

Б.Б. Луганцев, Н.И. Сысоев, Л.И. Файнбурд

**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ПОЛОЖЕНИЕМ СТРУГОВОЙ УСТАНОВКИ
В ОЧИСТНОМ ЗАБОЕ**

Новочеркасск
2016

УДК 622.232.75

ББК 33.31

Л83

Рецензенты:

Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры
Геотехнологий и строительства подземных сооружений
ФГБОУ ВО «Тулский государственный университет»

Поляков Андрей Вячеславович

Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры
«Горное оборудование, транспорт и машиностроение (ГОТиМ)»
ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС»

Рахутин Максим Григорьевич

Луганцев Б. Б., Сысоев Н. И., Файнбурд Л. И.

Л83 **Системы управления положением струговой установки в
очистном забое** : монография / Б.Б. Луганцев, Н.И. Сысоев,
Л.И. Файнбурд. – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2016.– 156 с.: ил.

ISBN 978-5-9997-0615-7

В настоящей монографии приведены результаты научных исследований систем подачи струговой установки на забой, обеспечения прямолинейности струговой установки в очистном забое, управления её положением относительно почвы пласта и выработок, прилегающих к лаве, проведенных Шахтинским научно-исследовательским и проектно-конструкторским угольным институтом (ШахтНИУИ). Оработка конструкций и параметров этих систем позволила существенно повысить эффективность струговой выемки.

В книге впервые совместно приводятся сведения о различных конструкциях всех систем управления положением струговой установки в очистном забое, определяющих надёжность и целесообразность применения струговой выемки.

Монография предназначена для инженерно-технических работников угледобывающих предприятий, проектных и конструкторских организаций. Она может быть использована аспирантами и студентами высших учебных заведений.

УДК 622.232.75

ББК 33.31

ISBN 978-5-9997-0615-7

© Луганцев Б.Б. Сысоев Н.И.
Файнбурд Л.И., 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|-----------|
| ПРЕДИСЛОВИЕ | 5 |
| 1. АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ СТРУГОВОЙ УСТАНОВКИ ОТНОСИТЕЛЬНО ЗАБОЯ ПЛАСТА (СИСТЕМ ПОДАЧИ)..... | 8 |
| 1.1. Исследования и выбор параметров системы подачи струговой установки на забой..... | 8 |
| 1.1.1. При работе с крепями комплектного типа..... | 8 |
| 1.1.2. При работе с крепями агрегатированного типа | 47 |
| 1.2. Синтез структур и конструкции систем подачи струговой установки на забой..... | 52 |
| 2. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ СТРУГОВОЙ УСТАНОВКИ ОТНОСИТЕЛЬНО ВЫРАБОТОК, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ЛАВЕ | 60 |
| 2.1. Аналитические исследования параметров гидрофицированных столов (распорных устройств)..... | 60 |
| 2.2. Удержание струговой установки от стягивающих усилий по падению пласта с помощью механизма передвижки механизированной крепи | 67 |
| 2.3. Удержание струговой установки от стягивающих усилий по падению пласта с помощью гидродомкратов, расположенных вдоль лавы..... | 73 |
| 2.4. Комбинированная система управления положением струговых установок относительно выработок, прилагаемых к лаве..... | 80 |
| 3. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЯМОЛИНЕЙНОСТЬЮ СТРУГОВОЙ УСТАНОВКИ В ОЧИСТНОМ ЗАБОЕ..... | 81 |
| 3.1. Классификация систем управления прямолинейностью | 81 |
| 3.1.1. Системы поддержания прямолинейности струговой установки..... | 83 |
| 3.1.2. Системы контроля прямолинейности линии очистного забоя | 85 |
| 3.1.3. Анализ систем управления прямолинейностью линия очистного забоя | 88 |
| 3.2. Исследование влияния искривлений линии очистного забоя на работу струговых установок | 95 |
| 3.2.1. Результаты шахтных исследований искривления линии очистного забоя при работе струговых установок..... | 95 |
| 3.2.2. Определение допустимого искривления струговых конвейеров при работе с агрегатированными крепями | 104 |

| | |
|--|------------|
| 4. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА СТРУГОВОЙ УСТАНОВКИ ОТНОСИТЕЛЬНО ПОЧВЫ ПЛАСТА | 126 |
| 4.1. Системы управления положением для струговых установок отрывного типа | 127 |
| 4.2. Системы управлением положением струговых установок скользящего типа | 130 |
| 4.2.1. Системы управления с помощью вертикальных гидродомкратов | 130 |
| 4.2.2. Системы управления с помощью горизонтальных гидродомкратов | 148 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 153 |

ПРЕДИСЛОВИЕ

Применение струговых механизированных комплексов позволило поднять производительность труда и нагрузку на забой с одновременным улучшением условий труда и повышением безопасности ведения горных работ. Однако, несмотря на более простой способ выемки угля струговыми установками в сравнении с комбайновым, создание их потребовало от конструкторов и исследователей решения трудных технических задач, таких как: совершенствование систем подачи струговой установки на забой, обеспечение прямолинейности забоя, удержание струговой установки от стягивающих усилий по падению пласта, управление струговой установкой в вертикальной плоскости пласта и многих других.

В результате обоснованного выбора рациональных структуры и параметров систем управления струговой установкой относительно забоя пласта обеспечивается эффективность подач струговой установки на забой для разрушения угольного забоя, в оптимальном режиме, а значит, повышение нагрузки на очистной забой.

Усилие подачи затрачивается на преодоление сопротивления подаче и прижатие конвейера к забою. Искривление линии забоя неизбежно сопровождается удлинением цепей струга и конвейера и ростом доли усилия подачи, затрачиваемой на их натяжение. Одновременно уменьшается доля усилия, затрачиваемая на прижатие конвейера и струга к забою. При определённом усилии подачи кривизна линии забоя может достигать значений, при которых прижатие струга к забою становится недостаточным для обеспечения требуемой толщины среза. При определённой вели-

чине искривления забоя усилие подачи установки на забой может уравниваться сопротивлением её подаче. При этом разрушение забоя стругом прекращается.

Таким образом, выбор эффективных параметров и конструкции системы подачи струговой установки на забой является задачей, определяющей показатели работы лав, оснащённых струговыми механизированными комплексами.

Поддержание прямолинейности очистного забоя имеет большое значение для эффективного применения струговых механизированных комплексов, так как искривление базы струговой установки приводит к появлению дополнительных усилий в ветвях цепи конвейера, её повышенному износу, росту потерь и затрат мощности, потребляемой электродвигателями приводов, а также сокращению срока службы установки в целом. Линия очистного забоя при струговой выемке резко отличается от комбайновой, особенно в условиях горно-геологических нарушений.

Непрямолинейность забоя объясняется также изменением крепости угля по длине лавы и, как следствие, неравномерной подачей струговой установки на забой, а также рядом организационно-технических причин: отработкой лавы участками, отставанием подготовки ниш и т. д. В ШахтНИУИ были проведены исследования и разработаны конструкции систем, обеспечивающих прямолинейность очистного забоя в условиях эксплуатации струговых механизированных комплексов.

Опыт эксплуатации серийных установок показывает, что применяемые в них устройства (столы, распорные устройства), удерживающие установки от сползания по падению пласта за счёт стягивающих усилий, не обеспечивают надёжного выполнения своих функций. Такое явление приводит к снижению надёжности струговых установок и механизированных комплексов в целом, а также существенному повышению трудоёмкости работ по корректировке их положения вдоль очистного забоя. Наблюдениями, проведёнными ШахтНИУИ при отработке пласта с углом падения $19\text{--}32^\circ$, установлено, что интенсивность сползания струговой установки 1СО2620 составляет 0,12 м на 1 м подвигания забоя, а трудоёмкость корректировки на величину 0,6 м (ход гидродомкрата) составляет 426 чел.-мин.

С целью устранения указанного недостатка, повышения надёжности при эксплуатации струговых механизированных комплексов ШахтНИУИ разработал новые системы удержания, конструкции которых были исследованы и применены в существующих струговых установках.

Система корректировки положения исполнительного органа (струга) в плоскости пласта является одной из важнейших в струговой установке. Она необходима для стабилизации положения установки на контакте «почва – угольный пласт», а также для схода струга с «земника» или выхода его из почвы. Для этих целей используют как возможность регулировки положения почвенного резца относительно подконвейерной плиты (кромки угольника), так и специальные устройства (системы управления).

Практикой применения струговых установок определена возможность управления положением струга следующими способами:

1) подъемом забойной части става конвейера и, соответственно, подъёмом от почвы пласта нижнего резца исполнительного органа;

2) поворотом завальной части става конвейера относительно продольной оси, например, посредством гидравлических устройств;

3) подъёмом нижнего резца над почвой при зарывании струга в почву или опусканием нижнего резца ниже опорной поверхности струга для схода струга с «земника».

В монографии рассматриваются различные конструктивные решения, реализующие эти способы, и результаты исследований по выбору их рациональных параметров.

В настоящей книге изложены результаты работ ШахтНИУИ по исследованию и разработке конструкций струговых установок с эффективными системами подачи на забой, удержания струговой установки от скольжения по подъёму пласта, обеспечения прямолинейности очистного забоя и управления положением исполнительного органа струговой установки.

Раздел 3 в настоящей книге написан Луганцевым Яковом Борисовичем.

1. АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ СТРУГОВОЙ УСТАНОВКИ ОТНОСИТЕЛЬНО ЗАБОЯ ПЛАСТА (СИСТЕМ ПОДАЧИ)

1.1. Исследования и выбор параметров системы подачи струговой установки на забой

Существующие системы подачи струговой установки на забой можно разделить на следующие типы:

- системы подачи струговой установки на забой при работе с крепями комплектного типа;
- системы подачи струговой установки на забой при работе с крепями агрегатированного типа.

Конструкции каждого из перечисленных типов зависят от типа струговой установки: скользящего или отрывного.

1.1.1. При работе с крепями комплектного типа

Системы подачи струговой установки на забой имеют следующие исполнения:

- подача осуществляется индивидуальным гидродомкратом, установленным между секциями крепи;
- подача осуществляется гидродомкратом секции крепи (так называемая «бездомкратная» система подачи).

Исследования системы подачи индивидуальным гидродомкратом.

При выборе параметров системы подачи индивидуальным гидродомкратом имеют место два противоречивых фактора. Первый связан с необходимостью передачи достаточно высоких усилий, прижимающих струг к забою, второй – с необходимостью уменьшения погонной нагрузки на рештачный став для обеспечения его устойчивости. Для оценки влияния каждого фактора проведены экспериментальные исследования в лабораторных и промышленных условиях. При этом варьируемыми параметрами были шаг расстановки гидродомкратов, давление в напорной магистральной трубе, скорость движения струга и величина отжатия рештач-

ного става, определяемая шириной корпуса. Во всех опытах определены усилия, передаваемые системой подачи на исполнительный орган. Величина их является совокупным показателем, характеризующим эффективность работы системы подачи при её взаимодействии с исполнительным органом.

Рассмотрим механизм передачи усилий от системы подачи на исполнительный орган. При этом следует рассматривать две принципиальные схемы: исполнительный орган работает с отжатием рештачного става и без отжатия. Последняя является в принципе частным случаем первой, когда отжатие рештачного става равно нулю.

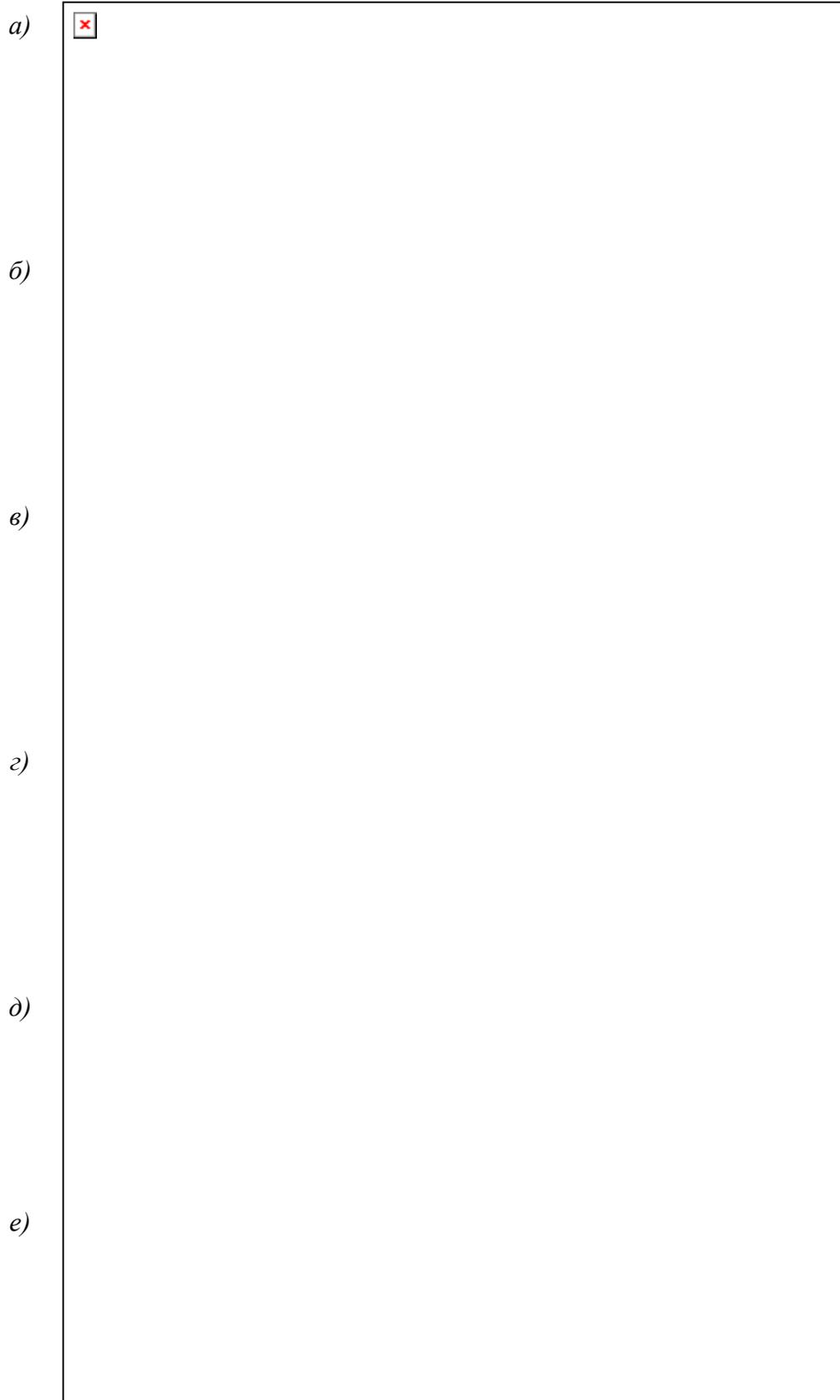
Система подачи струговых установок гидродомкратами, рассредоточенными на определённом расстоянии друг от друга по длине рештачного става.

Все гидродомкраты запитаны от одной общей напорной магистральной и постоянно находятся под давлением.

В струговых установках, работающих без отжатия рештачного става, гидродомкраты подачи располагаются через один рештак или на каждом рештаке (рис. 1.1).

При расстановке гидродомкратов через два и более рештака в струговых установках с наклонными направляющими на участках става между домкратами не обеспечивается работа струга без отжатия стругового конвейера, который в дальнейшем будет называться базой струговой установки или просто базой. Это подтверждается наблюдениями и результатами экспериментальных исследований отжимающих усилий на струге при различном шаге расстановки гидродомкратов.

При установке тензометрических элементов, выполненных в виде наклонных плит с роликами вместо основных групп резцов на корпусе и проставке, были получены осциллограммы отжимающих усилий на исполнительном органе. Посредством роликов, катившихся по груди забоя, производились измерения отжимающих усилий на корпусе $P_{р.к}$ и проставке $P_{р.п}$. Величина отжатия рештачного става составляла 20 мм и обеспечивалась установкой между забоем и рештачным ставом специальных проставок. Опыты велись при давлении в гидросистеме 30 кгс/см^2 и скоростях движения струга 0,48 и 1,5 м/с.



**Рис. 1.1. Схема расчёта усилий системы подачи
струговой установки с наклонными направляющими**

Анализ осциллограмм показывает, что в основном усилия от системы подачи передаются на корпус струга. Усилие на проставке практически отсутствует. Как при скорости 0,48, так и 1,5 м/с исполнительный орган испытывает прижимающие усилия в момент нахождения его около гидродомкрата. При прохождении стругом участков рештачного става между гидродомкратами, когда шаг их расстановки составляет 4,05 и 5,4 м (соответственно 3 и 4 рештака), усилия на струге минимальны или близки к нулю. При расположении гидродомкратов через один рештак (2,7 м) усилия на струге как по величине, так и по характеру на всех участках рештачного става примерно одинаковы, а на отдельных участках между домкратами превышают среднее значение. Полученные данные подтверждают, что предотвращение смещения базы струговой установки не обеспечивается на участках с количеством два и более свободных (не связанных с гидродомкратами) рештаков между гидродомкратами. Рештачный став прогибается за счёт подвижности в замковых соединениях под действием даже незначительных усилий.

При расстановке гидродомкратов через один рештак, когда струг находится напротив гидродомкрата (рис. 1.1, а), на него передаётся усилие только от одного гидродомкрата. Если это усилие P_d меньше усилия P_o отжима, конвейер будет отжиматься от забоя (рис. 1.1, в).

При нахождении струга между гидродомкратами (рис. 1.1, а и 1.1, г) средний рештак опирается с обеих сторон на два других, удерживаемых гидродомкратами подачи. В этом случае прогиб рештаков друг относительно друга за счёт свободы в замках невозможен. На струг передаются усилия от двух гидродомкратов. Таким образом, при расположении домкратов через один рештак для обеспечения работы струга без отжатия рештачного става необходимо, чтобы усилие одного гидродомкрата превышало усилие отжима.

При расположении гидродомкратов на каждом рештаке на исполнительный орган передаются усилия от двух гидродомкратов на участке става между ними (рис. 1.1, д), и от трёх гидродомкратов, когда струг находится напротив гидродомкрата (рис. 1.1, е). Безусловно, совместное воздействие гидродомкратов на исполнительный орган не означает простое суммирование

усилий, развиваемых гидродомкратами. Однако можно достаточно надёжно (с некоторым запасом) принимать для расчётов величину передаваемых на струг усилий от совместного действия двух гидродомкратов.

В схеме, когда исполнительный орган работает с отжатием рештачного става, на него передаются усилия от гидродомкратов, находящихся в зоне дуги изгиба конвейера. Длина дуги изгиба $L_{д.и}$ зависит от величины отжатия рештачного става, которая, в свою очередь, зависит от ширины корпуса струга b , его длины $L_{к.с}$ и угла разворота его относительно забоя лавы α_1 . Величина отжима y (рис. 1.2, а) определяется по формуле

$$y = L_{к.с} \sin \alpha_1 + b, \text{ м.}$$

Для определения количества рештаков H на дуге изгиба допускаем, что изогнутая часть рештачного става имеет вид ломаной линии, отрезки которой располагаются под углом к линии забоя (рис. 1.2, б).

$$H = n + n_1 + n_2,$$

где n , n_1 , n_2 – количество рештаков на дуге изгиба соответственно впереди, против и сзади струга.

$$n = \frac{b}{l_p \sin \alpha};$$

$$n_1 = \frac{y - b}{l_p \sin \alpha};$$

$$n_2 = \frac{y}{l_p \sin \alpha};$$

$$H = \frac{1}{l_p} \left[\frac{b \sin \alpha_2 (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2) + y \sin \alpha (\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2)}{\sin \alpha \sin \alpha_1 \sin \alpha_2} \right].$$

Количество гидродомкратов на дуге изгиба N при расположении их через «к» рештаков будет

$$N = \frac{H}{k}.$$

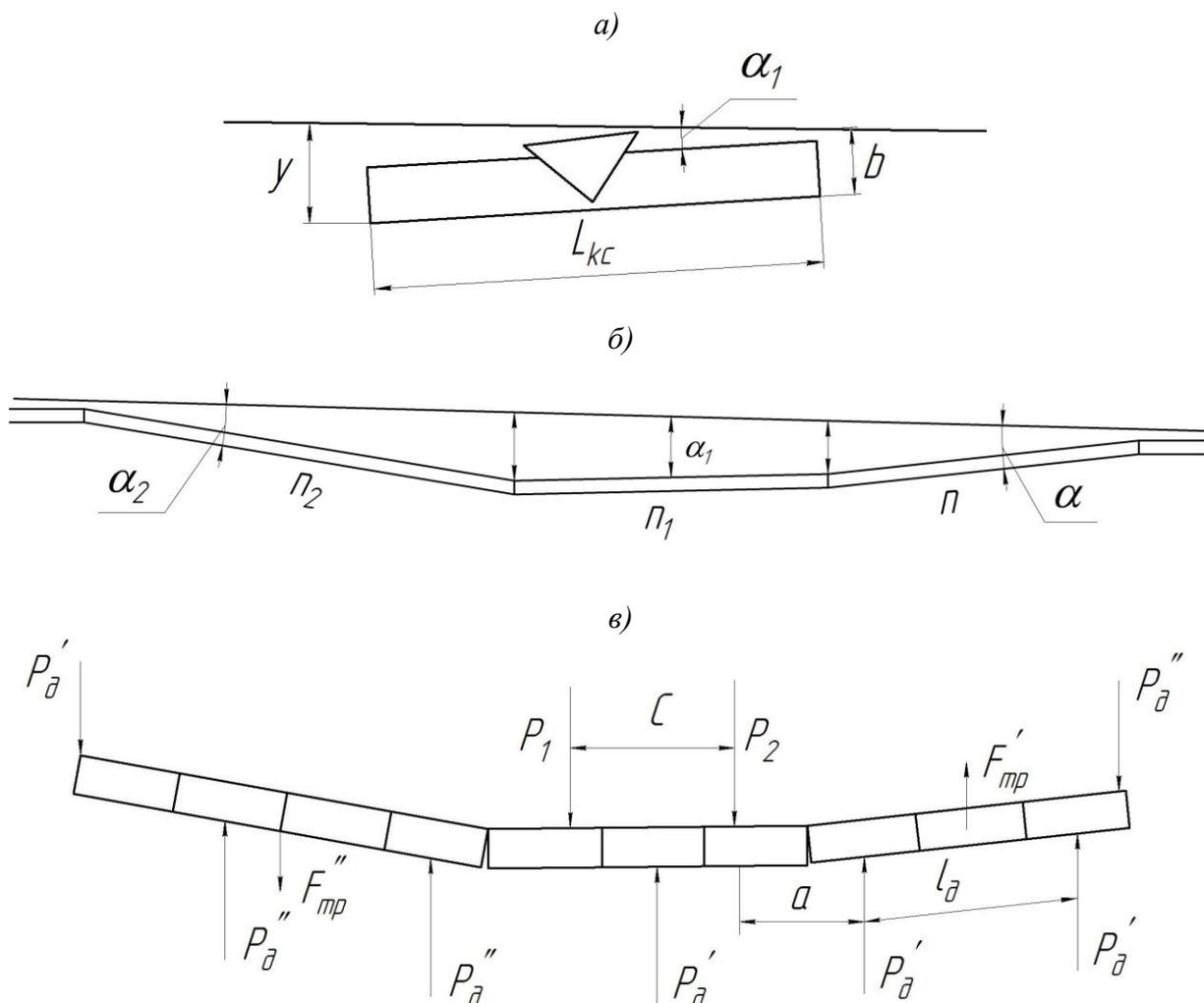


Рис. 1.2. Схемы определения величины отжима (а), длины дуги изгиба (б) и расчёта усилий системы подачи на исполнительные органы, работающие с отжатием рештчатого става (в)

Многочисленными наблюдениями установлено, что во время движения корпус струга разворачивается относительно забоя на угол $\alpha_1 = 2-3^\circ$. Впереди и сзади струга рештаки занимают положение, составляющее с линией забоя углы $\alpha = \alpha_2 \cong 3-4^\circ$. Задаваясь значениями углов α , α_1 , α_2 , шириной корпуса струга b и расстоянием между опорами струга, можно определить количество рештаков и гидродомкратов на дуге изгиба рештчатого става.

После определения количества рештаков и гидродомкратов на дуге изгиба рештчатого става определяются суммарные усилия подачи, действующие на исполнительный орган.

Силы, нагружающие систему струг-конвейер в рабочем процессе, представляют собой пространственную систему сил. Тяговые усилия и усилия, развиваемые системой подачи, реализуются

в двухмерной системе координат. Поэтому при решении этой задачи учитывались только силы, действующие в плоскости пласта. С целью определения этих сил составляются две расчётные схемы. В первой рассматривается рештачный став и система подачи. Действие исполнительного органа на рештачный став заменяется реакциями в его опорах R_1 и R_2 . Дуга изгиба рассматривалась как жёсткая балка, на которую действуют гидродомкраты с одной стороны и реакции R_3', R_3'', R_1, R_2 – с другой. R_3', R_3'' – реакции забоя по концам дуги изгиба.

При движении струга вдоль става расстояние между его опорами и гидродомкратами впереди струга изменяется от l_d до нуля, в результате чего происходит перераспределение усилий в опорах R_1 и R_2 . Анализ показывает, что на участке, равном расстоянию между домкратами, имеется несколько интервалов, в области которых значение реакций в опорах струга изменяется только вследствие изменения параметра a , характеризующего уменьшение расстояния между передней опорой струга и гидродомкратом, находящимся впереди струга (рис. 1.2, в).

В каждом интервале значения параметров, входящих в выражения для определения реакций в опорах, различны, но внутри него остаются постоянными. Последующий интервал от предыдущего отличается изменением плеч, на которых действуют силы трения рештаков о почву пласта впереди и сзади струга, и сил трения, действующих на гидродомкраты, работающие с втягиванием и выдвиганием штока. Количество гидродомкратов, работающих на втягивание штока, изменяется за счёт смещения реакций по дуге изгиба. Количество интервалов t зависит от количества рештаков между домкратами «к» и расстояния между опорами струга τ . При τ больше длины линейного рештака l_p связь между количеством интервалов и количеством рештаков имеет вид:

$$t = 2k + 1.$$

При $\tau \leq l_p$: $t = k + 1$.

При расстоянии между гидродомкратами – 2,7 м, что соответствует двум рештакам, количество интервалов будет 5 при $\tau > l_p$ и 3 при $\tau \leq l_p$.

Рассмотрим изогнутую часть рештачного става с действующими на неё силами в прямоугольной системе координат. Суммы проекций сил на вертикальную ось и моментов относительно произвольно выбранной точки «к» имеют вид:

$$\sum P = \sum P'_d + \sum P''_d + \sum F_{\text{тр}} - R'_3 - R''_3 - R_1 - R_2 = 0, \quad (1.1)$$

$$\sum m_k = \sum (F_{\text{тр}i} x_i) + \sum (P'_{di} y_i) + \sum (P''_{di} z_i) + \sum (R_i z_i) = 0, \quad (1.2)$$

где P'_d – усилие, развиваемое гидродомкратом, работающим в режиме втягивания штока, тс;

P''_d – усилие, развиваемое гидродомкратом, работающим в режиме выдвигания штока, тс;

$\sum F_{\text{тр}}$ – сумма сопротивлений трению при перемещении отжимаемых от забоя и прижимаемых к забою рештаков с коммуникациями, тс;

x_i, y_i, z_i, z_i – плечи соответствующих сил относительно точки «к», м.

Следует заметить, что в выражениях (1.1) и (1.2) не учитывается угол α , так как он невелик (не превышает 3–4°), и проекция силы по величине равна практически действующей силе. Решив совместно (1.1) и (1.2), получим значения R_1 и R_2 :

$$R_1 = \frac{\lg v - a\theta}{\tau}, \text{ тс}, \quad (1.3)$$

$$R_2 = \theta - R_1, \text{ тс}. \quad (1.4)$$

Здесь

$$v = P_{\text{ст}} (Dk_1 + Fk_2) - Bf_2G, \text{ тс}, \quad (1.5)$$

$$\theta = P_{\text{ст}} (Ek_1 + Nk_2) - Kf_2G, \text{ тс}, \quad (1.6)$$

где $P_{\text{ст}}$ – усилие, развиваемое гидродомкратом в статическом режиме, тс;

k_1, k_2 – коэффициенты, учитывающие режим работы гидродомкрата при отжатии и при прижатии рештачного става;

G – вес перемещаемых рештаков с коммуникациями, тс;

f_2 – коэффициент трения металла о почву;

D, F, B, E, N, K – численные значения параметров, зависящие от конструкции исполнительного органа и определяемые из выражений (1.5) и (1.6).

Эти выражения определяют значения реакций в опорах R_1 и R_2 в интервалах изменения параметра a при шаге расстановки гидродомкратов через 2,7; 4,05 и 5,4 м.

Из выражений (1.3) и (1.4) нетрудно определить суммарное усилие, передаваемое системой подачи на исполнительный орган:

$$\sum F_c = R_1 + R_2 = \theta, \text{ тс}, \quad (1.7)$$

Основной особенностью, отличающей предложенную методику определения усилий, передаваемых системой гидропередачи на исполнительный орган струговой установки, является учёт режима работы и количества гидродомкратов в процессе взаимодействия струга с системой подачи при различных скоростях движения.

В формулах (1.5) и (1.6) k_1 и k_2 характеризуют работу гидродомкрата при вдавливании и выдвигании штока.

Исследованиями, проведёнными в ШахтНИУИ, установлено, что давление в поршневой полости гидродомкрата увеличивается при втягивании и уменьшается при выдвигании штока.

Для серийно выпускаемых гидродомкратов при $v_{\text{стр}} = 1,5$ м/с $k_1 = 1,2$, а $k_2 = 0,8$.

Выражение для определения усилий, передаваемых системой подачи на исполнительный орган (1.7), довольно простое и им легко пользоваться в инженерной практике.

Для проверки достоверности данной методики расчёта усилий, передаваемых системой подачи на струг, выражения (1.3) и (1.4) были запрограммированы для исполнительного органа струговой установки при его скорости движения 1,5 м/с и давлении в гидросистеме подачи 30 кгс/см^2 и в результате расчётов на ЭВМ были получены следующие средние суммарные усилия (R_1+R_2): при $l_d = 2,7$ м – 6,56 тс; $l_d = 4,05$ м – 4,18 тс; $l_d = 5,4$ м – 3,22 тс. Характер распределения усилий, передаваемых системой подачи на исполнительный орган между основной группой резцов и ограничителем стружки, определялся в ходе лабораторно-стендовых экспериментов.

Исследования проводились на струге без строгания углеродного блока, но с включённой системой подачи. Усилия измерялись специальными тензометрическими динамометрами, представляющими собой катушечные опоры, на плитах которых были

наклеены тензодатчики. Катучие опоры устанавливались на корпус и проставку вместо основных групп режущего инструмента. При своём движении струг опирался роликами этих опор на жёсткую базу.

В результате проведения этих экспериментов были получены графики усилий, передаваемых системой подачи на корпус и проставку. Анализ графиков показал, что усилия имеют резкопеременный характер. При этом увеличение усилия на проставке приводило к уменьшению усилий на корпус. Общие же (суммарные) усилия более стабильны, они значительно меньше подвержены колебаниям, их средняя величина возрастает с ростом погонной нагрузки на рештачный став.

Рассмотрение графиков позволяет установить циклический характер нагрузок, действующих на катучие опоры. Графики имеют качественно одинаковый характер при одном и том же шаге расстановки гидродомкратов, но различных давлениях в гидросистеме подачи и существенно различаются при различной схеме расстановки гидродомкратов.

Для упрощения анализа механизма передачи усилий со стороны гидросистемы подачи на ограничитель толщины стружки и основную группу резцов исполнительного органа можно заменить действительный график усилий упрощённым. При этом средние значения усилий на упрощённом линеаризованном графике равны реальным средним усилиям, полученным экспериментально как на отдельных участках рештачного става, так и в целом за время эксперимента.

Такие графики могут быть построены для различных схем расстановки гидродомкратов и различных давлений в гидросистеме подачи. При одной схеме расстановки гидродомкратов и различных давлениях в гидросистеме характер графиков качественно одинаковый, изменяются лишь величины усилий (они увеличиваются с повышением давления).

Примеры усреднённых линеаризованных графиков усилий представлены на рис. 1.3. Графики можно ещё больше упростить, представив, что усилия, передаваемые системой подачи на исполнительный орган, на длине рештака практически постоянны и что они изменяются при переходе с рештака на рештак.

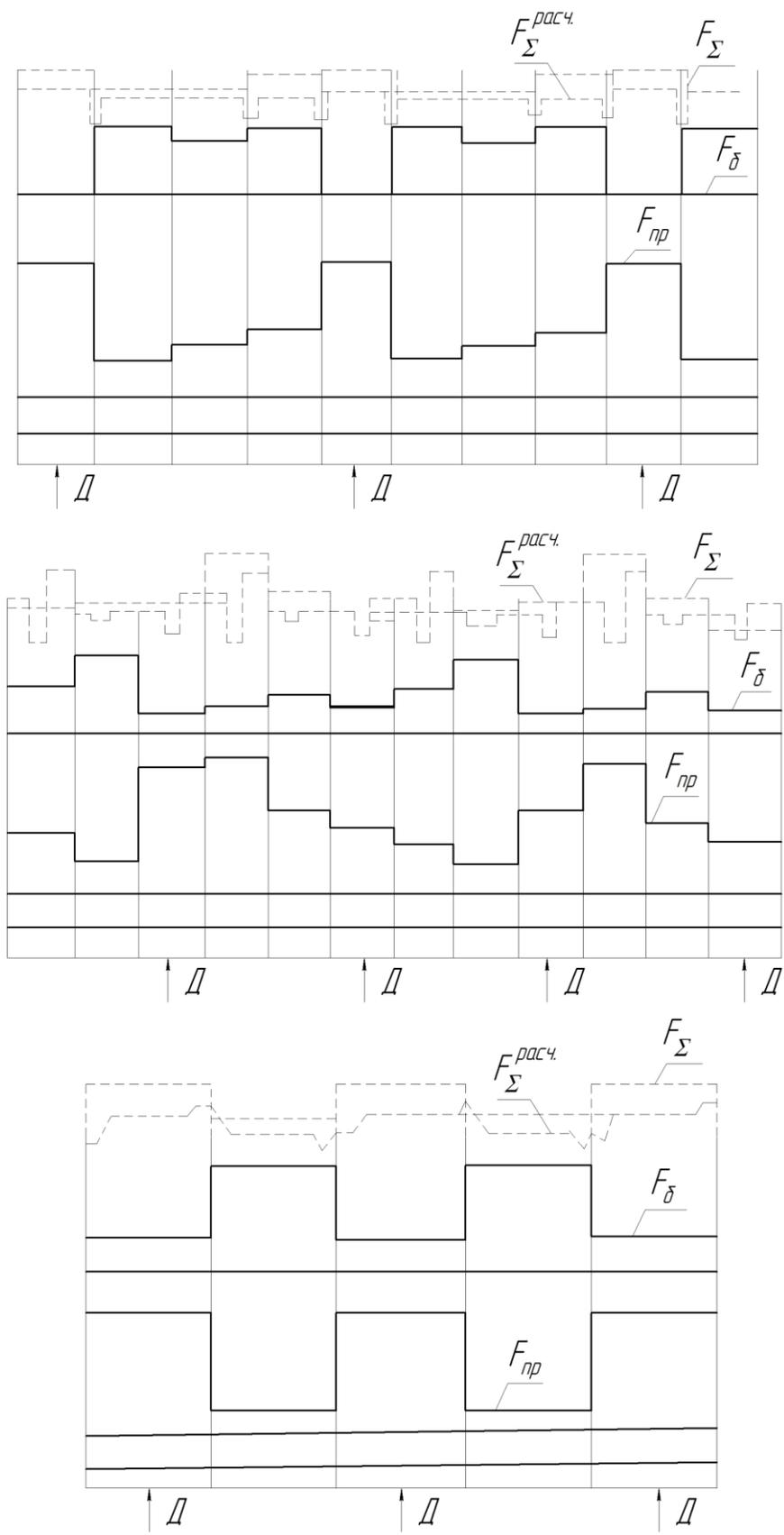


Рис. 1.3. Усреднённые линеаризованные графики усилий, передаваемых системой подачи на исполнительный орган при шаге расстановки гидродомкратов через 5,4; 4,05 и 2,7 м

При этом цикл изменения величины нагрузки для различных схем расстановки гидродомкратов остаётся прежним (при $l_d = 2,7$ м цикл повторяется через 2, при $l_d = 4,5$ м – через 6 и при $l_d = 5,4$ м через 4 рештака).

Величина средних значений усилий, передаваемых системой подачи на струг, остаётся такой же, как и на реальных графиках.

При этом суммарные средние значения усилий, передаваемых системой подачи на исполнительный орган, при давлении в гидросети системы подачи 30 кгс/см^2 были равны при $l_d = 2,7$ м – 6,05 тс, при $l_d = 4,05$ м – 4,08 тс и при $l_d = 5,4$ м – 3,05 тс. Средние суммарные усилия системы подачи, подсчитанные по предлагаемым формулам (1.3) и (1.4) для исполнительного органа с шагом расстановки гидродомкратов 2,7 м, составили 6,2 тс. Разница между средними значениями усилий, полученными при обработке реальных графиков и подсчитанными по формулам, не превышает 10 %.

Анализ реальных графиков и графиков расчётных средних усилий, передаваемых на струг, показывает, что если расстояние между опорами струга $2l_p > \tau > l_p$, то период изменения суммарных усилий при шаге гидродомкратов, равном чётному количеству рештаков, равен этому шагу (см. рис. 1.3). При шаге, равном нечётному количеству рештаков, закономерность не прослеживается.

В струговых установках отрывного действия тяговый орган, находящийся в желобах с завальной стороны конвейера, на участке искривления рештачного става повторяет конфигурацию этого участка. Натянутая обратная ветвь тяговой цепи создаёт дополнительное усилие, прижимающее исполнительный орган к забою, которое описывается следующим выражением:

$$F_{\text{доп}} = \sqrt{2F_{\text{оц}}^2 - 2F_{\text{оц}}^2 \cos(\alpha + \alpha_2)} = 2F_{\text{оц}} \sin \frac{\alpha + \alpha_2}{2}, \text{ тс.} \quad (1.8)$$

Так как при работе серийных струговых установок $\alpha \approx \alpha_2 \approx 3-4^\circ$, то $\sin \frac{\alpha + \alpha_2}{2} \approx 0,05$, подставив эти данные в (1.8), получим:

$$F_{\text{доп}} \approx 0,1F_{\text{оц}}, \text{ тс.} \quad (1.9)$$

Это дополнительное усилие складывается с суммарным усилием подачи гидродомкратов и увеличивает усилия на исполнительный орган.

Входящее в выражение (1.9) усилие обратной ветви цепи $F_{\text{об}}$ зависит от целого ряда факторов: усилия в тяговой цепи, которое в свою очередь зависит от толщины снимаемой стружки, высоты исполнительного органа и схемы разрушения, сопротивляемости угля разрушению, усилия подачи и т. д., а также от распределения мощности между приводами. Учёт всех этих факторов может существенно усложнить расчёт.

Поэтому для инженерной практики следует учитывать это таким образом: принимать усилия в обратной цепи равными 0,4–0,5 тягового усилия в рабочей ветви. Точку приложения дополнительного усилия подачи можно считать расположенной на заднем из двух рештаков, на которые опирается струг. Расчёты показывают, что при учёте этого дополнительного усилия подачи сходимость результатов экспериментальных и теоретических исследований улучшается и разница между ними не превышает 5–7 %.

Таким образом:

– в струговых установках с наклонными направляющими, когда одним из условий их нормальной работы является отсутствие отжатия рештачного става от забоя при проходе струга, необходимо устанавливать гидродомкраты системы подачи не реже, чем через один рештак;

– расчёт потребного усилия, передаваемого системой подачи на исполнительный орган с наклонными направляющими, необходимо вести исходя из усилия, развиваемого одним гидродомкратом при шаге расстановки гидродомкратов через один рештак и двумя гидродомкратами при их расположении на каждом рештаке;

– целесообразность применения того или другого расположения гидродомкратов оценивается совокупно по условиям обеспечения поперечной устойчивости базы струговой установки, экономичности, удобства эксплуатации и надёжности системы подачи. Предположительно следует ориентироваться при выемке крепких углей и высоких скоростях движения стругов

(1,4 м/с и более) на шаг расстановки гидродомкратов через один рештак;

– расчёт усилия, передаваемого системой подачи на исполнительные органы, работающие с отжатием рештачного става, должен производиться исходя из усилий, развиваемых гидродомкратами, расположенными на дуге изгиба с учётом режима их работы при различных скоростях движения струга;

– на исполнительный орган струговой установки, работающей с отжатием рештачного става, действуют усилия подачи гидродомкратов, расположенных на дуге изгиба конвейера, длина которой зависит от длины и ширины корпуса струга и угла разворота его относительно забоя лавы;

– усилия со стороны системы подачи, действующие на исполнительные органы, которые работают с отжатием рештачного става, удобнее определять методом расчленения системы струг–конвейер;

– при движении струга по рештачному ставу усилия, передаваемые на его опоры, периодически изменяются, при этом изменения имеют циклический характер. Величина цикла изменения зависит от шага расстановки гидродомкратов подачи;

– обратная ветвь тяговой цепи создаёт дополнительные усилия, прижимающие исполнительный орган к забою.

Исследование системы подачи гидродомкратом секции крепи.

Исследования проводились на полнометражном стенде ШахтНИУИ со струговой установкой, у которой часть линейных гидродомкратов была заменена типовыми гидродомкратами крепи с диаметром 110 мм, оснащёнными распределителями с диаметром каналов 6 мм.

Давление в линии подачи обеспечивалось насосной станцией. Рабочая жидкость – водо-масляная эмульсия. В составе устройств подачи было установлено три экспериментальных гидродомкрата со средним шагом установки 3 м. С целью получения низкого давления в гидросистеме в пределах 1,0–5,0 МПа использовались поочерёдно:

- предохранительный клапан типа КПЕ;
- подпорный клапан 1МКС.02.00.300;
- редуционный газовый клапан СНУ5Р.01.000.

Исследования проводились при скоростях струга 0,77 м/с и 1,5 м/с и величинах отжатия от 80 до 300 мм.

Подвод рабочей жидкости в гидродомкраты подачи осуществлялся по двум схемам – прямой и дифференциальной. При прямой схеме жидкость подводилась только в поршневую полость гидродомкрата, при дифференциальной – одновременно в поршневую и штоковую полости.

Давление в напорной линии подачи создавалось насосной станцией с понижающим клапаном и изменялось от 0 до 5 МПа.

Замеры давления в гидросистеме производились с помощью тензодатчиков, встроенных как непосредственно в поршневую полость гидродомкратов, так и в напорную линию.

Полный объём измерений производился также на контрольном гидродомкрате с диаметром цилиндра 80 мм, диаметром штока 50 мм и проходными отверстиями распределителя 12 мм. Визуальный контроль давления производился с помощью манометров.

В результате исследований установлено, что гидродомкрат с диаметром 110 мм, оснащённый распределителем с диаметром каналов 6 мм, обеспечивает силовую характеристику системы подачи, эквивалентную силовой характеристике гидродомкрата с диаметром 80 мм в диапазоне усилий 17–41 кН при давлении в системе при следующих параметрах:

- при прямой схеме подвода жидкости к гидродомкрату, при скорости струга 1,53 м/с давление в линии подачи 0–1,8 МПа, а величина отжатия конвейерного става – 50–100 мм, а при скорости струга 0,77 м/с давление в линии подачи 1,7–2,5 МПа, а величина отжатия конвейерного става – 50–200 мм;

- при дифференциальной схеме подвода жидкости к гидродомкрату, при скорости струга 1,53 м/с давление в линии подачи 3,5–4,5 МПа, а при скорости струга 0,77 м/с давление в линии подачи – свыше 3,0 МПа, величина отжатия – свыше 200 мм.

Измерениями в лабораторных условиях установлено, что при скорости струга 1,53 м/с, отжатии конвейера 130–220 мм, прямой схеме подвода жидкости к гидродомкрату, скорость складывания гидродомкрата с диаметром поршневой полости 80 мм достигает

83–166 мм/с. При этом гидроцепь системы, через которую проходит вытесняемая жидкость, должна пропускать расход для гидродомкрата с диаметром поршневой полости 80 и 110 мм соответственно 25–50 и 47–95 л/мин.

При таких расходах жидкости в отводящей гидроцепи системы подачи, имеющей суженные сечения диаметром 6 мм и повороты, возникают значительные сопротивления вытесняемому потоку жидкости, из-за чего непосредственно в поршневой полости гидродомкрата в момент прохода струга наблюдаются большие пиковые давления.

В результате исследований получены значения коэффициента K , показывающего отношение пикового давления, возникающего в поршневых полостях гидродомкратов диаметров 110 и 80 мм при проходе струга к давлению настройки в напорной магистрали, в зависимости от скорости струга, величины отжатия, давления настройки в напорной линии, схемы подвода жидкости к гидродомкрату. Зависимости, полученные при исследованиях, представлены на рис. 1.4.

Установлено, что тип и пропускная способность понижающих клапанов практически не влияет на величину пиковых давлений в поршневых полостях гидродомкратов, возникающих при проходе струга.

Анализ полученных результатов показал, что при подаче на забой конвейера струговой установки отрывного типа Т-образной балкой механизма передвижки крепи, которая объединяет два гидродомкрата диаметром 110 мм, следует рекомендовать дифференциальную схему подвода жидкости к гидродомкратам подачи комплекта крепи низким давлением при следующих параметрах:

- а) скорость струга – 1,53 м/с;
давление настройки в напорной линии – 1,0–1,5 МПа;
величина отжатия конвейерного става – 50–200 мм;
- б) скорость струга – 0,77 м/с;
давление – 1,5–3,0 МПа;
величина отжатия – 100–250 мм.

