

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ "МИСиС"
ИНСТИТУТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ (ИТАСУ)

На правах рукописи



БУЙ ЧУНГ КЬЕН

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВЗРЫВНОЙ
ОТБОЙКОЙ И ТРАНСПОРТИРОВКОЙ НЕРАВНОМЕРНЫХ ПОТОКОВ
УГЛЯ ИЗ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ**

*Специальность - 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами (промышленность)»*

диссертация на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель

Профессор, д.т.н. КУБРИН С. С.

Москва – 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ЦЕЛЬ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	10
1.1. Обзор работ по исследованию характера забойных грузопотоков.	10
1.2. Обзор работ по регулированию скорости скребкового и ленточного конвейеров в зависимости от интенсивности грузопотока.	23
1.3. Управление скоростью ленточным и скребковым конвейерами по объему угля.	31
1.4. Дискретное регулирование скорости скребкового и ленточного конвейеров в зависимости от грузопотока.	36
1.4.1. <i>Определение оптимальных уровней переключения скорости скребковых и ленточных конвейеров.</i>	38
1.4.2. <i>Определение среднего числа переключений привода скребкового и ленточного конвейеров, среднего времени работы и средней длительности работы на i-ой скорости.</i>	42
1.5. Непрерывное регулирование скорости скребкового и ленточного конвейеров в зависимости от грузопотоков.	52
1.5.1. <i>Задача определения оптимальной динамической системы при непрерывном регулировании скорости конвейера по грузопотоку.</i>	52
1.5.2. <i>Решение задачи по определению оптимальной системы регулирования скорости скребкового и ленточного конвейеров.</i>	56
1.5.3. <i>Определение оптимальной системы регулирования для случая задержек и высокого уровня помех.</i>	59
1.6. Выводы по первой главе.	60
ГЛАВА 2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАГРУЗКИ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ УГЛЯ ПРИ БУРОВЗРЫВНЫМ СПОСОБОМ РАЗРАБОТКИ НАКЛОННЫХ И КРУТО НАКЛОННЫХ ПЛАСТОВ.....	62

2.1. Современное состояние и перспективы развития угольной промышленности Вьетнама.....	62
2.2. Обзор горно-геологических и горнотехнических условий угольного бассейна Куангнинь.....	64
2.3. Основные особенности применяемой технологии добычи угля на шахте Хонг Тхай угольного бассейна Куангнинь.....	67
2.4. Схема системы транспорта шахты Хонг Тхай.	71
2.5. Разработка математическая модель загрузки и перемещения угля по скребковым и ленточному конвейерам при взрывной отбойке угля несколькими очистными забоями системы транспорта шахты Хонг Тхай.....	76
2.5.1. Основные параметры, определяющие работу очистного участка на выемочном столбе шахты Хонг Тхай.	76
2.5.2. Математическая модель загрузки и перемещения угля по скребковым и ленточному конвейерам при взрывной отбойке угля несколькими очистными забоями системы транспорта шахты Хонг Тхай.....	76
2.5.3. Проведение математического моделирования загрузки транспортной системы и разработка алгоритма нахождения режимов работы участков, минимизирующих максимальную загрузку магистрального конвейера.	87
2.6. Выводы по второй главе.	102
ГЛАВА 3 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ТРАНСПОРТА ШАХТЫ.	104
3.1. Комплекс автоматизированного управления конвейерными линиями типа АУК.1М и АУК.3.....	104
3.2. Система автоматизированного управления разветвленными конвейерными линиями (САУКЛ).....	105
3.3. Анализ возможностей использования для управления системой транспорта шахты преобразователей частоты.....	107
3.3.1. Оценка качества электроэнергии сети шахты при применении преобразователи частоты для управления электродвигателями.....	108

3.3.2. <i>Использования преобразователей частоты на угольных шахтах Вьетнама.</i>	113
3.3.3. <i>Достоинство и недостатки использования преобразователей частоты.</i>	114
3.3.4. <i>Ограничения использования преобразователей частоты.</i>	116
3.4. <i>Определение зависимости между частотой питающего напряжения и интенсивностью грузопотока.</i>	117
3.5. <i>Определение зависимости между скоростью конвейера и интенсивностью поступающего грузопотока.</i>	119
3.6. <i>Выводы по третьей главе.</i>	121
ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЗРЫВНОЙ ОТБОЙКОЙ И ТРАНСПОРТИРОВКОЙ НЕРАВНОМЕРНЫХ ПОТОКОВ УГЛЯ ИЗ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ	123
4.1. Структура системы мониторинга и автоматического управления работой транспорта шахты.	123
4.2. Разработка локальных алгоритмов управления работой элементов транспортной системы шахты.	126
4.2.1. <i>Алгоритм управления работой бункера.</i>	126
4.2.2. <i>Алгоритм управления работой конвейера.</i>	129
4.3. Основные элементы автоматизированной системы управления взрывной отбойкой и транспортировкой неравномерных потоков угля из очистных забоев.	129
4.4. Предварительны расчет экономического эффекта.	133
4.5. Выводы по четвертой главе.	137
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	138
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	138

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность и степень проработанности темы исследования. Задача повышения эффективности добычи твердых полезных ископаемых подземным способом, актуальна для республики Вьетнам и всего мира и требует синхронизации всех технологических процессов. При разработке наклонных и круто наклонных пластов на месторождении Куангнинь республики Вьетнам, в сложных горно-геологических условиях использование современных механизированных комплексов (выемочной комбайн, струг), обладающих прогрессивным, потоковым свойством технологического процесса практически постоянной отбойки угля в забое и его транспортировки на поверхность, невозможно. Система разработки наклонных и круто наклонных пластов средней мощности в этом случае ведется буровзрывным способом, с нагрузкой на очистной забой от 100 до 300 тонн за смену. Этот способ, в отличие от использования механизированных комплексов, характеризуется цикличностью основных и вспомогательных операций, которые должны выполняться строго последовательно. Процесс отбойки угля - взрыв (серия взрывов) производится один раз за смену и занимает вместе с работами по подготовке зарядов и последующему проветриванию один час. Транспортировка отбитого угля из очистного забоя занимает примерно два часа. Остальное время уходит на проведение бурения, крепления лавы, зачистки почвы и передвижки рештаков и других вспомогательных операций.

Отбитый уголь по рештакам спускают к транспортному штреку, по которому транспортировка отбитого угля от забоя до капитальной выработки производится скребковыми конвейерами. Для аккумуляции угля магистрального конвейера, расположенного в капитальной выработке используются бункера. Для повышения производительности шахты добычу угля ведут несколькими очистными забоями, режим работы которых устроен

таки образом, чтоб выпуск отбитого угля осуществлялся непрерывно. При длинах выемочных участков в 800 – 1000 метров, в ходе отработки запасов в связи с движения горных работ, время перемещения угля по конвейерному штреку, с учетом скорости скребкового конвейера 0,7 м/с, сокращается с 24 минут, в начале работы выемочного участка, практически до нуля, на завершающей стадии. В связи с этим, при ведении очистных работ несколькими очистными забоями возникает перегрузка магистрального конвейера, что часто приводит к его останову и снижает общую добычу угля.

Вопросам работы передвижных скребковых и ленточных конвейеров посвящены работы А.О. Спиваковского, А.И. Берона, И.Ф. Гончаревича, Б.Л. Давыдова, В.Г. Дмитриева, Р.Л. Зенкова, Р.Л. Папоян, Л.Д. Певзнер, Г.И. Солода, С.А. Хачатрян, Л.Г. Шахмейтера, Е.Е. Шешко, А. Butko, Zhan Zhang, Guomundur Amar, Gretarsson и многих других исследователей. Были получены значимые научные результаты, внедренные в горную промышленность. Однако, вопросы совместной, согласованной работы скребковых и ленточных конвейеров рассматривались только при использовании последовательной топологии транспортной системы и в условиях непрерывного, потокового поступления горной массы или полезного ископаемого. Работа транспортной системы горного предприятия, использующая разветвлённую топологию, состоящую из нескольких скребковых и ленточного конвейеров в условиях неравномерных потоков угля из очистных забоев не рассматривалась. В этих условиях для достижения наибольшей производительности шахты необходимо, кроме всего прочего, постоянно определять график работы бригад в зависимости от расположения фронта горных работ и параметры транспортной системы, обеспечивающие безостановочную работу магистрального конвейера. Поэтому исследование и определение режимов работы очистных участков и транспортной системы шахты, включающей скребковые и ленточный конвейеры в условиях неравномерного потока груза при взрывной отбойке угля является актуальной научной задачей.

Целью работы является разработка автоматизированной системы определения режимов работы очистных участков и управления транспортировкой неравномерных потоков угля из очистных забоев, позволяющая повысить объемы добычи угля шахтой, разрабатывающей наклонные и круто наклонные пласты несколькими очистными забоями буровзрывным способом.

Основная **идея работы** заключается во временном распределении моментов взрывной отбойки угля очистными забоями, обеспечивающего синхронизацию работы по равномерной выдаче и транспортировке угля.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- анализ работы шахты при добыче угля взрывной отбойкой несколькими очистными забоями;
- анализ аппаратного обеспечения управления транспортом шахты, моделирование работы транспорта шахты при различных режимах работы очистных забоев;
- оптимизация поступления угля из очистных забоев при взрывной отбойке угля, обеспечивающая равномерное поступление угля на магистральный конвейер;
- разработка автоматизированной системы управления взрывной отбойкой и транспортной системой для перемещения неравномерных потоков угля из очистных забоев.

Разработанные результаты диссертационного исследования внедрены на шахте «Хонг Тхай» и планируются к внедрению на шахтах угольной компании «ВИНАКОМИН» республики Вьетнам, разрабатывающей угольное месторождение Куангнинь подземным способом.

Научные положения, разработанные соискателем:

- математическая модель загрузки и перемещения угля по скребковым и ленточному конвейерам при взрывной отбойке угля несколькими очистными забоями;
- алгоритм нахождения режимов взрывной отбойки угля несколькими очистными забоями, обеспечивающий равномерное и постоянное поступление угля на магистральный конвейер и реализующий потоковый принцип работы транспорта угольной шахты;
- автоматизированная система управления взрывной отбойкой и транспортировкой неравномерных потоков угля из очистных забоев.

Научная новизна диссертации заключается в разработке и обосновании алгоритма определения режимов работы очистных бригад – проведения взрывных работ по отбойке угля при разработке наклонных и круто наклонных пластов, обеспечивающих равномерное и постоянное поступление угля на магистральный конвейер, позволяющих реализовать потоковый принцип работы транспорта угольной шахты.

Практическая полезность работы состоит в том, что автоматизированная система управления взрывной отбойкой и транспортировкой неравномерных потоков угля из очистных забоев при разработке наклонных и круто наклонных пластов обеспечивает стабильную без скачкообразных изменений объемов угля загрузку магистрального конвейера, что снижает количество простоев из-за перегрузки конвейерной ленты и повышает объемы добычи угля.

Обоснованность и достоверность научных положений подтверждаются корректным применением используемого математического аппарата, выполненным моделированием технологических процессов, совпадающим с результатами выполненных наблюдений на уровне 95% и опытным опробованием работы Автоматизированной системы управления взрывной отбойкой и транспортировкой неравномерных потоков угля из очистных забоев на шахте «Хонг Тхай» угольной компании «ВИНАКОМИН» республики

Вьетнам, разрабатывающей угольное месторождение Куангнинь. Разработанное программное обеспечение программируемых логических контроллеров для управления конвейерами используется в учебном процессе кафедры Автоматизированных систем управления Куангниньского индустриального университета республики Вьетнам.

Методы исследования. В работе использовались общепринятые научные методы анализа и исследования режимов работы системы транспорта, теория управления сложными системами, теория автоматического управления, методы компьютерного и ситуационного моделирования, методы статистической обработки данных.

Реализация полученных результатов исследования. Разработанная автоматизированная система управления взрывной отбойкой и транспортировкой неравномерных потоков угля из очистных забоев внедрена на шахте «Хонг Тхай» и планируется к внедрению на остальных шахтах угольной компании «ВИНАКОМИН» республики Вьетнам.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на XXII, XXIII международной научной школе молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (Институт проблем комплексного освоения недр Российской академии наук - ИПКОН РАН, 2015-2016 гг., Москва); на 2-й международной научной школы академика К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр» (Институт проблем комплексного освоения недр российской академии наук - ИПКОН РАН, 2016 г. г. Москва); XX, XXI международном научном симпозиуме «Неделя горняка – 2015, 2016», (г.Москва).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 научных работ, из них 5 статей в изданиях по перечню ВАК Минобрнауки России.

Структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, содержит 59 рисунков, 4 таблицы, список литературы из 81 наименования.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ЦЕЛЬ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.

1.1. Обзор работ по исследованию характера забойных грузопотоков.

Рост концентрации и интенсификации грузопотоков в угольных шахтах приводит к необходимости заменять электровозную откатку угля скребковым и ленточным конвейерным транспортом. Применение скребковых и ленточных конвейеров резко увеличивает пропускную способность подземного транспорта, упрощает схемы транспортирования, обеспечивает более высокие технико-экономические показатели работы шахты.

Но наряду с экономическим эффектом, часто высокопроизводительный скребковый и ленточный конвейерный транспорт, который обычно рассчитывается, по максимальной производительности комбайнов или других выемочных машин, оказывается значительно недогруженным и в некоторые моменты даже вынужден работать вхолостую, что приводит к резкому снижению пропускной способности подземного транспорта и значительному увеличению стоимости доставки груза, так как недогрузка скребковых и ленточных конвейеров приводит к излишнему расходу электроэнергии и износу лент.

Грузопотоки из механизированных лав характеризуются большой неравномерностью, которая главным образом связана с непостоянством природных и горнотехнических условий, а также организацией работ на шахте, поэтому весьма актуальными являются задачи, связанные с исследованием характера грузопотоков.

Исследование грузопотока ведется давно, так в работах Малевича, Лейтеса З.М., Пономаренко В.А., Гудалова В.П., Мерцалова Р.В., Нгун Конг Хунга рассмотрены вопросы определения неравномерности грузопотока и их динамика. В подавляющем большинстве этих работ неравномерность грузопотока выражается коэффициентом неравномерности за определенные периоды времени [22, 23, 26, 27, 30, 32, 33, 44, 41, 42, 66, 62].

В работе Пономаренко В.А. и др. [42] рассмотрены вопросы, относящиеся к способам описания характера подземных грузопотоков, поступающих из горных забоев при различных способах информации о их неравномерности. Приводится некоторая кривая $y=f(t)$, [42] характеризующая грузопоток, поступающий на транспортную установку. Коэффициент неравномерности определяется как

$$k_m = \frac{\int_0^m p dt}{\frac{m}{ZT} \int_0^{ZT} p dt}, \quad (1.1)$$

где: $\int_0^m p dt = \epsilon_m$ - количество груза, перевезённое транспортной установкой за время m ;

ZT – базовый период, равный Z отрезкам времени, каждый длительностью T ;

$\frac{m}{ZT} \int_0^{ZT} p dt = p_{cp}$ - среднее количество груза, перевозимого в течение базового периода за единицу времени.

Показано, что с другой стороны коэффициент неравномерности за любой период определяется функцией неравномерности

$$k_m = \alpha \cdot m^A \quad (1.2)$$

где α - множитель неравномерности:

A – показатель неравномерности.

Если принять, что Z – число смен, а T - длительность смены, то междусменный коэффициент неравномерности в течение Z смен равен

$$k_T = \frac{\int_0^T p dt}{\frac{1}{Z} \int_0^{ZT} p dt} \quad (1.3)$$

Автор делает вывод, что расширение понятия “коэффициента неравномерности” и определение его, как отношения фактической величины грузопотока к средней величине грузопотока (подсчитанной за базовый период) за равные отрезки времени позволяет построить функцию неравномерности, с помощью которой легко установить количество груза, поступившего на скребковый и ленточный конвейер за любой период времени.

$$p_{зф}(t) = p_{з.ср} \cdot k_H(t) = p_{з.ср} (k_{ср} + \sigma Z) \quad (1.4)$$

где: $k_H(t)$ – функция изменения во времени коэффициента неравномерности работы забоя по производительности;

σ – среднее квадратическое отклонение грузопотока от среднего значения;

Z – квантиль, определяющая вероятность коэффициента неравномерности

и принимающая значения в диапазоне $\left| \frac{k_{ср}}{\sigma} \right| \leq Z \leq 3$;

$k_{ср}$ – среднее значение коэффициента неравномерности ($K_{ср}=1$);

$p_{з.ср}$ – среднее значение производительности забоя.

Величина коэффициентов неравномерности определяется видом функции, отражающей характер грузопотока. Автор полагает, что вид функции зависит от типа добычного механизма, горно-геологических и горнотехнических условий лав.

В указанной работе [42] дается также методика определения внутрисменных и внутричасовых коэффициентов неравномерности, и распределение коэффициентов неравномерности (распределение нормальное).

Коэффициент неравномерности определялся как отношение фактического значения грузопотока к средней величине, и часовые коэффициенты неравномерности колеблются в пределах от 1,5 до 3,0. Но чаще коэффициент неравномерности определяется как отношение максимального значения грузопотока к его средней величине.

Лабораторией рудничного транспорта ИГД им. А.А.Скочинского совместно с институтами КузНИИ и ПечорНИИ были выполнены исследования

фактических грузопотоков угля, поступающих из лав, оборудованных узкозахватными комплексами [23]. Динамика минутных грузопотоков из некоторых лав на шахтах Кузнецкого, и Подмосковского бассейнов приведена в [23], из которых видно, что грузопотоки характеризуются значительной неравномерностью. В работе приводятся сводные данные хронометражных наблюдений о средних и наибольших величинах минутной выдаче угля по восьми лавам. Наибольшие величины минутных грузопотоков из этих лав составляют от 3,0 до 6,0 т/мин, что в 2,0 – 3,0 раза выше средних величин минутных грузопотоков за машинное время работы комбайнов и в 5,5 до 6,5 раз выше средние минутных грузопотоков за общее время смены.

Для установления необходимой производительности скребкового и ленточного конвейера, помимо минутного грузопотока, важно знать максимальный часовой грузопоток. Расчетным путем это установить весьма сложно. Авторы рекомендуют (в результате исследования грузопотоков из действующих комплексно-механизированных) значения часовых коэффициентов неравномерности ($k_{\text{час}}$) определять следующим образом:

$$k_{\text{час}} = \frac{a_{60}(\text{max})}{a_{60}(\text{cp})} = \frac{a_{60}(\text{max}) \cdot T_{\text{см}}}{A_{\text{см}}} \quad (1.5)$$

$a_{60}(\text{max})$ - максимальный часовой грузопоток из лавы, т/час;

$a_{60}(\text{cp})$ - средний часовой грузопоток из лавы за рабочую смену, т/час;

$T_{\text{см}}$ – продолжительность рабочей смены, час;

$A_{\text{см}}$ – среднесменная добыча лавы, т.

На основании полученных часовых коэффициентов неравномерности устанавливается максимальная часовая производительность скребкового и ленточного конвейеров.

На рис 1.1. показаны значения коэффициентов неравномерности грузопотоков по пятнадцати действующим комплексно механизированным лавам. Пунктирными линиями ограничена зона разброса этих коэффициентов. Кривая, изображенная сплошной линией показывает изменение средних значений часо-

вых коэффициентов неравномерности в зависимости от производительности лавы.

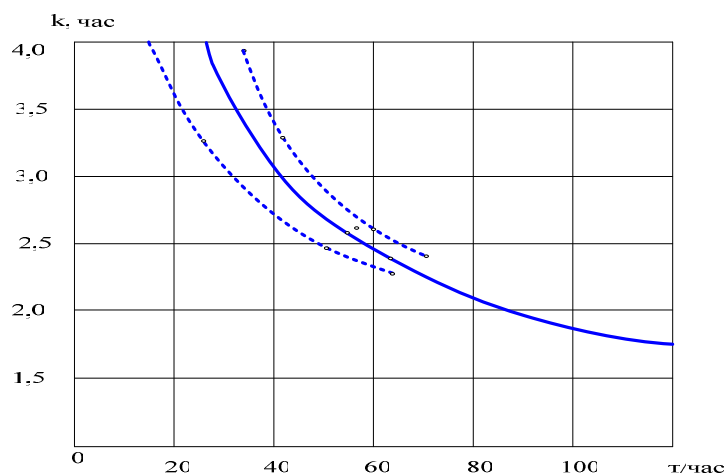


Рис. 1.1. Коэффициент неревномерности грузопотоков по пятнадцати лавам

Из рис.1.1. видно, что этот коэффициент может колебаться в пределах от 1,5 до 3,5, то есть в отдельные периоды времени грузопоток может в 3,5 раза превышать среднюю величину. Очевидно, что для расчета транспорта по производительности, такая информация недостаточна и, больше того, заставляет выбирать более мощные средства транспорта, что приводит к значительному повышению себестоимости транспортирования груза. Использование аппарата теории вероятностей дает возможность получить более полную и точную характеристику грузопотока.

В течение последних лет во многих исследовательских работах грузопоток рассматривается как случайная величина, причем авторы этих работ ставят своей основной целью определение степени разброса отдельных значений забойного грузопотока относительно их средних величин за различные промежутки времени.

Исследования Малевича Н.А., Шахмейстера Л.Г., Ярошевского Б.И., Вишеле И.В., Пономаренко В.А. [27, 42, 62, 63] и других посвящены изучению суммарных грузопотоков; определению вероятности одновременной работы различного количества лав с учетом случайного характера грузопотоков из

отдельных забоев. Однако в этих исследованиях отсутствуют вероятностные количественные характеристики грузопотоков.

Мерцаловым Р.В. [30] были выполнены широкие исследования фактических забойных грузопотоков на шахтах Карагандинского бассейна с целью установления рациональных способов повышения эффективности использования скребкового и ленточного конвейерного транспорта на шахтах. Многочисленные факторы, влияющие на образование подземного грузопотока, не позволяют представить грузопоток как детерминированный процесс. В связи с этим, автор делает вывод, что забойный грузопоток необходимо рассматривать как случайный процесс, достаточно полное математическое описание, которого может быть получено при использовании понятий теории случайных функций.

Забойный грузопоток изучался в реальных производственных условиях с последующей обработкой статистических данных для получения необходимых качественных и количественных характеристик грузопотока. Были получены реализации случайного прерывистого забойного грузопотока $Q_3(t)$ в течение одной рабочей смены. Значения грузопотока фиксировались через одну минуту. Так как этот интервал времени мал по сравнению с временем рабочей смены, то полученные реализации должны довольно верно отражать действительную картину поступления груза из забоя.

Мерцаловым Р.В. [30] первоначально предполагается нормальность распределения забойного грузопотока и непрерывные реализации $Q_3(t)$ изучаются как случайный стационарный процесс с нормальным одномерным законом распределения.

В работе были определены следующие статистические характеристики грузопотоков $Q_3(t)$: математическое ожидание, дисперсия (среднее квадратическое отклонение) – $m_Q(t)$, $D(t)$, корреляционная функция – $R_Q(\tau)$ и спектральная плотность – $S_Q(\omega)$. Для нахождения этих характеристик использовались результаты хронометражных наблюдений за процессами погрузки угля в

вагонетки на сопряжениях лав с откаточными штреками. Для проверки стационарности непрерывных грузопотоков были определены функций $m_Q(t)$, $\sigma_Q(t)$, $R_Q(\tau)$ путем осреднения по множеству реализации $Q_3(t)$.

В результате подтвердилось предположение о стационарности непрерывного забойного грузопотока. В данных исследованиях было обнаружено, что корреляционная связь значений непрерывного грузопотока практически исчезает при $\tau = 10_{мин}$, что свидетельствует о значительной динамике непрерывных забойных грузопотоков. Характер изменения $R_Q(\tau)$ позволил аппроксимировать значения функции экспоненциальной зависимостью.

$$R_Q(\tau) = e^{-\alpha|\tau|} \quad (1.6)$$

Мерцаловым Р.В. исследованы также промежутки непрерывного поступления груза на транспортные установки и отсутствие его за периоды рабочих смен. Автор считает единственно возможным методом изучения случайных промежутков статистический анализ результатов шахтных наблюдений и сводит решение задачи к нахождению законов распределения длительности указанных промежутков.

В работе [30] рассматривается также задача определения суммарного грузопотока и решается она аналитическим путем, исходя из известных статических свойств и характеристик забойных грузопотоков. Суммарный грузопоток $Q_{\Sigma n}(t)$, формирующийся от добычных участков представляется как сумма забойных грузопотоков

$$Q_{\Sigma n}(t) = Q_{31}(t) + Q_{32}(t) + \dots + Q_{3n}(t) \quad (1.7)$$

В зависимости от числа забойных грузопотоков, поступающих на сборный скребковый и ленточный конвейер в каждый момент времени, различают уровни интенсивности суммарного грузопотока и определяются следующие его характеристики [31, 68]:

- а) число возможных уровней интенсивности,
- б) вероятности каждого уровня интенсивности,
- в) статистические свойства и характеристики суммарного грузопотока на каждом уровне интенсивности,
- г) распределение числа возможных переходов с одного уровня интенсивности на другой на промежутке времени T (например, за время рабочей смены).

При решении задач, связанных с регулированием скорости скребковых и ленточных конвейеров, автор справедливо считает, что необходимо знать, как часто суммарный грузопоток может переходить с одного уровня интенсивности на другой, в течение, например, одной рабочей смены. Число переходов будет случайным и поэтому необходимо определить закон распределения числа возможных переходов суммарного грузопотока за время рабочей смены.

