорами струга и направляющей трубой. По техническим условиям зазор составлял 3 мм на диаметр направляющей трубы. При таком зазоре уже при перегибе секций конвейера на угол $\varphi \geq 1^\circ$ должно происходить его выпрямление. Фактические же углы перегиба в вертикальной плоскости редко были менее 1° и достигали 4—5°. В верхней части лавы, где наблюдались максимальные углы перегиба, струг часто заклинивался в направляющих.

Это показывает, что при работе струга не должно происходить выпрямления конвейера стругом. Для этого необходимо предусматривать в направляющих достаточно большие зазоры или конструировать опоры струга с поворотными вкладышами.

На рис. 97 приведены осциллограммы с записью усилий в рабочей ветви цепи струга агрегата А-2. Как видно, во время холостого хода тяговое усилие струга изменялось по пилообразной кривой (рис. 97, а). Такой характер его изменения вызывался в основном кинематикой зацепления тяговой цепи с приводной звездочкой. Амплитуда колебаний тягового усилия зависела от сопротивлений перемещению струга и составляла 1—4 т. В момент разгона струга тяговое усилие увеличивалось от динамических нагрузок. Средние значения тяговых усилий при холостом ходе струга составляли 4—8 т.

При работе струга в зоне неотжатого угля тяговое усилие изменялось в значительных пределах (рис. 97, б). Амплитуда колебаний и их частота были неодинаковы на разных участках лавы и зависели от крепости угля, длины рабочей ветви цепи и других обстоятельств. На участках лавы, где наблюдалось возрастание усилий на резах, тяговые усилия, среднее и макси-

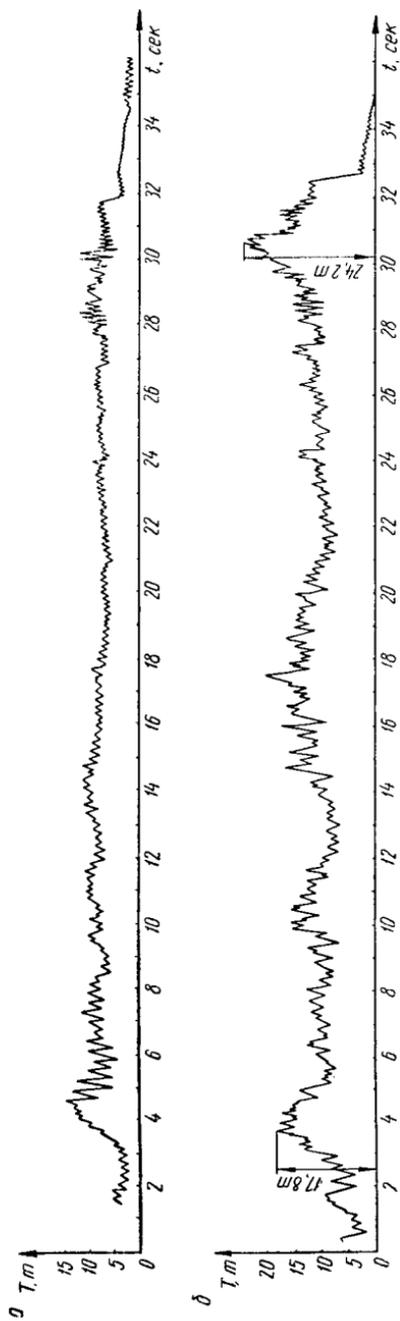


Рис. 97. Осциллограммы силы тяги при рабочем (а) и холостом (б) ходе струга агрегата А-2

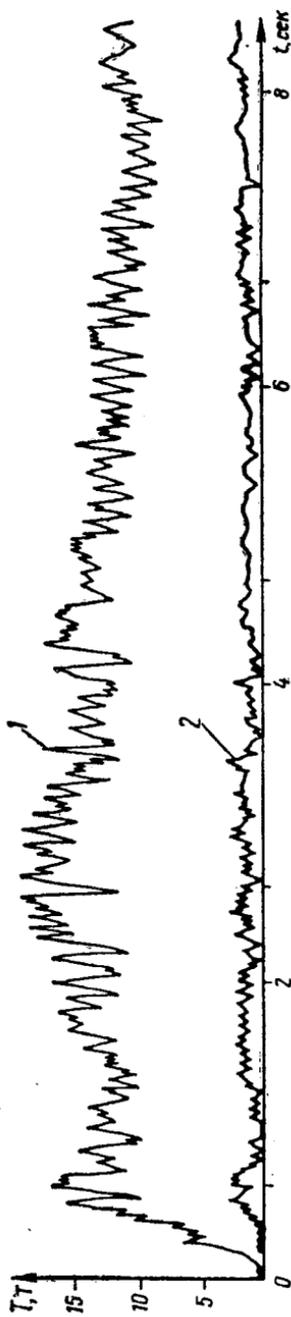


Рис. 98. Осциллограммы силы тяги на холостой (1) и рабочей (2) ветвях тяговой цепи струга «Вестфалия-Люнен» при его работе на шахте № 27 треста Снежинантрацит

мальное, также увеличивались. Кроме того, в начале рабочего хода струга, когда длина цепи была максимальной, а ее жесткость минимальной, пределы колебаний тягового усилия были больше и по мере движения струга уменьшались. Средние значения тяговых усилий, зафиксированные во время работы струга агрегата А-2 с захватом 100 мм, составляли 11—12 т, максимальные — достигали 25—26 т и в момент удара струга о буфера, когда не срабатывал концевой выключатель, были зарегистрированы усилия в 32 ÷ 33 т.

При работе струга с предварительным врубом (см. рис. 51, в) значения усилий в тяговой цепи были на 10—15% ниже, чем в случае разрушения угольного забоя без предварительного вруба (см. рис. 51, б).

На рис. 98 в качестве иллюстрации приведена осциллограмма с записью силы тяги в рабочей и холостой ветвях струга «Вестфалия-Люнен» при его испытаниях на шахте № 27 треста Снежнянантрацит. Как видно, характер изменения силы тяги такой же, как и у струга агрегата А-2 (см. рис. 97). Усилие в холостой ветви струга «Вестфалия-Люнен» изменялось в пределах 0 ÷ 2,0 т.

25. Расчет силы тяги струга с опорами на почву и конвейер

При определении силы тяги струга, опирающегося на почву и конвейер, воспользуемся упрощенной схемой действующих на него сил (рис. 99). На этой схеме силы резания на отдельных резцах заменены их равнодействующими (X , Y и Z , а усилия для погрузки угля на конвейер не показаны, так как в расчете они не учитываются).

У таких стругов реакции в опорах A и B расположены в плоскости пласта. При наличии направляющей трубы они являются реакциями конвейера и не отличаются по своей природе возникновения и направлению от реактивных сил R_{y1} и R_{y2} (см. рис. 95).

При отсутствии направляющей трубы сила R_{y1} , действующая в опоре A (см. рис. 99), является реакцией забоя, если направлена в сторону выработанного пространства, и реакцией конвейера, если направлена в сторону забоя. При изменении ее направления будет изменяться по величине и местоположению сила трения F_1 в опоре A .

С достаточной для практики точностью можно считать, что реакции R_{y1} и R_{y2} приложены посередине опорных поверхностей. У стругов, не имеющих специальных площадок для опирания на конвейер, при расчете можно их располагать по концам корпуса струга.

Реакция почвы $R_{\text{п}}$ приложена к опорному хвостовику струга. Точку ее приложения не всегда удается определить по конструк-

тивными соображениям. Можно лишь утверждать, что она лежит внутри внешнего контура опорного хвостовика.

Эта реакция зависит от величины и расположения сил резания, веса струга и секций конвейера, а также места подвески тягового органа. Она наряду с силой веса конвейера препятствует опрокидыванию струга в сторону завала и его уходу в кровлю или почву.

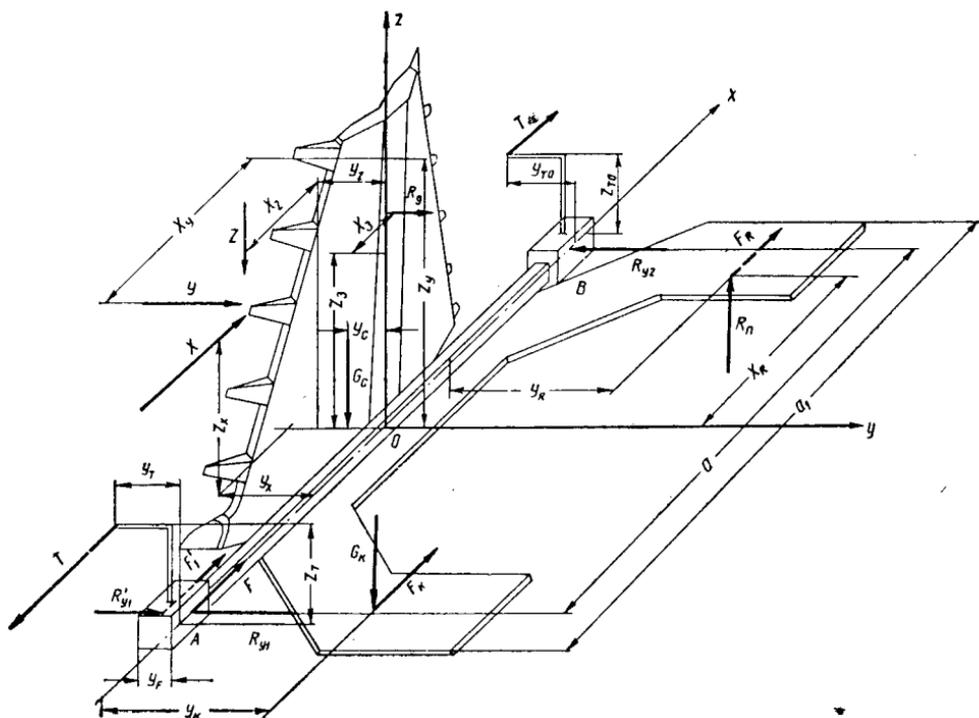


Рис. 99. Расчетная схема сил, действующих на струг с опорами на почву и конвейер

Сила веса конвейера G_k (см. рис. 99) действует на хвостовик вследствие того, что на него постоянно опираются секции конвейера.

Примем, что при нормальной работе струга сила G_k приложена по оси y в центре тяжести конвейера, а при опрокидывании струга в сторону выработанного пространства — к кромке конвейера. Эта сила определяется числом приподнимаемых секций n_1 и весом одной секции G'_k

$$G_k = (n_1 - 1) G'_k.$$

Количество приподнимаемых секций зависит от размера кронштейна a и длины секции l . Если $a < l$, то приподнимаются 2—3 секции; если $a \geq l$, то 3—4 секции.

В некоторых конструкциях стругов неработающие резцы трутся о забой, в результате чего на них действуют реакции забоя, величины которых зависят от сил резания X и Y , гибкости конвейера в плоскости пласта, типа домкратов для передвижки конвейера и расстояния между ними, размеров струга и конструкции его опор и т. д. Многие из этих факторов не поддаются

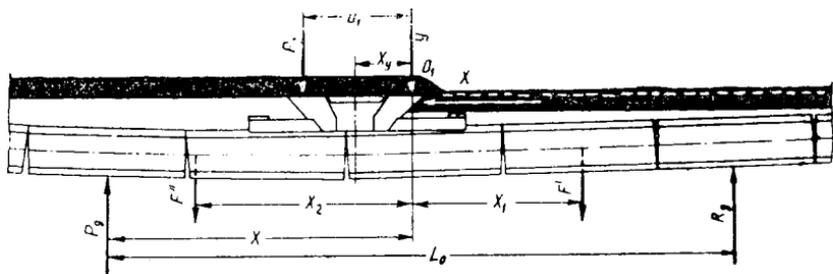


Рис. 100. Схема к расчету реакции забоя на неработающие резцы струга

точному учету при определении реакции забоя на неработающие резцы струга.

Определим примерную величину реакции забоя на задние резцы струга, когда конвейер перемещается пневмодомкратами. В этом случае струг при своем перемещении непрерывно отодвигает конвейер в сторону завала. Вслед за проходом струга домкраты пододвигают конвейер снова к забою. Таким образом, конвейер находится в непрерывном перемещении в плоскости пласта. Допустим, что струг прижимается к забою только двумя пневмодомкратами, так как конвейер изгибающийся и расстояние между домкратами равно длине 3—5 секций. Вследствие отжимающих усилий, действующих на струг, и усилий домкратов конвейер прогибается в сторону выработанного пространства. Стрела прогиба его зависит от значения силы отжима Y и ограничивается допускаемыми углами перегиба секций конвейера в горизонтальной плоскости. В каждый данный момент времени конвейер на участке между двумя пневмодомкратами можно рассматривать как жесткую балку со свободными концами. Тогда суммарная реакция забоя на задние резцы струга R_3 определится из уравнения моментов относительно точки приложения силы Y (рис. 100):

$$\sum M = (L_0 - x) P_d - P_d x + R_3 a_1 + F' x_1 + F'' x_2 = 0,$$

откуда находим

$$R_3 = \frac{2P_d x - P_d L_0 - F' x_1 - F'' x_2}{a_1}. \quad (51)$$

В этом уравнении P_d — усилие пневмодомкрата, F' и F'' — силы трения конвейера о почву.

Весы перемещаемых участков конвейера $G_{к1}$ и $G_{к2}$ и точки приложения сил трения F' и F'' , обусловленные этими весами, ориентировочно могут быть определены по следующим формулам:

$$G_{к1} = \left(L_0 - x + \frac{l}{2} \right) \frac{G'_к}{l}; \quad G_{к2} = \left(x + \frac{l}{2} \right) \frac{G'_к}{l}; \quad (52)$$

$$x_1 = \frac{L_0 - x + \frac{l}{2}}{2}; \quad x_2 = \frac{x + \frac{l}{2}}{2}.$$

На основании уравнений (51) и (52) находим

$$R_3 = \frac{P_d (2x - L_0) - \frac{\mu G'_к}{2l} \left(L_0^2 + 2x^2 + \frac{l^2}{2} - 2L_0x + lL_0 \right)}{a_1}. \quad (53)$$

Из этого уравнения видно, что реакции на задние резцы струга действуют меньше, чем на половине пути между двумя пневмодократами.

Как показывает расчет по уравнению (53), реакция R_3 может иметь большие значения и является, таким образом, источником повышения силы тяги струга и преждевременного износа резцов.

На неработающие резцы струга, которые опираются на жесткий в горизонтальной плоскости конвейер, передвигаемый по всей длине лавы одновременно гидродократами, действует незначительная реакция R_3 . Это подтверждают результаты замеров усилий на неработающих резцах струга агрегата А-2.

Определим теперь силу тяги струга. Для этого составим уравнения равновесия сил, действующих на струг (см. рис. 99):

$$\begin{aligned} \Sigma Z &= R_{п} - Z - G_c - G_k = 0; \\ \Sigma Y &= Y + R_3 - R_{y1} - R_{y2} = 0; \\ \Sigma X &= X + F_1 + F_2 + F_3 + F_R + F_k + T_0 - T = 0; \\ \Sigma M_x &= Yz_y + R_3z_3 - Zy_z + G_ky_k - G_cy_c - R_{п}y_R = 0; \\ \Sigma M_z &= Yx_y - R_3x_3 - Xy_x + (R_{y2} - R_{y1}) \frac{a}{2} + F_ky_k + \\ &+ F_Ry_R - F_3y_3 + Ty_T - T_0y_{T0} = 0. \end{aligned}$$

Решая эти уравнения, получим:

$$R_{п} = G_k + G_c + Z; \quad (54)$$

$$y_R = \frac{Yz_y + R_3z_3 - Zy_z + G_ky_k - G_cy_c}{R_{п}}; \quad (55)$$

$$R_{y1} = \frac{Yx_y - R_3x_3 - Xy_x + 0,5Ya + 0,5R_3a + F_ky_k + \leftarrow \frac{+ F_Ry_R - F_3y_3 + Ty_T - T_0y_{T0}}{a}}{a} \rightarrow; \quad (56)$$

$$R_{y2} = Y + R_3 - R_{y1}; \quad (57)$$

$$T = X + F_1 + F_2 + F_3 + F_R + F_K + T_0. \quad (58)$$

В уравнениях (56) и (58) силы трения F_1, F_2, F_3, F_R, F_K могут быть найдены по формулам:

$$F_1 = \mu R_{y1}; \quad F_2 = \mu R_{y2}; \quad F_K = \mu G_K; \quad F_R = \mu_1 R_{п}; \quad F_3 = \mu_3 R_3, \quad (58a)$$

где μ — коэффициент трения струга о конвейер;

μ_1 — коэффициент трения опоры струга о почву;

μ_3 — коэффициент трения неработающих резцов струга о забой.

Если в результате расчета реакции R_{y1} получается со знаком минус, то сила трения

$$F_1 = F'_1 = \mu_2 R_{y1},$$

где μ_2 — коэффициент трения корпуса струга о забой.

В этом случае при определении R_{y2} в уравнении (56) не учитывается момент $F'_1 y_F$, который появляется вследствие смещения силы трения F_1 к забою.

Для учета момента при окончательном расчете в формуле (56) знаменатель должен иметь вид:

$$a + \mu_2 y_f.$$

Усилие T_0 , необходимое для перемещения холостой ветви струга, в уравнении (58) можно определить из выражения $T_0 = \mu_0 q_0 l_0$.

Если реакции R_{y1} и R_{y2} имеют одинаковый знак, т. е. обе реакции направлены к забою и $R_3 = 0$, то

$$T_1 = X + \mu Y + \mu_2 (Z + G_K + G_C) + \mu G_K + T_0.$$

В этом случае тяговое усилие будет меньше, чем в случае появления реакций R_{y1} и R_{y2} с разными знаками.

У струговых установок, оборудованных пневмодомкратами для подачи конвейера на забой и стругом, захват которого ограничивается специальной лыжей, могут появляться дополнительные силы трения F_5 и F_6 струга о забой и конвейер. Величина их зависит от значений усилий на пневмодомкратах, направления реакции R_{y1} и т. д. Если R_{y1} направлена к забою, то

$$F_5 = (P'_d - R_{y1}) \mu;$$

$$F_6 = (P'_d - R_{y1}) \mu_2.$$

Если от забоя, то

$$F_5 = P'_d \mu;$$

$$F_6 = (P'_d + R_{y1}) \mu_2,$$

где P'_d — усилие домкратов, зажимающее корпус струга между забоем и конвейером.

Силы трения F_5 и F_6 увеличивают силу тяги струга.

Пример № 4. Рассчитать силу тяги струга типа УСБ с опорами на конвейер и почву пласта.

Значения суммарных сил резания принимаем из примера № 1. Остальные исходные данные принимаем по следующей таблице.

| Величина в метрах (см. рис. 99) | | | | | | | | | R_{3z} кГ | q_0 кГ/м | G_c кГ | G_k кГ | μ | μ_1 μ_0 |
|---------------------------------|----------------|-------|-------|-----|-------|----------------|-------|-------------------|----------------|---------------|-------------|-------------|-------|--------------------|
| z_x z_y | x_y y_z | x_z | y_x | a | y_k | y_0 y_F | l_0 | y_T y_{T0} | | | | | | |
| 0,2 | 0,3 | 0,13 | 0,4 | 1,8 | 0,35 | 0,15 | 100 | 0 | 0 | 10 | 1400 | 1200 | 0,3 | 0,4 |

По формулам (54) и (55) находим реакцию почвы на хвостовик струга и точку ее приложения:

$$R_{\Pi} = 1200 + 1400 + 720 = 3320, \text{ кГ};$$

$$y_R = \frac{3280 \cdot 0,2 - 720 \cdot 0,3 + 1200 \cdot 0,35 - 1400 \cdot 0,15}{3320} = 0,196 \text{ м.}$$

По формулам (56), (57) и (58а) определяем силы трения струга о конвейер и почву пласта и реакции в опорах струга А и В (см. рис. 99):

$$F_k = 0,3 \cdot 1200 = 360 \text{ кГ}; \quad F_R = 0,4 \cdot 3320 = 1328 \text{ кГ};$$

$$R_{y_1} = \frac{3280 \cdot 0,3 - 6225 \cdot 0,4 + 0,5 \cdot 3280 \cdot 1,8 + 360 \cdot 0,35 + 1328 \cdot 0,196}{1,8} = 1020 \text{ кГ};$$

$$R_{y_2} = 3280 - 1020 = 2260 \text{ кГ}; \quad F_1 = 0,3 \cdot 1020 = 306 \text{ кГ};$$

$$F_2 = 0,3 \cdot 2260 = 678 \text{ кГ.}$$

Далее находим усилие в холостой ветви тяговой цепи струга

$$T_0 = \mu_0 q_0 l_0 = 0,4 \cdot 10 \cdot 100 = 400 \text{ кГ.}$$

Тяговое усилие струга определяем по формуле (58)

$$T = 6225 + 306 + 678 + 1328 + 360 + 400 = 9300 \text{ кГ.}$$

Пример № 5. Рассчитать силу тяги струга без направляющей трубы с опорами на конвейер и почву пласта при расположении тягового органа струга с завальной стороны $y_T = y_{T0} = 0,7 \text{ м}$ (см. рис. 99). Остальные исходные данные принимаем из примера № 4.

Определим реакции в опорах А и В струга (см. рис. 99). Для этого воспользуемся формулами (56)* и (57), так как сила заведомо направлена от забоя

$$R_{y_1} = \frac{3280 \cdot 0,3 - 6225 \cdot 0,4 + 0,5 \cdot 3280 \cdot 1,8 + 360 \cdot 0,35 +}{1,8 + 0,4 \cdot 0,15} + \frac{+ 1328 \cdot 0,196 - T \cdot 0,7 + 400 \cdot 0,7}{1,8 + 0,4 \cdot 0,15} = 1160 - 0,376T, \text{ кГ};$$

$$R_{y_2} = 3280 - 1160 + 0,376 T = 2120 + 0,376T, \text{ кГ.}$$

По формулам (58а) и (58) найдем силы трения и силу тяги струга

$$F_1 = 0,3 (-1160 + 0,376 T) = -348 + 0,113T, \text{ кГ};$$

* В этом случае в формуле (56) знаменатель имеет вид $a + \mu_2 y_F$.

$$F_2 = 0,3 (2120 + 0,376 T) = 636 + 0,118 T, \text{ кг};$$

$$T = 6225 - 348 + 0,113 T + 636 + 0,113 T + 1328 + 360 + 400 = \\ = 9297 + 0,226 T, \text{ кг},$$

откуда
$$T = \frac{9297}{0,774} = 12\,000, \text{ кг}.$$

При расчете реакций R_{y_1} и R_{y_2} и силы тяги струга T значения R , y_R , F_k , F_R и T_0 взяты из примера № 4.

Из примеров № 3, 4 и 5 видно, что, во-первых, для перемещения стругов с опорами на почву и конвейер требуется бóльшая сила тяги, чем при движении стругов с опорами только на конвейер, во-вторых, сила тяги может значительно возрасти при расположении тягового органа с завальной стороны конвейера. Однако это не дает оснований отказываться от такого расположения, так как в этом случае могут быть значительно улучшены условия погрузки угля, особенно при выемке тонких пластов. Величину же силы тяги можно снизить, например, вынесением самих опор на завальную сторону конвейера, до значений, близких к тем, которые получаются при расположении тягового органа у забоя.

26. Расчет устойчивости хода струга

Эффективность работы стругов в значительной мере определяется их устойчивостью.

В практике применения многорезцовых быстроходных стругов наблюдаются следующие основные нарушения устойчивости:

1) опрокидывание струга в сторону выработанного пространства вокруг продольной оси x (см. рис. 93 и 99) (нарушение поперечной устойчивости);

2) опрокидывание струга в плоскости забоя вокруг поперечной оси y (нарушение продольной устойчивости);

3) выжимание струга из забоя или затягивание его в забой, сопровождающееся изменением глубины захвата.

Нарушение продольной и поперечной устойчивости чаще всего сопровождается уходом струга к кровле с оставлением земника, а иногда и с врезанием струга в кровлю. Внедрение в почву многорезцовых стругов наблюдается редко, даже при мягких подстилающих пласт породах, так как современные струги опираются на почву большими поверхностями посредством конвейера или опорных хвостовиков. Внедрение струга в почву имеет место обычно только на отдельных участках лавы в случае неспокойной гипсометрии пласта, жесткого в вертикальной плоскости забойного конвейера и чрезмерно выдвину-

тых вниз нижних резцов. Тогда струг оставляет в мульдах земник угля, а на отдельных участках срезает почву.

Удаление земника, оставляемого стругом, представляет собой трудоемкую операцию и резко снижает производительность струговой установки. Поэтому нарушения продольной и поперечной устойчивости — явления, нежелательные во время работы струга.

Выжимание струга из забоя у струговых установок с пневматическими домкратами для передвигки конвейера приводит к уменьшению глубины резания и вследствие разной крепости угля по лаве — к неодинаковой скорости подвигания отдельных участков лавы, что требует повторных проходов струга на этих участках. Это ведет также к снижению производительности струговой установки, зато исключается возможность зажатия струга между конвейером и забоем, а при увеличении крепости угля автоматически уменьшается глубина снимаемой стружки и, таким образом, сохраняется величина тягового усилия в прежних пределах. У струговых установок с гидродомкратами, рассчитанными на большие усилия, отжимающие усилия струга от забоя практически не сказываются на глубине резания. Однако эти усилия не ограничиваются и часто могут быть причиной остановки струга вследствие появления больших тяговых усилий.

Помимо выжимания струга из забоя, он может также затягиваться в него. Это нарушение приводит к некоторому увеличению усилий в тяговом органе, однако обычно большого влияния на работу струговой установки не оказывает.

Устойчивость струга обеспечивается силами его веса, силами реакции конвейера, почвы и забоя пласта. В связи с этим конвейер струговой установки должен выбираться таким, чтобы он мог воспринимать усилия со стороны струга, без нарушения устойчивости. В струговых установках применяют конвейеры, которые в целях приспособления к гипсометрии почвы пласта могут изгибаться в вертикальной плоскости. В горизонтальной плоскости они делаются жесткими, если передвигаются по всей длине лавы одновременно, и изгибающимися, если передвигаются вслед за стругом. Конвейеры обладают большой жесткостью при кручении. Эти особенности конвейеров струговых установок оказывают большое влияние на устойчивость стругов.

Поперечная устойчивость стругов. Струг с опорами на конвейер при опрокидывании в сторону выработанного пространства поворачивается силами резания вокруг ребра конвейера или выносной опоры (рис. 101, а). Этому препятствует вес струга, реактивный крутящий момент конвейера и усилия со стороны домкратов подачи конвейера на забой P_d , равные Y . Условие устойчивости струга выражается неравенством

$$Yz_y + Zy_z < Gcy_c + M_{кр} + P_{дз_д}. \quad (59)$$

С достаточной для практики точностью можно считать конвейер упругой балкой, заземленной с обоих концов. Тогда реактивный крутящий момент в неравенстве (59) можно найти из выражения

$$M_k = \frac{2\beta GI_d}{l_1},$$

где β — угол скручивания конвейера;
 G — модуль упругости при сдвиге;
 I_d — полярный момент инерции сечения конвейера;
 l_1 — длина участка, на котором конвейер скручивается.

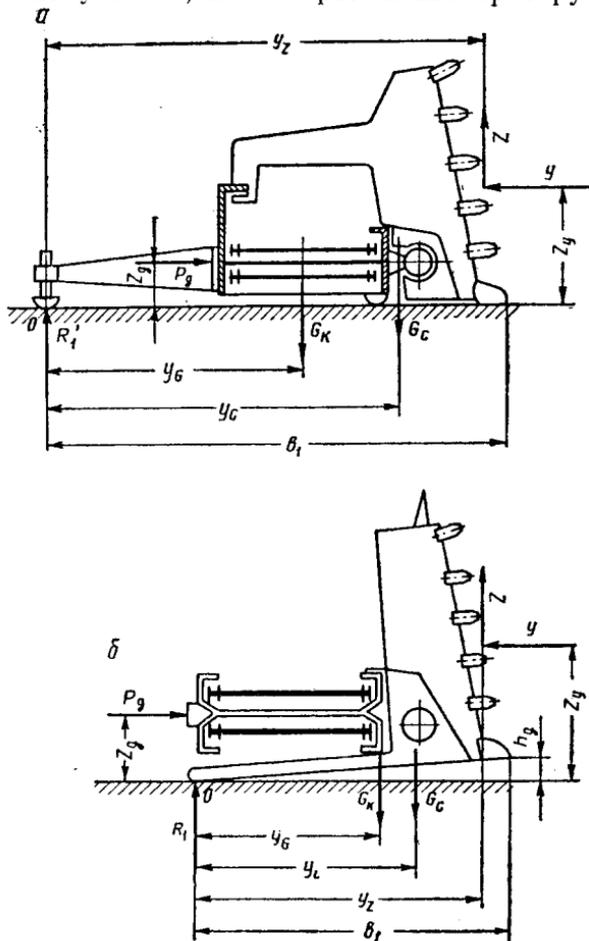


Рис. 101. Схемы к расчету поперечной устойчивости струга

Для определения реактивного крутящего момента необходимо задаться допустимым углом скручивания β или соответствующей ему высоте подъема струга и знать длину скручиваемого

участка конвейера l_1 . Допустимая высота подъема струга h_d , по-видимому, не может превышать максимального вылета вниз нижних резцов, при этом условии можно будет избежать нарушения поперечной устойчивости струга путем изменения вылета нижних резцов. В зависимости от конструкции струговой установки в каждом конкретном случае может быть принята своя допустимая высота подъема струга.

Допустимый угол скручивания конвейера

$$\beta_d = \text{arctg} \frac{h_d}{b_1},$$

где b_1 — расстояние от нижних резцов до точки, вокруг которой происходит опрокидывание струга.

Длину скручиваемого участка конвейера l_1 можно определить из равенства

$$M_{кр} = \frac{2\beta_d G I_d}{l_1} = G''_к l_1 y_G,$$

откуда

$$l_1 = \sqrt{\frac{2G I_d \text{arctg} \frac{h_d}{b_1}}{y_G G''_к}},$$

где $G''_к$ — вес 1 пог. м конвейера.

Струг с опорами на почву и конвейер опрокидывается в сторону выработанного пространства, поворачиваясь под действием сил резания вокруг нижней кромки опорного кронштейна (рис. 101, б). При этом конвейер отжимается кронштейном вверх и скручивается реактивными силами струга и усилием домкратов P_d . Вследствие большой жесткости конвейера угол его скручивания мал, и конвейер опирается на кронштейн одним нижним ребром. От опрокидывания струг удерживается силами собственного веса и веса конвейера. Условие поперечной устойчивости струга с опорами на конвейер будет

$$Yz_y + Zy_z < G_c y_c + G_k y_k + P_d z_d.$$

В этом неравенстве усилие от веса конвейера G_k зависит от соотношения длины секции конвейера l и размеров опорного кронштейна (см. рис. 99). Для обеспечения поперечной устойчивости, по-видимому, необходимо, чтобы струг при своем движении не поднимал секций конвейера, которые опираются на его опорный хвостовик, или поднимал их на высоту не более чем h_d . Расчетную величину G_k следует принимать исходя из количества поднимаемых хвостовиками струга секций конвейера.