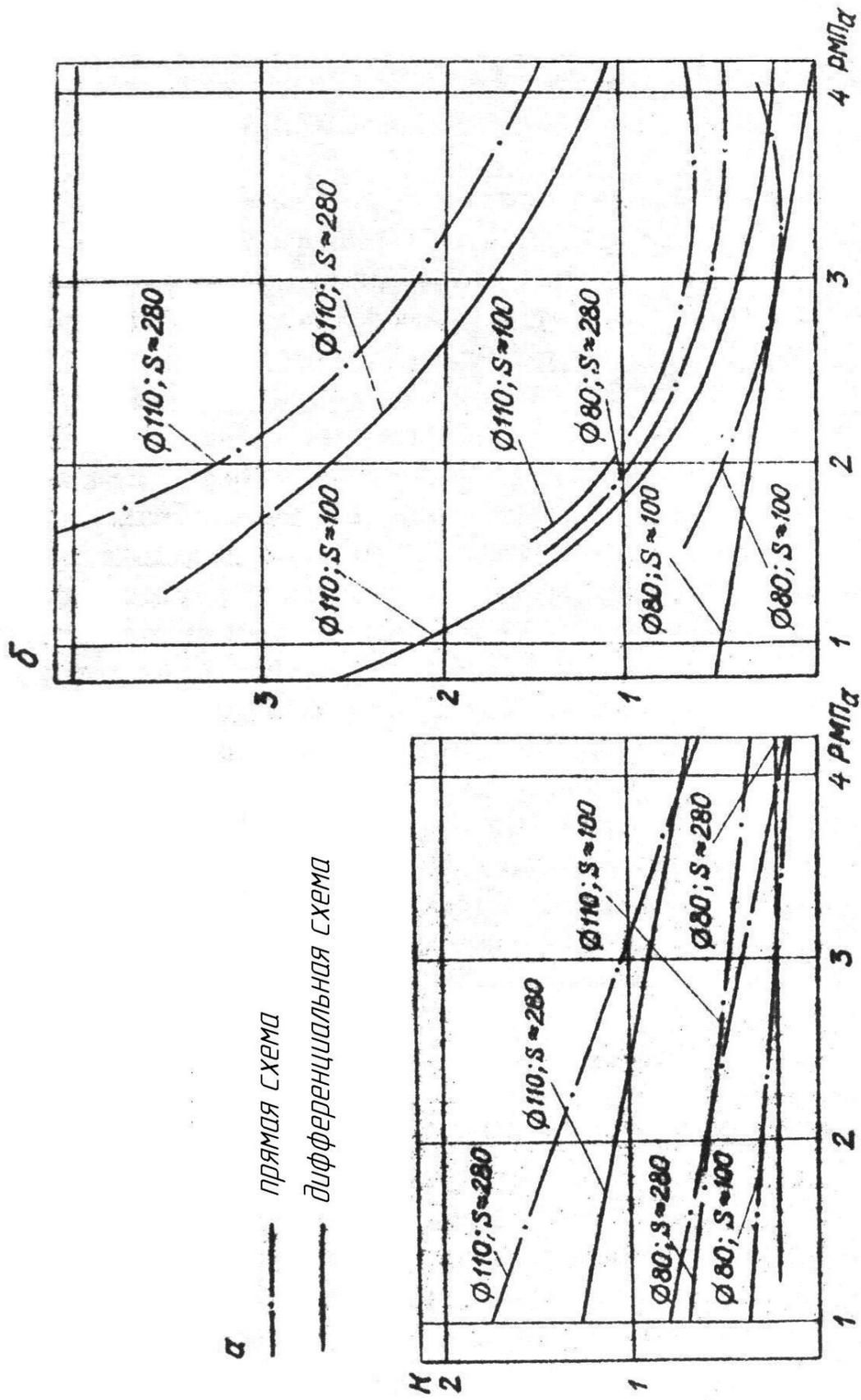


Рис. 1.4. Зависимость коэффициента K от давления настройки в напорной линии:
 a – скорость струя 0.77 м/с; b – скорость струя 1.53 м/с

Подача струговой установки на забой в указанных параметрах может быть реализована на основе гидравлической схемы комплекта крепи, позволяющей производить запитку и отключение по дифференциальной схеме гидродомкратов подачи секций крепи низким давлением в процессе выемки угля струговой установкой. Гидроразводкой по такой схеме должен быть оборудован каждый второй или каждый третий комплект крепи. Результаты исследований позволили рекомендовать проведение шахтных испытаний стругового комплекса, оборудованного экспериментальным образцом системы подачи струговой установки отрывного типа на забой.

Результаты исследований «бездомкратной» системы подачи струговой установки на забой были подтверждены исследованиями, проведёнными в шахтных условиях. Место проведения, горно-геологические условия испытаний и оборудование, в составе которого испытывалась система подачи, приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Условия шахтных испытаний «бездомкратной» системы подачи

| Номер лавы | Горно-геологические условия | | | Струговая установка |
|-------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------|
| | Длина лавы, м | Мощность пласта, м | Угол падения пласта, градус | |
| 04-бортовая | 180 | 1,45 | 6–8° по восстанию | 3CO2620 |
| 06-бортовая | 205 | 1,40 | 7° по восстанию | 3CO2620 |
| 05-бортовая | 185 | 1,34 | 2–17° по восстанию | 3CO2620 |
| 1002 | 170 | 1,05 | 12° по простиранию | 1CO2620 |
| 1001 | 170 | 1,03 | 8° по простиранию | 1CO2620 |
| 1003 | 173 | 1,08 | 7° по простиранию | 1CO2620 |

В процессе исследований «бездомкратной» системы проводилось её сравнение с системой, выпускаемой серийно, устанавливалась функциональная работоспособность стругового комплекса, оценивались надёжность, удобство управления и обслуживания, технико-экономическая эффективность.

Сравнительные исследования системы подачи проводились в трёх лавах. В одной последовательно испытывалась серийная и «бездомкратная» системы подачи. В другой лаве была смонтирована серийная система подачи. В третьей лаве – «бездомкратная».

Лавы имели аналогичные горно-геологические условия и эксплуатировались одновременно.

При сравнительных испытаниях исследовались:

- энергетические показатели процесса выемки и доставки угля струговой установкой, в том числе мощность и энергия, потребляемые приводами струга и конвейера, машинное время работы струга и конвейера;

- величина отжатия конвейера от забоя при проходе струга;

- продольные перемещения рештаков конвейерного става;

- давление рабочей жидкости в напорной линии системы подачи;

- толщина стружки;

- затраты времени на процесс крепления лавы и подачи струговой установки на забой.

Результаты замеров энергетических параметров по первой лаве приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Результаты замеров энергетических параметров по первой лаве

| Параметры | Система подачи | |
|---|----------------|-----------------|
| | Серийная | «Бездомкратная» |
| Мощность пласта, м | 1,37 | 1,29 |
| Добыча, т | 13377 | 5634 |
| Производительность выемки, т/ч | 282 | 350 |
| Средняя толщина снимаемой стружки, см | 4,5 | 5,2 |
| Мощность, потребляемая электродвигателями струга, кВт | 131 | 141 |
| Машинное время работы, ч/% | | |
| струга | 47,4/16,4 | 16,1/13,4 |
| конвейера | 74,6/25,9 | 35,8/29,8 |
| Удельная энергоёмкость, кВт·ч/т | | |
| выемки | 0,44 | 0,35 |
| доставки | 0,46 | 0,30 |

Повышение производительности струговой установки и снижение, соответственно, удельной энергоёмкости процессов выемки и доставки при «бездомкратной» системе подачи в течение замерного периода по первой лаве достигнуто за счёт увеличения средней толщины снимаемой стружки, более равномерной загрузки конвейера и равномерного по длине лавы прижатия рештачного става к забою, меньшего искривления конвейерного става во время проходов струга за счёт полученной по замерам меньшей величины отжатия (табл. 1.3) конвейерного става.

Таблица 1.3

**Сравнительные показатели величины отжатия рештачного става
при серийной и «бездомкратной» системах подачи**

| Место испытаний | Сопротивляемость угля резанию, кгс/см | Объём выборки | Среднее отжатие, мм | Ширина корпуса струга, мм |
|--------------------------------|---------------------------------------|---------------|---------------------|---------------------------|
| Серийная система подачи | | | | |
| Первая лава | 176 | 36 | 27,6 | 300 |
| Вторая лава | 106 | 256 | 48,8 | 280 |
| «Бездомкратная» система подачи | | | | |
| Первая лава | 176 | 85 | 16,95 | 300 |
| Третья лава | 106 | 64 | 12,82 | 280 |

По данным замеров в третьей лаве средняя мощность, потребляемая стругом, ($v_{стр} = 1,52$ м/с при рабочем ходе и толщине стружки 3 см), составляла 86,2 кВт, конвейером – 60 кВт. Энергоёмкость процесса разрушения по мощности пласта составила 0,303 кВт·ч/т, по высоте исполнительного органа – 0,545 кВт·ч/т.

Продольное перемещение рештачного става определялось с помощью отвеса относительно точек на линии, которая проводилась по кровле нормально к линии забоя.

Толщина снимаемой стружки определялась путём деления величины учтённого подвигания линии забоя на зафиксированное число проходов струга.

Давление в линии подачи измерялось с помощью манометров. Данные по замерам вышеперечисленных параметров представлены в табл. 1.4.

Было установлено, что для подачи конвейера на забой струговой установки с учётом сил сопротивления на выдвижение Т-образных балок крепи необходимо минимальное давление равное 3 МПа.

Проведённая обработка результатов замеров величины отжатия конвейерного става при проходах струга показала, что распределение величины отжатия подчиняется закону Вейбула.

Полученные величины отжатия и давления при «бездомкратной» системе обеспечивали нормальную работу струговых комплексов в условиях испытаний. Заклиниваний струга и отказов оборудования, связанных с бездомкратной системой подачи, в процессе испытаний не наблюдалось.

Таблица 1.4

Параметры испытываемых систем подачи и величины «сползания» конвейера по падению пласта

| Показатели | Серийная подача | | «Бездомкратная» подача | |
|---|-------------------------------------|-------------|------------------------|-------------|
| | Первая лава | Вторая лава | Первая лава | Третья лава |
| Подвигание лавы за период наблюдений, м | 1,05 | 10,8 | 2,4 | 5,25 |
| Количество проходов струга за период наблюдений | 21 | 431 | 46 | 77 |
| Средняя толщина стружки с учётом всех проходов струга, мм | 45 | 25,0 | 52 | 68,1 |
| Средняя толщина стружки, мм | | | | |
| минимальная | 32 | 8 | 40 | 54,3 |
| максимальная | 51 | 53 | 73 | 120,8 |
| Среднее давление в линии подачи, МПа (кгс/см ²) | 3,62 (37) | 5,78 (59) | 6,09 (52) | 4,01 (41) |
| Результирующий угол установки гидродомкратов (по восстанию пласта), градус | 14 | 10 | | |
| Перемещение рештаков конвейера на линии наблюдения, отнесённое к 1 м подвигания забоя, мм | В сторону откаточного штрека, 90 | 313 | 100 | 223 |

Как видно, среднее отжатие конвейерного става струговых установок при проходах струга имеет небольшие значения по сравнению с шириной корпуса струга.

Это объясняется постоянным наличием «струговой дороги», образованной непогруженным углем, который размещается между забоем и боковинами рештаков. В особенности это характерно для пластов с самообрушающейся верхней пачкой, мощность которой превышает полную высоту исполнительного органа.

Большое число неучтённых факторов, влияющих на величину отжатия, поясняет асимметричный характер закона его распределения. Трудоёмкость процесса крепления и передвижки конвейера лавы определялась путём хронометражных наблюдений с одновременным замером фактического шага передвижки. Объём наблюдений и замеров составлял не менее 100 процессов передвижки секций крепи по каждой лаве.

При «бездомкратной» системе подачи достигнуто снижение трудоёмкости передвижки конвейера в среднем на 0,61 часа на метр подвигания забоя. Это объясняется тем, что для управления

каждым линейным гидродомкратом серийной подачи требуется больше времени по сравнению с управлением «бездомкратной» системой.

При испытании комплекса с «бездомкратной» подачей в первой лаве исследовался вопрос влияния низкого давления в гидрозамках стоек крепи на их рабочее сопротивление. С этой целью к поршневым полостям исправных стоек подключались манометры и регистраторы давления.

Анализ показал, что сопротивление стойки от начала цикла до срабатывания предохранительного клапана было возрастающим. Таким образом, наличие низкого давления подачи в гидрозамках стоек крепи не приводит к их разгрузке и не сказывается на сопротивлении крепи.

Анализ наблюдений за надёжностью сборочных единиц систем подачи показывает, что применение «бездомкратной» системы подачи повышает срок службы до первого капитального ремонта средств подачи конвейера струговой установки, как минимум, в 2 раза в сравнении с серийной подачей.

Важным достоинством «бездомкратной» системы явилось то, что она обеспечивает:

– меньшее отставание секций крепи от забоя, что значительно улучшает состояние кровли в струговой лаве, в особенности при преодолении участков с зонами кровли ниже средней устойчивости;

– более прямолинейный забой.

Технико-экономические показатели лав, где проводились исследования новой системы подачи, приведены в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Технико-экономические показатели лав, где проводились исследования «бездомкратной» системы подачи

| Номер лавы | Среднесуточная нагрузка, т | Среднемесячное подвигание очистного забоя, м | Производительность ГРОЗ, т/вых. | Период испытаний, мес. |
|------------|----------------------------|--|---------------------------------|------------------------|
| Первая | 1025 | 63,2 | 16,9 | 4 |
| Третья | 1689 | 157,3 | 19,2 | 1 |

По результатам испытаний опытных образцов «бездомкратной» системы были усовершенствованы элементы системы и продолжены исследования в третьей лаве.

Исследование силовых параметров системы проводилось на одном из комплектов крепи, оборудованном предварительно протарированным измерительным гидропатроном, в который подключались тензодатчик и индикатор давления с манометром.

Одновременно с замерами усилий подачи измерялось давление в гидрролинии подачи, величина отжатия конвейерного става при проходе струга и выдвижение Т-образной балки после его прохода.

Во время работы струговой установки и крепи была проведена запись одновременно следующих давлений:

- в высоконапорной линии и линии слива крепи;
- в низконапорной линии (линии подачи);
- в измерительном гидропатроне.

Обработка результатов шахтных исследований силовых параметров комплекта подачи показала, что распределение давлений в линии подачи и усилий подачи в статическом и динамическом режиме подчиняется нормальному закону.

Анализ результатов исследований силовых параметров механизма передвижки конвейера показал, что среднее значение его КПД равняется 0,76. Перед проходом струга и в момент прохода, активные усилия подачи, соответственно, снижаются или возрастают.

Выяснено, что коэффициент, показывающий отношение максимального давления подачи в момент прохода струга к давлению подачи в статическом состоянии, изменялся в пределах от 1,67 до 2,22, при этом среднее отжатие конвейерного става в момент прохода струга составляло 13 мм при скорости струга 1,52 м/с.

Полученные в процессе шахтных исследований в третьей лаве результаты позволяют:

- более обоснованно устанавливать величину рабочего давления в линии подачи;
- правильно оценивать экстремальные нагрузки для расчётов взаимодействующих элементов системы подачи.

Таким образом:

- выполненный объём исследований подтверждает, что по силовым параметрам и кинематическим связям с конвейером струговой установки «бездомкратная» система подачи обеспечи-

вает высокопроизводительную работу лав и может быть использована в струговых комплексах;

– «бездомкратная» система подачи в сравнении с серийной обладает следующими преимуществами:

а) снижает

1) энергоёмкость выемки и доставки угля в лаве;

2) трудоёмкость процесса передвижки конвейера на забой;

3) трудоёмкость работ по техническому обслуживанию и ремонту средств подачи на забой;

б) повышает

1) не менее чем в 2 раза срок службы до первого капитального ремонта средств подачи конвейера струговой установки;

2) удобство обслуживания и безопасность ведения работ;

– применение «бездомкратной» системы подачи обеспечивает меньшее искривление конвейера во время прохода струга и уменьшает отставание секций крепи от линии забоя, что улучшает состояние кровли при прохождении участков лавы с зонами неустойчивой кровли.

Особый интерес представляют исследования дозированной системы подачи.

В ШахтНИУИ была разработана система подачи струговой установки на забой с помощью гидродомкратов передвижки механизированной крепи, в основу которой положен принцип дозирования при свободной подаче.

Разработанная конструкция дозатора обеспечивает работу системы как в автоматическом режиме, так и в режиме дистанционного дозирования с места машиниста струга с сохранением возможности избирательного строгания, т. е. приспособляемости к изменяющимся физико-механическим свойствам угля.

Автоматический режим дозирования подачи, т. е. подача конвейера струговой установки на забой вслед за проходом струга, предназначен для очистных забоев, где имеется стабильный отжим стругом конвейера от забоя, необходимый для взведения дозаторов. При этом дозатор ориентирован относительно линии действия силы тяжести плунжера запорной частью вниз или под углом $90^\circ \geq \alpha_1 \geq \arctg f$. Здесь f – коэффициент трения металла по металлу (рис. 1.5, а).

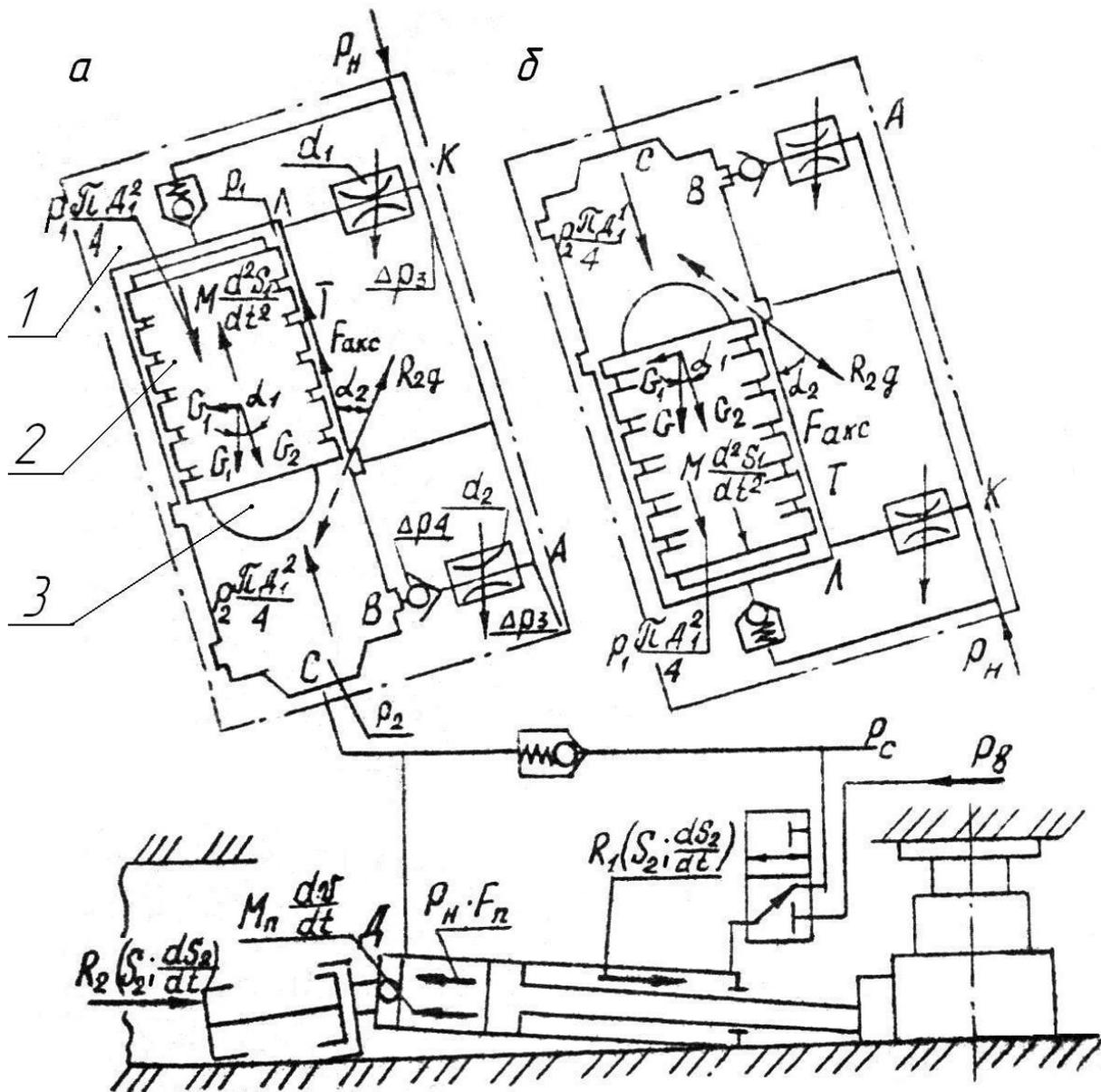


Рис. 1.5. Схема силового взаимодействия системы дозирования с конвейером струговой установки:

a – автоматический режим; *б* – дистанционный режим

1 – дозатор; 2 – плунжер; 3 – запорная часть плунжера

Проведённые ранее исследования показали, что разработанная система дозирования позволяет повысить усилие на штоках гидродомкратов подачи и тем самым обеспечивает одно из важных условий работы агрегатированной крепи – увеличение усилий её передвижки без риска оттягивания конвейера от забоя, а также повышение поперечной устойчивости струговой установки за счёт того, что конвейер не прижимается к забюю.

Однако при работе струговой установки на весьма мягком угле повышение усилия на штоках гидродомкратов подачи не обеспечивает стабильного отжима, т. е. складывания гидродомкратов при проходе струга для взведения дозаторов. Поэтому при отсутствии стабильного отжима, необходимого для взведения дозаторов, применяется дистанционный режим дозирования с места машиниста струга. При этом дозатор ориентирован относительно линии действия силы тяжести плунжера запорной частью вверх или под углом $90^\circ \geq \alpha_1 \geq \arctg f$ (рис. 1.5, б). Такое расположение дозатора обеспечивает перемещение плунжера в исходное положение под собственным весом после снятия давления в низконапорной магистрали, а при подаче давления – передвижку конвейера на заданную величину.

Для расчёта и выбора параметров дозированной системы подачи проведены аналитические исследования.

Объём жидкости, прошедший через дозатор в гидродомкрат передвижки при установившемся режиме течения жидкости, определяется уравнением

$$V = V_d + Q_2 t = V_d \left(1 + \frac{Q_2}{Q_1} \right), \text{ м}^3 \quad (1.10)$$

где $V = \frac{\pi D_{\text{п}}^2}{4} S_2$ – объём жидкости, прошедшей через дозатор, м^3 ;

здесь $D_{\text{п}}$ – диаметр поршневой полости гидродомкрата, м;

S_2 – величина выдвиги гидродомкрата, м;

$V_d = \frac{\pi D_1^2}{4} S_1$ – объём жидкости в полости дозатора, т. е. объём

жидкости, необходимый для перемещения плунжера, м^3 ;

здесь D_1 – диаметр плунжера, м; S_1 – ход плунжера, м;

Q_2 – расход через рабочий дроссель d_2 , $\text{м}^3/\text{с}$;

$t = \frac{V_d}{Q_1}$ – время перемещения плунжера, с;

Q_1 – расход через управляющий дроссель d_1 , $\text{м}^3/\text{с}$.

Исходя из уравнения неразрывности потока жидкости, запишем:

$$\frac{\pi D_{\text{п}}^2}{4} \cdot \frac{dS_2}{dt} = Q_2 + Q_1 \quad (1.11)$$

или

$$\frac{\pi D_{\text{п}}^2}{4} \cdot \frac{dS_2}{dt} = Q_2 + \frac{\pi D_1^2}{4} \cdot \frac{dS_1}{dt}, \quad (1.12)$$

где $\frac{dS_2}{dt}$ – скорость движения гидродомкрата, м/с;

$\frac{dS_1}{dt}$ – скорость движения плунжера, м/с.

Тогда величина выдвиги гидродомкрата

$$S_2 = S_1 \cdot \frac{\frac{dS_2}{dt}}{\frac{dS_1}{dt}}.$$

Скорость движения гидродомкрата определим из уравнения его движения

$$M_{\text{п}} \frac{dv}{dt} + \frac{dM_{\text{п}}}{dS_2} v^2 = P_{\text{н}} F_{\text{п}} - F_{\text{п}} (c_1 + c_2) v^2 - \sum R_1 \left(S_2; \frac{dS_2}{dt} \right) - \sum R_2 \left(S_2; \frac{dS_2}{dt} \right),$$

где $M_{\text{п}}$ – приведённая к поршню гидродомкрата масса перемещаемых частей, кг;

$\frac{dv}{dt}$ – ускорение гидродомкрата, м/с²;

v – скорость движения гидродомкрата, м/с;

$P_{\text{н}}$ – подводимое к дозатору давление, кгс/м²;

$F_{\text{п}}$ – площадь поршневой полости гидродомкрата, м²;

$c_1 + c_2$ – постоянные коэффициенты, которые можно принять:

$$c_1 = 0,8\rho \frac{F_{\text{п}}^2}{d_{\text{н}}^4} a_0; \quad c_2 = 0,8\rho \frac{F_{\text{шт}}^2}{d_{\text{с}}^4} a_0^1.$$

Здесь ρ – средняя плотность рабочей жидкости, кг/м³;

$F_{\text{шт}}$ – площадь штоковой полости гидродомкрата, м²;

$d_{\text{н}}$ и $d_{\text{с}}$ – внутренний диаметр, соответственно, напорной и сливной магистралей, м;

$\sum R_1 \left(S_2; \frac{dS_2}{dt} \right)$ – сила сопротивления противодействия, Н;

$\sum R_2 \left(S_2; \frac{dS_2}{dt} \right)$ – сила сопротивления движения гидродомкрата, Н.

Скорость движения плунжера дозатора определим из уравнения движения плунжера:

$$\Delta P \frac{\pi D_1^2}{4} = M \frac{d^2 S_1}{dt^2} + T + F_{\text{акс}} \pm G_1 \cos \alpha_1, \quad (1.13)$$

где $\Delta P = (P_1 - P_2)$ – перепад давления на плунжере, кгс/м²;

P_1 – давление в полости дозатора перед плунжером, кгс/м²;

P_2 – давление в полости дозатора после плунжера, кгс/м²;

M – масса плунжера и приведённая к его оси масса вытесняемой жидкости, кг;

$\frac{d^2 S_1}{dt^2}$ – ускорение плунжера;

$T = \frac{\Delta P \pi D_2 \varepsilon}{2} + \pi D_2 l \frac{\mu_d}{\varepsilon} \cdot \frac{dS_1}{dt}$ – сила жидкостного трения;

здесь D_2 – диаметр окружности, проходящей посередине радиального зазора, м;

ε – радиальный зазор между плунжером и корпусом дозатора, м;

l – суммарная длина поясков плунжера, м;

μ_d – динамическая вязкость рабочей жидкости, кгс·с/м²;

$F_{\text{акс}} = R_{\text{гд}} \cos \alpha_2$ – аксиальная составляющая реактивной силы потока жидкости $R_{\text{гд}}$, Н;

G_1 – вес плунжера, Н.

Положительное значение $G_1 \cos \alpha_1$ соответствует работе системы в дистанционном режиме дозирования, а отрицательная – в автоматическом.

Входящие в уравнение (1.13) параметры P_1 и P_2 выразим следующими зависимостями:

$$P_1 = P_H - \Delta P_3 - \Delta P_1 - \sum_{i=1}^n \Delta P_i \text{ (участок КЛ)}, \quad (1.14)$$

$$P_2 = P_H - \Delta P_3 - \Delta P_2 - \Delta P_4 - \sum_{i=1}^n \Delta P_i \text{ (участок АВ)}, \quad (1.15)$$

где ΔP_3 – потери давления на местном сопротивлении, кгс/м²;
 ΔP_1 – потери давления на управляющем дросселе, кгс/м²;
 ΔP_2 – потери давления на рабочем дросселе, кгс/м²;
 $\sum_{i=1}^n \Delta P_i$ (КЛ) и $\sum_{i=1}^n \Delta P_i$ (АВ) – потери давления на трение (по длине) в каналах дозатора, соответственно на участках КЛ и АВ, кгс/м²;

ΔP_4 – потери давления на обратном клапане, кгс/м².

Потери давления P_1 и P_2 определим из уравнений (1.11) и (1.12), для чего запишем:

$$Q_1 = \mu_1 \frac{\pi d_1^2}{4} \sqrt{\frac{2\Delta P_1 g}{\gamma}},$$

$$Q_2 = \mu_2 \frac{\pi d_2^2}{4} \sqrt{\frac{2\Delta P_2 g}{\gamma}},$$

где μ_1 и μ_2 – коэффициенты расхода, соответственно, управляющего и рабочего дросселей;

d_1 и d_2 – диаметры, соответственно, управляющего и рабочего дросселей, м;

γ – объёмный вес рабочей жидкости, кгс/м³.

Тогда:

$$\Delta P_1 = \frac{8\gamma \left(\frac{\pi D_1^2}{4} \cdot \frac{dS_1}{dt} \right)^2}{g\mu_1^2 \pi^2 d_1^4};$$

$$\Delta P_2 = \frac{8\gamma \left(\frac{\pi D_n^2}{4} \cdot \frac{dS_2}{dt} - \frac{\pi D_1^2}{4} \cdot \frac{dS_1}{dt} \right)^2}{g\mu_2^2 \pi^2 d_2^4}.$$

Математическая модель системы дозирования:

$$S_2 = S_1 \cdot \frac{\frac{dS_2}{dt}}{\frac{dS_1}{dt}};$$

$$M_{\text{п}} \frac{dv}{dt} + \frac{dM_{\text{п}}}{dS_2} v^2 = P_{\text{н}} F_{\text{п}} - F_{\text{п}} (c_1 + c_2) v^2 - \sum R_1 \left(S_2; \frac{dS_2}{dt} \right) - \sum R_2 \left(S_2; \frac{dS_2}{dt} \right);$$

$$\Delta P \frac{\pi D_1^2}{4} = M \frac{d^2 S_1}{dt^2} + \frac{\Delta P \pi D_2 \varepsilon}{2} + \pi D_2 l \frac{\mu_{\text{д}}}{\varepsilon} \cdot \frac{dS_1}{dt} + F_{\text{акс}} \pm G_1 \cos \alpha_1$$

$$\Delta P = (P_1 - P_2);$$

$$P_1 = P_{\text{н}} - \Delta P_3 - \Delta P_1 - \sum_{i=1}^n \Delta P_i \text{ (участок КЛ)};$$

$$P_2 = P_{\text{н}} - \Delta P_3 - \Delta P_2 - \Delta P_4 - \sum_{i=1}^n \Delta P_i \text{ (участок АВ)};$$

$$\Delta P_1 = \frac{8\gamma \left(\frac{\pi D_1^2}{4} \cdot \frac{dS_1}{dt} \right)^2}{g\mu_1^2 \pi^2 d_1^4};$$

$$\Delta P_2 = \frac{8\gamma \left(\frac{\pi D_{\text{п}}^2}{4} \cdot \frac{dS_2}{dt} - \frac{\pi D_1^2}{4} \cdot \frac{dS_1}{dt} \right)^2}{g\mu_2^2 \pi^2 d_2^4}.$$

Однако система уравнений, представляющих математическую модель, аналитического решения не имеет. Учитывая значительное количество изменяющихся параметров, входящих в уравнения, расчёт проведён методом численного интегрирования на ЭВМ.

Известно также, что потери давления, входящие в уравнения математической модели, определить расчётным путём практически невозможно, так как приведённые в литературе значения коэффициентов местных сопротивлений даны при условии, что поток жидкости в подводящем трубопроводе установившийся. В нашем случае он таковым не является, поэтому единственным

методом исследований, с помощью которого можно получить параметры системы дозированной подачи, являются стендовые исследования натурального образца.

Как видно из уравнения (1.10), объём жидкости, поступающий в гидродомкрат передвижки, зависит от расхода жидкости и времени движения плунжера дозатора, которое определяется скоростью движения плунжера.

Решая уравнение движения плунжера дозатора (1.13), определим скорость движения плунжера при условии, что $P_1 - P_2 = \text{const}$:

$$\frac{dS_1}{dt} = \frac{\left[\frac{(P_1 - P_2)\pi D_1^2}{4} - \frac{(P_1 - P_2)\pi D_2 \varepsilon}{2} - F_{\text{акс}} \pm G_1 \cos \alpha_1 \right] \varepsilon}{\mu_d \pi D_2 l} + c e^{-\frac{\mu_d \pi D_2}{\varepsilon M} t}.$$

При начальных условиях $t = 0$ и $\frac{dS_1}{dt} = 0$:

$$c = \frac{\left[\frac{(P_1 - P_2)\pi D_1^2}{4} - \frac{(P_1 - P_2)\pi D_2 \varepsilon}{2} - F_{\text{акс}} \pm G_1 \cos \alpha_1 \right] \varepsilon}{\mu_d \pi D_2 l}.$$

Из анализа уравнения скорости плунжера следует, что существенное влияние на параметры оказывает радиальный зазор между плунжером и корпусом дозатора.

Поэтому исследования влияния радиального зазора между плунжером и корпусом дозатора на величину выдвигки гидродомкрата проводились с целью определения радиального зазора, обеспечивающего требуемую величину подачи конвейера струговой установки на забой.

Исследования проводились на специальном стенде в режимах холостого хода рабочих гидродомкратов. Использовались гидродомкраты с диаметрами поршня 110 и 90 мм.

Давление в гидромагистралях обеспечивалось насосной станцией СНУ5Р. Рабочая жидкость – водо-масляная эмульсия с 1–1,5 % присадки ВНИИНП-117. Подвод рабочей жидкости от дозатора в рабочий гидродомкрат осуществлялся по «прямой схеме», т. е. только в поршневую полость.

Полный объём измерений составил более 4000 ходов гидродомкратов с различными сочетаниями дросселей на 160 дозаторах, у которых радиальный зазор ε между плунжером и корпусом изменялся от 0,022 до 0,05 мм.

Диаметр управляющего дросселя d_1 изменялся дискретно: 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7 мм, а диаметр рабочего дросселя $d_2 = 8$ мм.

Обработка результатов производилась на ЭВМ. При этом результаты измерений подвергались регрессивному анализу с целью установления корреляционных зависимостей.

Анализ результатов исследований показал, что зависимость величины выдвигки гидродомкрата S_2 от диаметра управляющего дросселя d_1 и величины радиального зазора ε имеет вид:

$$S_2 = a_0 + a_1\varepsilon + a_2\varepsilon^2 + \frac{a_3}{a_1},$$

где $a_0; a_1; a_2; a_3$ – коэффициенты регрессии.

Значения коэффициентов регрессии, а также статистика (коэффициент корреляции i , критерии Фишера F и Стьюдента T) представлены в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Коэффициенты регрессии и статистики

| Коэффициенты регрессии | | | | Коэффициенты статистики | | |
|--|-------|--------|---------|-------------------------|------|-------|
| a_0 | a_1 | a_2 | a_3 | F | T | i |
| Гидродомкрат с поршнем диаметром 110 мм | | | | | | |
| 34519 | -1910 | 4310 | 162,123 | 3,54 | 65,6 | 0,847 |
| Гидродомкрат крепи с поршнем диаметром 90 мм | | | | | | |
| -22,3 | 2360 | -60300 | 187,37 | 3,31 | 51,0 | 0,835 |

Графическое выражение полученных зависимостей представлено на рис. 1.6, откуда следует, что с увеличением радиального зазора величина выдвигки гидродомкрата уменьшается.

При выполнении радиального зазора в пределах 0,025–0,035 мм величины погрешностей выдвигки гидродомкратов по всей длине лавы следует считать приемлемыми. При этом разность величины выдвигки ($S_2^{0,025} - S_2^{0,035}$) для гидродомкратов с диаметром поршня 110 мм составит 16,5 мм, а для гидродомкратов с диаметром поршня 90 мм – 12,6 мм.

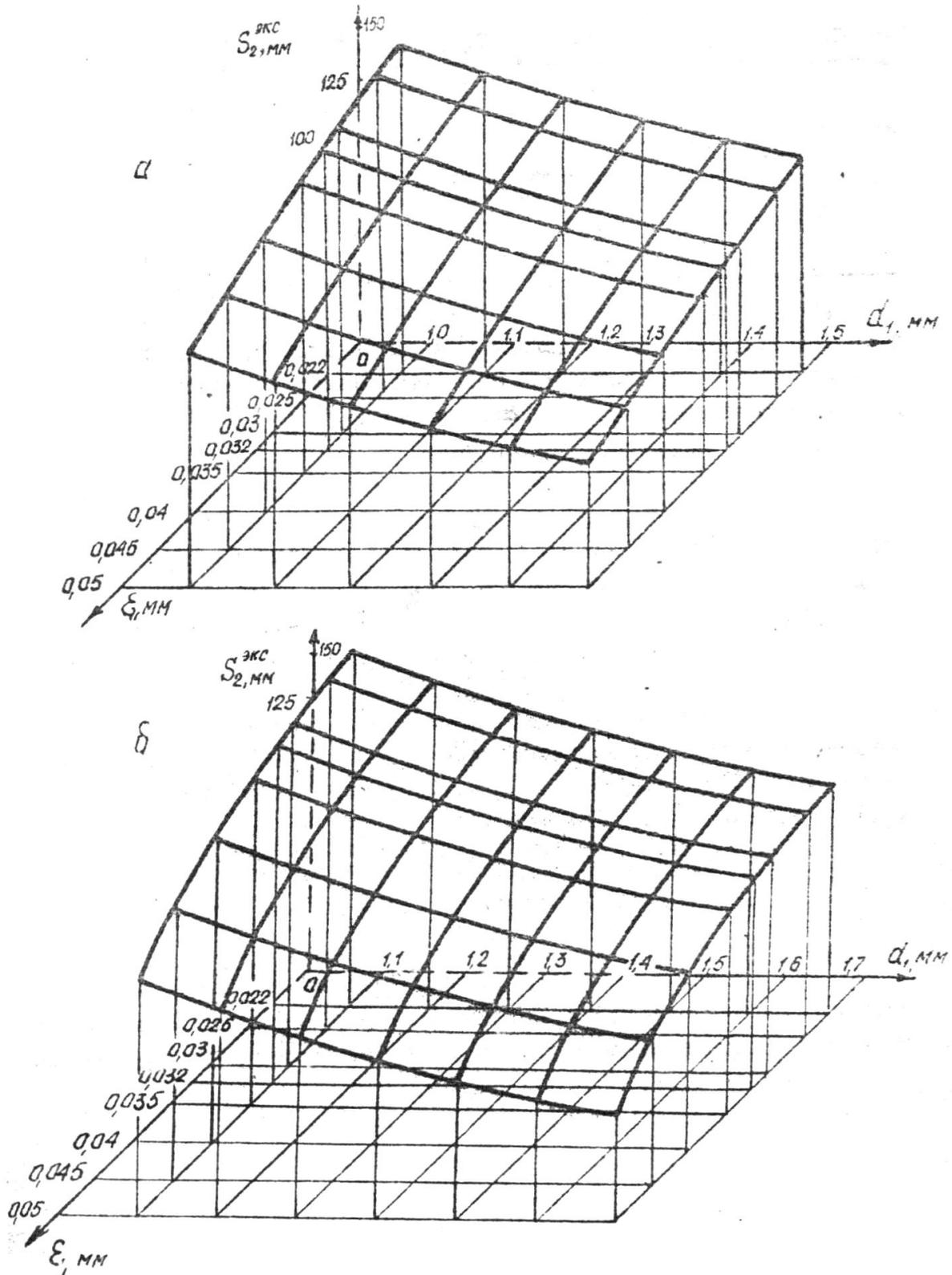


Рис. 1.6. Зависимость величины выдвигки от радиального зазора и диаметра управляющего дросселя:

а – для гидродомкрата с диаметром поршня 110 мм;
б – для гидродомкрата с диаметром поршня 90 мм

При сохранении принципа избирательного строгания указанная неточность выдвигек гидродомкратов компенсируется за счёт увеличения выдвигки по сравнению с требуемой на величину максимальной погрешности.

Таким образом:

– разработанная математическая модель системы дозирования позволяет рассчитать величину подачи конвейера струговой установки на забой при работе системы дозирования как в автоматическом, так и в дистанционном режимах;

– установлено, что рациональная величина зазора между плунжером и корпусом дозатора должна быть 0,025–0,035 мм;

– разработанная конструкция дозатора обеспечивает работу системы дозирования как в автоматическом режиме, так и в дистанционном с места машиниста струга в зависимости от физико-механических свойств угля.

Результаты аналитических исследований дозированной системы подачи были продолжены при её стендовых испытаниях.

Исследования проводились в два этапа.

На первом этапе проводились исследования работы дозирующего клапана с различными типами рабочих гидродомкратов на специальном стенде (рис. 1.7). В качестве рабочих использовались гидродомкраты с диаметрами поршня 110 и 90 мм.

Исследования проводились в режимах холостого хода рабочего гидродомкрата и при различных значениях внешней нагрузки, которая создавалась специальным нагрузочным гидродомкратом, в поршневую полость которого подводилась рабочая жидкость с регулируемым давлением.

Изменение дозы производилось ступенчато, путём изменения величины давления управляющего дросселя дозирующего клапана. Давление в гидромагистралях обеспечивалось двумя насосными станциями.

Рабочая жидкость – водо-масляная эмульсия. Подвод рабочей жидкости от дозирующего клапана в рабочий гидродомкрат осуществлялся по «прямой схеме», т. е. только в поршневую полость.

Производились замеры давлений, сопротивления перемещению гидродомкрата, времени и величин складывания и выдвигки гидродомкратов.

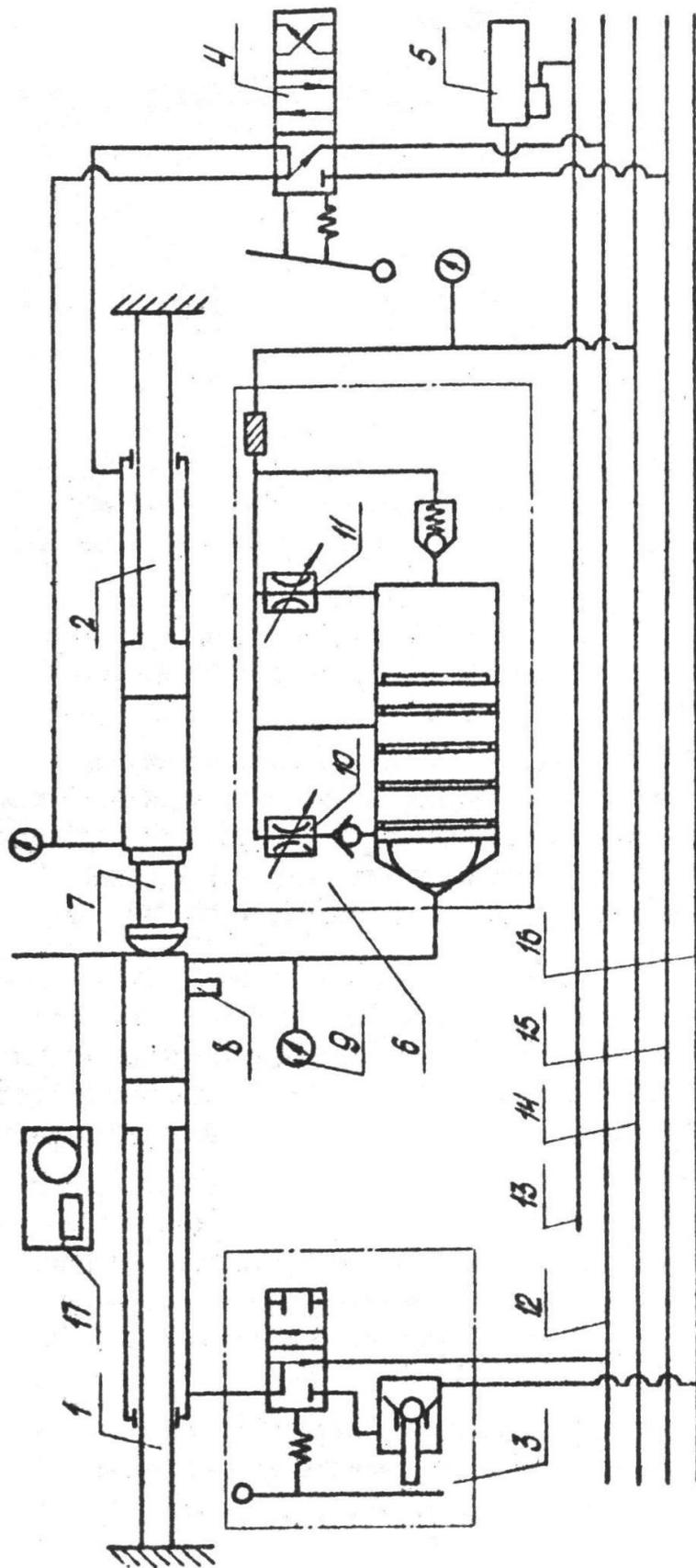


Рис. 1.7. Схема стенда для исследования характеристик дозирующего клапана:

- 1 – рабочий гидродомкрат; 2 – нагруженный гидродомкрат; 3, 4 – гидрораспределители; 5 – клапан обратный; 6 – дозирующий клапан; 7 – датчик усилий; 8 – датчик давления; 9 – манометр; 10 – рабочий дроссель (d_2); 11 – управляющий дроссель (d_1); 12, 13, 14, 15, 16 – гидромагистраль; 17 – датчик пути

Полный объём измерений составил более 4000 ходов гидродомкратов с различными сочетаниями дросселей на 160 дозирующих клапанах.

На этом этапе исследовались работоспособность дозирующего клапана, влияние внешнего сопротивления на величину выдвигки рабочего гидродомкрата, влияние конструкции уплотнения плунжера на характеристику дозирующего клапана.

Исследованиями работы дозирующего клапана с различными типами уплотнений на плунжере, создающих определённое сопротивление его перемещению (резиновые кольца, поршневые кольца из различных материалов), установлен предел стабильности дозирующего клапана $K_c = 0,15$.

$$K_c = \frac{F_{\text{сопр}}}{F_{\text{под}}},$$

где $F_{\text{сопр}}$ – величина внешнего усилия на гидродомкрате передвигки;

$F_{\text{под}}$ – величина усилия, развиваемого гидродомкратом передвигки.

При $\frac{F_{\text{сопр}}}{F_{\text{под}}} > 0,15$, т. е. при возрастании внешнего усилия величина выдвигки увеличивается.

При снятии давления в подводящей магистрали было обнаружено влияние упругих деформаций гидролиний между дозирующим клапаном и рабочим гидродомкратом, которое проявлялось в разгерметизации запорного клапана плунжера. При повторных подачах давления в подводящую магистраль происходила выдвигка рабочего гидродомкрата на 4–15 мм.

С целью повышения коэффициента стабильности плунжер дозирующего клапана выполнен золотникового типа, в котором роль уплотнений выполняют кольцевые канавки. Кроме того, с целью снижения веса плунжер выполнен полым.

В результате выполненных усовершенствований получен предел стабильности $K_c = 0,917$. При ориентировании дозирующего клапана запорным элементом вниз в диапазоне углов $90^\circ \geq \alpha > \arctg f$ (f – коэффициент трения плунжера о корпус) разгерметизация запорного клапана плунжера исключается и при по-

вторных подачах рабочей жидкости в подводящую магистраль произвольная выдвигка рабочего гидродомкрата не происходила.