Переходы суммарного грузопотока автор рассматривает как поток событий, происходящих в случайные моменты времени t_1, t_2, t_3 и т.д. При этом моменты переходов на более высокий уровень соответствуют началам промежутков θ_{1i} непрерывного поступления груза из забоев, а моменты переходов на более низкий уровень – началом промежутков θ_{2i} отсутствия груза. Поэтому поток переходов $L_{\Sigma n}$ автор рассматривает как результат взаимного наложения независимых случайных потоков L_{3i} , последовательно чередующихся непрерывных поступлений и отсутствий груза от добычных участков. Согласно результатам, выполненным исследованиям каждый из потоков L_{3i} является ординарным и оказывает на суммарный поток статистически одинаковое влияние. Поэтому, допуская неизменность во времени вероятностных характеристик каждого из потоков L_{3i} , практически при $n \geq 3$ с результирующим потоком $L_{\Sigma n}$ можно оперировать как с простейшим. При этом он делает вывод, что вероятность того, что за время T рабочей смены

суммарный грузопоток ровно k раз перейдет с одного уровня интенсивности на другой, может быть оценена по закону Пуассона:

$$p_k(T) = \frac{(\lambda_{\Sigma n} T)^k}{k!} e^{-\lambda_{\Sigma n} T} \quad (1.8)$$

$\lambda_{\Sigma n} = \sum_{i=1}^n \lambda_{zi}$ - плотность переходов суммарного грузопотока (среднее число переходов в единицу времени);

λ_{zi} - плотность потока поступлений и отсутствий груза для i -го забоя.

Необходимо заметить, что указанное предположение справедливо для случая, когда уровень переключения выбора достаточно высок. В общем случае это утверждение не совсем корректно [47].

В этой же работе выполнен анализ длительности непрерывного поступления T_n и отсутствия T_0 забойного грузопотока и установлено, что они также носят случайный характер и распределение этих промежутков можно аппроксимировать показательным законом; плотность распределения предлагается определять по формуле, полученной эмпирическим путем

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (1.9)$$

Эти же предположения относительно закона распределения T_n и T_0 подтверждаются в работах [26, 32].

На основании обработки большого числа экспериментальных данных, автором были получены следующие значения основных характеристик грузопотоков при работе комбайнов:

Комбайн 1К – 52П

$$M_Q = 2,37 \text{ т/мин,}$$

$$\delta_Q = 0,94 \text{ т/мин,}$$

$$R_Q = e^{-0,249}$$

$$S_Q(\omega) = \frac{0,432}{\pi(0,047 + \omega^2)}$$

Комбайн ВГД – I

$$M_Q = 1,71 \text{ т/мин},$$

$$\delta_Q = 0,68/\text{мин},$$

$$R_Q = e^{-0,216}$$

$$S_Q(\omega) = \frac{0,498}{\pi(0,062 + \omega^2)}$$

В работе [30] также получены и построены графики спектральных плотностей грузопотоков как преобразование Фурье корреляционной функции (рис.1.2) и корреляционных функций (рис.1.3) при работе вышеуказанных комбайнов. Таким образом, в работе показано, что грузопоток представляет собой случайный стационарный процесс с математическим ожиданием m_Q , дисперсией D_Q и нормированной корреляционной функцией $R_Q(\tau) = e^{-\alpha|\tau|}$.

Высокая неравномерность забойных грузопотоков, как уже отмечалось, характерна и для угольных шахт Донбасса [32, 44, 41, 42].

Грузопоток, поступающий из очистного забоя на транспортную систему, в работе Пономаренко В.А [44] аппроксимируется случайной функцией с распределением мгновенных значений производительности по нормальному закону.

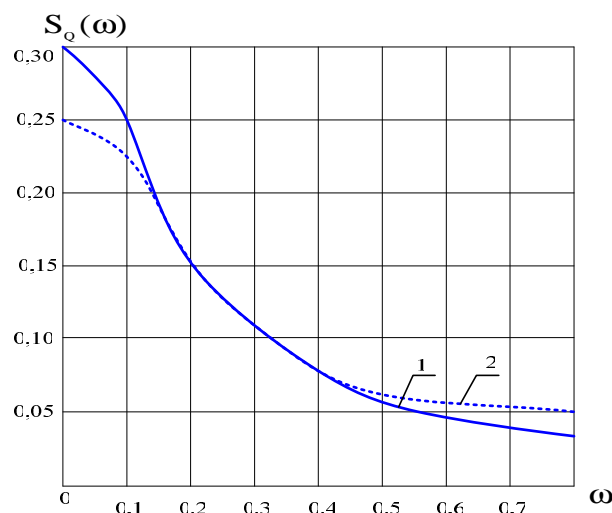


Рис. 1.2. Графики спектральных плотностей грузопотоков, полученных при работе комбайнов (кривая 1- комбайн ИК -52П, кривая 2-комбайн ЛГД-І).

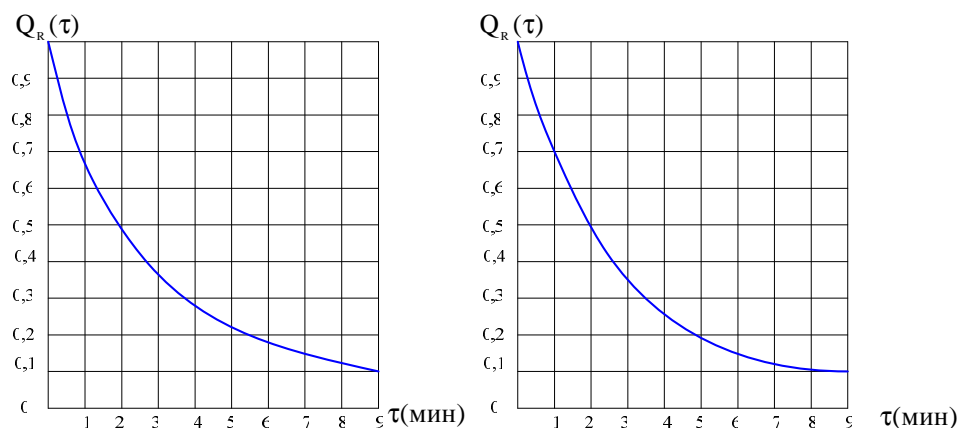


Рис. 1.3. Графики корреляционных функций грузопотоков, полученных при работе: а) комбайна ИК-52-III и б) комбайна ЛГД-I.

$$f(Q) = \frac{1}{\delta_Q \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(Q - m_Q)^2}{2\delta_Q^2}\right) \quad (1.10)$$

В работе [44] определялись, исходя из хронометражных наблюдений за характером грузопотоков из лав, математическое ожидание m_Q и дисперсия $D = \delta_Q^2$ грузопотоков. По результатам расчетов построена корреляционная функция $R(\tau)$ и аппроксимирована с использованием метода Дж.К.Ленияга и Р.Г.Веттина.

$$R(\tau) = \delta_Q^2 e^{-\alpha_0 \tau} \cos \omega_0 \tau \quad (1.11)$$

Для изучения эксплуатационных режимов работы забойных конвейеров Нгуен Монг Хунг [33] исследовал случайный грузопоток в реальных условиях на шахтах Донбасса, оборудованных узкозахватными комплексами КМ-87 и струговыми установками УСБ-2М.

В результате обработки данных в работе [33] определены качественные и количественные характеристики грузопотока. Полученное выражение для плотности вероятности распределения минутной производительности грузопотока на шахтах Донбасса не противоречит гипотезе о нормальном распределении.

$$f(Q) = \frac{1}{1,017\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(Q_i - 2,9)^2}{2 \cdot 1,017^2}\right) \quad (1.12)$$

Параметры грузопотока $m_Q=2,9$ т/мин, $\delta_Q=1,017$ т/мин. Фактический коэффициент неравномерности грузопотока 1,73. В этой же работе были проведены наблюдения в шахтах, оборудованных комбайнами МК64. Автор приходит к выводу, что в этом случае плотность распределения минутной производительности грузопотока подчиняется нормальному логарифмическому закону распределения:

$$f(\lg Q) = \frac{1}{0,3425} \exp\left(-\frac{(\lg Q_i - 0,1059)^2}{0,0374}\right) \quad (1.13)$$

с количественными характеристиками $m_Q=1,33$ т/мин, $\delta_Q = 0,38$ т/мин и $k=2,18$.

Автором была исследована и определена вероятность отсутствия грузопотока (t_0) в данных забоях в течение времени t .

$$p(t) = \exp(-\lambda t) = \exp(-0,156 t) \quad (1.14)$$

Для лав, оборудованных комплексами КрМК

$$m_{t_0}=6,08 \text{ мин}$$

$$\delta_{t_0}=5,57 \text{ мин}$$

$$f(t_0)=0,164\exp(-0,164t)$$

Для лав, оборудованных струговыми установками УСБ-2М

$$m_{t_0}=7,625 \text{ мин}$$

$$\delta_{t_0}=8,1 \text{ мин}$$

$$f(t_0)=0,13 \exp(-0,13 t)$$

В работе проведена статистическая оценка длительности поступления грузопотока в забоях, оборудованных комплексами КМ-87Т

$$m_{t_n}=6,0 \text{ мин}$$

$$\delta_{t_n}=5,13 \text{ мин}$$

$$f(t_n)=0,18\exp(-0,18t)$$

Для лав, оборудованных комплексами КрМК

$$m_{\text{тн}}=8,81 \text{ мин}$$

$$\delta_{\text{тн}}=5,95 \text{ мин}$$

$$f(t_{\text{н}})=0,113\exp(-0,113t)$$

Для лав, оборудованных струговыми установками УСБ-2М

$$m_{\text{тн}}=7,91 \text{ мин}$$

$$\delta_{\text{тн}}=7,18 \text{ мин}$$

$$f(t_{\text{н}})=0,126\exp(-0,126t)$$

Таким образом, экспериментами многих авторов установлено, что забойные грузопотоки являются случайными функциями времени и могут быть описаны, как случайные стационарные процессы с нормальным или нормально логарифмическим распределением, а длительности поступления и отсутствия грузопотока из забоя представляют собой случайные величины, подчиняющиеся показательному распределению.

Неравномерность грузопотока вызывает большое недоиспользование производительности конвейеров. Коэффициенты использования конвейеров по производительности составляют:

$$k_Q=70\% \text{ (для лав, оборудованных КМ-87 т)}$$

$$k_Q=40\% \text{ (для лав, оборудованных КрМК)}$$

Коэффициенты использования конвейеров по времени для тех же лав соответственно $K_t=0,208$, $K_t=0,224$ [33].

1.2. Обзор работ по регулированию скорости скребкового и ленточного конвейеров в зависимости от интенсивности грузопотока.

Все типы конвейеров осуществляют непрерывную доставку груза, причем пропускная способность этого вида транспорта, при заданной скорости – постоянна: Следовательно, для эффективного использования системы транспорта шахты необходимо иметь непрерывный и равномерный поток груза, равный номинальной производительности скребкового и ленточного конвейера.

Однако, поскольку установлено, что грузопоток из лавы при использовании буровзрывного способа разработки угольного пласта неравномерен, то для повышения эффективности использования системы транспорта шахты необходимо или воздействовать на грузопоток, меняя его характеристики (осреднения) или регулировать скорость скребковых и ленточных конвейеров.

Под осреднением подразумевается сглаживание неравномерности грузопотока с помощью осредняющих емкостей. Применение аккумулирующих (осредняющих) емкостей обеспечивает непрерывную работу выемочной машины в случае кратковременного отказа одного из звеньев транспортной схемы, и, кроме того, позволяет более эффективно использовать скребковую и ленточную конвейерную установку, рационально выбирать параметры скребкового и ленточного конвейеров.

Но создание достаточно больших аккумулирующих емкостей в шахтах обходится дорого, а иногда и не представляется возможным. Более перспективными представляется применение осредняющих емкостей.

Существенное повышение эффективности использования скребкового и ленточного конвейерного транспорта может быть достигнуто путем регулирования скорости скребковых и ленточных конвейеров в зависимости от грузопотока.

При регулировании скорости снижается износ ленты, появляется возможность рассчитывать ширину полотна не по максимальному грузопотоку,

который возникает лишь в отдельные моменты, а по какому-то среднему значению.

Регулировать скорость скребкового и ленточного конвейера можно двумя способами: непрерывно и дискретно.

Принцип дискретного регулирования основан на скачкообразном изменении скорости движения скребкового и ленточного конвейера при достижении входным грузопотоком некоторых пороговых, принятых за уровень переключения (рис.1.4). При непрерывном регулировании предполагается создание такого режима работы скребкового и ленточного конвейеров, при котором скорость ленты изменяется пропорционально грузопотоку, таким образом, чтобы погонная нагрузка на ленте q оставалась постоянной и близкой к максимально возможной расчетной (рис.1.5).

В последние годы в ряде институтов выполнены исследования, посвященные вопросам целесообразности регулирования скорости подземных скребковых и ленточных конвейеров в зависимости от грузопотоков [37, 38, 39, 48, 49, 52].

В работе д.т.н. Солода Г.И. [48] обосновывается целесообразность регулирования скорости забойных скребковых и ленточных конвейеров в зависимости от скорости движения комбайна. Приемлемое регулирование скорости скребковых и ленточных конвейеров возможно выполнять только с помощью автоматических систем.

Изменение скорости приводит к изменению фактической погонной нагрузки на конвейере. Этот процесс продолжается до тех пор, пока сигнал рассогласования не будет равен нулю. Таким образом происходит стабилизация погонной нагрузки на конвейере.

В этой схеме роль элемента обратной связи выполняет сам скребковый и ленточный конвейер, а так как скребковый и ленточный конвейер и элементы автоматического регулирования являются инерционными, то естественно, что реакция конвейера на изменения грузопотока произойдет не сразу, а с

некоторым запаздыванием, что является существенным недостатком данной схемы. Поэтому во избежание просыпания груза или недогрузки конвейера желательно измерять грузопоток с некоторым опережением во времени. В работе [48] приводится блок-схема системы автоматического регулирования, которая следит за изменением погонной нагрузки на предыдущем конвейере и в соответствии с этим производит регулирование скорости последующего.

Очевидно, что принципиального отличия в схемах автоматического регулирования скоростей скребковых и ленточных конвейеров, входящих в разветвленные конвейерные линии не будет. Однако схемы регулирования скоростей отдельных скребковых и ленточных конвейеров, должны быть увязаны в общую схему.

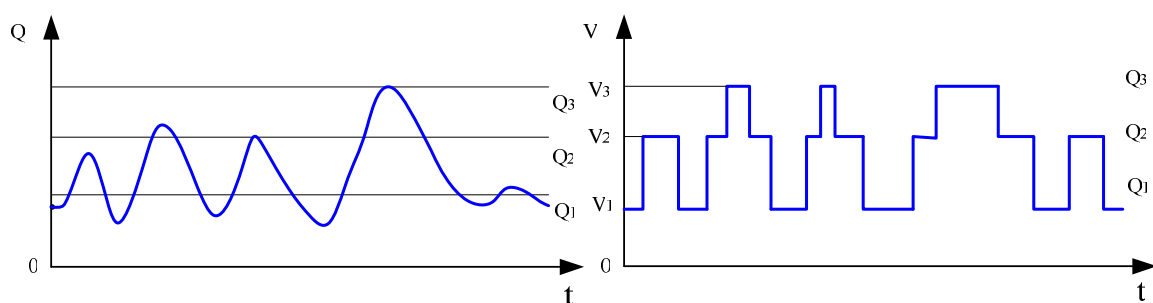


Рис.1.4. Принцип дискретного регулирования скорости конвейерной ленты.

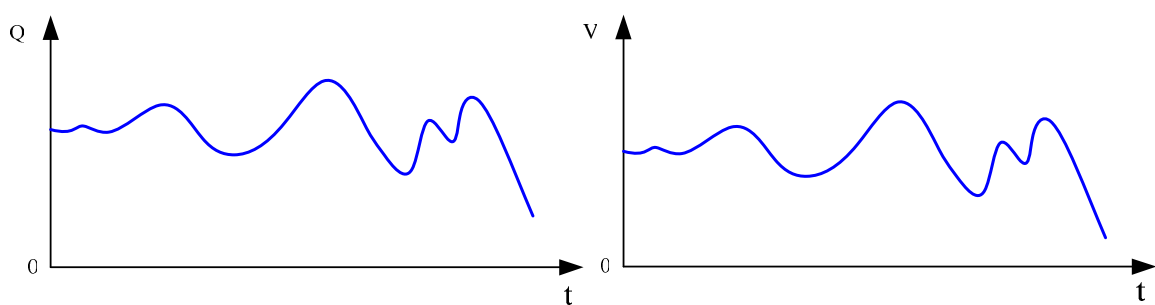


Рис 1.5. Принцип непрерывного изменении скорости конвейерной ленты.

Папоян Р.Л. в работе [38] выполнил подобные расчеты на примере конвейера (Л-80) для штрека и сборной линии при комбайновой и струговой выемке угля; полученные обобщенные данные сведены в таблицу. При

расчетах были сделаны следующие допущения: а) грузопоток из лавы непрерывен; б) периоды работы конвейера на различных ступенях скорости равны между собой; в) переключение скорости конвейера с меньшей на большую осуществляется при достижении выемочной машиной уровня производительности, которую может обеспечить скребковый и ленточный конвейер, работая на меньшей ступени скорости [1,2].

В данной работе не рассматривалась загрузка ленты при переключениях скорости в обратном направлении, так как полагалось, что предельные уровни заполнения ленты в обоих случаях остаются неизменными. Из приведенной в работе таблицы следует, что при изменении производительности выемочной машины в пределах 1:3 наибольшее увеличение уровня загрузки скребкового и ленточного конвейера достигается при использовании трехскоростных двигателей (24,3%), а при колебаниях грузопотока 1:4 – четырехскоростных двигателей (32,4%). Из таблицы видно, что в последнем случае применение четырехскоростного двигателя дает весьма незначительный эффект (1,5%). Автор определил также рациональное количество ступеней регулирования скорости: а) конвейеров сборных линий при комбайновой выемке; б) штрековых конвейеров при комбайновой выемке; в) штрековых и конвейеров сборных линий при струговой выемке угля.

Максимальное повышение использования сборного скребкового и ленточного конвейера достигается при диапазоне регулирования сборного скребкового и ленточного конвейера 1:3 и при четырех ступенях регулирования. Показано, что для осуществления регулирования скорости штрековых скребковых и ленточных конвейеров достаточно иметь двухскоростной двигатель. Однако, по расчетам производительность из лавы может изменяться в соотношениях от 1:1,5 до 1:3 и даже больше, поэтому для удобства настройки скребкового и ленточного конвейеров на требуемый режим, автор предлагает использовать четырехскоростной асинхронный двигатель. Часть ступеней в этом случае использоваться не будет, однако, с

точки зрения унифицирования привода штрековых скребковых и ленточных конвейеров такой выбор оправдан.

Переключение скоростей штрековых скребковых и ленточных конвейеров при струговой выемке должно производиться довольно часто. Сборные скребковые и ленточные конвейеры естественно будут работать с гораздо большей частотой переключения скоростей, поэтому автор считает нецелесообразным применять дискретное регулирование скорости для разветвленных линий при струговой выемке.

В результате проведенных исследований в работе [38] делаются следующие выводы: так как грузопоток из очистных зобов изменяется с большой частотой, то исключается возможность применения непрерывного регулирования скорости скребкового и ленточного конвейеров в зависимости от величины грузопотока. В связи с этим рекомендуется дискретное регулирование (правда, при этом степень использования конвейера снижается по сравнению с непрерывным регулированием). Для этой цели могут быть использованы серийно выпускаемые промышленностью взрывобезопасные четырехскоростные асинхронные двигатели и редукторы со сменными забчатыми колесами.

При регулировании скорости сокращается длина пробега тягового органа скребкового и ленточного конвейеров, и это сокращение выражается показателем эффективности регулирования скорости

$$\lambda = \frac{V_{\text{рас}}}{V_{\text{ср}}} \quad (1.15)$$

где: $V_{\text{рас}}$ - расчетная скорость конвейера или скребкового конвейера;

$V_{\text{ср}}$ - средняя скорость конвейера или скребкового конвейера;

Иная точка зрения на число ступеней регулирования скорости высказано в этой работе. В ней число ступеней определяется исходя из диапазона изменения производительности выемочной машины, то есть исходя из изменения коэффициента неравномерности забойного грузопотока.

Сопротивление резанию в течение рабочего цикла может меняться в 2-3 раза, следовательно, производительность конвейера тоже варьируется в 2 -3 раза. Соответственно этому диапазону изменения грузопотока целесообразно обеспечивать работу скребкового и ленточного конвейеров с 2-3 скоростями.

В работе приводится методика расчета скоростей скребкового и ленточного конвейеров. При этом авторы исходят из следующих условий:

- 1) Скребковый и ленточный конвейер должен обеспечить максимальную, экономически целесообразную и технически возможную производительность выемочной машины;
- 2) Средняя скорость движения тягового органа должна быть минимальной.

При непрерывном регулировании скорости обеспечивается постоянная площадь сечения груза на скребковом и ленточном конвейерах, поэтому можно сказать, что путь пробега в этом случае сокращается в λ раз, поэтому в работе [8] рекомендуют считать, что в λ раз меньше будет износ цепи, рештаков, так как степень износа линейно зависит от длины пути.

При необходимости регулировать скорость скребкового и ленточного конвейеров возникает вопрос о выборе типа регулируемого привода.

Как указывалось, выше, Напоян Р.Л. [38] при дискретном регулировании предлагает следующие типы двигателей:

- 1) Многоскоростной асинхронный двигатель.
- 2) Короткозамкнутый асинхронный двигатель со статическим преобразователем.
- 3) Регулируемый объемный гидропривод.
- 4) Электромеханический двухдвигательный дифференциальный привод.

В работе [32] для непрерывного регулирования скорости скребкового и ленточного конвейеров по грузопотоку предлагается гидропривод и для дискретного механический способ регулирования с помощью коробки скоростей.

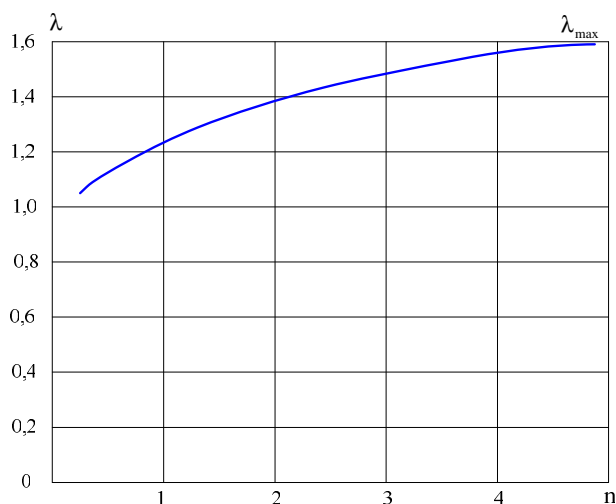


Рис 1.6. Зависимость коэффициента эффективности регулирования λ от числа ступеней регулирования скорости.

Шаходжаевым Л.Ш. [64] рассмотрены вопросы, связанные с выбором способа регулирования скорости конвейера. Автор выделяется два способа:

- 1) регулирование скорости конвейера путем регулирования числа оборотов самого двигателя;
- 2) регулирование скорости скребкового и ленточного конвейеров с применением двух нерегулируемых двигателей и дифференциального редуктора. Эта схема предложена д.т.н. проф. Солодом Г.И. [49] и предназначается для ступенчатого регулирования скорости скребкового и ленточного конвейера в зависимости от фактического поступления груза.

В этой же [64] работе высказано предположение, что регулирование скорости скребкового и ленточного конвейера может быть осуществлено с применением гидропривода. Однако в этом случае значительно увеличится суммарная мощность, поэтому к гидроприводу автор считает целесообразным перейти, когда на шахтах широко будут применяться гидроустановки.

Работа Крауса Э.Г. [20] посвящена исследованию типов привода, которые наиболее целесообразно использовать при непрерывном регулировании скорости скребковых и ленточных конвейеров. В работе приводится анализ систем электроприводов с точки зрения изменения мощности питаемого

двигателя при повышении напряжения сети и показано что, а абсолютном большинстве случаев достаточная мощность двигателя постоянного тока составляет 0,7 от мощности асинхронного двигателя при одинаковом напряжении. Кроме того, чем больше мощность потребителей, тем выгоднее применять двигатели постоянного тока и во всех шахтных сетях по гибким кабелям выгоднее передавать постоянный ток. В работе определяется также величина экономии электроэнергии при регулировании скорости скребкового и ленточного конвейеров и постоянной высоте слоя угля на грузовом полотне. Теоретически возможная экономия энергии по данным автора составляет 60%.

Автор показывает, что достоинством регулируемого привода скребковых и ленточных конвейеров является значительное, благодаря применению глубокого регулирования скорости, увеличение срока службы скребковых и ленточных конвейеров и увеличение их надежности в эксплуатации. Режим работы скребковых и ленточных конвейеров характеризуется значительными динамическими нагрузками при пуске, а регулируемый провод постоянного тока может обеспечить их значительное снижение.

В результате анализа автор рекомендует при непрерывном регулировании скорости скребковых и ленточных конвейеров применять управляемый полупроводниковый выпрямитель-двигатель с последовательным возбуждением.

Таким образом, многими авторами рассмотрен вопрос о необходимости и целесообразности регулирования скорости скребкового и ленточного конвейеров. Сделаны некоторые попытки в рекомендации способов регулирования, выборе типа двигателей.

1.3. Управление скоростью ленточным и скребковым конвейерами по объему угля.

При эксплуатации горнотранспортного оборудования становится ясно, что в настоящее время это электроприводы оказываются в значительной степени недоиспользованными, как по производительности, так и по времени работы. Это приводит к нецелесообразным затратам на электроэнергию, уменьшению сроков эксплуатации ленты и роликов и, следовательно, к повышению стоимости транспортирования угля.

Неравномерность угольного объема вызывает большое снижение производительности системы электропривода. По данным наблюдений, коэффициент использования их по производительности составляет в настоящее время $K_Q = 45-70\%$, а коэффициент использования скребковых и ленточных конвейеров по времени [42] $K_t = 0,208-0,224$.

Задача равномерной загрузки скребковых и ленточных конвейеров решается с применением усредняющих бункеров или регулированием скорости электродвигателя. В [65], на основе вероятностного подхода, описана динамика грузопотока и решается задача автоматизированного регулирования скорости скребковых и ленточных конвейеров, а также пускового процесса. Рассмотренная работа в основном посвящена режиму работы их с загрузкой его в одной точке. Однако этот частный случай является достаточно распространенным в практике.

В развивающихся странах, скребковые и ленточные конвейеры современных угольных шахт, не имея средств воздействия на угольный объем, некоторую часть времени работают при сниженном объеме угля, а иногда в холостую, что подтверждается работами [3, 4]. Основными целями регулирования скоростью, которые обычно ставятся, являются уменьшение времени работы электродвигателей с нулевой нагрузки и снижение износа элементов системы электроприводов, повышение К.П.Д. установок за счет уменьшения расхода электроэнергии.