Средствами борьбы против опрокидывания струга в сторону выработанного пространства являются:

1) увеличение веса струга и конвейера;

2) удлинение опорных хвостовиков у стругов с опорами на почву и конвейер или устройство специальных выносных опор на конвейере у стругов с опорами на конвейер;

3) снижение точки приложения силы Y и уменьшения усилия Z , направленного к кровле, путем выбора рациональной схемы разрушения угольного забоя стругом;

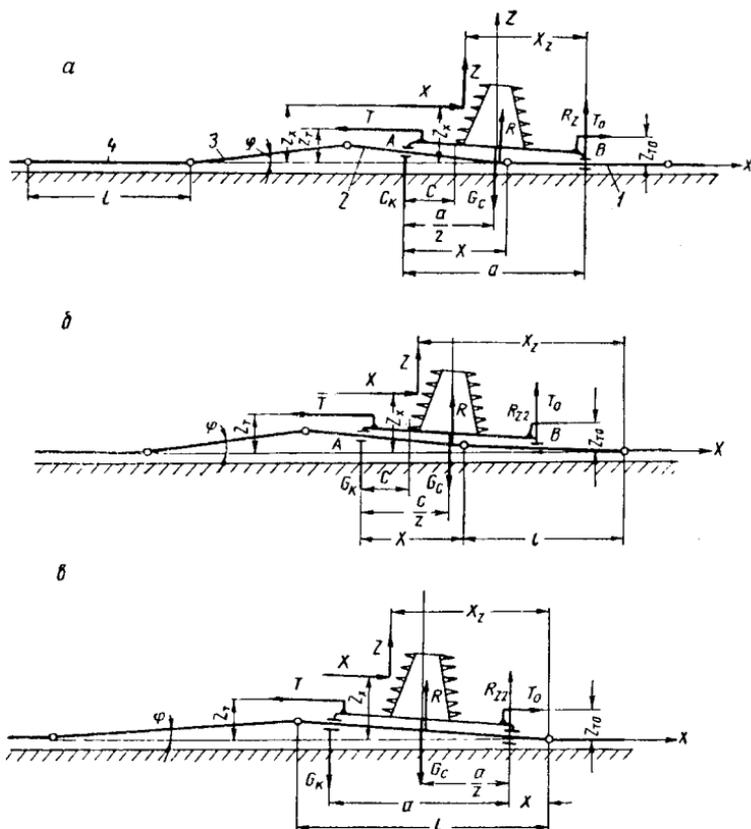


Рис. 102. Схемы к расчету продольной устойчивости струга с опорами на конвейер

4) регулирование вылета вниз нижних резцов струга;

5) изменение высоты соединения домкратов с конвейером.

Продольная устойчивость струга. Продольная устойчивость струга обеспечивается его весом и весом конвейера. Она может быть нарушена под воздействием сил резания X и Z и тягового усилия. Может быть два случая нарушения продольной устойчивости: опрокидывание струга назад по ходу его движения и вперед. Второй случай практически не имеет места у современных конструкций многорезцовых стругов, поэтому рассмотрим только первый случай,

Струг с опорами на конвейер при нарушении продольной устойчивости опрокидывается вокруг опоры B или вокруг одного из соединений конвейера, приподнимая 2, 3 и больше секций конвейера (рис. 102, a , b , $в$). Условие опрокидывания струга, опирающегося на две секции, может быть описано при $x < \frac{a}{2}$ неравенством (рис. 102, a)

$$Xz_x + Zx_z - Tz_T + T_0z_{T0} > G_k l + G_c \frac{a}{2}$$

или при $x > 0,5a$ неравенством

$$Xz_x + Zx_z - Tz_T + T_0z_{T0} - R(x - 0,5a) > G_k l + G_c \frac{a}{2},$$

где R — реакция опоры струга, которая находится по формуле (35);

x — расстояние от соединения секций 1 и 2 до опоры A , которое изменяется в пределах от 0 до l .

Высота подъема струга ограничивается максимально возможным для данной конструкции конвейера углом изгиба секций φ_M в вертикальной плоскости или направляющими струга. Эта высота равна для нижних резцов

$$h_M = (x - c) \operatorname{tg} \varphi_M,$$

где c — расстояние от опоры A до нижнего резца.

Если $h_M > h_d$, то для нормальной работы струга должно выполняться условие

$$Xz_x + Zx_z - Tz_T + T_0z_{T0} - R\left(x - \frac{a}{2}\right) < G_k l + G_c \frac{a}{2},$$

т. е. при своем движении струг не должен поднимать секций конвейера.

Если $h_M < h_d$, то расчет продольной устойчивости струга следует производить, исходя из невозможности подъема опорой A трех или четырех секций конвейера. Нарушение продольной устойчивости струга не будет происходить, пока выполняется условие (рис. 102, b):

$$Xz_x + Zx_z - Tz_T + T_0z_{T0} - R\left(l + x - \frac{a}{2}\right) < G_c\left(l + x - \frac{a}{2}\right) + G_k l,$$

где $G_k = 3G'_k$ при $\varphi_M > \operatorname{arctg} \frac{h_d}{l}$ и $G_k = 6G'_k$ при $\varphi_M < \operatorname{arctg} \frac{h_d}{l}$.

Когда $a < l$, то возможно положение струга, показанное на рис. 102, $в$. В этом случае условие устойчивости струга определяется неравенством

$$Xz_x + Zx_z - Tz_T + T_0z_{T0} - R\left(x + \frac{a}{2}\right) < G_c\left(x + \frac{a}{2}\right) + G_k l.$$

В этом неравенстве $G_K = G'_K$, если $\varphi_M > \text{arctg} \frac{h_d}{l}$, и $G_K = 3G'_K$, если $\varphi_M < \text{arctg} \frac{h_d}{l}$.

Струг с опорами на почву и конвейер в случае нарушения его продольной устойчивости опрокидывается вокруг кромки опорного кронштейна O (рис. 103), приподнимая, в зависимости от соотношения длины секций и размеров кронштейна, а также

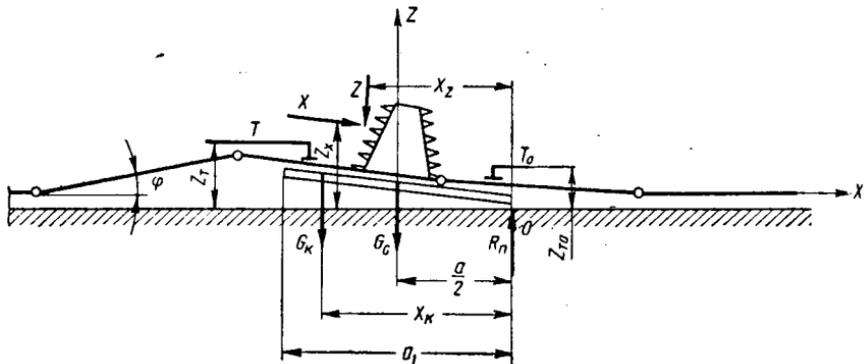


Рис. 103. Схема к расчету продольной устойчивости струга с опорами на почву и конвейер

их взаимного положения, 2, 3 и 4 секции конвейера. Чтобы опрокидывание струга не происходило, необходимо выполнять условие

$$Xz_x - Zx_z - Tz_t + T_0z_{t_0} < G_K x_K + G_C \frac{D_1}{2}.$$

В этом неравенстве сила от веса конвейера G_K принимается исходя из величины возможных углов перегиба секций конвейера в вертикальной плоскости и размеров кронштейна.

$$\varphi_M > \text{arctg} \frac{h_d}{l} \quad \varphi_M < \text{arctg} \frac{h_d}{l}$$

$$D_1 < l \quad G'_K \quad 2G'_K$$

$$2l > D_1 \geq l \quad 2G'_K \quad 3G'_K$$

Средствами против нарушения продольной устойчивости стругов являются:

- 1) увеличение веса струга и конвейера;
- 2) изменение высоты подвески тягового органа к стругу;
- 3) увеличение базы струга D_1 и длины секций конвейера l ;
- 4) уменьшение усилий Z и снижение высоты точки приложения силы X над почвой пласта выбором рациональной схемы разрушения угольного забоя стругом.

ПРИВОДЫ СТРУГОВ И ЗАБОЙНЫЕ КОНВЕЙЕРЫ

27. Расчет мощности привода струга

Привод струга является одной из важнейших частей струговой установки. Мощность его нередко выбирается по аналогии с существующими струговыми установками. Однако такой подход к решению этой задачи не всегда оправдывается практикой. Между тем современные знания в области разрушения горных пород резцовым инструментом и накопленный материал по экспериментальным наблюдениям за работой угледобывающих машин позволяют с достаточной для технических целей точностью производить расчет мощности привода струга. Она может быть определена как энергетическим, так и силовым методами.

Энергетический метод определения мощности привода струга является самым простым. Для пользования им, однако, требуются предварительные знания расхода удельной энергии и параметров отделяемой им полосы угля от массива пласта. Эти параметры устанавливаются, как известно, в зависимости от физикомеханических свойств угля, мощности пласта и горногеологических условий его залегания. Удельный расход энергии определяется по данным экспериментальных наблюдений работой струговых установок в забое (табл. 37).

Таблица 37

| Показатели | Донбасс | | | Кузбасс | | |
|---|----------------------|------------|--------|----------------------|----------|-------------------|
| | Шахта «Ново-Моспино» | Шахта № 27 | | Шахта «Чергинская-1» | | Шахта «Журинка-3» |
| Тип струга . . . | Агрегат А-2 | Леббе | УСБ-1 | КС-2М | | КС-2М |
| Высота струга, м | 0,8—1,3 | 0,65 | 0,7 | 1,2 | | 1,45 |
| Захват струга, мм | 100 | 50—100 | 50—100 | 65—100 | 65—100 | 65—100 |
| Скорость движения струга, м/сек | 0,7 | 0,38 | 0,38 | 0,4 | 0,8 | 0,4 |
| Расход энергии H_s , квт·ч/м ³ | 0,28—0,33 | 0,35 | 0,6 | 0,16 | 0,16—0,2 | 0,26 |
| | | | | 0,21 | | |

Из таблицы видно, что удельный расход энергии зависит преимущественно от крепости угля, параметров отделяемой полосы угля стругом и его конструкции. Относительно большой процент удельной энергии расходуется на преодоление вредных сопротивлений движению струга по направляющим забойного конвейера.

Удельный расход энергии при работе ступенчатого струга со сплошными ножами типа УС-4 составил 0,6 квт·ч/м³, а струга типа СКУ-1 0,5 квт·ч/м³.

Согласно этому методу мощность привода струга определяется уравнением вида

$$P = 3600 v h N H_s, \text{ квт},$$

где v — скорость движения струга, м/сек;

h — ширина отделяемой полосы угля стругом от массива пласта, м;

H — высота струга или вынимаемая мощность пласта стругом, м;

H_s — удельный расход энергии, квт·ч/м³.

Силовой метод определения мощности привода струга является более сложным. При этом методе требуется знание действующих нагрузок на резцы струга, характера и степени их изменения.

Мощность электродвигателя привода струга расходуется на полезные и вредные сопротивления и определяется по формуле

$$P = \frac{Tv}{102 \eta},$$

где T — сила тяги при рабочем ходе струга, определяемая из уравнения (29);

η — к. п. д. редуктора привода струга.

Эта мощность может быть записана также в таком виде

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4, \quad (60)$$

где P_1 — полезная мощность, расходуемая на разрушение угольного забоя;

P_2 — мощность, расходуемая на навалку угля на конвейер;

P_3 — мощность, затрачиваемая на дополнительные сопротивления, вызванные действующими силами на резцах струга и трением его корпуса об уголь;

P_4 — мощность холостого хода струга.

Полезная мощность P_1 может быть определена по уравнению

$$P_1 = \frac{[(n-1)P_x + k_1 P_x]v}{102 \eta},$$

где n — число одновременно работающих резцов;

P_x — среднее усилие резания;

k_1 — коэффициент, учитывающий тяжелые условия работы нижнего резца, ориентировочно $k = 2 - 3$.

Мощность холостого хода струга вычисляется из уравнения

$$P_4 = \frac{T_x v}{102 \eta}.$$

Сила тяги T_x при холостом ходе струга зависит от его веса, коэффициента трения между ним и направляющими конвейера, степени заштыбовки направляющей трубы холостой ветви тяговой цепи, состояния почвы и т. д.

Мощности P_2 и P_3 выразим через P . Тогда уравнение их запишем в таком виде:

$$P_2 = \lambda_2 P;$$

$$P_3 = \lambda_3 P.$$

Анализ расхода мощности приводом струга агрегата А-2, зафиксированный во время промышленных испытаний на шахте «Ново-Моспино», показывает, что P_3 составляет около 10% от мощности P .

При работе струга на более крепких углях λ_3 будет больше. В расчетах можно принимать $\lambda_3 = 0,1 \div 0,2$.

Что касается мощности P_2 , расходуемой на навалку угля на конвейер, то она составляет, по-видимому, всего несколько киловатт. Поэтому в первом приближении можно принять $\lambda_2 = 0,05 \div 0,1$.

Тогда равенство (60) переписется в таком виде:

$$P = P_1 + \lambda_2 P + \lambda_3 P + P_4,$$

откуда найдем

$$P = \frac{P_1 + P_4}{1 - \lambda_2 - \lambda_3}.$$

Коэффициент полезного действия струга равен

$$\eta = \frac{P_1 + \lambda_2 P}{P}.$$

Подставляя в это равенство значение P , найдем

$$\eta = \frac{P_1(1 - \lambda_3) + \lambda_2 P_4}{P_1 + P_4}.$$

Экспериментальные наблюдения и расчеты показывают, что к. п. д., например, струга агрегата А-2 составляет $\eta = 0,15 \div 0,30$. Относительно низкий к. п. д. струга объясняется следующими причинами:

1) большими вредными сопротивлениями движению холостой ветви тяговой цепи струга в направляющей трубе вследствие заштыбовки;

2) значительными вредными сопротивлениями движению струга на участках с перегибами конвейера;

3) большой силой отжима нижнего реза в сторону выработанного пространства.

28. Расчетная нагрузка на прочность элементов привода струга

А. Уравнение движения привода струга. Как показано выше, резцы струга постоянно воспринимают переменные по величине составляющие усилия резания (см. рис. 87). В связи с этим

электродвигатель привода струга работает в неустановившемся режиме. Такой режим описывается уравнением вида

$$M = M_c \pm \frac{(GD^2)_{\text{пр}}}{375} \frac{dn}{dt}, \quad (61)$$

где M — вращающий момент двигателя;
 M_c — момент сопротивления двигателю, обусловленный сопротивлением движению струга вдоль лавы;

$\frac{(GD^2)_{\text{пр}}}{375} \frac{dn}{dt}$ — динамический момент привода и струга, приведенный к валу двигателя;

$(GD^2)_{\text{пр}}$ — маховой момент привода и струга, приведенный к валу двигателя.

Знак плюс в уравнении (61) относится к случаю ускоренного движения маховых масс (например, при запуске двигателя в ход, уменьшении внешней нагрузки на привод струга), знак минус — к случаю замедленного движения маховых масс, например, при торможении движения струга.

Из уравнения (61) видно, что устойчивая работа электродвигателя привода струга будет при

$$M_c < M \pm \frac{(GD^2)_{\text{пр}}}{375} \cdot \frac{dn}{dt}.$$

Если же

$$M_c > M + \frac{(GD^2)_{\text{пр}}}{375} \cdot \frac{dn}{dt},$$

то двигатель привода струга затормаживается, пределом торможения является «опрокидывание» двигателя. Этот последний случай весьма неблагоприятен для работы привода струга, так как при этом в большой степени возрастают действующие на его элементы нагрузки.

Опыт показывает, что наблюдаемые поломки отдельных элементов привода струга обусловлены главным образом усталостью металла, возникающей благодаря пульсации момента сопротивления M_c и действию в связи с этим динамического момента.

Б. Динамическая нагрузка T_d , вызванная маховым моментом. В практике эксплуатации струга возможны случаи «опрокидывания» электродвигателя его привода. Это может происходить, например, в связи с повышением крепости угля, заштыбкой тяговой цепи и т. д. В этом случае тяговая цепь струга и другие элементы привода его воспринимают момент сопротивления

$$M'_c = M_{z \max} + \frac{(GD^2)_{\text{пр}}}{375} \frac{dn_z}{dt},$$

который по своей величине, как нетрудно видеть, значительно превосходит максимальный момент $M_{z \max}$, передаваемый на ве-

душую звездочку тяговой цепи двигателем привода струга. Таким образом, эта цепь оказывается нагруженной как статической, так и динамической силами.

Максимальная статическая нагрузка тяговой цепи струга, очевидно, равна

$$T_{\max} = \frac{M_{z \max}}{R_{\text{ср}}} = \frac{M_{\max}}{i \eta R_{\text{ср}}},$$

где $R_{\text{ср}}$ — средний радиус ведущей звездочки тяговой цепи струга;

i и η — передаточное число и к. п. д. привода струга;

M_{\max} — максимальный вращающий момент электродвигателя привода струга.

Что касается динамической нагрузки T_d , то она определяется из следующих соображений. Энергия A_k , накопленная движущимися массами привода струга и самого струга, в момент «опрокидывания» двигателя расходуется на полезную работу, совершаемую резцами струга, и на преодоление вредных сопротивлений как в самом приводе струга, так и в его направляющих.

Тогда можно написать равенство

$$A_k \eta = 0,5 T_d \cdot v \cdot t,$$

откуда находим динамическую нагрузку на тяговую цепь струга

$$T_d = \frac{A_k \eta}{0,5 v \cdot t}, \quad (62)$$

где η — к. п. д. привода струга;

v — скорость движения струга, м/сек;

t — время движения струга и его привода со скоростью v за счет кинетической энергии движущихся масс.

Но как известно

$$A_k = \frac{M_0 v_1^2}{2} = 0,5 \omega I; \quad GD^2 = 4gI \quad \text{и} \quad \omega = \frac{\pi n_z}{30}. \quad (63)$$

Тогда на основе равенств (62) и (63), найдем

$$T_d = \frac{(GD^2)_{\text{пр}} n_z^2 \eta}{3600 v \cdot t}.$$

На рис. 104 представлен график изменения этой силы в зависимости от продолжительности t торможения привода струга. При большой скорости нарастания тормозной нагрузки величина ее может достигать большого значения. Поэтому в целях ограничения динамической нагрузки T_d и предохранения таким образом привода струга от перегрузки в кинематическую цепь его

включают гидромufту. Отношения $\frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}}$ и $\frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}}$ гидромufты должны быть равны или несколько меньше соответствующих отношений электродвигателя привода струга.

В. Динамическая нагрузка S_d , вызванная неравномерным ходом тяговой цепи струга. Ведущая звездочка тяговой цепи струга представляет собой как бы многогранный барабан (рис. 105, а).

Длина грани барабана равна шагу t_0 звена цепи. При вращении ведущей звездочки зубья ее периодически входят в сцепление со звеньями тяговой цепи струга и приводят, таким образом, последнюю в движение.

Пусть ведущая звездочка вращается с постоянной угловой скоростью ω , а звенья тяговой цепи при набегании на нее остаются все время параллельными. Тогда скорость поступательного движения тяговой цепи струга будет равна (см. рис. 105, а)

$$v = v_0 \cos \alpha = \omega R_{cp} \cos \alpha,$$

а ускорение движения ее

$$a = \frac{dv}{dt} = -\omega^2 R_{cp} \sin \alpha,$$

где R_{cp} — средний радиус окружности звездочки.

Диаграмма изменения скорости и ускорения движения тяговой цепи струга в зависимости от угла α показана на рис. 105, б.

В точках 1 и 3 (см. рис. 105, а) скорости движения звеньев тяговой цепи равны

$$v_{max} = \omega R_{cp} \cos \varphi_0.$$

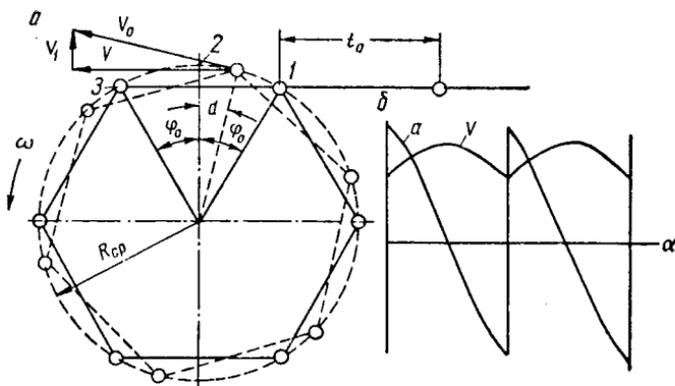


Рис. 105. Схема зацепления тяговой цепи струга со звездочкой (а) и диаграммы скорости и ускорения движения тяговой цепи (б)

Поэтому для этих двух положений звена тяговой цепи ускорение будет максимальным

$$a_{max} = \pm \omega^2 R_{cp} \sin \varphi_0. \quad (64)$$

По рис. 105, а находим

$$\sin \varphi_0 = \frac{t_0}{2R_{cp}}; \quad \omega = \frac{\pi n_z}{30} \quad \text{и} \quad n_z = \frac{60 v}{z t_0}. \quad (65)$$

Здесь n_z и z — число оборотов и граней ведущей звездочки.

На основе равенств (64) и (65) находим

$$a_{\max} = \pm \frac{2(\pi v)^2}{z^2 t_0}. \quad (66)$$

В момент, предшествующий захвату звездочкой нового звена тяговой цепи, сила инерции равна

$$S_1 = \frac{G a_{\max}}{g}, \quad (67)$$

где G — вес движущейся массы;
 g — ускорение силы тяжести.

При захвате нового звена тяговой цепи ускорение мгновенно возрастает от минус a_{\max} до плюс a_{\max} (рис. 105, б). Поэтому в этот момент к тяговой цепи будет приложена не только сила, которая заставляет ее из замедленного движения перейти в равномерное, но и возникает еще сила, благодаря которой она станет двигаться ускоренно. Следовательно, сила, которая вызывает переход от замедленного движения тяговой цепи к ускоренному, будет равна

$$S_0 = 2 \frac{G}{g} a_{\max}. \quad (68)$$

Подставляя в равенства (67) и (68) значения ускорения движения тяговой цепи из равенства (66), получим

$$S_1 = \frac{2G(\pi v)^2}{gz^2 t_0}; \quad (69)$$

$$S_0 = \frac{4G(\pi v)^2}{gz^2 t_0}. \quad (70)$$

Так как ускорение, а следовательно, и сила S_0 возрастают мгновенно, то, как известно, для учета мгновенности приложения силы необходимо полученное значение силы увеличить вдвое. Поэтому равенство (70) переписывается в следующем виде:

$$S'_0 = \frac{2 \cdot 4G(\pi v)^2}{gz^2 t_0}. \quad (71)$$

Прибавляя к этой силе то усилие, которое действовало до захвата лучом звездочки звена тяговой цепи [уравнение (69)], получим динамическую нагрузку, обусловленную действием сил инерции

$$S_a = \frac{8G(\pi v)^2}{gz^2 t_0} - \frac{2G(\pi v)^2}{gz^2 t_0} = 6 \frac{G(\pi v)^2}{gz^2 t_0}.$$

Из этого уравнения видно, что сила S_a растет с увеличением средней скорости движения тяговой цепи и уменьшением числа

граней z ведущей звездочки. Сила S_a возрастает также с увеличением шага звена тяговой цепи, так как увеличение его равносильно уменьшению z . В этом легко убедиться, если в уравнение (71) вместо v подставить очевидную величину

$$v = \frac{2\pi R_{cp} n_z}{60} = \frac{z t_0 n_z}{60}.$$

Г. Динамическая нагрузка, вызванная ударом тяговой цепи о ведущую звездочку. Пусть ведущая звездочка 1 (рис. 106, а)

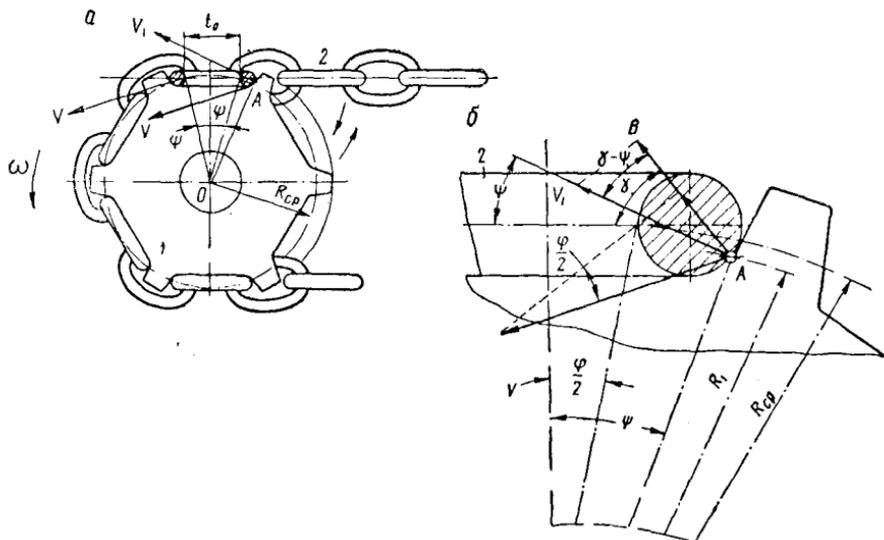


Рис. 106. Схемы к расчету скорости удара тяговой цепи о зубья звездочки

вращается с постоянной скоростью ω против движения часовой стрелки. При этом звенья 2 тяговой цепи струга через известные интервалы времени входят в зацепление с зубьями ведущей звездочки и тем самым обеспечивается непрерывное ее движение. Как видно, перед зацеплением звенья цепи и ведущая звездочка движутся навстречу друг другу с определенными скоростями, поэтому момент контакта их между собой сопровождается ударом. Эти удары вызывают не только дополнительную динамическую нагрузку на тяговую цепь струга, но и действуют разрушающим образом на элементы зацепления. Сила удара зависит от скорости соударяющихся элементов и степени их износа.

При нормальных размерах звеньев тяговой цепи и ведущей звездочки контакт их между собой в момент начала зацепления происходит в определенной точке, например, точке А. Местоположение этой точки может быть найдено графическим построением кривой зацепления зуба ведущей звездочки со звеном тя-

говой цепи. По мере износа элементов зацепления, точка контакта их в момент начала зацепления перемещается по профилю зуба ведущей звездочки. В связи с этим нормальные условия зацепления ведущей звездочки и звеньев тяговой цепи нарушаются, что приводит к повышению скорости и силы удара их между собой [72]. Практика показывает, что износ элементов сцепления достигает значительной величины.

Линейная скорость на среднем радиусе $R_{\text{ср}}$ ведущей звездочки равна (см. рис. 106, а)

$$v = \omega R_{\text{ср}}.$$

Линейная скорость точки A , т. е. точки контакта зуба ведущей звездочки со звеном тяговой цепи в момент начала их сцепления, очевидно, равна

$$v_1 = \omega R_1.$$

Если перенести вектор скорости v в точку A , то заметим, что скорости v и v_1 по направлению не совпадают. Благодаря этому происходит косой удар звена тяговой цепи о зуб ведущей звездочки.

Рассматривая отдельно скорости точки A (рис. 106, б) и проектируя их на нормаль AB , проходящую через эту точку, замечаем, что скорость удара элементов зацепления определяется как разность проекций этих скоростей

$$v_y = v_1 \cos(\gamma - \psi) - v \cos\left(\gamma - \frac{\varphi}{2}\right)$$

или

$$v_y = \omega \left[R_1 \cos(\gamma - \psi) - R_{\text{ср}} \cos\left(\gamma + \frac{\varphi}{2}\right) \right]. \quad (72)$$

По чертежу (см. рис. 106) находим

$$R_{\text{ср}} = \frac{t_0}{2 \sin \frac{\varphi}{2}}. \quad (73)$$

Так как диаметр прутка, из которого изготавливаются звенья тяговой цепи, сравнительно небольшой по величине, то можно с достаточной точностью для технических расчетов принять $R_1 = R_{\text{ср}}$.

Тогда на основании равенств (72) и (73) найдем

$$v_y = \frac{\omega t_0}{2 \sin \frac{\varphi}{2}} \left[\cos(\gamma - \psi) - \cos\left(\gamma + \frac{\varphi}{2}\right) \right]$$

или

$$v_y = \xi \omega t_0, \quad (74)$$

где ξ — коэффициент скорости удара.

$$\xi = \frac{0,5}{\sin \frac{\varphi}{2}} \left[\cos (\gamma - \psi) - \cos \left(\gamma + \frac{\varphi}{2} \right) \right].$$

После соответствующего преобразования этого равенства найдем, что коэффициент ξ не превышает единицы. Учитывая это обстоятельство и тот факт, что с повышением износа элементов зацепления увеличивается скорость удара их, примем $\xi = 1$. Тогда равенство (74) переписется так

$$v_y = \omega t_0. \quad (75)$$

Определим теперь дополнительную динамическую нагрузку на тяговую цепь струга, обусловленную ударом ее о ведущую звездочку. Для этого воспользуемся уравнением кинетической энергии

$$A_y = \frac{M_1 v_y^2}{2}, \quad (76)$$

где M_1 — масса ударяющейся тяговой цепи.

На основании равенств (65), (75) и (76) найдем

$$A_y = \frac{M_1 \pi^2 n_z^2 t_0^2}{30^2 \cdot 2}, \quad (77)$$

где n_z — число оборотов ведущей звездочки.

Масса ударяющейся тяговой цепи равна

$$M_1 = \frac{ql}{g}, \quad (78)$$

где q — вес погонного метра тяговой цепи;

l — длина тяговой цепи;

g — ускорение силы тяжести.

Подставляя значение (78) в уравнение (77), получим

$$A_y = \frac{ql \pi^2 n_z^2 t_0^2}{1800 g}. \quad (79)$$

Хотя кинетическая энергия A_y относительно небольшая по величине, тем не менее она оказывает вредное влияние на срок работы тяговой цепи и ведущей звездочки.

Уравнение (79) показывает, что кинетическая энергия, теряемая при ударе тяговой цепи о ведущую звездочку, определяется главным образом значениями n_z и t_0 . Поэтому в целях уменьшения A_y целесообразно делать звенья тяговой цепи с возможно малым шагом. Число оборотов n_z определяет при прочих равных условиях частоту ударов тяговой цепи о ведущую звездочку. Чем больше n_z , тем больше частота ударов и тем быстрее изнашиваются и выходят из строя тяговая цепь и звездочка.

Что касается значения l , то пока остается неясным вопрос, какая же часть длины тяговой цепи участвует в ударе. Это объясняется тем, что этот вопрос пока не изучен надлежащим образом ни теоретически, ни экспериментально. Однако несомненно одно, что чем больше сила тяги струга, тем большая часть тяговой цепи участвует в ударе.

Кинетическая энергия A_y , теряемая при ударе тяговой цепи о ведущую звездочку, расходуется на деформацию звеньев этой цепи и зуба ведущей звездочки. Допустим, что энергия A_y полностью расходуется на деформацию только звеньев тяговой цепи. Тогда можно написать уравнение вида

$$A_y = T_y \lambda,$$

где T_y — сила удара, возникающая в звене тяговой цепи в момент удара его о зуб ведущей звездочки;

λ — величина деформации звена тяговой цепи.