Исследованиями установлена зависимость величины заданного хода гидродомкрата от изменения радиального зазора в пределах от 0,025 до 0,05 мм между плунжером и корпусом дозирующего клапана. Величина заданного хода рабочего гидродомкрата с увеличением радиального зазора уменьшается.

При выполнении размеров управляющего дросселя применение в дозирующем клапане серийных гидроэлементов и соблюдение радиального зазора между плунжером и корпусом дозирующего клапана в пределах 0,025–0,035 мм хода гидродомкратов передвигки струговой установки по лаве следует считать приемлемыми.

При сохранении принципа избирательности строгания указанная неточность хода в исследуемой системе компенсируется за счёт заданной величины отжатия.

На втором этапе исследования проводились на полнометражном стенде ШахтНИУИ со струговой установкой отрывного типа. Подача струговой установки осуществлялась пятью комплектами, на которых были установлены дозирующие клапаны. В комплектах вначале были использованы гидродомкраты с диаметром поршня 110 мм, а затем – с диаметром поршня 90 мм.

В процессе испытаний на полнометражном стенде исследовались работоспособность системы дозирования совместно с работой струговой установки, автоматическое взведение дозирующих клапанов, а также влияние дозирующего клапана на величину забросов давления в поршневой полости гидродомкрата от величины отжатия конвейерного става.

Исследования проводились при скоростях струга 0,77 и 1,53 м/с. Давление в магистрали изменялось с помощью регулирования на насосной станции от 1,96 до 3,92 МПа. Объём измерений составил более 2000 ходов гидродомкратов с различными сочетаниями дросселей и давлений в гидромагистрали.

В процессе испытаний была обнаружена разница в ходах гидродомкратов при различных скоростях струга. При анализе графиков хода гидродомкрата совместно с работой дозирующего клапана было установлено, что изменение хода зависит от времени прохода струга относительно гидродомкрата, на котором

установлен дозирующий клапан. Это время, при котором гидродомкрат подачи практически неподвижен при взведённом дозирующем клапане, было названо «временем выстоя».

Так, при скорости струга 0,77 м/с и давлении в напорной магистрали 2,5–3,9 МПа «время выстоя» колебалось от 3,2 до 3,8 с.

При скорости струга 1,53 м/с и давлении в напорной магистрали 2,5–3,9 МПа – от 1,0 до 1,9 с.

Результаты исследований показывают, что в расчётной формуле хода рабочего гидродомкрата необходимо учитывать «время выстоя», соответствующее заданной скорости струга.

С помощью регрессивного анализа установлена зависимость величины выдвиги гидродомкрата от «времени выстоя» и определён коэффициент выстоя (рис. 1.8), который представляет собой отношение величины хода рабочего гидродомкрата при определённом «времени выстоя» к величине хода при «времени выстоя», близком к нулю.

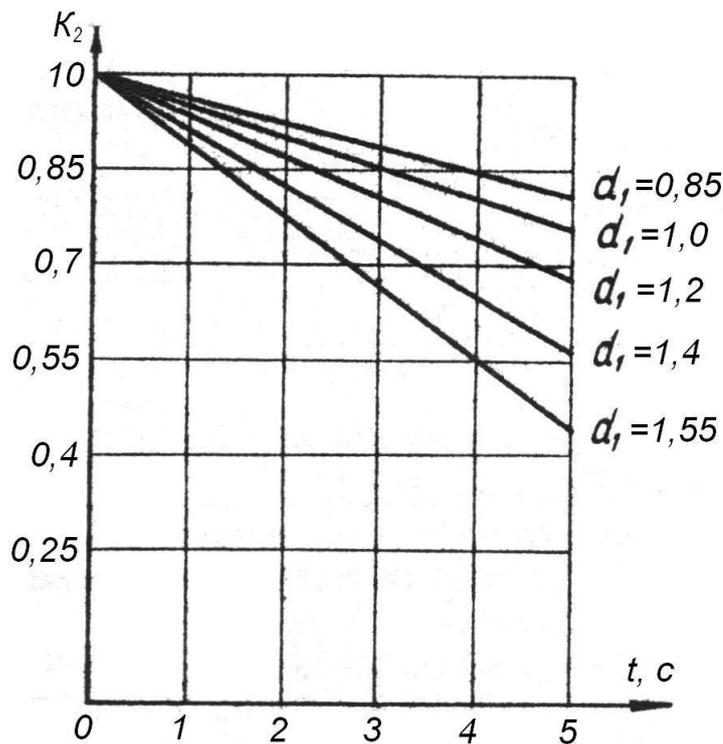


Рис. 1.8. Зависимость коэффициента выстоя K_2 от времени для $d_2 = 8$ мм

С целью установления параметров подачи исследовался силовой режим гидродомкратов в диапазоне наиболее вероятных ходов, соответствующих расчётным величинам толщины струж-

ки и отжатия конвейерного става. Вследствие того, что величина хода рабочего гидродомкрата должна учитывать, помимо расчётной толщины стружки, ход взведения и запас хода для компенсации погрешностей системы, при колебаниях реальных значений толщины снимаемой стружки величина дыхания конвейерного става находится в пределах от 20 до 100 мм. В указанных пределах значений величины отжатия исследовались забросы давления в рабочих гидродомкратах подачи струговой установки.

Для гидродомкратов с диаметром поршня 110 мм при давлении в магистрали 2,0–2,94 МПа и скорости струга 0,77 м/с коэффициент заброса давления по максимально-пиковому давлению колеблется в пределах от 2,2 до 2,92, а коэффициент заброса давления по средне-пиковому давлению – от 1,6 до 2,0.

При давлении в магистрали 2,0–2,94 МПа и скорости струга 1,53 м/с коэффициент заброса давления по максимально-пиковому давлению колеблется в пределах от 2,1 до 4,3, а коэффициент заброса давления по средне-пиковому давлению – от 1,42 до 2,85.

Для гидродомкратов с диаметром поршня 90 мм при давлении в магистрали 2,45–3,92 МПа и скорости струга 0,77 м/с коэффициент заброса давления по максимально-пиковому давлению в пределах от 1,5 до 1,9, а коэффициент заброса давления по средне-пиковому давлению – от 1,14 до 1,51.

При давлении в магистрали 2,45–3,92 МПа и скорости струга 1,53 м/с коэффициент заброса давления по максимально-пиковому давлению в пределах от 1,5 до 2,45, а коэффициент заброса давления по средне-пиковому давлению – от 1,2 до 1,8.

Стендовые испытания дозированной системы подачи показали:

– схема в условиях стенда является работоспособной и обеспечивает дозирование свободной подачи в автоматическом режиме;

– применение дозирующего клапана в системе подачи стругового комплекса обеспечивает передвижку крепи, подачу конвейера на забой с заданным ходом, необходимую величину напорного усилия, выполнение вспомогательных операций при ремонте крепи, цепи конвейера и др.;

– для регулировки величины хода гидроцилиндра достаточно использовать изменение величины диаметра отверстия управляющего дросселя при максимальной величине рабочего дросселя;

- в описанной конструктивной схеме необходимо использовать в качестве уплотнений плунжера дозирующего клапана кольцевые канавки при радиальном зазоре 0,025–0,035 мм;
- результаты исследований позволили рекомендовать проведение шахтных испытаний стругового комплекса с дозированием свободной подачи.

1.1.2. При работе с крепями агрегатированного типа

Проведённый в ШахтНИУИ анализ показал, что разработка струговых комплексов с агрегатированными крепями для тонких пластов пологого падения должна производиться в направлении создания непосредственной связи струговой установки и механизированной крепи, которые должны быть согласованы по конструкции и технологическим функциям.

Поиску решений этой задачи были посвящены проведённые в ШахтНИУИ стендовые испытания комплекса в составе крепи 1КС214 и струговой установки отрывного типа, работающей с отжатием рештачного става.

Крепь 1КС214, поддерживающего типа, предназначена для крепления и управления кровлей в лавах, оборудованных струговыми установками 1СО2620, 1СН2620, а также подачи их на забой при разработке угольных пластов мощностью 0,7–0,9 м с углами падения до 25° при работе по простиранию.

Крепь состоит из четырёхстоечных секций, которые попарно связаны механизмом направленности и передвижения. В каждой секции устанавливались балки-направляющие, обеспечивающие шаг передвижки 630 мм и «дыхание» 230 мм. С рештачным ставом секции связаны кронштейнами и балками-направляющими, которые, в свою очередь, соединены с гидродомкратами передвижки, осуществляющими как подачу струговой установки на забой, так и передвижку секций.

На полнометражном стенде были смонтированы четыре секции крепи 1КС214 и шесть гидродомкратов передвижки секций диаметром 110 мм. Основания секций крепи были жёстко закреплены на почве стенда. Шаг установки гидродомкратов крепи равнялся 1,2 м в комплекте и 1,4 м – между комплектами. Схема расстановки оборудования показана на рис. 1.9.

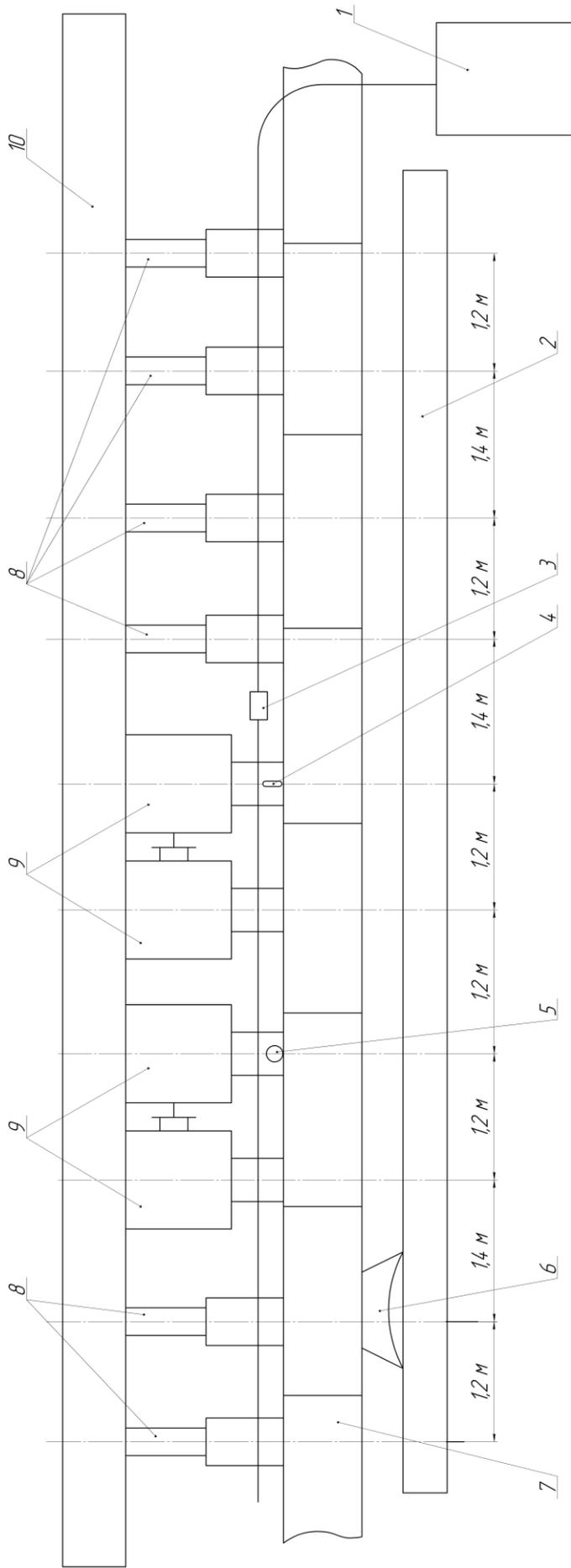


Рис. 1.9. Схема размещения оборудования на стенде:

1 – насосная станция; 2 – балка-забой; 3 – датчик давления; 4 – тензометрическая цепь;

5 – тензодатчик усилий; 6 – струг (без резцов); 7 – конвейерный станин;

8 – гидродомкрат секции крепи; 9 – секция крепи ИКС214; 10 – опорная балка

Поршневая полость каждого нечётного гидродомкрата была включена на передвижку струговой установки. Таким образом, работа гидросистемы крепи осуществлялась по «прямой» схеме. Чётные гидродомкраты были соединены со сливом. Забой на стенде имитировался жёсткой балкой.

С целью установления параметров передвижки крепи и забросов давления в гидродомкратах передвижки при проходе струга использовался рештачный став струговой установки 1СО2620 без конвейерной цепи. Усилие на гидродомкрате секции, задействованной на подачу при проходе струга, измерялось и записывалось через тензодатчик усилий, а давление – с помощью датчика давления, установленного на магистрали у этого же гидродомкрата. Величина усилия подтягивания секции измерялась по тензоцепи, установленной на кронштейне присоединения балки секции к кожуху конвейера. Настройка величин давления низконапорной (подача установки на забой) и высоконапорной магистралей осуществлялась по манометрам, установленным у насосной станции, и записывалась с помощью датчиков давления. Величина отжатия рештачного става измерялась между конвейером и балкой, имитирующей забой.

Замеры усилий и давлений в магистрали подачи струговой установки на забой в статическом и динамическом (при проходе струга) режимах производились при настройках насосной станции на давление в 1; 2; 3; 4 МПа. Объём замеров составлял 6 проходов струга при каждом из указанных давлений при скорости исполнительного органа 0,77 и 1,52 м/с. Величина отжатия конвейерного става не регулировалась.

Полученные параметры обсчитывались на ЭВМ. Устанавливались зависимости между динамическим (максимальным R_{\max} , средним $R_{\text{ср}}$) и настроечным (статическим) $R_{\text{н}}$ усилиями подачи струговой установки на забой. Результаты исследований, а также статистики, определяющие их надёжность, представлены в табл. 1.7 и на рис. 1.10.

Как видно из рис. 1.10, при настроечном усилии в гидродомкратах подачи 25 кН (необходимое усилие подачи для работы струговой установки 1СО2620 с крепью 1КС214) максимальное усилие может достигать 80 кН при скорости струга 1,52 м/с,

Таблица 1.7

Результаты замеров усилий в гидродомкратах и статистики

| Кривая на рис. 1.10 | Полученная зависимость* | Скорость струга, м/с | Статистики | | |
|---------------------|---|----------------------|------------|----------|----------|
| | | | <i>i</i> | <i>F</i> | <i>t</i> |
| 1 | $R_{\max} = -1,1 + 4,3R_H - 0,4R_H^2$ | 0,77 | 0,7 | 1,9 | 4,5 |
| 2 | $R_{\text{cp}} = 0,31 + 1,64R_H - 0,16R_H^2$ | | 0,77 | 2,5 | 6,6 |
| 3 | $R_{\max} = -1,9 + 5R_H - 0,42R_H^2$ | 1,52 | 0,83 | 3,15 | 8,6 |
| 4 | $R_{\text{cp}} = -0,45 + 1,86R_H - 0,13R_H^2$ | | 0,83 | 3,15 | 8,6 |

* Зависимости получены для размерности усилий в тс

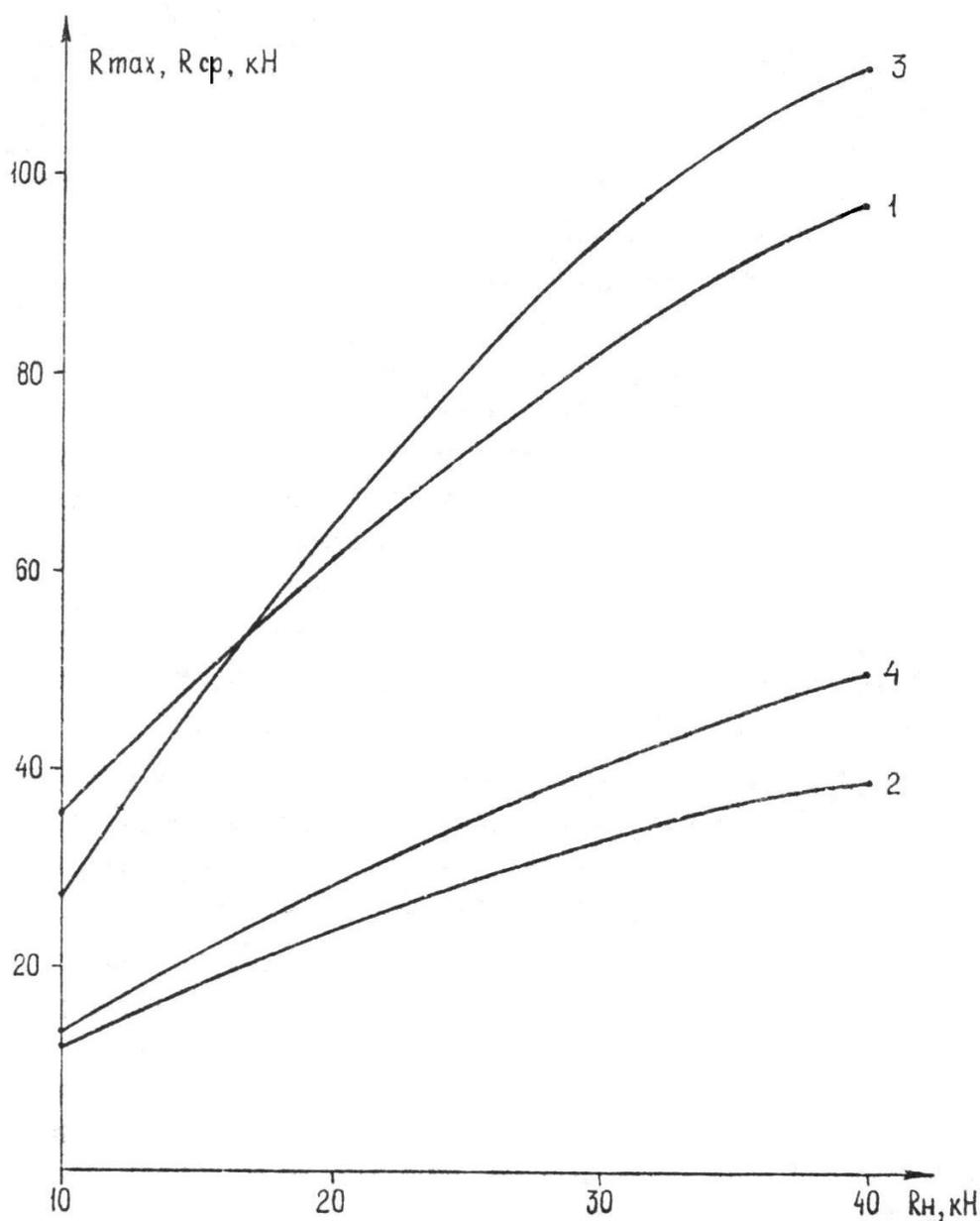


Рис. 1.10. Зависимость максимального и среднего усилий от настроечного усилия подачи струговой установки на забой

что приводит к заклиниванию исполнительного органа или опрокидыванию рештачного става. Однако следует учесть, что такие превышения (коэффициенты динамичности) усилий от настроечных происходили при отжатии в 330 мм.

Исследованиями, проведёнными в ШахтНИУИ, установлена зависимость между коэффициентом динамичности, величиной отжатия рештачного става и скоростью струга для гидродомкратов крепи. С учётом этих данных в табл. 1.8 приведены величины максимальных усилий подачи при различной величине отжатия.

Таблица 1.8

Зависимость между скоростью струга и величиной усилия подачи

| Усилие в статическом режиме, кН | Скорость струга, м/с | Максимальная величина усилия подачи при отжатии (в мм), кН | | | |
|---------------------------------|----------------------|--|------|------|------|
| | | 300 | 200 | 150 | 100 |
| 25 | 0,77 | 70 | 52 | 45,6 | 39,2 |
| | 1,52 | 80 | 54,4 | 45 | 36,5 |

Отсюда видно, что по условию максимальных значений усилия подачи струговой установки гидравлическая схема с «прямой» запиткой гидродомкратов может применяться в комплексе только при условии отжатия рештачного става на величину до 150 мм.

В условиях весьма крепких углей, при хорошей погрузочной способности струга, где величина отжатия может превышать 150 мм, необходимо применение дифференциальной схемы запитки гидродомкратов (что снизит коэффициент динамичности) или порционирования величины подачи струговой установки на забой.

Замеры величины отжатия рештачного става производились на секции, гидродомкрат которой задействован на подачу струговой установки. В этом случае пролёт между гидродомкратами подачи был максимально возможным и составил 5,0–5,2 м.

Замеры производились при настроечных усилиях подачи от 15 до 35 кН и усилиях передвижки секции от 25 до 130 кН. Исследования показали, что при настроечных усилиях подачи конвейера в 25 кН и усилиях передвижки секции до 60 кН (необходимое усилие передвижки секции в обычных условиях) отжатие рештачного става составило, в среднем, 105 мм, при тех же условиях подачи и усилия передвижки секции 130 кН (максимальном) – 275 мм. Таким образом, по фактору отжатия рештач-

ного става возможна работа комплекса только в нормальных условиях. В горно-геологических нарушениях, где величина усилия передвижки секции может превысить 60 кН, необходимо разделение во времени процессов передвижки секций и работы исполнительного органа струговой установки. Следует отметить, что возникновение величины пролёта между гидродомкратами подачи струговой установки до 5,0–5,2 м приведёт к искривлению очистного забоя.

Стендовые испытания показали, что гидравлическая схема комплекса с агрегатированной привязкой и «прямой» запиткой гидродомкратов крепи обеспечивает возможность подачи струговой установки на забой по фактору максимального усилия в динамическом режиме только при величине отжатия конвейера до 150 мм.

Эксплуатация стругового комплекса по фактору величины отжатия рештачного става при передвижке секций возможна только в лавах без горно-геологических нарушений. При работе в зоне горно-геологических нарушений необходимо разделение во времени процессов выемки угля и передвижки секций.

1.2. Синтез структур и конструкции систем подачи струговой установки на забой

При работе с крепями комплектного типа существовало два варианта подачи струговой установки на забой:

- гидродомкратами, установленными между секциями крепи;
- механизмом передвижки секции крепи.

В первом случае используется гидродомкрат прямого действия с индивидуальным управлением и запитываемый от отдельной гидролинии низкого давления (в пределах 5,0–10 МПа).

Проведённые исследования показали, что при сопротивлении угольного пласта резанию до 250 кН/м в магистрали, к которой подключён гидродомкрат подачи, должно быть давление в пределах:

- для струговых установок отрывного типа – 4,0–5,0 МПа;
- для струговых установок скользящего типа – 8,0–10 МПа.

Конструкция системы подачи струговой установки на забой с помощью отдельных гидродомкратов представлена на рис. 1.11.

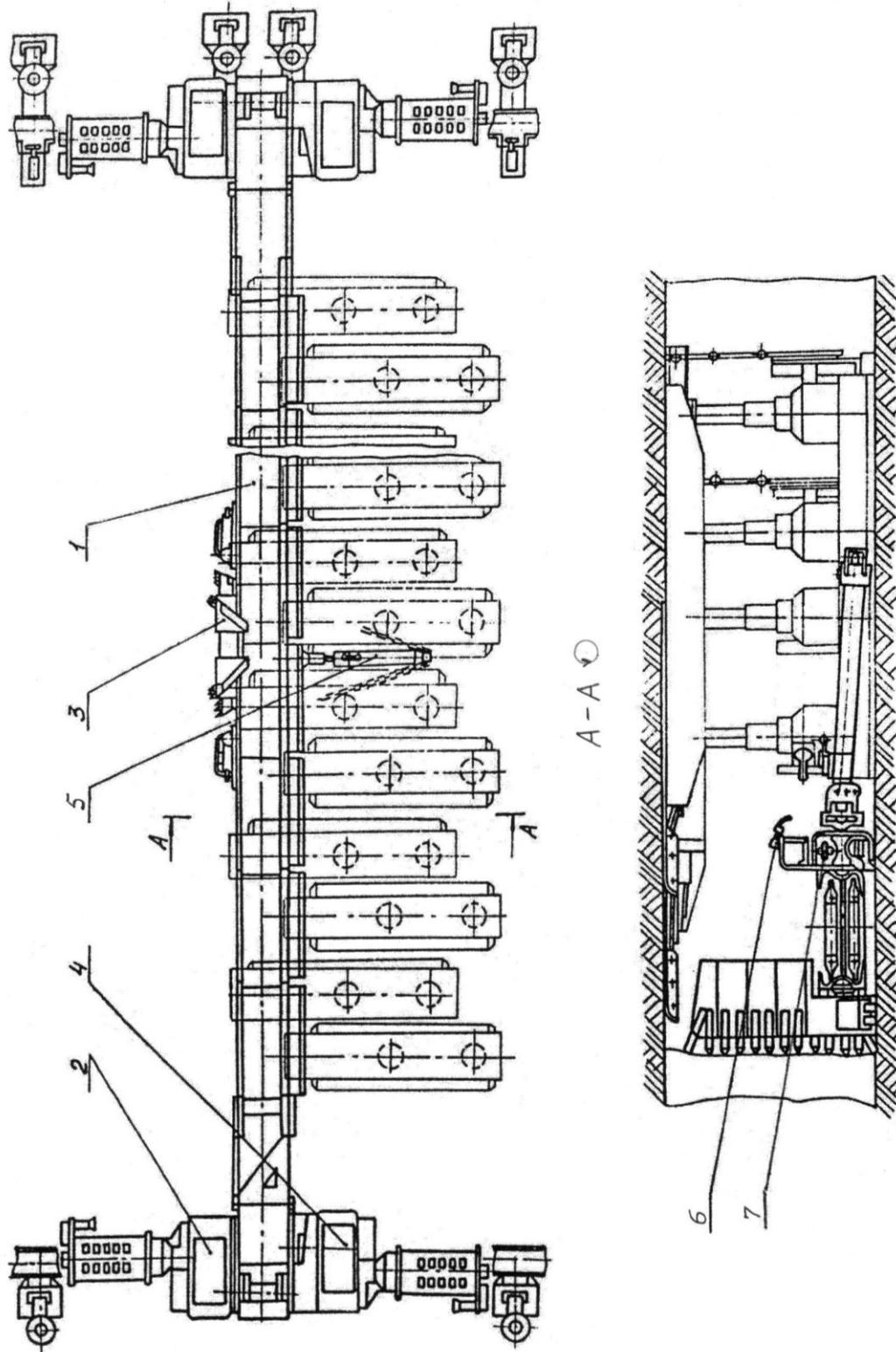


Рис. 1.11. Струговая установка ЗСО2620 с системой подачи отдельными гидродомкратами:

- 1 – конвейер; 2 – привод конвейера; 3 – исполнительный орган (струг); 4 – привод струга;
- 5 – гидродомкрат передвижки; 6 – орошение; 7 – тяговый орган струга

В механизированном комплексе с «бездомкратной» системой подачи (рис. 1.12), функцию подачи выполняет механизированная крепь, оснащённая дополнительным оборудованием.

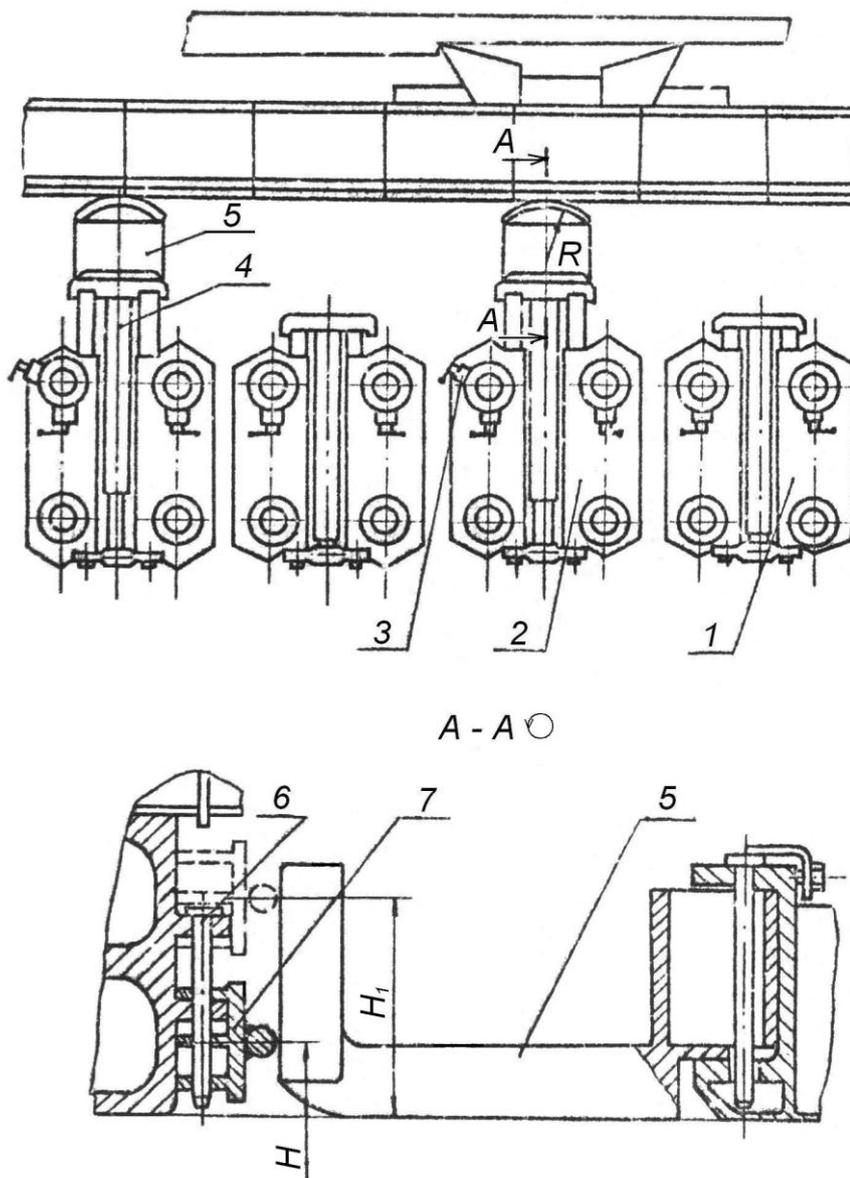


Рис. 1.12. Общий вид механизированного комплекса с «бездомкратной» системой подачи

Комплекс состоит из секций крепи 1, предназначенных только для крепления и управления кровлей, и секций крепи 2, выполняющих дополнительную функцию подачи.

Секция, выполняющая функцию подачи, отличается от обычной секции тем, что она снабжена дополнительным двухпозиционным распределителем потока рабочей жидкости 3.

T-образная балка механизма передвижки крепи 4 снабжена съёмным упором 5 с цилиндрической поверхностью с радиусом R со стороны конвейера, образующая которой перпендикулярна почве пласта.

Конвейерный став струговой установки оснащён съёмной балкой 7, выполненной с цилиндрическим продольным выступом, взаимодействующим с упором 5, и соединённой с конвейером осями 6 с возможностью перестановки по высоте H и H_1 .

Гидросистема комплекса (рис. 1.13) устроена и работает следующим образом.

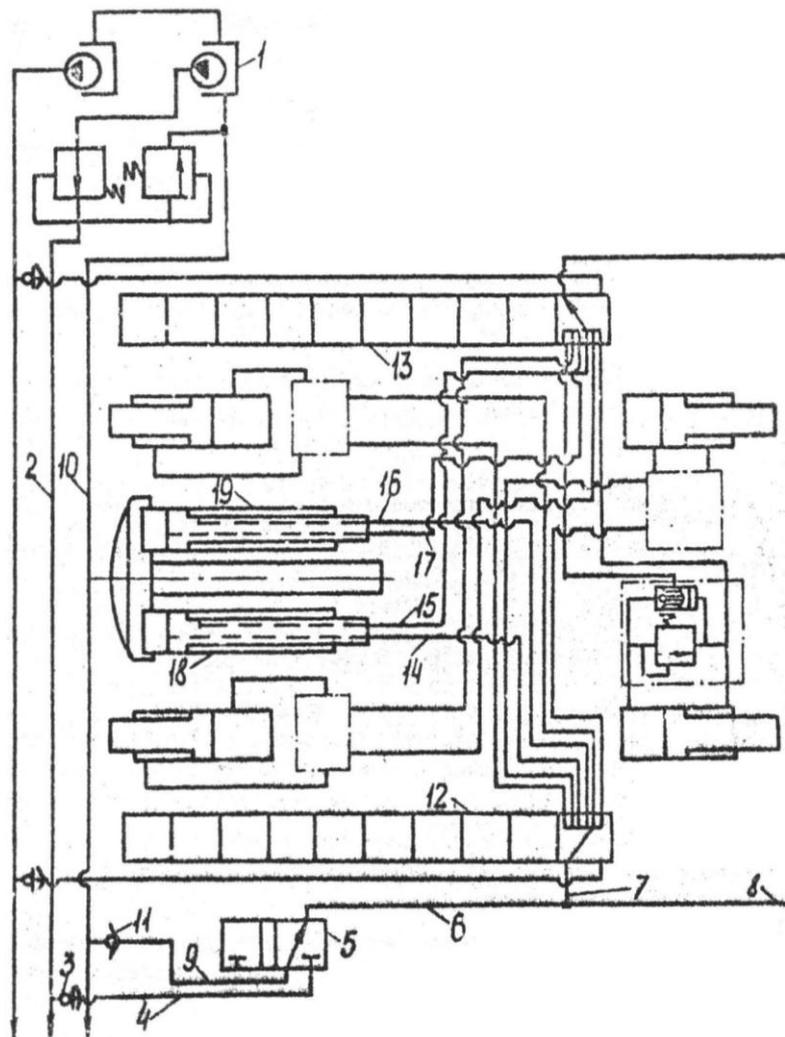


Рис. 1.13. Принципиальная гидросхема комплекса

Рабочая жидкость от насосной станции 1 линией низкого давления 2, проложенной по крепи, через тройник 3 с открытым обратным клапаном рукавом 4 подводится к двухпозиционному

распределителю потока рабочей жидкости (распределителю подачи) 5, который соединён рукавами 6, 7, 8, 9 с линией слива 10 посредством закрытого обратного клапана 11 и блоками управления секций крепи 12, 13.

Распределитель подачи имеет нейтральное и рабочее («на подачу») положение рукоятки. В нейтральном положении рукоятки он не препятствует проходу (сливу) рабочей жидкости из гидроэлементов секций крепи при выполнении ими рабочих операций.

В рабочем положении рукоятки распределителя после расхода рабочей жидкости от линии низкого давления 2 через тройник 3, рукав 4 по каналам распределителя и рукавам 6, 7, 8 поступает через сливные каналы в блоки управления 12, 13, рукоятки которых находятся в нейтральном положении.

Через каналы блоков управления 12, 13 по рукавам 14, 15, 16, 17 рабочая жидкость поступает одновременно в поршневые и штоковые полости гидродомкратов 18, 19, в результате чего спаренные гидродомкраты, выдвигаясь совместно с Т-образной балкой крепи, подают конвейерный став струговой установки на забой.

При проходе струга конвейер, отжимаясь от забоя, складывает оба гидродомкрата, при этом вытесняемая из поршневых полостей гидродомкратов жидкость поступает через каналы гидродомкрата, рукава, каналы распределителей в низконапорную линию крепи.

«Бездомкратная» система подачи может применяться в комплексах, оснащённых струговыми установками 1СО2620, 1СН2620 и 3СО2620.

Эксплуатационные испытания «бездомкратной» системы подачи на забой со струговой установкой 3СО2620 завершились с положительным результатом и подтвердили её технические качества и целесообразность применения в составе комплексов с комплектной крепью.

Гидросхема и конструкция «бездомкратной» системы подачи на забой струговой установки отличается простотой устройства и работоспособностью при эксплуатации.

Замена недолговечных линейных гидродомкратов и других устройств существующей серийной системы подачи повышает надёжность работы оборудования струговой установки.

Устройство, гидросхема, принцип действия и результаты испытаний «бездомкратной» системы подачи могут применяться в струговых комплексах в увязке с агрегатированной крепью и струговых агрегатах.

Дозированная подача струговой установки на забой может использоваться как при её работе с комплектными крепями, так и с крепями агрегатированного типа.

Конструктивная схема дозированной системы подачи струговой установки на забой представлена на рис. 1.14.

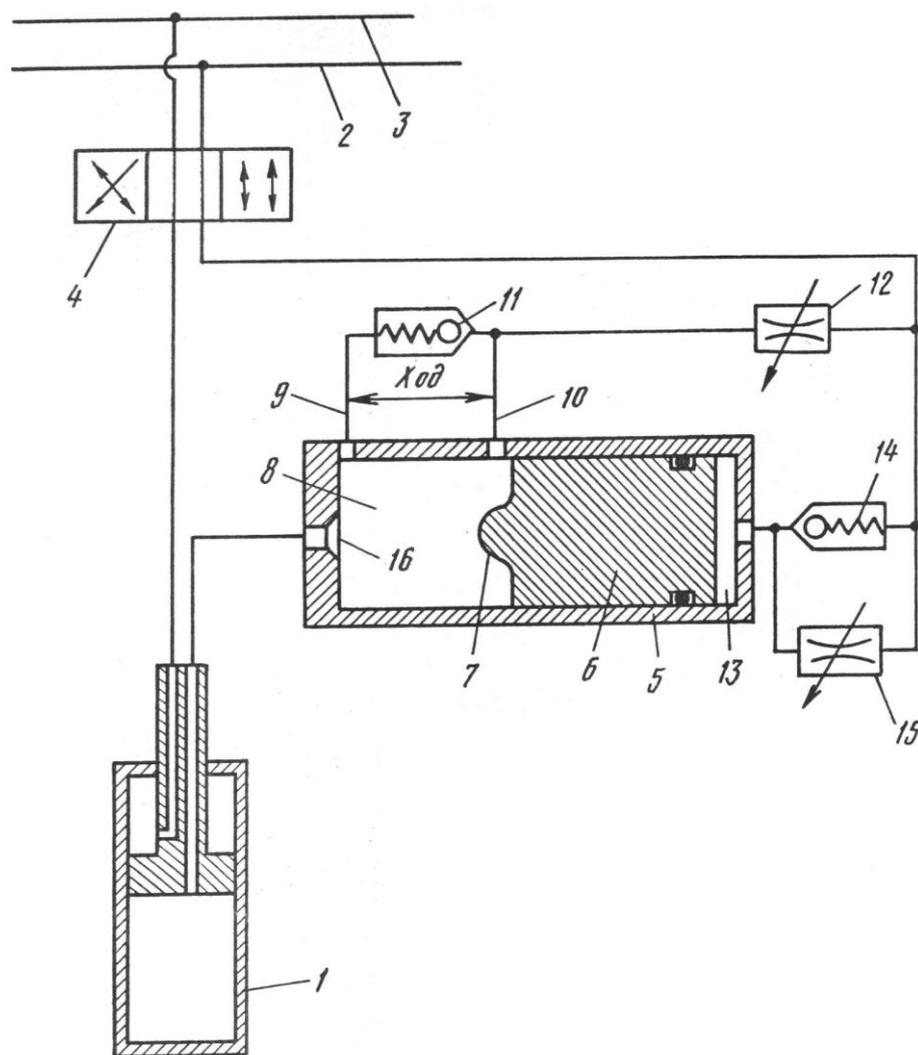


Рис. 1.14. Схема устройства дозированной системы подачи струговой установки на забой:

- 1 – гидродомкрат; 2 – напорная линия; 3 – сливная гидролиния;
 4 – гидрораспределитель; 5 – дозирующий клапан; 6 – плунжер; 7 – запорный элемент;
 8 – полость дозирующего клапана; 9, 10 – полости в конце и начале хода плунжера;
 11 – обратный клапан; 12 – дроссель; 13 – полость дозирующего клапана;
 14 – обратный клапан; 15 – управляющий дроссель

Устройство для передвижки конвейера струговой установки состоит из гидродомкрата 1, напорной 2 и сливной 3 гидролиний, гидрораспределителя 4, взаимосвязанного с поршневой полостью гидродомкрата 1 через дозирующий клапан 5 с плунжером 6, имеющим запорный элемент 7.

Полость 8 дозирующего клапана 5 взаимосвязана с гидрораспределителем 4 через каналы 9 и 10, расположенные в начале и конце хода плунжера 6 и разделённые между собой обратным клапаном 11, и рабочий дроссель 12. Полость 13 дозирующего клапана 5 взаимосвязана с гидрораспределителем 4 через обратный клапан 14 и управляющий дроссель 15. В корпусе дозирующего клапана 5 выполнено седло 16 под запорный элемент 7.

Устройство работает следующим образом.

При соединении гидролинии 2 высокого давления с дозирующим клапаном 5 с помощью распределителя 4 рабочая жидкость начинает поступать через рабочий дроссель 12 и канал 10 в полость 8 дозирующего клапана 5, которая соединена с поршневой полостью гидродомкрата 1. При этом на рабочем дросселе 12 происходит потеря давления

$$\Delta P_{12} = P - P_8,$$

где ΔP_{12} – потеря давления на рабочем дросселе 12;

P – давление в гидролинии высокого давления;

P_8 – давление в полости 8 дозирующего клапана 5.

Одновременно рабочая жидкость из гидролинии 2 высокого давления поступает через управляющий дроссель 15 в полость 13. В том случае, если плунжер 6 является неподвижным, т. е. отсутствует расход через дроссель 15, давление в полости 13 поднимается до значения P . В связи с имеющимся перепадом давления между полостями 13 и 8 плунжер 6 перемещается влево (по рисунку) до соприкосновения запорного элемента 7 с седлом 16, отсекая доступ рабочей жидкости в гидродомкрат 1.

По мере перемещения плунжер 6 перекрывает канал 10, и рабочая жидкость продолжает поступать в полость 8 через обратный клапан 11 и канал 9.

Известно, что количество рабочей жидкости, прошедшей в поршневую полость гидродомкрата 1, зависит от соотношения

переходных сечений дросселей 12 и 15. Их изменение изменяет дозу жидкости, поступающей в гидродомкрат 1.

При проходе струга в зоне гидродомкрата 1 происходит повышение давления в его поршневой полости в связи с наличием обратного клапана 11 и происходит перемещение плунжера 6 вправо (по рисунку). Рабочая жидкость из полости 13 выдавливается в гидролинию 2 высокого давления через обратный клапан 14. Установка клапана 14 повышает быстродействие плунжера 6.

В том случае, если величина дозы рабочей жидкости перемещает гидродомкрат 1 на величину бóльшую, чем толщина снимаемой стругом стружки, происходит складывание гидродомкрата 1 под действием предельных нагрузок, а избыток рабочей жидкости из поршневой полости гидродомкрата 1 через канал 10 выдавливается в гидролинию высокого давления, благодаря чему исключается заклинивание струга или поломка гидродомкрата 1.

После прохода струга цикл работы устройства повторяется в автоматическом режиме.

Складывание гидродомкрата 1 после его раздвижки на полный ход происходит путём соединения штоковой полости с напорной магистралью 2 и гидрораспределителем 4. При складывании гидродомкрата 1 рабочая жидкость из поршневой полости поступает в гидролинию 3 низкого давления через канал 10, дроссель 12 и гидрораспределитель 4.

2. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ СТРУГОВОЙ УСТАНОВКИ ОТНОСИТЕЛЬНО ВЫРАБОТОК, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ЛАВЕ

Существующие системы удержания струговой установки от стягивающих усилий по падению пласта можно разделить на четыре типа:

- удержание с помощью гидрофицированных столов или распорных устройств;
- удержание с помощью механизма передвижки механизированной крепи;
- удержание с помощью гидродомкратов, расположенных вдоль лавы;
- различные сочетания вышеперечисленных типов (комбинированная система удержания).

2.1. Аналитические исследования параметров гидрофицированных столов (распорных устройств)

При проектировании гидрофицированных столов (распорных устройств) как удерживающих устройств были рассчитаны предельные стягивающие усилия струговой установки (в режиме блокировки струга).

Современные струговые установки обладают высокой энергооборуженностью, что приводит к возникновению в элементах конструкции значительных усилий.

В связи с этим рассмотрим процессы формирования усилий в цепном контуре привода струга (рис. 2.1) в экстремальных режимах.

Экстремальный режим С1: блокирование струга в процессе которого не срабатывает предохранительное устройство основного привода струга.

Электродвигатель основного привода струга развивает максимальный момент, $H \cdot m$, на величину которого существенное влияние оказывают маховые массы ротора электродвигателя и вращающихся элементов редуктора, величина которого определяется выражением

$$M_{o.c} = k_{п.о.с} M_{п.с} + \sqrt{k_{п.о.с}^2 (M_{к.с} - M_{п.с})^2 + C_{o.c} J_c \omega_{к.с}^2},$$

где $M_{к.с}$, $M_{п.с}$ – критический и пусковой моменты блокируемого электродвигателя привода струга при номинальном напряжении в питающей электросети соответственно, Н·м;

$k_{п.о.с}$ – коэффициент, учитывающий падение напряжения в питающей электродвигатель основного привода струга электросети при блокировании струга;

$C_{o.c}$ – жесткость системы «препятствие – тяговый орган – удерживающее устройство», приведенная к валу электродвигателя основного привода струга, Н·м;

J_c – момент инерции ротора электродвигателя и вращающихся элементов редуктора, приведенный к ротору электродвигателя блокируемого привода, кг·м²;

$\omega_{к.с}$ – критическая угловая скорость вращения электродвигателя блокируемого привода, с⁻¹.

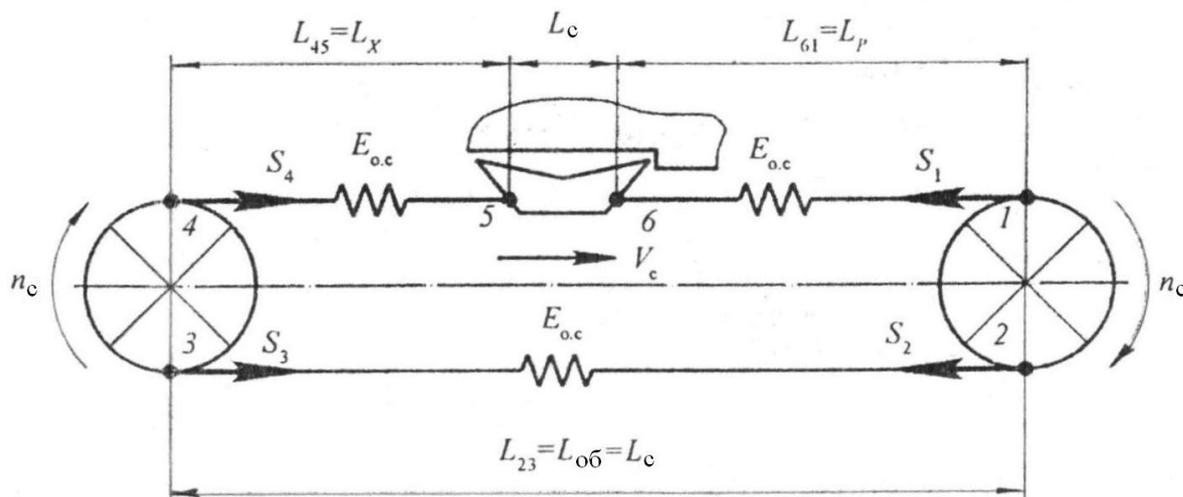


Рис. 2.1. Схема цепного контура привода струга

Момент на валу электродвигателя вспомогательного привода струга, Н·м, соответствует номинальному моменту и определяется выражением

$$M_{в.с} = k_{п.в.с} M_{н.с},$$

где $M_{н.с}$ – номинальный момент электродвигателя привода струга при номинальном напряжении в питающей электросети, Н·м;

$k_{п.в.с}$ – коэффициент, учитывающий падение напряжения в питающей электродвигатель вспомогательного привода струга электросети при блокировании струга.