При регулировке скорости скребкового и ленточного конвейеров, как уже отмечалось, используют два способа: дискретный и непрерывный. Первое регулирование (рис.1.7) основано на изменении скорости электродвигателя (или движения скребковых и ленточных конвейеров), при достижении входным угольным объемом некоторых пороговых значений, принятых за уровни переключения.

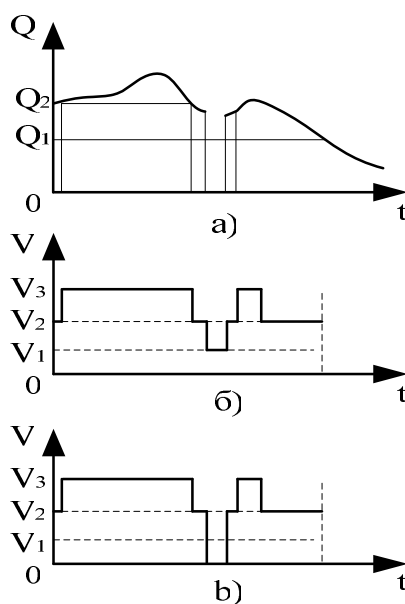


Рис.1.7. Дискретное регулирование скорости электродвигателя.

а) поступление груза;

б) при отсутствии груза электродвигатель работает с наименьшей скоростью;

в) электродвигатель останавливают.

Непрерывное регулирование (рис.1.8) предполагает создание такого режима работы электродвигателя (или движения скребковых и ленточных конвейеров), при котором скорость ленты изменяется пропорционально угольному объему таким образом, чтобы погонная нагрузка на ленте оставалась постоянной и максимально возможно расчетной [25].

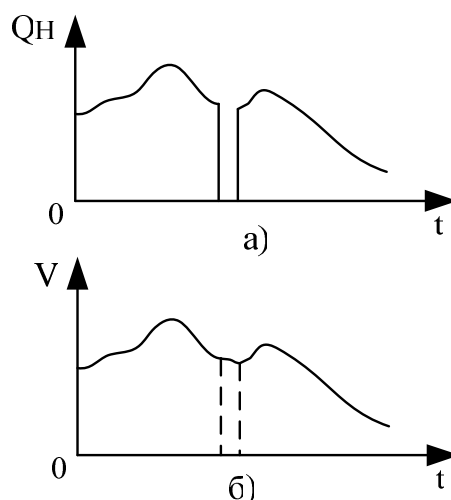


Рис.1.8. Непрерывное регулирование скорости электродвигателя.

а) поступление груза

б) характер изменения скорости при отсутствии груза скорость уменьшается.

Мерцалов Р.В. [30] предлагает выполнять автоматические системы для регулирования скорости, либо по принципу системы стабилизации, предназначенной для поддержания регулируемого параметра на заданном уровне в соответствии с конкретной программой, либо по принципу следящих систем, с помощью которых на управляемом объекте, в виде определенной величины, воспроизводится изменение входной величины. В первой системе регулируемым параметром является фактическая погонная нагрузка на скребковый и ленточных конвейеры q_f , основным возмущающим воздействием – величина грузопотока $Q(t)$, а заданной величиной – сигнал, пропорциональный расчетной погонной нагрузке $q_{ном}$. В системе имеется элемент сравнения, на один вход которого подается сигнал пропорциональной расчетной нагрузки, сигнал рассогласования поступает на регулирующий орган, который изменяет скорость скребкового и ленточного конвейеров. Изменение скорости приводит к изменению фактической погонной нагрузки на скребковом и ленточном конвейерах. Этот процесс продолжается до тех пор,

пока сигнал рассогласования не будет равен нулю. Таким образом, происходит стабилизация погонной нагрузки на скребковом и ленточном конвейерах.

В этой схеме роль элемента обратной связи выполняют сами скребковый и ленточный конвейеры, а так как скребковый и ленточный конвейеры являются инерционным, и то, естественно, что их реакция на изменение грузопотока произойдет не сразу, а с некоторым запаздыванием. В этой же работе приводится блок-схема системы автоматического регулирования, которая следит за изменением погонной нагрузки на предыдущем скребковом и ленточном конвейерах и, в соответствии с этим, производит регулирование скорости последующего.

При дискретном регулировании скорости скребкового и ленточного конвейеров, прежде всего, определяется необходимое количество ступеней скоростей привода. Существуют различные точки зрения относительно количества ступеней.

Степень использования скребкового и ленточного конвейеров по производительности может характеризоваться длиной пробега несущего органа при транспортировании определенного количества угля. Однако в работе [30] не использован вероятностный подход для решения задачи автоматического регулирования скорости скребкового и ленточного конвейеров.

В работе Бишеле И.В. и Нгуен Мюяг Хуяг [6], посвященной выбору рациональных ступеней регулирования скорости скребковых и ленточных конвейеров, отмечается, что в связи с общей тенденцией повышения скорости скребковых и ленточных конвейеров, регулирование скорости движения скребковых и ленточных конвейеров приобретает особенно большое значение, так как недоиспользование скребковых и ленточных конвейеров по производительности приводит к еще большему износу трущихся деталей конвейера.

В работе [65] на основании обработки обширных экспериментальных данных и их обобщения были определены следующие статистические

характеристики грузопотока $Q(t)$: математическое ожидание $m_Q(t)$ дисперсия (среднее квадратическое отклонение $D_Q(t)$, корреляционная функция $R_Q(t)$ и спектральная плотность $S_Q(t)$. Для проверки стационарности непрерывных грузопотоков были определены значения функций $\tilde{m}_Q(t)$, $\tilde{\sigma}_Q(t)$, $\tilde{R}_Q(t)$ путем осреднения по множеству реализаций $Q(t)$.

Исследование создания систем автоматического регулирования скорости скребковых и ленточных конвейеров посвящены работы авторов: Глянь Д.В, Петкова О. Н, Оголобченко А.С. Фоменко А.И, Петков О.Н, Лукомский Л.В и др. [29, 15, 35, 39, 19, 42].

Основная задача предлагаемых систем автоматического регулирования скорости скребковых и ленточных конвейеров – повышение экономической эффективности эксплуатации скребковых и ленточных конвейеров путем согласования режимов их работы с фактическим переменным грузопотоком, а также стабилизация погонной нагрузки на участковых скребковых конвейерных линиях (или участковых ленточных конвейерных линиях) и магистральных конвейерных линиях. В качестве критерия оптимальности принимают квадратичный функционал, который интегрально характеризует качество переходных процессов и величину энергетических затрат на движение.

Однако экономическая эффективность регулирования производительности их зависит от скорости и натяжения ленты, которое обуславливается весом груза на конвейере и конструктивными параметрами их, а в частности, углом установки, поэтому для конкретных условий эксплуатации системы транспорта требуется дополнительное обоснование экономической эффективности применения системы мониторинга и управления, выполняющий автоматическое регулирование скорости электродвигателей.

Динамичное развитие частотных преобразователей и их использование в работе приводных двигателей ленточных конвейеров подтвердили их полную пригодность к регулированию скорости скребкового и ленточного конвейеров.

В настоящее время на рынке есть несколько разных типов частотных преобразователей для приводов горного оборудования, например, частотные преобразователи производства фирмы «bartec» (бартек) Германия, «Invt electric system (suzhou) co.,ltd.» (Инвт) Китай, преобразователи частоты взрывозащищенные типа ПЧВ-К У5, ВР11 для управления приводом на подземных шахтах [81, 75, 34].

Вопросы автоматического управления накопительным бункером рассмотрены в работах Мерцалова Р. В., Солода Г. И., Трухина П. М.. В работе [45] описана аппаратура АУБ, обеспечивающая выполнение следующих функций:

- контроль состояния бункера (открыт/закрыт);
- местное управление бункером.

Однако, аппаратура АУБ выполнена на релейно-контактной схеме, что не позволяет включить ее в состав компьютерно-интегрированной системы мониторинга и управления конвейерным транспортом.

1.4. Дискретное регулирование скорости скребкового и ленточного конвейеров в зависимости от грузопотока.

Как отмечалось выше, регулировать скорость скребкового и ленточного конвейеров возможно двумя способами: дискретно и непрерывно. В данной параграфе рассмотрены вопросы дискретного регулирования.

Принцип дискретного регулирования основан на скачкообразном изменении скорости движения скребкового и ленточного конвейеров при достижении входных грузопотоков некоторых пороговых значений, принятых за уровни переключения. При дискретном способе регулирования возможно два решения вопроса о скорости скребкового и ленточного конвейеров при отсутствии груза: скребковый и ленточный конвейеры работают с наименьшей скоростью, с тем чтобы исключить введение специальной ступени (рис. 1.9), или конвейеры останавливаются. Оба варианта не лишены недостатков. В первом случае – выигрыш в электроэнергии, в сроках службы ленты и роликов уменьшается; во втором - создаются весьма неблагоприятные условия для

двигателя и для ленты, поскольку пуск скребкового и ленточного конвейеров с нулевой скорости вызывает большие пусковые моменты двигателя, а, следовательно, и большие пусковые токи [33], что может привести к перегреву двигателя; пуск скребкового и ленточного конвейеров с нулевой скорости также вызывает повышенные динамические нагрузки в ленте [13,33], приводящие к дополнительным усталостным явлениям.

При анализе работы данную систему регулирования следует рассматривать как автоматическую систему без обратных связей.

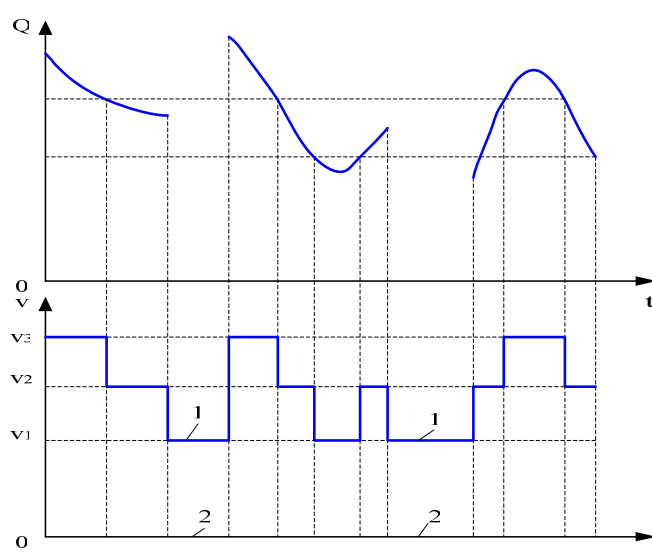


Рис. 1.9. Выбор скорости движения конвейерной ленты при отсутствии грузопотока: (1 - конвейер работает на первой скорости, 2 – конвейер останавливается).

При дискретном регулировании скорости основной интерес для исследования режимов работы конвейера представляют следующие вопросы: определение уровней переключения скорости, обеспечивающих минимизацию некоторых величин, например, наименьший пробег ленты; определение величины средней погонной нагрузки.

1.4.1. Определение оптимальных уровней переключения скорости скребковых и ленточных конвейеров.

В настоящее время, для обеспечения бесперебойной работы комплексно механизированных лав, производительность каждого конвейера должна определяться исходя на наиболее вероятной, в данных условиях, максимальной минутной производительности выемочной машины, которая в основном зависит от конструкции комбайна и горногеологических условий лавы.

Были проанализированы данные о наиболее вероятной максимальной производительности основных типов узкозахватных комбайнов в зависимости от вынимаемой мощности пласта при сопротивлении резанию до 240 кг/см. Установлено, что максимальное значение минутной производительности комбайна может изменяться в 1,25-1,75 раза (в зависимости от вынимаемой мощности пласта), а затупление зубков выемочных машин в 1,25-1,5 раза [58], следовательно, сопротивление резанию меняется в 2-3 раза, поэтому целесообразно обеспечить работу конвейера максимум с тремя скоростями.

Задача определения рациональных уровней переключения скорости, исходя из условия обеспечения минимума длины пробега конвейерной ленты, была решена в работе [56] для скребкового конвейера. Определены скорости ленточного конвейера для случая, шахт Донбасса, когда входной грузопоток имеет следующие характеристики (КМ-87Т): математическое ожидание $m_Q=2,9\text{т/мин}$ дисперсия $\delta=1\text{т/мин}$ [42].

Степень использования скребкового и ленточного конвейеров по производительности может характеризоваться длиной пробега несущего органа (конвейерной ленты) при транспортировании определенного количества угля. Сокращение длины пробега выражается показателем эффективности использования скребкового и ленточного конвейеров.

При непрерывном регулировании скорости скребкового и ленточного конвейеров в зависимости от грузопотока (площадь сечения груза на ленте

остается постоянной, а скорость ленты – величина переменная). средняя скорость конвейера определяется из следующего выражения.

$$v_{cp} = \frac{m_Q}{F \cdot \gamma \cdot c} \quad (1.17)$$

M_Q - средняя производительность (математическое ожидание);

F - площадь сечения груза на ленте, m^2 ;

γ - насыпной вес груза, t/m^3 ;

$$v_{pac} = \frac{Q_{pac}}{F \cdot \gamma \cdot c} \quad (1.18)$$

V_{pac} – постоянная нерегулируемая скорость;

Q_{pac} - расчетная производительность;

$$\lambda = \frac{v_{pac}}{v_{cp}} \quad (1.19)$$

λ - показатель эффективности регулирования скорости.

При выборе рациональных уровней регулирования скорости необходимо выполнить следующие условия:

1) скребковый и ленточный конвейеры должны обеспечить максимальную экономически целесообразную и технически возможную производительность выемочной машины;

2) средняя скорость движения ленты (V_{cp}) должна быть минимальной.

При выборе ступени регулирования v_1 и v_2 , предполагается $v_1 < v_2$. Верхний предел регулирования v_2 выбирается из первого условия, нижний предел V_1 - из второго условия.

Так как производительность конвейера Q линейно зависит от его скорости ($Q=C'V$), то

$$V_1 = \frac{Q_1}{C'}; \quad V_2 = \frac{Q_2}{C'}; \quad (1.20)$$

где $C' = F \cdot \gamma \cdot c$ и $0 < V_1 < V_2$

F - максимальное возможное сечение материала в желобе конвейера, м^3 .

Для обеспечения постоянной площади сечения грузопотока на скребковом и ленточном конвейерах скорость V_1 включается, когда грузопоток угля $Q(t)$, поступающий на скребковый и ленточный конвейеры, находится в интервале $0 < Q(t) \leq Q_1$, а скорость V_2 , когда $Q_1 < Q(t) \leq Q_2$, то есть переключение скорости скребкового и ленточного конвейеров с меньшей на большую осуществляется при достижении выемочной машиной уровня производительности, которую могут обеспечить скребковый и ленточный конвейеры, работая на данной ступени скорости.

Грузопоток угля при работе выемочной машины является случайной величиной, поэтому работа конвейера со скоростью V_1 – случайное событие. Вероятность этого события:

$$p_{v=v_1} = p\{Q(t) \leq Q_1\} = F(V_1 C'), \quad (1.21)$$

А вероятность включения большей скорости V_2 ,

$$p_{v=v_2} = p\{Q_1 < Q(t) \leq Q_2\} = F(V_2 C') - F(V_1 C') \quad (1.22)$$

$$F(Q) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(Q) dQ \quad (1.23)$$

$f(Q)$ – плотность вероятности грузопотока,

$F(Q)$ – интегральная функция распределения величины Q .

Средняя скорость тягового органа скребкового и ленточного конвейеров (математическое ожидание) определяется по формуле

$$m_{v_{cp}} = V_1 p_1 + V_2 p_2 \quad (1.24)$$

$$m_{cp} = \frac{Q_1}{c} \int_{-\infty}^{Q_1} f(Q) dQ + \frac{Q_2}{c} \int_{Q_1}^{Q_2} f(Q) dQ = \frac{Q_1}{c} F(Q_1) + \frac{Q_2}{c} [F(Q_2) - F(Q_1)] \quad (1.25)$$

Выбирается такое значение Q_1 , которое минимизирует среднюю скорость $m_{v_{cp}}$. Если распределение грузопотока $Q(t)$ является непрерывным, то есть существует плотность вероятности

$$F'(Q) = f(Q) \text{ при } Q > 0, \quad (1.26)$$

то дифференцируя выражения (1.25) по Q_1 и приравнявая производную нулю получаем:

$$Q_2 - Q_1 = \frac{F(Q_1)}{f(Q_2)}. \quad (1.27)$$

Так как минутный грузопоток угля при работе выемочной машины имеет нормальное распределение, то $F(Q)$ – функция, а ожиданием m_Q и дисперсией D_Q . Путем замены переменных получается выражение:

$$x_1 - x_2 = \frac{Q(x_1)}{\phi(x_1)} \quad (1.28)$$

$$\text{где} \quad x_1 = \frac{Q_1 - m_Q}{\sigma} \quad x_2 = \frac{Q_2 - m_Q}{\sigma} \quad (1.29)$$

$$\phi(x) = F(x\sigma + m_Q) \text{ при } x > -\frac{m_Q}{\sigma} \quad (1.30)$$

$$\phi(x) = 0 \quad \text{при } x \leq -\frac{m_Q}{\sigma}$$

$$\phi'(x) = \phi(x)$$

$\phi'(x)$ – функция нормированного распределения величины $x=1$,

$\phi(x)$ – плотность нормированного распределения величины.

$$\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad (1.31)$$

$$\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (1.32)$$

При заданных значениях x_1 функции $\phi(x_1)$ и $\phi(x_1)$ можно определить по таблицам [21, 24].

По формуле $x_1 = x_2 + \frac{\phi(x)}{\phi(x)}$ построена кривая $x_1 = f(x_1)$ и по данной кривой, характеристика которой не зависит от грузопотока при известной величине x_2 , графически определяется значение x_1 . Меньшая скорость v_1 определяется по формуле:

$$V_1 = \frac{x_1 \sigma + m_Q}{c} \quad (1.33)$$

При трехступенчатом регулировании скорости в зависимости грузопоток ступени выбираются v_1 , v_2 , v_3 , предполагая $V_1 < V_2 < V_3$.

Решение легче всего определяется графически (рис. 1.9). По графику (рис.1.10) определены следующие скорости:

$$v_1 = 0,5 \text{ м/сек}, v_2 = 0,65 \text{ м/сек и } v_3 = 1,25 \text{ м/сек.}$$

1.4.2. Определение среднего числа переключений привода скребкового и ленточного конвейеров, среднего времени работы и средней длительности работы на i-ой скорости.

При определении надежности работы привода и срока службы ленты большое значение приобретает решение следующих задач: определение числа переключений привода при дискретном регулировании, нахождение среднего времени работы двигателя на каждой выбранной скорости.

Общие формулы определения среднего числа переключений и для среднего времени работы двигателя на выбранной скорости, которые получены ниже, применимы для грузопотоков с любым распределением, хотя числовой результат получается только для грузопотоков с нормальным распределением. Определение закона распределения времени работы двигателя на выбранной скорости является значительно более сложной задачей, решение которой даже для грузопотоков с нормальным распределением сопряжено со сложным выкладками.

Итак, пусть грузопоток $Q(t)$ случайный непрерывный процесс и пусть a – значение ординаты функции $Q(t)$, превышение которой нас интересует. Определим, прежде всего, вероятность того, что в бесконечно малый промежуток времени dt , непосредственно следующий за моментом времени t грузопоток $Q(t)$ пересечет значение этой ординаты. Для того, чтобы при указанных условиях переход действительно имел место (рис.1.11), на котором для наглядности изображена одна из реализаций грузопотока, нужно чтобы

осуществились два события [53, 4]: во-первых, в момент времени t ордината грузопотока должна быть меньше, а то есть:

$$Q(t) < a \quad (1.34)$$

и, во-вторых, в момент времени $t+dt$ ордината грузопотока должна быть больше т.е.

$$Q(t+dt) > a \quad (1.35)$$

Следовательно, вероятность пересечения ординаты, в интервале времени dt может быть записана как:

$$p\{Q(t) < a; Q(t+dt) > a\} \quad (1.36)$$

Пользуясь условием непрерывности ординат грузопотока неравенства (1.36), налагающие ограничения на ординаты грузопотока в двух смежных точках, можно заменить неравенствами, наложенными на ординату случайной функции, и ее скорость в одной точке. Действительно, учитывая малость интервала времени dt , с точностью до бесконечно малых второго порядка можно написать.

$$Q(t+dt) = Q(t) + v(t)dt, v(t) = Q'(t) \quad (1.37)$$

Следовательно, неравенству:

$$Q(t+dt) > a \quad (1.38)$$

эквивалентно, неравенство

$$a - v(t)dt < Q(t), \quad (1.39)$$

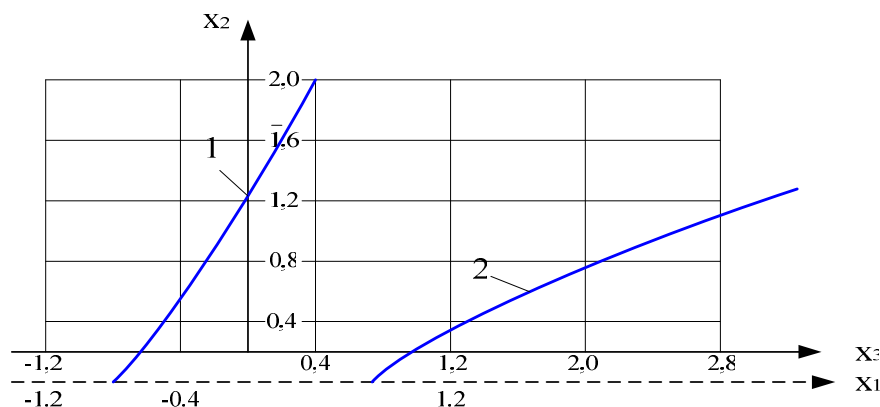


Рис.1.10. График для определения оптимальных скоростей регулирования при трехступенчатом регулировании

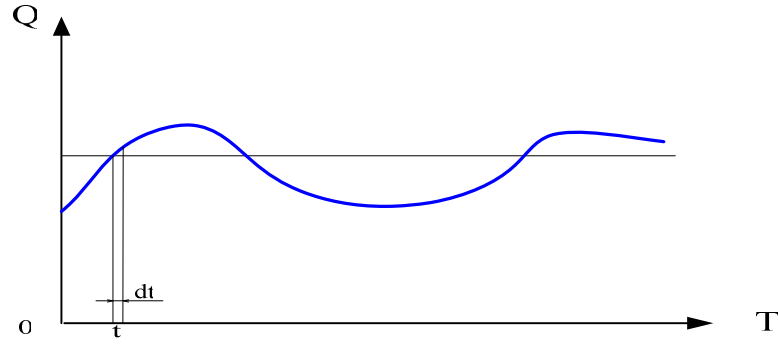


Рис.1.11. К определению среднего числа переключений привода при дискретном регулировании

а вместо двух неравенств, обуславливающих в (1.36) переход грузопотока уровня с ординатой в интервале времени dt можно написать одно двойное неравенство:

$$a - v(t)dt < Q(t) < a \text{ при } v(t) > 0 \quad (1.40)$$

Для вычисления вероятности осуществления этого неравенства введен в рассмотрение двухмерный закон распределения ординаты грузопотока и его скорости в один и тот же момент времени t .

$$f(Q, v, |t) \quad (1.41)$$

Тогда для искомой вероятности перехода получим

$$p[a - v(t)dt < Q(t) < a] = \int_0^{\infty} \int_{a-vdt}^a f(Q, v|t) dQ dv \quad (1.42)$$

Где пределы интегрирования охватывают все значения $Q(t)$ и $v(t)$, удовлетворяющие неравенству (1.40). Внутренний интеграл в (1.42) может быть вычислен сразу, так как у него пределы интегрирования отличаются на бесконечно малую величину vdt и, следовательно, пользуясь теоремой о среднем, получим

$$\int_{a-vdt}^a f(Q, v|t) dQ = dt \cdot v \cdot f(a, v|t) \quad (1.43)$$

Подстановка равенства (1.43) в (1.42) дает:

$$p[a - v(t)dt < Q(t) < a] = dt \int_0^{\infty} f(a, v|t) v dv \quad (1.44)$$

Полученная формула показывает, что вероятность перехода уровня в течение бесконечно малого интервала времени dt пропорциональна величине этого интервала. Поэтому, целесообразно ввести понятие временной плотности для вероятности перехода, обозначив $p(a|t)$ вероятности пересечения уровня, a в момент времени t , рассчитанную на единицу времени, т.е. положив.

$$p[a - v(t)dt < Q(t) < a] = p(a|t)dt \quad (1.45)$$

Сравнение (1.45) с (1.44) дает для плотности вероятности $p(a|t)$ окончательное выражение

$$p(a|t) = \int_0^{\infty} f(a, v|t) v dv \quad (1.46)$$

Аналогично может быть подсчитана и временная плотность вероятности $p'(a|t)$ пересечения грузопотоком уровня, a сверху вниз. Повторяя приведенные выше рассуждения для данного случая, получим:

$$p'(a|t) = \int_{-\infty}^0 f(a, v|t) v dv \quad (1.47)$$

$$f(a, v|t) = f(v|a, t)f(a|t)$$

$$p(a|t) + p'(a|t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(a, v|t) |v| dv = M[v(t) | Q(t) = a] f(a|t) \quad (1.48)$$

то есть сумма вероятностей пересечения заданного уровня снизу-вверх и сверху-вниз, отнесенных к единице времени, равна условному математическому ожиданию абсолютной величины скорости изменения грузопотока при фиксированном значении ординаты, умноженному на значение плотности распределения ординаты грузопотока при $Q=a$, а разности $p(a|t) - p'(a|t)$ равны условному математическому ожиданию $v(t)$, умноженному на $f(a, |t)$.

Пользуясь выражением (1.46) можно получить для любого промежутка времени T среднее время пребывания грузопотока выше заданного уровня.