Если обозначить через ε относительное удлинение звена тяговой цепи, то будем иметь

$$\lambda = \varepsilon t_0. \quad (80)$$

Согласно закону Гука имеем

$$\sigma = \varepsilon E. \quad (81)$$

Принимая во внимание равенства (80) и (81), найдем

$$A_y = T_y t_0 \frac{\sigma}{E} = \frac{T_y^2 t_0}{FE}, \quad (82)$$

где F — площадь сечения звена тяговой цепи;

E — модуль упругости материала звеньев тяговой цепи.

На основании равенства (79) и (82) найдем

$$T_y = \frac{\pi n_z}{60} \sqrt{\frac{qlFE}{1800 g}}. \quad (83)$$

Как показывает расчет, эта сила имеет небольшую величину.

Д. Общая расчетная формула для определения нагрузки на тяговую цепь струга. Из изложенного выше видно, что тяговая цепь во время движения струга воспринимает как статические, так и динамические усилия. Статические усилия определяются максимальным моментом электродвигателя привода струга. Что же касается динамических усилий, то они обусловлены действием махового момента, кинематикой зацепления звеньев тяговой цепи с ведущей звездочкой и конструктивными параметрами последних.

Тогда на основании изложенного расчетная нагрузка тяговой цепи струга может быть представлена в таком виде:

$$T_{\text{рас}} = T_{\text{max}} + T_d + S_a + T_y. \quad (84)$$

29. Приводы советских стругов

На рис. 107 представлена кинематическая схема привода струга КС-2М. Техническая характеристика его приведена в табл. 12. Он состоит из двух асинхронных двигателей 1 с короткозамкнутым ротором, двухскоростного редуктора 2, тяговой цепи 3 и направляющей головки последней (не показана на рисунке). Мощность каждого двигателя равна 50 кВт при скорости вращения 1460 об/мин.

Корпус редуктора, изготовленный из стального литья, жестко соединен с хвостовой секцией скребкового конвейера 4. Двигатели соединены с редуктором при помощи зубчатых муфт. На выходном валу редуктора закреплена ведущая звездочка, которая приводит в движение тяговую цепь струга 5 со скоростью 0,4 или 0,8 м/сек.

Так как ведущая звездочка тяговой цепи укреплена на вертикальном валу, то рабочая и холостая ветви ее располагаются в плоскости пласта. При этом холостая ветвь тяговой цепи проходит сбоку скребкового конвейера со стороны выработанного пространства.

Тяговая цепь изготовлена из разборных штампованных звеньев с шагом 120 мм и рассчитана на разрывное усилие 60 т. Концы ее соединены со стругом при помощи прицепных устройств 14 и 15 (см. рис. 44).

Привод струга размещается в нише, устраиваемой в верхней части лавы, а направляющая головка тяговой цепи — в нижней части ее. Он крепится между кровлей и почвой пласта гидравлическими стойками.

Двигатели привода имеют дистанционное управление, пульт которого расположен внизу лавы. Они заблокированы с двигателем конвейера таким образом, что пуск их производится в определенной последовательности. Вначале подается сигнал и включается двигатель конвейера, только после этого может быть произведен запуск электродвигателя привода струга. В дистанционном управлении двигателями конвейера и привода струга предусмотрена возможность остановки их непосредственно из лавы кнопками «Стоп», расположенными через определенные расстояния по длине конвейера.

Струг, двигаясь вверх по лаве, в 10 м от вентиляционного штрека воздействует на сигнальный аппарат, прикрепленный к линейной секции конвейера; сигнал, поданный с аппарата, предупреждает рабочих в нише о подходе струга. После этого последний воздействует на концевой выключатель, прикрепленный на приводной секции конвейера, и останавливается против верхней ниши на 10 сек, в течение которых помощники машиниста переключают привод струга на скорость 0,4 м/сек, реверсируют и пускают его двигатели.

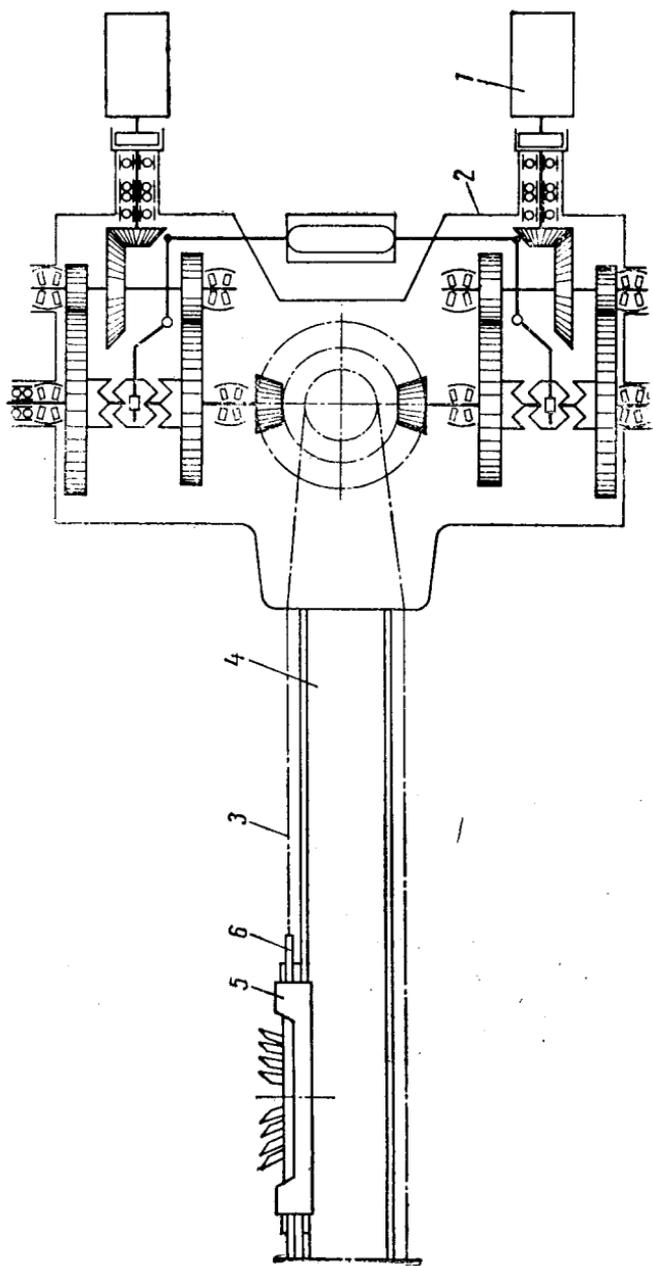


Рис. 107. Кинематическая схема привода струга KS-2M

При подходе струга к нижней пише вначале он воздействует на сигнальный аппарат, а потом уже на концевые выключатели. Продолжительность остановки внизу лавы составляет 30 сек. За это время скребковый конвейер вместе со стругом передвигается к забою, привод переключается на скорость 0,8 м/сек и включаются двигатели его на рабочий ход струга. Передвижение конвейера к забою осуществляется при помощи гидравлических домкратов, установленных вдоль линии конвейера.

Для лав длиной 85—113 м продолжительность рабочего цикла составляет 3—6 мин.

На рис. 108 представлены диаграммы потребляемой двигателем привода струга КС-2М из сети мощности при работе на шахте «Чертинская-1» (рис. 108, а) и «Журилка-3» (рис. 108, б) (Кузбасс). Эти диаграммы соответствуют фактической ширине отделяемой полосы угля стругом на шахте «Чертинская-1» — 100 мм, а на шахте «Журилка-3» — 60 мм. Как видно, нагрузка двигателей привода струга на шахте «Чертинская-1» оказалась сравнительно спокойной и равномерной по сравнению с шахтой «Журилка-3». Это объясняется тем, что на первой шахте наблюдался отжим угля, а на второй — он не проявлялся.

В табл. 38 приведены данные, характеризующие условия работы струга КС-2М на этих шахтах, производительность струговой установки, потребляемую мощность и расход удельной энергии.

Таблица 38

| Показатели | Шахта «Чертинская-1» | | | | | | Шахта «Журилка-3» |
|---|--------------------------|-----|-----|--------------------------|-----|-----|--------------------------|
| | $v = 0,4$ м/сек | | | $v = 0,8$ м/сек | | | $v = 0,4$ м/сек |
| | Шаг подачи конвейера, мм | | | Шаг подачи конвейера, мм | | | Шаг подачи конвейера, мм |
| | 80 | 100 | 120 | 80 | 100 | 120 | |
| Длина лавы (без ниши), м | 113 | 113 | 113 | 113 | 113 | 113 | 85 |
| Мощность пласта, м | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,45 |
| Продолжительность рабочего хода струга, сек | 270 | 270 | 270 | 135 | 135 | 135 | 210 |
| Продолжительность холостого хода струга, сек | 270 | 270 | 270 | 135 | 135 | 135 | 210 |
| Продолжительность передвижения конвейера, сек | 35 | 40 | 45 | 35 | 40 | 45 | 35 |
| Ширина снимаемой стругом полосы угля, мм | 65 | 82 | 100 | 65 | 82 | 100 | 60 |
| Производительность установки, т/ч | 73 | 90 | 109 | 137 | 169 | 203 | 75 |

| Показатели | Шахта «Чергинская-1» | | | | | | Шахта «Журилка-3» |
|---|--------------------------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|--------------------------|
| | $v = 0,4 \text{ м/сек}$ | | | $v = 0,8 \text{ м/сек}$ | | | $v = 0,4 \text{ м/сек}$ |
| | Шаг подачи конвейера, мм | | | Шаг подачи конвейера, мм | | | Шаг подачи конвейера, мм |
| | 80 | 100 | 120 | 80 | 100 | 120 | |
| Мощность, потребляемая двигателями провода, квт: | | | | | | | |
| при рабочем ходе | | | | | | | |
| средняя | 47 | 49,2 | 56,4 | 88,5 | 98 | 106 | 61,5 |
| пиковая | — | 69,0 | 101,0 | 145,0 | 126,0 | 136 | 90 |
| при холостом ходе | | | | | | | |
| средняя | 35,3 | 37,6 | 37,1 | 65,0 | 77,0 | 82,5 | 49,5 |
| пиковая | 58,0 | 54,0 | 56,0 | 122,0 | 122,0 | 131,0 | 90,0 |
| Удельный расход энергии на выемку угля H_s , квт·ч/т: | | | | | | | |
| рабочий ход струга . | 0,276 | 0,225 | 0,206 | 0,260 | 0,232 | 0,204 | 0,340 |
| холостой ход струга | 0,201 | 0,170 | 0,135 | 0,190 | 0,180 | 0,150 | 0,265 |

Из этой таблицы следует, что потребляемая мощность зависит прежде всего от ширины отделяемой стругом полосы угля и скорости его движения. Однако при данной скорости движения струга эта мощность изменяется незначительно в зависимости от ширины отделяемой полосы угля. Так, например, увеличение ширины этой полосы более чем на 50% (с 65 до 100 мм) приводит к повышению мощности лишь на 11—13%. Это объясняется тем, что относительно большой процент энергии расходуется на преодоление вредных сопротивлений движению струга. Иначе говоря струг имеет небольшой к. п. д.

Табл. 38 показывает также, что среднее значение потребляемой мощности электродвигателями привода струга лишь в двух случаях превышает суммарную номинальную их мощность. Это указывает на недостаточное использование мощности струговой установки.

В ходе промышленных испытаний струга КС-2М на указанных выше шахтах были обнаружены следующие наиболее существенные недостатки:

1. Привод струга имеет большие размеры (3867 × 3861 × × 905 мм), что вызывает необходимость подготовки большой ниши для его размещения и затрудняет поддержание над ним кровли, а также и обслуживание.

2. Механизм переключения скоростей редуктора привода струга ненадежен в работе; наблюдалась самопроизвольная разрегулировка его в процессе работы струга.

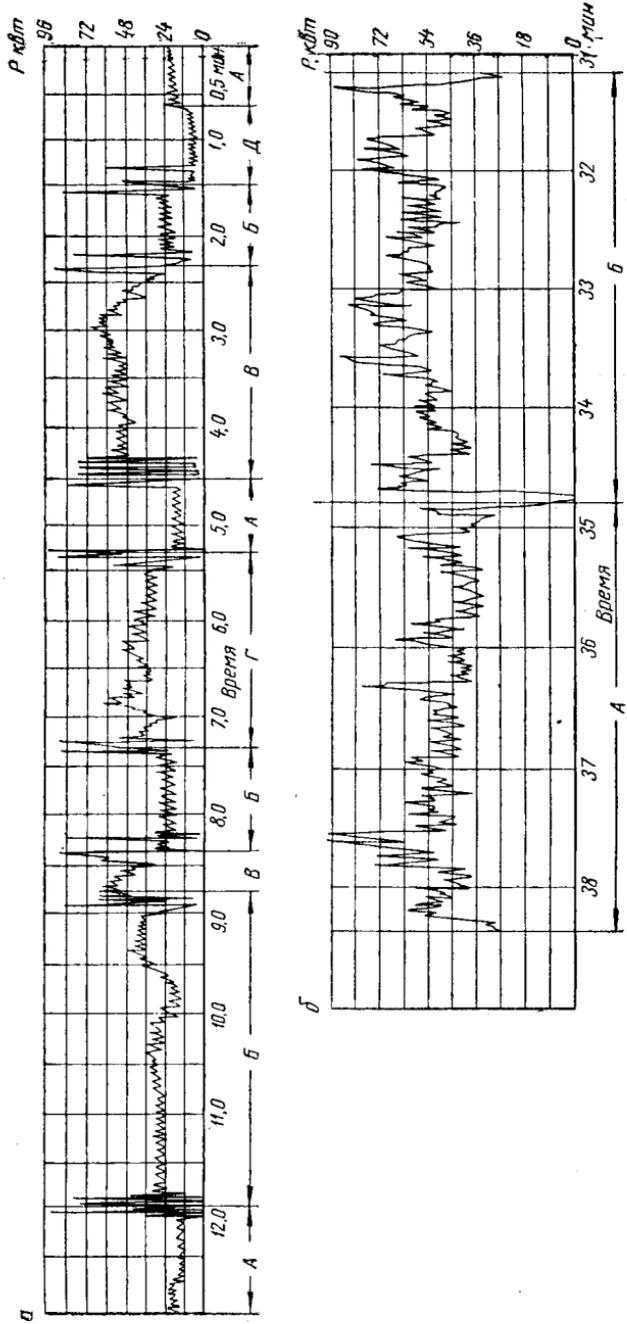


Рис. 108. Диаграммы мощности, потребляемой двигателями привода струга КС-2М при работе в лаве № 3 по пласту Поджуринскому-1 шахты «Журилка-3» треста Леннинголь и в лаве № 36 по пласту «Чертинская-1» треста Беловуголь

3. Штампованная разборная тяговая цепь струга ненадежна в работе, несмотря на то, что она рассчитана на большое разрывное усилие (60 т).

4. В приводе струга отсутствует эффективная защита от перегрузки.

На рис. 109 представлен общий вид установки привода 1 струга агрегата А-2 на вентиляционном штреке. Здесь показаны

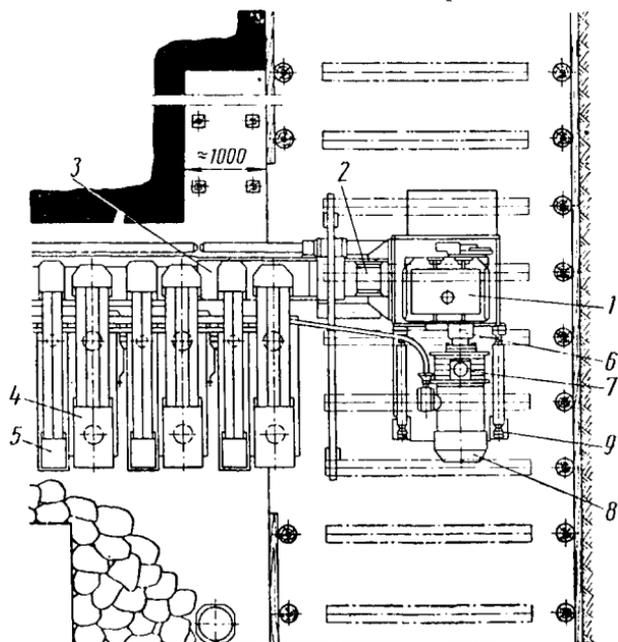


Рис. 109. Общий вид привода струга агрегата А-2

также натяжная головка 2 скребкового конвейера, некоторые его линейные секции 3 и секции 4 и 5 гидравлической крепи.

Направляющая головка тяговой цепи струга устанавливается, как увидим далее, на раме привода конвейера.

Привод струга состоит из редуктора, зубчатой муфты 6, гидромуфты 7, электродвигателя 8, тяговой цепи и механизма подачи привода на забой. Эти элементы привода смонтированы на общей раме, при помощи которой он прикрепляется к раме натяжной головки конвейера. Размеры привода составляют $3540 \times 1400 \times 800$ мм. Вес его равен 6368 кг.

Механизм подачи привода на забой состоит из двух гидродомкратов 9, расположенных по бокам двигателя, и плиты. Цилиндры гидродомкратов прикреплены к раме привода, а их штоки к его плите. Последняя в исходном положении выдвинута вперед относительно рамы привода. Гидросистема этих домкратов соединена гидравлически с гидросистемой механизированной

крепи агрегата А-2. Поэтому при подаче жидкости под давлением в поршневые полости гидродомкратов всей системы привод струга по плите передвигается вперед вместе с конвейером и забойными секциями крепи. Подтягивание плиты к приводу производится путем подачи жидкости под давлением в штоковые полости гидродомкратов.

Редуктор привода струга состоит из трех пар зубчатых колес с общим передаточным числом 52,6. Первая пара зубчатой передачи сделана косозубой, вторая и третья — прямозубые. Выходной вал редуктора расположен горизонтально. На его шлицах посажена ведущая звездочка тяговой цепи струга. Последняя имеет калиброванные звенья и рассчитана на максимальное тяговое усилие 29 т. Скорость движения тяговой цепи составляет 0,7 м/сек.

Редуктор работает в масляной ванне, подшипники его валов смазываются способом разбрызгивания. Заливка и слив масла из корпуса редуктора производится через специальные отверстия. Контроль уровня масла в редукторе осуществляется при помощи шупа.

В качестве двигателя привода струга применен асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором типа КОФ-52-4, имеющий отношения моментов $\frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}} = 3,05$, $\frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}} = 3,55$, номинальное число оборотов $n = 1480$ об/мин и мощность $P = 90$ квт.

Для предохранения электродвигателя от перегрузки, а редуктора и тяговой цепи струга от поломок, в кинематическую цепь привода включена гидромуфта предохранительного типа. Она облегчает также запуск двигателя.

Конструкция гидромуфты представлена на рис. 110. Основными частями ее являются насосное 1 и турбинное 2 колеса и кожух 3. Насосное колесо, соединенное вместе с кожухом, образует плотный резервуар для рабочей жидкости. В качестве рабочей жидкости применено минеральное масло промышленное 20, которое заливается через отверстие, закрытое пробкой 4. По норме надо залить 21 л масла.

Насосное колесо закреплено на валу 5 электродвигателя, а турбинное колесо насажено на валу 6, опорами которого являются шариковые подшипники 7 и 8, установленные соответственно на валу 5 и в гнезде кожуха 3 гидромуфты. Вал 6 при помощи зубчатой муфты соединен с валом редуктора.

При перегрузке редуктора число оборотов турбинного колеса уменьшается по сравнению с числом оборотов насосного колеса. Иначе говоря, гидромуфта буксует. Чем выше перегрузка привода, тем больше она пробуксовывает.

Крутящий момент гидромуфты изменяется в зависимости от количества масла, находящегося в ее рабочей полости. Об этом свидетельствуют рабочие характеристики гидромуфты, представ-

ленные на рис. 111. С увеличением объема масла в гидромуфте повышается ее максимальный, пусковой и номинальный моменты.

Рассматривая рабочие характеристики ее, замечаем, что они не имеют провалов и допускают относительно высокую перегрузочную способность. Так, например, при заполненной маслом

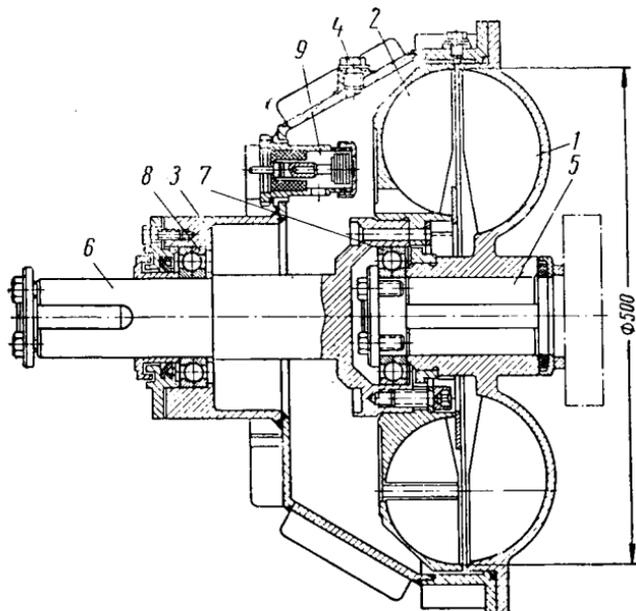


Рис. 110. Гидромуфта привода струга агрегата А-2

гидромуфте в объеме 21 л перегрузочная способность ее составляет $\frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}} = 2,2$. Пусковой момент гидромуфты равен максимальному моменту, а к. п. д. при номинальном заполнении маслом — 95%.

Пробуксовка гидромуфты приводит к нагреву масла. Поэтому в ней предусмотрена специальная защита масла от перегрева. Для этой цели в гидромуфте установлено термореле 9 (см. рис. 110), которое включено в электрическую цепь выключения электродвигателя привода струга.

Эта цепь (рис. 112) состоит из двух электромагнитных катушек 1, установленных на корпусе гидромуфты, постоянных магнитов 2, электромагнитных катушек 3, усилителя 5 и реле пускателя электродвигателя привода струга. Магниты 2 и катушки 3 смонтированы на неподвижном диске, установленном против диска, соединенного с гидромуфтой. При этом магниты 2 и катушки 3 размещаются на диске таким образом, чтобы они могли

одновременно находиться против катушек 1. Катушки 1 и 3 сделаны одинаковыми.

При нагреве масла выше заданного значения термореле замыкает контакты 4 электрической цепи катушек 1 и при проходе одной из них около магнитов 2 в этой цепи будет протекать электрический ток. В это время вторая катушка 1 становится электро-

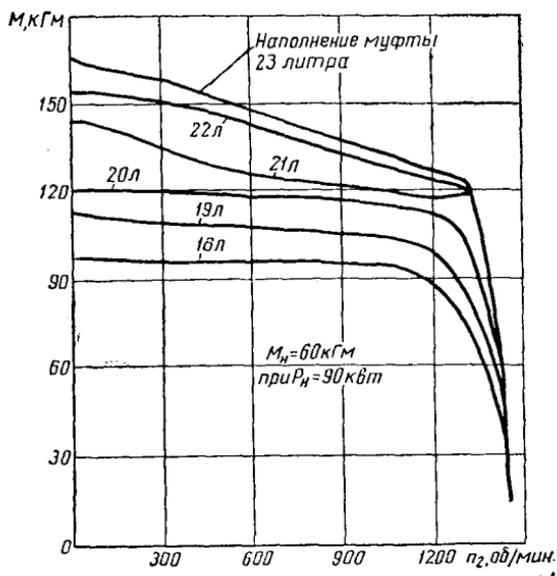


Рис. 111. Рабочие характеристики гидромуфты привода струга агрегата А-2

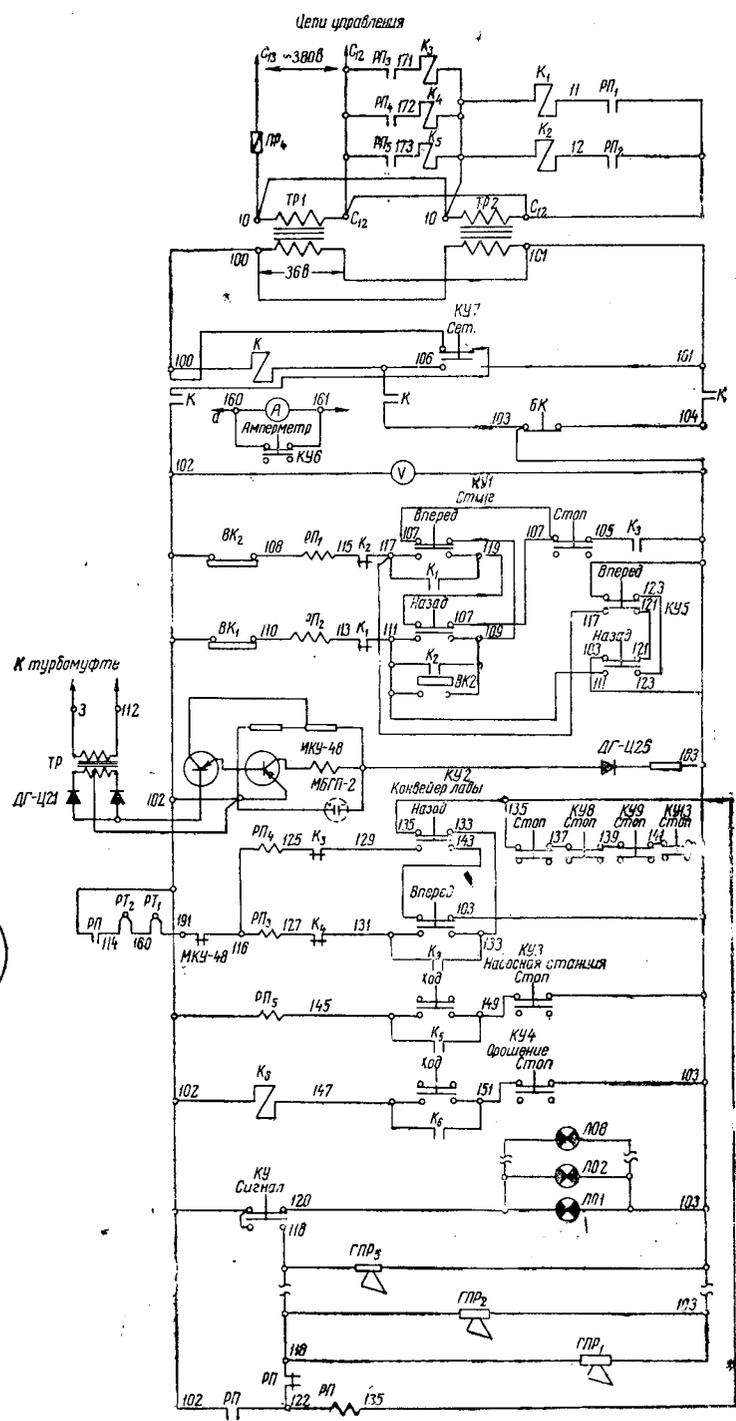
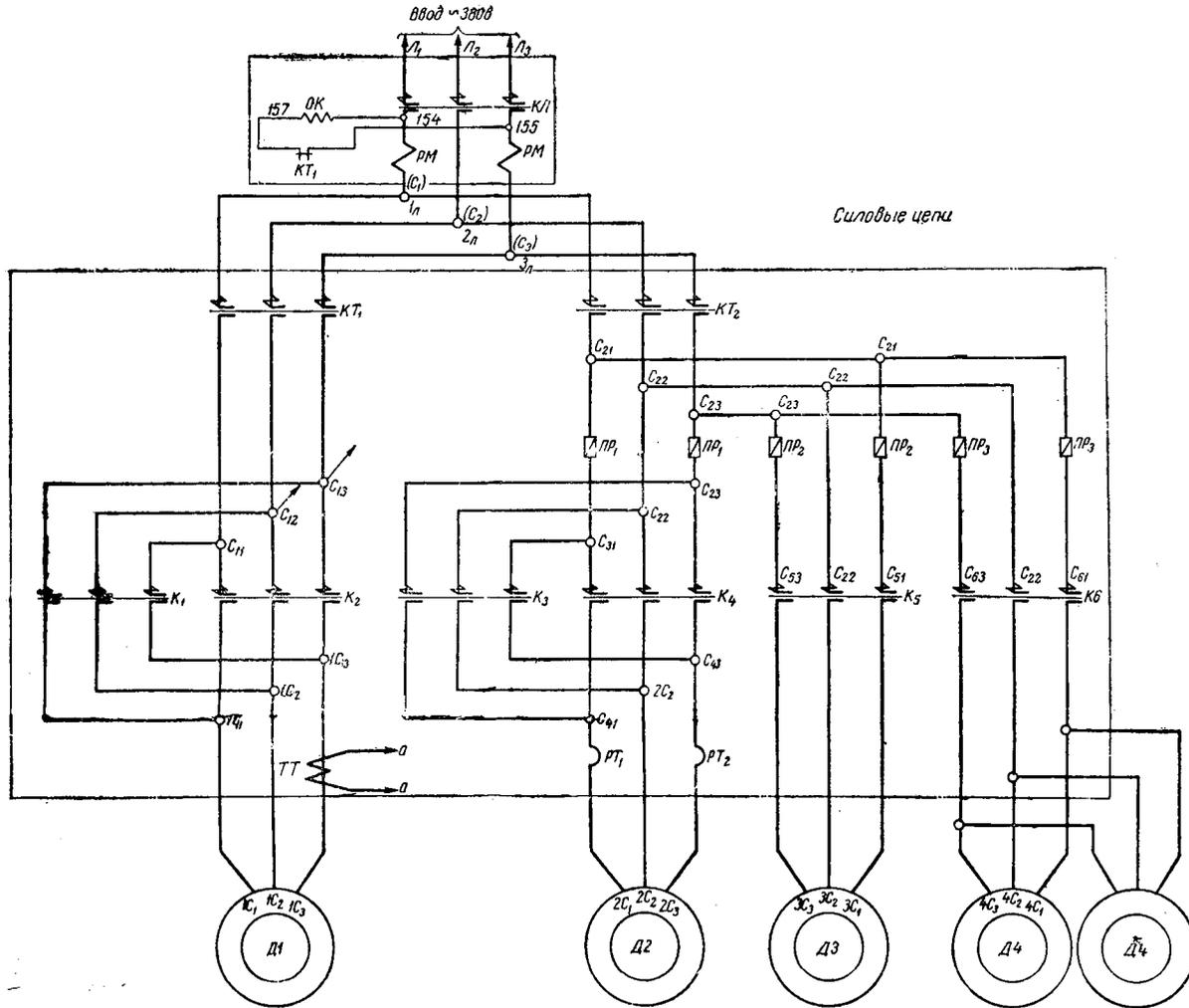
магнитом и ее силовые линии пересекают обмотку неподвижной катушки 3, наводя в ней э. д. с. Электродвижущая сила усиливается при помощи усилителя 5 и после этого воздействует на реле пускателя, которым выключается электродвигатель привода струга. Как показали промышленные испытания агрегата А-2, такая защита масла от перегрева оказалась недостаточно надежной, требовала частой проверки и наладки, а в нужный момент не срабатывала.

Дистанционное управление электродвигателем привода струга агрегата А-2 осуществляется с центрального пульта, расположенного внизу лавы на приводной головке забойного конвейера. С этого же пульта производится управление двигателем забойного конвейера, подача светозвукового сигнала и управление другими двигателями агрегата. Силовые цепи магнитной станции рассчитаны на напряжение 380 в, а цепи дистанционного управления, сигнализации и освещения на 36 в.