Экстремальный режим С2: блокирование струга, в процессе которого сработало предохранительное устройство основного привода струга, предохранительное устройство вспомогательного привода струга не срабатывает.

Момент на валу электродвигателя, Н·м, основного привода струга для предохранительных устройств, не разъединяющих звёздочку и электродвигатель привода струга:

$$M_{o.c} = \frac{M_{п.с} u_{п.с} k_{п.с}}{u_{п.с}},$$

где $M_{п.с}$ – момент, при котором происходит срабатывание предохранительного устройства струга; Н·м;

$u_{п.с}$ – передаточное число редуктора привода струга;

$u_{п.с}$ – передаточное число от предохранительного устройства до звёздочки струга;

$k_{п.с}$ – коэффициент неточности срабатывания предохранительного устройства.

Электродвигатель вспомогательного привода струга развивает максимальный момент, Н·м, на величину которого существенное влияние оказывают маховые массы ротора электродвигателя и вращающихся элементов редуктора, величина которого определяется выражением

$$M_{в.с} = k_{п.в.с} M_{п.с} + \sqrt{k_{п.в.с}^2 (M_{к.с} - M_{п.с})^2 + C_{в.с} J_c \omega_{к.с}^2},$$

где $k_{п.в.с}$ – коэффициент, учитывающий падение напряжения в питающей электродвигатель вспомогательного привода струга электросети при блокирование струга;

$C_{в.с}$ – жесткость системы «препятствие –тяговый орган – удерживающее устройство», приведенная к валу электродвигателя вспомогательного привода струга, Н·м.

Экстремальный режим С3: блокирование струга, в процессе которого не срабатывают предохранительные устройства обоих приводов струга, при этом электродвигатели основного и вспомогательного привода работают в режиме «опрокидывания».

Момент на валу электродвигателя основного привода струга соответствует пусковому моменту и определяется выражением

$$M_{o.c} = k_{п.о.с} M_{п.с}.$$

Момент на валу электродвигателя вспомогательного привода струга соответствует пусковому моменту и определяется выражением

$$M_{в.с} = k_{п.в.с} M_{п.с}.$$

Известно, что усилие от момента, развиваемого основным электродвигателем привода струга, реализуется в рабочей ветви $L_{61} = L_p$ цепного контура привода струга (рис. 2.1). Усилие от момента, развиваемого вспомогательным приводом струга, реализуется в обратной ветви цепного контура привода струга $L_{23} = L_{об}$, при этом определенная его часть, за вычетом потерь на перемещение тягового органа в направляющих и на звезде основного привода струга, также передается в рабочую ветвь.

Исходя из этого можно определить усилия во всех характерных точках цепного контура привода струга, формирующие максимальные нагрузки на удерживающих устройствах струговых установок в режиме блокирования струга. Усилие, H , в точке набегания (см.рис. 2.1, точка 1) тягового органа струга на звёздочку основного привода

$$S_1 = \frac{\left(M_{o.c} + M_{в.с} \frac{R_{3.c}}{k_o} \right) u_{п.с} \eta_{п.с}}{R_{3.c}} - g q_c l_p (\mu \cos \alpha \mp \sin \alpha) \frac{k'_o}{k_o} \eta_{3.c},$$

где $R_{3.c}$ – радиус начальной окружности звёздочки привода струга, м;

q_c – масса 1м тягового органа струга, кг;

l_p – длина рештака стругового конвейера, м;

μ – коэффициент сопротивления перемещению тягового органа струга в направляющих;

α – угол наклона пласта, градус;

$\eta_{п.с}$ – КПД привода струга;

$\eta_{3.c}$ – КПД звёздочки привода струга;

k_o, k'_o – коэффициенты, учитывающие влияние искривления рештачного става стругового конвейера в плоскости пласта и в вертикальной плоскости на нагрузочную и весовую составляющие в тяговом органе струга соответственно.

Здесь и далее верхние знаки «минус» соответствуют движению струга в верх лавы, а нижние «плюс» – в низ.

Усилие, H , в точке сбегания (см. рис. 2.1, точка 2) тягового органа струга со звездочки основного привода.

$$S_2 = \frac{M_{в.с} u_{п.с} \eta_{п.с}}{R_{3,с}} - g q_c l_p (\mu \cos \alpha \mp \sin \alpha) \frac{k'_o}{k_o} \eta_{3,с}.$$

Стендовые и шахтные эксперименты показали, что фактические значения максимальных нагрузок на удерживающие устройства имеют высокую сходимость с полученными расчётным путем по приведенной методике, при этом отклонения не превышает $\pm 11,3\%$.

По результатам расчетов и с учетом опыта эксплуатации были разработаны требования к гидрофицированным столам как удерживающим устройствам струговых установок и условиям их размещения.

Удерживающие устройства струговых установок (гидрофицированные столы) могут размещаться как в лаве, так и в прилегающей горной выработке. Предпочтительным является второй вариант размещения. Рекомендуются при втором варианте размещения, в зависимости от горно-геологических условий, формы поперечного сечения выемочных выработок и виды подрывок пласта приведены в таблицах 2.1 и 2.2.

Таблица 2.1

Рекомендуемые формы поперечного сечения выработок и виды подрывок при системе разработки длинными столбами про простиранию

| Горно-геологические условия | | Форма поперечного сечения | Вид подрывки |
|--|-----------------------------|---------------------------|---|
| Характеристика непосредственной кровли | Угол падения пласта, градус | | |
| Устойчивая | 0–12 0–13 | Прямоугольная | Нижняя Нижняя с частичной верхней |
| Средней устойчивости | 0–12 0–13 | Трапецевидная | Нижняя Нижняя с частичной верхней |
| Неустойчивая малой мощности | 0–25 | Трапецевидная | Смешанная |
| Неустойчивая | 0–25 | Арочная | Смешанная |

Таблица 2.2

Рекомендуемые формы поперечного сечения выработок и виды подрывок при системе разработки длинными столбами по падению или восстанию

| Характеристика непосредственной кровли | Форма поперечного сечения | Вид подрывки |
|--|---------------------------|--------------|
| Устойчивая | Прямоугольная | нижняя |
| Средней устойчивости | Трапецевидная | нижняя |
| Неустойчивая малой мощности | Трапецевидная | смешенная |
| Неустойчивая | Арочная | смешенная |

Размеры поперечного сечения выемочных выработок определяются исходя из размещения в выработке с соблюдением необходимых зазоров концевое оборудования лавы или транспортно-оборудования, включающего конвейер и рельсовый путь или монорельсовую дорогу, с учетом запаса на осадку пород.

Как правило, размеры поперечного сечения выработок по фактору размещения гидрофицированных столов не превышают их значений по фактору размещения транспортного оборудования и вентиляции.

Крепление выемочных выработок при их проведении рекомендуется осуществлять анкерной крепью. Анкеры должны устанавливаться также и по породной части боков выработок. В породах устойчивых и средней устойчивости анкерную крепь можно применять как самостоятельную. В породах пониженной устойчивости анкерную крепь нужно применять в сочетании с податливыми рамными крепями. При наличии в кровле локальных нарушений необходимо применение в сочетании с анкерами металлической сетки или рулонной затяжки.

Если проходка выемочной выработки осуществляется без анкерной крепи, анкеры необходимо устанавливать одновременно с эксплуатацией очистного забоя впереди лавы вне зоны активного влияния очистных работ. Однако этот вариант значительно менее эффективен по сравнению с установкой анкеров еще при проходке выработки.

В выработках, закрепленных анкерной крепью и используемых впервые, в зоне влияния очистных работ должна возводиться рамная крепь:

– при устойчивой кровле – с отставанием от лавы не более 6,0 м;

– при кровле средней устойчивости – с опережением очистного забоя не менее 20 м.

В качестве рамных крепей рекомендуются металлические податливые крепи:

– с прямолинейными верхняками – для применения в породах устойчивых и средней устойчивости;

– арочные – для применения в выработках, проводимых в неустойчивых породах.

Параметры анкерной и рамных крепей должны приниматься в соответствии с действующей документацией.

При арочной форме поперечного сечения, которая рекомендуется только при слабых и неустойчивых породах кровли, размещение приводных станций струговой установки в выемочных выработках нецелесообразно в связи с большими трудностями поддержания кровли выработки со стороны очистного забоя при удалении нижнего элемента арочной крепи.

Обеспечение необходимого эксплуатационного состояния выемочной выработки на участке сопряжения с очистным забоем и концевой части лавы должно осуществляться за счет соответствующих мероприятий, выполняемых в различные периоды эксплуатации выработки.

Для предотвращения обрушений надбермовых пород при верхней подрывке рекомендуется их укрепление за счет подшивания к неподорванным породам кровли с помощью анкеров.

При выносе приводных станций комплекса из лавы на участке сопряжения выемочной выработки с лавой необходима установка дополнительно усиливающей механизированной сопряжения.

Размещаемые на участке сопряжения выработки с лавой удерживающие устройства предназначены для закрепления и удержания приводных станций струговых установок от стягивающих усилий. Они должны состоять из следующих составных частей:

- устройства для размещения приводных станций;
- механизма закрепления и удержания;
- механизма перемещения;
- механизма регулирования по высоте;
- гидрооборудования.

Удерживающее устройство должно обеспечивать удержание струговых установок, их передвижку вслед за подвиганием очистного забоя, регулирование положения приводных станций по высоте в зависимости от изменяющейся высоты бермы, углов падения пласта и разворота лавы относительно горных выработок.

Конструкция устройства должна осуществлять надежное закрепление приводных станций струговых установок с компенсацией смещающих усилий величиной не менее 1200 кН при расположении в вентиляционной выработке и не менее 1000 кН – в транспортной выработке.

2.2. Удержание струговой установки от стягивающих усилий по падению пласта с помощью механизма передвижки механизированной крепи

Удержание струговой установки от стягивающих усилий по падению пласта с помощью механизма передвижки механизированной крепи агрегатированного типа осуществляется за счет шарнирного соединения механизма с конвейером струговой установки. При этом сам механизм может иметь ограничение смещения по падению пласта или за счёт зазоров с основанием или за счёт упругих элементов механизма.

Особый интерес представляет решение этого вопроса при работе струговой установки с механизированной крепью комплектного типа.

Опыт эксплуатации серийных установок 1СО2620 с крепями комплектного типа показывает, что применяемые в них удерживающие от сползания по падению пласта устройства (столы, распорные устройства) не обеспечивали надежного выполнения своих функций. Такое явление приводит к снижению надежности струговых установок и струговых механизированных комплексов в целом, а также существенному повышению трудоёмкости работ при корректировке их положения вдоль очистного забоя. Наблюдениями, проведёнными ШахтНИУИ при обработке пласта с углом падения 19–32°, установлено, что интенсивность сползания струговой установки 1СО2620 составляет 0,12 м на 1 м подвигания забоя, а трудоёмкость корректировки на величину 0,6 м (ход гидродомкрата) составляет 426 чел.-мин.

С целью устранения указанного недостатка, повышения надежности при эксплуатации струговых механизированных комплексов ШахтНИУИ разработал новую систему удержания, конструкция которой заключается в следующем (рис. 2.2).

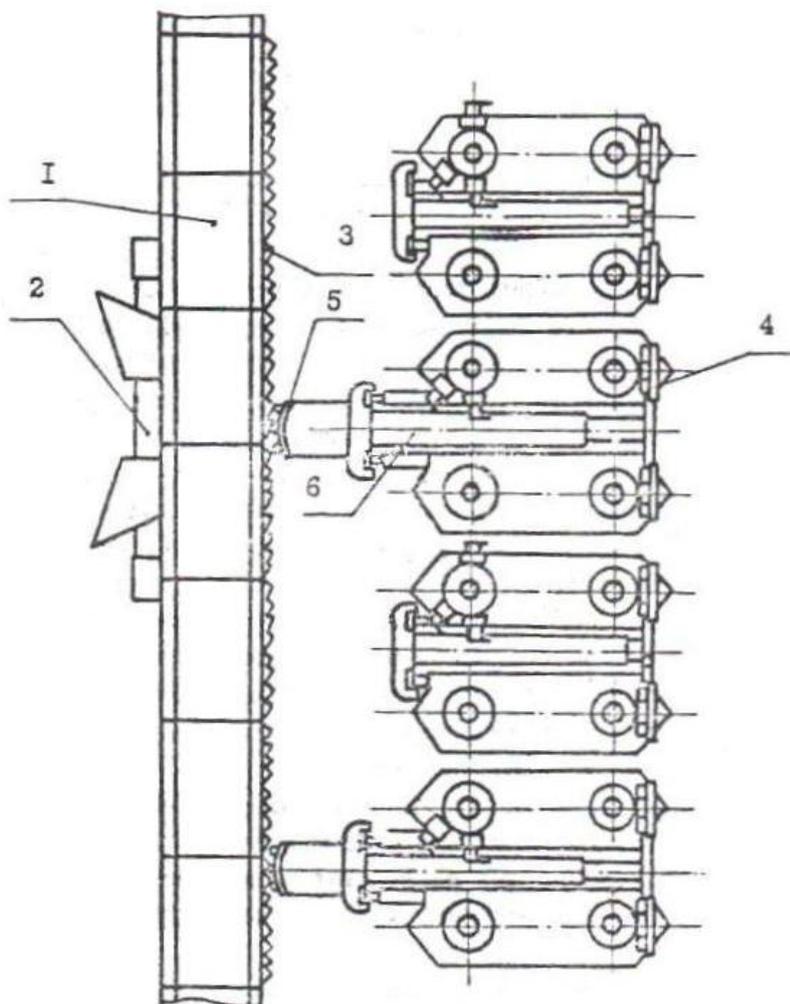


Рис. 2.2. Струговой механизированный комплекс с системой удержания:
 1 – конвейер; 2 – струговая установка; 3 – зубчатая рейка;
 4 – комплект крепи; 5 – упор; 6 – механизм передвижки

На конвейере 1 струговой установки 2 с завальной стороны устанавливают балки, к которым крепится зубчатая рейка 3. Комплекты крепи 4, задействованные на подачу струговой установки на забой, оснащены специальными упорами 5, которые соединены с направляющей балкой механизма передвижки 6. Специальные упоры имеют с забойной стороны три вертикально установленных прутка, взаимодействующих с зубчатой рейкой. При работе струговой установки по выемке угля конвейер постоянно прижимается к забою механизмом передвижки 6 комплекта крепи.

При этом вертикальные прутки упора входят в зацепление с зубьями рейки и удерживают таким образом всю установку от перемещения вдоль забоя. При достижении определенной (расчётной) величины бокового усилия, действующего от струговой установки на упор, происходит отжатие последнего за счет складывания гидродомкратов комплекта крепи и проскальзывание зубчатой рейки относительно упора. Таким образом, предохраняется механизм передвижки комплекта крепи от поломок. После выемки полосы угля струговой установкой комплекты механизированной крепи поочередно передвигаются известным способом. После их передвижки, при включении механизма передвижки на подачу, вертикальный прутки упора снова входит в зацепление с зубчатой рейкой и цикл повторяется. В предложенной конструкции основной проблемой является выбор кинестатики взаимодействия упора и рейки, в частности, определение соотношения между геометрией зуба рейки, усилием подачи и прочностью элементов системы подачи (механизма передвижки комплекта крепи). Для установления указанной зависимости были проведены теоретические исследования по схемам, представленным на рис. 2.3.

При подаче струговой установки на забой на систему «конвейер – комплект крепи» действуют следующие усилия:

T – боковая сила, возникающая при перемещении струговой установки вдоль забоя;

$P_{\text{п}}$ – усилие подачи;

N – нормальная составляющая реакции зубчатой рейки в точке контакта с упором;

$P'_{\text{п}}$ – реакция в точке контакта зубчатой рейки с упором;

$F_{\text{тр}}$ – сила трения по поверхностям между прутком упора и зубом рейки;

R_1, R_2 – реакции, действующие на гидродомкрат в заделках основания;

$F_{\text{тр}1}, F_{\text{тр}2}$ – силы трения гидродократа по заделкам в основании;

R_3 – реакция основания на балку механизма передвижки комплекта;

$F_{\text{тр}3}$ – сила трения балки механизма передвижки об основание секции;

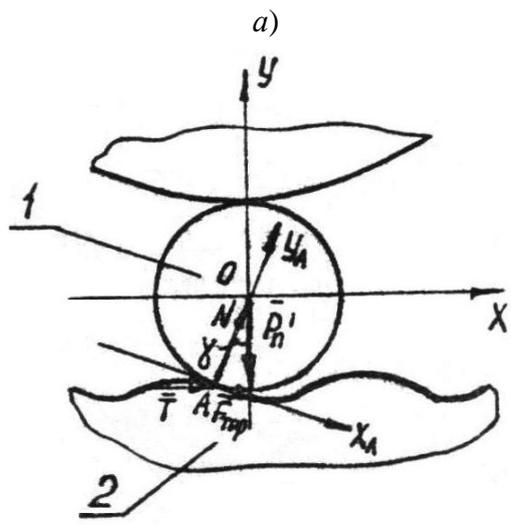
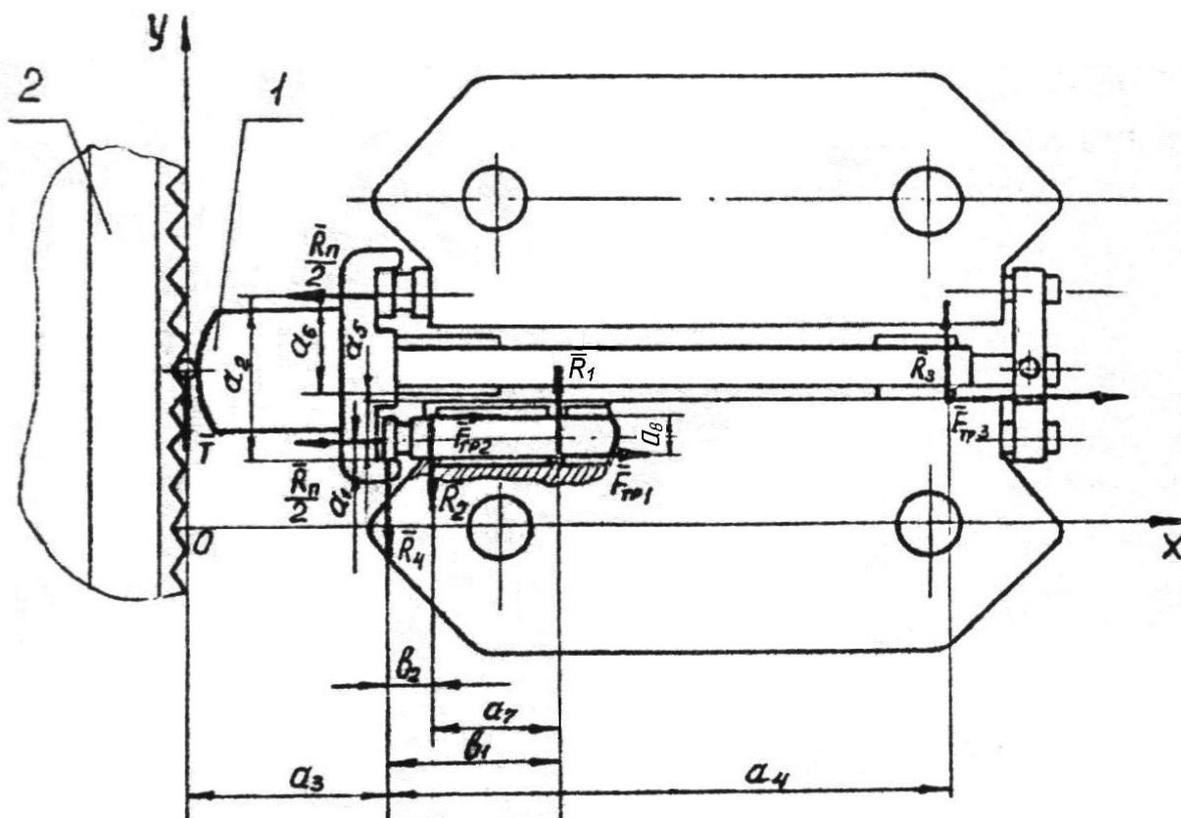


Рис. 2.3 Система удержания:

а – конструкция; б – расчётная схема сил, возникающих в системе

R_4 – боковое усилие, действующее от гидродомкрата на балку механизма передвижки.

Величины плеч при определении моментов, действующих от перечисленных сил, представлены на схемах (рис. 2.3). Кроме того, при теоретических исследованиях приняты следующие обозначения:

γ – угол профиля зуба рейки;
 f – коэффициент трения.

Учитывая, что балка механизма передвижки комплекта крепи при подаче струговой установки на забой движется с небольшой скоростью и практически равномерно, инерционными массами можно пренебречь и воспользоваться приемами статики.

Определим угол профиля зуба рейки в зависимости от действующих усилий.

Для этого составляем уравнения равновесия системы:

$$\begin{aligned}\sum F_{kx} &= N \sin \gamma + F_{\text{тр}} \cos \gamma + T = 0, \\ \sum F_{ky} &= N \cos \gamma - F_{\text{тр}} \sin \gamma - P_{\text{п}} = 0.\end{aligned}$$

Отсюда:

$$\gamma = \arctg \frac{T - P'_{\text{п}} f}{Tf + P'_{\text{п}}}; \quad (2.1)$$

Реакция в точке контакта зубчатой рейки и толкателя с учетом сил трения составит:

$$P'_{\text{п}} = P_{\text{п}} + \sum F_{\text{тр}}. \quad (2.2)$$

Определим сумму сил трения из условия:

$$\sum F_{ky} = T + R_3 - R_4 = 0, \quad (2.3)$$

$$\sum M_3 = R_4 d_4 - \frac{P_{\text{п}}}{2} d_5 + \frac{P_{\text{п}}}{2} d_6 - T(d_3 + d_4) = 0, \quad (2.4)$$

$$\sum M_1 = R_2 d_7 + R_4 b_1 - F_{\text{тр}} d_8 = 0, \quad (2.5)$$

$$\sum M_2 = R_1 d_7 + F_{\text{тр}1} d_8 + R_{\text{п}} b_2 = 0. \quad (2.6)$$

Из уравнений (2.3–2.6) находим:

$$F_{\text{тр}1} = -\frac{2T(d_3 + d_4)b_2 f}{P_{\text{п}}(d_5 - d_6)d_4(d_7 + d_8 f)},$$

$$F_{\text{тр}2} = -\frac{2T(d_3 + d_4)b_1 f}{P_{\text{п}}(d_5 - d_6)d_4(d_7 + d_8 f)},$$

$$F_{\text{тр}3} = \left[\frac{2(d_3 + d_4)}{P_{\text{п}}(d_5 - d_6)d_4} - 1 \right] Tf.$$

Подставим найденные значения сил трения в выражение

$$P'_n = P_n + \left[\frac{d_3 + d_4}{(d_5 - d_6)d_4} - \frac{P_n}{2} - \frac{(d_3 + d_4)b_2}{(d_5 - d_6)d_4(d_7 + d_8f)} \right] \frac{2Tf}{P_n}. \quad (2.7)$$

Произведем расчет для конструкции комплекса со струговой установкой 1CO2620.

Величины b_1 и b_2 принимаем с учетом полной выдвигки гидродомкратов подачи, (критическое условие нагружения).

Подставив конкретное значение величин в выражения (2.1, 2.7), получим величину угла профиля зуба рейки γ , системы удержания от бокового усилия T .

На рис. 2.4 приведен график полученной зависимости угла профиля зуба рейки γ от усилия T при различных коэффициентах трения.

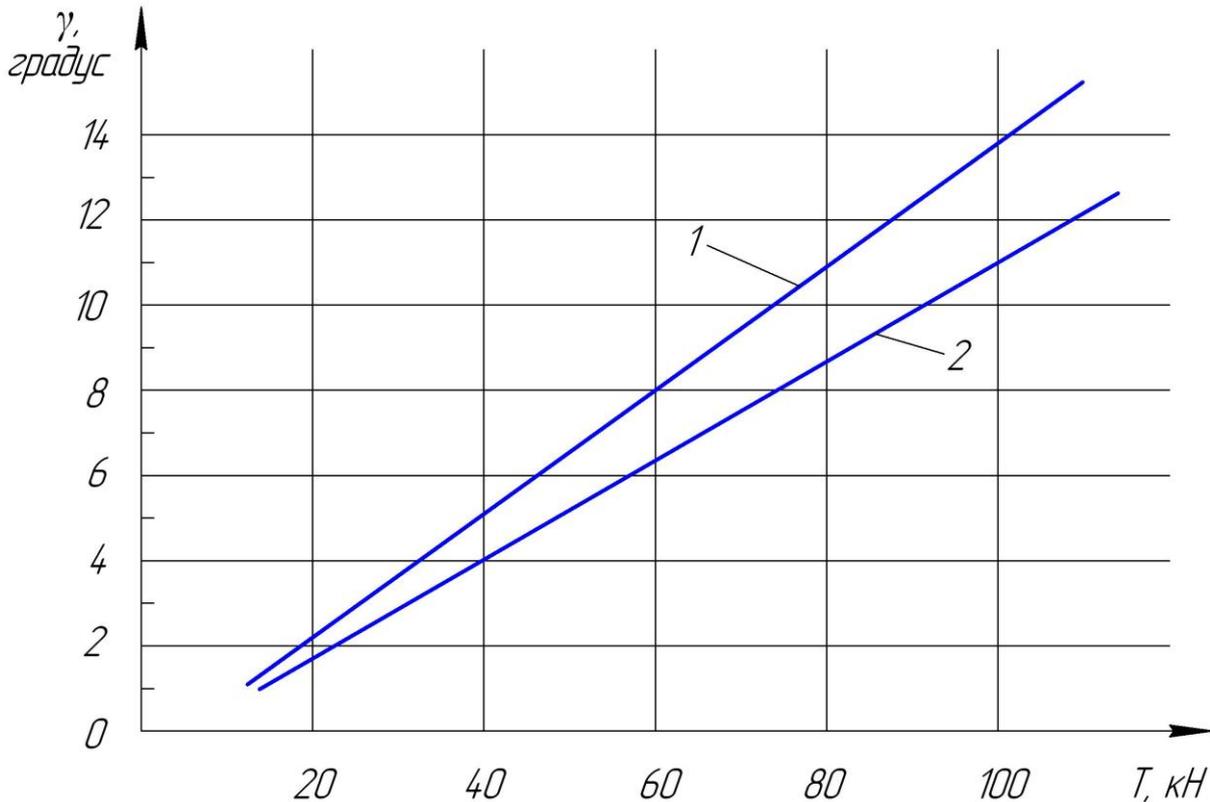


Рис. 2.4. График зависимости угла профиля зуба рейки от усилия T :
1 – при $f = 0,15$; 2 – при $f = 0,2$

По условию прочности механизма подачи боковое усилие не должно превышать 100 кН (запас прочности $n = 1,2$).

Тогда, как видно из графика, угол профиля зуба рейки не должен превышать 14° .

Полученные в результате теоретических исследований значения параметров разработанной системы подачи были заложены в конструкцию и изготовлены для проведения шахтных испытаний.

2.3. Удержание струговой установки от стягивающих усилий по падению пласта с помощью гидродомкратов, расположенных вдоль лавы

В ШахтНИУИ были проведены испытания корректирующего устройства, решающего вопрос удержания струговой установки от стягивающих усилий по падению пласта и позволяющего корректировать её положение вдоль лавы. Испытания проводились в составе опытного образца очистного стругового комплекса в исполнении для пластов с углами падения до 25–30°

Комплекс включал струговую установку 1СО2620, опытный образец механизированной крепи в исполнении для угольных пластов с углами падения до 25° и корректирующее устройство. Испытания проводили при отработке пласта мощностью 1,2–1,26 м с углами падения 19–32° (средний 23°). Гипсометрия пласта спокойная, непосредственная кровля – песчаный сланец средней устойчивости с выходами зон неустойчивых пород мощностью до 1,1 м, коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Протодьяконова – 7–8. Основная кровля – песчаник мощностью 15,5 м с коэффициентом крепости 9–10. Почва пласта – песчаный сланец с коэффициентом крепости 7–8. Сопротивление пород почвы на вдавливание 53,3 МПа.

За период наблюдений подвигание очистного забоя составило 253,6 м, при этом было добыто 95326 т угля.

Как показывает опыт работы струговых установок типа 1СО2620, 1СН2620, 3СО2620, применяемые в них удерживающие от сползания по падению пласта устройства (столы, распорные устройства) не обеспечивают надежного выполнения своих функций. Поэтому для эффективной работы на пластах с углами падения в диапазоне 8–25° рекомендуется устанавливать линейные гидродомкраты, предназначенные для подачи струга на забой, под углом в сторону восстания пласта. Однако в комплексе с механизированными крепями комплектного типа такие гидродомкраты

отсутствуют и подача струговой установки на забой осуществляется гидродомкратами секций комплекта, которые могут быть подключены к гидролинии низкого давления. Поэтому в этих комплексах было разработано устройство корректирующее, предназначенное для перемещения струговой установки вдоль очистного забоя (корректировки положения струговой установки).

Устройство корректирующее (рис. 2.5) включает гидродомкрат 1, который закреплен одним концом с помощью кронштейна 2, осей 3, 4 к конвейеру 5 струговой установки, а другим упирается в балку направляющую 6 или секцию 7 комплекта крепи. Используемый здесь гидродомкрат подключен к блоку управления 8, установленному на секции крепи и запитанному от линии высокого давления; он аналогичен гидродомкрату, применяемому в секции крепи, и развивает усилие до 220 кН (при давлении 20 МПа). В комплексе может применяться до 12 корректирующих устройств, равномерно распределенных по лаве.

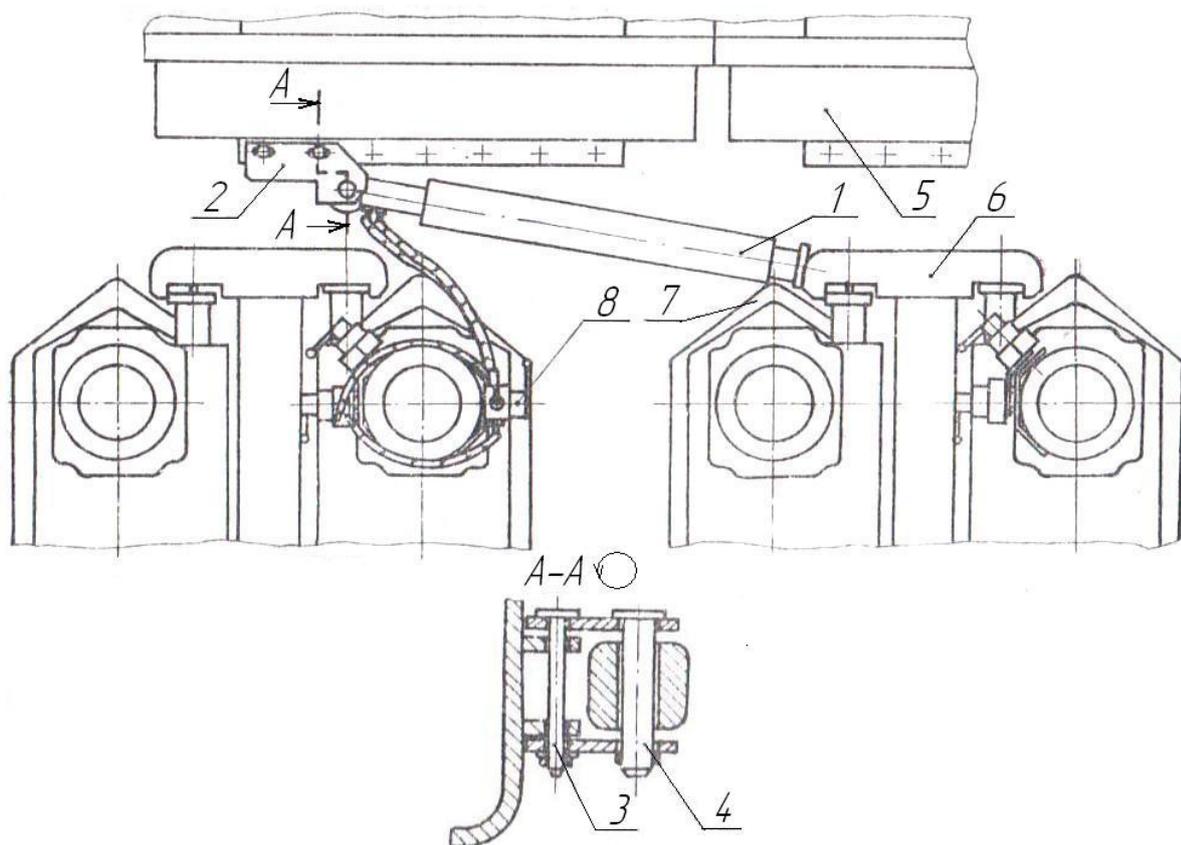


Рис. 2.5. Устройство корректирующее:

1 – гидродомкрат; 2 – кронштейн; 3, 4 – оси; 5 – конвейер;
6 – балка направляющая; 7 – секция комплекта крепи

В начале работы по всей лаве выводят из контакта с конвейером толкатели комплектов, используемых для подачи струговой установки на забой, и максимально подтягивают к конвейеру секции, в основание которых будут упираться гидродомкраты корректирующих устройств. Затем эти гидродомкраты устанавливаются в рабочее положение, т.е. закрепляют одним концом с помощью кронштейнов к конвейеру, а другим упираются в основание секции; далее рукоятки блоков управления устанавливаются в нейтральное положение, выключается насосная станция и рукоятки вновь переводят в рабочее положение (на раздвижку гидродомкрата). По селекторной связи все рабочие сообщают о выполнении этих операций и затем машинист струга включает насосные станции. Гидродомкраты, раздвигаясь, перемещают струговую установку вдоль забоя. Если необходимо переместить и приводную станцию струга, то надо разгрузить её распорные стойки. Для облегчения процесса перемещения установки эту операцию осуществляют при работающем струге (в этом случае конвейер приподнимается постелью струга над почвой, чем уменьшается сопротивление перемещению). Если за один ход величина перемещения недостаточна, необходимо гидродомкрат сложить, перекрепить с кронштейном на конвейере, и операцию повторить до требуемой величины перемещения установки.

Целью проводимых исследований явились:

- оценка интенсивности сползания струговой установки 1СО2620 в комплекте с крепью в условиях угольных пластов с углами падения до 25–30°;
- определение эффективности использования корректирующих устройств, их надежности, работоспособности, минимально необходимого количества;
- установление фактических параметров корректирующих устройств;
- оценка трудоёмкости процесса перемещения струговой установки вдоль забоя.

В лаве было смонтировано 12 корректирующих устройств с шагом расстановки от 8 до 20 м. Наблюдения за сползанием струговой установки велись в течении 5 месяцев. За этот период продвижение забоя составило 172,2 м, а условное сползание – 20,8 м.

В результате обработки полученных данных была установлена зависимость между величиной сползания струговой установки и подвиганием забоя, представленная на рис. 2.6.

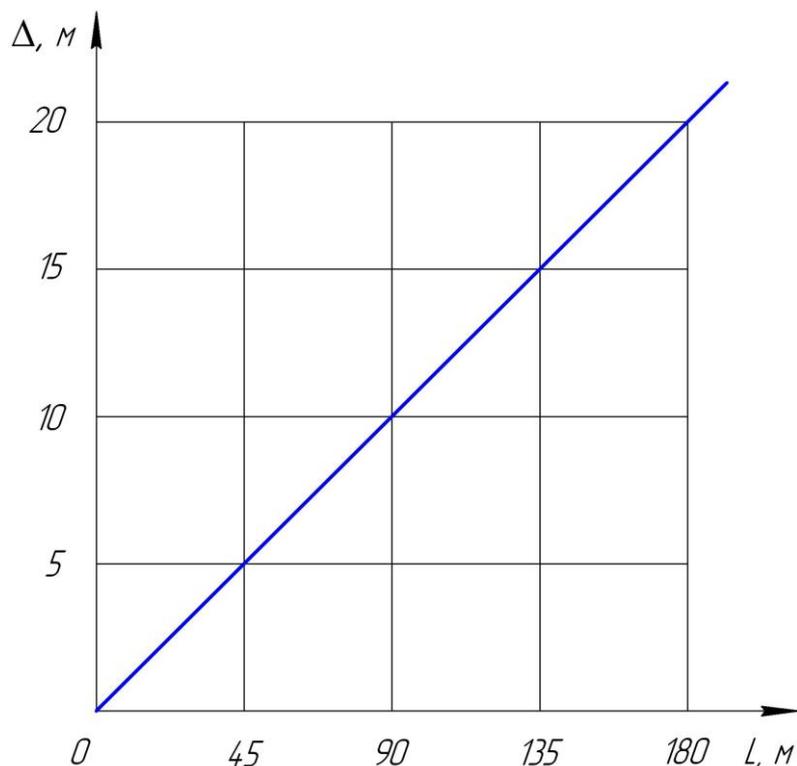


Рис. 2.6. Зависимость между величиной сползания Δ струговой установки 1СО2620 и подвиганием очистного забоя L

Из графика видно, что величина смещения струговой установки составляла в среднем 0,12 м на 1 м подвигания забоя. Учитывая, что корректировку положения установки необходимо осуществлять при сползании её на 0,5–0,8 м, частота выполнения этой операции в условиях лавы с углом падения 19–32° составляла одну корректировку на 4–7 м подвигания забоя, или 1600–2800 т добычи угля.

Таким образом, была подтверждена необходимость регулярного использования корректирующего устройства, а следовательно, и требования к нему: высокая надежность, эффективность и низкая трудоемкость применения.

Эксплуатация корректирующих устройств показала, что они способны эффективно перемещать струговую установку вдоль забоя. Особых затруднений в получении навыков и выполнении указанной операции у рабочих не возникало. Однако в процессе освоения, из-за неправильного выбора высоты крепления гидро-

домкрата относительно почвы, при перемещении струговой установки вдоль забоя происходило опрокидывание рештачного става и изгиб штоков гидродомкратов. Таким образом было выведено из строя четыре гидродомкрата. Это явление наблюдалось только в начальный период испытаний. А в дальнейшем, при получении достаточного навыка, рабочие поднимали струговую установку вдоль очистного забоя до двух метров за половину ремонтной смены. Поломок других элементов корректирующего устройства за период наблюдений отмечено не было.

Проверка возможности подъема става конвейера уменьшенным, по сравнению с первоначальным, количеством гидродомкратов показала, что суммарного усилия шести равномерно распределенных по лаве гидродомкратов в сухой лаве с углом падения $25\text{--}30^\circ$, длиной 180 м при работающем струге достаточно.

Изменение параметров корректирующего устройства выполнялось в нижней, средней и верхней части лавы до, в процессе и после передвижения (угол падения пласта на этих участках составлял $21\text{--}25^\circ$). При этом замерялись давление насосной станции, давление у гидродомкрата в процессе и после передвижки, геометрические параметры, позволяющие определить угол между осями гидродомкрата и конвейера. Давление рабочей жидкости в напорной магистрали у насосной станции колебалось от 16 до 18 МПа, в поршневой полости гидродомкрата в процессе передвижки – от 9 до 16 МПа и в среднем составило 11,7 МПа, что соответствует усилию 117 кН.

Угол между осью гидродомкрата устройства корректирующего до перемещения конвейера составлял то 5 до 34° , средний – $13,3^\circ$, после перемещения – от 5° до 21° , средний – $8,6^\circ$.

Трудоемкость процесса корректировки оценивалась с помощью хронометражных наблюдений по каждой операции. Обычно 12 корректирующих устройств обслуживало 6 человек. При этом затраты на передвижку всех устройств на ход гидродомкрата составили:

- на оттягивание толкателей – 20 мин;
- на установку гидродомкратов в рабочее положение – 30–40 мин;
- выключение, включение насосных станций – 5–6 мин;
- перемещение струговой установки – 3–5 мин.

Таким образом, в процессе перемещения струговой установки на ход гидродомкрата затрачивалось 58–71 мин и трудоемкость соответственно составила 348–426 чел.-мин.

Обычно эта операция повторялась 2–3 раза, так как после первой лишь выбирались зазоры между рештками и став конвейера прижимался к забою, а собственно перемещение осуществлялось, начиная со второй операции. Трудоемкость второй и последующих операций была ниже, т. к. исключается процесс оттягивания толкателей, уменьшается количество операций гидродомкратов в рабочее положение. Например, время, затраченное на две операции, составило 108 мин, трудоёмкость – 608 чел.-мин.

Корректировка положения решточного става не оказывала существенного влияния на технологический процесс выемки угля, т. к. выполнялась в ремонтно-подготовительную смену.

Необходимо отметить, что при проведённых испытаниях не были исследованы различные схемы и шаг расстановки гидродомкратов, влияние угла установки их по отношению к конвейеру на процесс передвижки. Эти вопросы требуют дальнейшей разработки и проверки с целью определения оптимальных параметров указанных величин.

Таким образом:

– на пластах с углами падения, близкими к 25° , струговая установка 1СО2620 сползает с интенсивностью 0,12 м на 1 м подвигания забоя и, следовательно, необходима частая корректировка её положения;

– разработанное корректирующее устройство высоконадёжно, обеспечивает эффективное восстановление нормального положения струговой установки вдоль очистного забоя и не сдерживает технологический процесс добычи угля. Трудоёмкость этой операции составляет 348–426 чел.-мин на один ход гидродомкрата;

– установлено, что количество гидродомкратов, обеспечивающих процесс подъёма струговой установки при работающем струге в сухой лаве длиной 180 м с углом падения до 25° , не имеющей порогов по почве, должно быть не менее 6.

– для установления оптимальных схем, шага расстановки корректирующих устройств, параметров, влияющих на процесс изменения положения струговой установки вдоль забоя требуются дальнейшие исследования.

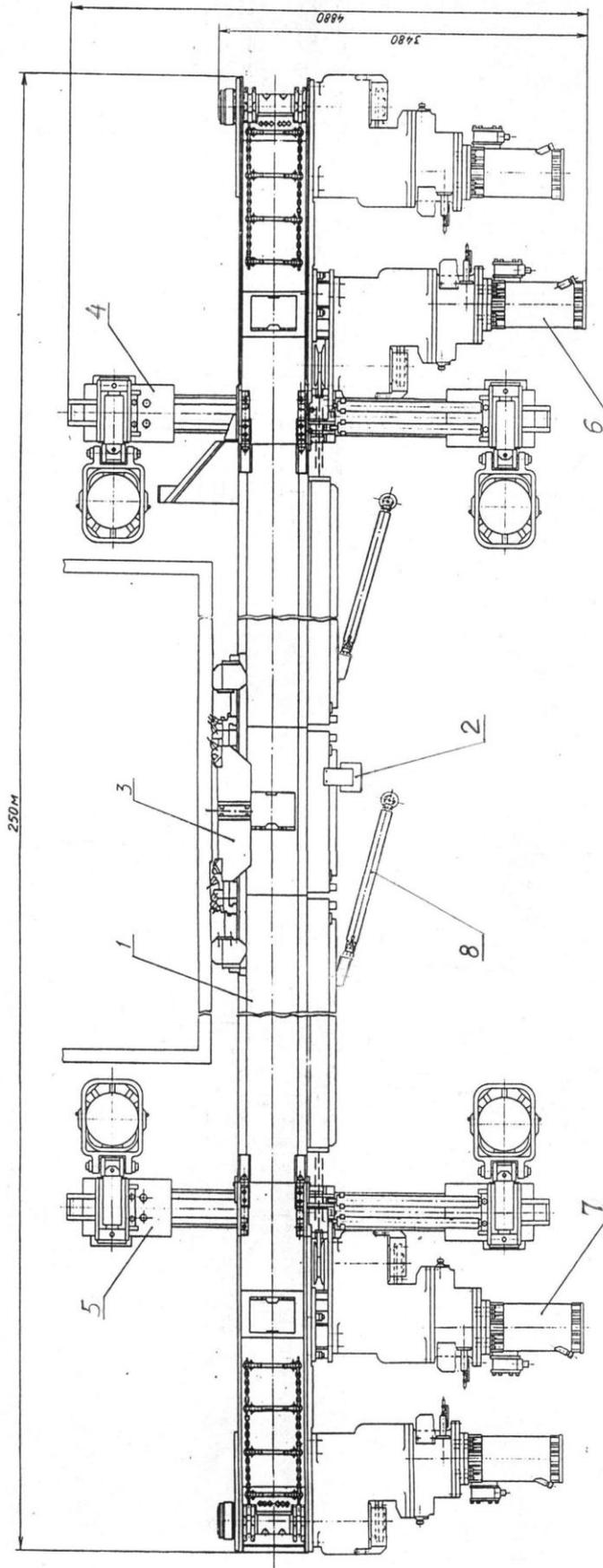


Рис. 2.7. Комбинированная система удержания струговой установки отрывного типа:
 1 – конвейер; 2 – электрооборудование; 4 – устройство распорное нижнее;
 5 – устройство распорное верхнее; 6 – привод струга нижний; 7 – привод струга верхний;
 8 – гидродомкрат

2.4. Комбинированная система управления положением струговых установок относительно выработок, прилагаемых к лаве

Комбинированная система удержания струговой установки отрывного типа представлена на рис. 2.7.

Конвейер струговой установки 1 удерживается от сползания по падению пласта устройствами распорными, нижним 4 и верхним 5.

Распорное устройство нижнее 4 устанавливается выше привода струга нижнего 6, а распорное устройство верхнее 5 располагается ниже привода струга верхнего 7. Вдоль конвейера 1 под углом не более 30° устанавливаются гидродомкраты, развёрнутые по восстанию пласта. Рекомендуемое количество таких гидродомкратов на лаву длиной 200 м – не более 12 при угле падения пласта до 30° .