Действительно, разобьем промежуток T на равных по величине малых интервалов dt_j , каждый из которых расположен вблизи момента времени t_j ($j=1,2, 3,...n$). Вероятность того, что ордината случайной функции $Q(t_j)$ будет выше заданного уровня:

$$p[Q(t_j) \geq a] = \int_a^{\infty} f(Q|t_j)dQ \quad (1.49)$$

Будем считать величины интервалов dt_j настолько малыми, чтобы можно было при подсчете суммарного времени пребывания случайной функции выше заданного уровня пренебречь случаями, когда внутри интервала функция $Q(t)$ меняет знак. Введем в рассмотрение систему случайных величин Δj , каждая из которых равна соответствующему интервалу dt_j или 0 в зависимости от того, будет ли в этом интервале значение грузопотока больше (или равно) или меньше, а тогда очевидно, что общее время пребывания грузопотока выше заданного уровня равно сумме Δj , т.е.

$$T_a = \sum_{j=1}^n \Delta j \quad (1.50)$$

Для определения среднего времени пребывания \bar{t}_a грузопотока выше заданного уровня, а за время T найдем математическое ожидание обеих частей равенства (1.50).

Применяя теорему о математическом ожидании суммы находим

$$\bar{t}_a = \sum_{j=1}^n M\{\Delta j\} \quad (1.51)$$

Случайная величина Δj по определению может принимать только два значения (dt_j и 0), следовательно, ее математическое ожидание равно произведению dt_j на вероятность (1.49), т.е.

$$M\{\Delta j\} = dt_j \int_a^{\infty} f(Q|t_j)dQ \quad (1.52)$$

Подставляя (1.52) в (1.50) и переходя к пределу, при $n \rightarrow \infty$ вместо $\sum_{j=1}^n$ получим интеграл, а для среднего времени пребывания грузопотока выше уровня, а рассчитанного для промежутка времени T будем иметь:

$$\bar{t}_a = \int_0^T \int_a^\infty f(Q|t_j) dQ dt \quad (1.53)$$

Обычно представляет интерес среднее время пребывания грузопотока выше заданного уровня в течение единичного пребывания. Решение этого вопроса является важным для оценки возможности работы привода в форсированном режиме. Для определения этого среднего времени \bar{t}_a необходимо разделить на среднее число перехода \bar{n}_a за время T . Для определения \bar{n}_a снова разобьем промежуток T на n равных интервалов dt_j и введем случайные вспомогательные величины N_j , каждая из которых равна единице, если внутри соответствующего интервала имел место переход (о следствие малости интервалов dt_j с возможностью более одного перехода можно не считаться) и нулю – в противном случае. Тогда полное число переходов N_a за промежуток времени T , будет равен сумме величин N_j :

$$N_a = \sum_{j=1}^n N_j \quad (1.54)$$

Находя математическое ожидание обеих частей равенства (2.38) и учитывая при этом, что математическое ожидание каждой из величин N_j численно равно вероятности перехода в j – в интервале, т.е. $p(a|t_j)dt_j$, будем иметь:

$$\bar{n}_a = \sum_{j=1}^n p(a|t_j) dt_j \quad (1.55)$$

Увеличивая число интервалов dt_j до бесконечности и подставляя вместо $p(a|t_j)$ его выражение (2.30), получим:

$$\bar{n}_a = \int_0^T \int_0^\infty v \cdot f(a, v|t) dv dt \quad (1.56)$$

Наконец деление (1.53) на (1.56) даст искомое среднее время единичного пребывания выше заданного уровня:

$$\frac{\bar{t}_a}{\bar{n}_a} = \frac{\int_0^T \int_a^\infty f(Q|t) dQ dt}{\int_0^T \int_a^\infty v \cdot f(a, v|t) dv dt} \quad (1.57)$$

Полученные формулы имеют наибольший интерес для стационарных процессов. Каждый переход грузопотока через выбранный уровень соответствует переключению привода на другую скорость. Поскольку грузопоток стационарен, то все эти формулы уродаются так, как и плотность распределения ординат грузопотока $f(Q|t)$ и плотность распределения ординат и скоростей $f(Q, v|t)$ не зависят от времени.

Обозначая эти плотности распределения, соответственно, через $f(Q)$ и $f(Q, v)$ замечаем, что интегрирование по t (1.53) и (1.57) сводится к умножению на T и, следовательно, для среднего времени пребывания стационарного грузопотока выше заданного уровня в течение времени T , среднего числа переключений за этот же промежуток времени и средней длительности единичного пребывания, получим:

$$\bar{t}_a = \int_a^T f(Q) dQ \quad (1.58)$$

$$\bar{n}_a = T \int_a^\infty v \cdot f(a, v) dv \quad (1.59)$$

$$\bar{\tau} = \frac{\int_a^\infty f(Q) dQ}{\int_a^\infty v \cdot f(a, v) dv} \quad (1.60)$$

Как и следовало ожидать, для стационарного процесса \bar{t}_a и \bar{n}_a пропорциональны рассматриваемому промежутку времени T , а средняя продолжительность единичного пребывания от этого промежутка времени не

зависит. Поэтому для грузопотока можно ввести понятие среднего числа переключений в единицу времени \bar{V}_a , полагая:

$$\bar{V}_a = \frac{\bar{n}_a}{T} \quad (1.61)$$

Очевидно

$$\bar{V}_a = \int_0^{\infty} v(a, v) dv \quad (1.62)$$

т.е. не отличается от вероятности переключения в единицу времени.

Так как во все, выведенные выше формулы входят законы распределения $f(Q|t)$ и $f(Q, v|t)$ ($f(Q)$ и $f(Q, v)$) для стационарного процесса, то для получения окончательных числовых результатов необходимо знать эти законы распределения. Для грузопотока с нормальным распределением могут быть получены простые формулы.

Закон распределения ординат грузопотока однозначно выражается через математическое ожидание m_Q и дисперсию:

$$D_Q = \delta_Q^2 = R_Q \quad (1.63)$$

т.е.

$$f(Q) = \frac{1}{\delta_Q \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(Q - m_Q)^2}{2\delta_Q^2} \right] \quad (1.64)$$

Как известно, скорость изменения ординаты и ордината грузопотока для того же момента времени являются несвязанными случайными величинами, а для грузопотока с нормальным распределением, следовательно, и независимыми величинами. Поэтому двумерная плотность распределения вероятность $f(Q, v)$ распадается на произведение нормальных плотностей распределения для Q и v и можно будет написать.

$$f(Q, v) = \frac{1}{\delta_Q \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(Q - m_Q)^2}{2\delta_Q^2} \right] \frac{1}{\delta_v \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{v^2}{2\delta_v^2} \right], \quad (1.65)$$

где дисперсия скорости изменения ординаты грузопотока (δ_Q^2) равна значению его корреляционной функции в нуле, т.е.

$$\delta_Q^2 = \frac{d^2}{d\tau^2} R_Q(\tau) \quad (1.66)$$

а математическое ожидание $v(t)$, вследствие стационарности грузопотока равно нулю.

Подстановка (2.65) и (2.62) дает для среднего числа пересечений уровня a в единицу времени \bar{v}_a или, что, тоже самое, для временной плотности вероятности:

$$\bar{v}_a = p(a) = \frac{\delta_v}{\delta_Q 2\pi} \exp\left[-\frac{(a - m_Q)^2}{2\delta_Q^2}\right] \quad (1.67)$$

Аналогично после подстановки в (1.60) будем иметь:

$$\bar{\tau} = 2\pi \frac{\delta_Q}{\delta_v} \exp\left[-\frac{(a - m_Q)^2}{2\delta_Q^2}\right] \left[1 - \Phi\left(\frac{a - m_Q}{\delta_Q}\right)\right] \quad (1.68)$$

где $\Phi(Q)$ – интегральная функция Ланласа.

В частном случае, когда $a = m_Q$, последняя формула упрощается и дает:

$$\bar{\tau} = 2\pi \frac{\delta_Q}{\delta_v} = 2\pi \sqrt{-\frac{R_Q(\tau)}{\ddot{R}_Q(\tau)}} \quad (1.69)$$

Определение закона распределения длительности единичного пребывания грузопотока выше выбранного уровня является более сложным, чем определение τ и $p(a|t)$.

Решение этой задачи хотя и получено в общем виде [49, 69] однако сложность окончательных формул требует дополнительного исследования.

Более сложной, чем рассмотренные выше, является, также, задача определения вероятности того, что за данный промежуток времени не произойдет ни одного переключения или произойдет заданное число переключений (при очень высоких выбранных уровнях). Сложность этой

задачи заключается в том, что для ее решения необходимо располагать не только средним числом переключений за данное время, но нужно знать и закон распределения переключений. Точное решение этой задачи столь же сложно, как и определение закона распределения длительности единичного пребывания. Практический интерес представляет частный случай, когда среднее число переключений за данный промежуток времени достаточно мало, чтобы можно было считать появление последовательных переключений независимыми “редкими” событиями. В этом случае число появлений переключений можно считать приближенно подчиняющимся закону распределения Пуассона и задача может быть решена до конца, так как единственным параметром, который входит в закон распределения, является математическое ожидание числа переключений, определяемое (1.59).

Применяя эту формулу, например, для вероятности p_0 того, что за время T не произойдет ни одного переключения, получим:

$$p_0 = \exp \left[-\frac{T}{2\pi} \sqrt{\frac{\ddot{R}_Q(\tau)}{R_Q(\tau)}} \right]_{\tau=0} \exp \left[-\frac{(a - m_0)^2}{2\delta_Q^2} \right] \quad (1.70)$$

Все рассуждения, приведенные выше, справедливы для дискретного регулирования при двух ступенях регулирования. При трехступенчатом регулировании скорости необходимо определить число переключений с первой скорости на вторую и со второй скорости на третью.

Общее число переключений привода с первой скорости на вторую и на третью (то есть грузопоток пересекает уровни пропорциональные первой и второй скорости), определяется по формуле:

$$\bar{v}_{2,3} = \frac{\delta_v}{\delta_Q 2\pi} \exp \left[-\frac{(Q_1 - m_Q)^2}{2\delta_Q^2} \right] \quad (1.71)$$

Переключение привода со второй скорости на третью:

$$\bar{v}_3 = \frac{\delta_v}{\delta_Q 2\pi} \exp \left[-\frac{(Q_2 - m_Q)^2}{2\delta_Q^2} \right] \quad (1.72)$$

и, следовательно, переключение с первой на вторую:

$$\bar{v}_2 = \frac{\delta_v}{\delta_Q 2\pi} \left\{ \exp \left[-\frac{(Q_2 - m_Q)^2}{2\delta_Q^2} \right] - \exp \left[-\frac{(Q_2 - m_Q)^2}{2\delta_Q^2} \right] \right\} \quad (1.73)$$

1.5. Непрерывное регулирование скорости скребкового и ленточного конвейеров в зависимости от грузопотоков.

1.5.1. Задача определения оптимальной динамической системы при непрерывном регулировании скорости конвейера по грузопотоку.

Непрерывное регулирование скорости скребкового и ленточного конвейеров предполагает создание замкнутых систем автоматического регулирования. Система регулирования должна включать в себя: датчики величины грузопотока, датчики скорости ленты в месте загрузки, элемент сравнения, усилителя, исполнительное устройство, объект регулирования и корректирующие устройства.

В качестве датчика грузопотока могут быть использованы различные типы конвейерных весов (например, электронные), датчика скорости ленты – тахометрический и другие. Объектом регулирования является конвейер, исполнительным органом – привод совместно с регулирующим устройством. Корректирующие устройства содержат активные различные и пассивные частотно зависимые элементы. Общая схема системы регулирования приведена на рис. 1.12, а.

Задача состоит в том, чтобы по заданным вероятностным характеристикам грузопотока, поступающего на конвейер, определить параметры замкнутой системы регулирования таким образом, чтобы функция, получаемая на выходе этой системы, в данном случае скорость ленты в месте загрузки (рис. 2.4, б), наилучшим образом аппроксимировала функцию, которую желательно получить, то есть определить оптимальную динамическую систему регулирования по скорости.

Для того чтобы эта задача приобрела точную количественную формулировку, необходимо прежде всего установить, что следует понимать под наилучшей аппроксимацией скорости, которую желательно получить на выходе динамической системы. Обозначим скорость, которую желательно получить на выходе системы, через $V_3(t)$, а скорость, которая действительно получается, через $V_x(t)$.

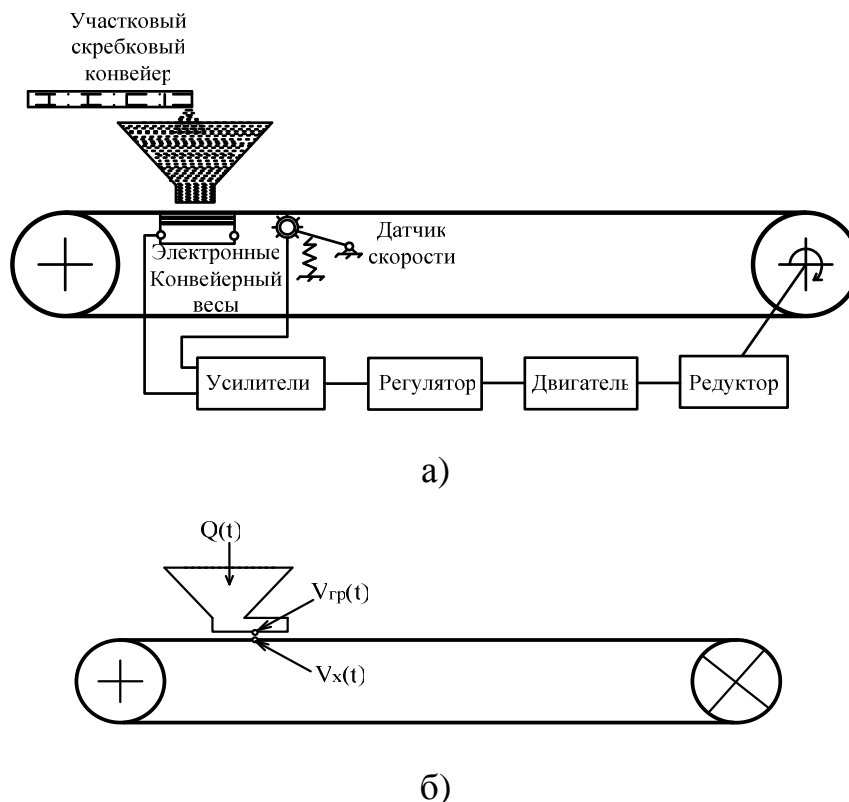


Рис.1.12. Общая схема системы непрерывного регулирования скорости ленты конвейера (а) и принятые условные обозначения (б).

Вследствие случайного характера скорости, получаемой на выходе, условия наилучшего ее приближения к желаемой величине должны иметь вероятностный характер. Поэтому можно, например, наилучшим приближением считать такое, при котором в определенной области изменения аргумента вероятность того, что разность между аппроксимируемой $V_3(t)$ и аппроксимирующей $V_x(t)$ скоростями больше по абсолютной величине некоторого заданного значения, имела бы наименьшую величину. Наилучшим приближением можно считать и такое, при котором математическое ожидание

абсолютной величины разности между ординатой заданной скорости и ординатой, аппроксимирующей ее скорости, было бы минимальным. Наконец, можно потребовать, чтобы условию минимума удовлетворяло математическое ожидание квадрата этой разности [18, 51, 43, 46, 70, 55, 12].

Перечисленным выше трем условиям наилучшего приближения функции $V_x(t)$ к функции $V_3(t)$ можно придать следующую математическую форму.

Для обеспечения минимальной вероятности отклонения большого заданного ϵ , необходимо, чтобы:

$$p[|v_x(t) - v_3(t)| > \epsilon] = \min \quad (1.74)$$

Требование минимума математического ожидания абсолютной величины разности между $V_x(t)$ и $V_3(t)$ означает выполнение условия:

$$M[|v_x(t) - v_3(t)|] = \min \quad (1.75)$$

Наконец, требование минимальной величины математического ожидания квадрата разности (требование минимума второго начального момента) приводит к условию:

$$M[(v_x(t) - v_3(t))^2] = \min \quad (1.76)$$

Если математические ожидания случайных функций $V_3(t)$ и $V_x(t)$ не равны нулю, то условие (1.76) обычно целесообразно бывает дополнить требованием:

$$M[v_x(t) - v_3(t)] = 0, \quad (1.77)$$

которое означает отсутствие систематической ошибки системы. В этом случае условие (2.60) может быть переписано в виде:

$$D[v_x(t) - v_3(t)] = \min \quad (1.78)$$

и соответствует простому физическому условию обращения в минимум среднего квадратического отклонения.

Несмотря на различную математическую формулировку оптимального приближения скорости $V_x(t)$ к скорости $V_3(t)$ (можно было бы указать и другие возможные критерии наилучшей аппроксимации), физически все эти критерии

близки между собой, так как их выполнение означает, что скорость $V_x(t)$, как правило, не сильно отклоняется от скорости $V_3(t)$. Поэтому следует ожидать, что свойства динамической системы регулирования, построенной с учетом любого из этих требований, будут не сильно различаться, это позволяет из большого числа возможных критериев выбрать наиболее простой критерий минимума среднего квадратического отклонения. Кроме того, в том случае когда скорости $V_x(t)$ и $V_3(t)$ являются нормальными (в главе 1 показано, что грузопоток является нормальным случайным процессом, а $V_3(t)$ – его линейное преобразование, и, следовательно, также нормально) и математическое ожидание разности $V_x(t) - V_3(t)$ равно нулю, это требование гарантирует одновременное выполнение также и условий (1.75) и (1.76) [53, 54, 56, 57].

1.5.2. Решение задачи по определению оптимальной системы регулирования скорости скребкового и ленточного конвейеров.

Предположим, что на вход системы регулирования поступает полезный сигнал $V_{гр}(t)$, пропорциональный грузопотоку с наложенной на него помехой $v_{эКВ}^*(t)$, так что входной сигнал имеет вид:

$$v_{вх}(t) = v_{гр}(t) + v_{эКВ}(t) \quad (1.79)$$

Воздействие $V_{гр}(t)$ и $v_{эКВ}(t)$ являются стационарными случайными функциями с известными корреляционными функциями и равными нулю средними значениями. Если средние значения этих воздействий не равны нулю, то можно ввести центрированные величины $v_i'(t) = v_i(t) - M\{v_i(t)\}$, средние значения которых равны нулю.

Система должна осуществлять линейное преобразование полезного сигнала $v_{гр}(t)$ на вход в сигнал $V_3(t)$ на выходе согласно формуле:

$$L[V_3(t)] = H(s)L[v_{гр}(t)] \quad (1.80)$$

где: $H(s)$ – заданный преобразующий оператор.

Введем обозначения согласно [62] и рассмотрим решение этой задачи $v_{гр}(t)=m(t)$, $v_{экв}(t)=n(t)$, $V_{rx}(t) = \varphi(t)$, $v_3(t)=h(t)$, $V_x(t) = x(t)$, тогда формулы (1.78) и (1.79) примут вид:

$$\varphi(t) = m(t) + n(t) \quad (1.79')$$

$$L[h(t)] = H(s)L[m(t)] \quad (1.80')$$

Требуется, пользуясь этими данными, найти импульсную переходную функцию $k(t)$, удовлетворяющую условию физической осуществимости:

$$k(t)=0, t<0 \quad (1.81)$$

и обеспечивающую минимум среднего значения квадрата ошибки:

$$\varepsilon_{\min}^{-2} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T [h(t) - x(t)]^2 dt \quad (1.82)$$

между требуемым $h(t)$ и возможным в рассматриваемых условиях, изменением величины $x(t)$ на выходе системы.

Найдем выражение для среднего значения квадрата ошибки, ε^2 , как это сделано, например, в работах [57, 65, 67, 18, 31, 40, 50].

Учитывая, что:

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t - \tau)k(\tau)d\tau$$

получим на основании (1.82).

$$\varepsilon_{\min}^{-2} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \left\{ h(t) - \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t - \tau)k(\tau)d\tau \right\}^2 dt \quad (1.83)$$

Задача заключается в том, чтобы найти передаточную функцию $\phi(j\omega)$ системы регулирования:

$$\phi(j\omega) = \int_0^{\infty} k(t)e^{-j\omega t} dt \quad (1.84)$$

таким образом, чтобы величина ε^2 имела минимум.

В работе [74] получено следующее выражение для искомой передаточной функции:

$$\phi(j\omega) = \frac{1}{2\pi\psi_1(j\omega)} \int_0^\infty e^{-j\omega t} dt \int_{-\infty}^\infty \frac{S_{h\phi}(\omega)}{\psi_2(j\omega)} e^{j\omega t} d\omega \quad (1.85)$$

где $S_{h\phi}(\omega)$ - взаимная спектральная плотность;

$\psi_1(j\omega), \psi_2(j\omega)$ - вспомогательные функции [6], которые являются преобразованиями фурье от функции:

$$\begin{aligned} \psi_1(t) &= 0 \quad t < 0 \\ \psi_2(t) &= 0 \quad t > 0 \end{aligned} \quad (1.86)$$

Передаточная функция $\phi(j\omega)$, удовлетворяющая равенству (1.86), называется оптимальную среднеквадратическую ошибку, совместимую с условием физической осуществимости:

$$k(t) = 0 \quad \text{при } t < 0 \quad (1.87)$$

где

$$k(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^\infty \phi(j\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (1.88)$$

Задача нахождения функций $\psi_1(j\omega), \psi_2(j\omega)$ сводится к задаче разложения четной функции $S_\phi(\omega)$, удовлетворяющей условию $S_\phi(\omega) \geq 0$, на два множителя, из которых один представляет собой функцию, аналитическую и ограниченную в верхней полуплоскости, а другой – функцию, аналитическую и ограниченную в нижней полуплоскости.

В работае [6] изложен способ определения передаточной функции $\phi(j\omega)$ по амплитудной характеристике $A^2(\omega)$ является подобно $S_\phi(\omega)$ неотрицательной и четной функцией от ω и может быть представлена в виде произведения двух множителей, один из которых содержит все нули и полюсы, расположенные в верхней полуплоскости, а другой - все нули и полюсы, расположенные в нижней полуплоскости, причем эти множители представляют собой функции, комплексно-сопряженные друг другу.

Отсюда следует, что функции $\psi_1(j\omega)$ и $\psi_2(j\omega)$, удовлетворяющие тем же условиям, что и указанные два множителя, также представляют собой комплексно-сопряженные функции, то есть, что:

$$\begin{aligned}\psi_1(j\omega) &= \psi_2^*(j\omega) = \psi(j\omega) \\ \psi_2(j\omega) &= \psi_1^*(j\omega) = \psi(j\omega)\end{aligned}\quad (1.89)$$

и

$$\psi_1(j\omega)\psi_2(j\omega) = [\psi(j\omega)]^2 = S_\varphi(\omega) \quad (1.90)$$

и что, таким образом, способ определения функций $\psi_1(j\omega)$ из $\psi_2(j\omega)$ из $S_\varphi(j)$, (по крайней мере, если эта последняя представляет собой дробно-рациональную функцию от ω) аналогичен способу определения передаточной функции $\Phi(j\omega)$ по соответствующей квадратической амплитудной частотной характеристике.

Таким образом, в общем, виде окончательное выражение для оптимальной функции имеет вид:

$$\Phi(j\omega) = \frac{1}{2\pi\psi(j\omega)} \int_0^\infty e^{-j\omega t} \int_{-\infty}^\infty \frac{S_{\text{hp}}(\omega)}{\psi^*(j\omega)} e^{j\omega t} d\omega \quad (1.91)$$

где функция $\psi(j\omega)$ определяется формулой (1.90).

1.5.3. Определение оптимальной системы регулирования для случая задержек и высокого уровня помех

Задача экстраполяции или, другими словами, задача статистического управления является одной из важных задач при расчете оптимальных схем регулирования скорости скребковых и ленточных конвейеров. Конечно, в результате экстраполяции, мы не можем получить точного будущего изменения грузопотока, но ввиду его стационарности, можем оценить вероятное поведения сигнала в будущем. Необходимость экстраполяции объясняется невозможностью физической инерционной модели (например, конвейера)

отрабатывать без задержки изменение сигнала, пропорционального входному грузопотоку.

Если задача упреждения решается совместно с задачей сглаживания, это означает, во-первых, что требуемый закон преобразования входной величины имеет вид:

$$V_3(t) = V_{гр}(t + t_0) \quad (1.92)$$

То есть, что система регулирования должна воспроизводить на выходе в момент времени t с возможно меньшей ошибкой величину скорости, которая будет на входе системы в момент времени $t + t_0$ и, во-вторых, что на вход системы, помимо управляющего или полезного воздействия $V_{гр}$, поступает еще и возмущающее воздействие или помеха $V_{эКВ}(t)$.

Помеха $V_{эКВ}(t)$ обычно содержит более высокие частоты, чем полезный сигнал $V_{гр}(t)$ и, следовательно, наилучшее воспроизведение входного сигнала может быть достигнуто лишь в результате “сглаживания” входного сигнала, то есть подавления его высокочастотных составляющих.

Найдем выражение для оптимальной передаточной функции $\Phi(j\omega)$ исследуемой системы (физически осуществимо).

В нашем случае можно написать:

$$S_{V_3 V_{БХ}}(\omega) = e^{j\omega t_0} S_{V_{гр}}(\omega) \quad (1.93)$$

где:

$S_{V_3 V_{БХ}}(\omega)$ - взаимная спектральная плотность между входным и желаемым выходным сигналами.

Подставляя (1.93) в выражение для оптимальной передаточной функции (1.91) получим:

$$\Phi(j\omega) = \frac{1}{2\pi\Psi(j\omega)} \int_0^\infty e^{-j\omega t} dt \int_{-\infty}^\infty \frac{S_{V_{гр}}(\omega)}{\Psi^*(j\omega)} e^{j\omega(t+t_0)} d\omega \quad (1.94)$$

1.6. Выводы по первой главе.

Непрерывное регулирование является одним из рациональных способов регулирования скорости скребкового и ленточного конвейеров: подобный способ предполагает непрерывное изменение скорости в зависимости от случайного характера изменения величины входного грузопотока.

В случае отсутствия грузопотока, для исключения излишних динамических нагрузок на привод и ленту, рекомендуется работать на невысокой, порядка 0,2 – 0,3 м/сек (ползучей) скорости.