На рис. 113 представлены электрические схемы силовых цепей двигателей привода струга D_1 , привода конвейера D_2 , насосной станции D_3 , оросительной установки D_4 и цепей управления, сигнализации и освещения.

Крышка магнитной станции заблокирована с рукояткой разъединителя КТ₁, блок-контакт которого замыкает цепь отключающей катушки фидерного автомата.

Приборы управления размещены в магнитной станции. Цепи управления питаются от трансформаторов TP_1 и TP_2 , первичная обмотка которых присоединена к силовой цепи (зажимы C_{12} и C_{13}).



Подача напряжения в силовую часть магнитных пускателей осуществляется поворотом рукоятки разъединителей KT_1 и KT_2 . Одновременно с этим подается также напряжение в первичную обмотку трансформаторов TP_1 и TP_2 . Нажатием кнопки $KУ7$ «Сеть» включается контакторная катушка K , замыкая свои контакты во вторичной цепи трансформаторов TP_1 и TP_2 . При подаче напряжения 36 в в цепь управления магнитной станции вклю-

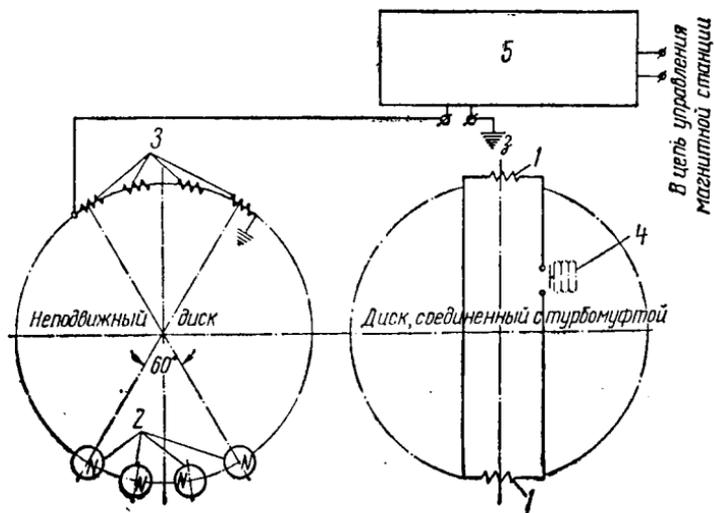


Рис. 112. Схема защиты масла гидромуфты от перегрева

чаются фары освещения $ЛО1, ЛО2, \dots, ЛО8$, расположенные вдоль лавы.

Цепи управления магнитными пускателями электродвигателей привода струга и конвейера заблокированы не только между собой, но и с электрической цепью сигнализации. Поэтому электродвигатель конвейера может быть включен только после подачи светового и звукового сигналов кнопкой $KУ$ «Сигнал». После пуска конвейера может быть включен электродвигатель привода струга нажатием кнопки $KУ1$ «Вперед». Предусмотрена также возможность ручного управления приводом струга при маневровых операциях. Для этого вдоль лавы размещены однокнопочные посты управления $KУ8, KУ9, KУ13$, при помощи которых в аварийных случаях могут быть остановлены электродвигатели забойного конвейера и привода струга. Действие этих кнопок распространено также и на ручное управление приводом струга.

В электрическую цепь электродвигателя привода струга включены концевые выключатели. Один из них установлен вверху лавы на натяжной головке конвейера, а другой в нижней части лавы на конвейере. Концевые выключатели служат для автоматического переключения электродвигателя струга вверху

лавы с рабочего хода на холостой, а в низу ее — с холостого хода на рабочий.

При односторонней выемке угля режим работы привода струга агрегата А-2 подобен режиму работы привода струга КС-2М, т. е. производится реверс его вверху и внизу лавы, а работа струга чередуется с холостым его ходом сверху вниз лавы. Концевой выключатель в верхней части лавы автоматически реверсирует электродвигатель в течение 0,15—0,2 сек. В это время струг двигается вдоль лавы по инерции. Продолжительность же торможения электродвигателя противотоком и разгон привода струга в обратном направлении составляет 6—7 сек.

В среднем продолжительность запуска привода струга равна 5 сек. Столь длительный период пуска электродвигателя объясняется большими маховыми массами привода струга и значительным падением напряжения в сети (до 30%) в этот период.

Как показывают испытания агрегата А-2 на шахте «Ново-Моспино» (Донбасс), нагрузка электродвигателя привода струга колеблется в относительно узком интервале (табл. 39).

Таблица 39

| Наименование | Число опытов | Мощность на клеммах двигателя, кВт | | |
|---|--------------|------------------------------------|--|---|
| | | средняя | средняя максимальная за один проход струга | средняя минимальная за один проход струга |
| Рабочий ход струга снизу вверх лавы | 17 | 86,2 | 103 | 69 |
| Зачистка забоя при ходе струга сверху вниз лавы | 14 | 58,5 | 73 | 48 |
| Холостой ход струга снизу вверх лавы | 9 | 47,8 | 54,9 | 42,7 |
| Холостой ход струга сверху вниз лавы | 8 | 44,2 | 51,8 | 39,8 |

Также было установлено, что средний удельный расход энергии при рабочем ходе струга агрегата А-2 колеблется от 0,28 до 0,33 кВт·ч/м³.

Приведенные в табл. 39 мощности были зафиксированы при работе струга в условиях неотжатого угля. Как видно, нагрузка двигателя привода струга при рабочем ходе близка к номинальной его мощности. При этом примерно 28 кВт затрачивалось лишь на разрушение угольного забоя, навалку угля на конвейер и некоторые виды вредных сопротивлений движению струга. Другая, большая часть мощности двигателя, расходовалась на преодоление вредных сопротивлений движению струга, возникающих главным образом в его направляющих. Свидетельством этому являются мощности, потребляемые двигателем привода при холостом ходе струга вдоль лавы (табл. 39).

При чередовании рабочего хода струга с холостым наблюдалось, как правило, уменьшение потребляемой мощности двигателем привода струга из сети. Это происходит, по-видимому, благодаря отжиму угля, проявление которого повышается с течением времени.

В отдельных случаях средняя потребляемая мощность электродвигателем привода струга из сети при рабочем ходе составляла 95—100 кВт, а пиковые значения ее при этом достигали 120—145 кВт.

Осциллограммы мощности электродвигателя привода и силы тяги струга показывают, что они имеют аналогичный характер изменения во времени. Пиковые значения силы тяги струга соответствуют пиковым значениям мощности.

Эксплуатационные испытания агрегата А-2 показали целесообразность применения в цепи привода струга гидромфты и в качестве тягового органа калиброванной цепи, а также надежность работы привода.

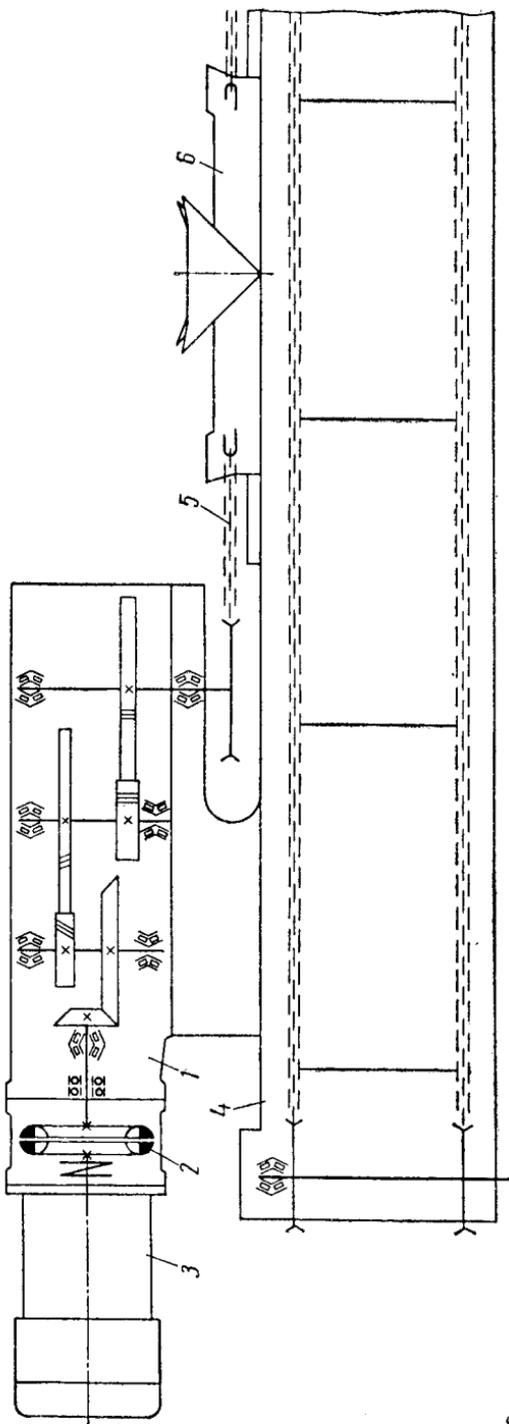


Рис. 114. Кинематическая схема привода струга УСБ

Струг типа УСБ-2, в отличие от стругов типа КС-2М и агрегата А-2, снабжен двумя приводами, расположенными на концах става забойного конвейера. Эти приводы имеют одинаковую конструкцию, мощность и расположение относительно става конвейера. Кинематическая схема одного из этих приводов и расположение его относительно става конвейера показаны на рис. 114.

Привод состоит из трехступенчатого зубчатого редуктора 1, гидромуфты 2, электродвигателя 3 и пусковой аппаратуры, размещенной на нижнем штреке.

Корпуса редукторов привода, выполненные с горизонтальным разъемом из стального литья, прифланцованы к рамам приводных головок конвейера 4 со стороны забоя. Редуктор трехступенчатый, валы его расположены горизонтально и опираются на подшипники качения. На выходном валу редуктора закреплена звездочка, при помощи которой приводится в действие тяговая цепь 5 струга 6 с шагом 86 мм.

Гидромуфта прифланцована к корпусу редуктора, на входном валу которого закреплено ее турбинное колесо. Вал насосного колеса гидромуфты соединен при помощи муфты с валом двигателя. Последний прифланцован к кожуху гидромуфты.

В качестве двигателей привода струга приняты четырехполюсные асинхронные двигатели с короткозамкнутыми роторами типа КОФ-32-4 мощностью каждый $P = 32$ квт со скоростью вращения 1480 об/мин на напряжение 380 в.

Таким образом установочная мощность привода струга типа УСБ составляет $P_{уст} = 2 \cdot 32 = 64$ квт.

В 1960 г. ИГД АН СССР проводились испытания струговых установок УСБ-1 и УСБ-2 на шахте № 27 треста Снежинантрацит (Донбасс). Эти испытания показали, что нагрузка электродвигателей привода при разных режимах работы струга колеблется в относительно узком интервале и характеризуется данными, приведенными в табл. 40.

Таблица 40

| Характер движения струга и показатели | Тип струга | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------------------|--------------|-------------|------------------------------|--------------|-------------|-----------------------------|--------------|-------------|
| | УСБ-1 с направляющей трубой | | | УСБ-1 без направляющей трубы | | | УСБ-2 с направляющей трубой | | |
| | Потребляемая мощность, квт | | | | | | | | |
| | средняя | максимальная | минимальная | средняя | максимальная | минимальная | средняя | максимальная | минимальная |
| Рабочий ход струга снизу вверх лавы: | | | | | | | | | |
| верхний двигатель | 17 | 22 | 12 | 17 | 28 | 10 | 17 | 25 | 14 |
| нижний двигатель | 15 | 24 | 6 | 11 | 14 | 8 | 18 | 20 | 12 |
| Рабочий ход струга сверху вниз лавы: | | | | | | | | | |
| верхний двигатель | 15 | 16 | 14 | 16 | 21 | 10 | 14 | 15 | 13 |

| Характер движения струга и показатели | Тип струга | | | | | | | | |
|---|-----------------------------|--------------|-------------|------------------------------|--------------|-------------|-----------------------------|--------------|-------------|
| | УСБ-1 с направляющей трубой | | | УСБ-1 без направляющей трубы | | | УСБ-2 с направляющей трубой | | |
| | Потребляемая мощность, квт | | | | | | | | |
| | средняя | максимальная | минимальная | средняя | максимальная | минимальная | средняя | максимальная | минимальная |
| нижний двигатель | 10 | 14 | 6 | 10 | 12 | 8 | 20 | 21 | 19 |
| Холостой ход струга снизу вверх лавы: | | | | | | | | | |
| верхний двигатель | 13 | — | — | 10 | — | — | 15 | — | — |
| нижний двигатель | 13 | — | — | 10 | — | — | 15 | — | — |
| Холостой ход струга сверху вниз лавы: | | | | | | | | | |
| верхний двигатель | 12 | — | — | 8 | — | — | 10 | — | — |
| нижний двигатель | 12 | — | — | 10 | — | — | 20 | — | — |
| Сила тяги струга при рабочем ходе | 1,3÷5,5 | | | — | | | 1,5÷4,5 | | |
| холостом ходе | 1,0÷2,0 | | | — | | | 1,3÷2,5 | | |
| Удельный расход при рабочем ходе H_s , квт·ч/м ³ | 0,6 | | | 0,6 | | | 0,7 | | |

Табл. 40 свидетельствует о недостаточном использовании мощности привода струговых установок. Это объясняется, по-видимому, относительно малой глубиной захвата стругом ($h = 20—55$ мм), которая имела место при работе струговых установок. Подтверждением этому служат также малые значения силы тяги стругов при рабочем ходе и большой расход энергии (табл. 40).

30. Конвейеры советских струговых установок

Общий вид конвейера агрегата А-2 представлен на рис. 115. Он состоит из става 1, привода 2 и натяжной головки 3.

Став конвейера собран из жестких линейных секций длиной 2,2 м, соединенных между собой шарнирными замками. Эти замки позволяют ставу конвейера изгибаться в вертикальной плоскости и приспособливаться таким образом к гипсометрии почвы пласта. Угол поворота линейных секций составляет $\pm 4^\circ$.

На линейных секциях става конвейера закреплены направляющие 4 и 5, служащие для направления движения струга. Направляющая 4 представляет собой трубу, приваренную к борту линейной секции, а направляющая 5 выполнена в виде полосы, приваренной к высокому борту ее. На этой стороне конвейера имеются также копирная направляющая 6, служащая для регулирования положения выдвигной части струга, и опорные

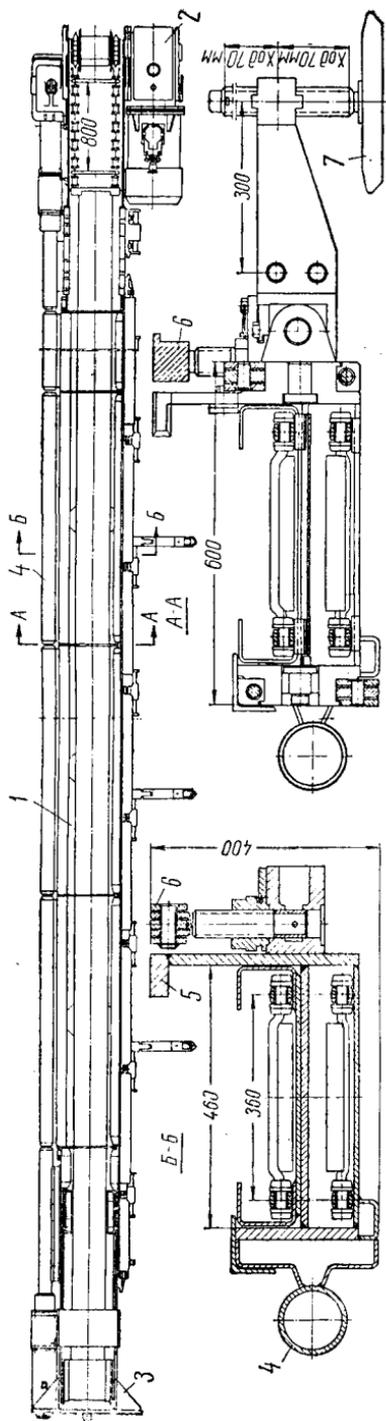


Рис. 115. Конвейер агрегата А-2

лыжи 7 конвейера, при помощи которых регулируется положение струга в вертикальной плоскости.

Тяговым органом конвейера служит разборная штампованная цепь, имеющая две ветви, между которыми установлены сварные скребки. Скорость движения цепи равна 0,9 м/сек, высота погрузки составляет 250 мм, высота борта с завальной стороны равна 400 мм, размеры желоба секции составляют — 440 × 100 мм и длина конвейера — 100 м. Максимальная производительность конвейера равна 186 т/ч.

Натяжная головка конвейера располагается в верхней части лавы. Рама ее жестко соединена с рамой привода струга (см. рис. 109).

Привод конвейера размещается в нижней части лавы. Он состоит (рис. 116) из двигателя 1, редуктора 2, приводного вала 3, рамы 4 и головного рештака 5. К раме 4 привода присоединена рама 6 натяжной головки тяговой цепи струга. Здесь же установлен пружинно-клиновой буфер 7, служащий для поглощения ударов струга о привод конвейера. Такой буфер установлен также на натяжной головке конвейера.

Конвейер приводится в действие асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором типа КОФ-32-4 мощностью $P_{ном} = 32$ квт. Электродвигатель имеет взрывобезопасное исполнение. Он прифланцован к корпусу редуктора привода;

валы их соединены между собой при помощи зубчатой муфты.

Корпус редуктора привода конвейера представляет собой стальную литую конструкцию. Редуктор состоит из одной пары

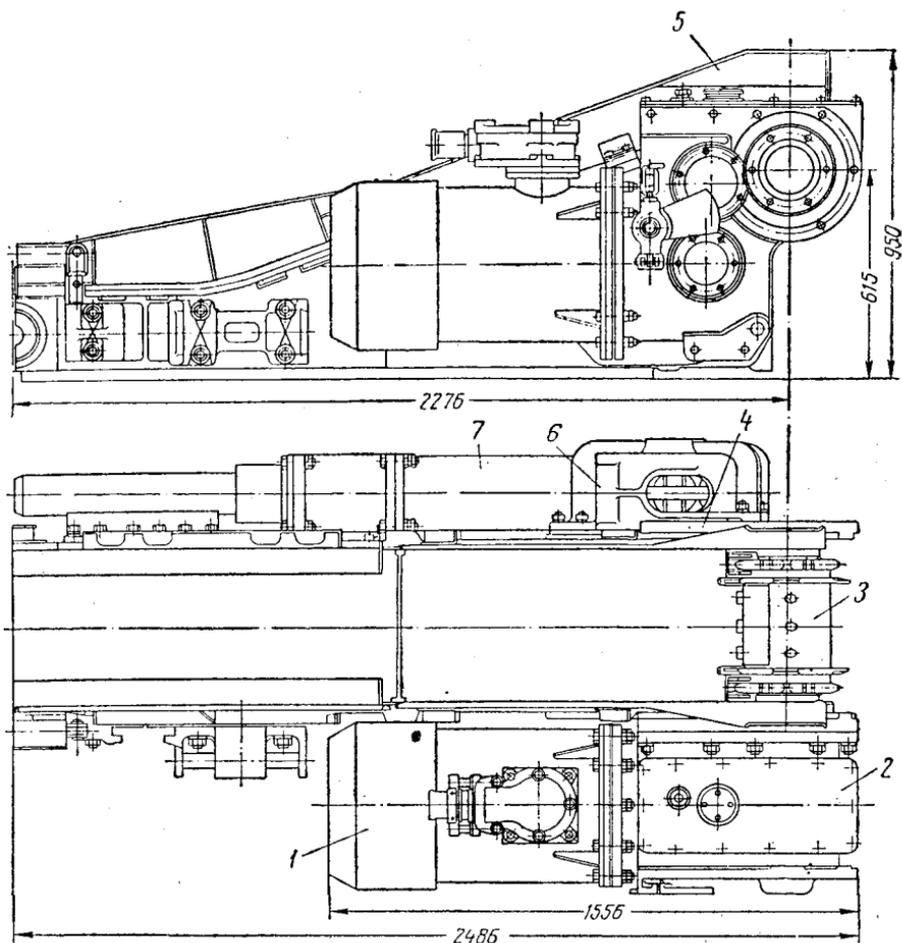


Рис. 116. Привод конвейера агрегата А-2

конических шестерен со спиральным зубом и двух пар цилиндрических шестерен с косыми зубьями. Общее передаточное число его составляет $i = 26,3$. Зубчатые передачи редуктора работают в масляной ванне, а подшипники валов его смазываются разбрызгиванием.

Цепь конвейера натягивается двигателем. Для этого в редукторе предусмотрено храповое устройство. Храповик на шлицах посажен на втором валу редуктора. Он может быть заторможен при помощи собачки. Для фиксации сцепления и расцепления

собачки с храповиком предусмотрен противовес, в кожухе которого имеется штырь, запирающий собачку от случайных включений.

Корпус редуктора крепится на боковой стенке рамы 4 привода болтами и центровочной втулкой. Таким образом, на одной стороне рамы 4 прикреплена рама натяжной головки тяговой цепи струга, а на другой — корпус редуктора привода конвейера.

Конвейер рассчитан на работу в левом и правом забое и допускает реверсирование скребковой цепи. Конвейер можно укорачивать и удлинять в любом месте става.

Линейные секции конвейера соединены с забойными секциями гидравлической крепи. Последние вместе с конвейером передвигаются к забою одновременно по всей длине лавы. При этом передвигается также и привод струга.

Испытания агрегата А-2 на шахте «Ново-Моспино» показали, что использование става конвейера в качестве базы агрегата полностью себя оправдало. Работа конвейера и его передвижка проходила нормально. Он оказался достаточно жестким в плоскости пласта, что обеспечивало прямолинейность установки агрегата.

На рис. 117 представлен общий вид струговой установки типа УСБ. Конвейер имеет техническую производительность $Q = 260 \text{ т/ч}$ и рассчитан на работу в лаве длиной 150 м. Став его собран из жестких линейных секций, соединенных между собой шарнирными замками. Эти замки позволяют ставу конвейера изгибаться в плоскости пласта и перпендикулярно к ней и приспосабливаться таким образом к гипсометрии почвы пласта.

На линейных секциях конвейера закреплены отрезки 1 направляющей трубы струга, а на переходных секциях его установлены жестко буфера, и концевые выключатели 2 и 3 двигателей привода струга. На секциях конвейера со стороны выработанного пространства укреплены борта, препятствующие просыпанию угля, и через определенные расстояния на специальных кронштейнах подвешены фары освещения 4 и размещены однокнопочные посты управления КУ, при помощи которых в аварийных случаях могут быть остановлены электродвигатели приводов струга и конвейера. Ширина секций конвейера без направляющей трубы и борта составляет 552 мм, а высота ее без борта — 200 мм. Высота борта принята около 500 мм.

Тяговым органом конвейера служат калиброванные цепи, между которыми установлены скребки. Расстояние между осями тяговых цепей равно 410 мм. Скорость движения их составляет 0,95 м/сек.

Конвейер имеет два привода, расположенных на его концах. Каждый привод состоит из трехступенчатого зубчатого редуктора 5, 6, гидромуфты 7, 8 и электродвигателя 9, 10. Корпуса ре-

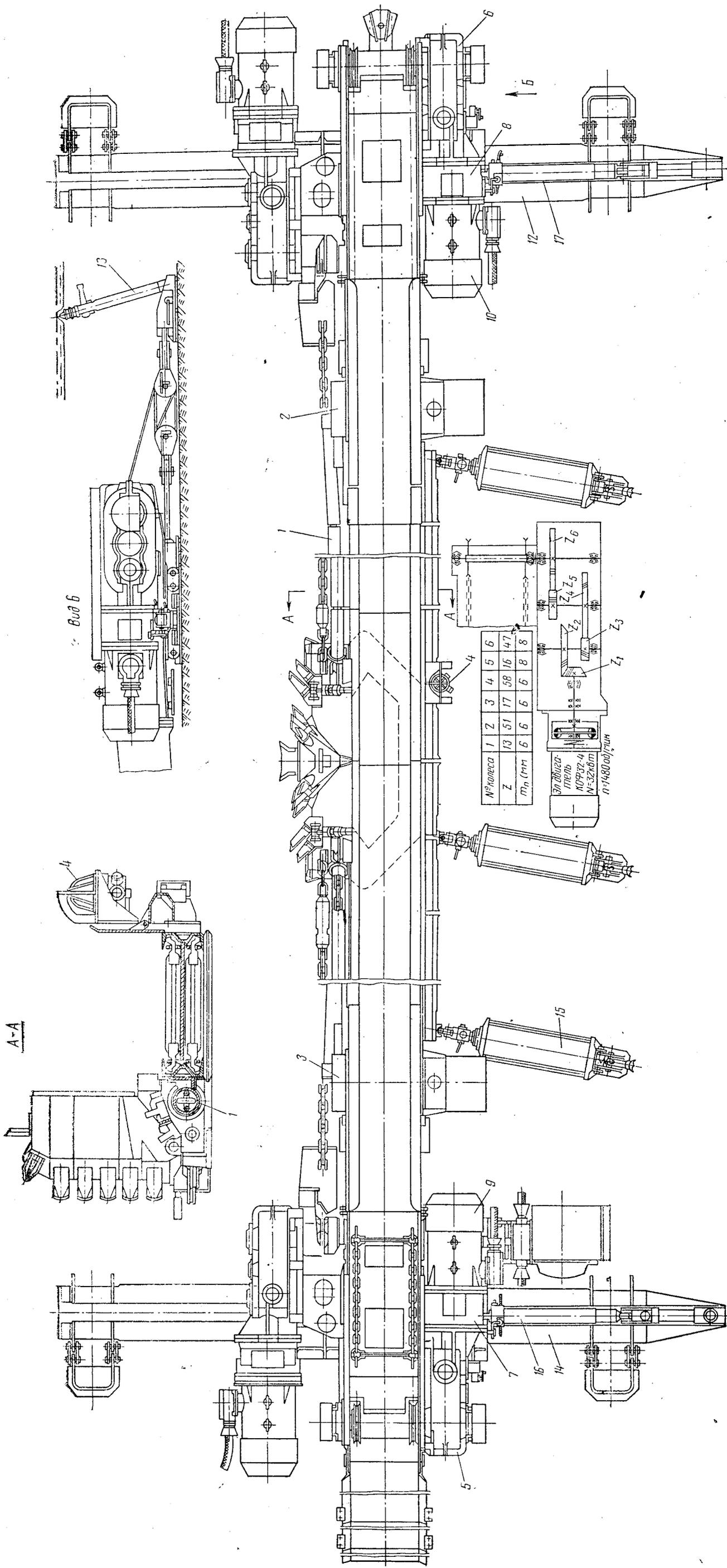


Рис. 117. Привод конвейера струговой установки УСБ-2.

дукторов прифланцованы к рамам головных секций конвейера. Также прифланцованы кожухи гидромуфт к корпусам редукторов и двигатели к гидромуфтам. При этом приводы конвейера расположены вдоль его става, что следует считать целесообразным, так как приводные головки их оказываются компактными.

В качестве двигателя каждого привода конвейера принят асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором типа КОФ-32—4 мощностью 32 квт, напряжением 380 в и скоростью вращения 1480 об/мин. Гидромуфта принята типа ТЛ-32С.

Кинематическая схема одного из приводов конвейера показана внизу на рис. 117.

Против сползания конвейера вниз по лаве предусмотрено специальное подвесное устройство, состоящее из системы блоков, каната и опорной рамы 12, на которой устанавливается верхняя приводная головка конвейера и струга, и двух распорных металлических стоек 13, при помощи которых рама 12 закрепляется неподвижно. Нижняя головка привода конвейера и струга установлена также на опорной раме 14, которая закрепляется неподвижно распорными стойками.

Конвейер вместе со стругом подается на грудь забоя после каждого цикла работы струга. При этом струг находится против ниши в нижней части лавы при односторонней его работе. Если принят челноковый способ работы струга, то он во время передвижки конвейера находится против ниши в нижней или верхней частях лавы. Передвижка конвейера осуществляется при помощи пневматических домкратов 15, расположенных вдоль става конвейера через 4—10 м. Нижняя и верхняя приводные головки конвейера и струга передвигаются одновременно с его ставом при помощи гидравлических домкратов 16 и 17, связанных, с одной стороны, с приводами конвейера, а с другой — с опорными рамами 12 и 14. Каждый пневмодомкрат питается сжатым воздухом давлением 4—5 атм и развивает усилие 1100—1500 кг. Величина хода пневмодомкрата составляет около 600 мм. Сжатый воздух подается к пневмодомкратам от передвижного компрессора производительностью около 4,0 м³, размещенного на нижнем штреке около лавы. Канализация сжатого воздуха к пневмодомкратам производится при помощи воздухопровода, расположенного сбоку конвейера со стороны выработанного пространства.

Для питания гидродомкратов маслом под давлением 150 кг/см² предусмотрена насосная станция. Рабочая жидкость поступает в гидродомкраты передвижения приводной головки через блок управления.

Струговая установка имеет общий пульт дистанционного управления всеми приводами и пневмо- и гидродомкратами, а также аварийные кнопочные посты. Этот пульт расположен внизу лавы на приводной головке забойного конвейера. С этого

же пульта производится подача сигнала о пуске в работу струговой установки и включается освещение лавы.

31. Приводы зарубежных стругов и конвейеров

В зарубежных струговых установках применяются разные типы приводов стругов и конвейеров, с электрическим или пневматическим двигателями. Наиболее часто встречаются приводы

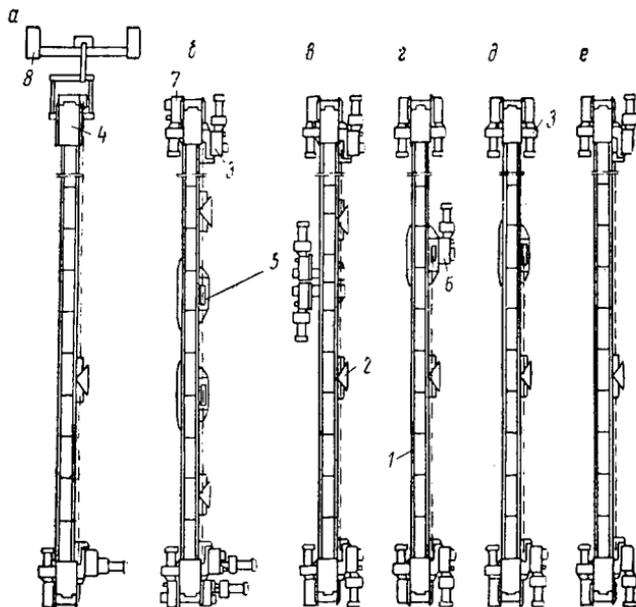


Рис. 118. Варианты размещения приводов стругов фирмы «Вестфалия-Люнен»:

1 — конвейер; 2 — струг; 3 — привод струга; 4 — натяжная головка конвейера; 5 — натяжная головка тяговой цепи струга; 6 — привод промежуточной головки; 7 — привод конвейера; 8 — подвесное устройство конвейера

с электрическим двигателем. Струги снабжаются одним-двумя и более приводами, что зависит от длины лавы, ее производительности и т. д.