Таким образом, удержание струговой установки от сползания по падению пласта осуществляется как устройствами распорными в верхней и нижней частях лавы, так и гидродомкратами, распределёнными по лаве.

Комбинированная система удержания струговых установок от сползания по падению пласта рекомендуется при углах залегания пласта 20° и более, т. к. происходит сползание струговой установки за счёт зазоров между рештками. Величина такого сползания может достигать 3 м в лавах длиной 200 м.

В этом случае приводы струга с верхней и нижней рамами конвейера, на которых они установлены, удерживаются распорными устройствами, а линейная часть струговой установки (конвейер) – гидродомкратами, распределёнными по лаве и развёрнутыми по восстанию пласта под углом не более 30° .

3. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЯМОЛИНЕЙНОСТЬЮ СТРУГОВОЙ УСТАНОВКИ В ОЧИСТНОМ ЗАБОЕ

Одной из основных проблем струговой выемки является проблема поддержания прямолинейности линии очистного забоя в плоскости пласта.

В струговых лавах линия забоя постоянно искривлена, что приводит к повышенному износу струговых и конвейерных цепей, порывам замковых соединений конвейерного става, увеличению потребляемой мощности приводными двигателями струговой установки и конвейера, ухудшению взаимодействия выемочной машины с лавокомплексом крепи и др.

Однако, по настоящее время не разработана система поддержания и контроля прямолинейности, которая отличалась бы высокой надежностью и эффективной работоспособностью в течение длительного времени их эксплуатации. Задача создания такой системы является одной из наиболее актуальных задач струговой технологии выемки угля.

3.1. Классификация систем управления прямолинейностью

Анализ результатов патентных исследований показал, что работы по созданию систем обеспечения прямолинейности линии очистного забоя развивались по двум основным направлениям (рис. 3.1):

а) разработка систем поддержания прямолинейности баз выемочных машин, предназначенных для нейтрализации основных горно-геологических и горнотехнических факторов, вызывающих искривления линии очистного забоя;

б) разработка систем контроля прямолинейности линии очистного забоя, основным назначением которых является представление информации о форме линии забоя (базы выемочной машины или фронта крепи), на основании которой можно производить её выравнивание.

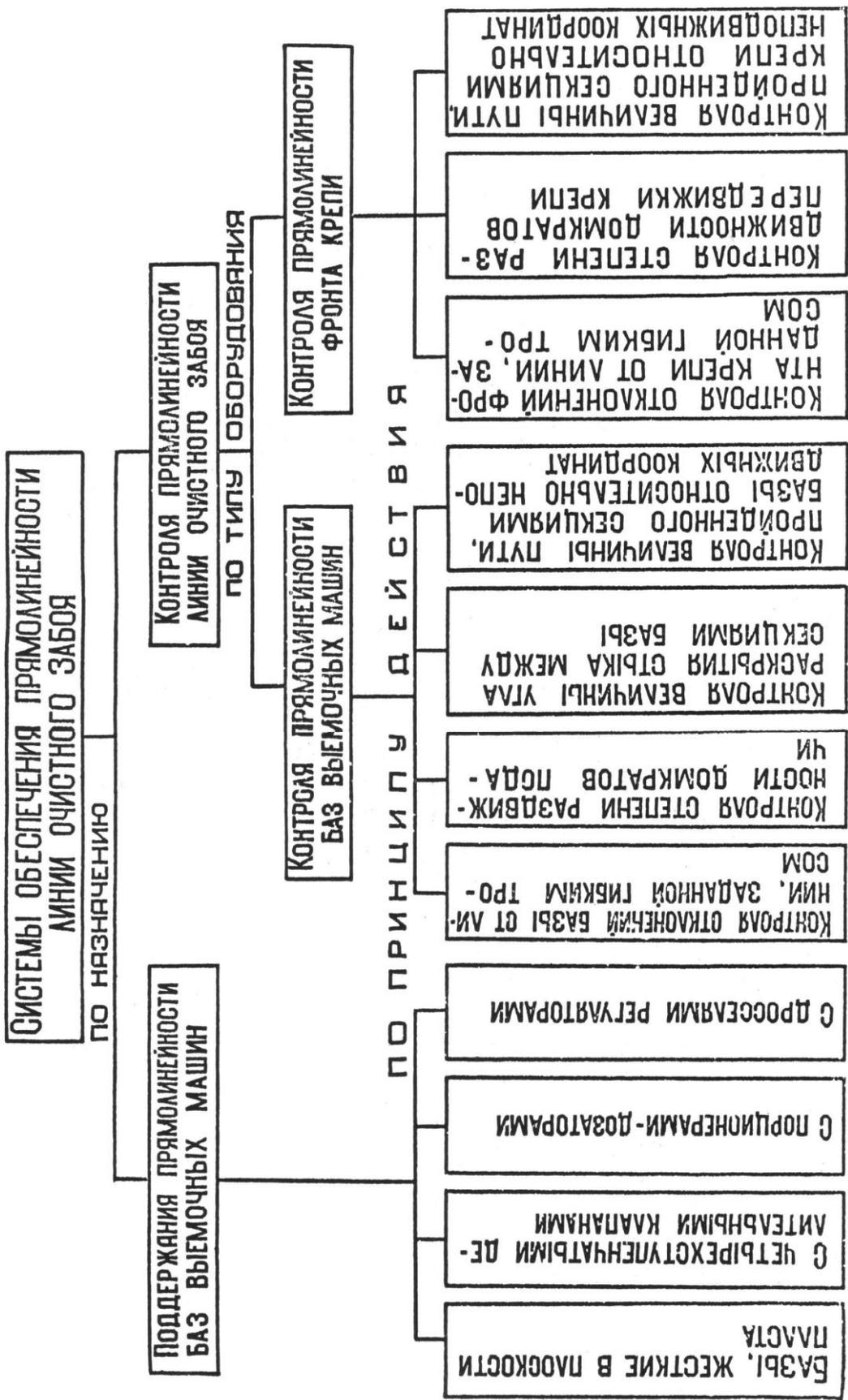


Рис. 3.1 Классификация систем обеспечения прямолинейности линии очистного забоя

3.1.1. Системы поддержания прямолинейности струговой установки

Данные системы по принципу действия могут быть классифицированы на следующие группы:

а) системы, представленные базами жёсткими в плоскости пласта, осуществляющие силовое удержание выемочной машины от искривлений;

б) системы с порционерами-дозаторами, осуществляющие порционную подачу базы выемочной машины на забой, как правило, на величину, равную принятой толщины стружки;

в) системы с дросселями-регуляторами, которые в зависимости от величины угла раскрытия стыка между секциями базы в плоскости пласта регулируют расход рабочей жидкости в соответствующих гидродомкратах подачи выемочной машины на забой;

г) системы с четырехпоточными делительными клапанами, которые упорядочивают процесс движения базы выемочной машины на забой путем синхронизации выдвигки гидродомкратов подачи.

Жёсткие в плоскости пласта базы широко применялись в первых конструкциях агрегатов А-2, СА, А-3. Как показали экспериментальные исследования, длинные жёсткие базы работали в тяжёлом режиме из-за неравномерности приложения движущих сил и сил сопротивления. Действия этих сил, неравномерность выдвигки гидродомкратов и различия в величинах их хода приводили к нарушениям прямолинейности баз и, как следствие, к деформациям и нарушению элементов базы, забойного оборудования. Так, только за три месяца работы агрегата А-2 по причине искривления линии забоя зарегистрировано 23 разрыва жёсткого в плоскости пласта конвейерного става.

В последующих конструкциях агрегатов жёсткие базы не применялись.

Система с порционерами-дозаторами впервые была применена в агрегатах А-2 и А-3. За рубежом первые эксперименты с подобными системами начали проводить в Англии и ФРГ.

Результаты проведенных испытаний показали, что при применении порционной подачи существенно улучшались технические параметры выемочных машин, увеличивалась их производи-

тельность. В то же время испытанные системы не эффективно выполняли свою основную задачу – поддержание прямолинейности базы выемочной машины. Основным недостатком этих систем явилась невозможность настройки порционеров на одинаковую величину хода дозирующих поршней. Появившиеся ошибки в настройке порционеров накапливались в процессе эксплуатации комплексов и агрегатов, что в конечном итоге приводило к постепенному искривлению их баз. По этой причине на шахте Хакнолл в лаве длиной 55 м, оборудованной струговой установкой и механизированной крепью, при испытаниях системы с дозированной передвижкой конвейера искривление рештачного става составило 228,6 мм при подвигании лавы на 6,2 м.

Кроме этого, следует учитывать, что дозирующие системы могут выполнять функции поддержания прямолинейности базы только в том случае, если секции крепи, являющиеся опорой гидродомкратов подачи, после передвижки будут занимать новое положение, параллельно своему предыдущему положению. На практике, в процессе испытаний, неравномерная передвижка секции крепи приводила к быстрому искривлению базы.

Системы с дросселями-регуляторами впервые были применены в агрегатах АФ-15, СА.

Экспериментальные исследования показали, что применение этих систем способствовало уменьшению величины искривления баз выемочных машин в плоскости пласта, полностью устранить которые однако не представлялось возможным по целому ряду причин.

Так, в ходе испытаний агрегата СА было установлено, что искривление базы определялось разницей в моментах трогания поршней гидродомкратов в начале и в конце лавы ($\approx 1,5$ с) и различиями в настройке дросселей-регуляторов. При этом погрешность величины выдвигки гидродомкратов подачи составляло 8–12 %, а отклонения забойного конвейера от прямой линии колебались в пределах от 110 до 400 мм.

Исследование работы дросселей-регуляторов в агрегате А-3 показали, что недостаточное изменение скорости выдвигки гидродомкратов подачи, вызванное малой глубиной дросселирования жидкости, приводит к постоянному плавному изгибу базы в сторону завала.

Исследованиями распределения углов скручивания между секциями базы, проведенными в лавах с агрегатами СА и А-3, установлено постоянное наличие углов порядка $0,5-2^\circ$ между секциями базы независимо от её геометрической формы в плоскости пласта. При этом, изменение этих углов, определяемое местными конкретными условиями, отрицательно влияет на точность работы системы с дросселями-регуляторами.

Системы с четырехпоточными делительными клапанами проходили испытания в агрегатах СА и Ф-1. Кроме этого, была разработана и испытана аналогичная система для поддержания прямолинейности базовой балки крепи КПК.

В целом, испытания показали принципиальную возможность синхронизации скоростей выдвиги гидродомкратов подачи базы выемочной машины на забой и поддержание, тем самым, её прямолинейности. Однако был выявлен и целый ряд недостатков.

Было установлено, что в начальный период «разгона» системы (в течение 2–3 с) рассогласование по скорости выдвиги гидродомкратов достигало 300 %, затем процесс стабилизировался и погрешность по скорости выдвиги не превышала 7 %. При этом величина разности хода двух соседних гидродомкратов составляла 30 мм.

Кроме этого, была выявлена низкая надежность работы клапанов из-за быстро появляющихся перетоков рабочей жидкости, а также зависимость эффективности поддержания прямолинейности от состояния формы фронта крепи.

3.1.2. Системы контроля прямолинейности линии очистного забоя

По типу контролируемого в комплексе или агрегате оборудования данные системы контроля различают на системы контроля прямолинейности баз выемочных машин и системы контроля прямолинейности фронта лавокомплекта крепи. По принципу действия эти системы классифицируются на следующие группы:

а) системы контроля отклонений формы базы выемочной машины или фронта крепи от прямой линии, заданной проходящим через всю лаву гибким тросом;

б) системы контроля степени раздвижности гидродомкратов подачи-передвижки;

в) системы контроля величины пути, пройденного секциями базы выемочной машины или крепи, относительно неподвижных координат;

г) системы контроля величины угла раскрытия стыка между секциями базы выемочной машины.

Система контроля прямолинейности с гибким тросом прошла обстоятельную проверку при испытаниях агрегата АКД-2. При этом система осуществляла контроль как формы базы струговой установки, так и формы фронта крепи.

Испытания показали, что точность измерения величины отклонения базы или фронта крепи от прямой линии составляла ± 100 мм при длине базы 60 м. Система контроля прямолинейности, автоматически управляя гидродомкратами подачи-передвижки, позволяла в процессе работы не допускать искривления со стрелой прогиба более ± 150 мм, которые являлись предельно допустимыми для агрегата АКД-2.

Наиболее существенными недостатками рассмотренной системы контроля с гибким тросом является то, что область её применения ограничена практически только агрегатом АКД-2, у которого базовая балка с задающим тросом находится у кровли пласта. На остальных современных агрегатах и комплексах задающий трос конструктивно не вписывается в механизированную крепь. Особенно затруднено применение таких систем на весьма тонких и тонких пластах из-за стесненности в рабочем пространстве лавы. Кроме этого, с увеличением длины лавы, провисание гибкого троса значительно снижает точность работы такой системы контроля прямолинейности.

Система контроля прямолинейности, основанная на измерении степени раздвижности гидродомкратов подачи-передвижки, была испытана в ФРГ на пласте Лангервег.

Раздвижность гидродомкратов регистрировалась встроенными в них измерительными преобразователями (потенциометрическими датчиками). Информация с 10-и равномерно распределенных по лаве измерительных секций крепи передавалась на микропроцессор пульта управления, где путем суммирования величин хода гидродомкратов графически устанавливалось положение

ние измерительных секций и конвейера в плоскости пласта относительно разрезной печи.

В настоящий момент такая система контроля нашла широкое применение в схемах электрогидравлического управления механизированными крепями ведущих зарубежных фирм: «Даути корп.», «Галлик Добсон инк.», «Герман Хемшайдт машиненфабрик», «Марко», «Тифенбах Контрол Системз ГмбХ».

Однако следует отметить, что в подобных системах на точность контроля положения базы (фронта крепи) оказывают отрицательное влияние конструктивные зазоры в соединительных элементах системы агрегатирования, возможные сдвиги измерительных секций крепи относительно конвейерного става, проявление гипсометрии почвы пласта, отклонения в движении измерительных секций от заданного направления и др. Отсутствие точной информации о форме базы не позволяет избежать появления её искривлений. Примером этого могут быть результаты испытаний, показавшие наличие искривления базы синусоидального характера с амплитудой $\pm 1,8$ м на длине лавы 70 м.

Системы контроля прямолинейности, основанные на непосредственном измерении с помощью закрепленных в выработанном пространстве тросов величин пути, пройденных секциями базы или крепи относительно неподвижных координат, разрабатывались в разных странах.

Результаты испытаний подтвердили принципиальную пригодность данного способа для измерений величины пройденного пути. При этом погрешность измерений не превышала 5 %, а информация с датчиков пройденного пути, передаваемая на пульт управления, визуально или графически отображала положение контролируемых точек на плоскости пласта, что позволяло судить об общей форме базы выемочной машины или фронта крепи.

По сравнению с системами контроля, описанными ранее, данные системы более точно измеряют величину пройденного пути, так как на их погрешность не оказывают влияние конструктивные зазоры в соединительных элементах системы агрегатирования. Однако их использование для контроля прямолинейности баз выемочных машин оказалось неприемлемым, так как продольные перемещения рештачного става в процессе работы струговой

установки отрицательно влияют на точность измерений, а проходящие от конвейера в выработанном пространстве гибкие тросы являются значительной помехой в стесненном рабочем пространстве лавы. Эффективность данных систем, как показали проведенные испытания, проявляется при использовании их для контроля прямолинейности фронта крепи, когда датчики устанавливаются на секциях крепи на границе рабочего пространства лавы.

Система контроля прямолинейности, основанная на измерении величины угла раскрытия стыка между секциями базы выемочной машины, прошла успешное испытание в составе стендового комплекса КВЗ.

Силоизмерительные датчики, встроенные в соединительные звенья секций базовой балки, передавали информацию о величине раскрытия стыка на пульт управления, где она обрабатывалась, индцировалась и осуществляла управление соответствующими электрогидрораспределителями.

Основным недостатком подобных систем контроля является невозможность точного построения фактической формы базы выемочной машины в плоскости пласта из-за определенной погрешности самого измерения величин углов и отрицательного влияния на показания измерительных датчиков постоянно имеющих на практике углов скручивания между секциями базы.

3.1.3. Анализ систем управления прямолинейностью линия очистного забоя

В результате рассмотрения отечественного и зарубежного опыта установлены основные направления создания систем обеспечения прямолинейности линии очистного забоя. Результаты испытания этих систем показали:

а) системы поддержания прямолинейности линии очистного забоя существенно улучшают показатели работы струговых комплексов (агрегатов), замедляя процесс искривления их баз без нарушения основных силовых и кинематических параметров оборудования;

б) испытанные системы контроля прямолинейности линии очистного забоя не обладают необходимой точностью измерения

формы лавы, вследствие чего выравнивание, производимое на основе полученной информации, недостаточно эффективно;

г) каждой прошедшей испытание системе поддержания или контроля прямолинейности линии очистного забоя присущи в той или иной мере существенные недостатки, снижающие их эффективность. Поэтому однозначно указывать приоритетные системы только из анализа результатов испытаний не представляется возможным. Необходимо дополнительно рассмотреть причины, вызывающие искривления баз струговых комплексов, и провести анализ возможности их устранения.

Следует также отметить, что в России получили наибольшее распространение работы по созданию систем поддержания прямолинейности, основанных на дозированной подаче выемочной машины на забой, и систем контроля прямолинейности, основанных на измерении пути, пройденного секциями крепи, относительно неподвижных координат. За рубежом получила распространение система контроля прямолинейности, основанная на измерении степени раздвижности гидродомкратов подачи (передвижки).

Опыт в эксплуатации струговых комплексов и агрегатов показывает, что основными причинами, вызывающими искривление их баз являются (рис. 3.2.):

- а) неравномерная интенсивность выстрагивания угля по длине лавы;
- б) неравномерное движение фронта лавокомплекта крепи;
- в) нарушение технологической схемы работы комплекса.

Каждая из указанных причин обусловлена действием целого ряда горно-геологических и горнотехнических факторов и способна вызвать искривление базы стругового комплекса при отсутствии проявлений двух других, хотя на практике, чаще всего, имеет место одновременное их воздействие на работу комплекса.

Неравномерная интенсивность выстрагивания угля есть результат снятия стружки разной толщины при движении исполнительного органа вдоль лавы или применения совмещенной технологии работ по выемке и креплению, при которой происходит неконтролируемое строгание забоя на отдельных участках.

ИСКРИВЛЕНИЕ БАЗЫ СТРУГОВОГО КОМПЛЕКСА

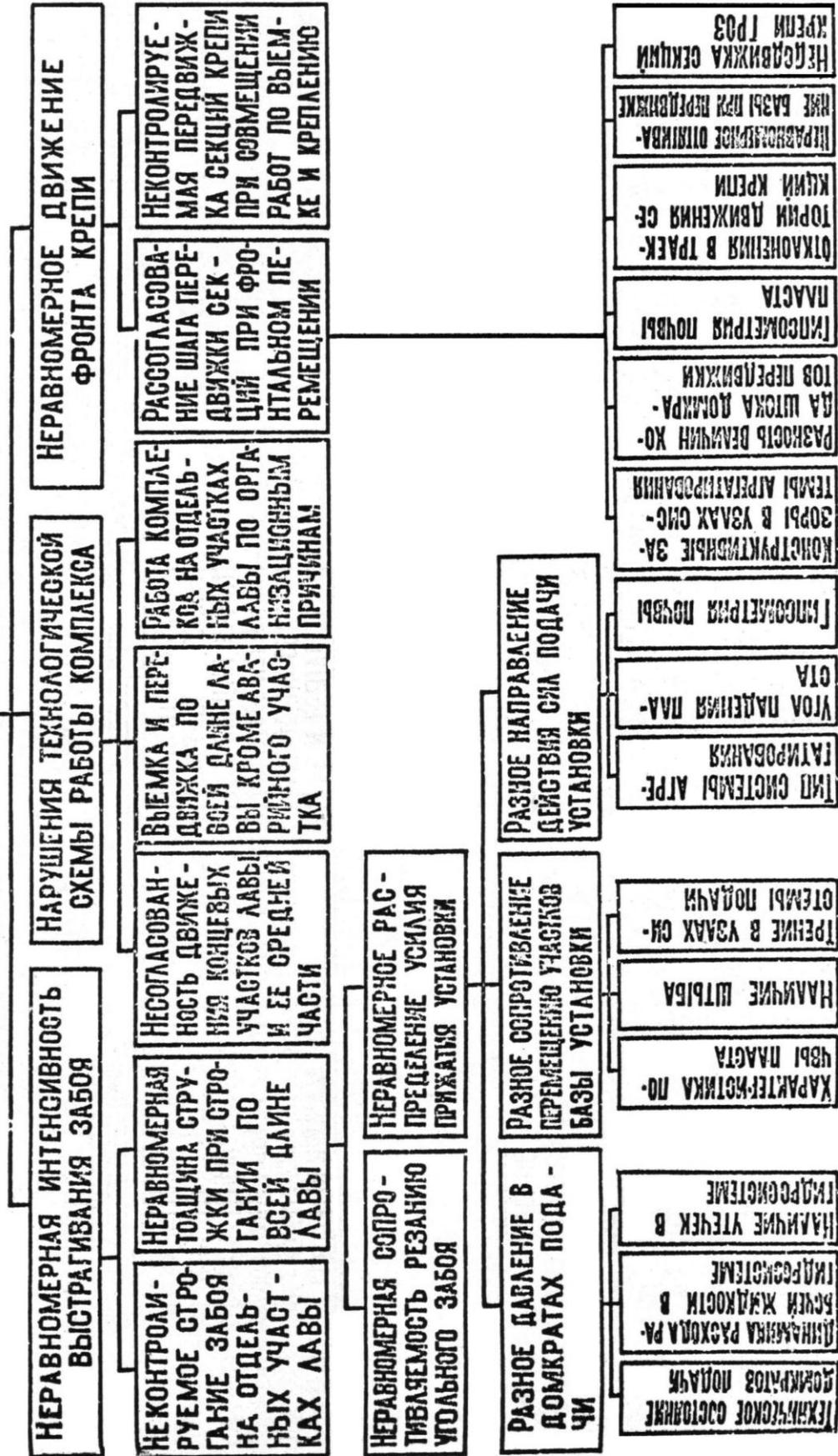


Рис. 3.2. Горно-геологические и горнотехнические факторы, вызывающие искривление баз струговых комплексов

Непостоянная толщина стружки является следствием изменчивости сопротивляемости угля резанию вдоль лавы и неравномерности распределенного по базе усилия прижатия струговой установки к забою, которое, в свою очередь, вызвано:

а) разной величиной давления рабочей жидкости в гидродомкратах подачи, зависящей от их технического состояния, динамики расхода и наличия утечек рабочей жидкости в гидросистеме подачи;

б) разной величиной сопротивления перемещению участков базы струговой установки, зависящей от состава, состояния, гипсометрии и степени обводнённости пород почвы, наличия штыба, потерь на трение в узлах системы подачи;

в) разным направлением действия приложенных к базе струговой установки сил от гидродомкратов подачи, которое определяется типом применяемой системы агрегатирования и зависит от угла падения пласта и гипсометрии почвы.

Неравномерное движение фронта лавокомплекта крепи обусловлено наличием рассогласования величины шага передвижки отдельных секций крепи при фронтальном перемещении всего лавокомплекта или неконтролируемой, независимой от положения других, передвижкой групп секций крепи по мере выемки угля на этих участках, то есть при совмещенной технологии работ по выемке угля и креплению лавы.

На рассогласование шага передвижки секций крепи оказывают влияние:

– конструктивные зазоры в узлах соединения элементов системы агрегатирования и местах крепления гидродомкратов передвижки к секциям крепи;

– разность величины хода штока гидродомкратов передвижки из-за отклонений в размерах их сборочных единиц и деталей;

– отодвигание секций базы на различную величину при подтягивании секций крепи;

– проявления гипсометрии почвы, уменьшающие величину шага передвижки секции крепи в проекции на плоскость пласта;

– отклонения траектории движения секций крепи от направления движения лавы, на которые оказывают существенное влияние угол падения пласта и эффективность работы применяемой системы ориентирования секций крепи;

– недодвижка секций крепи по организационно-техническим причинам.

Под нарушениями технологической схемы работы комплекса, вызывающими искривления линии очистного забоя, имеется в виду:

– отставание участка лавы из-за аварийного состояния секций крепи, узлов системы агрегатирования или проявления на нём геологических нарушений (утонение или пережим пласта, вывалы пород непосредственной кровли и др.);

– несогласованность движения концевых участков лавы и её средней части;

– выемка угля и крепление лавы на отдельных участках по организационным причинам.

Практически все создаваемые системы поддержания прямолинейности были предназначены для устранения неравномерной интенсивности выстрагивания угольного забоя, то есть для поддержания прямолинейности базы выемочной машины. При этом системы поддержания прямолинейности должны были обеспечивать постоянную величину толщины стружки в режиме строгания по все длине лавы, а именно: для устранения проявления разной сопротивляемости резанию угольного забоя разрабатывались системы с порционерами, а для устранения неравномерного распределения усилий прижатия установки к забою – системы с четырехпоточными делительными клапанами и аналогичные им. Однако, в процессе испытаний этих систем был отмечен целый ряд существенных недостатков, устранить которые не представляется возможным.

Так, для эффективной работы систем поддержания с порционерами необходимо, чтобы база струговой установки воспринимала отжимающее усилие исполнительного органа, не меняя своего положения в плоскости пласта, но выполнение этого условия неприемлемо для струговой технологии, так как может привести к заклиниванию струга на участках с повышенной сопротивляемостью резанию, особенно при наличии твёрдых включений в пласте. Кроме этого, прямолинейное движение базы выемочной машины при порционной подаче всецело зависит от формы фронта лавокомплекта крепи, являющегося опорой гидродомкратам подачи. Следует также отметить, что имеющиеся определенные рассогласования в настройке порционеров, осуществляющих

дозированный шаг подачи на величину, равную толщине стружки, за один выемочный цикл, при котором происходит полная раздвижка гидродомкратов подачи, составляют в результате суммирования довольно значительную величину, влияющую на интенсивность процесса искривления базы выемочной машины.

Основным недостатком систем с четырехпоточными делительными клапанами и другими аналогичными устройствами является то, что даже обеспечив равномерное распределение усилия прижатия установки к забою, устранить влияние изменчивости сопротивляемости резанию угольного забоя не удаётся, и искривление наступает довольно быстро.

Таким образом, исходя из вышесказанного, создание эффективных систем поддержания прямолинейности базы выемочной машины, нацеленных на обеспечение постоянного и равномерного выстрагивания угольного забоя, представляется весьма проблематичным.

Целью другого направления работ по обеспечению прямолинейности баз струговых комплексов явилась разработка систем, которые осуществляют контроль за формой базы и дистанционное или автоматическое управление её выравниванием. При этом за контролируемый параметр искривления базы может быть принят угол раскрытия стыка между секциями базы, как в системах с дросселями-регуляторами, или величина отклонения базы от условной или заданной прямой линии, как в системах с датчиками-измерителями степени раздвижности гидродомкратов подачи-передвижки или в системах, использующих протянутый вдоль лавы трос.

К недостаткам подобных систем следует отнести необходимость работы струговой установки в режиме постоянного выравнивания, когда при проходах исполнительного органа по всей длине лавы, процесс резания угля происходит только на отстающих участках, что приводит к снижению основных показателей работы комплекса. Кроме этого следует учесть, что существующие в настоящий момент системы контроля прямолинейности не обладают достаточной точностью измерения формы базы струговых комплексов, которая могла бы обеспечить эффективное выравнивание.

Учитывая состояние работ по созданию систем обеспечения прямолинейности баз струговых комплексов, представляется воз-

возможной и наиболее рациональной такая организация работы комплекса, при которой на определенной, достаточно большой величине пути, проходимом между мероприятиями по выравниванию, его база не может получить аварийного искривления, и всё входящее в его состав оборудование работает с максимально возможной производительностью. Организовать такой режим работы можно с помощью системы поддержания прямолинейности фронта крепи, которая обеспечила бы движение лавокомплекта крепи с минимально допустимым рассогласованием шага передвижки секций. При этом в течении выемочного цикла база струговой установки может иметь неаварийное искривление, а в конце его займет положение параллельное фронту лавокомплекта крепи.

Такая система поддержания прямолинейности фронта крепи может быть основана на использовании принципа дозирования величины шага передвижки секций крепи. При этом величину такой дозы целесообразно задавать при помощи шаблона, изготовленного с максимально возможной точностью и равного величине принятого шага передвижки. Кроме этого, такая система должна обеспечивать и контролировать организацию всего процесса передвижки лавокомплекта крепи, то есть не допускать отклонений от принятой схемы работы комплекса.

В ШахтНИУИ разработана система поддержания прямолинейности фронта крепи, основанная на принципе дозирования, регламентации шага передвижки базовых секций лавокомплекта крепи при помощи закреплённых в выработанном пространстве тросов и механических шаблонов, которые обеспечивали бы передвижение этих секций с минимально допустимым рассогласованием относительно исходного положения, то есть неподвижных координат.

Для выравнивания искривления фронта крепи, происходящего из-за накопления шаговых ошибок по мере движения лавы, струговой комплекс должен быть оснащен системой контроля прямолинейности, точность которой не уступала бы точности инструментальной маркшейдерской съёмки. В ШахтНИУИ выполнены работы по созданию системы контроля формы базы комплекса, обладающей высокой точностью и основанной на использовании принципа гироскопа.

3.2. Исследование влияния искривлений линии очистного забоя на работу струговых установок

3.2.1. Результаты шахтных исследований искривления линии очистного забоя при работе струговых установок

Искривление линии очистного забоя является одной из основных причин ухудшения технико-экономических показателей работы струговых комплексов. Исследования, проведенные Г. Р. Хигсоном показали, что при стреле прогиба линии забоя в сторону выработанного пространства 4,57 м на длине лавы 183 м предварительное натяжение цепи возрастало с 5 до 10 тс. При работе струга натяжение цепи возрастало с 12,5 до 18 тс, а реакция приводной головки (на якорной балке) – с 20 до 35 тс. В то же время при прямолинейной форме забоя уменьшалось число случаев срезания предохранительных пальцев, пиковые тяговые усилия в струговой цепи уменьшались на 18 %, 60 % тягового усилия цепи струга использовалось на полезную работу, резцам струга передавалось 65 % мощности приводов, расход электроэнергии снижался на 11,2 %, а скорость отработки очистной площади увеличивалась на 26 %.

Согласно хронометражным наблюдениям за работой агрегата СА со струговым исполнительным органом основные простои забойного конвейера были связаны с его выравниванием и устранением порывов соединительных звеньев, которые составляли 82 % всех отказов конвейера, а на их устранение затрачивалось 59 % общего времени его восстановления. При этом отказы, связанные с порывами тяговой цепи, составляли 19,1 % всех отказов струга, а на их ликвидацию затрачивалось 28,8 % общего времени простоев из-за отказов. Аналогичное влияние искривления линии очистного забоя отмечалось при испытаниях большинства струговых агрегатов, разрабатывавшихся в разных странах.

В ШахтНИУИ накоплен значительный объём данных по эксплуатации струговых установок и комплексов, который, в частности, показывает, что линия забоя в струговых лавах постоянно искривлена. При этом, в лавах с индивидуальной и механизированной комплектной крепью, кинематически не связанных с выемочной машиной, имевшиеся искривления практически не пре-

пятствовали достижению достаточно высоких показателей работы. Однако, при попытке создания струговых комплексов с агрегатированными крепями, вопрос о необходимости поддержания прямолинейной линии забоя стал одним из основных.

В работах по созданию комплексов нового технического уровня были опробованы различные технические решения по привязке комбайновых механизированных крепей агрегатированного типа к струговым установкам отрывного и скользящего типа.

Например, привязка крепи к выемочной машине осуществлялась с помощью базовой балки, состоящей из секций длиной 1,9 м, которая воспринимала усилия от передвижки секции крепи. При этом в одном варианте базовая балка не была связана с конвейером, а только прижимала его к забою при выемке угля стругом, в другом – базовая балка соединялась с конвейером гидродомкратами подачи, цилиндры которых опирались на балку, а штоки с помощью ползунов соединялись с направляющими трубами, закреплёнными на конвейере.

Результаты испытаний показали, что при имевшихся искривлениях линии забоя происходили массовые поломки проушин в замках секций базовых балок, нарушалась согласованность движения лавокомплекта крепи и струговой установки, приводившая к аварийным ситуациям.

В комплексе секции крепи подсоединялись к рештачному ставу струговой установки посредством гибкой канатной связи, воспринимавшей усилия от их передвижки. При этом подача струговой установки на забой осуществлялась гидродомкратами, которые опирались на отрезки цепи, закреплённые между секциями крепи.

В период эксплуатационных испытаний данного комплекса максимальное искривление линии очистного забоя, по результатам маркшейдерских съёмок, имело стрелу прогиба в сторону забоя величиной до 5,7 м на 100 м длины лавы. При этом отмечались неоднократные поломки соединительных элементов секций рештачного става.

В исполнении, когда струговая установка и агрегатная механизированная крепь взаимодействовали друг с другом через базовую балку, последняя воспринимала усилия от передвижки секций крепи и являлась опорой гидродомкратам подачи уста-

новки на забой. Гидродомкраты с помощью ползуна подсоединялись к направляющей трубе, закрепленной на завальной стороне конвейера, что обеспечивало свободное перемещение вдоль лавы относительно друг друга лавокомплекта крепи и струговой установки.

В период шахтных испытаний проводились маркшейдерские замеры положения линии забоя. Одновременно с ними замерялось положение базовой балки и лавокомплекта крепи относительно конвейерного става и штреков. В результате была установлена зависимость продольных смещений конвейерного става и базовой балки относительно лавокомплекта крепи от степени их искривления, что позволяло осуществлять целенаправленное перемещение лавокомплекта крепи вдоль лавы путем последовательной, «волновой» передвигки базовой балки к забою в том направлении, куда необходимо сдвинуть крепь. При этом происходило смещение вдоль лавы секций базовой балки, которое повторялось секциями крепи. Кроме этого была установлена зависимость местного ориентирования секций крепи от кривизны базовой балки на данном участке, неоднократно проводившаяся к заклиниванию между собой секций крепи.

В ходе испытаний из-за высокой аварийности комплекса, которая выражалась в потере управления в вертикальной плоскости работой струговой установки, массовых порывов соединительных элементов секций базовой балки при её искривлении, ряда других конструктивных и эксплуатационных недостатков, была изменена схема системы агрегатирования, а именно: демонтировали гидродомкраты подачи и жёстко присоединили базовую балку к подконвейерным плитам струговой установки. При этом подача выемочной машины на забой осуществлялась гидродомкратами передвигки секций крепи.

В процессе работы комплекса организационными мероприятиями старались поддерживать прямолинейность линии очистного забоя, производя периодическое выравнивание базовой балки. Однако результаты маркшейдерских съёмок показали, что данные мероприятия оказались неэффективными, и линия забоя была постоянно искривлена в пределах от 2 до 6 м прогиба на 100 м длины лавы.

В итоге, высокой аварийности комплекса устранить не удалось. При новой схеме системы агрегатирования из-за искривлений базы выемочной машины происходили массовые поломки подконвейерных плит и гидродомкратов передвижки, отмечались случаи порывов струговых и конвейерных цепей.

В состав стругового автоматизированного комплекса КСА входила струговая установка скользящего типа с исполнительным органом, автоматически регулируемым по мощности пласта, и механизированная крепь, состоящая из посадочной и забойной, передвигающейся вместе с выемочной машиной. Секции механизированной крепи, попарно связанные по посадочным частям механизмами ориентирования в комплекты, шарнирно соединялись с подконвейерными плитами струговой установки. Для дистанционного управления выравниванием комплекс был оснащён системой контроля формы фронта крепи, состоящей из датчиков измерения величины пройденного пути, которые установились на посадочной части секций через 22–24 м.

Результаты испытаний показали, что одной из основных причин высокой аварийности комплекса являлось частое искривление его базы. При этом система контроля прямолинейности фронта крепи из-за нарушения режима хранения информации в электронных блоках памяти практически не использовалась.

При искривлении базы комплекса имели место: клинение струга на нижних направляющих рештачного става; деформация направляющих труб и лемехов; поднятие, «шалашение» секций рештачного става во время подачи базы на забой, вследствие чего образовался «земник» и происходила подштыбовка конвейера; рассоединение направляющих труб рештачного става с потерей или поломкой соединительных рессор; массовый выход из строя соединительных звеньев струговой цепи и её частые порывы; разрыв гантелей конвейерного става и др.

В результате анализа проведенных испытаний комплекса КСА был сделан вывод о том, что агрегатированная с конвейером крепь требует строгого соблюдения прямолинейности базы, а строгание участками недопустимо.

Более детальные исследования влияния искривлений линий очистного забоя на работу стругового комплекса с агрегатиро-

ванной крепью проводились при эксплуатационных испытаниях комплекса, в состав которого входила струговая установка 1СО2620 и агрегатированная с ней механизированная крепь 1КС214.

Агрегатирование секций крепи, связанных в комплекты механизмами направления и устойчивости, шарнирно соединенными с базой плоскими рессорами, осуществлялось с помощью направляющих балок, которые были шарнирно соединены с одной стороны с силовыми гидродомкратами, закрепленными на основаниях секций крепи, а с другой, через кронштейны – с рештками конвейерного става установки.

Комплекс обрабатывал лаву длиной 183 м по простиранию пласта при угле падения 8–12°. За период испытаний подвигание забоя составило 94 м при среднесуточной нагрузке на лаву 105 т. Из-за неудовлетворительной работы комплекса предусмотренный объём испытаний не был выполнен.

С целью получения данных для анализа процесса искривления линии очистного забоя и его влияния на состояние оборудования, входящего в состав комплекса, периодически выполнялись по возможности более точные маркшейдерские съёмки формы забоя, одновременно с которыми проводились детальные съёмки профиля участков местных искривлений и комплексные замеры положения секций крепи, направляющих балок. Кроме этого, измерялись углы ориентирования узлов системы агрегатирования, отмечалось техническое состояние оборудования комплекса, особенно на участках искривлений, проводился ряд других замеров.

На рис. 3.3 показаны результаты маркшейдерских съёмок и комплексных замеров положения секций крепи за весь период испытаний.

Подвигание забоя при устойчивой работе комплекса составило 20–21 м. По мере движения комплекса средняя часть лавы начала отставать, появилось видимое искривление базы комплекса, сразу вызвавшее необходимость в проведении специальных мероприятий по её выравниванию и организации прямолинейной передвижки фронта лавокомплекта крепи путём визуального контроля его формы.

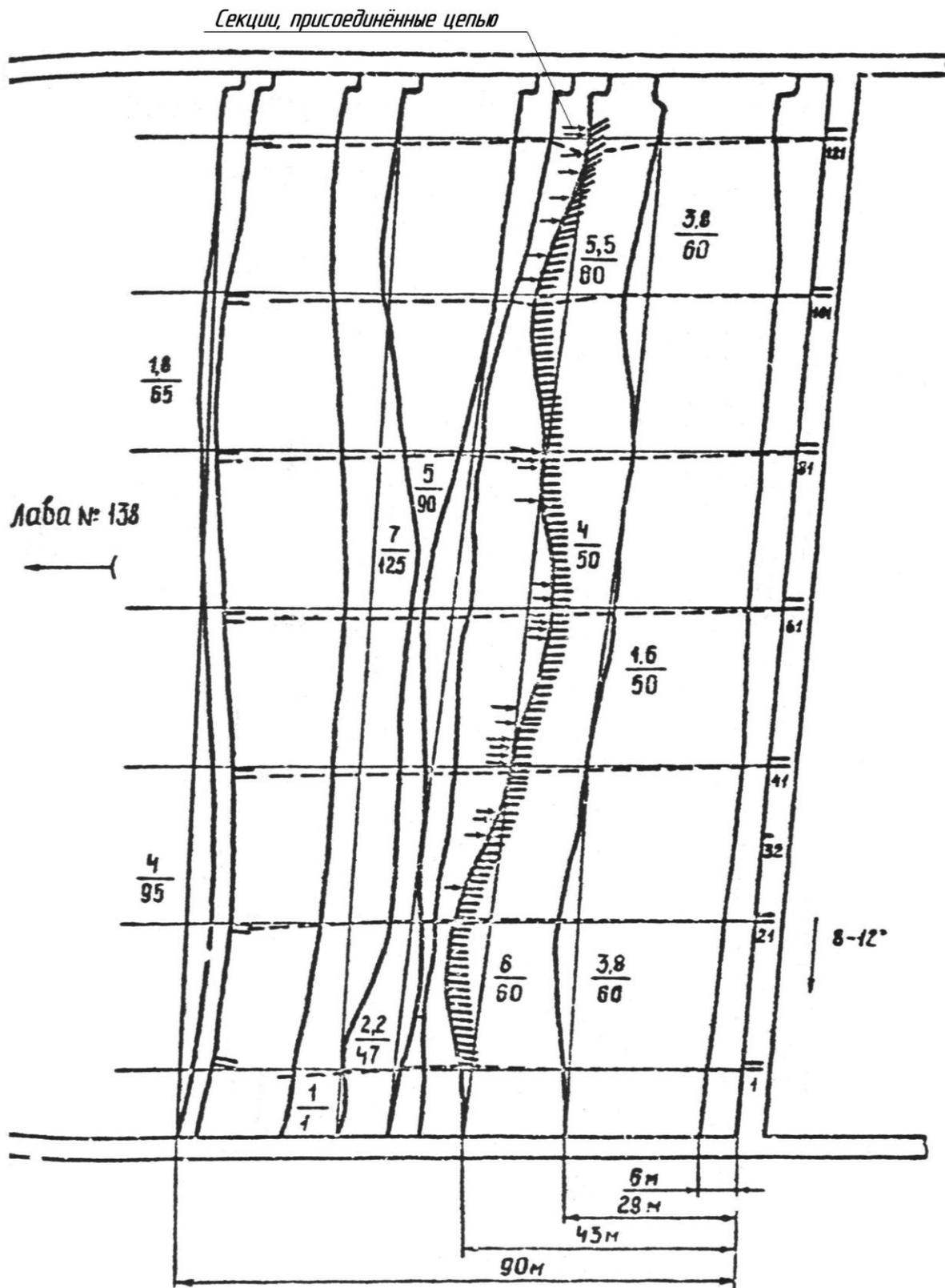


Рис. 3.3. Результаты маркшейдерских съёмок и комплексных замеров

При этом 5 рабочих смен было затрачено только на строгание отстающей средней части лавы. Однако маркшейдерская съёмка лавы (см. рис. 3.3) показала неэффективность этих мероприятий – искривление линии очистного забоя продолжало развиваться. При этом наметились три участка искривления: нижний – длиной 60 м со стрелой прогиба 3,8 м в сторону забоя; средний – длиной 50 м со стрелой прогиба 1,6 м в сторону выработанного пространства; верхний – длиной 60 м со стрелой прогиба 3,8 м в сторону забоя.

В дальнейшем подвигание забоя из-за повышения аварийности комплекса уменьшилось и составило 16–18 м. По данным маркшейдерской съёмки наметившиеся искривления трех участков прогрессировали. При сохранении длины и знака искривлений величина стрелы прогиба на этих участках составила: на нижнем – 6 м; на среднем – 4 м; на верхнем – 5,5 м.

По мере увеличения длины искривленной линии очистного забоя происходило смещение концевых участков конвейерного става в лаву, а так как нижняя концевая станция находилась на штреке и возможность её ухода в лаву была ограничена наличием бермы, то практически вся величина продольных смещений конвейерного става приходилась на верхний концевой участок с приводной станцией, расположенной в лаве.

Продольное смещение конвейерного става, а следовательно, и точек привязки секций крепи, привело к изменению положения всего лавокомплекта. Результаты комплексного замера (см. рис. 3.3) показали, что секции крепи от № 40 и выше развернулись своей передней частью вниз на угол до 30° и сместились по падению пласта. Максимальное смещение секций крепи в верхней части лавы составляло около 2 м. В нижней части лавы продольное смещение конвейера вызвало разворот секций крепи №№ 1–30 и их смещение в этом же направлении на величину до 0,5 м.

Занятое конвейерным ставом и лавокомплектом крепи положение привело к тому, что при подаче установки на забой действующие вдоль рештачного става и противоположные по знаку составляющие от усилий гидродомкратов вызвали сжатие конвейерного става на участке между секциями №№ 30–40. При этом в районе секции № 32 произошло поднятие конвейерного става, то есть «шалашение», которое проявлялось практически до само-

го конца испытаний. Для устранения этого явления от конвейера отсоединили секции крепи №№ 1–30 и с помощью гидродомкратов нижней приводной станции пытались растянуть рештачный став, то есть ликвидировать его «шалашение». Однако после присоединения секций крепи данное явление проявлялось опять, так как неизменное положение секций крепи, а следовательно, и направление действий гидродомкратов подачи повторно приводило к сжатию конвейерного става на том же участке лавы. В итоге конвейерный став занял волнообразное положение, что привело к нарушению управления струговой установкой в вертикальной плоскости. Так, в районе секций №№ 22–27 при сечка почвы достигала 600 мм, и, как показали инструментальные наблюдения, проводимые на этом участке мероприятия по управлению струговой установкой оказались неэффективными.

Кроме этого, в результате периодических комплексных замеров установлено, что по всей лаве направляющие балки, как правило, были развернуты в сторону 30–40-х секций до упора в основания крепи на максимально возможный угол величиной 5–6°. В процессе подачи установки на забой часть усилий гидродомкратов затрачивалась на преодоление сил трения балок в основаниях секций крепи, что явилось одной из причин необходимости увеличения давления в магистрали подачи с 30–40 кгс/см² до 110–130 кгс/см².

При описанных процессах происходили массовые поломки кронштейнов, соединяющих направляющие балки с рештаками конвейера. Анализ интенсивности их проявления указывает на зависимость поломок кронштейнов от степени искривления линии забоя. Так, если с начала работы комплекса за 2,5 месяца было поломано 6 кронштейнов, то, начиная с момента искривления линии забоя, за 1,5 месяца дополнительно было поломано 32 кронштейна. Часть поломанных кронштейнов заменили на новые. В остальных случаях секции крепи были присоединены к рештакам конвейера отрезками цепи (см. рис. 3.3).

Следует также отметить, что в период развития искривления линии забоя зарегистрировано 12 поломок кожухов рештачного става в местах установки соединительных элементов, 7 порывов конвейерных цепей, 6 порывов струговой цепи, ряд других поломок.

В системе агрегатирования комплекса заменили все кронштейны, связывающие направляющие балки с рештками конвейера. Новые кронштейны имели более высокую прочность и, благодаря введению дополнительного вертикального шарнира, обеспечивали несколько большую свободу взаимных перемещений конвейерного става и лавокомплекта крепи.