- При непрерывном регулировании скорости необходимо создание замкнутых систем автоматического регулирования.

Задача разработки и создания подобных систем должна основываться на статистических методах расчета. При рассмотрении задачи регулирования скорости скребкового и ленточного конвейеров:

- Сформулированы критерии для построения оптимальной динамической системы при случайном характере грузопотока. В качестве критерия оптимальности предлагается принимать минимум среднеквадратического отклонения.
- Получена общая формула определения максимальной допустимой ошибки в зависимости от конструктивных параметров скребкового и ленточного конвейеров.
- Определены конструктивные параметры скребкового и ленточного конвейеров, при коротких наиболее эффективно его использование в системе непрерывного регулирования скорости.
- Дано общее аналитическое решение задачи по определению оптимальной динамической системы.
- Показано, что для транспортной системы необходимо решать задачу управления совместно с задачей фильтрации.

- В качестве инженерного метода определения оптимальной передаточной функции динамической системы предлагается графоаналитический метод расчета.
- Сформулирована задача синтеза оптимальной динамической системы: показано, что наиболее эффективным способом является включение корректирующих устройств в цепь обратной.
- Установлено, что тип конструктивные параметры конвейера являются определяющими факторами при их совместной работе в случае непрерывного регулирования скорости скребкового и ленточного конвейеров.

ГЛАВА 2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАГРУЗКИ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ УГЛЯ ПРИ БУРОВЗРЫВНЫМ СПОСОБОМ РАЗРАБОТКИ НАКЛОННЫХ И КРУТО НАКЛОННЫХ ПЛАСТОВ.

2.1. Современное состояние и перспективы развития угольной промышленности Вьетнама.

Горнодобывающая промышленность Социалистической Республики Вьетнам (СРВ) поставляет народному хозяйству страны уголь, руду черных и цветных металлов, строительные и отделочные материалы, топливо и удобрения, а также другие необходимые минералы. Уголь используется для производства электроэнергии, металлургии, цемента и строительных материалов, в других отраслях промышленности, в быту, а также является предметом экспорта.

Значительные темпы развития народного хозяйства страны, повышения благосостояния народа определяют энергичный рост потребления топлива. С момента получения независимости, угольная промышленность Вьетнама развивает собственные эффективные технологии разработки месторождений. За последние годы произошло обновление и расширение старой производственной сырьевой базы: строительство новых шахт, заводов, развитие инфраструктуры для увеличения эффективности производства.

До 2007 г. объем добычи угля достигал 4 млн тонн, а в 2013 г. национальная угольная корпорация «Винакомин» добыла 43,59 млн тонн угля, осуществив увеличение добычи в 10 раз. Сохранение высоких темпов развития угольной отрасли и стабильное снабжение углем бурно развивающегося народного хозяйства страны – необходимое условие для опережающего развития всех отраслей экономики страны. Для этого необходимо обеспечить высоких темпов роста - около 6 % в год. На рис. 2.1 показана добыча угля в СРВ за 2011-2016 гг. (по способам добычи), млн т.

По перспективному плану развития угольной промышленности, годовую добычу угля в стране предусматривается довести до 75 млн. тонн в 2020г., в том числе 80% из этого объема планируется добыть подземным способом.

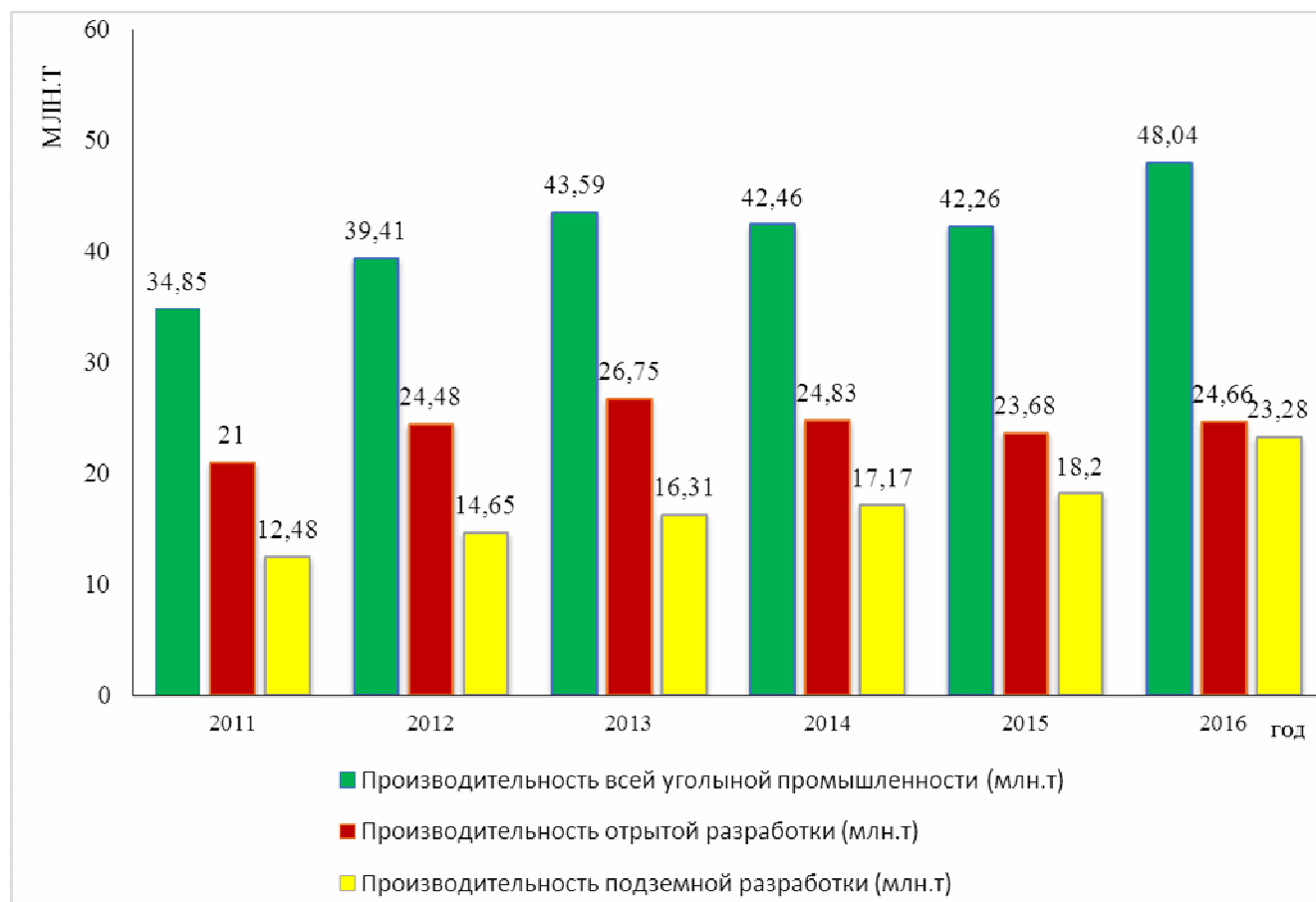


Рис. 2.1. Добыча угля CPV за период 2011 -2016

На рис. 2.2 приведено сопоставление объемов добытого угля открытым и подземным способом за первые годы XXI века и объемы угля, планируемые к добычи открытым и подземным способом, внесённые в перспективный план развития угольной промышленности Вьетнама, на котором четко прослеживается тенденция увеличения добычи угля подземным способом.

В связи с высокими темпами развития народного хозяйства республики Вьетнам за последние десятилетия (рост ВВП в год составляет 6-7 %) потребность в угле постоянно растет. Угольная промышленность обеспечивает углем для коксования бурно развивающуюся металлургическую промышленность, а также отмечается высокий спрос на энергетические угли со стороны Вьетнамских предприятий энергетики и жилищно-коммунального хозяйства, что позволило угольным компаниям Винакомин значительно нарастить объем добычи угля.

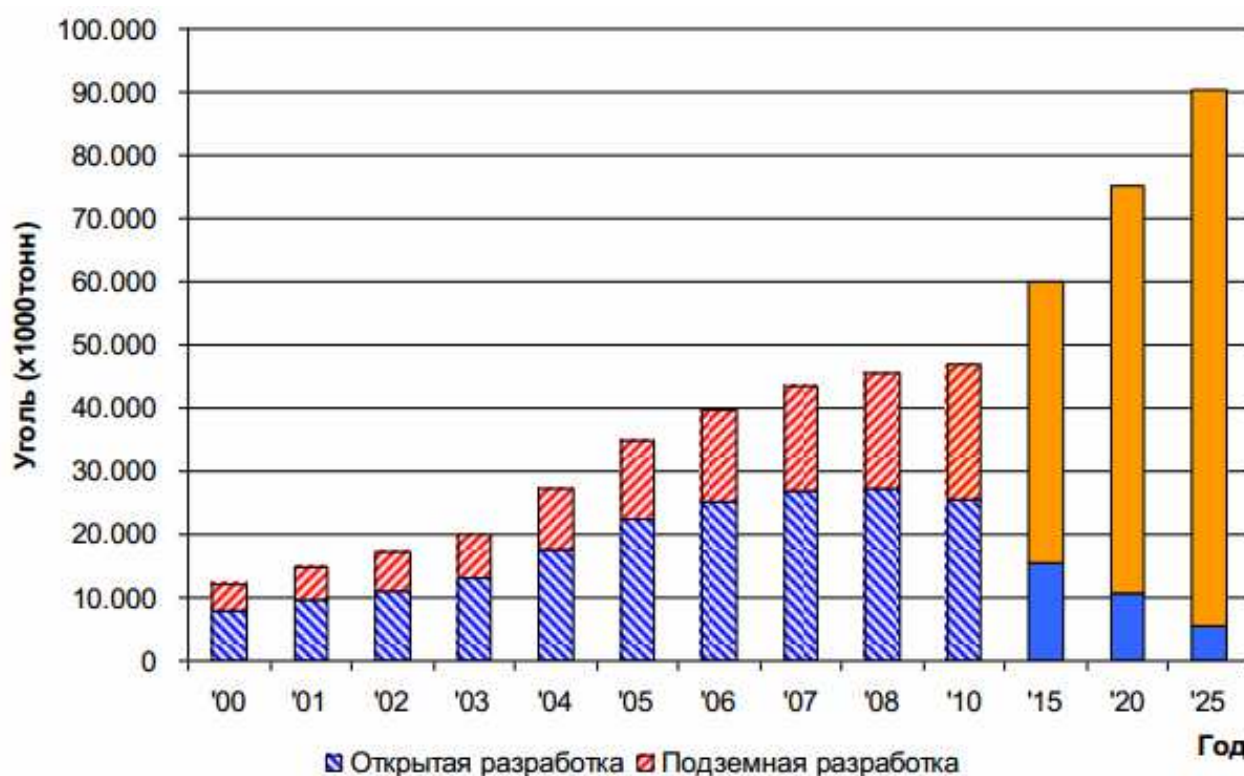


Рис. 2.2. Перспективный план развития угольной промышленности СРВ.

В угольной промышленности СРВ при подземной добыче угля необходимо дальнейшее внедрение современной комплексной механизации очистных работ и передовой технологии. Внедрение передовых научных решений для механизации сложных горно-геологических условий, с целью повышения производительности труда и эффективности производства.

2.2. Обзор горно-геологических и горнотехнических условий угольного бассейна Куангнинь

В Вьетнаме, угольные месторождения расположены преимущественно на Северо-Востоке страны. Большинство крупных производителей угля находятся в Куангнинском бассейне и несколько небольших горных предприятий располагаются в провинциях Лангшоне, Найзыонге, Вакзанге т.д.

Главное угольное месторождение находится в Куангнинском бассейне на Северо-Востоке Вьетнама. Этот бассейн длиной приблизительно 100 км, шириной примерно от 6 до 10 км, площадью приблизительно 1350 км²,

расположенный в 100 км от Найзыонг, вдоль побережья залива Бакбо Южно-Китайского моря. Рельеф площади бассейна гористый, с колебанием высотных отметок от 250 до 1200 м над уровнем море. Схема расположения горных предприятий бассейна Куагнинь показана на рис. 2.3.



Рис 2.3. Схема расположения угольных компаний бассейна Куангнинь.

В пределах Куангнинского угольного бассейна выделяются три угленосные провинции, которые являются автономными и разделены на тектонические блоки геологическими нарушениями. Угленосность бассейна в различных районах неодинакова и колеблется в сумме производственных пачек, имеющих промышленное значение от 26,1 до 87,8 м.

В плане перспективного развития угольной промышленности Социалистической Республики Вьетнам в основном оценивались запасы угольного бассейна Куангнинь, на работающих крупных шахтах: Хонг Тхай, Ха Лам, Наммау, Мао Хе, Вангань, Монг Зыонг и Хе Чам. Другие угольные

шахты угольного бассейна Куангнинь имеют незначительные запасы или сложные горно-геологические условий отработки.

Строение угольных пластов сложное, нередко пласт состоит из несколько пачек, разделенных породными прослойками, мощность которых колеблется от 10 до 30 см. Мощность пластов изменяется от 1,2 до 10...15 м, а угол падения пластов изменяется от 15° до 30° и более (преобладают 20° ... 35°) рис. 2.4.

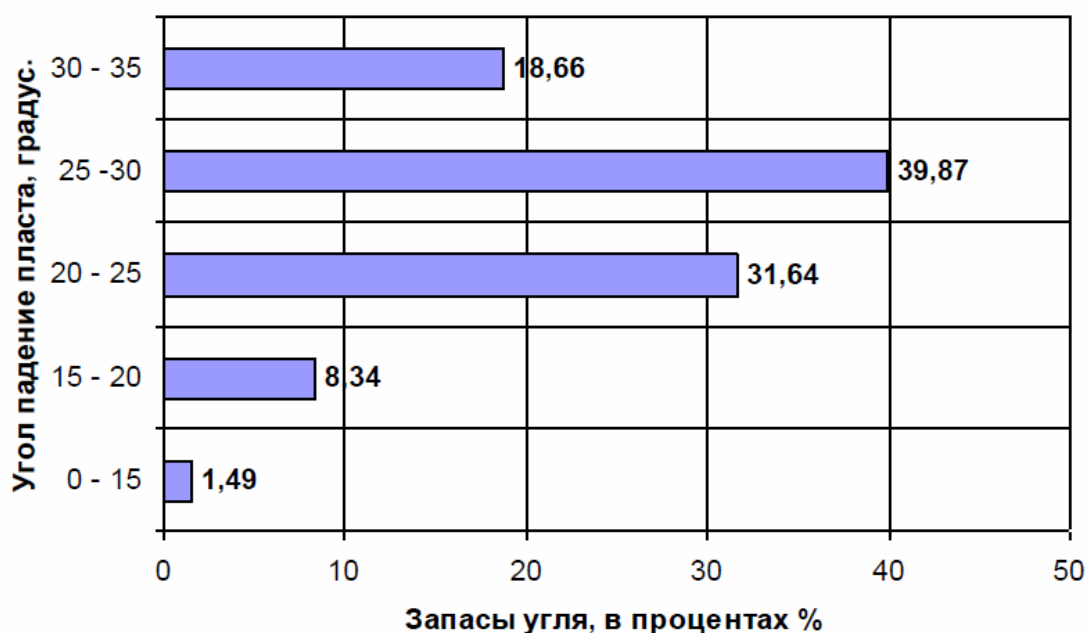


Рис. 2.4. Процентное соотношение между запасами и углом падения пласта

В целом угленосные отложения бассейна Куангнинь представляют собой сложную складчатую систему, состоящую из пликтивных нарушений, осложненных разрывными нарушениями – надвигами и сбросами. Пласты в пределах шахтного поля имеют сложное строение, не выдержаны по мощности, а непосредственная и основная кровля сложена породами средней прочности. Вмещающие породы большинства пластов непосредственной кровли представлены сланцами и аргиллитами, основной кровли – алевролитами и песчаниками, при этом предел прочности пород на одноосное сжатие изменяется в большом диапазоне.

Угли характеризуются высокой хрупкостью, что предопределяет выбор средств механизации очистных работ и технологию отработки выемочного поля. При проведении подготовительных горных выработок и отработке лав встречаются нарушения, которые образовались во время осадконакопления – утонение и пережимы, выклинивание и расщепления пластов. Основные технологические параметры выемочных участков приведены на рис. 2.5.

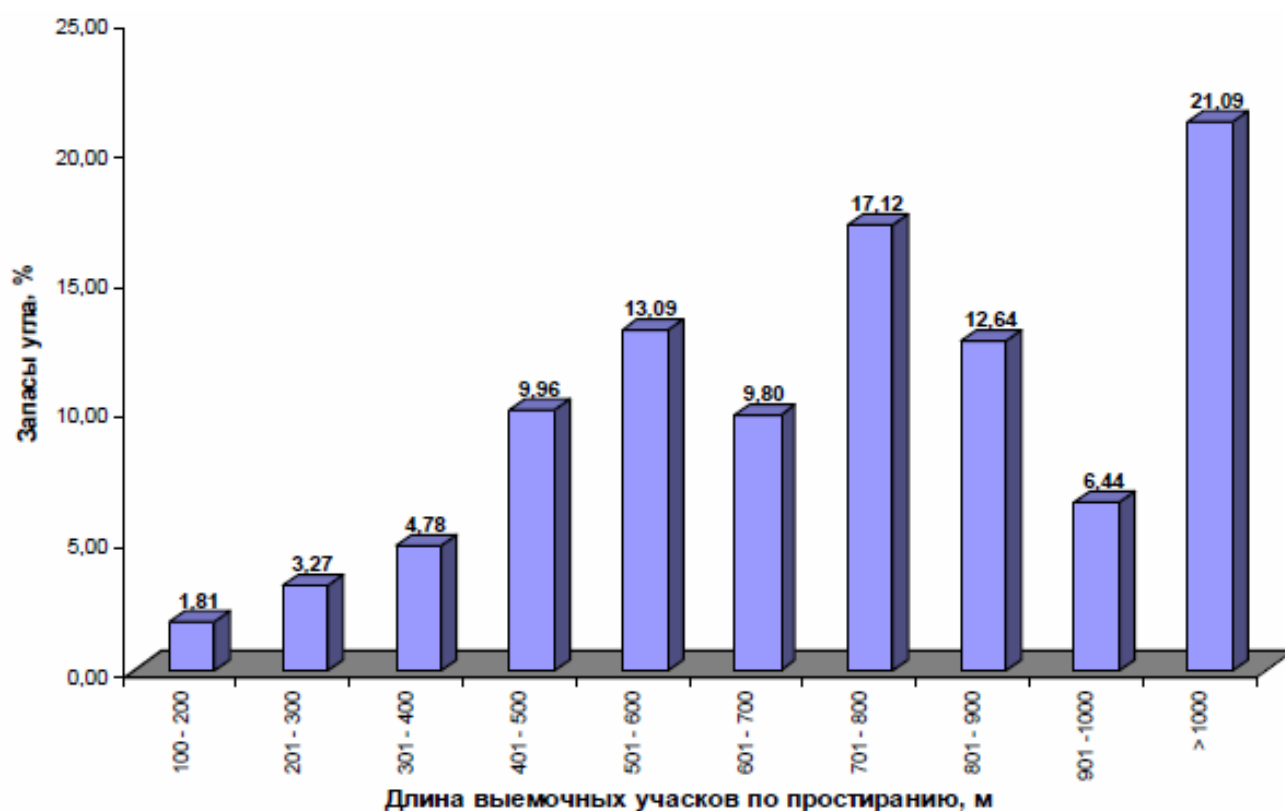


Рис. 2.5. Технологические параметры выемочных участков при отработке мощных наклонных угольных пластов

2.3. Основные особенности применяемой технологии добычи угля на шахте Хонг Тхай угольного бассейна Куангнинь

Шахта Хонг Тхай является одним из ведущих угледобывающих предприятий Социалистической Республики Вьетнам и входит в группу компании угольной промышленности Вьетнама «ВИНАКОМИН» (рис. 2.6).



Рис. 2.6. Шахта Хонг Тхай группа компании угольной промышленности Вьетнама «ВИНАКОМИН».

Шахтное поле шахты Хонг Тхай вскрыто двумя наклонными стволами. В настоящее время оба ствола функционируют и вскрывают пласты до отметки 135 м для добычи угля на отметках от 37 до 137 м на наклонном, круто наклонном пласте. В главном наклонном стволе с уклоном 25° до 40° установлен ленточный магистральный конвейер для транспортировки отбитого угля. Разработка пласта мощностью 1,8 м ведется буровзрывным способом (рис. 2.7).

Очистные забои ориентируют по падению пласта и их наклон составляет от 25° до 35° (рис. 2.7). Для подготовки выемочных столбов по углю проходят сдвоенные штреки 1 и 2 (рис. 2.8), с оставлением между выемочными столбами целика угля шириной 25÷40 м. Штреки используются при отработке только одного выемочного столба, за лавой данный штрек погашают.

Отработка ведется в направлении к магистральному ленточному конвейеру (на рис. 2.9. указана стрелкой). Погашенное пространство заштриховано. Отбитый уголь из очистного забоя с помощью рештаков спускаю на конвейерный штрек.

В условиях шахты Хонг Тхай применяется щитовая гидравлическая крепь в очистном забое, деревянная и металлическая на сопряжениях. Способ отбойки угля в очистном забое - буровзрывной.

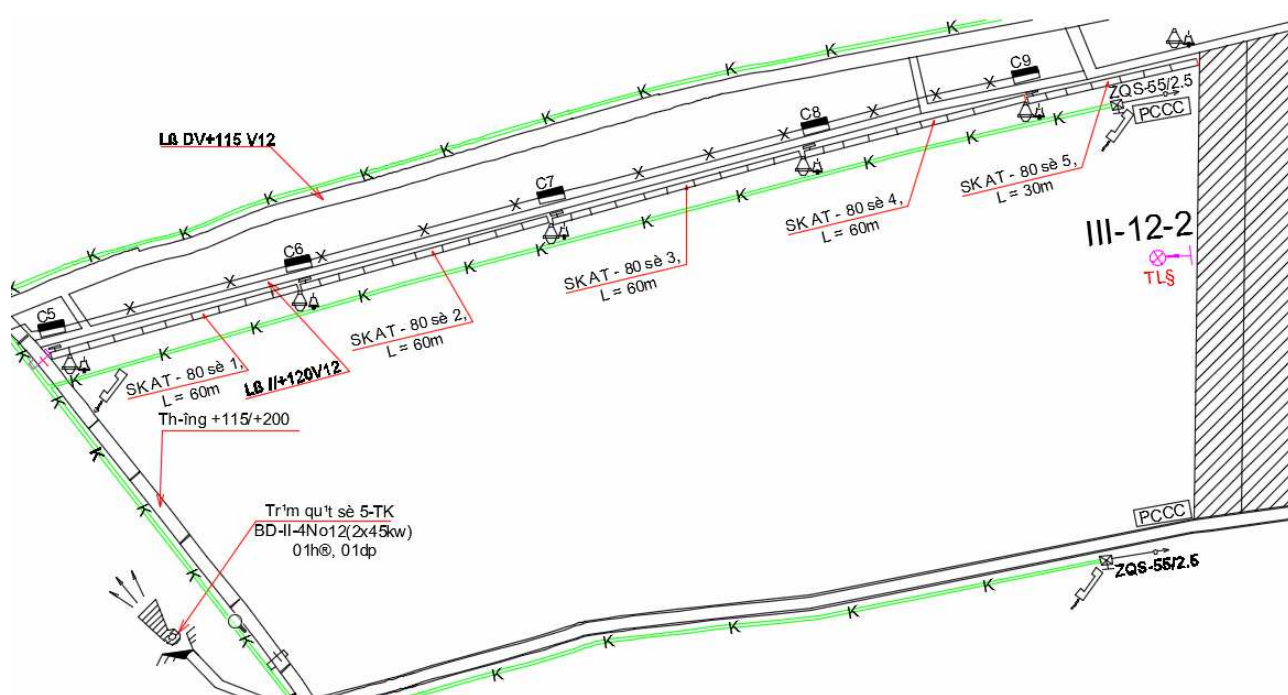


Рис. 2.9. Схема отработки запасов выемочного столба шахты Хонг Тхай.

Разработка ведется (рис. 2.10) длинными столбами, характеризующиеся следующими параметрами: длина столбов составляет до 800 м, длина лав 50÷120 м. Планируется увеличение длины столбов до 1000 и более метров. В условиях шахты Хонг Тхай при длине лавы 64 м обеспечивается нагрузка на забой около 420 т угля в сутки.

В целом система разработки длинными столбами по простирацию в вариантах, используемых на шахте Хонг Тхай, характеризуется весьма низкими технико-экономическими показателями.

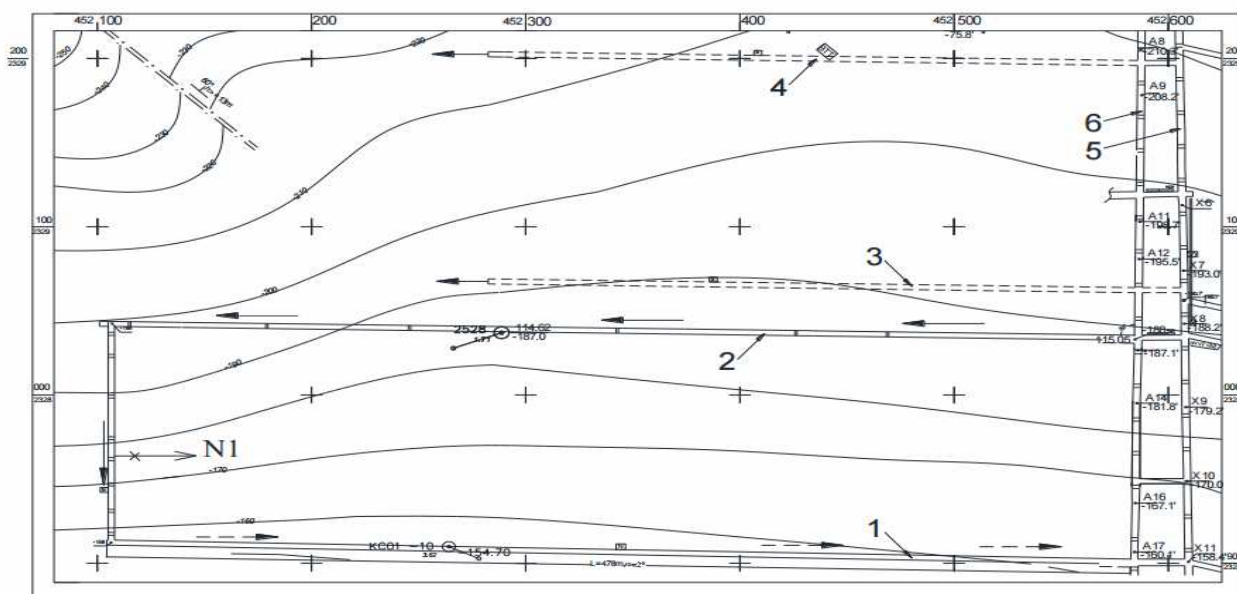


Рис. 2.10. Применяемая система разработки пласта № 7 на шахте Хонг Тхай:
1,3 - вентиляционные штреки нижнего и верхнего столбов; 2,4 -
транспортные штреки нижнего и верхнего столбов; 5 - транспортный
восстающий; 6 - вентиляционный восстающий.