Наиболее типичными из всех существующих приводов струговых установок за рубежом являются приводы стругов фирмы «Вестфалия-Люнен». Эта фирма в последние годы унифицировала конструкции приводов для своих струговых установок. Приводы снабжаются асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором разной мощности, гидромuftами фирмы «Фойт» и другими предохранительными устройствами от перегрузки. Возможные варианты расположения приводов в струговых установках фирмы «Вестфалия-Люнен» представлены на рис. 118. Приводы стругов обычно встроены в конвейер. На рис. 118, а

показана струговая установка, имеющая один привод струга и один привод конвейера. Они смонтированы на приводной головке конвейера, которая размещается в нижней части лавы.

Верхняя натяжная головка цепи конвейера соединена при помощи тяги с подвесным устройством, служащим для предотвращения сползания конвейера вниз лавы.

Часто применяются струговые установки, снабженные двумя приводами (рис. 118, *е*). Они размещаются обычно на концах конвейера и работают синхронно. Струг в этих установках может свободно работать в обоих направлениях лавы. Опыт показывает, что такие струговые установки целесообразно применять в лавах длиной 100—130 м.

При наличии более длинных лав на шахте необходимо переходить на выемку угля двумя одновременно работающими стругами (рис. 118, *б, в*). Каждый струг такой установки снабжен одним или двумя приводами. В первом случае приводы 3 размещены на концах лавы, а натяжные головки 5 тяговых цепей струга могут быть установлены в любом месте става конвейера, а во втором — вместо этих головок устанавливаются вторые приводы стругов. Каждый из этих стругов может работать независимо друг от друга. Конвейер такой струговой установки имеет два привода, расположенных на его концах. Такая установка под названием «Вальсум» успешно применяется на шахтах ФРГ.

На рис. 118, *г, д, е* представлены схемы струговых установок, в которых помимо основных приводов струга, расположенных на концах забойного конвейера, предусмотрена промежуточная головка тяговой цепи струга либо с приводом 6 (рис. 118, *г*), либо без такового (рис. 118, *д*). Такие установки предназначены для работы в лавах с горногеологическими нарушениями (пережимы пласта, сбросы и т. д.). Они позволяют временно исключить эти нарушения из рабочей зоны струга.

Промежуточные головки тяговой цепи струга без привода и с приводом представлены соответственно на рис. 119, *а, б*. Общими элементами их являются салазки 1 и 2, которые связаны между собой шарнирно при помощи тяг. Между салазками размещена секция става конвейера. Салазки 2 служат опорой для направляющей звездочки тяговой цепи. При натяжении последней салазки поворачиваются относительно друг друга и прижимаются к бортам конвейера, создавая при этом требуемое сопротивление перемещению их вдоль оси става конвейера. Это сопротивление пропорционально натяжению тяговой цепи струга. К салазкам 2 может быть прикреплен промежуточный привод струга (рис. 118, *б*). Устройство салазок таково, что они позволяют устанавливать промежуточную головку в любом месте става конвейера. Промежуточный привод целесообразно размещать на ставе конвейера со стороны выработанного пространства, так как в этом случае требуется проходить нишу короче

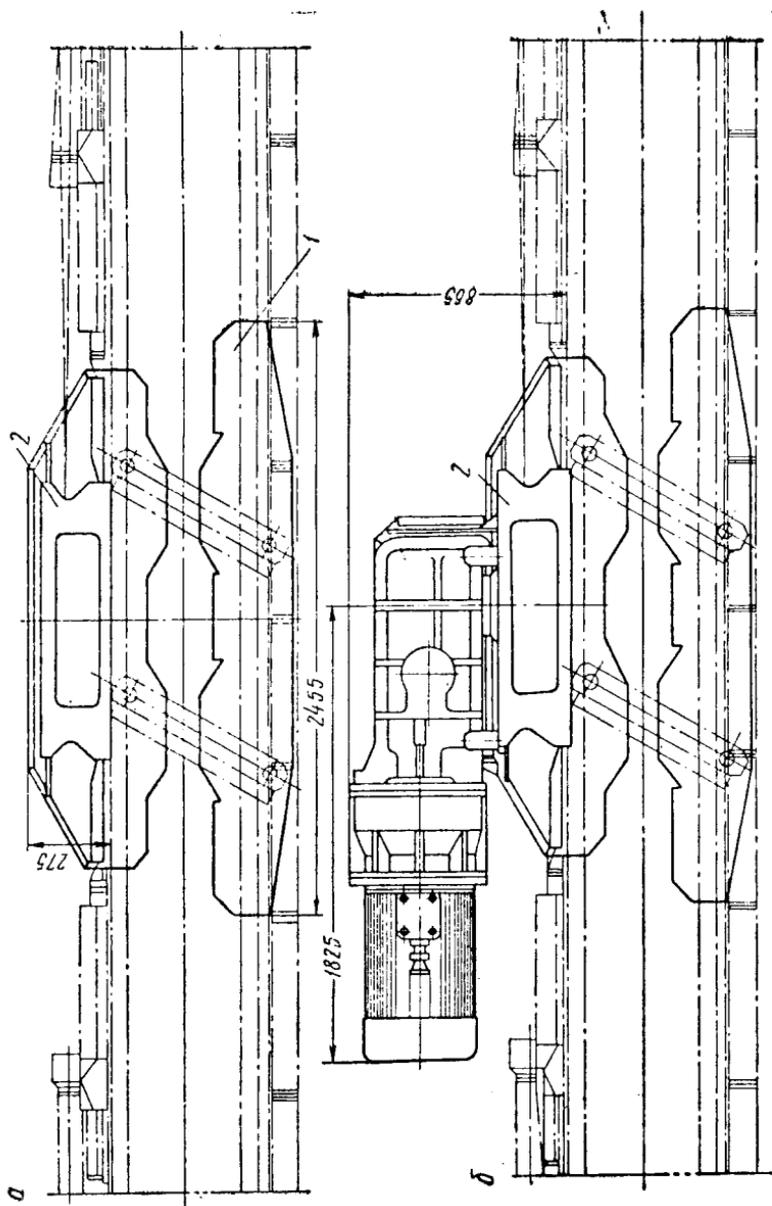


Рис. 119. Устройство промежуточных головок привода струга без двигателя (а) и с двигателем (б)

и меньшей глубины по сравнению с пишей, когда этот привод располагается со стороны забоя.

Главные и промежуточные приводы стругов фирмы «Вестфалия-Люнен» состоят из редукторов, электрических двигателей с внешним обдувом и гидромуфт. При этом редукторы строятся либо только с цилиндрическими зубчатыми колесами, либо с цилиндрической и конической передачами. В первом случае ось

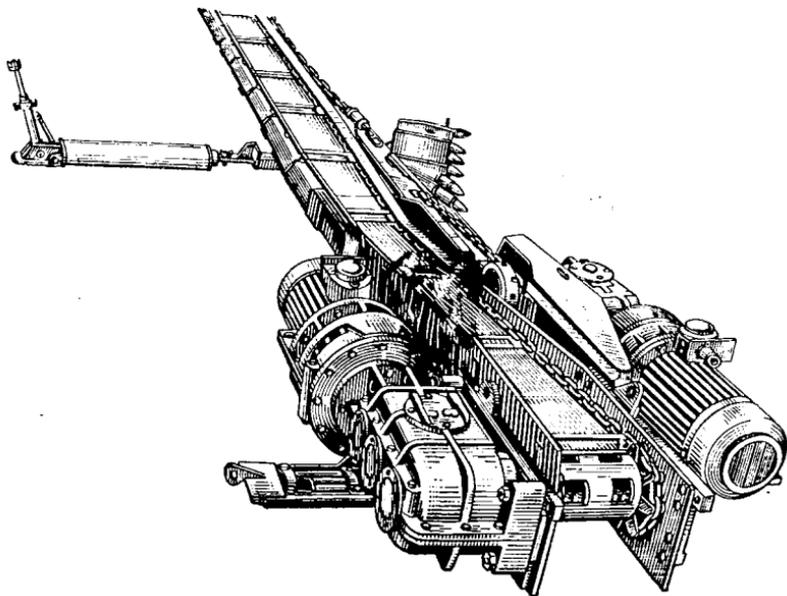


Рис. 120. Общий вид струговой установки с расположением приводов параллельно конвейеру

электродвигателя располагается перпендикулярно оси става конвейера, а во втором — параллельно.

Наличие таких редукторов позволяет получить различные сочетания числа электродвигателей для привода струга и их взаимного расположения, чем достигается минимальная площадь незакрепленного пространства над приводами струга и конвейера.

На рис. 120 представлен общий вид приводов струга и конвейера фирмы «Вестфалия-Люнен» с расположением оси электродвигателей параллельно оси става конвейера. Приводы конвейера располагаются обычно со стороны выработанного пространства, а приводы струга — со стороны забоя. Приводы смонтированы на специальной лыже, при помощи которой они передвигаются к забюю. Каждый редуктор состоит из трех пар зубчатых передач, одна из которых является конической. Последняя связана с выходным валом гидромуфты.

На рис. 120, с левой стороны показан пневматический домкрат, служащий для передвижения става конвейера к забою, и упорная стойка. Корпус пневмодомкрата сделан овальной формы, которая создает некоторые удобства людям, передвигающимся по лаве.

На рис. 121 представлена струговая установка фирмы «Вестфалия-Люнен». Струг ее имеет два привода, размещенных на концах конвейера, а оси их двигателей расположены перпендикулярно оси става конвейера. По своей конструкции и мощности эти приводы одинаковы. Они снабжены трехступенчатыми зубчатыми редукторами, которые имеют цилиндрические колеса, работающие в масляных ваннах.

Валы электродвигателя 1 и гидромуфты 2 соединены между собой зубчатой муфтой. Выходной вал гидромуфты присоединен к валу редуктора 3. При этом следует отметить, что, как показал опыт эксплуатации такой установки на шахте № 27 треста Снежнянантрацит (Донбасс), гидромуфта не предохраняет привод струга от перегрузки, а лишь сглаживает пики его нагрузки. Поэтому в каждом редукторе предусмотрена предохранительная шпилька, которая срезается при силе тяги струга свыше 19—22 т. Эта шпилька расположена снаружи редуктора, что обеспечивает легкий доступ к ней.

В качестве тяговой цепи струга применена калиброванная длиннозвенная цепь с шагом 86 мм. Рабочее и разрывное усилия ее соответственно равны 18,5 и 57 т. Скорость движения струга составляет $v = 0,38$ м/сек.

При установленной мощности электродвигателя каждого привода струга 33 кВт и общей мощности двух приводов 66 кВт, суммарная потребляемая ими мощность при работе на шахте № 27 треста Снежнянантрацит составила лишь 32 кВт. Таким образом, мощность электродвигателей привода струга на этой шахте была использована далеко не полностью.

Что касается конвейера струговой установки, которая эксплуатировалась на той же шахте, то он снабжен тремя приводами, один из которых расположен в верхней части лавы, а два — в нижней ее части. При этом оси двигателей 4 и 5 нижних приводов расположены параллельно и перпендикулярно оси става конвейера, а верхнего — параллельно оси става конвейера. Каждый привод конвейера снабжен гидромуфтой 6 фирмы «Фойт» и приводится в действие электродвигателем с короткозамкнутым ротором с внешним обдувом мощностью 33 кВт. Таким образом, суммарная установленная мощность привода составляет 3×33 кВт. В приводах конвейера применены трехступенчатые зубчатые редукторы с общим передаточным числом 38. Скорость движения скребковых цепей конвейера равна 0,65 м/сек. Расчетная производительность при длине конвейера 200 м доходит до 300 т/ч.

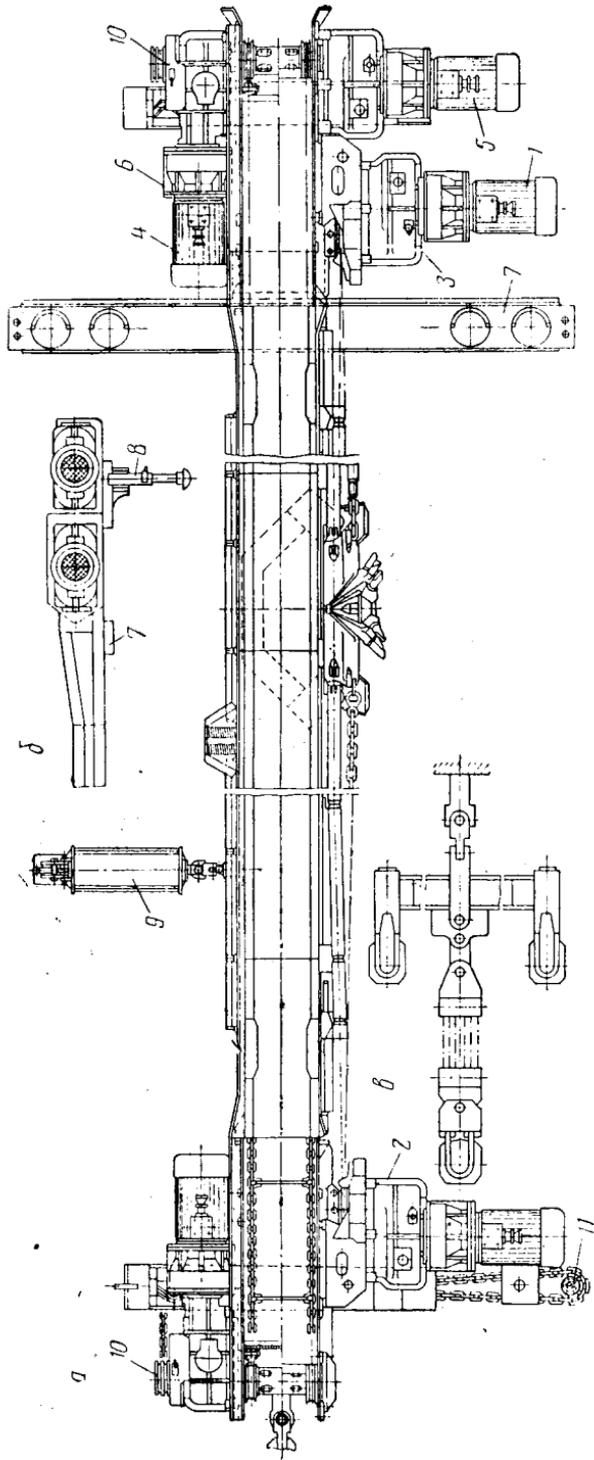


Рис. 121. Общий вид струговой установки с расположением приводов параллельно и перпендикулярно конвейеру

Вблизи нижних приводов струга под ставом конвейера расположена балка 7, которая закрепляется стойками между кровлей и почвой пласта; она служит опорой нижним приводам струговой установки. Эти приводы обычно располагаются в откаточном штреке на специальной подставке рамной конструкции 8 (рис. 121, б). Такое расположение их создает благоприятные условия для перегрузки, угля с забойного конвейера в вагонетки или конвейеры на штреке и устраняет случаи заштыбовки холстой ветви скребковой цепи забойного конвейера.

Передвижка конвейера на забой производится пневмодомкратами 9 (рис. 121, а), установленными вдоль лавы через каждые 5—6 м. Каждый домкрат питается сжатым воздухом давлением 4 атм и развивает усилие до 1100 кг. Величина хода поршня пневмодомкрата составляет 700 мм.

Сжатый воздух подается к пневмодомкратам либо от центральной компрессорной станции, расположенной на поверхности, либо от передвижного компрессора производительностью около 4,3 м³/мин, размещенного на нижнем штреке около лавы. Такой компрессор применялся на шахте № 27 треста Снежнянантрацит.

Подача сжатого воздуха к пневмодомкратам осуществляется при помощи воздухопровода, проложенного сбоку конвейера со стороны выработанного пространства.

Одновременно с конвейером передвигаются приводы струга и конвейера. Для этой цели на выходных валах редукторов приводов конвейера установлены звездочки 10, на которые надеваются цепи, пропущенные под барабанами конвейера и закрепленные за упорные стойки 11. Соединение звездочек с валами редукторов производится при помощи храповых механизмов.

На рис. 121, в показано подвесное устройство, служащее для предотвращения сползания конвейера вниз по лаве. Это устройство рассчитано на нагрузку 60 т. При помощи полиспаста конвейер может быть подтянут снизу вверх лавы.

В табл. 41 представлены возможные сочетания мощности

Таблица 41

| Привод | Число приводов | Мощность привода, квт | Общая мощность, квт | Суммарная мощность, квт | Максимальная производительность конвейера, т/ч |
|---|----------------|-----------------------|---------------------|-------------------------|--|
| <i>1. Короткая лава или мало мощный пласт</i> | | | | | |
| Струга | 1 | 22 | 22 | 66 | 80 |
| Конвейера типа PFO/PFOO | 2 | 22 | 44 | | |
| Струга | 1 | 40 | 40 | 84 | |
| Конвейера типа PFO/PFOO | 2 | 22 | 44 | | |
| Струга | 2 | 22 | 44 | 88 | |
| Конвейера типа PFO/PFO | 2 | 22 | 44 | | |

| Привод | Число приводов | Мощность привода, квт | Общая мощность, квт | Суммарная мощность, квт | Максимальная производительность конвейера, т/ч |
|---|----------------|-----------------------|---------------------|-------------------------|--|
| <i>2. Нормальная длина лавы, до средней мощности пласта</i> | | | | | |
| Струга | 1* | 22 | 22 | 110 | 250 |
| Конвейера типа PFO | 4 | 22 | 88 | | |
| Струга | 1* | 40 | 40 | 128 | 250 |
| Конвейера типа PFO | 4 | 22 | 88 | | |
| Струга | 2 | 40 | 80 | 168 | 250 |
| Конвейера типа PFO | 4 | 22 | 88 | | |

3. Длинная лава, средняя мощность пласта

| | | | | | |
|--------------------|---|----|-----|-----|-----|
| Струга | 2 | 40 | 80 | 160 | 300 |
| Конвейера типа PFI | 2 | 40 | 80 | | |
| Струга | 2 | 40 | 80 | 240 | 300 |
| Конвейера типа PFI | 4 | 40 | 160 | | |

* Длина лавы до 120 м.

приводов струга и конвейера, рекомендуемых фирмой «Вестфалия-Люнен» для своих струговых установок.

Из таблицы видно, что эта фирма изготавливает три вида унифицированных струговых установок, каждый из которых приспособлен к определенным горнотехническим условиям.

Ставы указанных в таблице конвейеров состоят из рештаков с открытой нижней ветвью скребковой цепи.

Со стороны выработанного пространства на рештаки конвейера навешиваются дополнительные борта высотой до 560 мм, предотвращающие просыпание угля и позволяющие аккумулировать до 0,8 т угля на 1 пог. м конвейера.

Питание энергией электродвигателей приводов струга и конвейера и управление ими осуществляется различным образом в разных установках. Так, в одноструговой установке к верхним приводам энергия подводится либо от общего распределительного устройства, расположенного в нижнем штреке, либо от отдельного распределительного устройства, размещенного в верхнем штреке. Преимущество последней схемы питания энергией электродвигателей состоит в том, что отпадает надобность прокладки силового кабеля вдоль лавы к верхним приводам струговой установки. Однако такая схема вызывает необходимость иметь два распределительных устройства и прокладывать по верхнему штреку дополнительный силовой кабель.

Что касается управления электродвигателями приводов струговых установок, то оно в обоих случаях производится дистанционно с общего пульта, расположенного на нижнем штреке у погрузочного пункта.

При одновременной работе в лаве двух стругов питание энергией их электродвигателей рекомендуется производить двумя обособленными системами. В этом случае от каждого распределительного устройства вдоль лавы прокладывается к соответствующему двигателю промежуточного привода только один питающий кабель. Благодаря этому упрощается эксплуатация электрического оборудования струговой установки.

Питание электродвигателей струговой установки фирмы «Вестфалия-Люнен», работавшей на шахте № 27 треста Снежнянантрацит, производилось от общего распределительного устройства, смонтированного на нижнем штреке. Оно легко передвигалось по штреку через каждые 50—60 м подвигания лавы. Распределительное устройство состоит из двух реверсивных пускателей для электродвигателей привода струга, трех пускателей для электродвигателей конвейера с ручным реверсированием, трех выключателей для последовательного пуска электродвигателей конвейера, шинных коробок, кнопок «Ход» и «Стоп», смонтированных на пульте управления.

В нижней и верхней частях лавы на конвейере установлены концевые выключатели, при помощи которых осуществляется реверс двигателей струга или выключение их на время передвижки конвейера к забою.

Электродвигатели приводов струга и конвейера заблокированы между собой таким образом, что вначале в определенной последовательности производится запуск приводов конвейера и лишь после этого можно пустить электродвигатели привода струга.

В струговых установках обязательно предусматривается сигнализация, которая нередко совмещается с осветительной сетью лавы. Осветительная сеть состоит из отдельных секций длиной по 24 м каждая с расстоянием между светильниками в 6—12 м. У каждого светильника имеется сигнальная нажимная кнопка. Подача световых сигналов может производиться, таким образом, с любого места лавы и от приводных головок струговой установки.

Кроме световой сигнализации нижняя и верхняя приводные головки струговой установки связаны между собой телефонами. Иногда телефоны устанавливаются также в лаве.

ДИНАМИЧЕСКИЕ СТРУГИ

32. Общие положения и предпосылки для создания динамических стругов

Динамические струги отделяют уголь от массива путем периодического нанесения ударов по забою, сочетающихся с перемещением струга вдоль по лаве. Удары наносятся или непосредственно рабочим инструментом струга, периодически выходящим из контакта с углем и затем вновь входящим в контакт с определенной скоростью, или путем нанесения ударов по хвостовым частям инструмента, прижатого к забою и не выходящим при этом из контакта. В обоих случаях высокие местные динамические напряжения в угле, вызванные ударом, разрушают связи массива и приводят к отделению угольной стружки.

Естественно, что динамический струг из-за необходимости в механизме, создающем удары, и из-за необходимости в кабеле или шланге сжатого воздуха для питания энергией, значительно сложнее по конструкции и в эксплуатации нежели обычный статический струг, поэтому машины данного класса имеют перспективы применения только в тех областях, где обычный статический струг оказывается неприменимым или малоэффективным.

Большой опыт эксплуатации струговых установок со статическими стругами, накопленный к настоящему времени как в Советском Союзе, так и за рубежом, показывает, что область эффективного применения этого весьма прогрессивного способа ограничена мягкими и средней крепости углями. При крепких углях струги могут применяться только в лавах, где имеет место интенсивный отжим угля, т. е. быстрое и значительное разрушение массива в зоне забоя горным давлением, облегчающее работу по отделению стружки. К сожалению, до настоящего времени не создано вполне надежных методов и приборов, позволяющих установить количественные показатели, характеризующие сопротивление углей строганию, и границы применимости различных способов отделения угля. Из двух основных факторов, определяющих это сопротивление, — крепость угля и его нарушенность вследствие отжима — особенно затруднительна оценка последней, так как она зависит от строения всего горного массива, от подработки его выработками, от глубины залегания, способа управления кровлей и, наконец, от длительности паузы между двумя проходами струга, т. е. от времени отжима.

По данным исследований, проведенных в ФРГ [74], граница для эффективного использования статических стругов типа «Вестфалия-Люнен» лежит в интервале крепости углей

$$\psi_{\text{ш}} = 32 - 40 \text{ кг/см}^2,$$

где ψ_w — крепость угля по прибору Вильмса (см. рис. 80).

На рис. 122 представлены результаты обследования ряда пластов Рурского бассейна и Верхне-Баварского лигнитового месторождения с указанием пластов, выработок, где определялась крепость и способы выемки угля в лавах, и с указанием предполагаемой границы струговой выемки статическими стругами [74].

В области $\psi_w > 40$, по мнению немецких специалистов, выемка способом резания, т. е. выемка врубовыми машинами и комбайнами пока более эффективна. На эту область распространения и могут претендовать динамические струги.

Хотя точных данных об удельном весе в общей добыче углей крепостью меньше 40 кг/см^2 по Советскому Союзу не имеется, но если в первом приближении положить, что крепость $\psi_w = 40 \text{ кг/см}^2$ соответствует крепости по М. М. Протодьяконову (младшему) $f \cong 0,4 \div 0,6 \text{ кг/мм}^2$, то из имеющихся данных [65] можно уверенно сказать, что их количество составляет 20—40%, т. е. область применения динамических стругов может быть весьма широкой.

Нагрузочные диаграммы. Струговой выемке сопутствует существенный недостаток, не проявляющийся в столь значительной мере при комбайнах и врубовых машинах, обусловленный механикой процесса резания. Большая толщина стружки связана с высокими средними и особенно высокими пиковыми усилиями резания. У комбайнов режущего типа большое количество одновременно работающих резцов при относительно малой толщине стружки ведет к существенному сглаживанию пик на диаграмме суммарных усилий [75]. Число одновременно работающих резцов струга относительно мало и их рассредоточение не столь велико, чтобы исключалось их взаимовлияние; выкол крупных кусков угля зачастую обуславливает совпадение моментов пик для ряда резцов. В итоге диаграмма нагрузки на струг выравнивается в меньшей мере и остается весьма беспокойной, с высокими значениями пик. Все силовые элементы струговой установки — тяговый орган, направляющий став, крепление концов, механизмы привода — должны рассчитываться на высокие пиковые усилия, при относительно невысоких средних усилиях. Это сопряжено с конструктивными трудностями и осложняет эксплуатацию установок.

На рис. 123 показаны кривые для средних и максимальных значений тягового усилия на пластах с разными значениями сопротивления ψ_w [74].

Из графика следует, что коэффициент неравномерности нагрузочной диаграммы имеет весьма высокие значения, колеблющиеся для разных пластов в интервале

$$k_{\sigma} = \frac{P_{x \text{ max}}}{P_{x \text{ сред}}} = 2,4 - 3,3 \text{ и выше.}$$

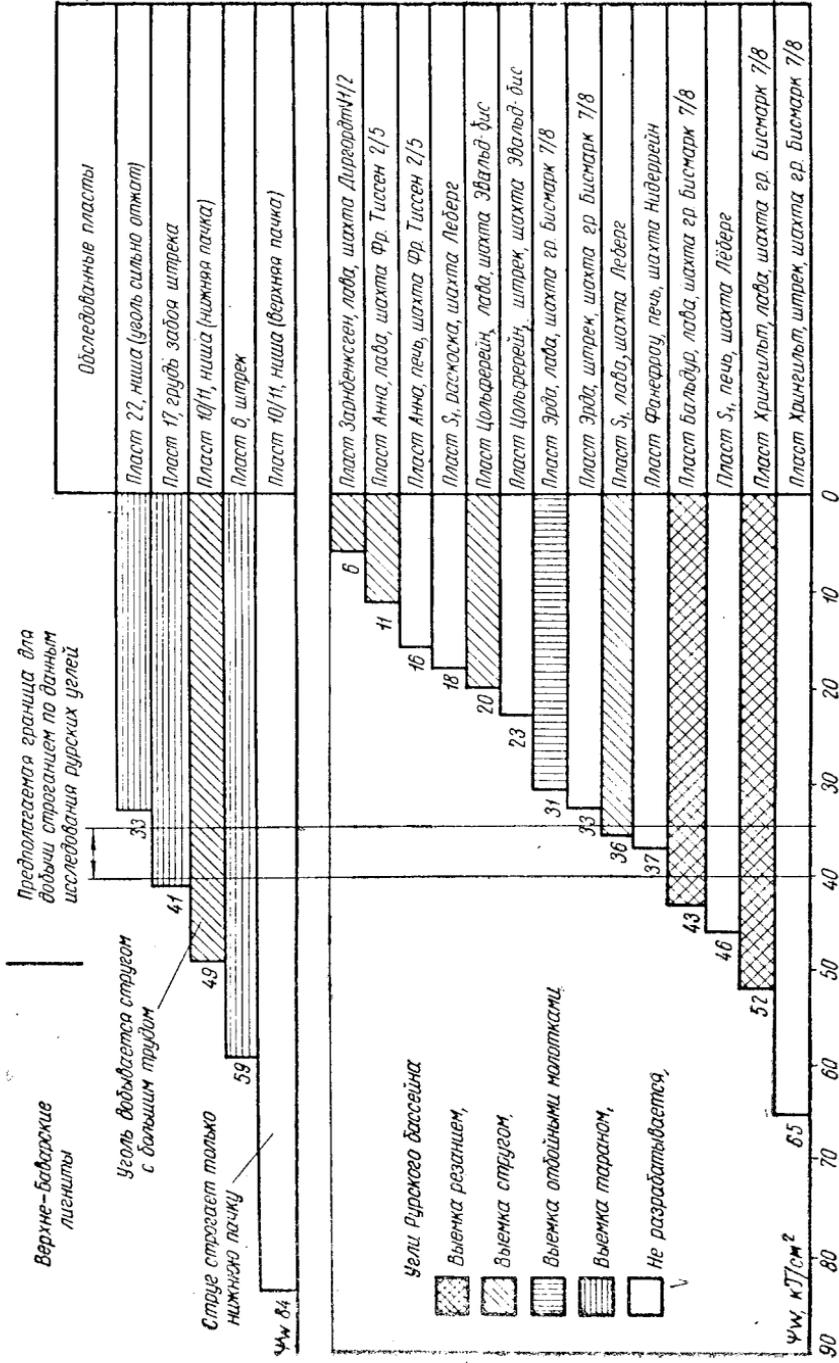


Рис. 122. Сопротивление резанию углей Верхне-Баварского месторождения и Рурского бассейна

Неравномерность нагрузочной диаграммы, ограничивающая область выемки статическим стругом, не имеет в принципе существенного значения для динамического струга, как это будет видно ниже.

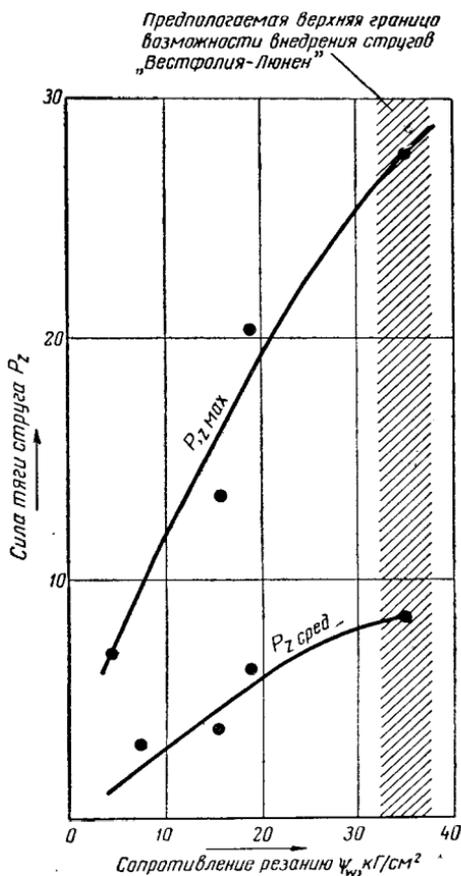


Рис. 123. Зависимость максимальных и средних тяговых усилий на стругах от сопротивления резанию ψ_w

Основное применение удара — разрушение твердых тел.

Рассмотрим на простейшем примере соударения двух цилиндрических стальных стержней процесс протекания удара и зависимости между скоростями, усилиями и другими параметрами [76].

Пусть молоток *A* с цилиндрическим бойком и невесомой рукояткой, падая с высоты *H*, равной 1 м, наносит удар по свободно подвешенному молотку *B*, имеющему ту же форму и вес (рис. 124). Полагаем, что соударение происходит одновременно по всем точкам торцовых поверхностей.