При этом поломки кронштейнов прекратились, однако появилась тенденция к сползанию конвейерного става и секций крепи по падению пласта, вследствие чего в нижней части лавы были демонтированы две секции крепи и один рештак конвейерного става. В целом, аварийность комплекса сохранилась до самого конца испытаний и не позволила достигнуть проектных показателей его работы. При этом линия забоя была постоянно искривлена, хотя характер и параметры искривлений несколько изменились (см. рис. 3.3).

Проведенный анализ результатов экспериментальных исследований влияния искривлений забоя на работу струговых комплексов показывает, что основными последствиями искривлений линий забоя являются:

- рост тяговых усилий в струговых и конвейерных цепях, что увеличивает износ цепей и частоту их порывов, нагрузку на приводные станции;

- рост продольных усилий в конвейерном ставе (базовой балке), который приводит к поломкам его соединительных элементов и узлов;

- продольные смещения конвейерного става относительно лавокомплекта крепи, допускаемая, то есть безаварийная, величина которых зависит от возможностей кинематической схемы системы агрегатирования комплекса, а её превышение приводит к поломкам элементов системы агрегатирования, увеличению усилий сопротивления перемещению установки на забой, нарушению проектного положения секций лавокомплекта крепи;

- нарушение проектного положения агрегатированных с конвейером секций лавокомплекта крепи в плоскости пласта, которое приводит к сжатию или растяжению рештачного става на отдельных участках, потере управляемости струговой установкой в вертикальной плоскости, заклиниванию секций крепи между собой и др.

Кроме этого, результаты экспериментальных исследований показали, что только организационными мероприятиями предотвратить искривление линии забоя не предоставляется возможным, поэтому струговой комплекс должен быть оснащён специальной системой, выполняющей функцию поддержания формы базы в пределах допускаемого искривления. Однако полученные результаты не позволили обосновать величину допускаемого искривления баз струговых комплексов с агрегатированными крепями.

3.2.2. Определение допустимого искривления струговых конвейеров при работе с агрегатированными крепями

Для определения допускаемого искривления баз струговых комплексов необходимо рассмотреть механизм физического взаимодействия сил и связей, действующих в системе. Сама механическая система базы представляет собой разрезную балку в виде рештаков, соединённых стяжными болтами, обеспечивающих ограниченный изгиб балки в плоскости пласта. В направляющих рештачного става базы располагаются, как правило, шесть ветвей цепей (струговых и конвейерных, прямых и обратных). На базу в плоскости пласта действуют распределённые силы и нагрузки: давление со стороны прижимающих гидродомкратов; сопротивление перемещению конвейерного става на забой; усилия предварительного натяжения цепных контуров (если таковые имеются); силы действующие со стороны забоя на исполнительный орган в процессе резания угля; нагрузки от секций крепи при их передвижке и др.

Расчётную схему для определения предельных искривлений базы стругового комплекса целесообразно выбрать применительно к установке с приводными станциями, размещёнными на штреках, так как такой случай является наиболее тяжёлым при нагружении базы и, кроме того, позволяет первоначально не учитывать возникающие при искривлениях перемещения рештачного става базы вдоль лавы, а следовательно, и относительно лавокомплекта крепи. Кроме этого, в расчётной схеме целесообразно

не рассматривать влияние угла падения пласта, искривлений рештачного става в вертикальной плоскости, других возмущающих факторов, что позволит значительно упростить расчёты и получить количественную оценку основных критериев ограничения только в зависимости их от параметров искривления базы в плоскости пласта.

Учитывая проведённый анализ результатов экспериментальных исследований влияния искривлений на работу струговых комплексов, за основные критерии ограничения искривлений базы принимаются:

– параметры предельного изгиба рештачного става струговой установки, при котором полностью раскрываются межсекционные стыки и происходит нагружение соединительных элементов;

– величина предельного тягового усилия в цепи струга на искривленной трассе, выше которой не обеспечивается установленная мощность двигателей привода;

– величина предельной деформации цепного контура при искривлении базы, выше которой не обеспечивается требуемый запас прочности цепи.

Расчётные схемы для определения параметров предельного искривления рештачного става представлены на рис. 3.4. Исходными данными для расчёта являются: длина струговой установки L_c ; габаритные размеры секций конвейерного става (рештака) – длина l_p и ширина b_p ; максимальный угол раскрытия стыка между рештаками φ_{\max} . Указанные данные принимаются по технической документации на струговую установку.

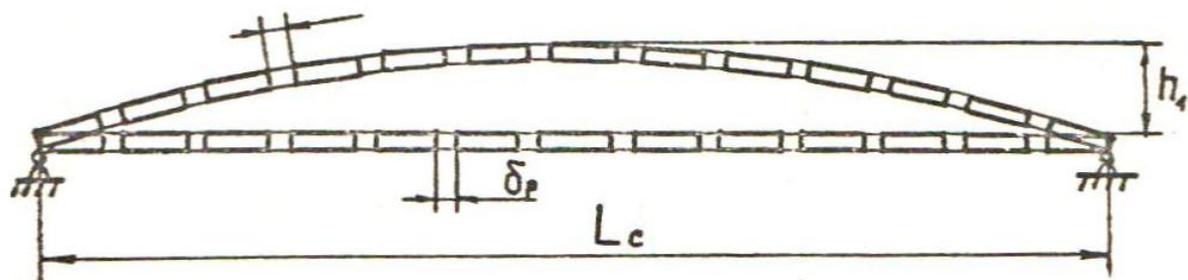
Предельное искривление рештачного става в виде одной дуги показано на рис. 3.4, а. При этом

$$L_c = n(l_p + \delta_p) \text{ и } S_c = n(l_p + \delta_{\max}),$$

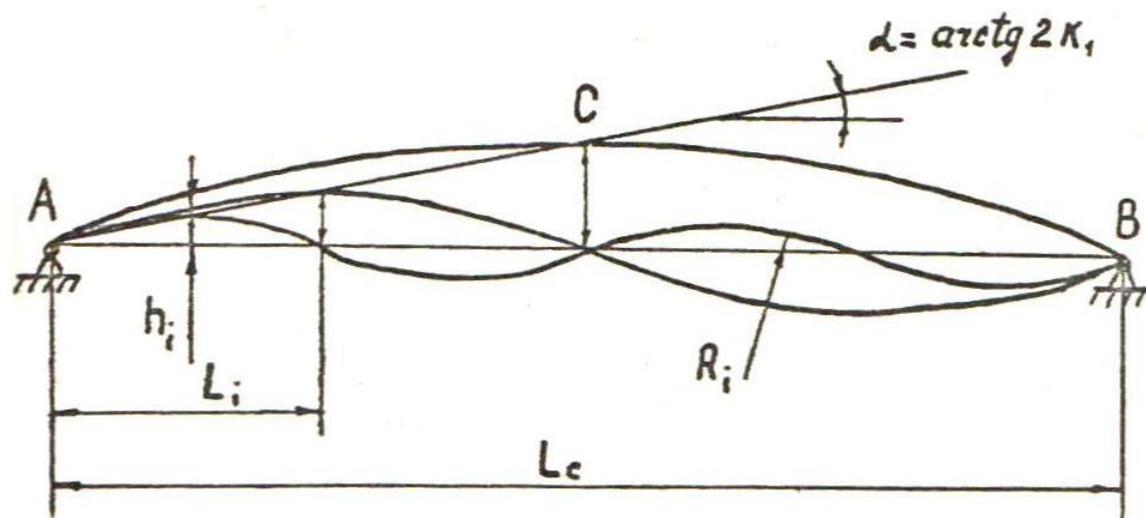
где S_c – длина струговой установки при предельном искривлении;
 n – количество рештаков струговой установки;

δ_{\max} – величина максимального раскрытия стыка между рештаками;

δ_p – средняя величина зазора между соседними рештаками в прямолинейной лаве.



а) предельное искривление в виде одной дуги



б) предельное искривление синусоидального характера

Рис. 3.4. Расчётные схемы для определения параметров предельных искривлений решетчатого става, равномерно распределённых по всей длине лавы

Предельное относительное удлинение решетчатого става струговой установки может быть определено из выражения

$$\varepsilon = \frac{S_c - L_c}{L_c} = \frac{\delta_{\max} - \delta_p}{l_p + \delta_p}. \quad (3.1)$$

Анализ этого выражения показывает, что предельное относительное удлинение решетчатого става зависит только от конструктивных параметров струговой установки и $\varepsilon = \text{const}$ на любой длине хорды искривленного участка при условии равномерного раскрытия межсекционных стыков и выполнения требований расчётной схемы к заземлению концов рассматриваемой разрезной балки.

Длину струговой установки при предельном искривлении определяем по формуле

$$S_c = \sqrt{\frac{16}{3} h_1^2 + L_c^2},$$

где h_1 – предельная величина стрелы прогиба рештачного става при искривлении в виде одной дуги по всей длине лавы.

Соотношение основных параметров равномерного предельного искривления рештачного става будет равно

$$\frac{h_1}{L_c} = \frac{\sqrt{3\varepsilon(\varepsilon + 2)}}{4} = \text{const}, \quad (3.2)$$

откуда

$$h_1 = k_1 L_c,$$

где k_1 – коэффициент предельного равномерного по всей длине лавы искривления рештачного става, при котором межсекционные стыки полностью раскрыты.

Из выражений (3.1) и (3.2) получаем, что

$$k_1 = \frac{\sqrt{3[(l_p + \delta_{\max})^2 - (l_p + \delta_p)^2]}}{4(l_p + \delta_p)}. \quad (3.3)$$

При равномерном раскрытии межсекционных стыков искривление по длине лавы может принимать синусоидальный характер с количеством полуволн m и при этом для любого предельного состояния параметры i -й дуги (полуволны) будут связаны зависимостью

$$h_i = k_1 L_i. \quad (3.4)$$

Геометрический смысл полученной зависимости проиллюстрирован на рис. 3.4, б. так, если из точки A провести прямую под углом $\alpha = \arctg 2k_1$, к AB , то соотношение основных параметров любой дуги, хорда которой лежит на линии AB , а вершина на прямой AC , из подобия получаемых треугольников, будет равно

$$\frac{h_1}{L_c} = \frac{h_i}{L_i} = k_1, \text{ а } \frac{h_1}{h_i} = \frac{L_c}{L_i} = m.$$

Общая длина предельно искривленной по синусоиде разрезной балки определяется по выражению

$$S_c = m \sqrt{\frac{16}{3} \left(\frac{h_1}{m}\right)^2 + \left(\frac{L_c}{m}\right)^2} = \sqrt{\frac{16}{3} h_1 + L_c^2},$$

то есть предельная длина любого синусоидального искривления постоянна и равна S_c , а параметры дуги полуволны связаны зависимостью (3.4).

С увеличением количества полуволн уменьшается радиус искривления i -го участка и возрастает угол раскрытия стыков между решетками до максимальной величины φ_{\max} , при которой наступает предельный синусоидальный изгиб решетчатого става. Целесообразно определить минимальную длину L_{\min}^p , на которой при синусоидальном изгибе полностью раскроются межсекционные стыки и радиус искривления R_i достигнет предельной для решетчатого става величины $R_{\text{пр}}$.

Используя известное выражение

$$R_i = \frac{L_i^2 + 4h_i^2}{8h_i}$$

и учитывая зависимость (3.4), получим

$$L_i = \frac{8k_1}{1 + 4k_1^2} R_i.$$

При $R_i = R_{\text{пр}}$

$$L_{\min}^p = \frac{8k_1}{1 + 4k_1^2} R_{\text{пр}}. \quad (3.5)$$

Величина радиуса предельного изгиба решетчатого става может быть определена из выражения

$$R_{\text{пр}} = \frac{(l_p + \delta_p) b_p}{\delta_{\max} - \delta_p}. \quad (3.6)$$

При синусоидальном искривлении решетчатого става с длиной полуволны $L_i < L_{\min}^p$ зависимость (3.4) перестает выполняться, а максимальная величина стрелы прогиба на участке такой полуволны будет определяться из выражения

$$h_i = R_{\text{пр}} - \sqrt{R_{\text{пр}}^2 - \frac{L_i^2}{4}}. \quad (3.7)$$

Так как на практике равномерный синусоидальный изгиб по всей длине лавы решетчатого става струговой установки маловероятен, целесообразно установить закономерность его предельного искривления на одном участке в целом прямолинейной лавы. Тогда все действительно возможные случаи предельных искривлений будут находиться между двумя этими ограничениями.

Расчётная схема для определения основных параметров предельного искривления одного участка решетчатого става показана на рис. 3.5.

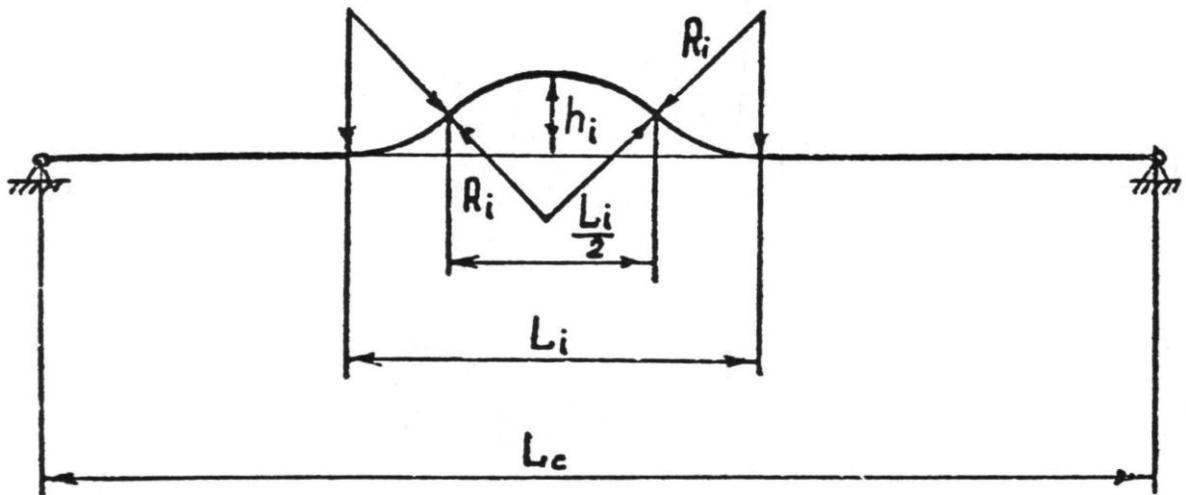


Рис. 3.5. Расчётная схема для определения параметров предельного искривления решетчатого става на одном участке в целом прямолинейной лавы

Очевидно, что

$$S_c = S_i + L_c - L_i$$

или

$$n(l_p + \delta_{\max}) = \sqrt{\frac{16}{3} h_i^2 + L_i^2} + n(l_p + \delta_p) - L_i,$$

откуда, выполнив преобразование, получаем

$$h_i = \sqrt{\frac{3}{16} n(\delta_{\max} - \delta_p) [(\delta_{\max} - \delta_p) + 2L_i]}. \quad (3.8)$$

По аналогии с вышеописанным действие полученной зависимости на определенной длине лавы также ограничивается при достижении предельного радиуса искривления решетчатого става.

В этом случае при данной расчётной схеме будет действовать следующая зависимость:

$$h_i = 2R_{\text{пр}} - \sqrt{4R_{\text{пр}}^2 - \frac{L_i^2}{4}}. \quad (3.9)$$

Таким образом, все возможные случаи предельных искривлений попадают в зону, ограниченную с одной стороны зависимостями (3.4) и (3.7) при равномерном искривлении по всей длине лавы, а с другой – зависимостями (3.8) и (3.9) при одиночных предельных искривлениях.

Расчёты, выполненные для струговых конвейеров с $l_p = 1,5$ м; $b_p = 0,642$ м; $\delta_{\text{max}} = 0,034$ м; $\delta_p = 0,2\delta_{\text{max}}$ для $L_c=200$ м и $n = 133$, позволили получить следующие уравнения зависимости величины стрелы прогиба рештачного става, от длины участка предельного искривления:

- для выражения (3.4) $h = 0,083L$;
- для выражения (3.7) $h = 3,6 \cdot 10^{-3} L^2$;
- для выражения (3.8) $h = 1,16\sqrt{L}$;
- для выражения (3.9) $h = 1,8 \cdot 10^{-3} L^2$.

На рис. 3.6 приведены графики полученных уравнений, которые ограничивают зону предельных величин стрелы прогиба рештачного става в плоскости пласта, при которых происходит нагружение межсекционных соединительных элементов, не обладающих достаточной прочностью для восприятия нагрузок от действия гидродомкратов подачи.

Определение основных параметров предельных искривлений рештачного става, выше которых из-за увеличения тягового усилия в цепях на искривленной трассе не обеспечивается установленная мощность двигателей приводов целесообразно проводить только по струговому цепному контуру, работающему в более тяжёлом силовом режиме.

Основное условие ограничения предельного изгиба рештачного става по данному критерию можно выразить следующей зависимостью:

$$k_{\text{и}} F_{\text{т}} \leq \frac{9550 N_{\text{дв}} i \eta_{\text{м}}}{k R n_{\text{н}}}, \quad (3.10)$$

где $k_{\text{и}}$ – коэффициент сопротивления искривленной трассы;

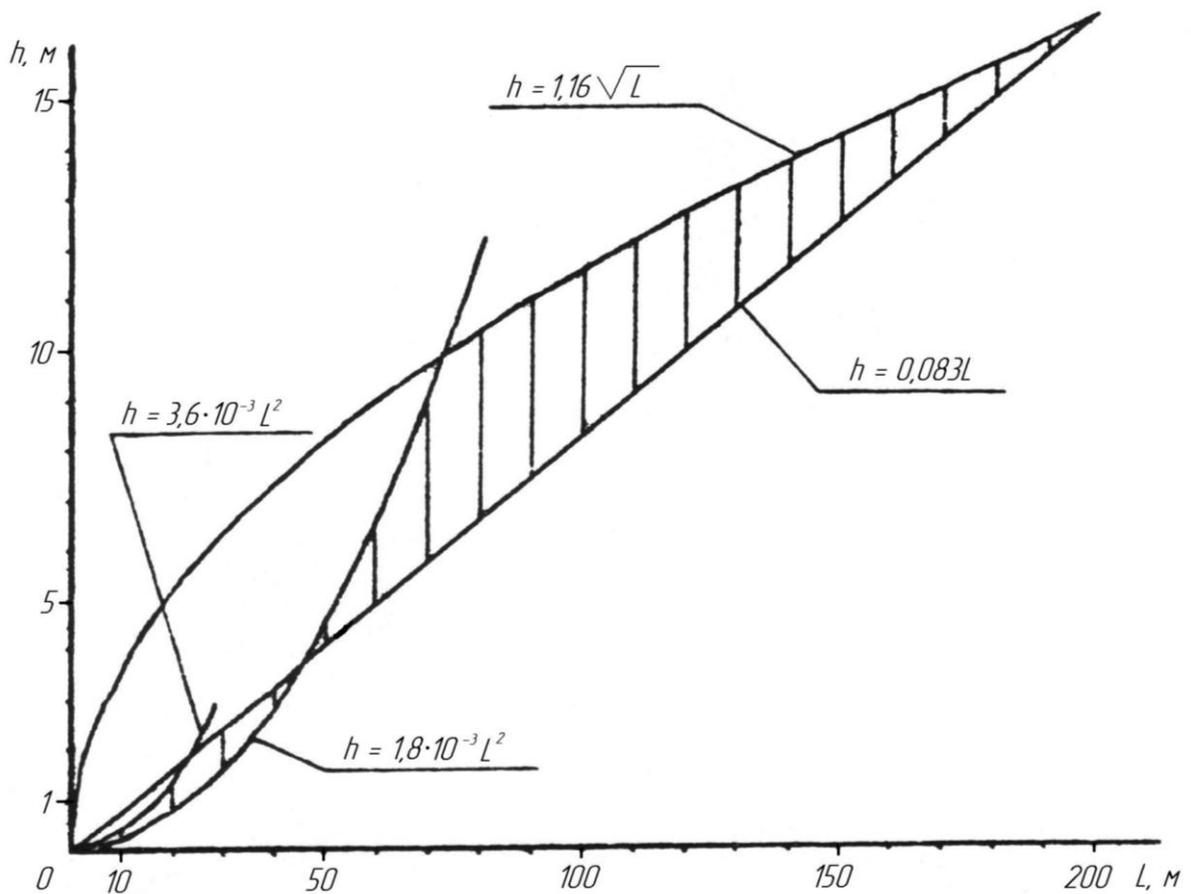


Рис. 3.6. Зависимость предельной величины стрелы прогиба решетчатого става в плоскости пласта от длины участка искривления, на котором происходит полное раскрытие межсекционных стыков, при $L_c = 200$ м; $n = 133$; $l_p = 1,5$ м; $b_p = 0,642$ м; $\delta_{\max} = 0,034$ м; $\delta_p = 6,8 \cdot 10^{-3}$ м

F_T – среднее тяговое усилие в цепи струга;

$N_{\text{дв}}$ – суммарная мощность двигателей струговой установки;

i – передаточное число привода струга;

η_m – коэффициент полезного действия механической передачи привода;

k – коэффициент влияния средней скорости движения струга на тяговое усилие в его цепи;

R – радиус начальной окружности звёздочки привода;

n_n – частота вращения электродвигателя привода.

Значения параметров $N_{\text{дв.}}$, i , R , n_n принимаются по технической документации на струговую установку. Определение значений параметров $F_{\text{тр}}$, η_m , k проводится в соответствии с существующей методикой. При этом

$$F_T = k_v (P_z + P_{\text{п}} + T + F_{\text{ц}}),$$

где k_v – коэффициент влияния средней скорости струга;

P_z – средняя результирующая сил резания;

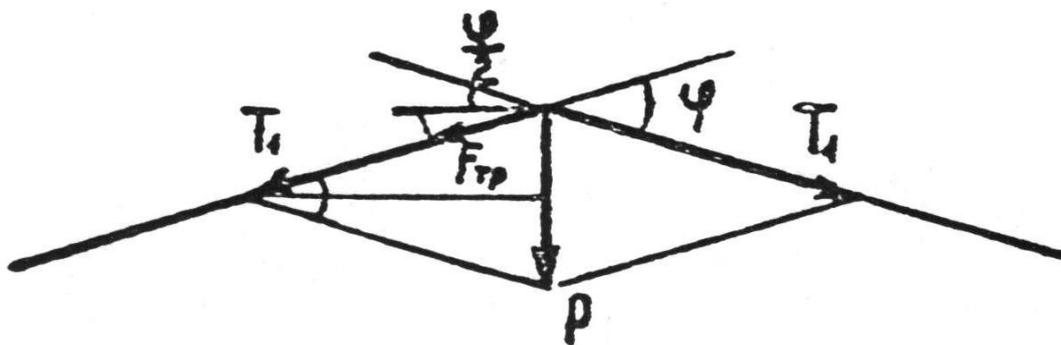
P_{Π} – результирующая сил погрузки;

T – сила трения в опорах струга;

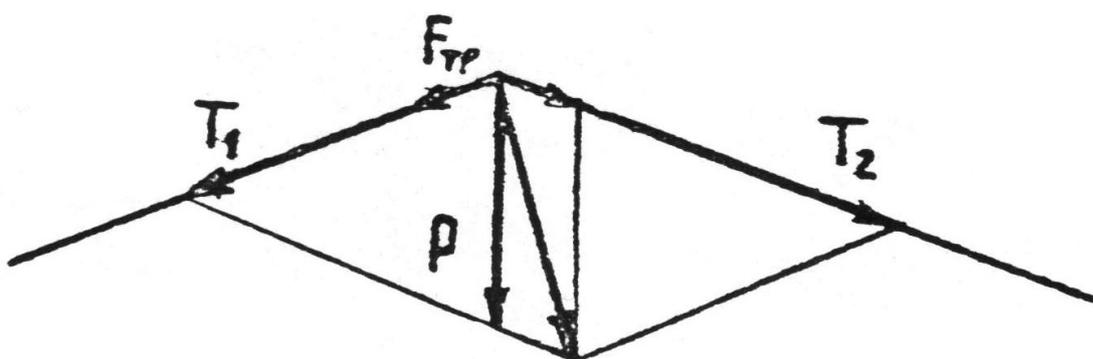
F_{Π} – усилие протягивания цепи в прямолинейной лаве.

Расчётная схема для определения коэффициента сопротивления искривленной трассы k_{Π} показана на рис. 3.7. При этом представляется целесообразным определить величину сопротивления движению цепи на одном стыке, а затем установить закономерность для всего участка искривления.

На рис. 3.7, а показана расчётная схема для определения величины трения покоя $F_{\text{тр}}$ на одном стыке при натяжении цепи силой T_1 , выше которой начинается движение, и величине угла раскрытия стыка между решетками φ .



а) перед началом движения цепи



б) при движении цепи

Рис. 3.7. Расчётная схема для определения сопротивления искривленной трассы на одном стыке решетчатого става

Прижимающая сила цепи равна

$$P = 2T_1 \sin \frac{\varphi}{2}.$$

Эта сила определяет величину трения

$$F_{\text{тр}} = \frac{P}{\cos \frac{\varphi}{2}} \mu = 2T_1 \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \mu,$$

где μ – коэффициент трения цепи о направляющие.

При движении цепи на этом стыке (см. рис. 3.7, б) очевидно, что на сбегающей ветви цепи сила T_2 должна быть равна

$$T_2 = T_1 + F_{\text{тр}} = T_1 + 2T_1 \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \mu = T_1 \left(1 + 2 \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \mu \right).$$

Так как для малых углов справедливо, что

$$2 \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \approx \varphi, \text{ рад},$$

получаем

$$T_2 = (1 + \varphi \mu) T_1.$$

Сопротивление движению цепи на n стыках будет определяться как

$$T = (1 + \varphi \mu)^n T_1.$$

Таким образом коэффициент сопротивления искривленной трассы определяется выражением

$$k_{\text{и}} = (1 + \varphi \mu)^n \quad (3.11)$$

Исходя из необходимости выполнения условия (3.10) равномерное по всей длине лавы предельное искривление по данному критерию будет при

$$k_{\text{и}}^{\text{пр}} = (1 + \varphi_{\text{пр}} \mu)^n,$$

откуда предельная величина угла раскрытия стыка

$$\varphi_{\text{пр}} = \frac{1}{\mu} \left(\sqrt[n]{k_{\text{и}}^{\text{пр}}} - 1 \right), \text{ рад}. \quad (3.12)$$

При синусоидальном искривлении с количеством полувольт m

$$\varphi_{\text{пр}} = \frac{1}{\mu} \left[\sqrt[m]{\left(k_{\text{и}}^{\text{пр}}\right)^m} - 1 \right] = \frac{1}{\mu} \left(\sqrt[m]{k_{\text{и}}^{\text{пр}}} - 1 \right),$$

то есть $\varphi_{\text{пр}}$ не зависит от вида синусоиды.

Длина равномерно искривленной струговой установки не может превышать величину S_c , которая в данном случае равна

$$S_c = \gamma R_c, \quad (3.13)$$

где γ – общий центральный угол дуги искривления;

R_c – предельный по данному критерию радиус равномерного искривления рештачного става.

Учитывая, что

$$S_c = n(l_p + \delta_{\text{max}}),$$

$$\gamma = n\varphi_{\text{пр}},$$

$$R_c = \frac{L_i^2 + 4h_i^2}{8h_i},$$

совершив подстановку соответствующих выражений в формулу (3.13) и выполнив необходимые преобразования, получим:

$$h_i = \frac{l_p + \delta_{\text{max}}}{\varphi_{\text{пр}}} - \sqrt{\left(\frac{l_p + \delta_{\text{max}}}{\varphi_{\text{пр}}} \right)^2 - \frac{L_i^2}{4}}.$$

С учётом выражения (3.12) зависимость предельной величины стрелы прогиба от соответствующей длины участка равномерного искривления по данному критерию будет определяться следующим выражением:

$$h_i = \frac{\mu(l_p + \delta_{\text{max}})}{\sqrt[m]{k_{\text{и}}^{\text{пр}}}} - \sqrt{\left[\frac{\mu(l_p + \delta_{\text{max}})}{\sqrt[m]{k_{\text{и}}^{\text{пр}}} - 1} \right]^2 - \frac{L_i^2}{4}}. \quad (3.14)$$

При равномерном искривлении рештачного става на определенной длине лавы зависимость (3.14) перестает действовать и максимальная величина стрелы прогиба в этом случае будет определяться по формуле (3.7).

При определении основных параметров предельных искривлений на одном участке в целом прямолинейной лавы воспользуется тем, что для малых углов φ с ошибкой менее одного процента

$$k_{\text{и}} = (1 + \varphi\mu)^n \approx e^{\mu n\varphi}.$$

Тогда для одного участка предельного искривления (см. рис. 3.5) справедливы следующие выражения:

$$\frac{S_i}{R_i} = \gamma_i = \frac{1}{\mu} \ln k_{\text{и}}^{\text{пр}}$$

или

$$\frac{\sqrt{\frac{16}{3}h_i^2 + L_i^2} \cdot 16h_i}{4h_i^2 + L_i^2} = \frac{1}{\mu} \ln k_{\text{и}}^{\text{пр}},$$

откуда, выполнив преобразования, получаем

$$h_i = \frac{\ln k_{\text{и}}^{\text{пр}}}{2\sqrt{64\mu^2 - \ln^2 k_{\text{и}}^{\text{пр}}}} \cdot L_i. \quad (3.15)$$

Полученная зависимость на определенной длине лавы заменяется зависимостью (3.9).

Таким образом, все возможные случаи предельных искривлений рештачного става по критерию обеспечения установленной мощности двигателей привода струговой установки попадают в зону, ограниченную с одной стороны зависимостями (3.14) и (3.7) при равномерном искривлении по всей длине лавы, а с другой – зависимостями (3.15) и (3.9) при одиночных предельных искривлениях.

Расчёты, выполненные для струговой установки скользящего типа при $L_c = 200$ м; $n = 133$; $l_p = 1,5$ м; $b_p = 0,642$ м; $\delta_{\text{max}} = 0,034$ м; $\delta_p = 6,8 \cdot 10^{-3}$ м; $N_{\text{дв}} = 220$ кВт; $i = 17,5-32,8$; $\eta_m = 0,82$; $k = 1,07$; $R = 0,17$ м; $n_n = 1475$ об/мин; $F_T = 81-107$ кН, показали, что величина $k_{\text{и}}^{\text{пр}} = 1,4-1,9$.

При $k_{\text{и}}^{\text{пр}} = 1,4$ уравнения зависимости величины стрелы прогиба рештачного става от длины участка предельного искривления по условию обеспечения установленной мощности двигателей привода имеют следующий вид:

для выражения (3.14) $h = 8,5 \cdot 10^{-4} L^2$;
 для выражения (3.7) $h = 3,6 \cdot 10^{-3} L^2$;
 для выражения (3.15) $h = 0,085L$;
 для выражения (3.9) $h = 1,8 \cdot 10^{-3} L^2$.

Графики полученных уравнений показаны на рис. 3.8. Следует отметить, что при равномерном предельном искривлении зависимость (3.7) не ограничивает действия выражения (3.14).

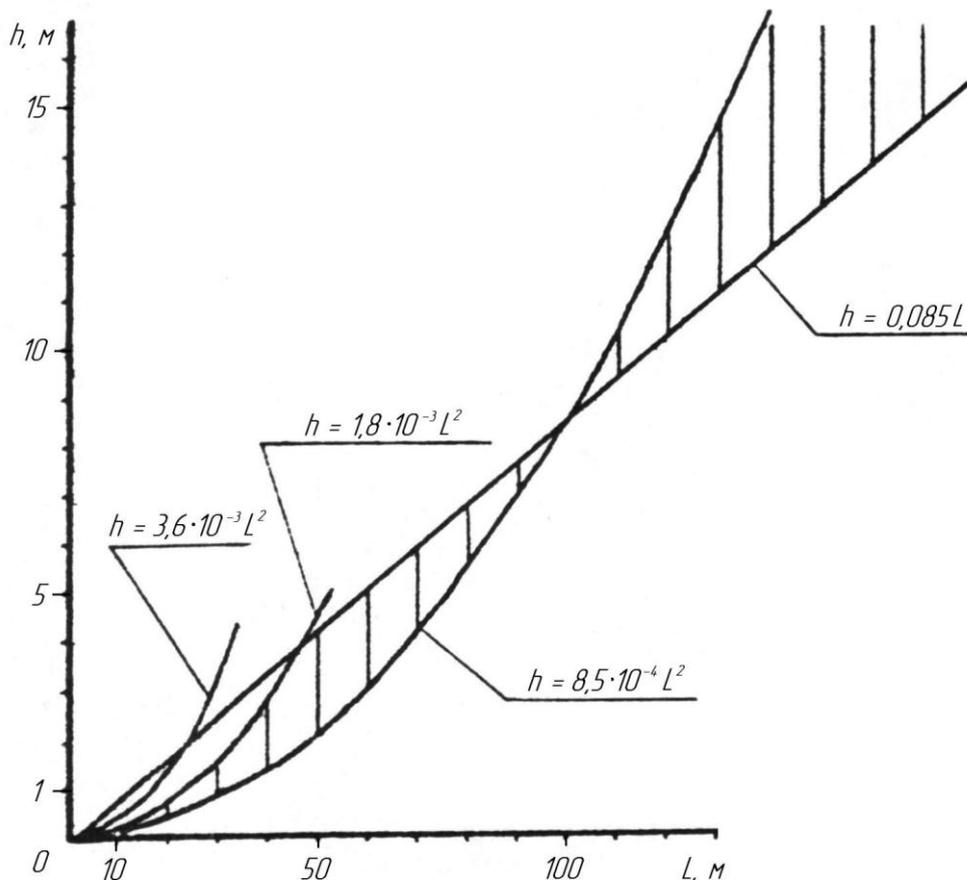


Рис. 3.8. Зависимость предельной величины стрелы прогиба решетчатого става в плоскости пласта от длины участка искривления, на котором обеспечивается установленная мощность двигателей приводов при $L_c = 200$ м; $n = 133$; $\delta_{\max} = 0,034$ м; $\delta_p = 6,8 \cdot 10^{-3}$ м; $l_p = 1,5$ м; $b_p = 0,642$ м; $N_{\text{дв}} = 220$ кВт; $k_{\text{и}}^{\text{нр}} = 1,4$

Основное условие ограничения предельной деформации стругового цепного контура, выше которой не обеспечивается требуемый запас прочности цепи, можно выразить следующим уравнением

$$N + k_{\text{и}} F_{\text{T}} + F_{\text{п}} \leq \frac{Q}{k_3}, \quad (3.16)$$

где N – усилие натяжения цепи от её линейной деформации;

$F_{\text{п}}$ – усилие предварительного натяжения цепного контура;

Q – разрывное усилие цепи;

k_3 – коэффициент запаса прочности цепи (принимается $k_3 = 2$).

Зависимость величины усилия натяжения цепи от её линейной деформации определяется известным выражением

$$N = c_0 \varepsilon, \quad (3.17)$$

где c_0 – жесткость цепи;

ε – относительное удлинение цепи.

Решая совместно уравнения (3.16) и (3.17), получим, что для предельного искривления

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \frac{1}{c_0} \left(\frac{Q}{k_3} - k_{\text{и}}^{\text{пр}} F_{\text{т}} - F_{\text{п}} \right). \quad (3.18)$$

При равномерном по всей длине лавы, предельном по данному критерию искривлении зависимость между основными параметрами имеет вид:

$$h_i = k_2 L_i, \quad (3.19)$$

где

$$k_2 = \frac{\sqrt{3\varepsilon_{\text{пр}}(\varepsilon_{\text{пр}} + 2)}}{4}. \quad (3.20)$$

Решая совместно уравнения (3.18), (3.19) и (3.20), получим, что зависимость предельной величины стрелы прогиба от соответствующей длины участка при равномерном искривлении по данному критерию имеет вид:

$$h_i = 0,25 \sqrt{\frac{3}{c_0} \left(\frac{Q}{k_3} - k_{\text{и}}^{\text{пр}} F_{\text{т}} - F_{\text{п}} \right) \left[\frac{1}{c_0} \left(\frac{Q}{k_3} - k_{\text{и}}^{\text{пр}} F_{\text{т}} - F_{\text{п}} \right) + 2 \right]} \cdot L_i. \quad (3.21)$$

Аналогично расчетам, проведенным по другим критериям, зависимость (3.21) на определенной длине лавы заменяется зависимостью (3.7).

При определении основных параметров предельного искривления на одном участке лавы по расчётной схеме, представленной на рис. 3.5, воспользуемся тем, что предельное абсолютное удлинение любого искривлённого участка ΔS_i не должно превы-

шать предельное абсолютное удлинение цепи по всей длине лавы, то есть должно выполняться следующее условие:

$$\Delta S_i = \varepsilon_{\text{пр}} L_c \quad (3.22)$$

или

$$\sqrt{\frac{16}{3} h_i^2 + L_i^2} - L_i = \varepsilon_{\text{пр}} L_c,$$

откуда получаем, что

$$h_i = \sqrt{\frac{3}{16} \varepsilon_{\text{пр}} L_c (\varepsilon_{\text{пр}} L_c + 2L_i)}.$$

Подставив в данное выражение значение $\varepsilon_{\text{пр}}$ из формулы (3.18), получим, что зависимость предельной по рассматриваемому критерию величины стрелы прогиба на одном участке искривления от его длины имеет вид:

$$h_i = 0,25 \sqrt{\frac{3}{c_0} \left(\frac{Q}{k_3} - k_{\text{и}}^{\text{пр}} F_{\text{Т}} - F_{\text{п}} \right) L_c \left[\frac{1}{c_0} \left(\frac{Q}{k_3} - k_{\text{и}}^{\text{пр}} F_{\text{Т}} - F_{\text{п}} \right) L_c + 2L_i \right]}. \quad (3.23)$$

На определенной длине лавы действие зависимости (3.23) также заменяется зависимостью (3.9).

Аналогично, все возможные случаи предельных по данному критерию искривлений попадают в зону, ограниченную с одной стороны зависимостями (3.21) и (3.7) при равномерном искривлении по всей длине лавы, а с другой – зависимостями (3.23) и (3.9) при одиночных предельных искривлениях.

Расчёты, выполненные для струговой цепи калибра 29×92Д с $Q = 1000$ кН и $c_0 = 5,1 \cdot 10^4$ кН при $L_c = 200$ м; $l_p = 1,5$ м; $b_p = 0,642$ м; $\delta_{\text{max}} = 0,034$ м; $\delta_p = 6,8 \cdot 10^{-3}$ м; $k_{\text{и}}^{\text{пр}} F_{\text{Т}} = 150$ кН; $F_{\text{п}} = 50$ кН, позволили получить следующие уравнения:

для выражения (3.21) $h = 0,047L$;

для выражения (3.7) $h = 3,6 \cdot 10^{-3} L^2$;

для выражения (3.23) $h = 0,66 \sqrt{L}$;

для выражения (3.9) $h = 1,8 \cdot 10^{-3} L^2$.

Графики полученных уравнений показаны на рис. 3.9.

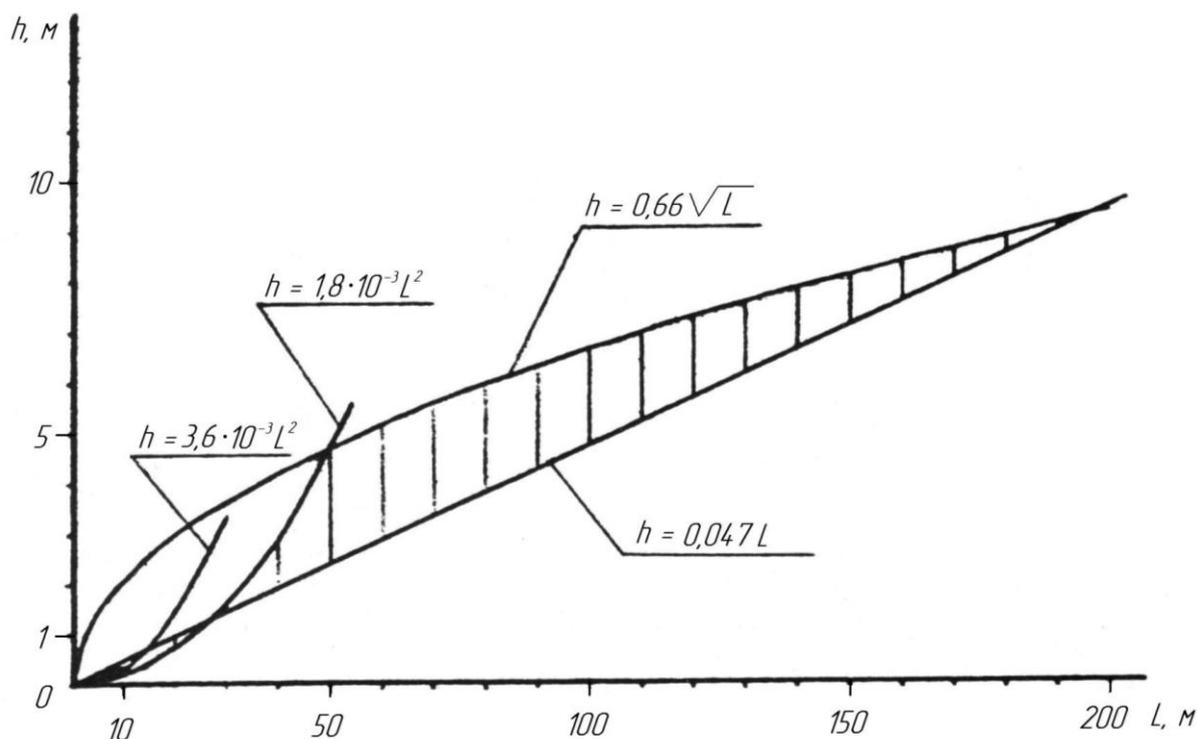


Рис. 3.9. Зависимость предельной величины стрелы прогиба решетчатого става в плоскости пласта от длины участка искривления, выше которой не обеспечивается требуемый запас прочности цепи из-за её линейной деформации при $Q = 1000$ кН; $c_0 = 5,1 \cdot 10^4$ кН; $L_c = 200$ м; $l_p = 1,5$ м; $b_p = 0,642$ м; $\delta_{\max} = 0,034$ м; $\delta_p = 6,8 \cdot 10^{-3}$ м; $k_{\text{н}}^{\text{пр}} F_T = 150$ кН; $F_{\text{н}} = 50$ кН

На рис. 3.10 совмещены все полученные зоны предельной формы базы струговой установки длиной 200 м в плоскости пласта по принятым критериям ограничения искривлений, а именно: 1 – по предельному конструктивному изгибу решетчатого става; 2 – по предельному искривлению, выше которого из-за увеличения тягового усилия в цепях на искривленной трассе не обеспечивается установленная мощность двигателей привода; 3 – по предельному искривлению, выше которого из-за линейной деформации не обеспечивается требуемый запас прочности цепи. При этом каждая зона ограничена зависимостями, полученными для: а – предельного состояния при равномерном синусоидальном искривлении решетчатого става; б – предельного искривления одного участка базы. По каждой зоне получены уравнения средних линий: 1в, 2в, 3в.

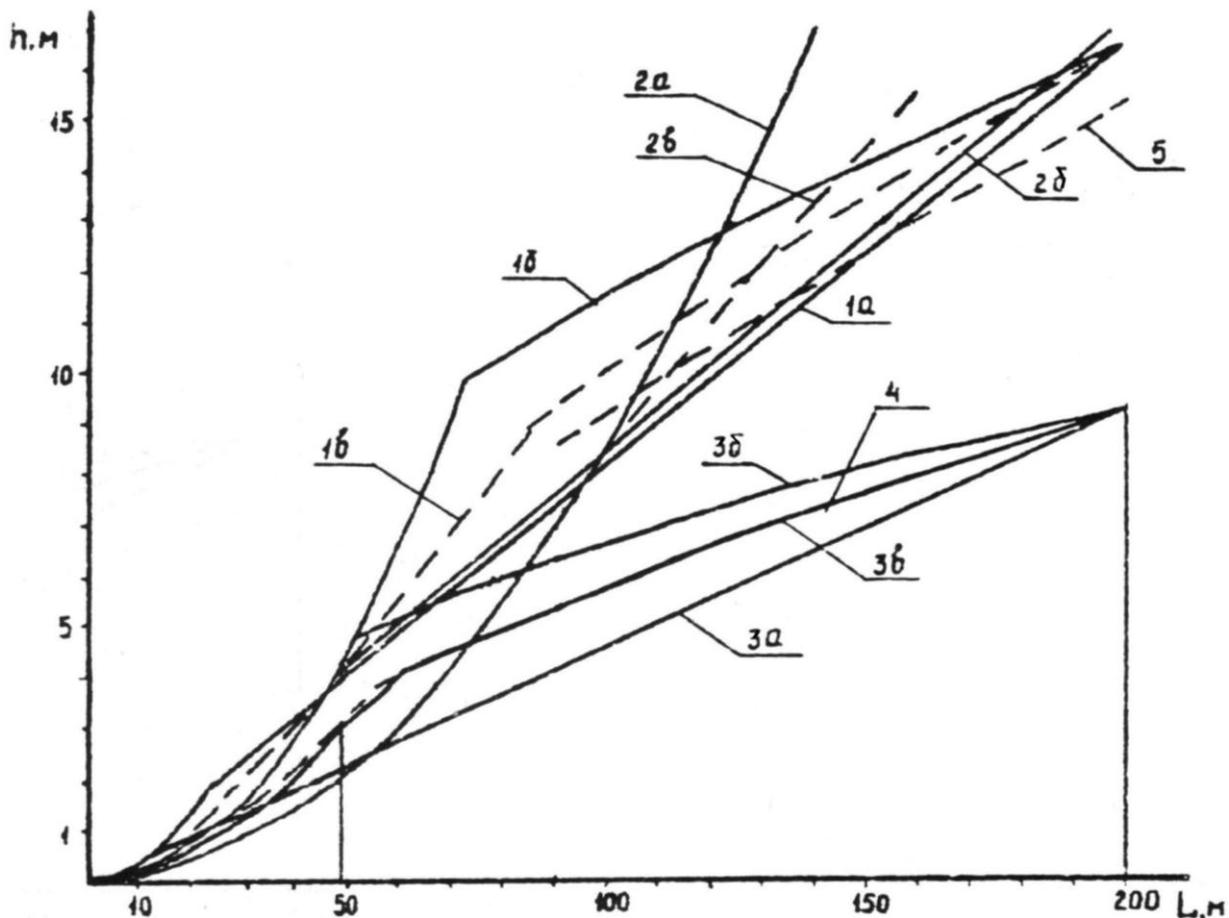


Рис. 3.10. Зависимость предельной величины стрелы прогиба базы струговой установки длиной 200 м от величины участка искривления:
 1 – по предельному изгибу решетчатого става; 2 – по предельному сопротивлению искривлённой трассы; 3 – по предельной деформации цепей при: а – равномерном синусоидальном искривлении, б – искривлении только на одном участке;
 4 – предельно допустимое искривление решетчатого става; 5 – средняя предельная величина прогиба по предельной деформации цепи при $k_3 = 1$

Анализ полученного графического отображения предельных состояний струговой установки показывает, что на длине участка лавы от 0 до 60 м ограничение величины прогиба следует вести по критерию предельного сопротивления искривлённой трассы, а на участке свыше 60 м – по критерию предельной деформации цепей при искривлениях, имея в виду, что последний критерий рассчитан при условии обеспечения требуемой величины коэффициента запаса прочности, то есть для $k_3 = 2$. На рис. 3.10 показана средняя линия 5 по данному критерию, рассчитанная для $k_3 = 1$.