Так, эксплуатационные потери угля, связанные с оставлением целиков угля для охраны повторно используемых выработок, составляют до 40 % балансовых запасов выемочного участка. Низкими являются скорости проходки участковых подготовительных выработок по угля (64 м/смена), что отрицательно сказывается на своевременности подготовки новых выемочных участков.

2.4. Схема системы транспорта шахты Хонг Тхай.

Для транспортировки угля в лаве используют решетки (рис. 2.7), на транспортном штреке (рис. 2.11) и штольне используют сборные скребковые конвейеры (участковых скребковых конвейерных линий). На главном наклонном шурфе используют конвейеры (магистральных конвейерных линий). Перегрузка угля с участковой на магистральную конвейерную линию осуществляется через промежуточный накопительный бункер.

Структурная схема транспорта, шахты Хонг Тхай представлены на рис. 2.12. Транспортировка угля осуществляется по четырём (планируется

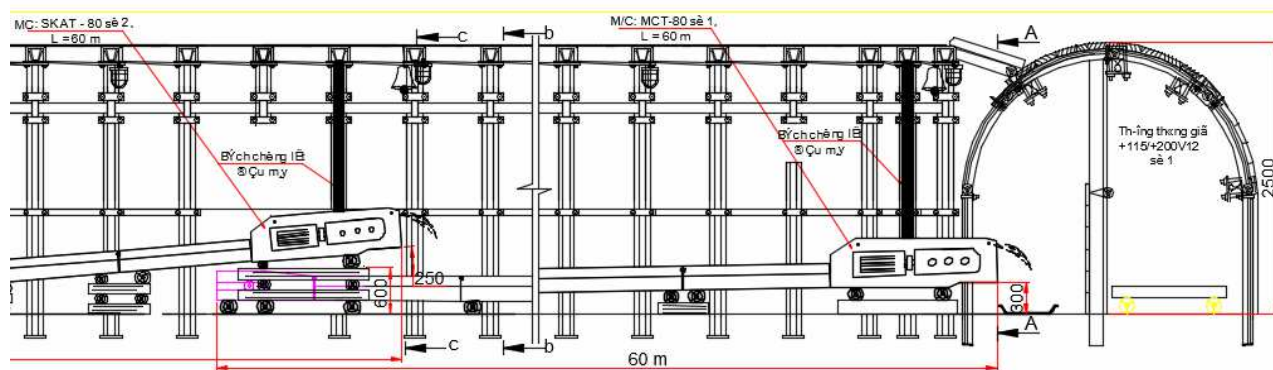


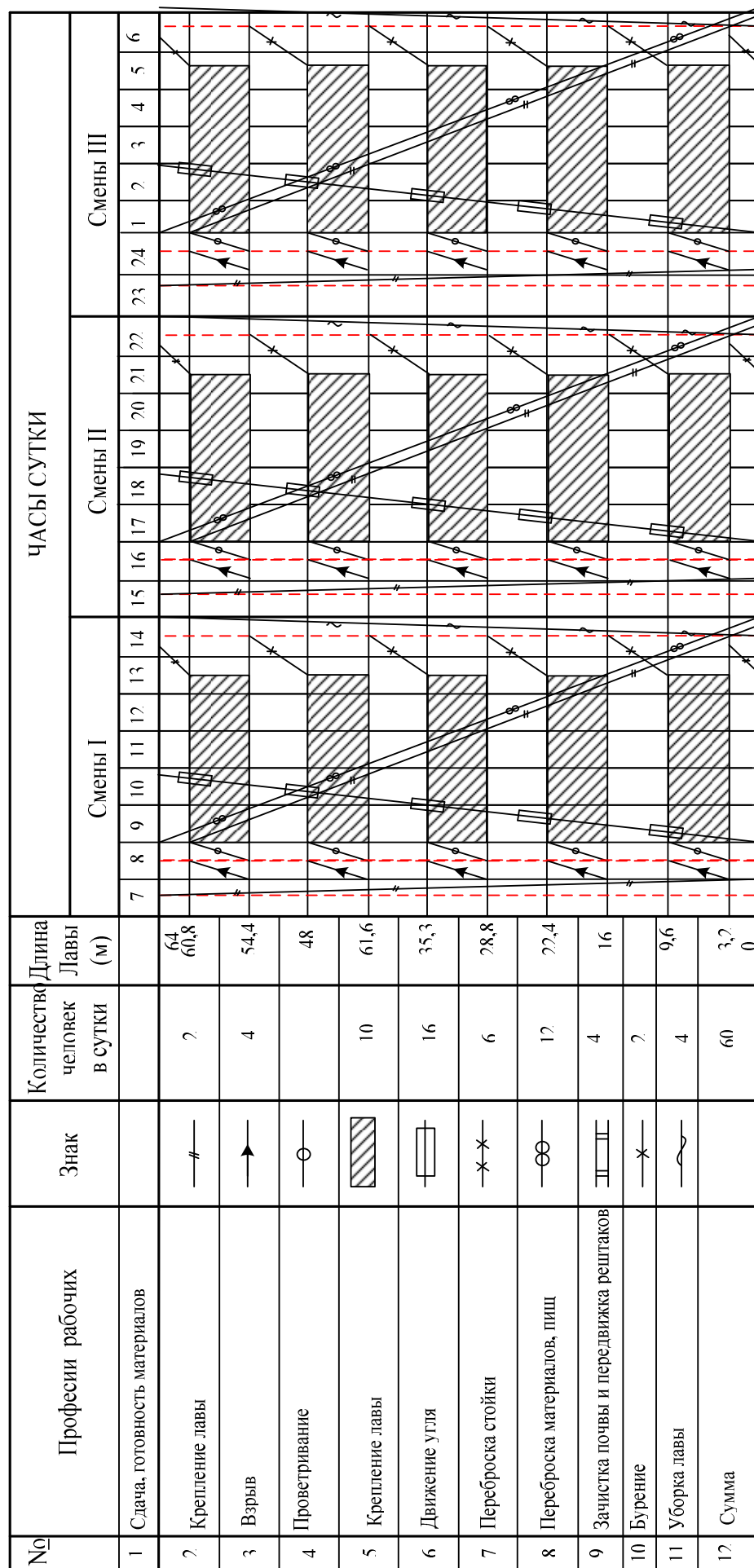
Рис. 2.11. Конвейерный штрек шахты Хонг Тхай.

увеличить число очистных участков до шести) участковым скребковым конвейерным линиям и магистральным конвейерным линиям.

Участковая скребковая конвейерная линия располагается в транспортных штреках нижних столбов состоящая из нескольких 5 скребковых конвейеров (рис. 2.11). Используются скребковые конвейера с длиной 80 м и скоростью 0,7 м/с. Магистральная конвейерная линия располагается в квершлаге и состоит из 4 конвейеров, общей длиной 2050 м. Перегрузка угля с участковой скребковой конвейерной линии на магистральную конвейерную линию осуществляется через промежуточный накопительный бункер.

Большое влияние на работу транспортной системы шахты Хонг Тхай, оказывает график поступления угля из очистных забоев, который определяется планограммой (2.13) и графиком работы (рис. 2.14) в лаве.

Рис.2.13. Планограмма работ



2.5. Разработка математическая модель загрузки и перемещения угля по скребковым и ленточному конвейерам при взрывной отбойке угля несколькими очистными забоями системы транспорта шахты Хонг Тхай.

2.5.1. Основные параметры, определяющие работу очистного участка на выемочном столбе шахты Хонг Тхай.

Из анализа технологических схем, плана горных работ и геологических запасов угля и перспективного плана развития шахты Хонг Тхай, основными параметрами, характеризующими работу шахты являются:

- Число выемочных участков; на сегодняшний день разработка угольного пласта на шахте Хонг Тхай ведется четырьмя участками. Планом развития шахты предусмотрено увеличение числа участков до шести;
- Длина выемочного столба, определяет время транспортировки отбитого угля по конвейерному штреку до магистрального конвейера. На сегодняшний день составляет 800 метров в начале очистных работ (Планом развития шахты предусмотрено увеличение до 1000 м) и постепенно уменьшается практически до нуля к концу отработки выемочного участка
- Длина лавы: 64 м
- Время выдачи отбитого угля из очистного забоя: 2 часа
- Время выполнения взрыва и проветривания: 1 час
- Количество взрывов за смену: 1
- Продолжительность смены: 8 часов
- Мощность угольного пласта: 1,8 м
- Производительность на сутки: 142 т/смена (420 т/сут.)
- Угол уклона очистных забоев совпадает со средним углом падения угольного пласта и равен 28° .

2.5.2. Математическая модель загрузки и перемещения угля по скребковым и ленточному конвейерам при взрывной отбойке угля несколькими очистными забоями системы транспорта шахты Хонг Тхай.

Автоматическая система управления транспортной системой на основе упреждающего управления, рассмотренная в первой главе работоспособна только в условиях случайного характера изменения величины входного

грузопотока. В случае использования буровзрывного способа разработки месторождений наклонных и круто наклонных пластов кратное изменение объемов отбитого угля определяется не только случайным образом, но и графиком выполнения взрывных работ в очистных забоях. Следовательно, задача равномерной загрузки транспортной системы угольной шахты, ведущей разработку месторождений наклонных и круто наклонных пластов несколькими очистными участками, может быть решена, только использованием автоматизированной системы, в которой бы решалась предварительная задача – распределение моментов времени взрывной отбойки угля, которое обеспечивало равномерное поступление угля на магистральную конвейерную линию. Соответственно, равномерное распределение между несколькими забоями моментов проведения взрывных операций за смену, позволит распределить во времени поступление отбитого угля на магистральный конвейер и приблизит дискретный процесс выдачи угля из очистного забоя к непрерывному.

При работе одного, двух и трех забоев график отбойки угля (время проведения взрывных работ) на шахте Хонг Тхай распределялся равномерно, соответственно, и загрузка магистрального конвейера соответствовала примерно среднему объему поступления угля из очистного забоя – 20 т (из расчета 1 час проведение взрыва и проветривания лавы, выдача угля из лавы – 2 часа и частичного его аккумуляции в бункере). На основе предварительного расчета, исходя из того, что время выдачи угля из очистного забоя составляет 2 часа, получается, что за смену (8 часов) равномерно могут работать 4 очистных участка. Но на практике при работе четырьмя очистными забоями в условиях равномерно распределенном графике отбойки угля забоями стали возникать моменты, когда объемы угля превышали плановые, что вело к частичной просыпке, заштыбовке и остановке магистрального конвейера.

Анализ показал, что описанный подход (равномерное распределение моментов взрывов ведет к равномерной загрузке магистрального конвейера при

работе четырех участков) не учитывает три обстоятельства. Во-первых, время перемещения отбитого угля от очистного забоя до бункера накопления угля возле магистрального конвейера. Во-вторых, стадию первоначального накопления отбитого угля у магистрального конвейера. В-третьих, завершающую стадию снижения объемов угля при завершении зачистки лавы. Для учета этих особенностей транспортировки отбитого угля при использовании буровзрывного способа разработки месторождений наклонных и круто наклонных пластов необходима адекватная математическая модель загрузки и перемещения угля по скребковым и ленточному конвейерам при взрывной отбойке угля несколькими очистными забоями.

Рассмотрим технологический процесс перемещения угля. Выданный из очистного забоя отбитый уголь попадает на скребковый конвейер, состоящий из нескольких секций) в точке $x_{оз}$, характеризующей расположение очистного забоя вдоль выемочного участка (расстояние от забоя до магистрального конвейера). Количество угля, расположенного на скребковом конвейере, с учетом его движения ($V_{ск}$) подвержено преобразованию сдвига и пополняется из очистного забоя со скоростью ($V_{оз}$), тогда, математическая модель работы скребкового конвейера примет вид:

$$\varphi(x - V_{ск}dt, t_i + dt) = \varphi(x, t_i) + [\varphi(x_{оз}, t_i) - V_{оз}dt]$$

для всего пространства конвейерного штрека ($x_0 \leq x_i \leq x_n$, x_0 – координата начала скребкового конвейера - места, где происходит пересып угля со скребкового конвейера в аккумулирующий бункер, и затем на магистральный конвейер, x_n – координата конца скребкового конвейера, расположенного у верхнего края конвейерного штрека). Часть конвейера, которая расположена у верхнего штрека за линией забоя всегда остается пустой.

Уголь, который находился на скребковом конвейере в нижней части штрека, попадает в бункер, и при открытии бункера высыпается на магистральный конвейер. Этот объем угля равен объему угля, расположенному в начале скребкового конвейера (у бункера). Аналогично скребковому

конвейеру работает ленточный конвейер, только с большой скоростью. Общая математическая модель процесса перемещения угля при использовании технологии буровзрывных работ несколькими забоями должна в зависимости от числа работающих забоев транспонироваться по числу уравнений, описывающих перемещение угля по конвейерным штрекам и в общем примет вид.

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_{ск}^1(x - V_{ск}^1 dt, t_i + dt) = \varphi_{ск}^1(x, t_i) + [\varphi_{ск}^1(x_{оз}^1, t_i) = V_{оз}^1 dt] \\ \dots \\ \varphi_{ск}^i(x - V_{ск}^i dt, t_i + dt) = \varphi_{ск}^i(x, t_i) + [\varphi_{ск}^i(x_{оз}^i, t_i) = V_{оз}^i dt] \\ \dots \\ \varphi_{ск}^n(x - V_{ск}^n dt, t_i + dt) = \varphi_{ск}^n(x, t_i) + [\varphi_{ск}^n(x_{оз}^n, t_i) = V_{оз}^n dt] \\ \varphi_{лк}(y - V_{лк} dt, t_i + dt) = \varphi_{лк}(y, t_i) + [\varphi_{лк}(y_{оз}^1, t_i) = \varphi_{ск}^1(x_0^1, t_i)] + \dots \\ + [\varphi_{лк}(y_{оз}^i, t_i) = \varphi_{ск}^i(x_0^i, t_i)] + \dots + [\varphi_{лк}(y_{оз}^n, t_i) = \varphi_{ск}^n(x_0^n, t_i)] \end{array} \right.$$

Здесь первые уравнения, число которых совпадает с числом работающих очистных забоев, описывают перемещение угля по скребковым конвейерам. Верхний индекс – номер очистного участка, $V_{ск}^i$ – скорость скребкового конвейера на i -м очистном участке, $x_{оз}^i$ – координата расположения i -го очистного участка в выемочном столбе, $V_{оз}^i$ – скорость выдачи угля из очистного забоя. Последнее уравнение описывает перемещение угля по магистральному ленточному конвейеру. Выражения, стоящие в квадратных скобках – операция пересыпа угля со скребкового конвейера, выдающего уголь из i -го очистного участка (верхний индекс), расположенного относительно капитальной выработки в точке $y_{оз}^i$ на магистральный ленточный конвейер. Число таких выражений совпадает с числом работающих очистных участков. Нижние индексы $лк$ и $ск$ определяют принадлежность параметров (функции загрузки, скорости конвейера) к виду конвейера, соответственно ленточный конвейер и скребковый конвейер. Учет аккумулирующих бункеров достигается вводом в математическую модель функций задержки.

Для проверки адекватности разработанной математической модели загрузки и перемещения угля по скребковым и ленточному конвейерам при взрывной отбойке угля несколькими очистными забоями системы транспорта шахты Хонг Тхай были проведены натурные наблюдения за загрузкой магистрального конвейера в феврале 2017 г. (17.02.2017). Шахта работала

четырьмя очистными участками. Объем угля фиксировался с помощью конвейерных весов с периодичностью близкой к минуте. Эксперимент проводился в течении 3-х часов. Данные представлены в табл. 2.1. Кроме этого с помощью разработанной математической модели загрузки и перемещения угля по скребковым и ленточному конвейерам при взрывной отбойке угля несколькими очистными забоями была рассчитана загрузка магистрального конвейера. Данные расчета приведены в колонке «модель».

Таблица 2.1.

Экспериментально наблюденная и расчетная загрузки магистрального конвейера шахты Хонг Тхай при работе четырьмя очистными участками.

№	Время	Загрузка	Модель
1	12:01:01	75,96	75
2	12:02:09	72,672	75
3	12:03:07	71,488	75
4	12:04:04	77,904	75
5	12:05:09	73,608	75
6	12:06:05	72,448	75
7	12:07:06	77,744	75
8	12:08:02	76,16	75
9	12:09:10	73,792	75
10	12:10:07	78,912	75
11	12:11:01	72,792	75
12	12:12:05	71,752	75
13	12:13:10	74,456	75
14	12:14:06	78,232	75
15	12:15:06	78,584	75
16	12:16:04	75,688	75
17	12:17:07	74,904	75
18	12:18:08	74,32	75
19	12:19:08	78,848	75
20	12:20:00	76,016	75
21	12:21:09	71,472	75
22	12:22:07	74,592	75
23	12:23:07	72,312	75
24	12:24:03	77,664	75
25	12:25:06	76,2	75
26	12:26:04	74,376	75
27	12:27:02	71,136	75
28	12:28:09	78,92	75

№	Время	Загрузка	Модель
29	12:29:07	76,816	75
30	12:30:05	77,432	75
31	12:31:03	72,432	75
32	12:32:04	72,408	75
33	12:33:10	71,128	75
34	12:34:02	75,36	75
35	12:35:01	77,408	75
36	12:36:02	76,576	75
37	12:37:02	74,288	75
38	12:38:10	71,24	75
39	12:39:03	71,208	75
40	12:40:09	71,896	75
41	12:41:07	73,552	75
42	12:42:02	73,088	75
43	12:43:09	77,184	75
44	12:44:06	75,4	75
45	12:45:06	71,864	75
46	12:46:07	78,384	75
47	12:47:04	77,84	75
48	12:48:10	77,304	75
49	12:49:08	78,584	75
50	12:50:07	78,112	75
51	12:51:06	73,832	75
52	12:52:09	73,304	75
53	12:53:04	76,04	75
54	12:54:02	74,152	75
55	12:55:06	78,928	75
56	12:56:10	76,384	75
57	12:57:08	78,952	75
58	12:58:00	72,456	75
59	12:59:09	75,064	75
60	13:00:09	72,232	75
61	13:01:06	75,76	75
62	13:02:00	71,592	75
63	13:03:02	77,656	75
64	13:04:04	76,504	75
65	13:05:01	77,504	75
66	13:06:05	72,192	75
67	13:07:01	74,056	75
68	13:08:05	77	75
69	13:09:09	74,4	75

№	Время	Загрузка	Модель
70	13:10:01	73,504	75
71	13:11:09	78,016	75
72	13:12:09	78,56	75
73	13:13:04	77,52	75
74	13:14:08	71,536	75
75	13:15:01	71,256	75
76	13:16:08	74,912	75
77	13:17:05	74,24	75
78	13:18:03	71,296	75
79	13:19:08	75,224	75
80	13:20:03	76,136	75
81	13:21:09	72,216	75
82	13:22:02	76,128	75
83	13:23:05	76,192	75
84	13:24:03	73,16	75
85	13:25:07	73,088	75
86	13:26:07	77,976	75
87	13:27:05	73,368	75
88	13:28:05	75,256	75
89	13:29:05	72,808	75
90	13:30:06	75,048	75
91	13:31:06	71,816	75
92	13:32:03	77	75
93	13:33:00	75,576	75
94	13:34:08	73,696	75
95	13:35:08	77,992	75
96	13:36:09	77,712	75
97	13:37:06	71,864	75
98	13:38:06	71,184	75
99	13:39:09	72,36	75
100	13:40:02	76,096	75
101	13:41:06	76,072	75
102	13:42:10	74,032	75
103	13:43:04	72,952	75
104	13:44:02	73,432	75
105	13:45:07	71,192	75
106	13:46:01	72,704	75
107	13:47:03	73,864	75
108	13:48:10	71,608	75
109	13:49:02	74,712	75
110	13:50:03	78,232	75

№	Время	Загрузка	Модель
111	13:51:01	71,096	75
112	13:52:08	72,104	75
113	13:53:01	74,496	75
114	13:54:10	78,704	75
115	13:55:08	76,12	75
116	13:56:05	75,544	75
117	13:57:02	76,712	75
118	13:58:10	75,896	75
119	13:59:10	75,016	75
120	14:00:03	73,2	75
121	14:01:06	72,36	75
122	14:02:03	78,312	75
123	14:03:04	71,432	75
124	14:04:10	73,688	75
125	14:05:05	73,688	75
126	14:06:10	74,016	75
127	14:07:02	76,144	75
128	14:08:02	74,24	75
129	14:09:05	78,76	75
130	14:10:02	78,816	75
131	14:11:02	75,216	75
132	14:12:07	72,36	75
133	14:13:04	77,608	75
134	14:14:00	71,672	75
135	14:15:09	77,816	75
136	14:16:03	76,184	75
137	14:17:00	77,296	75
138	14:18:08	74,328	75
139	14:19:10	75,896	75
140	14:20:08	75,648	75
141	14:21:05	74,904	75
142	14:22:04	73,944	75
143	14:23:01	77,016	75
144	14:24:04	71,08	75
145	14:25:03	74,784	75
146	14:26:09	75,904	75
147	14:27:05	72,016	75
148	14:28:09	77,704	75
149	14:29:01	71,024	75
150	14:30:08	74,512	75
151	14:31:06	76,488	75

№	Время	Загрузка	Модель
152	14:32:06	76,36	75
153	14:33:09	74,864	75
154	14:34:03	77,728	75
155	14:35:03	71,664	75
156	14:36:01	80,235	81
157	14:37:08	85,78	86
158	14:38:09	88,856	90
159	14:39:01	87,352	90
160	14:40:03	87,752	90
161	14:41:03	91,704	90
162	14:42:07	87,248	90
163	14:43:05	86,832	90
164	14:44:00	86,384	90
165	14:45:08	89,52	90
166	14:46:09	90,008	90
167	14:47:02	91,064	90
168	14:48:00	88,544	90
169	14:49:06	88,848	90
170	14:50:07	92,672	90
171	14:51:02	92,688	90
172	14:52:08	85,424	90
173	14:53:09	90,952	90
174	14:54:07	86,656	90
175	14:55:01	89,144	90
176	14:56:08	89,728	90
177	14:57:00	86,64	90

Анализ отклонений объемов фактически перемещаемого угля от рассчитанных с помощью математической модели, показал, что среднеквадратическое отклонение составило 6,5%, это свидетельствует об адекватности разработанной математической модели загрузки и перемещения угля по скребковым и ленточному конвейерам при взрывной отбойке угля несколькими очистными забоями (рис. 2.15). В 14.57 произошел останов магистрального конвейера по причине заштыбовке.

Выполненные расчеты загрузки магистрального конвейера с помощью разработанной математической модели загрузки и перемещения угля по скребковым и ленточному конвейерам при взрывной отбойке угля несколькими

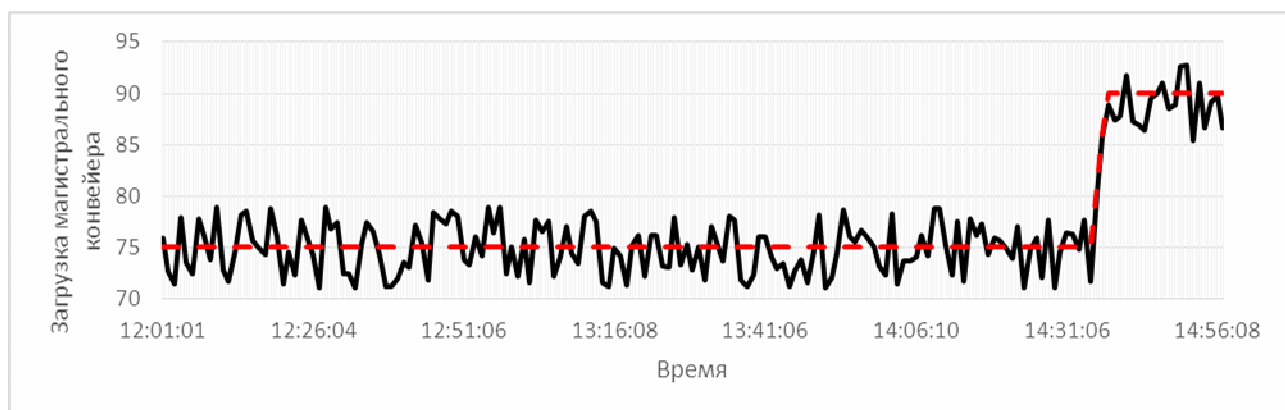


Рис. 2.15. Экспериментально наблюдаемая (черн.) и расчетная (красн.) загрузки магистрального конвейера шахты Хонг Тхай при работе четырьмя очистными участками.

очистными забоями шахты Хонг Тхай за смену четырьмя очистными участками (рис. 2.16) показали причину возникновения перегруза к концу рабочих смен.

Из графиков, представленных на рис. 2.16 видно, что перегруз магистрального конвейера возникает к концу смены из-за влияния инерционных свойств конвейерных линий, связанных с их большой протяженностью и низкой скоростью скребковых конвейеров. Так при равномерно распределенном режиме работы четырех очистных участков в смену, во второй половине смены нагрузка на магистральном конвейере возрастает на 20%, что связано с именно инерционностью процесса транспортировки угля скребковыми конвейерами и объясняет наблюдаемые на практике увеличенные объемы угля. Такое явление — частичная перегрузка может быть определена и учтена при работе системы транспорта только с помощью автоматизированной системы.