Запасенная в механизме динамического струга кинетическая энергия расходуется периодически на срезание пик нагрузки, что ведет к выравниванию нагрузочной диаграммы в элементах установки.

Удар в технике применяется в тех случаях, когда необходимо простейшими средствами получить высокие значения усилий в течение короткого времени действия. Так, обычный молоток позволяет запасти во время разгона под небольшим давлением некоторое количество живой силы и сообщить ударяемому телу в течение очень короткого времени ударный импульс с весьма значительной пикой усилия. Таким образом, молоток является своеобразным редуктором, передаточное число которого опре-

Пусть молоток выполнен из стали с модулем упругости $E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$, размеры бойка: $d = 4 \text{ см}$, $l = 10 \text{ см}$. Вес такого молотка составит около 1 кг, а живая сила в момент соприкосновения будет 1 кгм.

Скорость молотка A в момент соприкосновения составит

$$v = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1} = 4,4 \text{ м/сек.}$$

С точки зрения механики рассматриваемая задача эквивалентна классической задаче Сен-Венана о соударении двух стержней, каждый из которых имеет скорость $\frac{v}{2}$ [76]. С момента соприкосновения вдоль обоих молотков со скоростью звука распространяются волны сжатия.

Скорость звука в стали

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^6 \cdot 981}{7,85 \cdot 10^3}} = 0,51 \cdot 10^6 \text{ см/сек.}$$

Напряжение сжатия

$$\sigma = E \frac{v}{2c} = 2,1 \cdot 10^6 \frac{440}{2 \cdot 0,51 \cdot 10^6} = 905 \text{ кг/см}^2.$$

Усилие, тормозящее молоток A ,

$$P = F \sigma = \frac{\pi}{4} d^2 \sigma = 0,785 \cdot 4^2 \cdot 905 = 11\,400 \text{ кг.}$$

Время соударения равно времени пробега волны сжатия вдоль молотка плюс время обратного пробега отраженной волны расширения

$$T = 2 \frac{l}{c} = 2 \frac{10}{0,51 \cdot 10^6} = 3,92 \cdot 10^{-5} \text{ сек.}$$

На первый взгляд может показаться парадоксальным, что легкий молоток может вызвать при ударе давление в 11,4 т. Однако не следует забывать, что длительность импульса составляет всего около четырех сотысячных доли секунды.

Заметим, что при другой форме соударяющихся тел длительность соударения и величины усилий будут несколько иными.

Проделанный элементарный расчет дает возможность пояснить следующие положения, весьма важные для понимания принципа действия и возможностей динамических стругов:

1. Напряжения в материале пропорциональны скорости соударения.

2. Напряжения при ударе пропорциональны корню квадратному из модуля упругости материала.

3. Если тело в силу своей формы обладает высокой упругой податливостью (например — пружина), то удар не может вызвать в нем высоких напряжений.

4. Для разрушения ударом наиболее пригодны материалы

с высоким модулем упругости и с низкими временными сопротивлениями (например — стекло).

5. Податливые материалы типа резины амортизируют удары.

6. Высокие напряжения при ударе распространяются не только по разрушаемому материалу, но и по ударяющему телу и могут быть для него опасны.

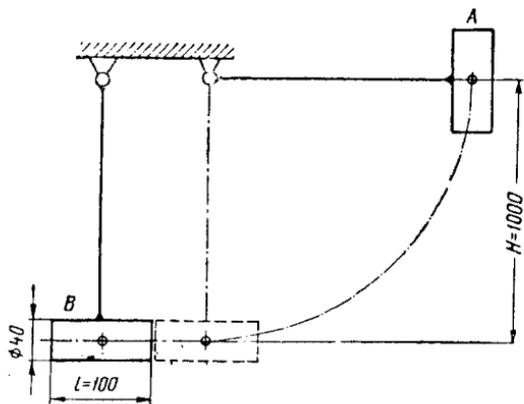


Рис. 124.

Отметим, кроме этого, следующее. Упругие волны сжатия звуковой скорости, распространяясь в деталях машины, отражаясь в виде волн растяжения от свободных поверхностей, могут, складываясь, создавать места высоких концентраций

напряжений, где происходит разрушение материала. Примером служит рис. 125, где показаны схемы разрушения хрупких тел различной формы под действием ударных импульсов P_t [77].

напряжений, где происходит разрушение материала. Примером служит рис. 125, где показаны схемы разрушения хрупких тел различной формы под действием ударных импульсов P_t [77].

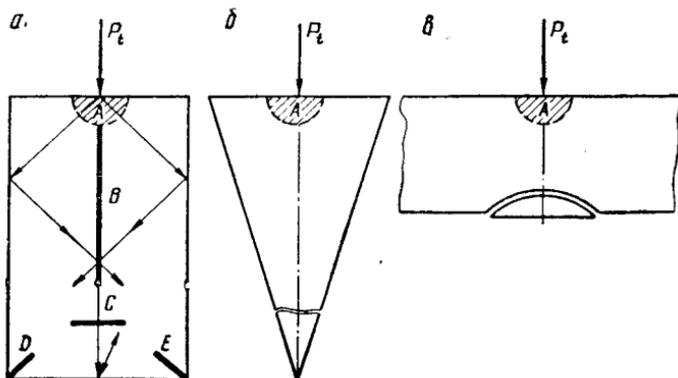


Рис. 125. Схема разрушения тел ударным импульсом P_t :
а — цилиндра; б — конуса; в — плиты

При приложении ударного импульса P_t вдоль оси цилиндра (рис. 125, а) имеет место область разрушения А вокруг точки приложения, область В, разрушенная отраженным от боковой поверхности импульсом растяжения, и области С, D, E, также разрушенные растягивающими напряжениями.

Сходная картина наблюдается при разрушении конуса (рис. 125, б), где растягивающими напряжениями отрывается вершина конуса.

Импульс P_t , приложенный перпендикулярно плите (рис. 125, в), вызывает отрыв линзы на противоположной стороне.

Приведенные примеры показывают, что определение опасных сечений и действующих напряжений в деталях, подвергающихся ударной нагрузке, достаточно сложно. Еще труднее эта задача при сложных ступенчатых конфигурациях деталей.

Опыт эксплуатации динамических стругов и других ударных механизмов показывает, что зачастую имеют место совершенно неожиданные поломки весьма массивных деталей. Это обстоятельство служило серьезным препятствием для создания ударных стругов.

Высокие напряжения, кратковременно возникающие в процессе соударения тел с высокими значениями модуля упругости, и телах высокой твердости, и связанные с этим местные разрушения, послужили поводом для неправильного представления о том, что динамические силы более эффективно разрушают твердые горные породы и что энергоемкость процесса разрушения при динамических нагрузках может быть значительно ниже, чем при статических. Однако при более глубоком исследовании этого вопроса экспериментальными методами ряду исследователей удалось показать обратное [78]. Энергетические удельные затраты при динамическом разрушении выше, чем при статическом, что, по-видимому, связано с рассеянием энергии упругими волнами и ростом сил сопротивления разрушаемых материалов с ростом скорости приложения нагрузки.

Таким образом, следует считать, что не малая энергоемкость процесса разрушения, а возможность получения высоких усилий создает условия для применения динамических стругов.

Потребная энергия удара. Вопрос о потребной энергии удара для динамического струга, необходимой для эффективного отделения стружки, в зависимости от толщины и высоты срубаемого слоя угля и в зависимости от крепости последнего в настоящее время остается открытым и его точное решение не может быть найдено без постановки обширных испытаний динамических стругов в различных условиях. Также обстоит пока дело с установлением оптимальных значений для скорости ударов и частоты нанесения последних.

Все же некоторая весьма приближенная оценка потребной энергии удара может быть сделана исходя из опыта работы статических стругов.

Средние тяговые усилия на статических стругах, работающих на мягких и отжатых углях, коэффициент крепости которых лежит около значения $f = 0,5$, достигают 10 т. Потери на трение струга о почву и направляющие по данным опытов можно оценить величиной 50%, так что на процесс отделения угля расходуется усилие $0,5 \cdot 10 = 5$ т. На крепких углях, для которых крепость по проф. М. М. Протодяконову можно принять около

$f = 2$, среднее усилие на отделение составит $\frac{2}{0,5} \cdot 5 = 20$ т. С тем чтобы упругая податливость забоя и штыбковая подушка не оказывали сильного влияния на работу струга, продвижение последнего за удар по наблюдениям за работой динамических стругов должно быть не менее 5 мм в среднем. При статическом резании затрата работы на этом пути составит $20\,000 \cdot 0,005 = 100$ кгм. Оценивая рассеяние энергии при динамическом приложении нагрузки коэффициентом 1,5, получим потребную энергию удара $1,5 \cdot 100 = 150$ кгм. Таков порядок цифр, характеризующий потребную энергию удара. Нужно, однако, иметь в виду, что принятые тяговые усилия на статических стругах относятся к глубинам резания порядка 10 см при высоте срезаемого слоя $40,0 \div 60,0$ см.

При числе ударов 1500 в минуту полезная мощность механизма составит

$$\frac{1500 \cdot 150}{60 \cdot 102} = 44 \text{ квт.}$$

Опыт испытания динамических стругов АС-1 и ВХ-1 [79] показал, что развиваемая ими энергия ударов в диапазоне $20 \div 40$ кгм при числе ударов 750 в минуту была недостаточна для эффективного срубания стружки толщиной $150 \div 250$ мм при высоте $55 \div 75$ см. Однако есть основания считать, что при увеличении энергии удара до определенной выше величины 150 кгм требуемый эффект был бы достигнут.

33. Основные принципы, схемы, конструкции, элементы теории и результаты испытаний динамических стругов

Все предложенные к настоящему времени конструкции динамических стругов можно разделить на две группы: **ударные струги**, разрушающие массив с помощью режущего инструмента, находящегося в постоянном контакте с забоем, по хвостовой части которого специальным механизмом периодически наносятся удары, и **вибрационные струги**, у которых режущий инструмент совершает колебательные движения, периодически выходя из контакта с углем. Вибрационные струги в свою очередь можно разделить на струги с вибрацией всего корпуса и на струги с вибрацией инструмента. Для обеих групп динамических стругов имеются специфические достоинства и недостатки, обусловившие развитие конструкций в обоих направлениях.

Ударные струги. Большинство известных ударных стругов имеют в качестве исполнительных органов одну или несколько пик (долотьев), по хвостовикам которых наносятся удары одним или несколькими бойками. В этом отношении принцип действия этих стругов идентичен принципу работы отбойного молотка или пневматического зубила.

Основной недостаток, присущий данной группе стругов, за-

ключается в наличии жесткого удара между звеньями механизма, причем обычно этот удар происходит со значительной скоростью между соударяющимися деталями и с переносом значительного количества энергии. Обеспечение прочности узлов и деталей в условиях такой нагрузки представляется чрезвычайно сложным делом, что подтверждено всей практикой испытания ударных стругов, а также практикой создания электромолотков. При всем этом ударные струги обладают следующими достоинствами: отсутствие потери контакта реза с углем предотвращает образование в месте контакта штыбовой подушки, амортизирующей удары и снижающей эффективность работы; достаточно легко конструктивно обеспечивается требуемая энергия удара; отсутствие вибраций корпуса гарантирует от сильного нагрева места соприкосновения с направляющим устройством; обеспечена в определенной мере независимость режима работы ударного механизма от натяжения каната или цепи; включение ударного механизма производится обычно автоматически при движении пики в корпус под давлением угля.

Одна из ранних попыток создания ударного струга на базе группы обычных отбойных молотков состояла в следующем. К люльке неподвижно крепились один отбойный молоток, производящий подбойку, и три поворотных молотка, управляемых рабочим из люльки. Пневматический мотор в 2 л. с. приводил в движение шкив, охватываемый канатом, закрепленным по концам лавы, что приводило люльку в движение. Конструкция относится к 1938 г. и в настоящее время представляет исторический интерес, как пройденный этап, к которому, однако, часто возвращаются изобретатели.

Следующим этапом развития ударных стругов было объединение пневматических молотков в общий блок и выполнение отбойного инструмента в виде широких долотьев, образующих сплошную режущую кромку. Блоки встраивались в лемеха обычного статического струга, состоящего из двух шарнирно связанных половин. Построенный по такой схеме струг Флоттмана имел следующие параметры.

Число молотков — 4 на сторону (всего на струге 8);

Число ударов молотка — 780 в минуту;

Энергия удара бойка — 7,8 кГм;

Расход воздуха на молоток — 4 м³/мин;

Вес струга — 2200 кг.

Струг Флоттмана не получил распространения по причине высокого расхода сжатого воздуха и малой эффективности. Элементарный расчет показывает, что при полной передаче забойной энергии удара струг Флоттмана развивал полезную мощность на молотковом механизме всего

$$\frac{4 \cdot 7,8 \cdot 780}{60 \cdot 102} \approx 4 \text{ квт.}$$

В последние годы в Англии был построен опытный образец пневматического ударного струга Хольмана (рис. 126), который характерен относительно легкой и компактной конструкцией. Энергия удара в этом струге составляет 12,4 кГм, что вряд ли сможет обеспечить эффективную работу.

Значительным шагом вперед в развитии ударных стругов был

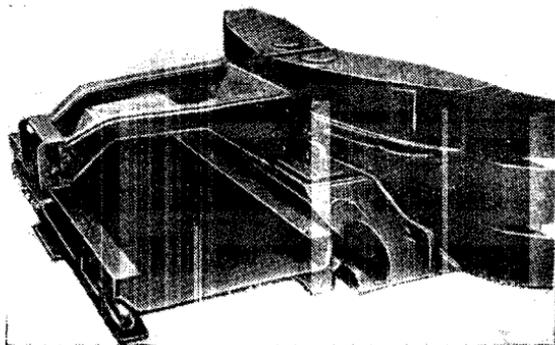


Рис. 126. Ударный струг фирмы «Хольман» (Англия)

построенный в 1950 г. заводом «Пневматика» по предложению инж. Л. Я. Григорьева динамический струг УДС-1 (рис. 127). Струг состоит из двух шарнирно связанных половин. В каждой половине имеется электродвигатель, приводящий в движение через зубчатую передачу коленчатый вал с четырьмя кривошипами. Шатунами приводятся в движение четыре цилиндрических ползуна, внутри которых находятся бойки, отделенные от ползунов воздушными подушками. Таким образом, имеется объединенный в общий блок механизм четырех электропневматических молотков.

Техническая характеристика

| | |
|--|---------|
| Мощность двигателей, <i>квт</i> | 2 × 20 |
| Число ударов одного молотка в минуту | 600—800 |
| Расчетная энергия удара, <i>кГм</i> | До 25 |
| Вес струга, <i>т</i> | 6 |

К достоинствам струга следует отнести относительно высокую мощность молоткового блока и использование электроэнергии, а не пневмоэнергии для питания струга, что не только значительно дешевле, но и значительно более удобно при прокладке коммуникации за движущейся машиной.

Струг УДС-1 был испытан с положительными результатами в 1950—52 гг. на весьма крепком антрацитовом пласте K_1 на шахте № 20 треста Гуковуголь [79]. Несмотря на ряд неблагопри-

ятных условий (включения кварцита и колчедана, мощный прослойк глинистого сланца в зоне работы долотьев струга, отсутствие отжима угля) стругом было добыто за период экспериментов свыше 2000 т антрацита и доказана принципиальная работоспособность конструкции. К его недостаткам следует отнести аварийность инструмента, обусловленную динамической нагруз-

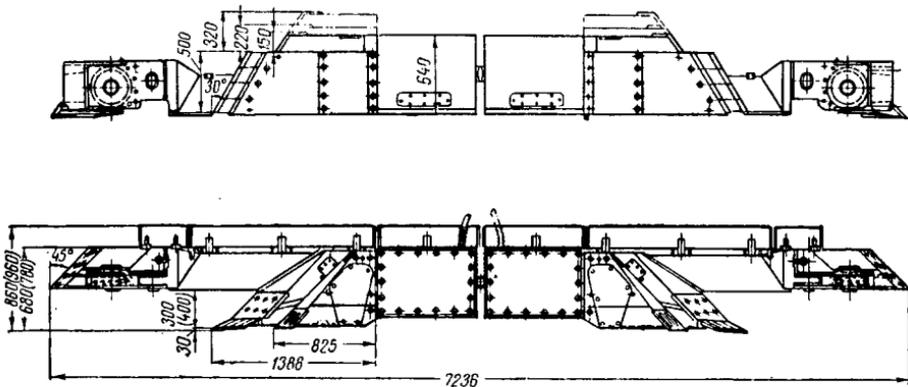


Рис. 127. Ударный струг УДС-1 с электро-пневматическими молотками

кой и сложной формой долотьев, а также недостаточную мощность молоткового механизма, что вело к перегрузкам тяговой лебедки. В выводах комиссии отмечена перспективность доводки этой конструкции.

Параллельно со стругом УДС-1 в этих же условиях испытывался ударный струг Гипроуглемаша АС-1 (рис. 128).

Струг состоит из двух шарнирно связанных половин. В каждой половине заключен электродвигатель, приводящий в действие через одну пару зубчатых колес шатунно-кривошипный (эксцентриковый) механизм. Амплитуда колебания ползуна 10 мм. С ползуном посредством пружин связан боек, наносящий удар сразу по четырем пикам, что должно автоматически распределять общую энергию удара пропорционально сопротивлению на отдельных пиках. Масса бойка и жесткость пружин выбраны так, что частота собственных колебаний бойка около ползуна равна частоте ходов ползуна. Вследствие резонанса амплитуда колебания бойка достигает 40 мм. Расчетная энергия удара бойка равна 100 кГм. Практически при замерах эта величина не превышала 40 кГм. Струг испытан в шахте с положительными результатами [79]. Основные недостатки: частые поломки пик и пружин, недостаточная энергия удара при больших глубинах стружки (150—250 мм), большие габариты.

Техническая характеристика

| | |
|---|----------|
| Мощность двигателей, <i>квт</i> | 2 × 19 |
| Число ходов бойка в минуту | 750 |
| Вес струга, <i>т</i> | Около 10 |

Приближенная теория работы ударного механизма струга АС-1 в резонансном режиме, позволяющая оценить энергию удара, потребные величины жесткостей пружин и частоту возбуждения, разработана в процессе проектирования и расчета канд. техн. наук В. Д. Земсковым, ее основные положения сводятся к следующему.

Если принять массу бойка равной M , а суммарную жесткость рабочих пружин (рис. 129) k , то величина

$$p = \sqrt{\frac{k}{M}}$$

определяет собственную частоту колебаний бойка на ползуне. Пусть эксцентриковый вал с радиусом эксцентриситета r вращается с постоянной угловой скоростью ω . Выбирая величины p и ω достаточно близкими между собой, можно обеспечить резонансный режим работы с периодическим накоплением кинетической энергии в бойке и мгновенной отдачей ее при ударе по пикам.

Учитывая, что длина шатуна достаточно велика по сравнению с радиусом кривошипа r , уравнение движения ползуна может быть представлено формулой

$$x = r \cos \omega t. \quad (85)$$

Уравнения движения бойка в резонансном режиме при пренебрежении силами вредных сопротивлений и в предположе-

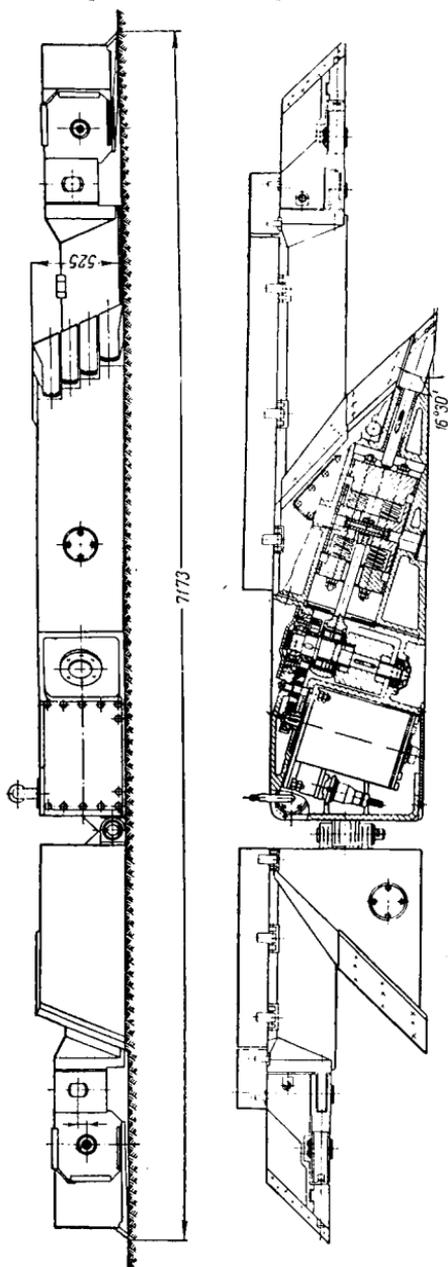


Рис. 128. Ударный струг АС-1 Гидроуглемаша

нии, что в момент $t=0$ боек наносит удар и при этом полностью теряет скорость, выразятся следующими формулами:
 путь бойка

$$x = \frac{r \omega t}{2} \sin \omega t + r \cos \omega t; \quad (86)$$

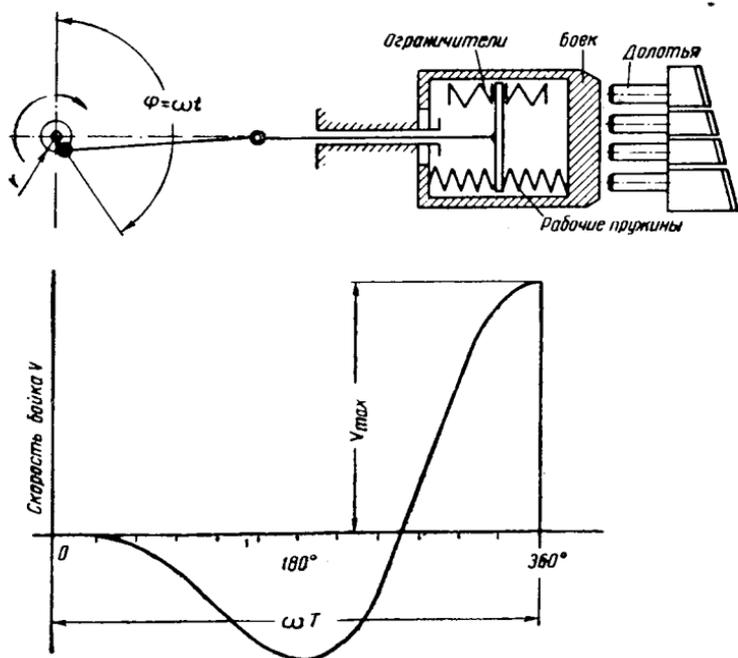


Рис. 129. Схема ударного механизма струга АС-1 и диаграмма изменения скорости бойка

скорость бойка

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{r \omega^2 t}{2} \cos \omega t - \frac{r \omega}{2} \sin \omega t. \quad (87)$$

Последнее уравнение графически представлено на рис. 129.

Приращение скорости бойка за один оборот вала составит

$$v_{\max} = r \omega \pi, \quad (88)$$

а накопленная за оборот энергия

$$\epsilon = \frac{\pi^2 r^2 \omega^2 M}{2}. \quad (89)$$

По этим формулам, задаваясь необходимой величиной энергии удара ϵ , можно подобрать требуемые конструктивные параметры механизма.

Среди многочисленных предложений, относящихся к ударным стругам, следует вкратце упомянуть о струге с электромагнитным приводом, питаемым от импульсного трансформатора предложенным канд. наук. П. В. Коваль, который провел экспериментально-исследовательские работы в этой области в Московском горном институте. В этом предложении бойки механизма являются сердечниками соленоидов и приводятся в поступательно-возвратное движение прерывистыми импульсами напряжения. При этом предельно упрощается ударный механизм струга. Идея создания электрических двигателей с поступательно-возвратным движением представляет безусловный интерес, однако до настоящего времени не удалось по ряду причин создать конструкции, которые смогли бы успешно конкурировать с вращательными электродвигателями.

Представляет интерес конструкция специального бойка (рис. 130) по авторскому свидетельству № 92774, разработанная с учетом испытаний струга АС-1 и УДС-1. Известно, что помещению упругого звена между бойком и приводом ударного механизма защищает последний от воздействия упругих волн, распространяющихся от места удара по звеньям механизма. В струге АС-1 для этой цели служат стальные пружины, в струге УДС-1 — воздушная подушка.

Воздушная подушка обладает тем существенным преимуществом, что она не может быть разрушена ни при каких условиях. Однако для передачи больших количеств энергии от ползуна к бойку при ограниченных размерах механизма требуются высокие степени сжатия воздуха, что связано с повышением температуры последнего до величин, превосходящих температуру вспышки смазочных масел. Этому явления можно избежать, если давление воздуха как в правой, так и в левой полостях подушки заранее поднять выше атмосферного. Тогда при относительно невысоких степенях сжатия и связанных с этим невысоких температурах воздуха возникает возможность накопления в подушке значительного количества энергии, передаваемой периодически бойку. Система каналов, связывающих полости подушки *Б* и *В* с компрессорной камерой *А* обеспечивает автоматическую подкачку воздуха в подушку при относительном перемещении бойка по ползуну до давления, при котором потери сквозь уплотнения уравниваются количеством подкачиваемого воздуха. Для более четкого функционирования устройства возможна постановка добавочных клапанов 7 и 8, однако боек может работать и без них, используя для подкачки каналы *Л* и *М*.

Вибрационные струги. Возбуждение колебаний вибрационных стругов вдоль продольной оси обычно осуществляется с помощью сил инерции неуравновешенных масс, приводимых в движение по замкнутым траекториям механизмом струга.

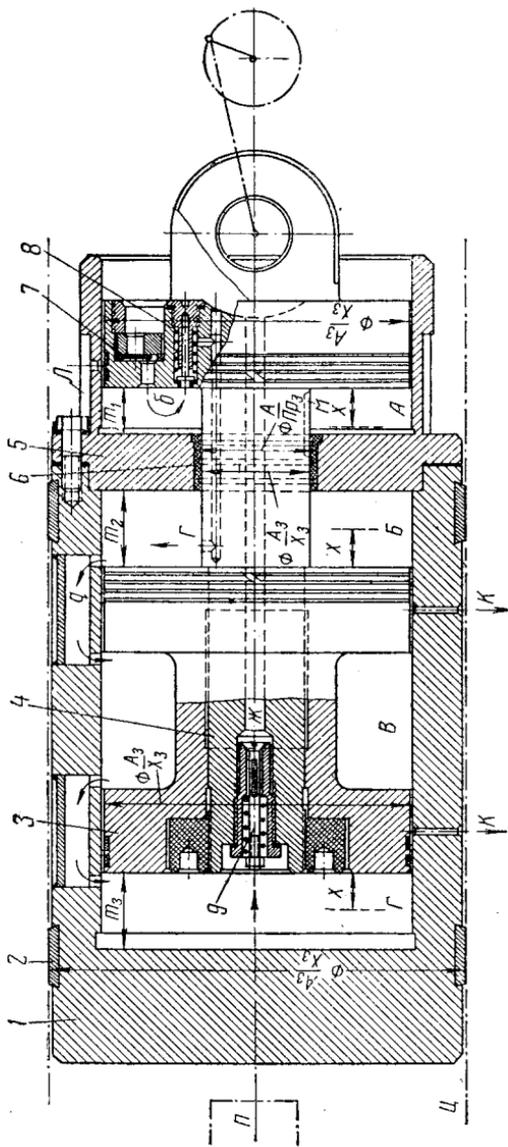


Рис. 130. Конструктивная схема бойка для ударных стругов:

1 — боек; 2 — направляющий поясok; 3 — полулаун; 4 — шток полулауна; 5 — дноще бойка; 6 — уплотняющая лаби-
ринтная втулка; 7 — всасывающий клапан компрессорной камеры А; 8 — клапан регулирования давления подкачки;
9 — клапан регулирования давления в подушке; Л — М — каналы; К — стабилизирующие отверстия

Обычно используются центробежные силы вращающегося дебаланса, создающего круговое возбуждение. Пара синхронно вращающихся в противоположных направлениях дебалансов, образует механизм Бюлера, создающий пульсирующую синусоидальную силу по одному направлению (рис. 131). Этот механизм чаще всего и использовался в вибростругах.

Если каждый дебаланс имеет массу m_0 , а центр тяжести дебаланса смещен на величину r от оси вращения, то при вра-

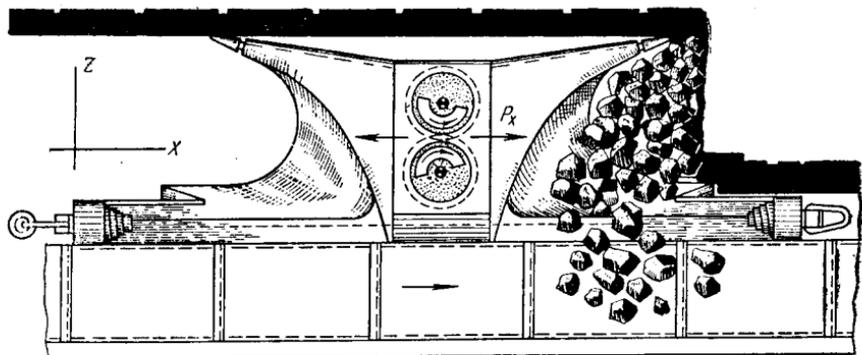


Рис. 131. Схема струга «Скоростной забойщик» фирмы «Вестфалия-Люнен» с возбуждающим механизмом Бюлера

щении дебалансов с угловой скоростью ω возбуждающая колебания сила вибратора Бюлера определяется по уравнению

$$P_x = 2m_0 \omega^2 \cdot r \cdot \cos \omega t = P_{\max} \cdot \cos \omega t, \quad (90)$$

где амплитуда силы $P_{\max} = 2m_0 \omega^2 r$.

Под действием силы P_x струг совершает колебания, параметры которого при пренебрежении силами трения о почву будут:

$$\text{амплитуда ускорения струга } J_{\max} = \frac{P_{\max}}{m}; \quad (91)$$

$$\text{» скорости » } v_{\max} = \frac{P_{\max}}{m \omega}; \quad (92)$$

$$\text{» перемещения » } x_{\max} = \frac{P_{\max}}{m \omega^2}, \quad (93)$$

где m — масса виброструга.

Сила трения при описанных параметрах вибростругов мало меняет приведенные результаты [80].

Виброструги перемещаются обычно вдоль забоя при помощи лебедки и каната и работают в ударных режимах [80]. При описанном выше синусоидальном возбуждении вдоль продольной оси, максимальный эффект ударов по забою достигается при натяжении каната, равном

$$P_k = 0,4 P_{\max}. \quad (94)$$

В интервале

$$0,4 P_{\max} < P_{\kappa} < P_{\max} \quad (95)$$

струг снижает эффективность, а при

$$P_{\kappa} \geq P_{\max}$$

струг «глохнет», т. е. вибрации прекращаются.