Таким образом, зависимость предельно допускаемой величины стрелы прогиба от длины искривлённого участка лавы можно

выразить на участке от 0 до 60 м уравнением средней линии зоны ограничения по предельному сопротивлению искривлённой трассы, а на участке длиной свыше 60 м – уравнением средней линии (ниже зоны предельного конструктивного изгиба рештачного става) зоны обеспечения требуемого запаса прочности цепей при их линейной деформации.

Общее уравнение линии предельного допускаемого искривления 4 (см. рис. 3.10) базы струговой установки длиной 200 м описывается следующими выражениями:

на участке лавы длиной от 0 до 47 м –

$$h = 1,3 \cdot 10^{-3} L^2;$$

на участке лавы длиной от 47 до 60 м –

$$h = 4,25 \cdot 10^{-2} L(0,01L + 1);$$

на участке лавы длиной свыше 60 м –

$$h = 2,35 \cdot 10^{-2} L + 0,33\sqrt{L}.$$

Полученное уравнение линии предельно допустимого искривления базы струговой установки хорошо согласуется с результатами статистической обработки массовых измерений параметров искривления линии забоя в струговых лавах, которые показали, что на практике максимальная стрела прогиба в действующих лавах длиной 200 м может колебаться от 9 м в сторону забоя до 13 м в сторону выработанного пространства.

По изложенной методике с сохранением величин всех входящих параметров был проведен расчёт предельно допускаемого искривления для струговой установки длиной 150 м. На рис. 3.11 показаны результаты этого расчёта.

При этом уравнение линии предельно допускаемого искривления базы 4 описывается следующими выражениями:

на участке лавы длиной от 0 до 47 м –

$$h = 1,45 \cdot 10^{-3} L^2;$$

на участке лавы длиной свыше 47 м –

$$h = 2,35 \cdot 10^{-2} L + 0,29\sqrt{L}.$$

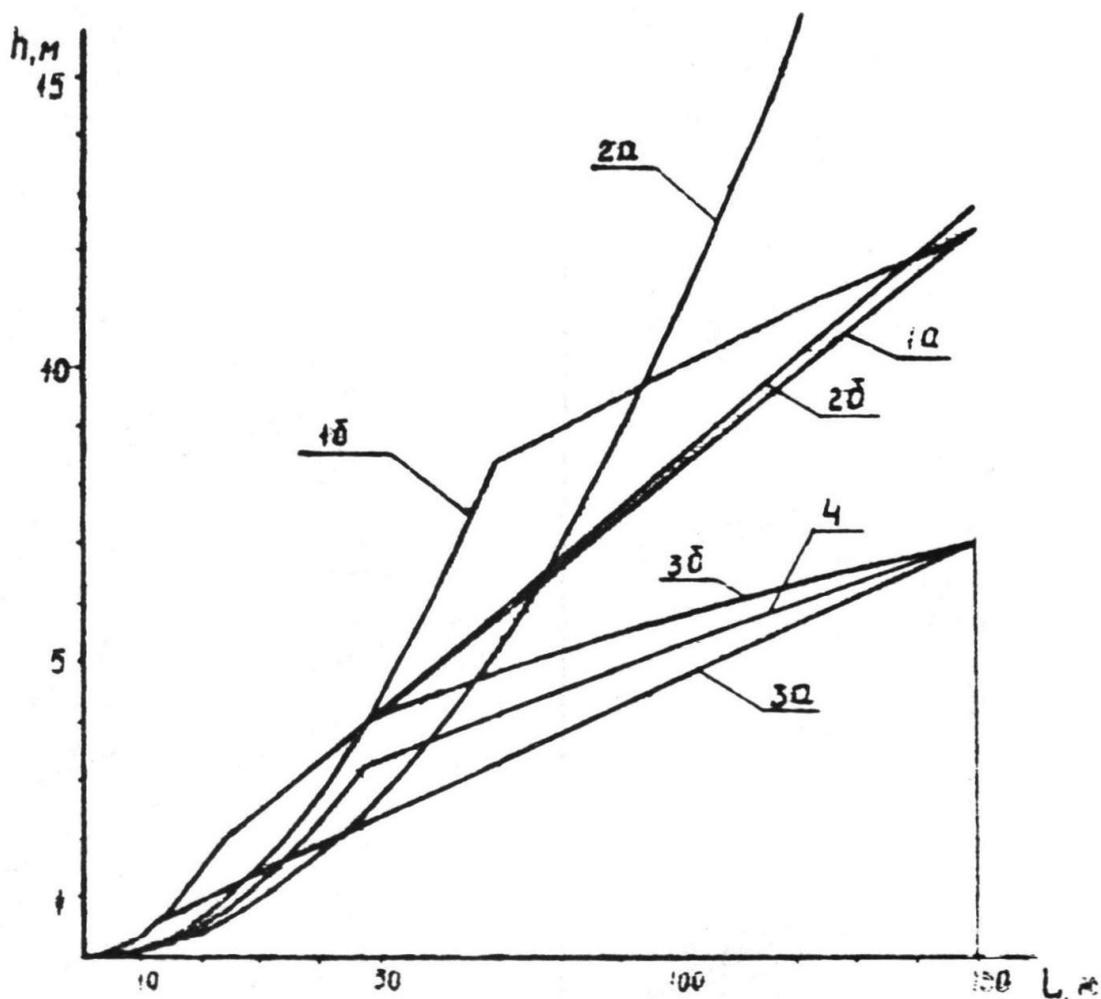


Рис. 3.11. Зависимость предельной величины стрелы прогиба базы струговой установки длиной 150 м от величины участка искривления:
 1 – по предельному изгибу рештачного става; 2 – по предельному сопротивлению искривлённой трассы; 3 – по предельной деформации цепей при: а – равномерном синусоидальном искривлении, б – искривление только на одном участке;
 4 – предельно допустимое искривление рештачного става

Исходя из того, что средняя длина действующих струговых лав составляла 174,4 м, представляется целесообразным провести расчёт предельно допустимого искривления базы струговых комплексов длиной 175 м. Для этого необходимо определить уравнение средней линии между полученными предельно допускаемыми искривлениями баз струговых установок длиной 150 и 200 м.

На рис. 3.12 показана линия 1 предельно допустимого искривления базы струговой установки длиной 175 м, которая описывается следующими уравнениями:

на участке лавы длиной от 0 до 50 м –

$$h = 1,38 \cdot 10^{-2} L^2;$$

на участке лавы длиной свыше 50 м –

$$h = 2,35 \cdot 10^{-2} L + 0,31 \sqrt{L}.$$

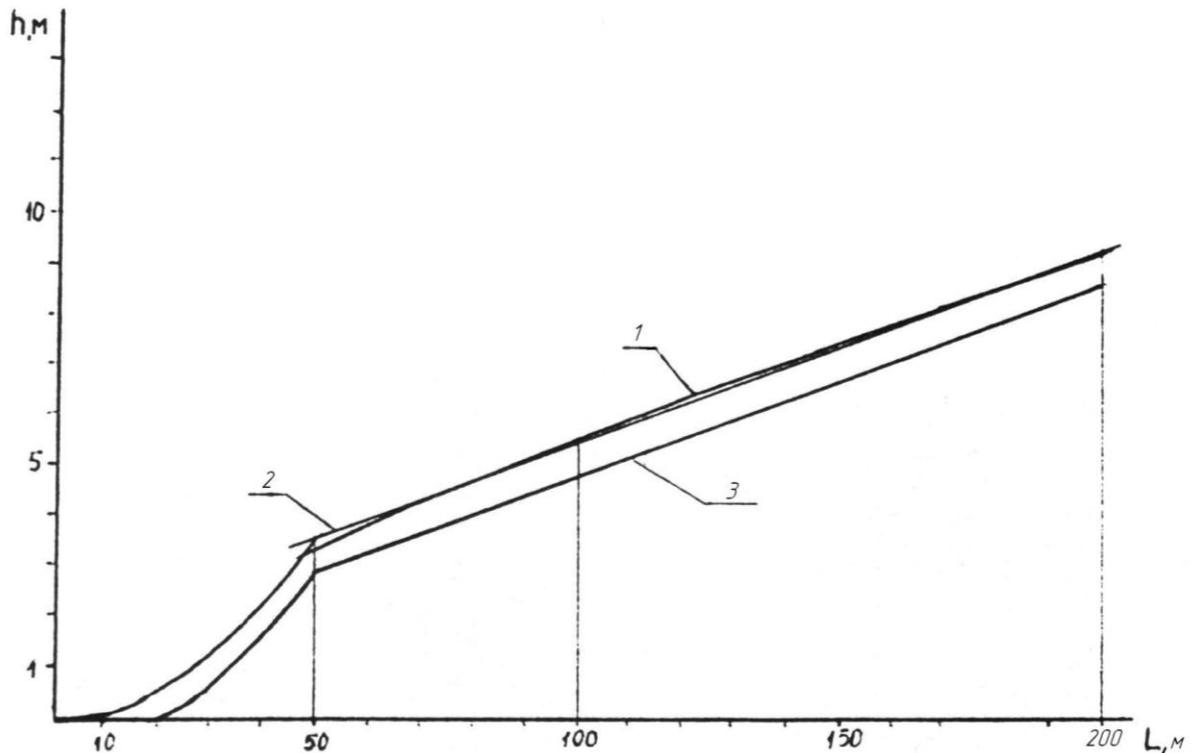


Рис. 3.12. Зависимость предельной величины стрелы прогиба базы стругового комплекса от длины участка искривления:

- 1 – линия предельно допустимого искривления базы струговой установки;
 2 – то же в виде прямой; 3 – линия предельно допустимого искривления фронта лавокомплекта крепи

Для упрощения расчёта предельно допустимых искривлений на участках лавы длиной свыше 50 м можно пользоваться уравнением прямой 2:

$$h = 3,8 \cdot 10^{-2} L + 1,6.$$

Данная зависимость характеризует предельно допустимое искривление базы струговой установки. Очевидно, что для фронта лавокомплекта крепи допустимое искривление должно быть меньше полученной зависимости на величину, как минимум, равную шагу подачи установки на забой. С учетом этого, уравнения предельно допустимого искривления фронта лавокомплекта крепи (линия 3 на рис. 3.12) будут иметь следующий вид: на участке лавы длиной от 0 до 50 м –

$$h = 1,38 \cdot 10^{-3} L^2 - 0,7;$$

на участке лавы длиной свыше 50 м –

$$h = 3,8 \cdot 10^{-2} L + 0,9.$$

Следует отметить, что по данному выражению $h = 0$ при $L = 20$ м, то есть на участках лавы длиной от 0 до 20 м секции крепи должны находиться на одной прямой линии, а отклонения между этими участками в процессе движения комплекса не должны выходить за предел линии допустимого искривления фронта лавокомплекта крепи.

В качестве анализа полученных зависимостей, характеризующих предельно допустимое искривление выемочной машины, целесообразно рассмотреть процесс развития искривлений базы стругового комплекса, начиная с исходной, относительно прямой, формы.

В процессе работы комплекса база струговой установки по различным причинам начинает искривляться. До достижения предельно допустимого искривления работа комплекса по всем основным критериям не превышает нормы. При искривлениях выше предельно допустимых на участках лавы небольшой длины при прохождении исполнительного органа нагрузка на двигатели приводов начинает превышать их установленную мощность, а на участках искривлений длиной свыше 50 м может иметь место аварийное натяжение цепного контура установки. При дальнейшем изгибе базы струговой установки наступает момент, когда величины основных параметров участков искривлений попадают в зону ограничения по предельному конструктивному изгибу рештачного става. При этом, если приводные станции установки не имеют возможности ухода в лаву, происходит нагружение межсекционных соединительных элементов рештачного става усилиями от гидродомкратов подачи, значительно превышающими их предел на прочность, и наступает аварийная ситуация. Если имеется возможность постепенного ухода приводных станций в лаву, то процесс искривления может развиваться дальше, но при этом начинается движение рештачного става относительно лавокомплекта крепи, которое в комплексах с механизированной крепью агрегатированного типа из-за перемещения точек привязки и следования за ними соответствующих секций крепи приводит к нарушению ориентирования в плоско-

сти пласта всего лавокомплекта, что также создает аварийную ситуацию. В струговых лавах с комплектными или индивидуальными крепями, кинематически не связанными с базой выемочной машины, такое движение рештачного става не нарушает положение лавокомплекта крепи, и величина стрелы безаварийного прогиба базы будет иметь более высокое значение.

Практическое использование полученных зависимостей можно продемонстрировать на примере работы комплекса, описанного в п. 3.2.1. Так, при отходе комплекса от разрезной печи на 28 м параметры участков искривления (см. рис. 3.3. и 3.12) попали на линию предельно допустимых искривлений. В этот период необходимо было приостановить работу комплекса по выемке угля и произвести выравнивание лавы. Однако комплекс продолжал полную работу и через 15 м был остановлен в аварийном режиме. При этом параметры его искривлений находились в зоне ограничения по предельному изгибу базы установки, а смещение рештачного става составляло в верхней части лавы около 2 м, что привело к нарушению положения лавокомплекта крепи и, следовательно, к аварийной ситуации.

4. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА СТРУГОВОЙ УСТАНОВКИ ОТНОСИТЕЛЬНО ПОЧВЫ ПЛАСТА

Система управления исполнительным органом (стругом) в вертикальной плоскости пласта является одной из важнейших в струговой установке. Она необходима для стабилизации положения установки на контакте «почва – угольный пласт», а также для схода струга с «земника» или выхода его из почвы. Для этих целей используют как возможность регулировки положения почвенного резца относительно подконвейерной плиты (кромки угольника), так и специальные устройства (системы управления).

Практикой применения струговых установок определено эффективное управление стругом в вертикальной плоскости пласта тремя методами:

- путём приподнимания забойной части базы над почвой и, соответственно, отрыв нижнего резца струга для исключения его зарывания в почву или вывода в новое положение по пласту;

- путём поворота завальной части базы (става конвейера) относительно продольной оси, например, посредством гидравлических устройств;

- путём приподнимания нижнего резца над почвой при зарывании струга в почву или опускания нижнего резца ниже опорной поверхности струга для схода струга с «земника».

Управление струговыми установками в вертикальной плоскости угольного пласта определяется их поперечной устойчивостью. Способы обеспечения и регулирования поперечной устойчивости струговых установок отрывного и скользящего типов существенно отличаются как по конструкции, так и по кинематике.

4.1. Системы управления положением для струговых установок отрывного типа

Принципы работы систем управления струговыми установками отрывного типа заключается в изменении по высоте точки приложения от гидродомкратов системы подачи.

На рис. 4.1 показана струговая установка отрывного типа, в которой гидродомкрат 3 подсоединяется к конвейеру 5 с помощью кронштейна 4, имеющего ряд отверстий, расположенных на разной высоте относительно почвы пласта.

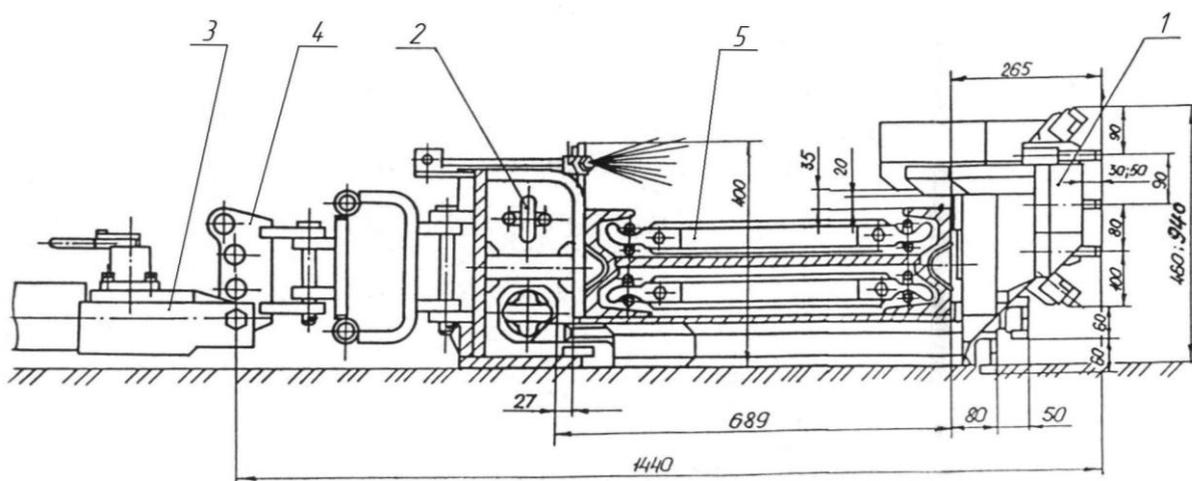


Рис. 4.1. Струговая установка отрывного типа:
1 – исполнительный орган (струг); 2 – тяговый орган струга;
3 – гидродомкрат подачи; 4 – кронштейн; 5 – конвейер

Методика расчёта поперечной устойчивости базы струговых установок отрывного типа, разработанная ШахтНИУИ, заключается в следующем.

Для расчёта поперечной устойчивости базы струговых установок необходимо изобразить вид сбоку с элементами системы подачи, указав точки приложения и направления действующих сил. На рис. 4.2 показана схема для расчёта устойчивости базы струговой установки отрывного типа.

Силы, приложенные к базе струговой установки, рассматриваются в прямоугольной системе координат. За начало координат принимается точка «О», расположенная для струговой установки отрывного типа на почве пласта у нижней кромки забойной части стругового конвейера, а для установки скользящего типа – на почве пласта у забойной кромки угольника наклонной направляющей.

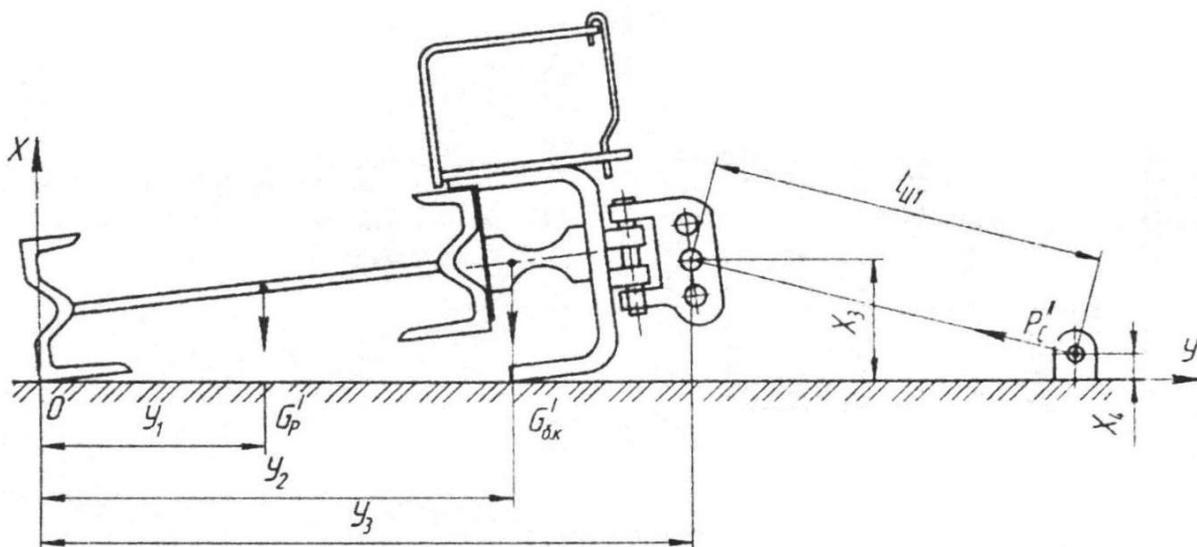


Рис. 4.2. Схема для расчёта устойчивости базы струговой установки отрывного типа

Положительными направлениями осей координат приняты:

– для оси X – направление от почвы к кровле пласта;

– для оси Y – направление, противоположное направлению подвигания забоя.

В качестве коэффициента запаса устойчивости базы струговой установки принято отношение моментов сил, удерживающих базу струговой установки от опрокидывания в плоскости, перпендикулярной направлению движения струга ($M_{y.б}$), и моментов сил, стремящихся опрокинуть её в этой плоскости ($M_{o.б}$):

$$K_{y.б} = \frac{M_{y.б}}{M_{o.б}}. \quad (4.1)$$

Для струговой установки отрывного типа момент сил, стремящихся опрокинуть базу, равен

$$M_{o.б} = P'_{c.в} y_3 + P'_{c.г} x_1, \quad (4.2)$$

где $P'_{c.в}$ и $P'_{c.г}$ – вертикальная и горизонтальная составляющие усилия на штоке гидродомкрата системы подачи P'_c , Н.

Нетрудно увидеть, что

$$P'_{c.в} = P'_c \frac{x_1 - x_2}{l_{ц1}}, \quad (4.3)$$

$$P'_{с.г} = P'_c \sqrt{\frac{l_{ц1}^2 - (x_1 - x_2)^2}{l_{ц1}^2}}. \quad (4.4)$$

Момент сил, удерживающих базу струговой установки отрывного типа от опрокидывания, равен (см. рис. 4.2):

$$M'_{у.б} = G'_p y_1 + G'_{б.к} y_2. \quad (4.5)$$

Здесь

$$G'_p = G_p k'_{p1}, \quad (4.6)$$

$$G'_{б.к} = G_{б.к} k'_{p1}, \quad (4.7)$$

где G_p – сила тяжести рештака стругового конвейера со скребковыми цепями, Н;

$G_{б.к}$ – сила тяжести бортовых коммуникаций рештака, Н.

Значения G_p , $G_{б.к}$ и координаты их точек приложения принимаются по технической документации на струговую установку.

Величина коэффициента k'_{p1} , учитывающего количество рештаков стругового конвейера, на которые воздействуют гидродомкраты системы подачи, зависит от шага их расстановки.

По данным ШахтНИУИ, при расстановке гидродомкратов на каждом рештаке $k'_{p1} = 1$; при расстановке через 1 рештак $k'_{p1} = 1,5$; при расстановке более чем через 1 рештак $k'_{p1} = 2$.

Исследования ШахтНИУИ показали, что для обеспечения устойчивой работы струговой установки без опрокидывания базы в плоскости, перпендикулярной направлению движения струга, величина коэффициента запаса устойчивости базы должна быть $K_{у.б} \geq 1,1$.

Опыт эксплуатации струговых установок отрывного типа показал, что принятая система управления ими в вертикальной плоскости надёжно обеспечивает как устойчивость в плоскости пласта, так и управление в вертикальной плоскости пласта при нарушении устойчивости (сход с «земника» или выход из почвы). Поэтому конструкции систем управления струговой установкой отрывного типа в вертикальной плоскости пласта идентичны и соответствуют конструкции, представленной на рис. 4.1.

4.2. Системы управления положением струговых установок скользящего типа

В струговых установках скользящего типа управление в вертикальной плоскости пласта осуществляется двумя способами:

- с помощью установленных в бортах конвейера вертикальных гидродомкратов;
- с помощью горизонтальных гидродомкратов, расположенных под конвейером струговой установки.

4.2.1. Системы управления с помощью вертикальных гидродомкратов

Исполнение струговой установки скользящего типа с управлением в вертикальной плоскости пласта вертикальными гидродомкратами представлено на рис. 4.3.

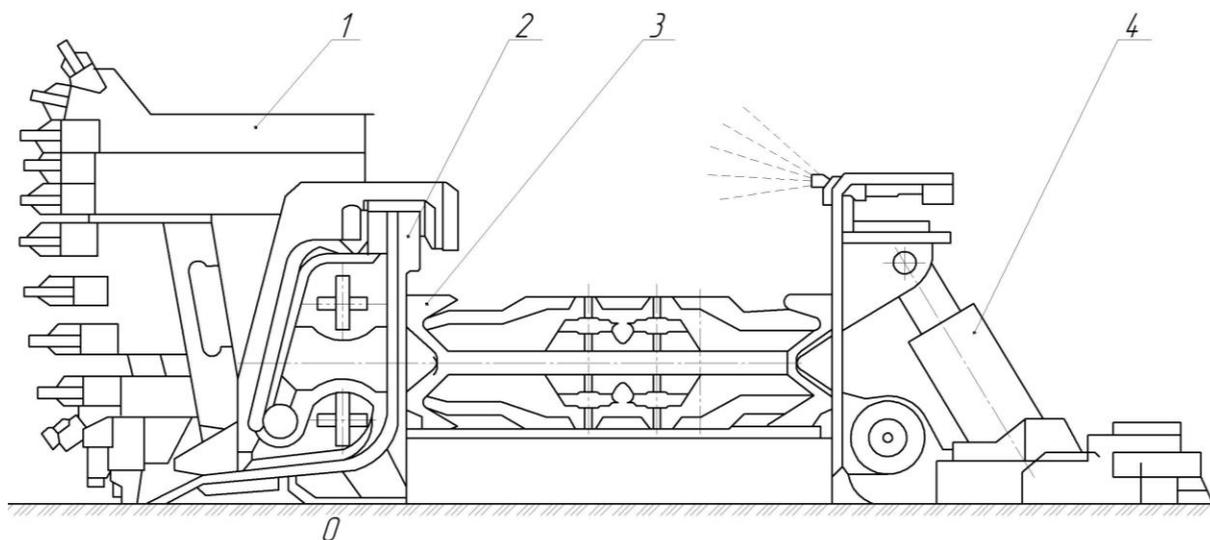


Рис. 4.3. Струговая установка скользящего типа с управлением вертикальными гидродомкратами:

- 1 – исполнительный орган (струг); 2 – наклонная направляющая;
3 – конвейер; 4 – вертикальный гидродомкрат

Управление в вертикальной плоскости угольного пласта осуществляется следующим образом. При раздвижке гидродомкрата 4 конвейер 3 вместе с наклонной направляющей 2 поворачивается вокруг точки «О» против часовой стрелки и струг 1 вместе с резцами опускается ниже горизонтальной плоскости и строгает пласт, углубляясь ниже этой линии (струг сходит с

«земника»). При складывании вертикального гидродомкрата 4 конвейер 3 вместе с наклонной направляющей 2 поворачивается вокруг точки «O» по часовой стрелке и струг вместе с резцами поднимается выше горизонтальной плоскости и таким образом при строгании выходит выше этой плоскости (струг выходит из почвы пласта).

Рассмотрим методику расчёта поперечной устойчивости струговой установки скользящего типа.

Схема расчёта поперечной устойчивости струговой установки скользящего типа представлена на рис. 4.4.

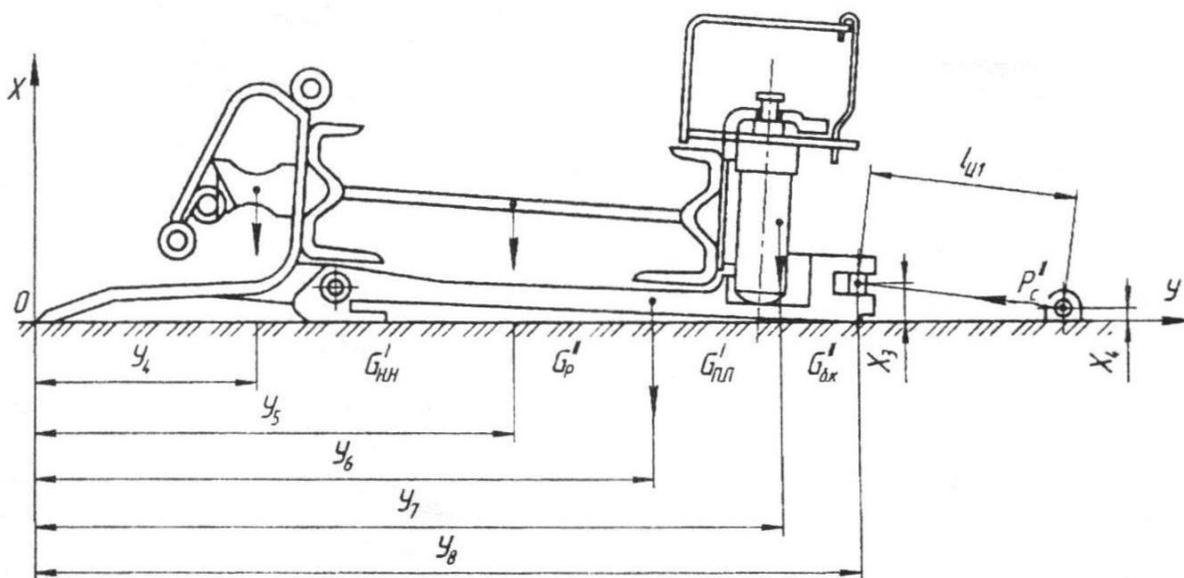


Рис. 4.4. Схема для расчёта поперечной устойчивости струговой установки скользящего типа

Для струговой установки скользящего типа при компоновке с индивидуальной или комплектной крепью момент сил, стремящихся опрокинуть базу, равен

$$M_{o.б} = P''_{c.в} y_8 + P''_{c.г} x_3, \quad (4.8)$$

где $P''_{c.в}$ и $P''_{c.г}$ – вертикальная и горизонтальная составляющие усилия на штоке гидродомкрата системы подачи P''_c , Н.

В соответствии с рис. 4.4:

$$P''_{c.в} = P''_c \frac{x_5 - x_4}{l_{ц1}}, \quad (4.9)$$

$$P_{c.г}'' = P_c'' \sqrt{\frac{l_{ц1}^2 - (x_5 - x_4)^2}{l_{ц2}^2}}, \quad (4.10)$$

где $l_{ц2} = l_{ц1} + \Delta l_{ц}$, м.

Допустимая величина отжатия от забоя исполнительного органа струговой установки скользящего типа $\Delta l_{ц}$ в расчётах принимается равной 0,03 м.

Момент сил, удерживающих базу струговой установки скользящего типа, равен (см. рис. 4.4):

$$M_{y.б}'' = G'_{н.н} y_4 + G''_p y_5 + G'_{п.п} y_6 + G''_{б.к} y_7. \quad (4.11)$$

Здесь

$$G'_{н.н} = G_{н.н} k'_{p1}, \quad (4.12)$$

$$G'_{п.п} = G_{п.п} k'_{p1}, \quad (4.13)$$

$$G''_p = G_p k'_{p1}, \quad (4.14)$$

$$G''_{б.к} = G_{б.к} k'_{p1}, \quad (4.15)$$

где $G_{н.н}$ – сила тяжести наклонной направляющей рештака, Н;

$G_{п.п}$ – сила тяжести подконвейерной плиты рештака, Н.

Значения $G_{н.н}$, $G_{п.п}$, G_p , $G_{б.к}$ и координат их точек приложения принимаются по технической документации на струговую установку.

Величина усилий на штоке гидродомкрата системы подачи P'_c , P''_c определяется по выражению

$$P'_c(P''_c) = P_c \eta_{ц}. \quad (4.16)$$

Здесь P_c – требуемое усилие на штоке гидродомкрата системы подачи.

К.п.д. гидродомкрата $\eta_{ц}$ при расчётах рекомендуется принимать равным 0,85.

Исследования ШахтНИУИ показали, что для обеспечения устойчивой работы струговой установки без опрокидывания базы в плоскости, перпендикулярной направлению движения струга, величина коэффициента запаса устойчивости базы должна быть $K_{y.б} \geq 1,1$.

Интерес представляют стендовые и шахтные испытания первоначального варианта струговой установки скользящего типа отечественного производства 1СН2620. Управление в вертикальной плоскости пласта в период испытаний осуществлялось как за счёт положения почвенной группы резцов на исполнительном органе, так и вертикальным гидродомкратом, установленным на завальной стороне конвейера.

В качестве стенда использовалась жёсткая металлическая платформа, на которой размещались одновременно в сборе 3 секции рештаков струговой установки 1СН2620. Секции располагались таким образом, что их наклонные направляющие выходили (свисали) за кромку платформы, уровень которой принимался за уровень опорной поверхности. Результаты замеров представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Результаты стендовых замеров контролируемых параметров струговой установки 1СН2620

| Контролируемые параметры (см. рис. 4.5–4.14) | 1СН2620 | | | |
|--|--|-----|------|------------|
| | Номер рештака | | | Среднее |
| | 1 | 2 | 3 | |
| Превышение носка (размер А) угольника относительно опорной поверхности башмака при полностью втянутом гидродомкрата подъёма (нижняя полка завальной части рештака лежит на подконвейерной плите), мм. Рис. 4.5 | 8–9 | 4–5 | 7,4 | 6,7 (7) |
| Ход гидродомкрата подъёма, при котором носок угольника касается почвы, т. е. находится на уровне опорной поверхности, мм. Рис. 4.6 | На всём диапазоне хода гидродомкрата от 0 до 150 мм, носок угольника опускается от 7,0 до 63 мм ниже опорной поверхности | | | |
| Зазор «Б» между опорной поверхностью башмака и почвой при полностью раздвинутом гидродомкрата подъёма (носок угольника касается почвы), мм. Рис. 4.6 | 62,0 | – | 64,0 | 63,0 |
| Превышение (+) и понижение (–) нижней кромки почвенного ножа относительно носка угольника при имеющейся регулировке в струге и зазорах между захватами и трубами наклонных направляющих, мм. Величина захвата «Н», мм. Рис. 4.5 | –4,0–7,0 – зазоры на захватах выбраны вверх, резцы подняты; $H = 84,0$ –50,0 – зазоры на захватах выбраны вниз, резцы опущены; $H = 98,0$ | | | |

Анализ данных табл. 4.1 показал, что существующая конструкция секций конвейера струговой установки 1СН2620 позволяла осуществлять регулировку в вертикальной плоскости пласта только вниз относительно опорной поверхности. При полностью втянутом гидродомкрате носок угольника наклонной направляющей находился ниже опорной поверхности на 7,0 мм. При полностью раздвинутом гидродомкрате носок угольника опускался ниже опорной поверхности на 63 мм (рис. 4.15, а).

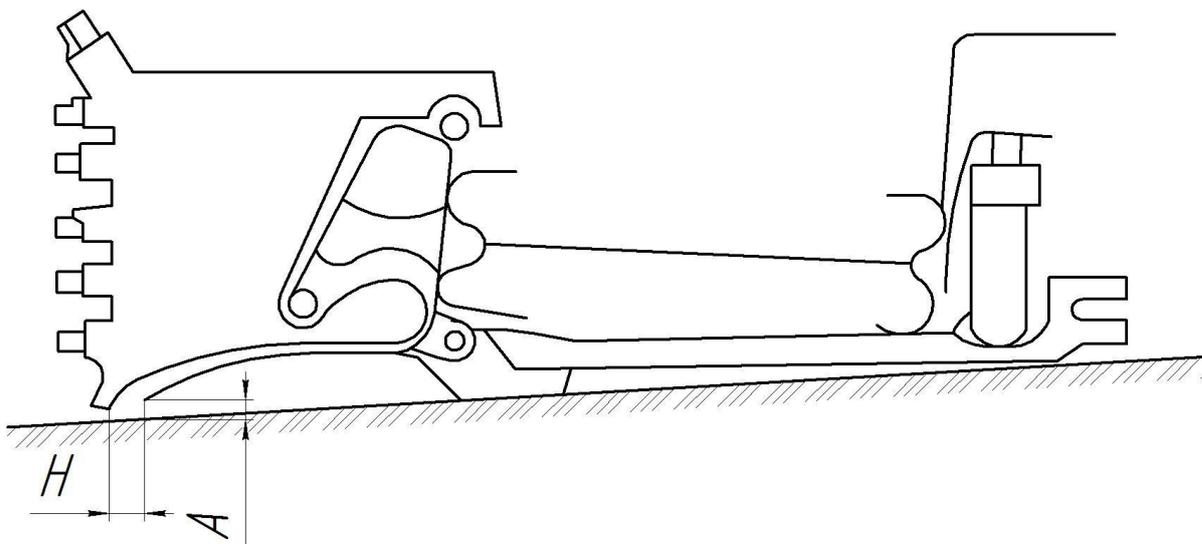


Рис. 4.5. Схема замера контролируемых параметров:

А – положение носка угольника относительно опорной поверхности при полностью втянутом гидродомкрате; H – величина захвата при имеющей в струге регулировке положения линейных резцедержателей

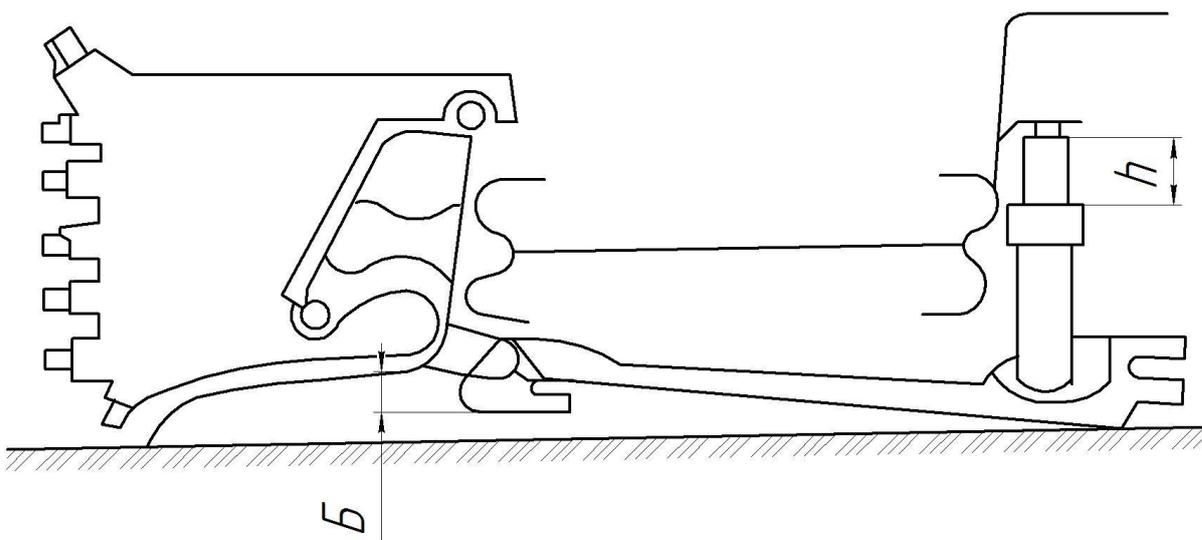


Рис. 4.6. Схема замеров контролируемых параметров:

Б – зазор между опорной поверхностью башмака и почвой при полностью раздвинутом гидродомкрате подъема

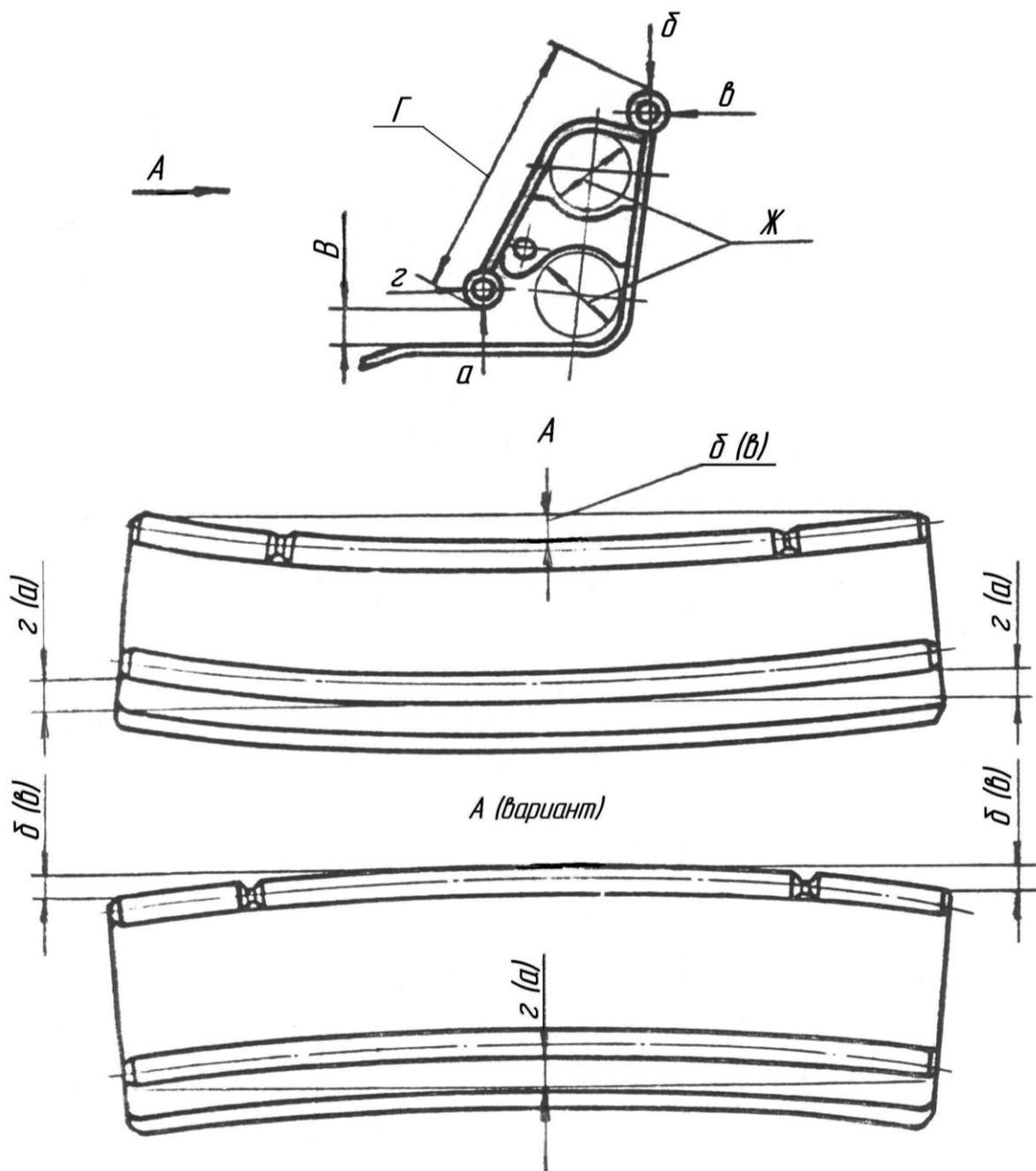


Рис. 4.7. Схема замеров контролируемых параметров:
 допустимые значения размеров – $B = 36\text{--}52$ мм; $\Gamma = 365$ мм; $\mathcal{K} = 110$ мм;
 $a = 4$ мм; $\theta = 4$ мм; $\delta = 4$ мм; $z = 4$ мм

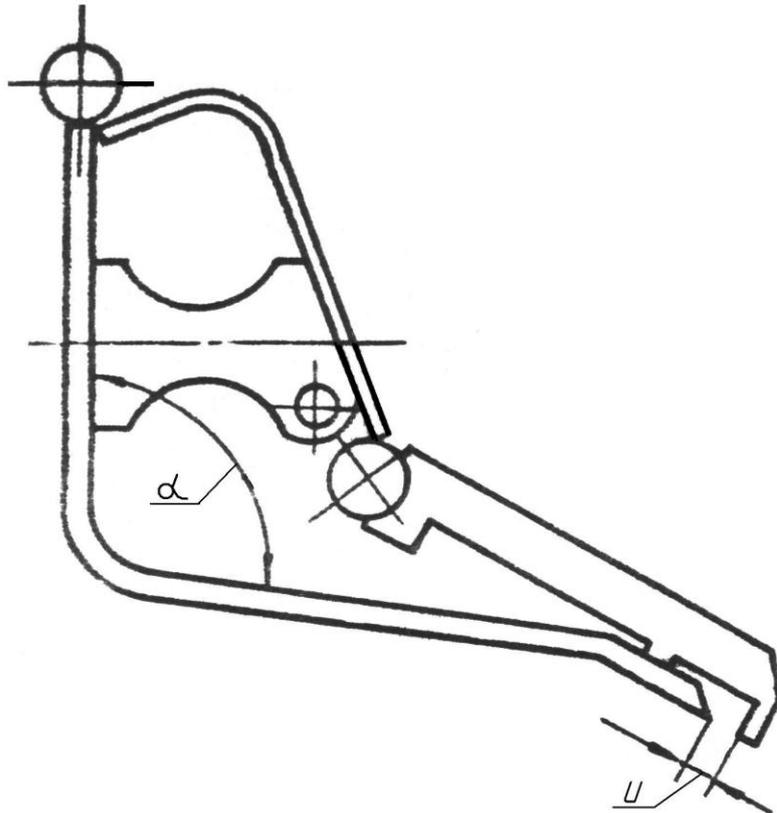


Рис. 4.8. Схема замеров контролируемых параметров:
 α – угол изгиба угольника; u – замыкающий размер между нижней трубой и кромкой угольника; допустимое значение размера $u = \min 16$ мм