Поэтому, для управления транспортом шахты Хонг Тхай необходимо использовать автоматизированную систему, которая с помощью разработанной математической модели загрузки и перемещения угля по скребковым и ленточному конвейерам при взрывной отбойке угля несколькими очистными забоями определяла бы график проведения взрывных работ бригадами, дополненную автоматической системой управления транспортной системой на основе упреждающего управления.

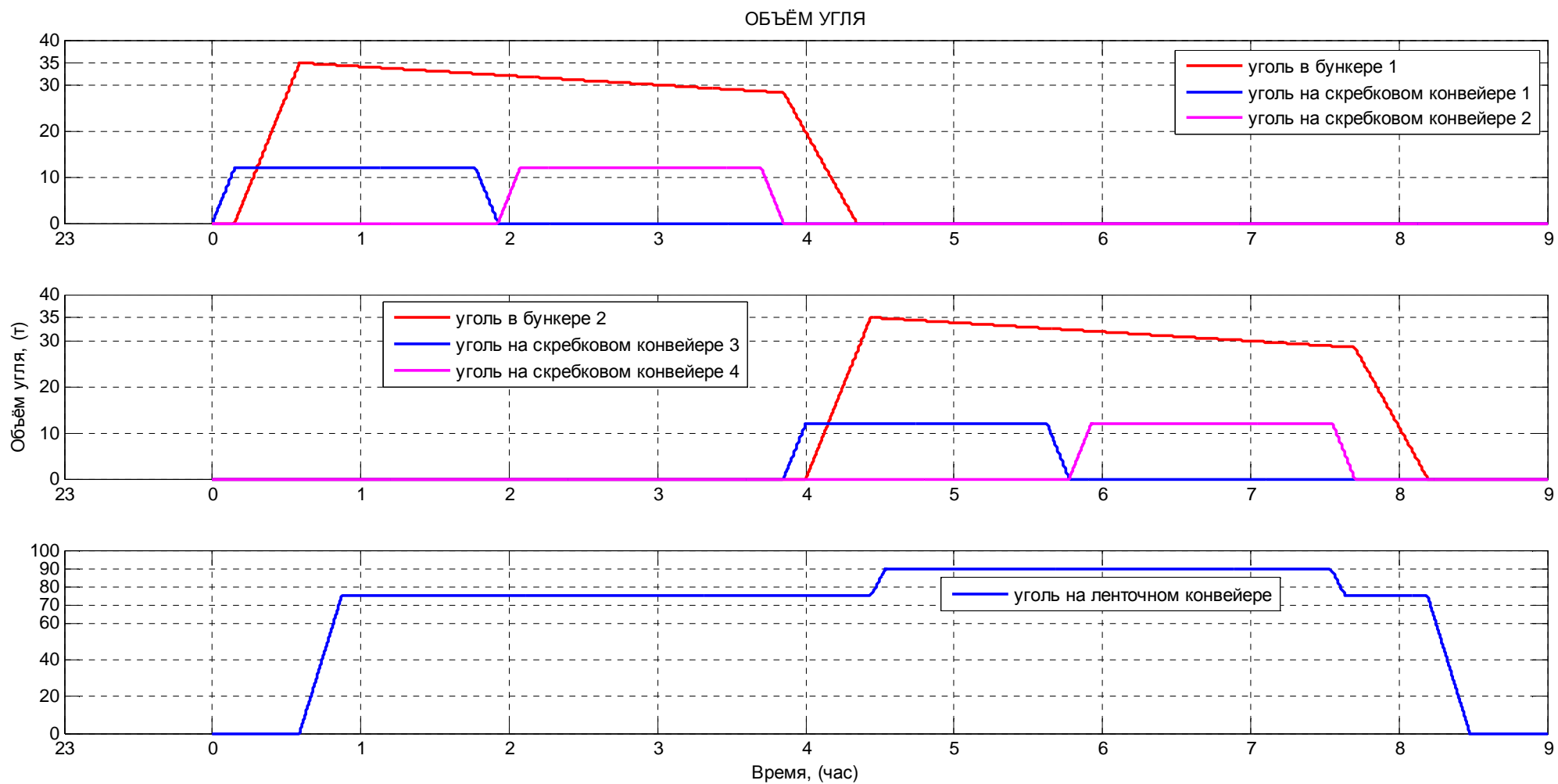


Рис. 2.16. Загрузка транспортной системы шахты за смену, при равномерном распределённом режиме работы четырех очистных бригад.

2.5.3. Проведение математического моделирования загрузки транспортной системы и разработка алгоритма нахождения режимов работы участков, минимизирующих максимальную загрузку магистрального конвейера.

С помощью разработанной математического моделирования загрузки и перемещения угля по скребковым и ленточному конвейерам при взрывной отбойке угля несколькими очистными забоями системы транспорта шахты Хонг Тхай было проведено моделирование работы четырех участков при различных режимах (моментах проведения взрывных работ) работы четырех участков. Результаты представлены на рис. 2.17 – 2. 19. На рис. 2.20 представлен вариант загрузки транспортной системы при работе шести очистных участков.

Анализ результатов моделирования работы транспортной системы шахты Хонг Тхай в условиях взрывной отбойки угля при разработке угольного пласта буровзрывным способом показала, что для нахождения оптимального режима работы очистных участков необходимо разработать алгоритм минимизирующий наибольшую загрузку магистрального конвейера - алгоритм нахождения режимов взрывной обойки угля несколькими очистными забоями, обеспечивающий равномерное и постоянное поступление угля на магистральный конвейер и реализующий потоковый принцип работы транспорта угольной шахты. Такой алгоритм должен определять максимальную загрузку магистрального конвейера, продолжительность работы магистрального конвейера с максимальной загрузкой и с помощью последовательного изменения вектора $\vec{t} = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ производить расчет загрузки магистрального конвейера.

Изменение вектора $\vec{t} = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ должно происходить последовательно по каждой компоненте вектора t_i . При каждом изменении компоненты вектора определяется изменение максимальной загрузки и её продолжительность. В общем случае алгоритм должен предусматривать два варианта останова по возникновению событий:

- снижение максимальной загрузки магистрального конвейера не происходит;
- достигнуто требуемая максимальная загрузка магистрального конвейера.

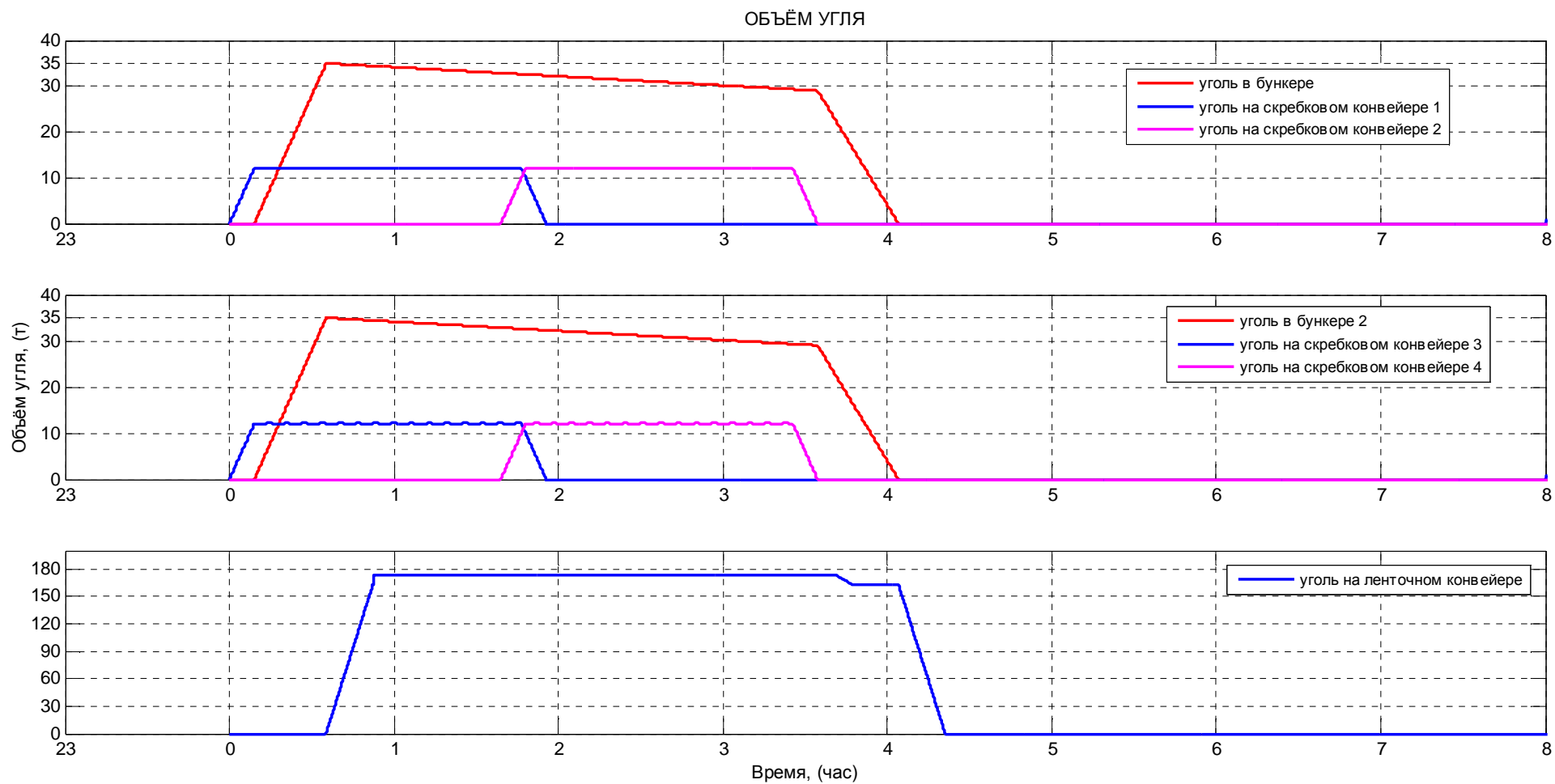


Рис. 2.17. Загрузка транспортной системы шахты за смену, при попарном режиме работы четырех очистных бригад.

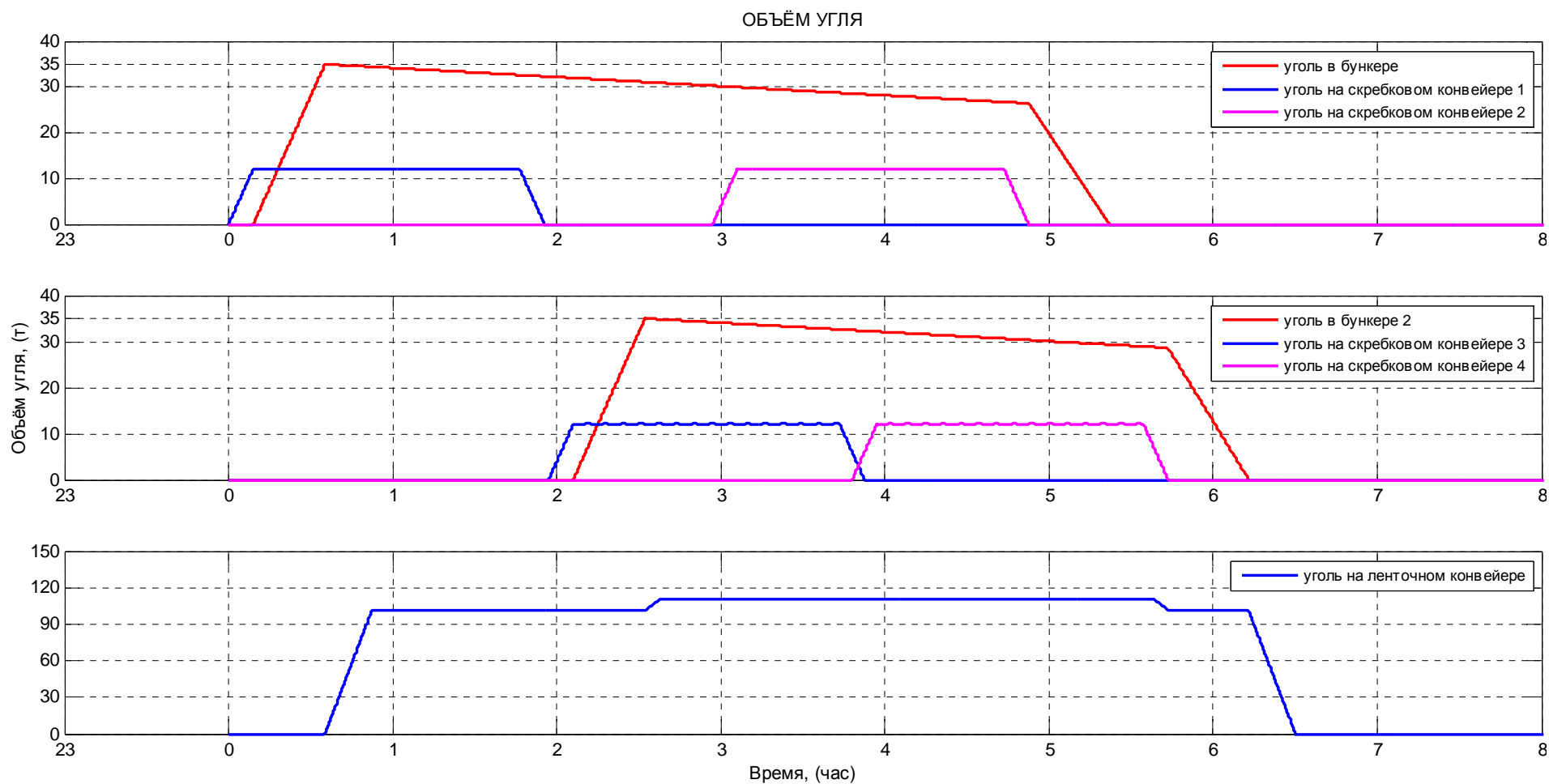


Рис. 2.18. Загрузка транспортной системы шахты за смену, при режиме работы четырех очистных бригад, когда выгрузка угля из очистных забоев осуществляется для одного бункера через час, для второго последовательно.

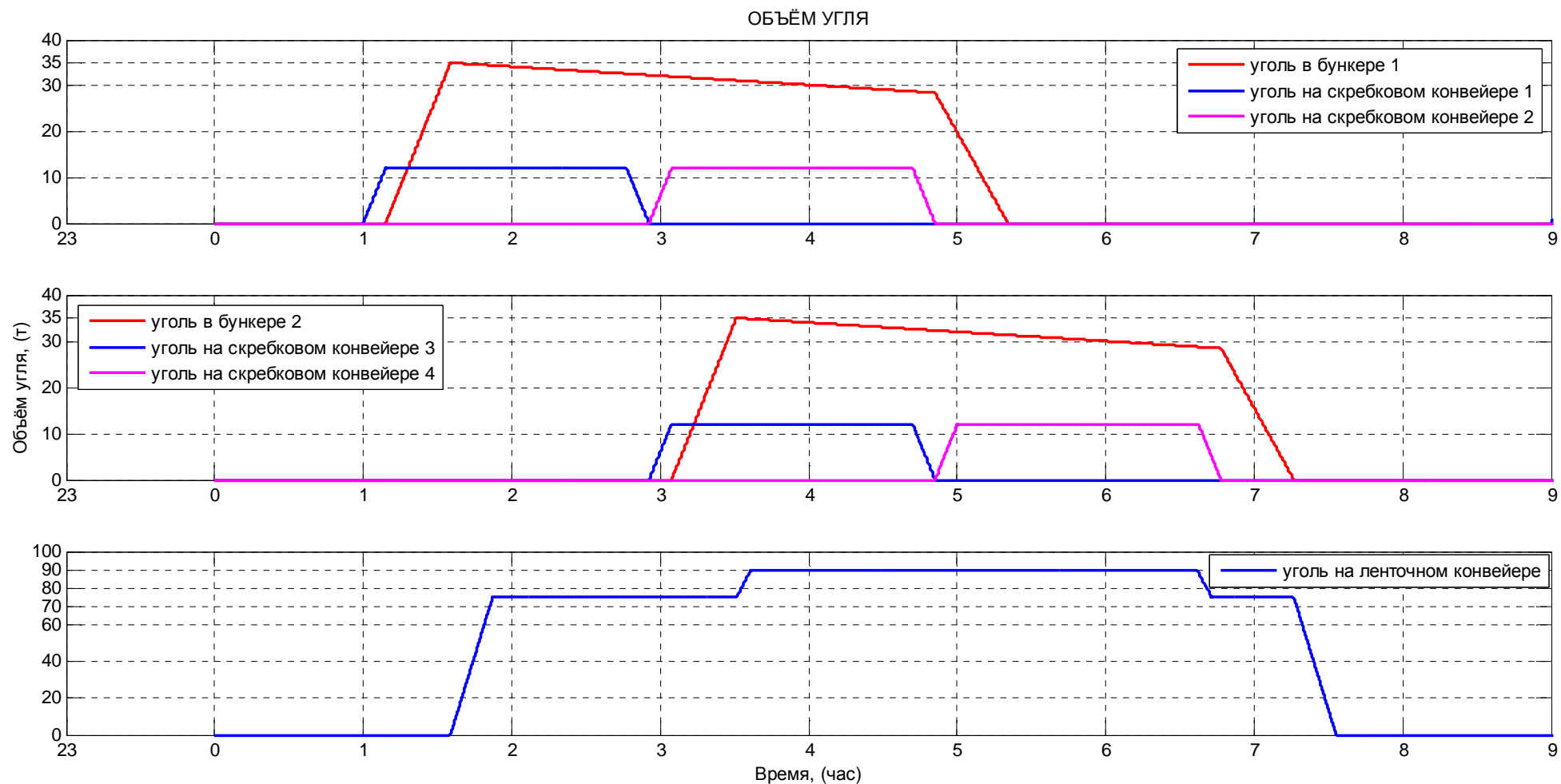


Рис. 2.19. Загрузка транспортной системы шахты за смену, при режиме работы четырех очистных бригад, когда выгрузка угля из очистных забоев осуществляется для каждого бункера осуществляется последовательно, при этом вторая выгрузка угля в первый бункер совпадает с первой выгрузкой угля во второй бункер.

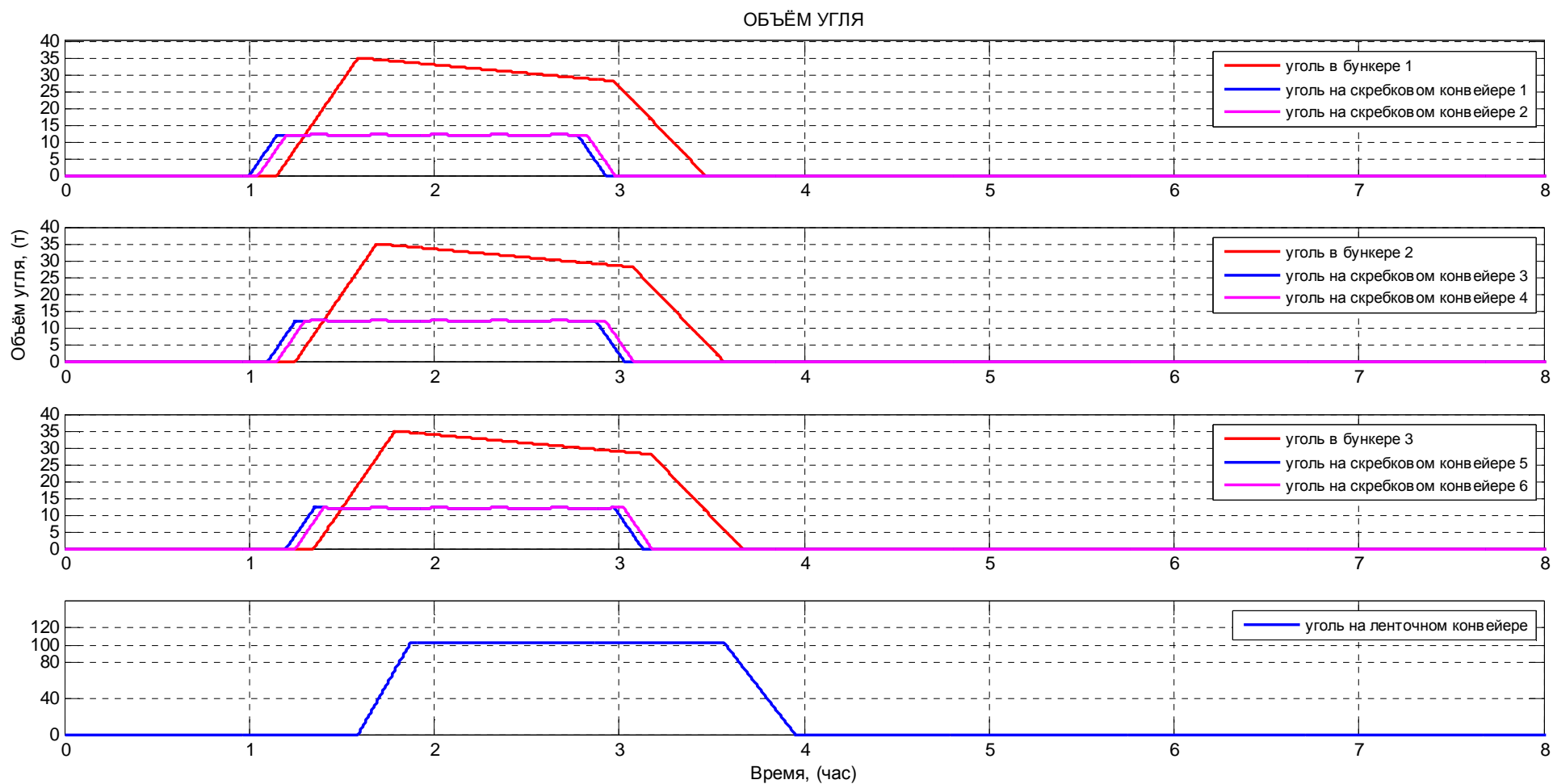


Рис. 2.20. Загрузка транспортной системы шахты за смену, при работе шести бригад.

Таким образом, алгоритм нахождения режимов работы нескольких очистных участков при разработке угольного пласта буровзрывным способом должен выполнять последовательно следующие шаги.

Первый шаг. На первом шаге задается число работающих участков и максимальная загрузка магистрального конвейера.

Второй шаг. Задаются технологические параметры каждого участка. В разработанном алгоритме имеется возможность задать для каждого очистного забоя его расположение (протяженность конвейерного штрека), объем отбитого угля, время выдачи отбитого угля, бункер к которому транспортируется уголь.

Третий шаг. На основе введенных технологических параметров определяются временные интервалы, необходимые для транспортировки угля от очистного забоя до бункера, расположенного у магистрального конвейера.

Четвертый шаг. Задается первоначальный график работы очистных бригад.

Пятый шаг. Выполняется моделирование работы транспортной системы шахты с помощью, разработанной в параграфе 2.5.2 Математическая модель загрузки и перемещения угля по скребковым и ленточному конвейерам при взрывной отбойке угля несколькими очистными забоями системы транспорта шахты Хонг Тхай.

Шестой шаг. Определяются максимальная загрузка и её продолжительность магистрального конвейера.

Седьмой шаг. Проверяется условие не превышения заданной загрузки магистрального конвейера. При выполнении условия алгоритм переходит к шагу двенадцатому.

Восьмой шаг. Если условие предыдущего шага не выполнено определяется изменение загрузки.

Девятый шаг. Если изменение максимальной загрузки магистрального конвейера не произошло или оно не существенно, то найден наилучший вариант режима работы очистных участков. Переход к шагу двенадцатому.

Десятый шаг. Проверяется возможность изменения вектора $\vec{t} = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$, если такая возможность исчерпана переход к шагу двенадцатому.

Одиннадцатый шаг. Производится корректировка графика работ очистных бригад (вектора $\vec{t} = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$). Переход к шагу пятому.

Двенадцатый шаг. Вывод найденного графика работы очистных бригад (вектора $\vec{t} = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$).

Останов алгоритма.

Блок схема работы алгоритма представлена на рис. 2.21.

Работоспособность алгоритма нахождения режимов взрывной обойки угля несколькими очистными забоями, обеспечивающий равномерное и постоянное поступление угля на магистральный конвейер и реализующий потоковый принцип работы транспорта угольной шахты проверялась на выборе режимов работы четырех участков за сутки. Первый вариант режима работы очистных участков (стартовый) приведен на рис. 2.22. Последующие результаты работы алгоритма приведены на рис. 2.22 – 2.28. Из графиков отчетливо видно снижение максимальной загрузки магистрального конвейера с 175 тонн последовательно до 160, 110, 86 и в итоге до 80 тонн. Из-за того, что снижение максимальной загрузки магистрального конвейера на последних итерациях работы алгоритма было не существенно (частная производная максимальной загрузки магистрального конвейера от вектора $\vec{t} = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ мала) алгоритм произвел останов.