В интервале

$$0 < P_{\kappa} < 0,3035 P_{\max} \quad (96)$$

скорость удара струга по забою равна

$$v_{\text{уд}} = \frac{2 \pi P_{\kappa}}{m \omega}, \quad (97)$$

а максимальная энергия удара

$$\varepsilon = \frac{2 \pi^2 P_{\kappa}^2}{m \omega^2}. \quad (98)$$

Изменение скорости удара струга по неподатливому препятствию в зависимости от изменения натяжения каната показано на рис. 132, где по оси абсцисс отложена величина

$$\sigma_{\kappa} = \frac{P_{\kappa}}{P_{\max}},$$

а по оси ординат — величина

$$\xi_v = \frac{v_{\text{уд}}}{v_{\max}} = \frac{v_{\text{уд}} m \omega}{P_{\max}}.$$

Теоретическое рассмотрение процесса работы вибростругов в ударном режиме, проведенное за последние годы во Фрайбергской горной академии [81], привело исследователей к тем же аналитическим результатам, которые изложены выше.

Рассматриваемой группе вибростругов присущи общие положительные качества: полная герметичность механизма, обеспечивающая чистоту смазочного масла; простота механизма; малые динамические нагрузки от ударов, так как волны напряжений распределяются по большой массе струга, не концентрируясь на отдельных звеньях, напряжения же при ударе

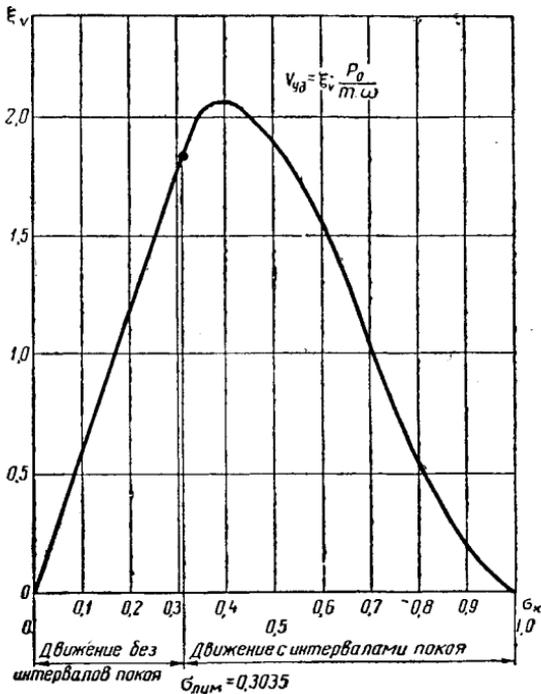


Рис. 132. Зависимость безразмерной скорости удара ξ_v от безразмерной силы тяги σ_{κ} при ударе струга по неупругому, неподатливому препятствию с полной потерей живой силы

невысоки, так как скорость соударения мала, а требуемая энергия удара обеспечивается большой массой струга; высота срубаемого слоя угля легко может изменяться путем простого удлинения режущей кромки ножа, причем эта операция может осуществляться в процессе работы, приспособляясь к изменяющейся мощности пласта, волнистости почвы и т. п.

Наряду с этим им присущи недостатки: трудность в получении большой амплитуды колебания из-за большой массы струга [см. уравнение (93)], при малой амплитуде (порядка 3—4 мм) упругость массива и образующаяся перед ножами штыбовая подушка амортизируют удары, что ведет к резкому снижению эффекта разрушения массива; зависимость режима работы от натяжения каната, которое необходимо поддерживать в определенном достаточно узком интервале; быстрый нагрев до высокой температуры опорных поверхностей струга в точках соприкосновения с направляющим устройством в случае, если струг, встретив большое сопротивление угля, задерживается в своем поступательном движении.

Описанные достоинства и недостатки были вскрыты в процессе шахтных испытаний [80].

В 1941—1943 гг. фирмой «Вестфалия-Люнен» был построен и испытан ряд вибростругов данного типа. Дебалансами чаще всего служили роторы зубчатых пневмодвигателей. Дополнительные пружины увеличивали упругую податливость тягового каната и способствовали стабилизации режима работы. К этим конструкциям относятся: «Скоростной забойщик» (см. рис. 131) «Забойщик Ганнибал» (рис. 133) и др.

«Забойщик Ганнибал» имел следующую характеристику: число ударов в минуту — 2200; амплитуда вибраций 4—6 мм, тяговое усилие на канате — до 7 т.

Для варианта «Скоростной забойщик» с возбуждением от поступательно-возвратно движущегося массивного поршня фирмой указана следующая характеристика: частота ударов в минуту — 2000, работа удара — до 200 кгм, амплитуда вибраций 6—7 мм, вес струга — 2000 кг, глубина захвата — до 600 мм.

Перечисленные конструкции испытывались в шахтах и показали обнадеживающие результаты, но дальнейшего распространения не получили. По-видимому, при столь больших захватах не удалось получить при приведенных параметрах стругов эффективного разрушения и, кроме того, струги требовали большого расхода сжатого воздуха.

Виброструг инж. Л. Я. Григорьева (рис. 134) состоит из двух лемехов с зубчатыми режущими кромками и шарнирно связанного с ними двухмоторного возбудителя. В горизонтальные расточки корпуса возбудителя вставлены активные части двух электродвигателей мощностью по 5 квт. Два дебаланса,

образующие механизм Бюлера, соединены шлицами с валами роторов. Последние связаны синхронизирующей зубчатой передачей. Число оборотов возбuditеля в минуту — 1450, амплитуда возбуждающей силы $P_{\max} = 25\,600$ кг, двойная амплитуда

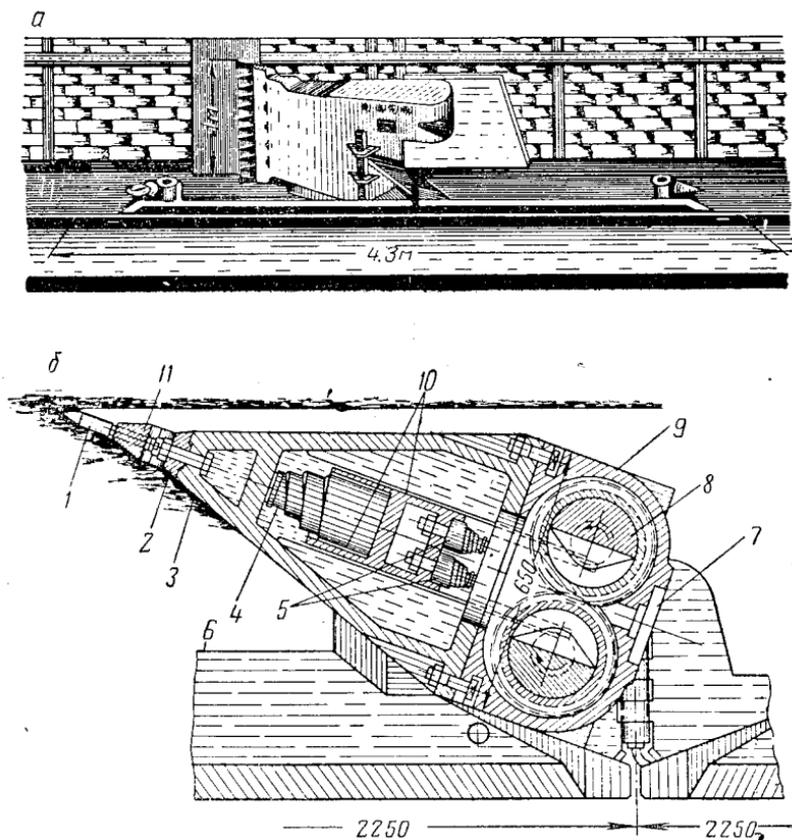


Рис. 133. Виброструг «Забойщик Ганнибал»:

a — общий вид; *b* — конструктивная схема струга; 1 — долото; 2 — держатель инструмента; 3 — отбойный клин; 4 — буферная пружина; 5 — защитные пружины; 6 — салазки; 7 — вход сжатого воздуха; 8 — тело дебаланса; 9 — дебалансный двигатель; 10 — направляющая отбойного клина; 11 — конус Морзе № 4

колебаний 7,46 мм, максимальная энергия удара 220 кгм, вес струга ≈ 3000 кг.

Струг был построен и испытан на заводском стенде. Сварная конструкция лемехов оказалась недостаточно прочной в условиях сильной вибрации и внецентренного приложения нагрузки. Наблюдались сильные поперечные вибрации лемехов и разрывы сварных швов. При определенной установке синхронизирующей передачи, наклоняющей к горизонтالي направленные возбуждающей силы, струг энергично двигался самоходом.

Малая номинальная мощность двигателей не допускала из-за перегрева длительной работы, в связи с чем струг в шахте не испытывался.

Струги с вибрирующими лемехами. Большая амплитуда колебаний, необходимая для эффективного разрушения массива, требует высоких значений возбуждающей силы для сообщения колебаний значительной массе виброструга, что встречает трудности в создании мощных возбуждателей, дебалансов и подшипниковых опор. Поэтому были созданы конструкции, у которых

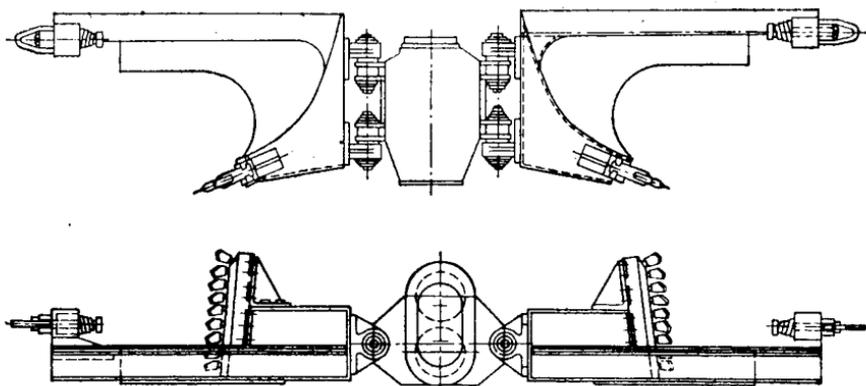


Рис. 134. Виброструг инж. Л. Я. Григорьева

вибрируют только лемехи, имеющие относительно небольшую массу. Одновременно при встречном направлении вибраций правого и левого лемехов достигалось уравнивание инерционных сил на корпусе, отсутствие вибраций последнего, снижение потерь на трение о почву, отсутствие вибрационных нагрузок на привод, отсутствие опасного нагрева опорных поверхностей струга. При этом в механизме струга отсутствуют удары между деталями, опасные для прочности механизма, имеющие место у ударных стругов.

Виброструг «Дельта» (рис. 135) *, состоит из двух шарнирно, подвешенных лемехов и средней приводной части. В корпусе 1 находится мотор 2, приводящий во вращение через шестерни 3, 4, 5 два эксцентриковых вала 6. На эксцентрики свободно подвешены лемехи, снабженные вертикальными и горизонтальными ножами 7 и 8. При вращении эксцентриков все точки лемехов описывают шатунные кривые. Шарнирная подвеска лемехов обеспечивает сокращение жесткой продольной базы струга и обеспечивает лучшую приспособляемость последнего к

* Виброструг «Дельта» и виброструг инж. Л. Я. Григорьева, а также описанные ниже струги «Альфа» и «Сигма», построены в 1946—1948 гг. в СССР.

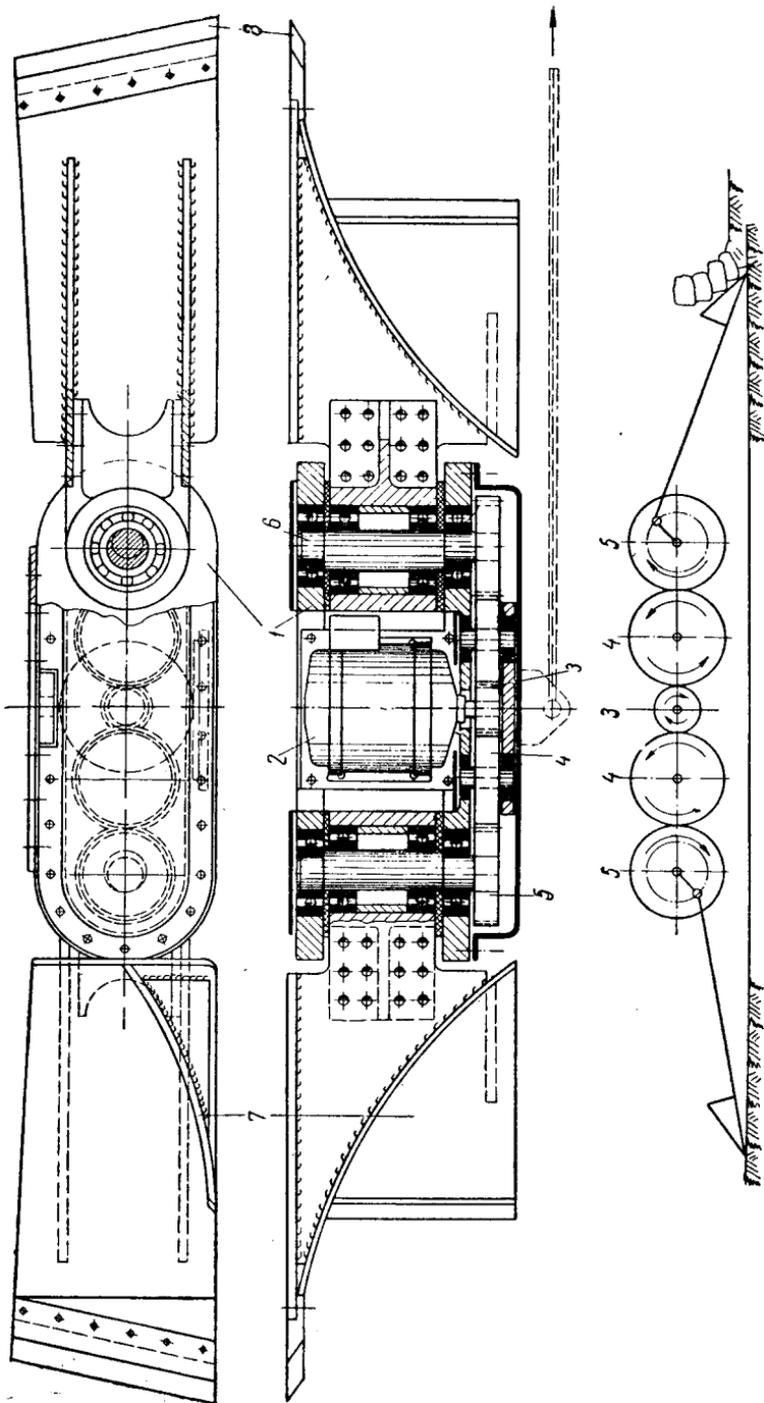


Рис. 135. Виброоструг «Дельта» с вибрирующими лемехами

волнистой почве. Положение эксцентриков взаимно смещено на 180° для уравнивания инерционных сил на корпусе. Струг был построен в виде модели, весом 180 кг, с амплитудой колебания конца лемеха — 7 мм. Испытания показали перспективность конструкции данного типа.

Струг фирмы «Хьювуд» (Англия). Этот струг (рис. 136) представляет особенный интерес, поскольку он находится в

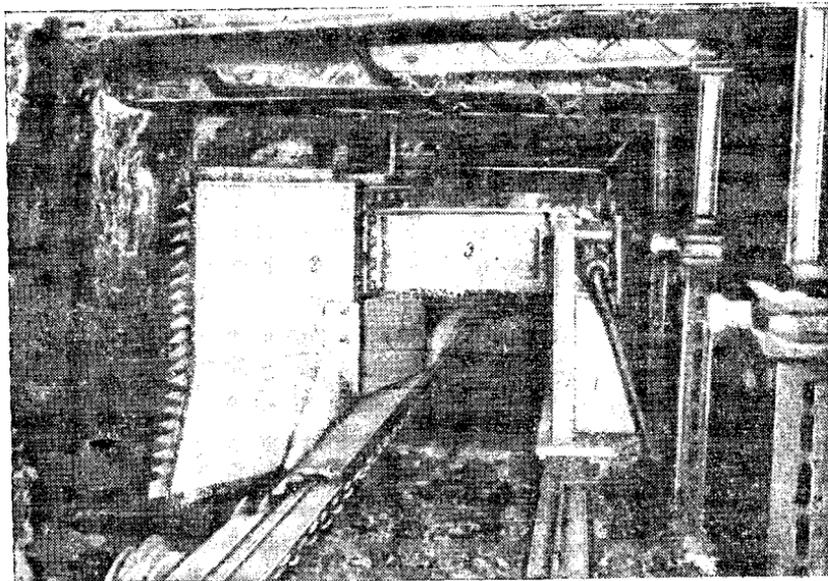


Рис. 136. Струг фирмы «Хьювуд» (Англия) с вибрирующими лемехами.

промышленной эксплуатации, которая показала перспективность конструкции [82].

Струг перемещается по скребковому конвейеру с помощью бесконечной цепи, приводимой в движение двигателем мощностью 25 л. с. Скорость цепи от 3,9 до 7,4 м/мин.

Струг имеет порталную конструкцию, состоящую из опоры 1, основной рамы 2 с лемехами и приводным механизмом, мотора 3, связывающего портал. Механизм струга аналогичен механизму струга «Дельта». Мотор приводит через зубчатую передачу во вращение два эксцентриковых вала, на которые надеты шатуны с приболченными к ним зубчатыми ножами. Число оборотов эксцентриков 340 в минуту, ход зубков, описывающих шатунную кривую, 50 мм. Нужно полагать, что эксцентрики смещены по фазе на угол 180° , благодаря чему инерционные силы при работе лемехов уравновешены на корпусе и последний не вибрирует вместе со своими опорами на конвейере, чем избегается опасность нагрева контактных мест.

Техническая характеристика

| | |
|-------------------------------------|------|
| Мощность двигателя, л. с. | 60 |
| Длина струга, мм | 2895 |
| Высота струга, мм | 1065 |
| Ширина струга, мм | 1395 |
| Вес, кг | 5250 |
| Тяговое усилие на цепи, т | 25 |

Самоходные виброструги. Как показывают расчеты, потери на трение виброструга о почву относительно невелики. Так, при весе в 3000 кг, при амплитуде колебания 3,8 мм, при частоте колебаний 1500 в минуту и при коэффициенте трения струга о почву $\mu = 0,3$ — потери на трение составляют всего

$$\frac{0,3 \cdot 3000 \cdot 0,0038 \cdot 4 \cdot 1500}{102 \cdot 60} = 3,35 \text{ квт.}$$

Здесь цифра 4 учитывает, что за один цикл колебания путь виброструга равен четырем амплитудам колебания. Эти потери значительно ниже потерь на трение, например, в барах врубных машин. При нормальной работе струга они не создают каких-либо трудностей, связанных с нагревом опор. Иначе обстоит дело в тех случаях, когда виброструг необходимо прижать конвейером к забою значительным усилием (5–8 т), что может иметь место при затупленных резцах или малой толщине стружки. Опыт показал, например, что при таких условиях головка мощного болта, которым виброструг опирался на конвейер, нагревалась за время около 1 мин до температуры красного каления. Поэтому проблема создания конструкции струговых опор и направляющих представляет значительные трудности. В связи с этим встал вопрос о поисках путей рационального использования сил трения, что привело к идеям создания самоходных вибростругов.

Известно, что вибрирующее тело, находящееся на горизонтальной плоскости, способно при определенных условиях перемещаться по этой плоскости при отсутствии каких-либо горизонтальных внешних сил, кроме силы трения о плоскость. Этот принцип был использован при разработке некоторых конструкций вибростругов («Виброходов»).

В период с 1946 по 1949 г. было произведено теоретическое исследование механики самоходных стругов [83], наиболее интересные и практически важные результаты которого сжато изложены ниже.

Пусть на вибрационный струг B (рис. 137), лежащий на горизонтальной плоскости zx , действует внутренняя периодически изменяющаяся сила, возбуждающая вибрации, лежащая в плоскости yx и представленная вектором P , изменяющимся во времени по величине и направлению. Кроме этого, на виброструг действуют следующие внешние силы.

1. Реакция плоскости $zx - R$

2. Сила трения $-\mu R$, где μ — коэффициент трения.

3. Вес G .

Действие силы P эквивалентно одновременному действию двух сил P_x и P_y , пульсирующих по направлению осей x и y и равных проекциям вектора P на эти оси. Очевидно, что силы

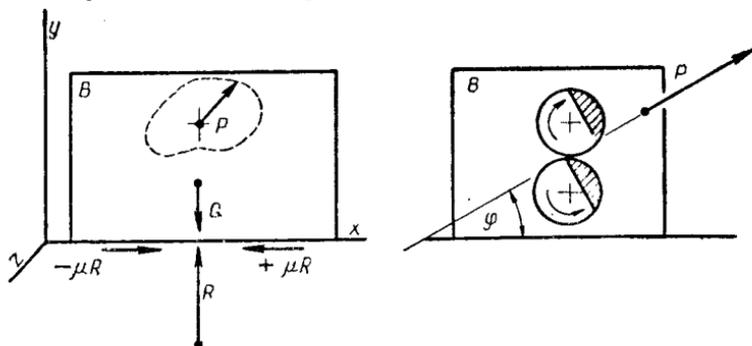


Рис. 137. Схема сил, действующих на самоходный струг.

P_x и P_y имеют один и тот же период T , равный периоду изменения вектора P .

Исходя из этих предпосылок и решая уравнения динамики, можно получить следующие результаты:

1. Поскольку сила P является для струга внутренней силой, она сама по себе без участия других сил не может вызвать неограниченно продолжительного движения корпуса струга в одну сторону, так как центр тяжести системы, состоящей из струга и возбуждающей неуравновешенной массы m_0 , создающей силу P , должен оставаться в покое. Импульс силы P за период T равен нулю, что эквивалентно условиям:

$$\int_t^{t+T} P_x dt = 0, \quad \int_t^{t+T} P_y dt = 0; \quad (99)$$

графически это означает равенство площадей над и под осью t , ограничиваемых кривыми $P_x = (t)$ и $P_y = (t)$.

Поскольку силы P_x и P_y являются периодическими функциями времени, они могут быть представлены в виде рядов Фурье:

$$\left. \begin{aligned} P_x &= \sum_{n=1}^{n=\infty} (a_{xn} \cdot \cos n \omega t + b_{xn} \cdot \sin n \omega t); \\ P_y &= \sum_{n=1}^{n=\infty} (a_{yn} \cdot \cos n \omega t + b_{yn} \cdot \sin n \omega t), \end{aligned} \right\} \quad (100)$$

где a_n и b_n — коэффициенты Фурье, а $\omega = \frac{2\pi}{T}$.

Если подобрать функции P_x и P_y таким образом, чтобы в период времени от t_1 до t_2 , когда струг под действием силы P_x

движется вперед, сила P_y была бы направлена вверх, снижая реакцию R и уменьшая силу трения μR , а при движении струга назад за время от t_2 до $T+t_1$ сила P_y была бы направлена вниз, увеличивая силу трения и этим энергичнее тормозя струг, то эти условия создают преимущества для движения вперед и струг получает пульсирующее самоходное движение в направлении вперед. Практически это условие может быть реализовано, например, путем установки самобалансного механизма Бюлера, создающего пульсирующую силу P под некоторым углом ϕ к продольной оси струга (см. рис. 137).

Самоходное движение виброструга будет иметь место и при отсутствии вертикального возбуждения ($P_y=0$), т. е. при постоянной силе трения $\mu G''$, если в составе возбуждающей силы имеются гармоники четных порядков (четные n). Средняя скорость самоходного движения при этом будет

$$v_{\text{ср}} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{\text{четн}} \left(\frac{a_{xn}}{n \omega} \sin n \omega t_1 - \frac{b_{xn}}{n \omega} \cos n \omega t_1 \right), \quad (101)$$

где m — масса струга, а суммирование распространено лишь на четные значения n . Заметим, что начало отсчета времени выбрано из условия: $P_x=0$ при $t=0$. Скорость самоходного движения отвечает минимальным потерям энергии на трение. Время движения вперед равно времени движения назад. Импульс сил трения за цикл колебания равен нулю

$$\int_{t_1}^{t_1+T} \mu G dt = 0. \quad (102)$$

Самоходный виброструг способен не только перемещаться, но и совершать при этом полезную работу. Если он движется самоходом, преодолевая сопротивление резанию ω , то имеет место следующее основное уравнение, из которого могут быть оценены возможности струга

$$\int_{t_1}^{t_1+T} \mu R dt = - \int_{t_1}^{t_1+T} \omega dt, \quad (103)$$

т. е. импульс сил сопротивления за период колебания равен по абсолютной величине импульсу сил трения. Из последнего уравнения следует, что для возможности преодоления больших сопротивлений необходимо увеличивать давление струга на почву R (что может быть достигнуто увеличением веса G) или коэффициента трения μ , а также путем разумного управления силой P_y , которая участвует в формировании левой стороны уравнения (103).

Особый интерес представляет сложное возбуждение колебаний, когда импульсы возбуждающих сил P_x и P_y имеют прямоугольную форму и соответствующим образом смещены по фазам (рис. 138).

Если обозначить через ξ отношение максимальной величины усилия к минимальной,

$$\xi = \frac{P_{1x}}{P_{2x}} = \frac{P_{1y}}{P_{2y}} \quad (104)$$

и положить $P_{2y} = G$, т. е. принять предельное значение вертикальной составляющей P_{2y} , при котором давление струга на почву равно нулю, но струг еще не подпрыгивает, то будет

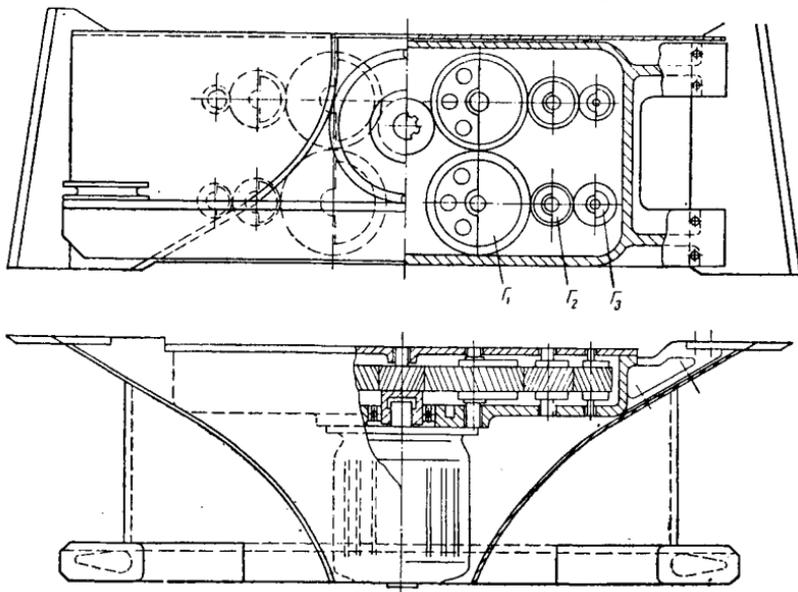


Рис. 139. Модель самоходного струга «Сигма»

иметь место самоходное движение струга только вперед с интервалами покоя. Струг при подобных диаграммах возбуждения не будет иметь вовсе потерь на трение о почву и сможет преодолеть постоянное по величине сопротивление

$$\omega = \frac{1}{\xi^2} \cdot P_{1x}, \quad (105)$$

расходуя на резание мощность

$$N = \frac{P_{1x}^2 T}{2 \cdot 102 m} \cdot \frac{(\xi - 1)}{\xi^3 (\xi + 1)}. \quad (106)$$

При реверсе двигателя струг изменяет направление хода на обратное.

Разлагая ломаную прямоугольных импульсов в ряд Фурье, можно определить составляющие ее гармоники. Каждая из этих гармоник может быть реализована установкой на струге вращающегося дебаланса, создающего по любому направлению синусоидальную возбуждающую силу, определенной угловой частоты. Одновременное действие ряда дебалансов дает суммарный возбуждающий импульс, близкий к прямоугольному. На

рис. 138, б показано приближение к прямоугольной форме импульса с помощью первых трех гармоник.

На указанном выше принципе была построена самоходная модель струга «Сигма» с тремя возбуждающими частотами: 1000, 2000 и 3000 *пер/мин* (рис. 139). Модель имела вес 90 кг, развивала максимальный статический напор 270 *кГ* и двигалась самоходом со скоростью 7,5 *м/мин*. Модель раскалывала куски угля и рубила доску толщиной до 40 *мм*.

Одним из возможных способов получения самоходного движения является ограничение движения возбуждающей массы связями различной жесткости. На таком принципе была построена модель самоходного струга «Альфа» (рис. 140). Возбуждающая масса m_0 получала поступательно-возвратное движение в результате взаимодействия обмотки, питаемой синусоидальным током, расположенной на массе m_0 , с постоянным магнитным полем статора. Жесткость пружин, к которым прикреплена масса m_0 , выбрана такой, что собственная частота колебаний равна частоте переменного тока. В результате резонанса амплитуда растет, и ползун начинает ударять по упругой мембране в левой части, в результате чего струг получает самоходное движение в направлении справа налево.

Вибрационный струг ВХ-1 («Виброход») построен на базе экспериментов со стругом Л. Я. Григорьева и самоходной моделью «Сигма». Обращено особое внимание на прочность конструкции. Струг состоит из электродвигателя, двух синхронно и синфазно работающих возбуждателей и двух лемехов (рис. 141). Все части соединены жестко в одно целое мощными болтовыми соединениями. Возбудители создают вибрации струга одновременно с двумя частотами: первая гармоника 750 и вторая — 1500 *пер/мин*. Амплитуда силы гармоники $P_{\max I} = 10\,000$ *кГ*, второй гармоники $P_{\max II} = 5000$ *кГ*. Вес струга $G = 4300$ *кГ*. Угловые скорости вращения дебалансов соответственно будут:

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 750}{30} = 78,5 \text{ радиан/сек},$$

$$\omega_2 = \frac{\pi \cdot n_2}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \text{ радиан/сек}.$$

Расчетная амплитуда колебаний на холостом ходу определится по уравнению

$$X_{\max} = \frac{P_{\max I}}{m \cdot \omega_1^2} + \frac{P_{\max II}}{m \cdot \omega_2^2} = \frac{10000 \cdot 9,81}{4300 \cdot 78,5^2} + \frac{5000 \cdot 9,81}{4300 \cdot 157^2} =$$

$$= 0,0037 + 0,00046 \approx 0,004 \text{ м}.$$

Замеренная практически с помощью стробоскопа амплитуда колебания составляла 3,5 ÷ 4 *мм* что близко совпадает с расчетом.