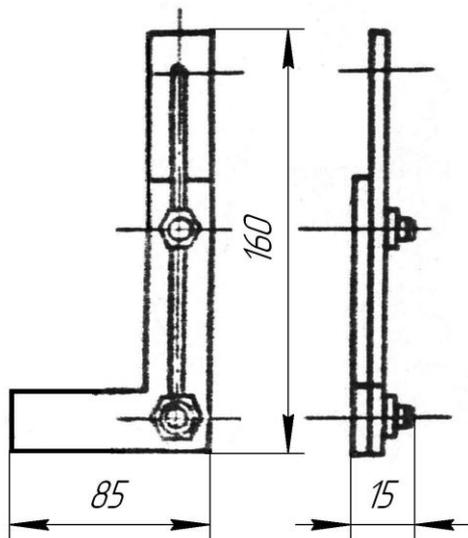


Рис. 4.9. Шаблон № 1

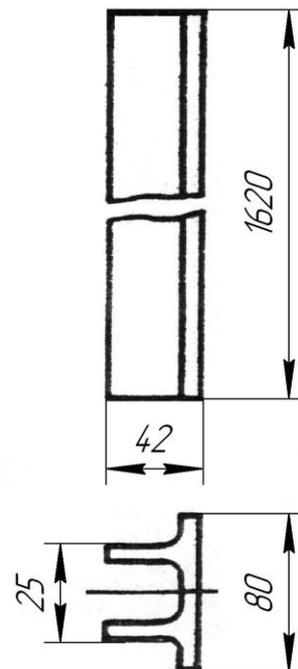


Рис. 4.10. Шаблон № 2

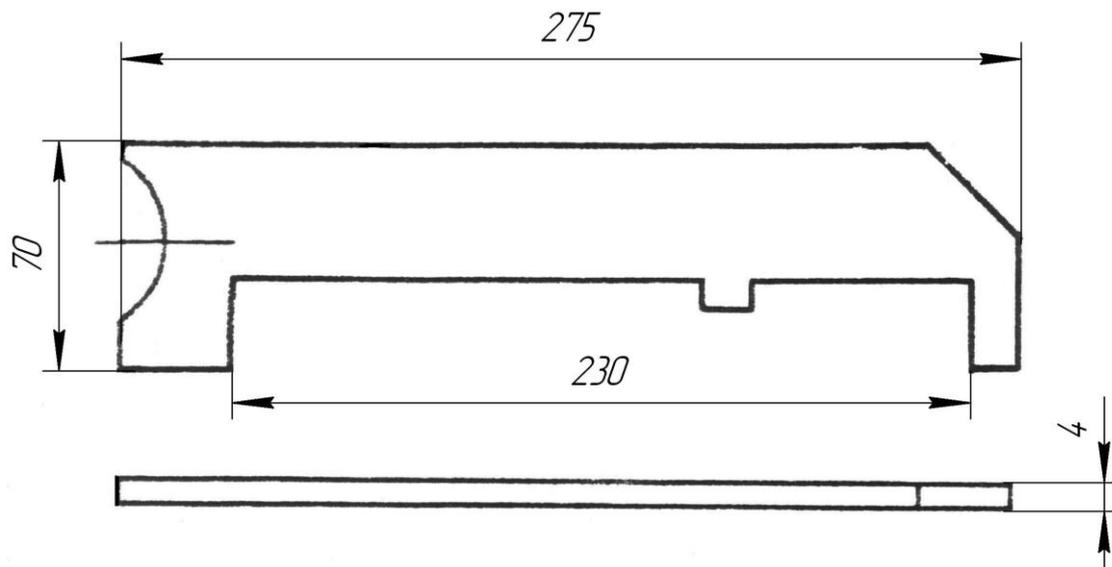


Рис. 4.11. Шаблон № 3

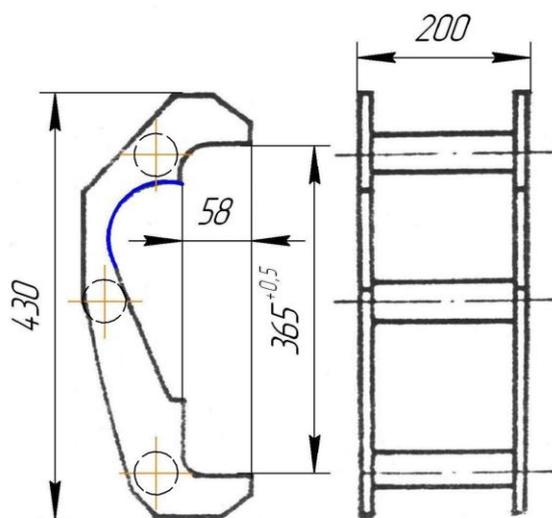


Рис. 4.12. Шаблон № 4

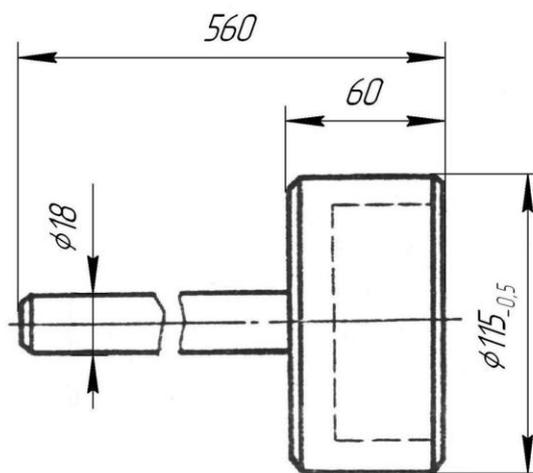


Рис. 4.13. Шаблон № 5

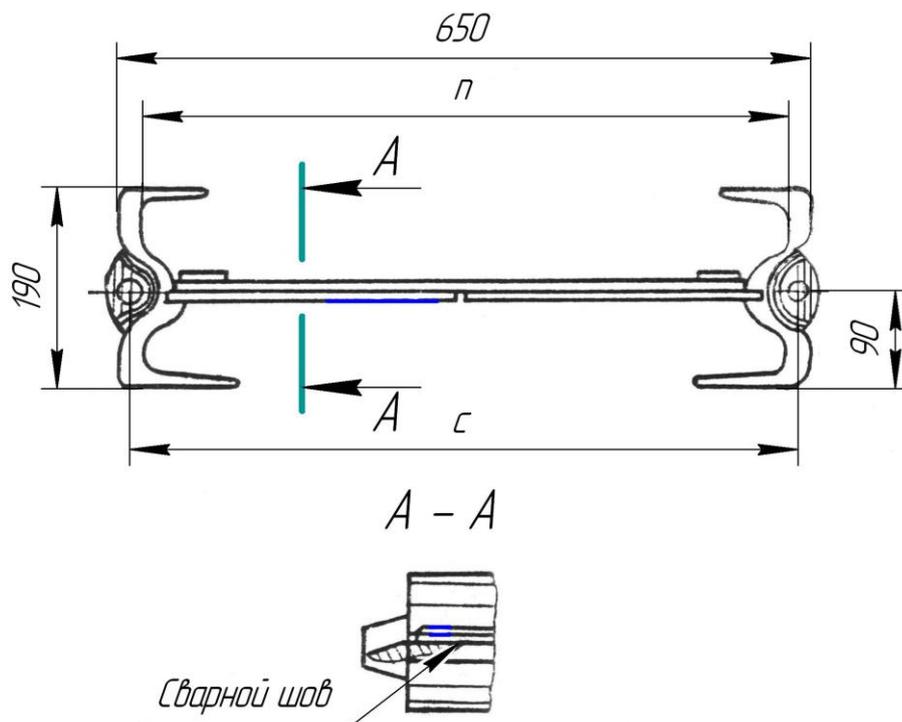


Рис. 4.14. Схема замеров контролируемых параметров:
допустимое значение размера $n = 604_{-2}^{+3}$ мм

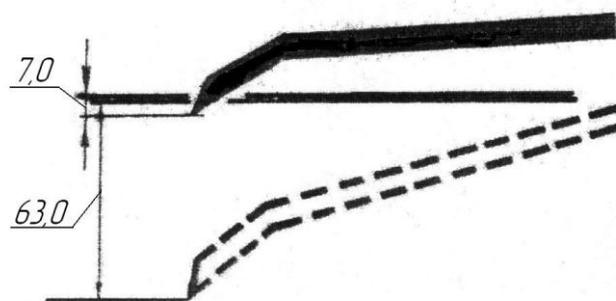


Рис. 4.15. Замеры положения носка угольника наклонной направляющей относительно опорной поверхности

Наиболее существенными причинами, не позволявшими перемещать носок угольника наклонной направляющей струговой установки 1СН2620 выше опорной поверхности, являлись:

- большой технологический допуск на неперпендикулярность боковин рештаков (до 3°), что при монтаже наклонных направляющих может давать отклонение носка угольника по вертикали относительно базовой поверхности на ± 23 мм;

- деформация балок, достигающая по стендовым замерам 11 мм, не дающая завальной боковине рештака полностью опуститься на место;

- недостаточная высота башмака.

Существенное влияние на управляемость в вертикальной плоскости оказывало также взаимное расположение по высоте носка угольника наклонной направляющей и нижней кромки почвенного ножа. Стендовые исследования показали, что при максимальном поднятии линейных резцедержателей и выбранных зазорах на направляющих кромка почвенного ножа находилась ниже носка угольника на 4–7 мм. При опускании линейных резцедержателей эта величина составила 50 мм (рис. 4.16). Остальные контролируемые параметры, не влияющие на управляемость струга в вертикальной плоскости, находились в пределах допусков.



Рис. 4.16. Замеры положения кромки почвенного резца относительно носка угольника при поднятых и опущенных линейных резцедержателях

Результаты стендовых исследований показали, что положение носка угольника относительно опорной поверхности на струговой установке 1СН2620 даже в предельном положении могло способствовать уходу установки в почву.

Исследования на стенде показали, что кромка почвенного ножа струга установки 1СН2620 не поднималась выше носка угольника даже при максимальном поднятии линейных резцедержателей, что в значительной степени затрудняло выведение установки из почвы.

Шахтные исследования проводились на шести струговых установках. Наблюдения охватывали регламентированный диапазон крепости пород почвы от сравнительно мягких до средней крепости. Результаты замеров вылета почвенных резцов струга в почву и в забой относительно нижней кромки угольника направляющей, величина давления в системе подачи и толщина снимаемой стружки представлены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

**Результаты замеров вылетов почвенных резцов,
давление в системе подачи и толщины снимаемой стружки**

| Лава | Вылет почвенных резцов относительно нижней кромки угольника направляющей | | Давление в системе подачи, кгс/см ² | Толщина снимаемой стружки, см |
|----------|--|-------------|--|-------------------------------|
| | в забой, мм | в почву, мм | | |
| Лава № 1 | 95 | 8–15 | 60 | 4,0 |
| Лава № 2 | 60–70 | 5–8 | 60 | 4,0 |
| Лава № 3 | 55–60 | 15 | 65–70 | 4,0–5,0 |
| Лава № 4 | 50–85 | 0–20 | 40–50 | 4,0 |
| Лава № 5 | 80–100 | 0–10 | 75–85 | 3,0–4,5* |
| Лава № 6 | 70 | 15 | 80–90 | 1,5–3,0* |

* На струге отсутствовала цепная стяжка, соединяющая левый и правый поворотные резцедержатели

В процессе выполнения работы было установлено, что при эксплуатации струговых установок 1СН2620 на пластах с почвой, имеющей предел прочности при сжатии 330–380 кгс/см², средства регулирования исполнительного органа в вертикальной плоскости не использовались. Так, в лавах №№ 1, 2, 3, 4 гидродомкраты вертикального перемещения не использовались. В лаве № 3 при монтаже под наклонные направляющие не устанавливались башмаки.

В связи с тем, что, как показали стендовые исследования, регулировка положения носка угольника на серийных установках 1СН2620 осуществлялась только вниз, т. е. существовала тенденция к зарыванию носка угольника в почву, то «земник» в таких условиях не образовывался. Высокий предел прочности пород почвы не давал в то же время заглубиться стругу ниже пласта. Наблюдения в указанных лавах показали, что при вылете почвенных резцов струга на 20–30 мм ниже носка угольника после прохода установки в почве параллельно забою можно было наблюдать борозды с шагом 5–10 см и глубиной 1–3 см.

При эксплуатации струговых установок 1СН2620 на пластах со слабыми почвами типа комковатого алевролита (лава № 6) или песчаного сланца (лава № 5), имеющих предел прочности на сжатие около 200 кгс/см², заложенные в конструкции средства управления системой «струг–конвейер» в вертикальной плоскости оказались неэффективными.

Несмотря на то, что на обеих установках высота башмаков была увеличена путём наварки подкладок на 30–40 мм, при складывании вертикальных гидродомкратов рештаки не опускались своей завальной боковиной на балку секции, т. е. не происходило поднятие носка угольника выше опорной поверхности и струговую установку невозможно было вывести из почвы на уровень пласта. Заглубление в почву в указанных лавах в разный период составляло от 30 до 45–50 см.

Основными причинами такого положения являлись:

– недостаточная высота и площадь опоры башмака, в результате чего при слабых почвах башмаки вдавливаются в почву на глубину 5–10 см;

– заштыбовка шарнира башмака и завальной части секции. Спрессованный штыб между балкой и завальной полкой рештака не даёт возможности последнему опуститься в нижнее положение под действием собственного веса;

– при полностью втянутых гидродомкратах вертикального перемещения кромка угольника наклонной направляющей находится ниже опорной поверхности.

При максимальном поднятии линейных резцедержателей кромка почвенного ножа находилась ниже носка угольника. В период шахтных исследований было установлено, что на стругах установки 1СН2620, которые находились в эксплуатации не менее 2–3 месяцев, превышение кромки почвенного ножа по отношению к носку угольника составило от 10 до 30 мм при поднятых резцедержателях, а понижение – до 30–35 мм при опущенных резцедержателях. Это объясняется увеличением зазоров между захватами струга и направляющими трубами, которые составляли 20–25 мм и являлись следствием износа. Невозможность вывести струговую установку из почвы путём использования имеющихся средств управления приводила к тому, что в ряде лав получили распространение местные рационализаторские предложения по выведению установки из почвы. В лаве № 6, в частности, был использован приём, основанный на том, что под секции рештаков подкладывались стойки толщиной 15–20 см. На эту глубину установка постепенно снова опускалась, пройдя по простиранию около 3–5 м (рис. 4.17, а).

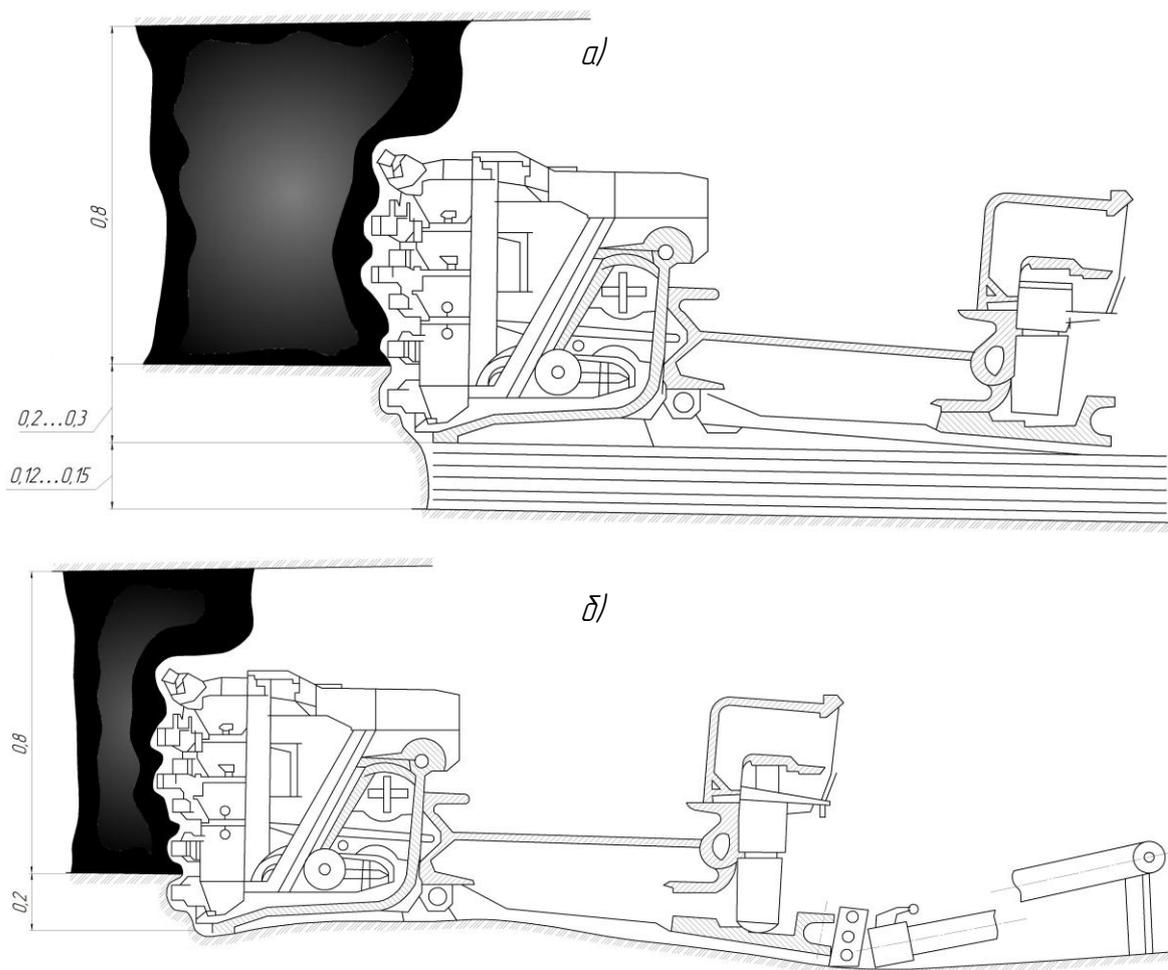


Рис. 4.17. Способы управления струговой установкой 1СН2620, не предусмотренные конструкцией:

а – с помощью деревянных стоек в лаве № 6; *б* – с помощью «гребёнок», затупленных почвенных резцов и вертикальных гидродомкратов в лаве № 5

В лаве № 5 были применены «гребёнки», по конструкции и назначению близкие к применяемым в струговой установке отрывного типа. При необходимости вывести струговую установку из почвы линейные гидродомкраты переставлялись на нижние отверстия «гребёнок», а завальный конец гидродомкратов поднимался с помощью подложек на максимально возможную высоту, допускаемую опорной цепью механизированной крепи (рис, 4.17, б). При таком наклонном расположении гидродомкратов балка прижималась к почве, а у забойного конца подконвейерной плиты появлялась тенденция к подъёму и выводу угольника из почвы. Для усиления эффекта линейные резцедержатели струга поднимались в верхнее положение, при котором кромка почвенного ножа располагалась выше носка угольника на 10–15 мм, а в качестве почвенного

ножа устанавливался сильно изношенный резец (вставка). Сочетание указанных приёмов позволяло выводить струговую установку из почвы с интенсивностью около 10 см по вертикали на 1 м продвижения установки по простиранию. Характер изменения траектории носка угольника при различных методах управления струговой установкой 1СН2620 на мягких почвах показан на рис. 4.18.

Обратная регулировка – заглубление струга в почву, как правило, не вызывала затруднений и осуществлялась с помощью вертикальных гидродомкратов при расположении линейных гидродомкратов на верхних или средних отверстиях «гребёнок».

В результате проведённых стендовых и шахтных исследований струговых установок 1СН2620 были сделаны следующие выводы:

- при полностью втянутом гидродомкрате подъёма на струговой установке 1СН2620 носок угольника наклонной направляющей находился ниже опорной поверхности на 7 мм. При полностью раздвинутом гидродомкрате носок опускался ниже опорной поверхности на 63 мм;

- кромка почвенного ножа струговой установки 1СН2620 находилась ниже носка угольника на 4–7 мм при максимальном поднятии линейных резцедержателей и выбранных зазорах на направляющих. При опускании линейных резцедержателей эта величина составила 50 мм;

- предусмотренная конструкторской документацией допустимая величина неперпендикулярности боковин относительно нижней опорной поверхности рештака (до 3°) приводит к тому, что при монтаже наклонных направляющих отклонение носка угольника по вертикали относительно опорной поверхности башмака может достигать ±23 мм. Деформация (неплоскостность) балок достигала 11 мм, что более, чем вдвое превышала допустимую (4 мм). При такой деформации завальная полка рештака не опускается до конца на балку, что также ограничивает диапазон регулировки положения кромки угольника, не давая ему перемещаться вверх;

- установлено, что при эксплуатации струговых установок 1СН2620 на пластах с почвой, имеющей предел прочности при сжатии 350–380 кгс/см², башмаки в ряде случаев не устанавливаются и управление в вертикальной плоскости осуществляется только с помощью вертикальных гидродомкратов для снятия «земника»;

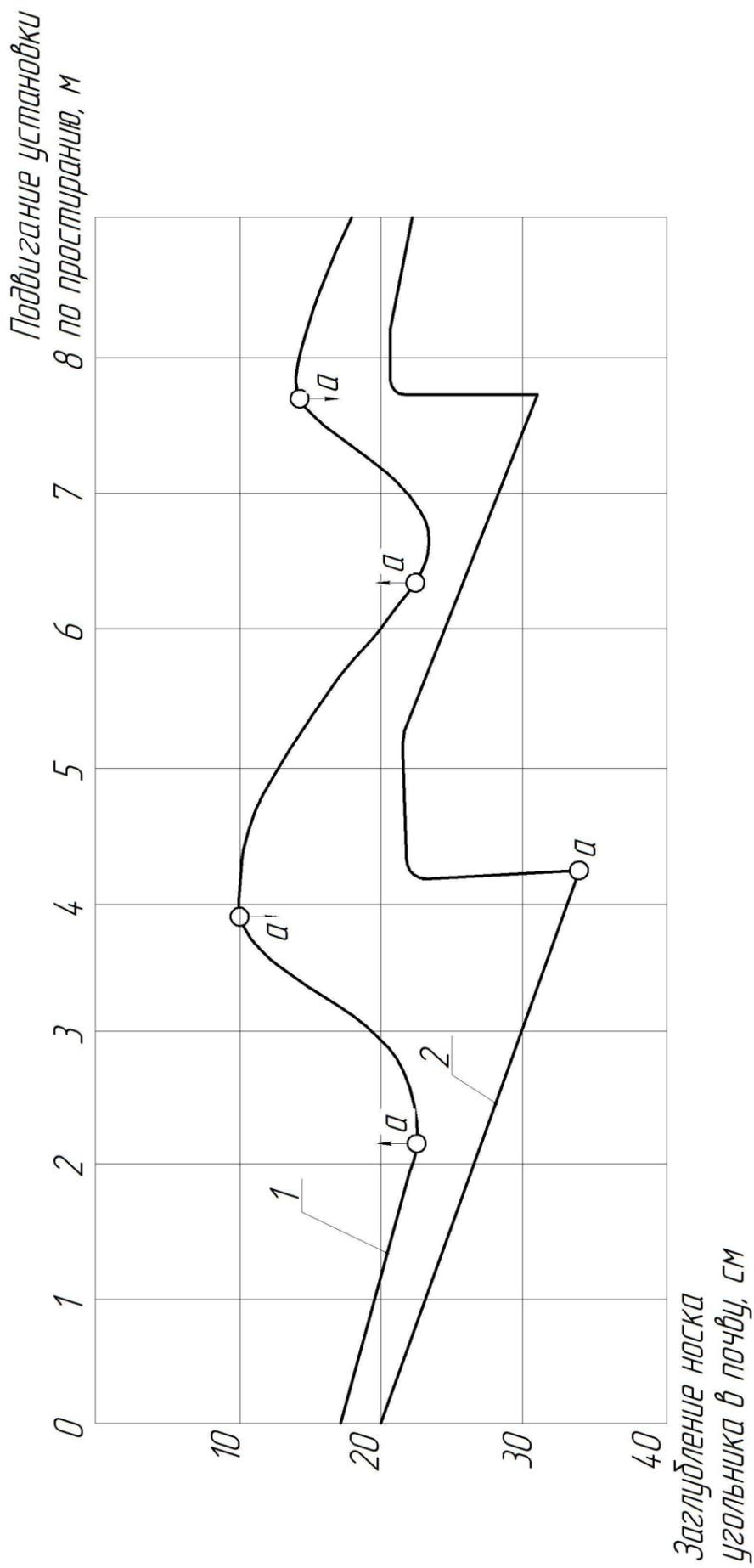


Рис. 4.18. Характер изменения траектории движения струговых установок при различных способах управления:

1 – с использованием «гребёнок», затуплённых почвенных резцов и вертикальных гидродомкратов; 2 – с помощью деревянных стоек

a – точки, в которых производилось управление

– эксплуатация струговых установок 1СН2620 на пластах со слабыми почвами, имеющими предел прочности при сжатии около 200 кгс/см^2 , показала неработоспособность средств управления, предусмотренных конструкцией, в связи с тем, что они не обеспечивали управляемости установкой в вертикальной плоскости. На отдельных шахтах в таких условиях применялись дополнительные приспособления (специальные кронштейны-«гребёнки»), подложки в виде стоек и т. д.;

– увеличение высоты башмаков на 30–40 мм без увеличения их площади опоры приводило к тому, что башмаки не удерживали конструкцию на уровне опорной поверхности и их роль сводилась к нулю;

– основными причинами неуправляемости в вертикальной плоскости струговых установок 1СН2620 на пластах со слабыми почвами являются:

а) заштыбовка шарнира башмака и завальной части секций, в связи с чем между балкой и завальной полкой рештака спрессовывается штыб, который препятствует опусканию рештака;

б) недостаточная высота и площадь опоры башмака;

в) отсутствие перемещения носка угольника наклонной направляющей выше опорной поверхности башмака при сложенном вертикальном гидродомкрате;

г) недостаточная регулировка вылета почвенного ножа относительно носка угольника.

Для улучшения управляемости струговой установки 1СН2620 в вертикальной плоскости необходимо:

– обеспечить регулировку положения почвенного резца:

а) выше кромки угольника не менее 20 мм;

б) ниже кромки угольника не менее 30 мм;

– увеличить площадь опоры башмака приблизительно вдвое по сравнению с существующей.

Выявленные недостатки управляемости в вертикальной плоскости пласта струговой установки 1СН2620 в результате проведённых стендовых и шахтных исследований и рекомендации по их устранению были учтены при корректировке конструкторской документации и при её серийном изготовлении. В дальнейшем при эксплуатации струговой установки 1СН2620 её управляемость в вертикальной плоскости пласта нареканий не вызывала.

В последние годы для струговых установок скользящего типа с управлением в вертикальной плоскости пласта с помощью вертикальных гидродомкратов создана и серийно выпускается так называемая «консольно-рычажная система» управления (рис. 4.19). Она является дальнейшим развитием средств управления и обладает большей эффективностью по сравнению с предыдущими. Однако, с её помощью, по утверждению специалистов, можно обеспечить эффективное управление только на пластах мощностью более 1,0 м.

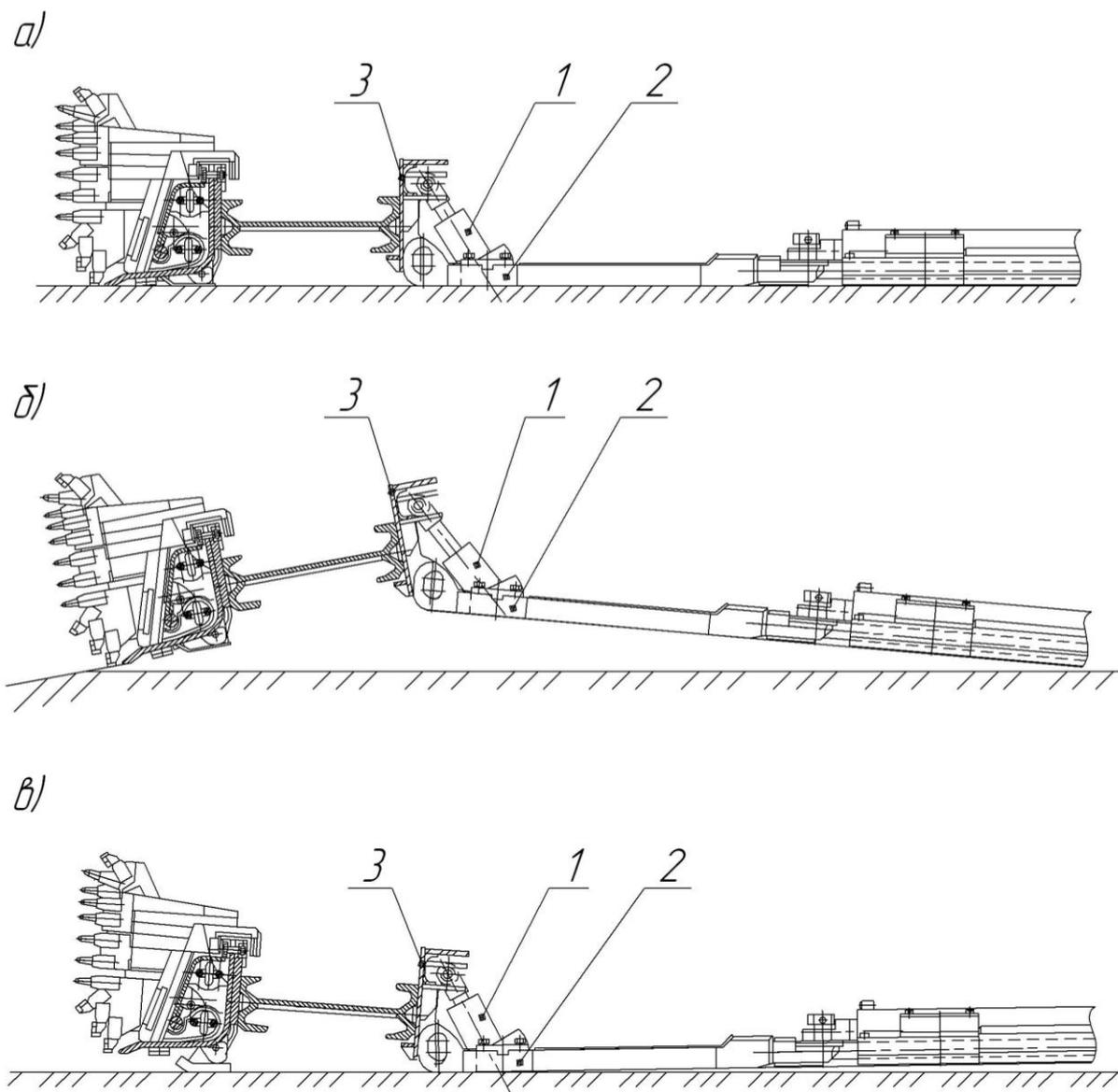


Рис. 4.19. Консольно-рычажная система управления:
 а – нейтральное положение; б – сход с «земника»; в – выход из почвы;
 1 – гидродомкрат; 2 – толкатель; 3 – линейная секция

Управление осуществляется гидродомкратом 1, цилиндр которого закреплён в сферической опоре толкателя 2 крепи, а шток в борту линейной секции 3 конвейера. При раздвижке гидродомкрат 1 поднимает завальную часть конвейера, изгибая при этом штанги механизма передвижки секции и обеспечивая сход установки с «земника», а при складывании – поднимает носок угольника направляющей струга относительно лыж, расположенных под угольником, обеспечивая выход установки из почвы. В нейтральном положении система управления обеспечивает поперечную устойчивость конвейера и струга установки.

Следует также отметить, что подъёмные устройства этих систем постоянно находятся под рабочей нагрузкой, что приводит к сокращению срока службы и снижению надёжности отдельных узлов и деталей установки.

4.2.2. Системы управления с помощью горизонтальных гидродомкратов

Струговая установка скользящего типа с системой управления в вертикальной плоскости пласта с помощью горизонтальных гидродомкратов представлена на рис. 4.20.

Отличием струговой установки с системой управления в вертикальной плоскости пласта с помощью горизонтальных гидродомкратов от системы управления с вертикальными гидродомкратами является то, что средства управления предусматривают подъём или опускание только забойной части конвейера.

Преимущество системы управления струговыми установками скользящего типа в вертикальной плоскости пласта с помощью горизонтальных гидродомкратов заключается в том, что она не требует подъёма завальной части конвейера, что не всегда возможно на тонком пласте и небезопасно.

При работе с поднятой завальной частью в зазоре между решаком и балкой подконвейерной плиты скапливается штыб, который препятствует опусканию завальной части и, тем самым, исключает возможность вывода установки из почвы без применения дополнительных средств и приёмов, а это связано со значительной трудоёмкостью работ.

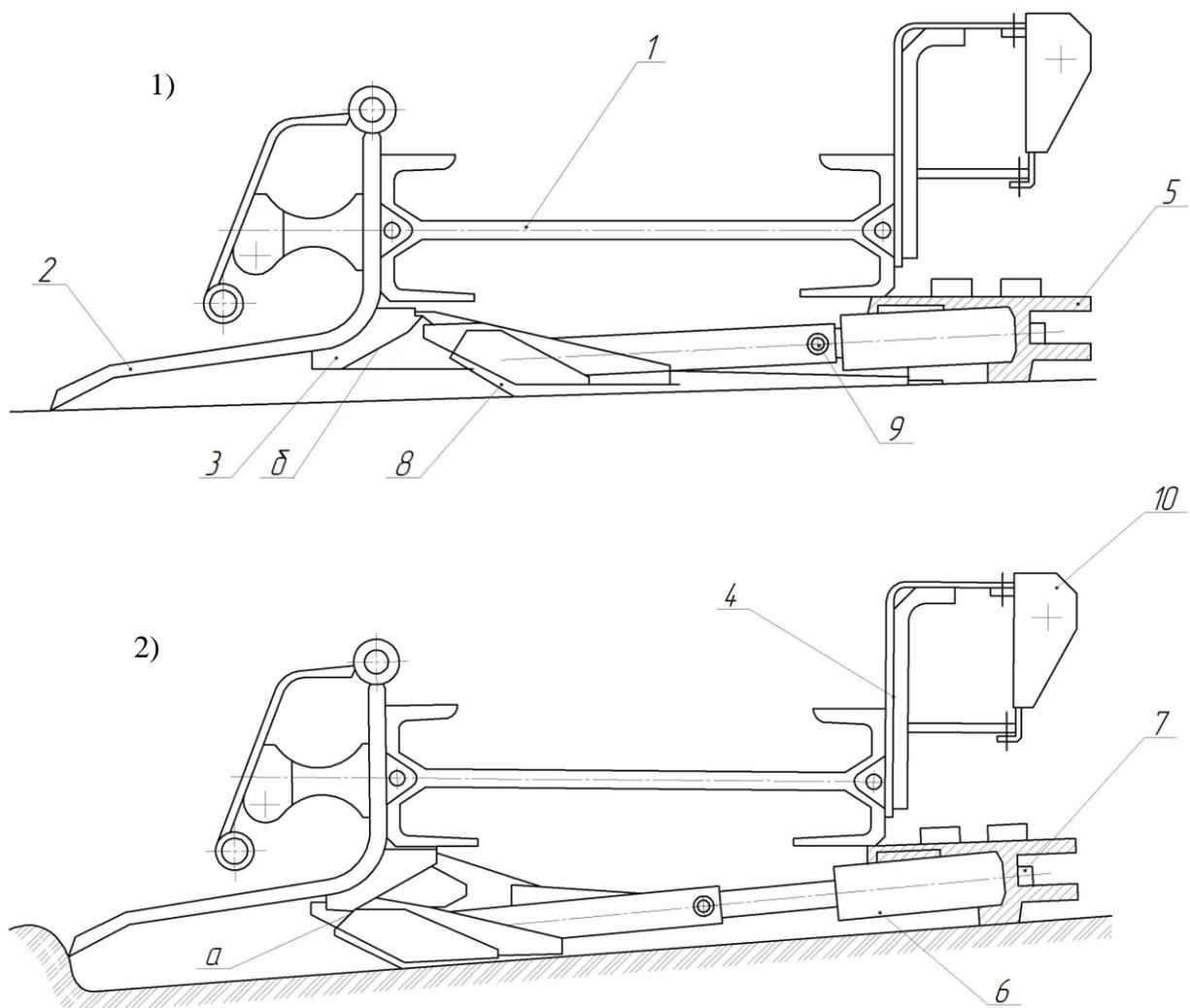


Рис. 4.20. Струговая установка скользящего типа с управлением в вертикальной плоскости пласта с помощью горизонтальных гидродомкратов:
 1 – рештак линейный; 2 – угольник; 3 – кронштейн; 4 – борт линейный;
 5 – подконвейерная плита; 6 – горизонтальный гидродомкрат; 7 – болт;
 8 – башмак; 9 – указатель; 10 – кронштейн специальный

Консольно-рычажная система управления более эффективна, но может быть применена только при мощности пласта более 1 м.

Испытуемая система обеспечивает возможность управления струговой установкой путём изменения положения только забойной части рештачного става в вертикальной плоскости по отношению к почве пласта. Причём для эффективного управления струговой установкой достаточно изменения положения носка угольника относительно почвы пласта до 50 мм.

Работа системы управления заключается в следующем. К рештаку линейному (см. рис. 4.20) со стороны забоя крепится угольник 2, а с завальной стороны – борт линейный 4. Подконвейерная плита 5 крепится к угольнику 2. К подконвейерной пли-

те 5, имеющей специальный паз по балке, посредством болтов 7 крепится горизонтальный гидродомкрат 6, несущий закреплённый на штоке с помощью указателя 9 башмак 8. Башмак имеет со стороны забоя скошенную поверхность «а», взаимодействующую со скошенной поверхностью «б» кронштейна 3, принадлежащего угольнику 2. Управление гидродомкратом 6 осуществляется с помощью блока управления, установленного на боковине соседнего рештака со стороны выработанного пространства.

Перемещаясь с помощью гидродомкрата 6 башмак 8 поверхностью «а» взаимодействует с поверхностью «б» угольника 2 и поднимает последний, отрывая носок угольника от почвы пласта. С помощью указателя 9 различают три основных положения системы:

1) исходное положение, соответствующее стабильной работе системы «струг–конвейер» в плоскости пласта, когда при выдвигании штока гидродомкрата 6 происходит первоначальное соприкосновение поверхностей «а» и «б»;

2) положение, когда шток гидродомкрата втянут полностью, поверхности «а» и «б» не соприкасаются и носок угольника под действием веса конвейера лежит на почве пласта. В этом положении при проходе струга по направляющим происходит заглубление почвенных резцов в почву и образуется «земник»;

3) при полном выдвигании штока гидродомкрата плоскость «а» скользит по плоскости «б», поднимая забойную часть конвейера. Башмак 8, опираясь нижней поверхностью на почву пласта, обеспечивает удержание конвейера в заданном положении.

В процессе эксплуатации в конкретных горно-геологических условиях устанавливается такое взаимное положение башмака 8 и угольника 2, при котором обеспечивается стабильная работа струговой установки без ухода в почву и без образования «земника».

Подъём завальной части конвейера для проведения ремонта и технического обслуживания производится с помощью линейных гидродомкратов передвигки конвейера путём установки их проушин в отверстия специальных кронштейнов 10, закреплённых на линейных бортах 4.

Шахтные испытания струговой установки с такой системой управления проводились в условиях угольного пласта i_2^1 «Степановский-нижний». Длина лавы 195 м, угол падения 13° , длина выемочного участка 1650 м. Вынимаемая мощность пласта в

среднем 0,88 м. Угольный пласт пологого падения, крепкий, выдержанный по мощности. В западной части выемочного столба наблюдалась зона разрыва, угольный пласт не был нарушен. Непосредственная кровля была представлена мелкозернистым, плотным, крепким песчаником средней устойчивости, массивного строения, мощностью до 4,5 м.

На границе смены пород кровли были возможны куполообразные вывалы. Основная кровля была представлена монолитным устойчивым песчаником. Мощность основной кровли 10 м. Ложная кровля 0,1 м. Почва пласта была представлена песчаным сланцем «кучерявчик» мощностью от 0,54 до 3,7 м. Угольный пласт не склонен к самовозгоранию, не опасен по внезапным выбросам и горным ударам. Сопrotивляемость угля резанию в разрезной печи 346 кгс/см.

По результатам проведённых эксплуатационных испытаний струговой установки с системой управления с помощью горизонтальных гидродомкратов было установлено следующее :

- обеспечена хорошая работоспособность отдельных сборочных единиц системы управления и чёткое взаимодействие отдельных элементов между собой;

- изменение положения носка угольника для выхода струговой установки из почвы эффективно осуществляется при отключённых гидродомкратах системы подачи и отсутствии исполнительного органа в зоне действия секции управления;

- во время работы не было необходимости часто пользоваться системой управления, т. е. уровень резания поддерживался достаточно стабильно;

- количество угля на конвейере не оказывает влияния на функционирование системы управления;

- наличие штыба под рештками не оказывает влияния на работоспособность системы управления;

- фактические параметры системы управления соответствуют заданным по технической характеристике;

- сборочные единицы и детали системы управления обладают достаточной прочностью (поломок и деформаций деталей не наблюдалось);

- пределы регулирования положения носка угольника относительно почвы пласта достаточны. При давлении в гидро-

домкратах системы управления 19,6 МПа (200 кгс/см^2) носок угольника поднимается на 25–45 мм и одновременно отодвигается на 50–70 мм от забоя. Приведённые величины зафиксированы при выключенных гидродомкратах передвижки рештачного става и включённых в работу одной-двух секциях системы управления;

– обеспечена полная безопасность управления струговой установкой в вертикальной плоскости пласта, так как при выполнении необходимых операций завальная часть конвейерного става не изменяет своего положения в вертикальной плоскости;

– величина опорной поверхности башмаков в условиях лавы была достаточной, случаев вдавливания их в почву не наблюдалось;

– система управления позволяет производить эффективный выход струговой установки из почвы и сход с образовавшегося «земника». Выход из почвы осуществлялся путём установки гидродомкратов системы управления в положение максимальной раздвижки с одновременным подъёмом почвенных резцов струга в целях ускорения этого процесса. Когда линия забоя подвигалась на 0,4 м, гидродомкрат системы управления и почвенные резцы струга устанавливались в нормальное рабочее (нейтральное) положение. После подвигания линии забоя ещё на 0,2–0,3 м установка выходила из почвы на 90–110 мм, после чего её положение в вертикальной плоскости стабилизировалось. Сход с образовавшегося «земника» осуществлялся путём установки гидродомкратов системы управления в полностью сложенное положение с одновременным опусканием почвенных резцов на максимальную величину. С «земника» мощностью 100–150 мм струговая установка сходила при подвигании забоя на 0,6–0,7 м, после чего гидродомкрат системы управления и почвенные резцы устанавливались в нормальное положение;

– подвигание очистного забоя за период испытаний составило 202 м, из лавы было добыто 61130 т угля;

– струговая установка работала при давлении в гидродомкратах передвижки рештачного става 45 кгс/см^2 , скорости движения струга 1,74 м/с и высоте исполнительного органа 0,68 м. Толщина снимаемой стружки составила в среднем 3,7 см, производительность струговой установки – 375 т/ч, мощность, потребляемая электродвигателями приводов струга – 213 кВт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В недрах Российской Федерации сосредоточены значительные запасы антрацитов, добыча которых наиболее целесообразна по струговой технологии. По укрупнённой оценке на действующих шахтах область применения струговой технологии составляет 42 шахтопласта с промышленными запасами более 660 млн т. Это примерно 30 % запасов углей на пологих пластах мощностью до 2,0 м. Такие пласты расположены в основных угледобывающих регионах страны – в Кузбассе, Воркуте и Российском Донбассе.

Преимущества технологии струговой выемки углей на тонких пластах и растущая потребность в её применении определили необходимость дальнейшего совершенствования струговых установок и комплексов.

Рассматривая тенденции развития конструкций существующих струговых установок видно, что они направлены на решение двух задач:

- совершенствование систем управления, обеспечивающих минимальное число обслуживающего персонала, работающего без постоянного присутствия в очистном забое;
- расширение области применения технологии струговой выемки по мощности и крепости угольных пластов.

Совершенствование систем управления производится на основе компьютерной техники в сочетании с широким набором высокоточных датчиков, позволяющих полностью автоматизировать процесс добычи угля по технологии струговой выемки.

Компьютерные системы автоматизации позволяют быстро и качественно решать разнообразные задачи управления и контроля в струговой лаве в соответствии с заданной программой. Кроме того, машинист струговой установки и комплекса при необходимости может оперативно изменять отдельные параметры режима работы, например, толщину стружки по всей длине лавы или на отдельных участках; минимальное давление начального распора в стойках крепи; скорость движения струга и конвейера и др.

При наличии соответствующих датчиков с дисплея управляющего компьютера в любое время можно считывать всю информацию о важных для технологического процесса данных, таких как:

- положение и направление движения струга;
- положение конвейера и определяемой им линии движения струга;
- положение каждого гидродомкрата передвигки секций крепи для определения положения крепи относительно конвейера;
- температура масла в редукторах приводов и расход охлаждающей воды;
- токи нагрузки электродвигателей приводов струга и конвейера;
- содержание метана в лаве и прилегающих выработках.

Компьютерные системы автоматизации управления струговыми комплексами практически освоены, но продолжают совершенствоваться фирмами «МК «Ильма» (Россия), «Марко» и «Тифенбах» (Германия). Основная проблема в этом направлении – вписать данные системы в габариты секций крепей, предназначенных для отработки тонких пластов.

Расширение области применения технологии струговой выемки по мощности и крепости угольных пластов решается путём наращивания мощности приводов и калибра цепей тягового органа струга. В настоящее время предлагается использование редукторов планетарного типа с единичной мощностью двигателей свыше 1000 кВт и калибром цепи тягового органа 42 мм и выше.

Такое решение не всегда экономически целесообразно, так как большие затраты электроэнергии уходят на протягивание тяжелого тягового органа.

В определенной степени потери мощности приводов могут быть снижены за счет частотно-регулируемого привода, который в настоящее время получает все более широкое распространение в конструкциях зарубежных струговых установок.

Регулирование в данном случае осуществляется без потерь энергии скольжения ротора, поэтому способ является экономичным. Жесткие в рабочей части механические характеристики обеспечивают высокую стабильность работы двигателя на заданной скорости. При этом плавный пуск электропривода осуществляется при значительно меньших пиковых значениях тока, по-

требляемого из сети. Последнее обстоятельство имеет важное значение для электроприводов струга, работающих с частыми пусками и перегрузками, так как обеспечивает улучшение теплового режима электродвигателей и питающих их кабелей.

Таким образом, системы автоматизации струговых установок обеспечивают выполнение необходимых функций, контроль за их осуществлением и за отклонением от заданных параметров. При этом эффективность применения систем автоматизации определяется надёжностью работы конструкций элементов струговых установок, обеспечивающих выполнение технологических функций, и правильностью выбора их параметров.

Работы ШахтНИУИ, представленные в данной монографии, позволяют определить оптимальные параметры систем управления струговыми установками в плоскостях угольного пласта, выбрать наиболее эффективные и надёжные конструкции систем, а следовательно, повысить рентабельность применения струговых установок в целом, в том числе и в автоматизированном исполнении.

Научное издание

Луганцев Борис Борисович
Сысов Николай Иванович
Файнбурд Лев Иосипович

**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ПОЛОЖЕНИЕМ СТРУГОВОЙ УСТАНОВКИ
В ОЧИСТНОМ ЗАБОЕ**

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать

Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная. Печать цифровая
Усл. печ. л. 9,07. Уч.-изд. л. 9,5. Тираж 500. Заказ 46-1319.

Отпечатано в ИД «Политехник»
346428, г. Новочеркасск, ул. Первомайская, 166
idr-npi@mail.ru