При рубке ледяного забоя на самоходном движении следы,

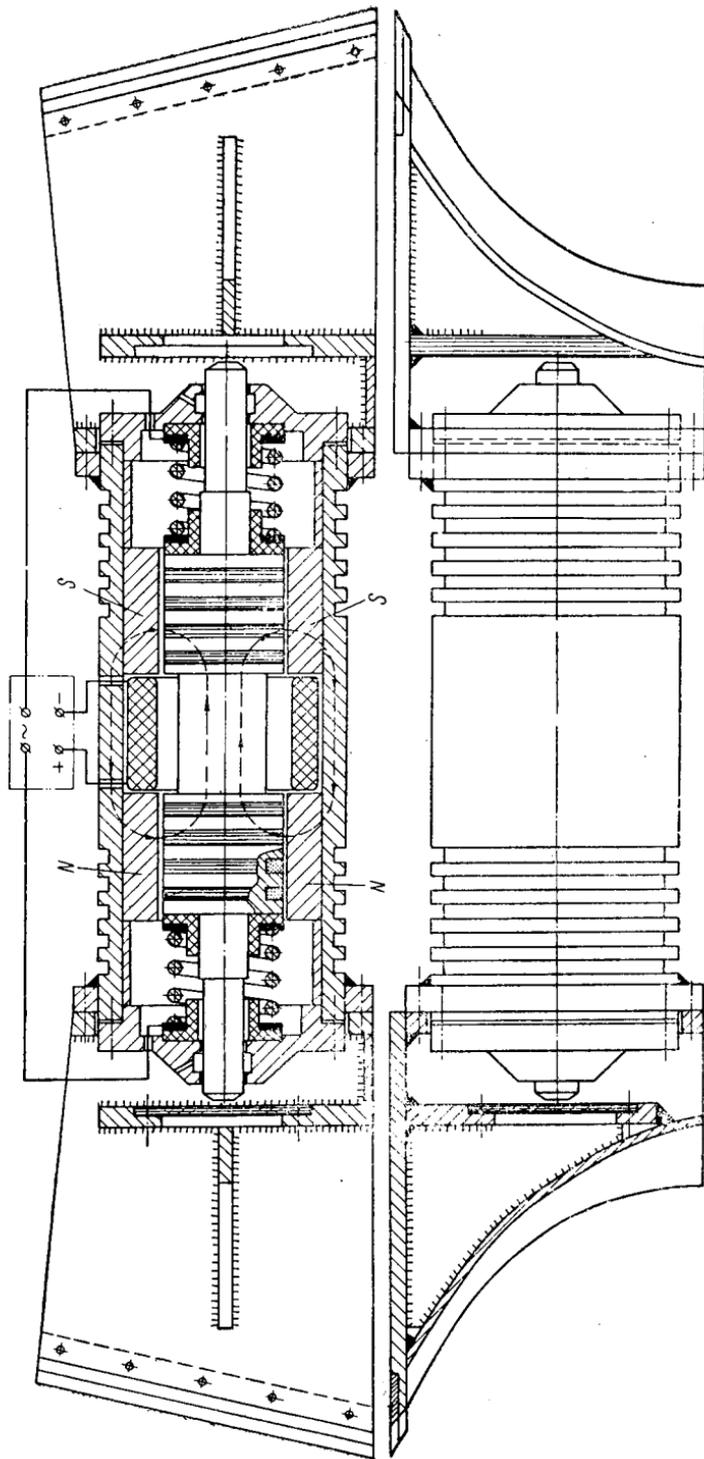


Рис. 140. Модель самоходного струга «Альфа»

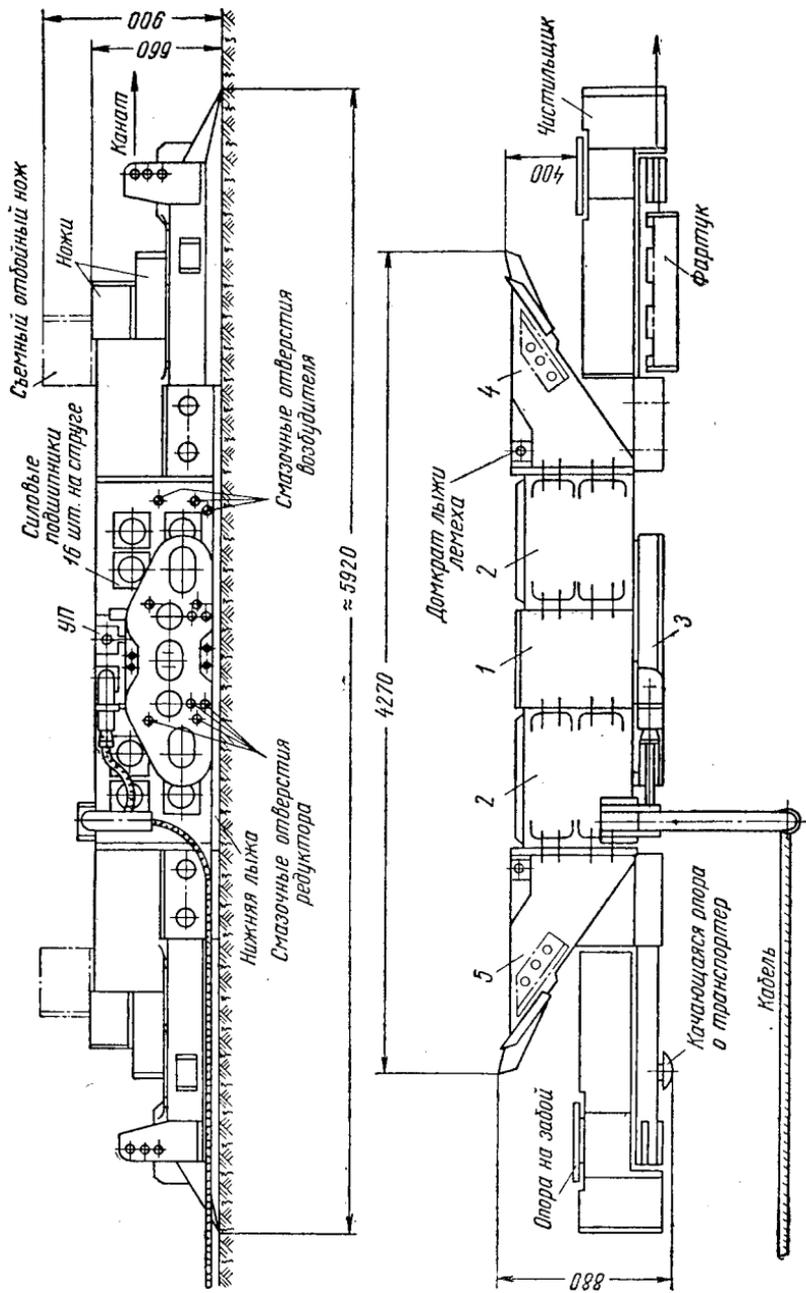


Рис. 141. Виброоструг ВХ-1:

1 — двигатель; 2 — возбuditели колебаний; 3 — редуктор; 4 — 5 лемехи; УП — универсальный переключатель (остальные надписи сохранены на чертеже)

оставляемые ножом, показали, что продвижение за один удар лежит в пределах $4 \div 10$ мм, что соответствует средней скорости движения струга $3 \div 7,5$ м/мин. Последняя цифра близка к расчетной.

Замеры мощности двигателя при работе струга в ударном режиме обнаружили явное наличие максимума в области значений силы прижатия P_k , близкой к теоретическому значению, даваемому формулой (95).

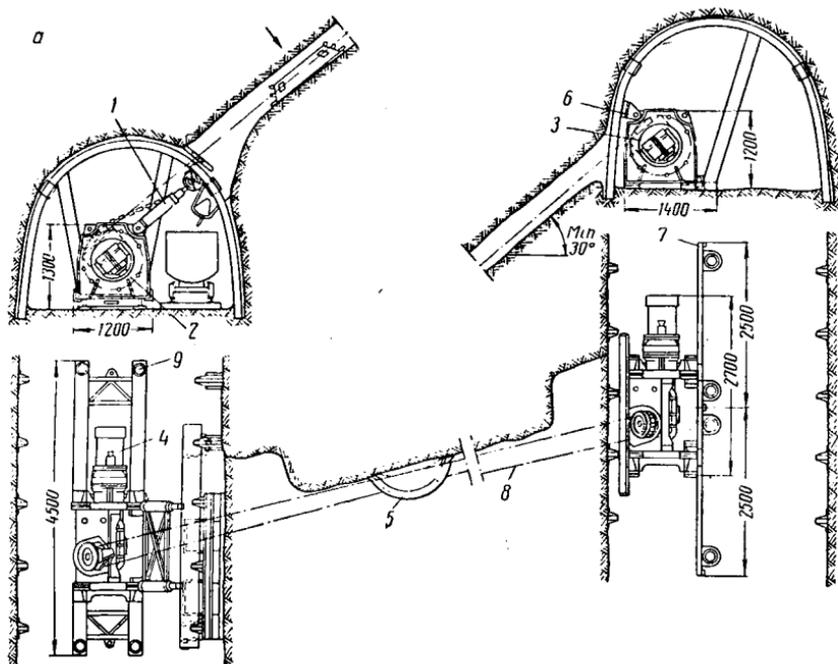
При заводских испытаниях были проверены и подтверждены, кроме сказанного, следующие теоретические соображения: струг реверсировался при изменении направления вращения двигателя, создавал на самоходе натяжение каната $800 \div 1000$ кг, срубал стружку льда глубиной 100 мм и высотой около 1 м. Однако для разрушения бетонного кубика с временным сопротивлением бетона $100 \div 150$ кг/см² напор на самоходе был мал и требовалось добавочное тяговое усилие на канате.

Струг ВХ-1 прошел в целом успешно шахтные испытания [79]. Однако была отмечена недостаточная энергия ударов для работы по неподрубленному и невзрыхленному сотрясательным взрыванием антрациту. Это объяснялось малой амплитудой вибраций. Двигатель мощностью всего 19 квт был нагружен ниже номинала. За время испытаний струг добыл около 1800 т антрацита, при этом механизм не имел ни одной поломки и масло оставалось чистым ввиду герметичности струга. Как и при заводских испытаниях, работа на чисто самоходном движении была неэффективна и требовалось добавочное подтягивание струга канатом.

Шахтные испытания показали также ряд недостатков, требующих устранения при дальнейшем совершенствовании данного типа вибростругов. Прежде всего необходимо обеспечить достаточно мягкую характеристику тяговой лебедки, позволяющую держать значение тягового усилия около оптимального, отвечающего ударному режиму независимо от скорости движения струга. При жесткой характеристике струг, встречая места повышенной крепости, «глохнул», т. е. прекращал вибрации. Большая жесткая продольная база струга вызывала временами при волнистой почве зарубание струга в кровлю. Устойчивость против кантования [79] также не была обеспечена в достаточной мере.

В выводах комиссии по шахтным испытаниям была дана рекомендация к продолжению работ над вибростругом.

Работы в Советском Союзе над самоходными стругами вызвали интерес к этой проблеме и за рубежом, свидетельством чему служит недавно опубликованная работа [84], в которой исследован вопрос о перспективах самоходных стругов. Выводы статьи близки к изложенным выше элементам теории самоходного движения стругов.



б

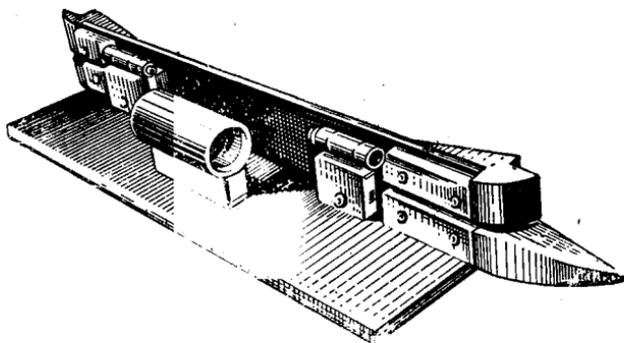


Рис. 142. Таранная установка фирмы «Вестфалля-Люнен» системы Пайссенберг:

а — схема размещения таранной установки в слегка «опрокинутом» забое; *б* — таран легкой конструкции; 1 — гидравлический распорный домкрат; 2 — нижний привод; 3 — верхний привод; 4 — пневматический или электрический двигатель; 5 — корпус тарана (видно по стрелке); 6 — опорная балка; 7 — опорный рельс; 8 — цель тарана; 9 — лыжи.

34. Таранные установки

Таранные установки являются средствами механизации выемки угля на пластах крутого падения и по способу воздействия на уголь они сходны с динамическими стругами и могут рассматриваться как их разновидность.

На рис. 142 показана схема установки и два варианта рабочих органов.

В вентиляционном и откаточном штреках устанавливаются два привода 3 и 2 суммарной мощностью 48 квт, соединенные бесконечной цепью. Приводы (лебедки) могут перемещаться по направляющим вдоль штреков в процессе выемки по мере перемещения забоя, поддерживая цепь 8 в натянутом состоянии и прижимая ее к уголю. На рабочей стороне цепи закреплен таран, представляющий массивную болванку, снабженную по концам мощными отбойными резцами. Холостая сторона цепи свободно проходит в направляющих тарана и служит для увеличения силы прижатия к забою. С помощью приводов цепь 8 приводится в поступательно-возвратное движение со скоростью 1,5—2 м/сек, при этом возникают значительные поперечные колебания тарана на цепи, благодаря чему он периодически наносит мощные удары резцами по забою, которые отбивают уголь от массива. Грудь забоя получает при этом неровную форму.

Образование неровной, пилообразной формы груди забоя служит показателем правильной работы таранной установки, т. е. наличия эффективного режима автоколебаний тарана на цепи.

Практикой установлено [47], что для получения правильного режима работы необходимо соблюдение следующих условий:

- 1) скорость движения цепи — не менее 1,5 м/сек;
- 2) длина лавы — не менее 100 м;
- 3) правильный подбор установочных углов резцов.

При отсутствии правильного режима работы наблюдается снижение производительности установки и увеличенный выход мелочи.

Таранные установки нашли применение в каменноугольных бассейнах ФРГ и рассматриваются там как весьма перспективные средства механизации в определенных условиях. На 1959 г. число работающих установок составляло около 13.

Область применения характеризуется следующими данными:

- 1) крепость угля — до крепкого включительно;
- 2) угол падения пласта 36—80°;
- 3) мощность пласта 0,25—1,2 м;
- 4) наличие породных прослоек не мешает работе;
- 5) допустимое бесстоечное призабойное пространство при лавках с креплением 1,1—2,0 м;
- 6) почва устойчивая и немягкая.

Производительность труда при таранной выемке достигала величины 10 т на человеко-смену при мощности пласта 0,4 м, что в пять раз превышает производительность труда при ручной выемке в тех же условиях.

При таранной выемке целесообразна обработка полей обратным ходом, с тем чтобы прохождение штреков не сдерживало темпов продвижения очистного забоя. Особенно это важно при тонких пластах.

При особо благоприятных условиях, когда кровля способна плавно опускаться без обрушений, таранные установки дают возможность практически реализовать безлюдную выемку угля одновременно с достижением высоких технико-экономических показателей.

В настоящее время не разработана теория рабочего процесса таранной установки, которая позволяла бы оценить потребную энергию удара и основные параметры, обеспечивающие ее реализацию: вес тарана, упругость и величину натяжки цепей и др. Поэтому при проектировании следует базироваться лишь на данные имеющегося опыта, а также предусматривать возможность варьирования основными параметрами в широких пределах при экспериментировании с опытными образцами.

35. Заключение

За последние 20 лет в области создания динамических стругов проведены большие исследовательские работы в ряде стран, что показывает на актуальность задачи и перспективность направления. С другой стороны, до стадии опытной партии был доведен пока только один английский струг «Хьювуд», остальные динамические струги не вышли за стадию испытаний опытных образцов. Это показывает на большие трудности создания работоспособных конструкций динамических стругов. Успех в создании статических скоростных зубчатых стругов и их широкое внедрение в странах Западной Европы отвлекли внимание от динамических стругов, чему способствовало также успешное решение конструкции комбайна с барабанным рабочим органом, пригодным для работы на крепких углях. Тем не менее ведущая струговая фирма ФРГ «Вестфалия-Люнен» непрерывно вела и продолжает вести работы по созданию динамических вибрационных стругов, так как область применения статических стругов ограничена мягкими отжатыми углями, а комбайны режущего типа из-за сильного измельчения угля и породных прослоек ухудшают сортность, затрудняют обогащение и в процессе работы создают мощные очаги пыли, загрязняющие рудничную атмосферу.

В Советском Союзе за указанный период также проведены большие работы в области струговой выемки угля. Сюда относятся научно-исследовательские экспериментальные и теорети-

ческие работы по изучению сил сопротивления угля резанию [65, 85], исследования режимов работы стругов [80, 83] и, наконец, работы по конструированию, испытаниям и внедрению стругов типа УС-4, КС-2М, АС-1, ВХ-1, УДС-1 и др. Несмотря на положительные результаты испытаний большинства стругов, работы над их дальнейшим внедрением за последние 10 лет были свернуты и центр тяжести был перенесен на комбайны крупного скола, комбайны режущего типа и агрегаты А-1, А-2 и др. Это обстоятельство в определенной мере было обязано господствовавшей одно время ошибочной концепции, утверждавшей, что в бассейнах Советского Союза область применения стругов, и особенно динамических, будет весьма ограниченной до тех пор, пока не будут созданы механизированные передвижные крепи.

Однако зарубежный опыт показал, что подавляющее большинство струговых лав работает в настоящее время с достаточно высокими экономическими показателями при обычных металлических переносных разборных крепях.

Дальнейшие работы над динамическими стругами на настоящей стадии следует вести и по ударным, и по вибрационным конструкциям до тех пор, пока не будут отчетливо выявлены преимущества одного из этих направлений или пока не будет создана хорошая конструкция, делающая излишними дальнейшие поиски на широком фронте работ. При этом необходимо максимально изучить и использовать имеющийся опыт во избежание повторения пройденных этапов. По нашему мнению, наиболее перспективными являются вибрационные струги из-за легкости регулирования выемки по мощности пласта, отсутствия ударов в звеньях механизмов, полной герметичности механизма, невысоких динамических напряжений в деталях струга, нанесения ударов большой массой при малой скорости соударения. Также перспективными являются струги с вибрирующими лемехами типа «Дельта» и «Хьювуд», где легко удается получить высокие амплитуды колебания рабочих органов при отсутствии вибраций корпуса из-за уравнивания на нем сил от лемехов.

Самоходные виброструги представляют интерес для дальнейшего изучения. Расчеты показывают, что при тяжелых конструкциях возможно создание высоких напорных усилий при незначительных потерях на трение о почву. Снижение же мощности тяговых органов и приводов представляет безусловный практический интерес. Однако разработка самоходных стругов проходит начальные стадии. Нужно отметить, что и за границей имеет место интерес к самоходным стругам [84].

ЛИТЕРАТУРА

1. Программа Коммунистической партии Советского Союза. «Правда», 1961 г. XI.
2. Народное хозяйство СССР в 1960 году. Статистический сборник. Госстатиздат, 1961.
3. Жемчужников Ю. А., Гинзбург А. И. Основы петрологии углей. Изд-во АН СССР, 1960.
4. Иванов Г. А. Кливаж (отдельности) в углях и вмещающих породах и пути его практического использования. ГОНТИ, 1939.
5. Шубин В. П. К вопросу об исследовании физико-механических свойств некоторых пород каменного угля шахт Кузбасса. Известия Томского политехнического института им. С. М. Кирова, т. 68, вып. 1. Томск, 1951.
6. Гвоздева Н. П. Угли Подмосковского бассейна и их классификация по физико-механическим свойствам. Углетехиздат Западугля, 1948.
7. Агроскин А. А. Физические свойства угля. Металлургиздат, 1961.
8. Тищенко Н. А., Замятин И. С. Выемка угля быстроходным стругом. Изд-во АН СССР, 1960.
9. Исследование механических свойств горных пород Донецкого бассейна. Углетехиздат, 1951.
10. Ильницкая Е. И. Определение сопротивляемости углей сдвигу и разрыву. Труды ИГД АН СССР, т. 1. Изд-во АН СССР, 1954.
11. Механические свойства горных пород. ЦИТИ угля, 1959.
12. Труды совещания по координации исследований в области отделения от массива углей и пород. Изд-во АН СССР, 1954.
13. Двужильная Н. М. Механическая прочность углей и антрацитов и методы ее определения. Работы ДонУГИ, сб. № 8, 1950.
14. Разрушение углей и горных пород. Углетехиздат, 1958.
15. Тютин Ф. Г. Изменяемость механической прочности угля вдоль очистного забоя в связи с дегазацией пласта. «Уголь», 1959, № 4.
16. Иноземцев П. П. и др. Механизация навалки угля на шахтах Карагандинского угольного бассейна. Углетехиздат, 1956.
17. Кравченко В. И. К вопросу выемки угля стругами. «Промышленно-экономический бюллетень», № 3. Луганский совнархоз, 1959.
18. Казанский А. С. Краткий обзор работ в области разрушения угля крупной стружкой. Механизация и автоматизация производственных процессов в шахте. Научные работы ВУГИ, сб. № 11, 1954.
19. Hájovský L., Kaňkovský. Důlní stroje Dobývání a Nakládání, SNT, 1957.
20. Сдвоенный струг «Вальсум» для выемки крепких углей. Углетехиздат, 1958.
21. Долинский А. М. и др. Результаты промышленных испытаний агрегата А-3 «Горные машины и автоматика», т. 2. ЦИТИ угля, 1961.
22. Ковалевский Е. П. Угольные струги на шахтах Кузбасса. Углетехиздат, 1958.
23. Бриль Л. В. Шахтные испытания агрегата А-3. «Горные машины», № 8. ЦИТИ угля, 1959.
24. Струговая выемка за рубежом. Сборник рефератов. ЦИТИ угля, 1959.
25. Новое оборудование для очистных забоев за рубежом. ЦИТИ угля, 1959.
26. Панов А. Д. и др. Узкозахватная выемка угля. Углетехиздат, 1958.
27. Новые угольные струги за рубежом. ЦИТИ угля, 1959.
28. Механизация выемки угля за рубежом. Углетехиздат, 1958.
29. Механизация на угольных шахтах. Углетехиздат, 1959.
30. Худенко И. Д. и др. Промышленные испытания струговой установки УСБ-1. «Уголь Украины», 1960, № 12.
31. Братченко Б. Ф. и др. Техника угольной промышленности ФРГ. Госгортехиздат, 1960.

32. «Uhlí», 1960, № 7.
33. «Annales des Mines de Belgique», 1960, Juni.
34. Разработка угольных пластов без постоянного нахождения рабочих в забое. ЦИТИ угля, 1960.
35. Некрасовский Я. Э. и др. Многоструговая установка для разработки угольных пластов нерабочей мощности. «Уголь Украины», 1959, № 10.
36. Некрасовский Я. Э., Трофименко П. М. Принципиальная схема струга и струговой установки для тонких пластов крутого падения. «Уголь Украины», 1960, № 5.
37. Спектор Л. А., Гехрид М. Е. Установка для выемки тонких крутопадающих пластов. «Уголь Украины», 1957, № 12.
38. Кондрашев Ф. С., Скофа Б. Ф. Новые способы разработки крутопадающих пластов в Донецком бассейне. «Научная и техническая информация», № 9. ЦИТИ угля, 1958.
39. Гехрид М. Е. Комплекс для безлюдной выемки угля. «Уголь Украины», 1960, № 5.
40. Борьба с измельчением энергетических углей и антрацитов. ЦИТИ угля, 1960.
41. Vroulik, Fr. Vliv Mechanisace na jakosti uhli. SNTL, 1957.
42. Фролов А. Г., Звенигородская Г. В. О сокращении потерь при измельчении угля. Издание ИГД АН СССР, 1960.
43. Кривонос В. Ф. Письмо в редакцию. «Уголь», 1957, № 2.
44. Турич А. Л., Балинов И. М. Угольный струг УС-4. Углетехиздат, 1949.
45. Смехов В. К., Турич А. Л. Узкозахватный агрегат А-2. Госгортехиздат, 1959.
46. Элькин И. Угледобывающий агрегат А-2. Книжное издательство Донбасс, 1960.
47. Handbuch der Mechanisierung der Kohlegewinnung. Verlag «Glückauf», GMBH, Essen, 1959.
48. «Glückauf», 1961, № 5; 1960, № 6, 10, 16, 21; 1959, № 13 и 22; 1958, № 5/6, 15, 17/18, 37/38; 1957, № 35/36, 45/46.
49. «Bergbau-Rundschau», 1960, № 2, 3, 12; 1958, № 2.
50. «Bergfreiheit», 1958, № 1 и 12.
51. «Bergbautechnik», 1958, № 8.
52. «Schlaher und Eisen», 1960, № 12; 1958, № 10.
53. «Iron and Trades Review», 1961, № 4837; 1960, № 4772, 4779, 4803, 4815; 1959, 4759; 1958, № 4676, 4707; 1957, № 4643.
54. «Colliery Guardian», 1960, № 5183; 1959, № 5108, 5130, 5149, 5150; 1958, № 5091; 1957, № 5041; 1956, № 4983.
55. «Colliery Guardian Overseas», 1960.
56. «Colliery Engineering», 1960, № 441, 434; 1959, № 419, 422, 424, 427; 1958, № 410, 414.
57. «Mining Journal», 1956, № 6326.
58. «Annales des Mines de Belgique», 1960, № 4, 6, 11; 1958, № 6.
59. «Trans. Inst. Min. Engrs», 1959, X.
60. Демидов П. Н. Ценные рабочие органы горных машин. МГИ, 1958.
61. «Colliery Engineering», V—VII, 1955.
62. «Colliery Guardian», 1957, № 5037, 5038.
63. Картавий Н. Г. Исследование процесса разрушения угля много-резцовым стругом. Диссертация. МГИ, 1960.
64. Научные труды МГИ. сб. № 21, вып. I, МГИ, 1957.
65. Лаповенко Н. А., Любимов Б. Н., Терпигорев А. М. Спротивление резанию углей при работе горных машин. ЦИТИ угля, 1958.
66. Протодаьяконов М. М., Тедер Р. И. Исследование процесса разрушения угля методом крупного скола. Госгортехиздат, 1960.

67. Любошинский Д. М., Позин Е. З., Казак Ю. Н., Зильберт И. С. Разрушение углей исполнительными органами выемочных машин. Госгортехиздат, 1961.

68. Берон А. И. и др. Основные закономерности разрушения угля исполнительными органами добычных машин. Отчет по теме № 18, ИГД АН СССР, 1960.

69. Берон А. И. Основы расчета и особенности исполнительных органов крупного скола. «Уголь», 1957, № 2.

70. Бреннер В. А., Казак Ю. Н. К определению нагрузок на резцы рабочих органов выемочных горных машин. Научные труды КНИУИ, вып. 4, 1959.

71. Любимов Б. Н. Механика статического угольного струга. Расчеты, конструирование и испытание горных машин. Сборник статей № 2. Углетехиздат, 1955.

72. Воробьев Н. В. Цепные передачи. Машгиз, 1951.

73. Петушков И. С. Исследование режима работы электродвигателей комбайнов «Донбасс-1», КС-2М и ПКС-2. Исследования по вопросам механизации горных работ и автоматизации. КузНИИ, сб. № 6. Госгортехиздат, 1959.

74. Westfalia-Lünen, Gewinnbarkeitsuntersuchungen an Steinkohlen unter besonderer Berücksichtigung der Schälenenden Kohlenzengewinnung (Manuskript).

75. Любимов Б. Н. Метод расчета нагрузочных диаграмм на многорезцовый орган горной машины. В кн. «Расчеты, конструирование и испытания горных машин». Сб. 3, М., Углетехиздат, 1957.

76. Тимошенко С. П. Теория упругости, Л.-М., ОНТИ, 1937.

77. Кольский Г. Волны напряжения в твердых телах. Изд-во иностранной литературы, М., 1955.

78. Борисов А. А. Разрушение углей и горных пород ударной нагрузкой. В кн. «Расчеты, конструирование и испытания горных машин». Сб. 2, М., Углетехиздат, 1955.

79. Любимов Б. Н., Иванов А. В., Григорьев Л. Я. Струговые агрегаты—одно из направлений механизации очистных работ. «Уголь», 1955, № 1.

80. Любимов Б. Н. Динамика вибрационного угольного струга с синусоидальной возбуждающей силой. В кн. «Расчеты и конструирование горных машин», сб. статей. М., Углетехиздат, 1954.

81. Liebold R. Der aktivierte Kohlenhobel Freiberg. Forschunghefte, Heft A 55. Dezember 1956.

82. National Coal Beard, Fhe Huwood Slicer — Zoadep Information Bulletin, № 58/195.

83. Любимов Б. Н. Динамические струги. В кн. «Горные машины», № 8. Углетехиздат, 1959.

84. Filzek B. Untersuchungen zur Selbsttätigen Vorwärtsbewegung eines aktivierten Kohlenhobel. Bergbauwissenschaften № 6, Goslar, März 1959.

85. Гопчиев А. В., Любимов Б. Н. Основные экспериментальные и теоретические закономерности процесса резания углей. В кн. «Горные машины». Сб. 2. М., Углетехиздат, 1958.

Демидов Павел Николаевич, Картавий Николай Григорьевич,
Павлюченко Дмитрий Николаевич, Любимов Борис Николаевич

Угольные струги

Отв. редактор А. Д. Панов

Редактор издательства В. И. Абрамов

Техн. редактор З. А. Болдырева

Корректор Н. И. Меренкова

Сдано в набор 20/1-62г. Подписано в печать 8/III 1962 г. Формат бумаги 60 × 90¹/₂.

Изд. № 11 Инд. %/ Цена 93 коп. Переплет 10 коп. Заказ № 216

Печ. л. 18,5 + 3 вклейки. Уч.-изд. л. 18,65 Тираж 2000 экз. Т-02656

Государственное научно-техническое издательство литературы по горному делу

ГОСГОРТЕХИЗДАТ

Москва, Грузинский вал, д. 35

Харьковская типография Госгортехиздата г. Харьков, ул. Энгельса, 11.

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

| Страница | Строка | Напечатано | Следует читать |
|----------|--------------------------------|---|--|
| 38 | 4 снизу | V_{max}^{Γ} — максимальный коэффициент крепости угля; | V_{max}^{Γ} — максимальная газонасыщенность пласта, $\text{см}^3/\text{г}$. |
| 51 | 20 снизу | обычно тихоходными, | тихоходными и быстроходными, |
| 62 | 5 сверху | 0,5 | 0,25 |
| 69 | Табл. 16, 1-я колонка слева | 0—6 мм, <i>m</i> | 0—6 мм, % |
| 69 | Табл. 17, 1-я колонка слева | 6—9 (штыб) | 6—0 (штыб) |
| 123 | 14 снизу | 125 мм. | 30 мм |
| 125 | 1 снизу | 100 мм. | 25 мм. |
| 144 | 7—8 снизу | сечение | калибр |
| 164 | Рис. 76 | <i>l</i> , мм | <i>b</i> , мм |
| 169 | 10 снизу | силы веса. | силы резания |
| 193 | 3 и 4 снизу | Кривая 1 — на двух резах, 2 — на трех и 3 — на четырех резах. | Кривая 1 — на двух резах, 2 — на четырех и 3 — на восьми резах |
| 194 | 14 сверху | для любого количества резов углей, с разными | для любого количества резов при резании углей с разными |
| 200 | 14 снизу | $-F_3 z_R$ | $+F_3 z_R$ |
| 200 | Формула 31 | $-A$ | $+A$ |
| 201 | Формула 39 | $\xi = \frac{G_c y_c}{y_R}$ | $\xi = -\frac{G_c y_c}{y_R}$ |
| 204 | Формула 45 | ΣM_{01} | ΣM_0 |
| 227 | Формула 69 | $S_1 = \frac{2G(\pi v)^2}{gz^2 t_0}$ | $S_1 = -\frac{2G(\pi v)^2}{gz^2 t_0}$ |
| 296 | 37 сверху | <i>Fhe</i> | <i>The</i> |
| 296 | 37 сверху | Zoadep | Loader |
| 296 | 41 сверху | Sellstätigen | Selbsttätigen |

П. Н. Демидов, Н. Г. Картавый, Б. Н. Любимов,
Д. Н. Павлюченко «Угольные струги»

ГПНТБ России



403054A