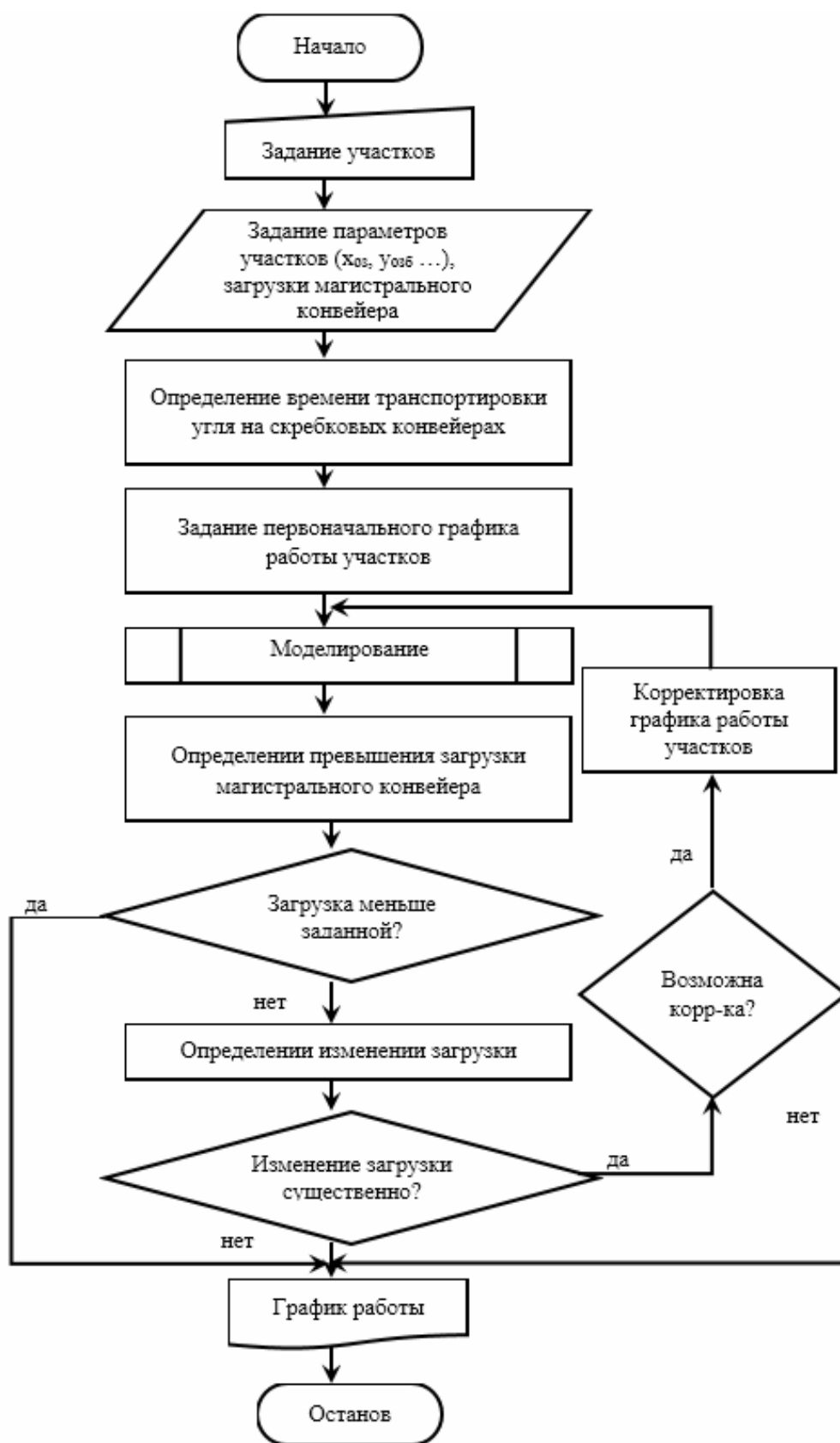


Рис. 2.21. Алгоритм нахождения режимов взрывной обойки угля несколькими очистными забоями, обеспечивающий равномерное и постоянное поступление угля на магистральный конвейер и реализующий потоковый принцип работы транспорта угольной шахты.

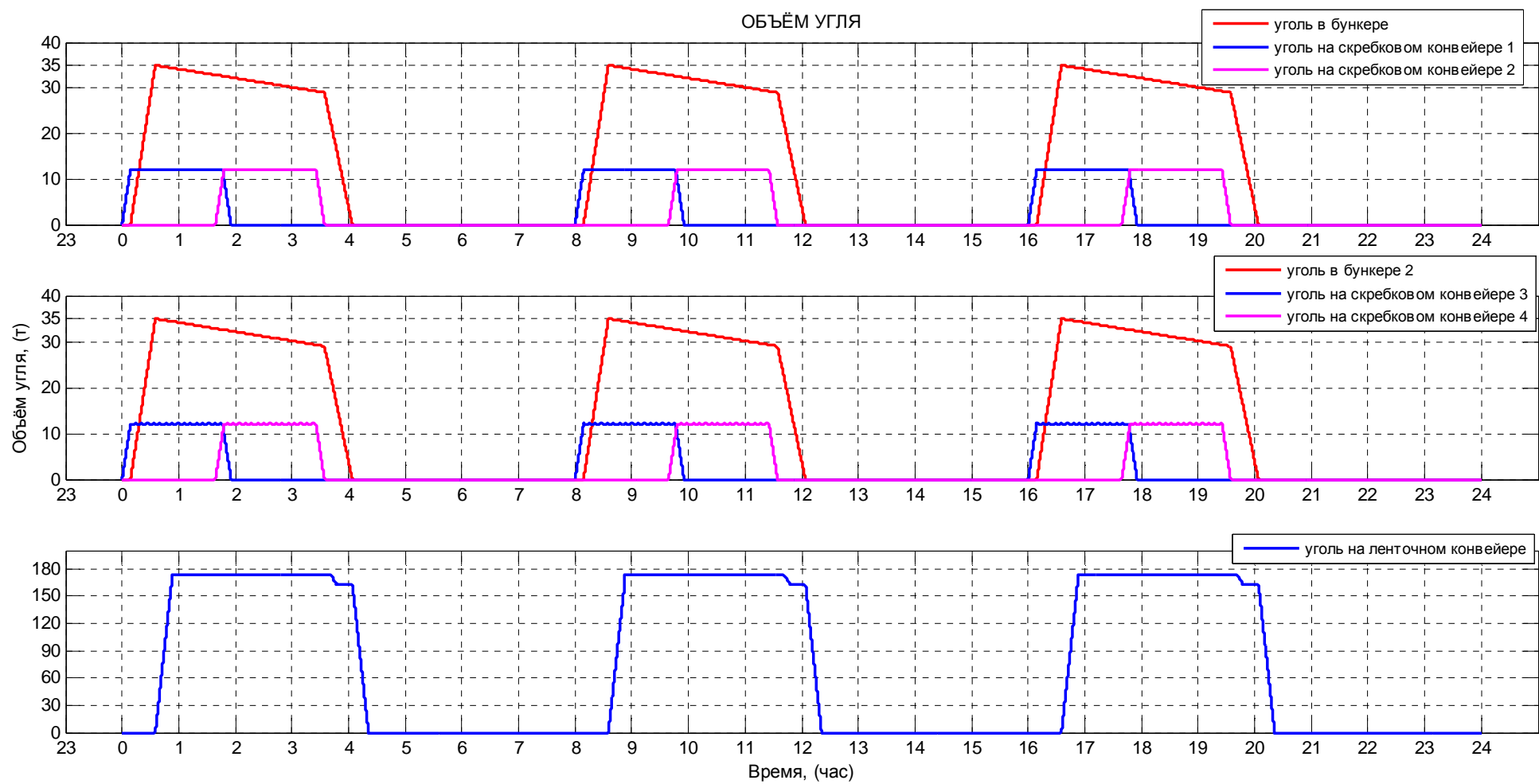


Рис. 2.22. Вариант работы четырех участков за сутки (стартовый).

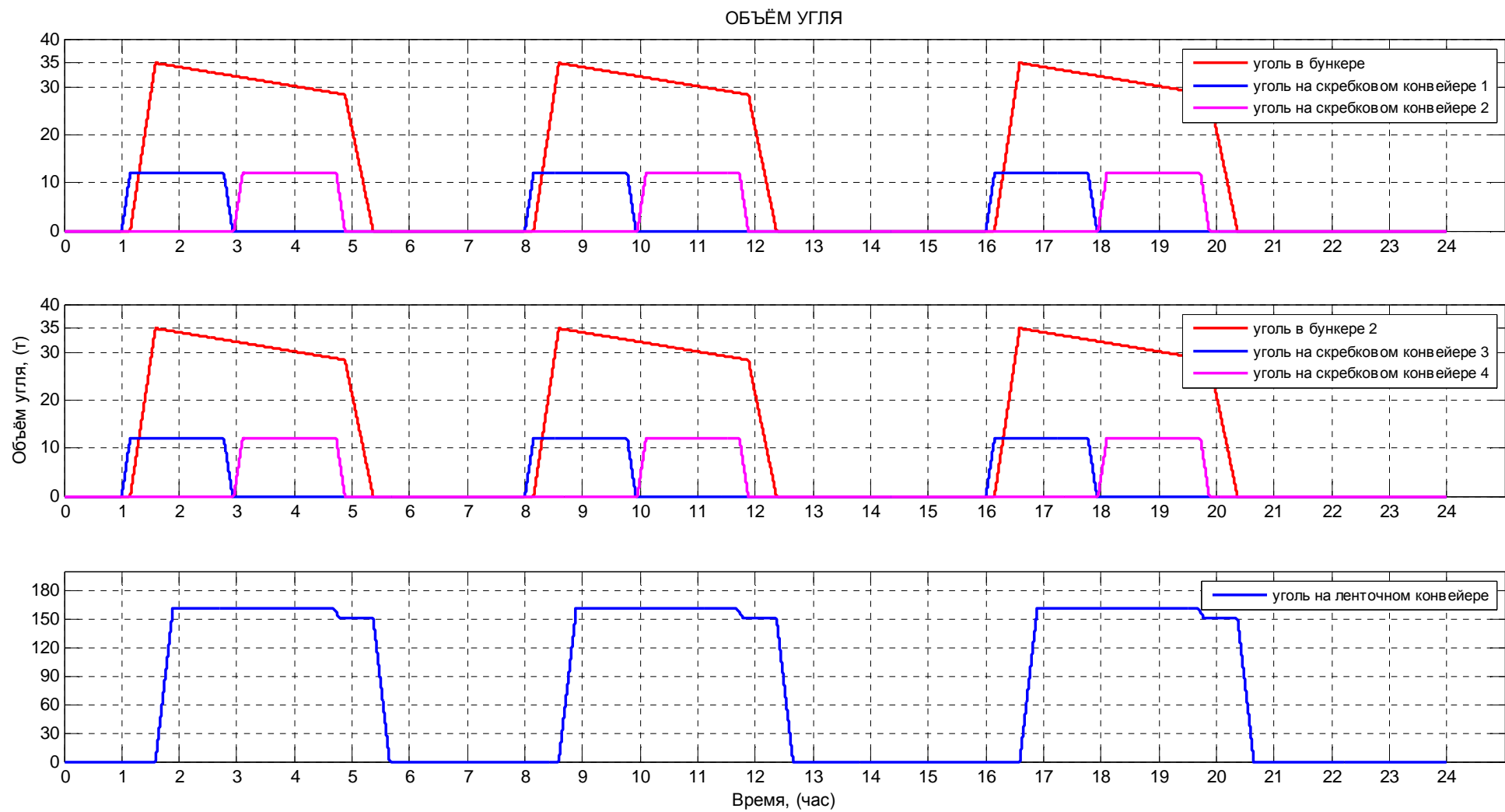


Рис. 2.23. Вариант работы четырех участков за сутки (промежуточная итерация).

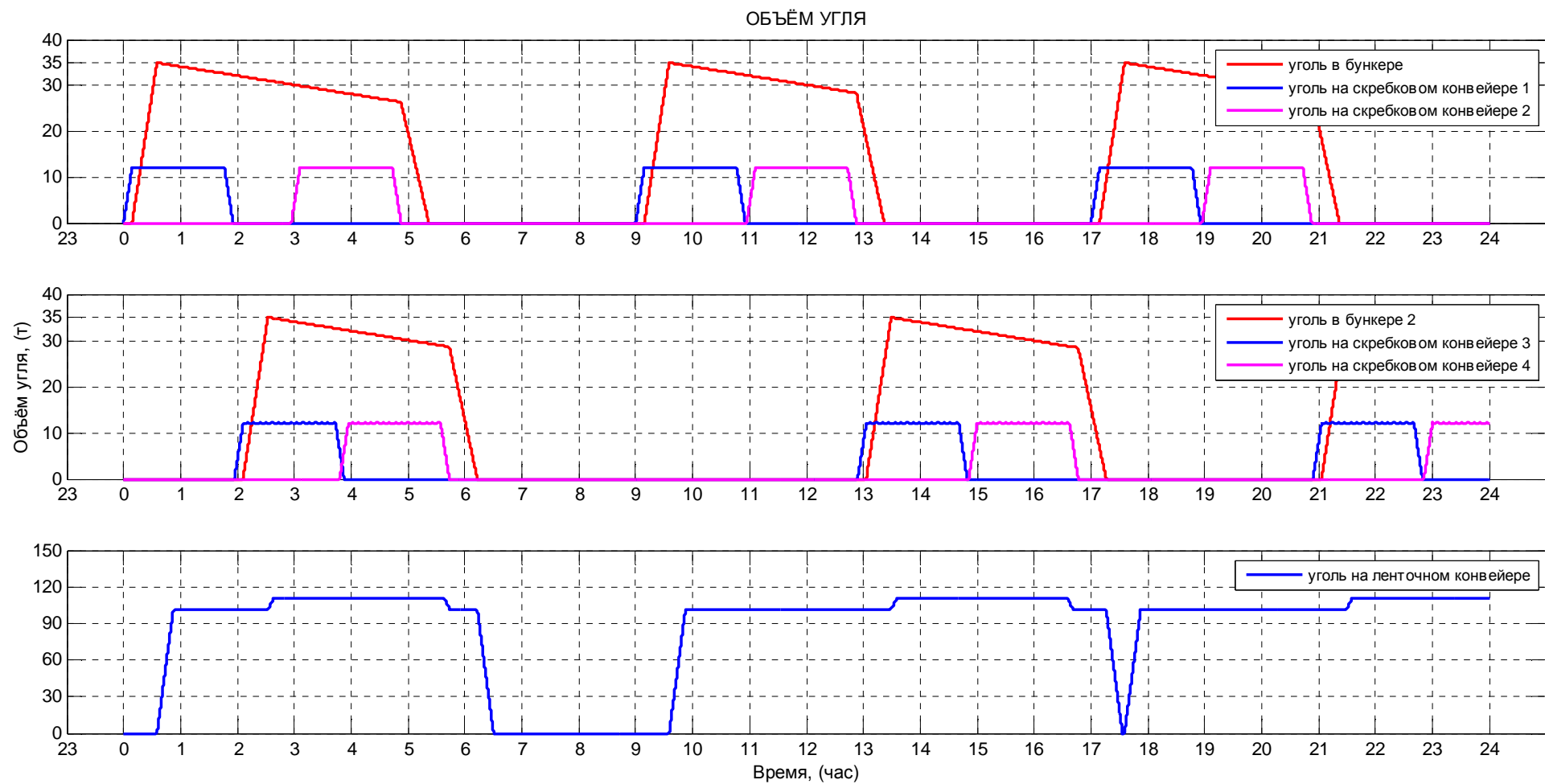


Рис. 2.24. Вариант работы четырех участков за сутки (промежуточная итерация).

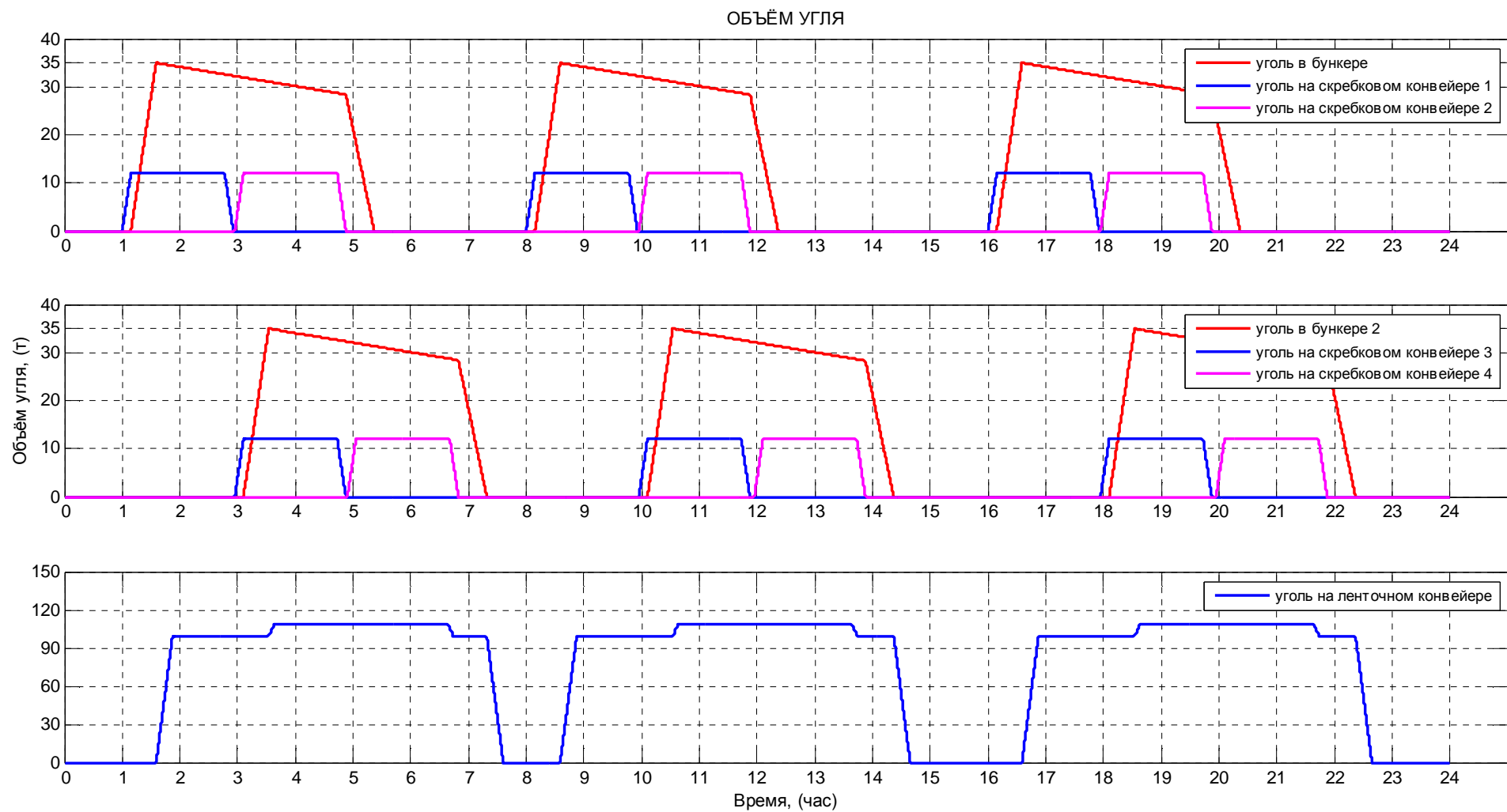


Рис. 2.25. Вариант работы четырех участков за сутки (промежуточная итерация).

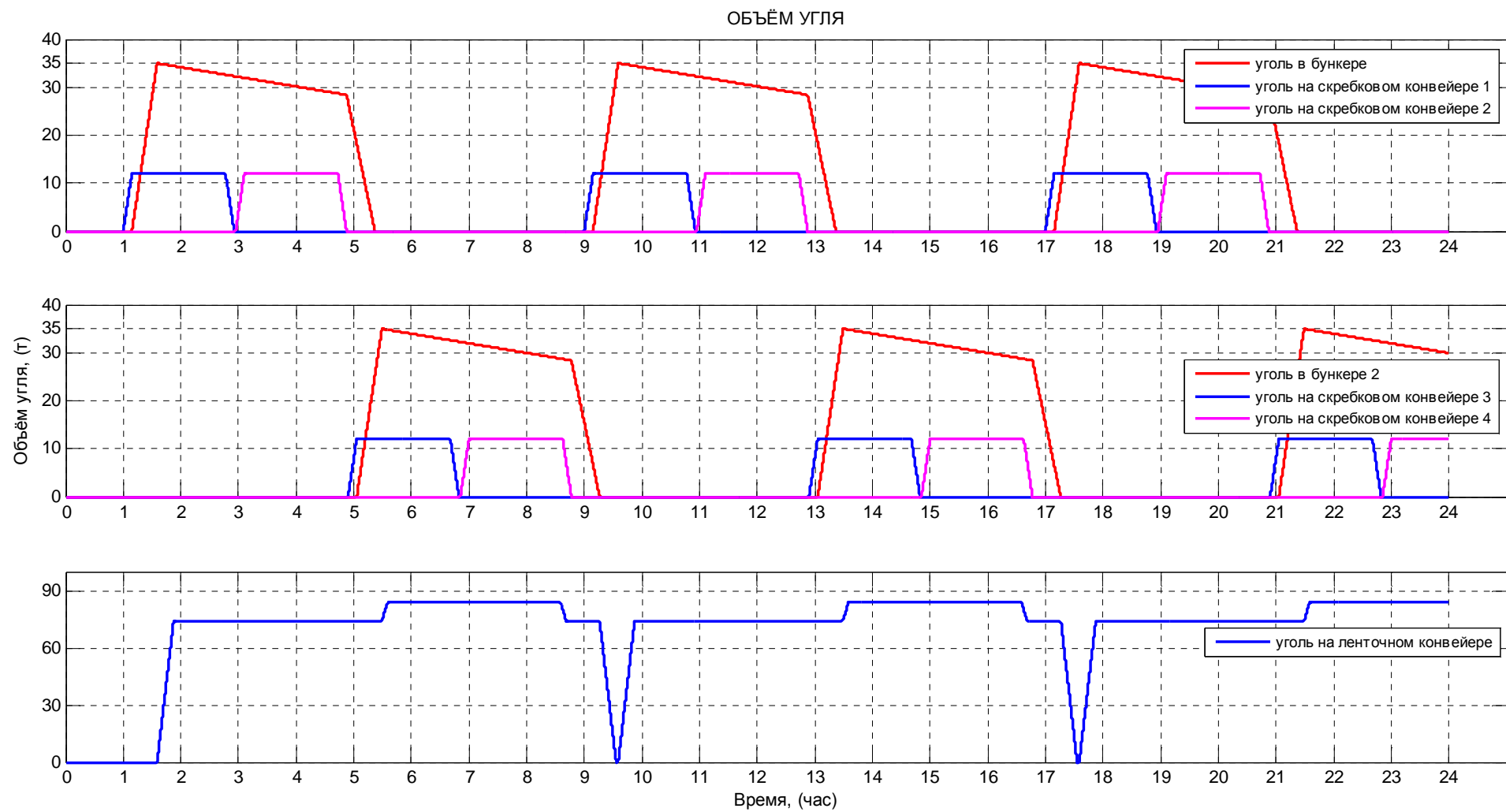


Рис. 2.26. Наилучший вариант работы четырех участков за сутки (окончательная итерация).

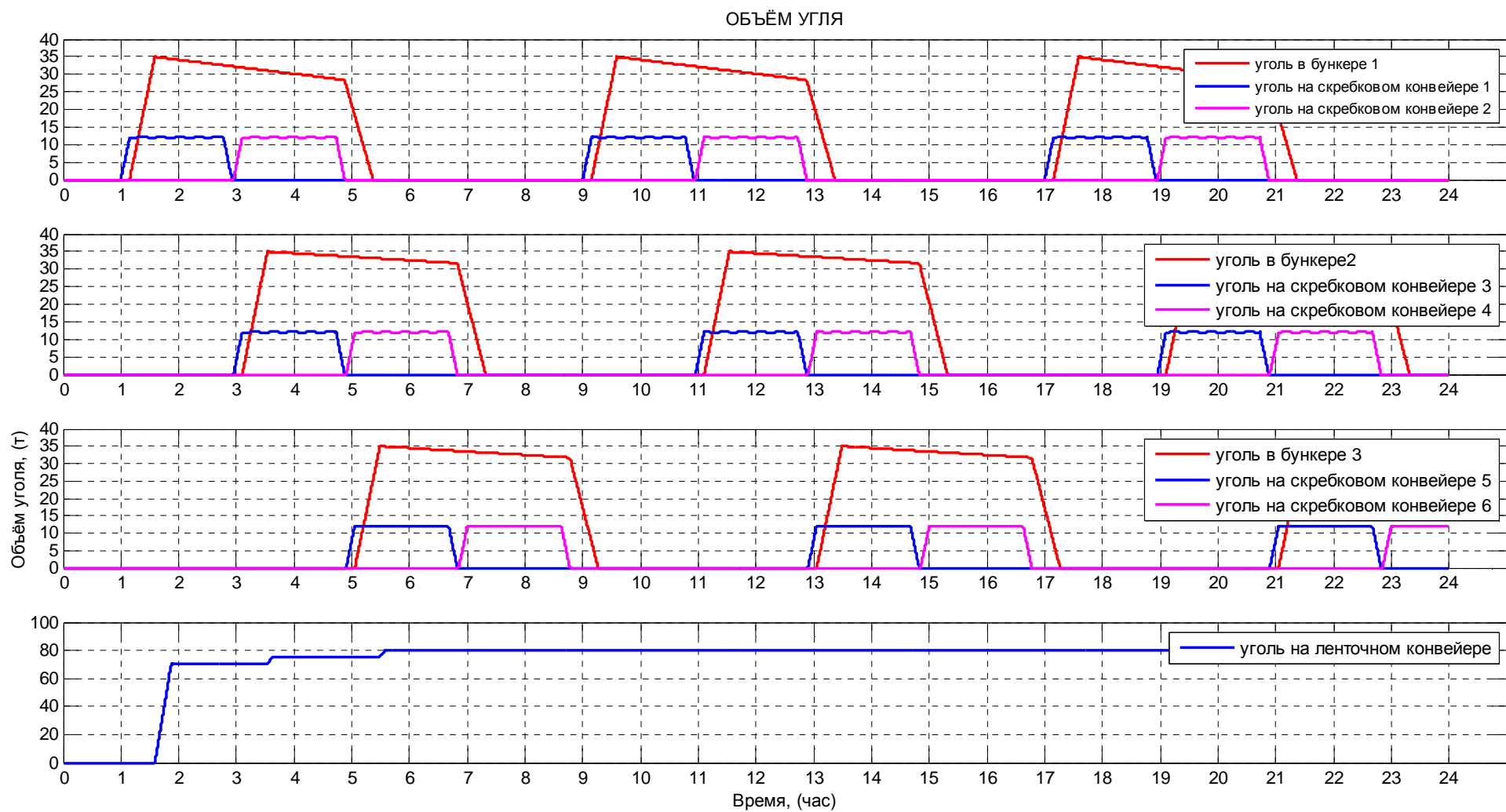


Рис. 2.27. Вариант работы шести участков за сутки (промежуточная итерация).

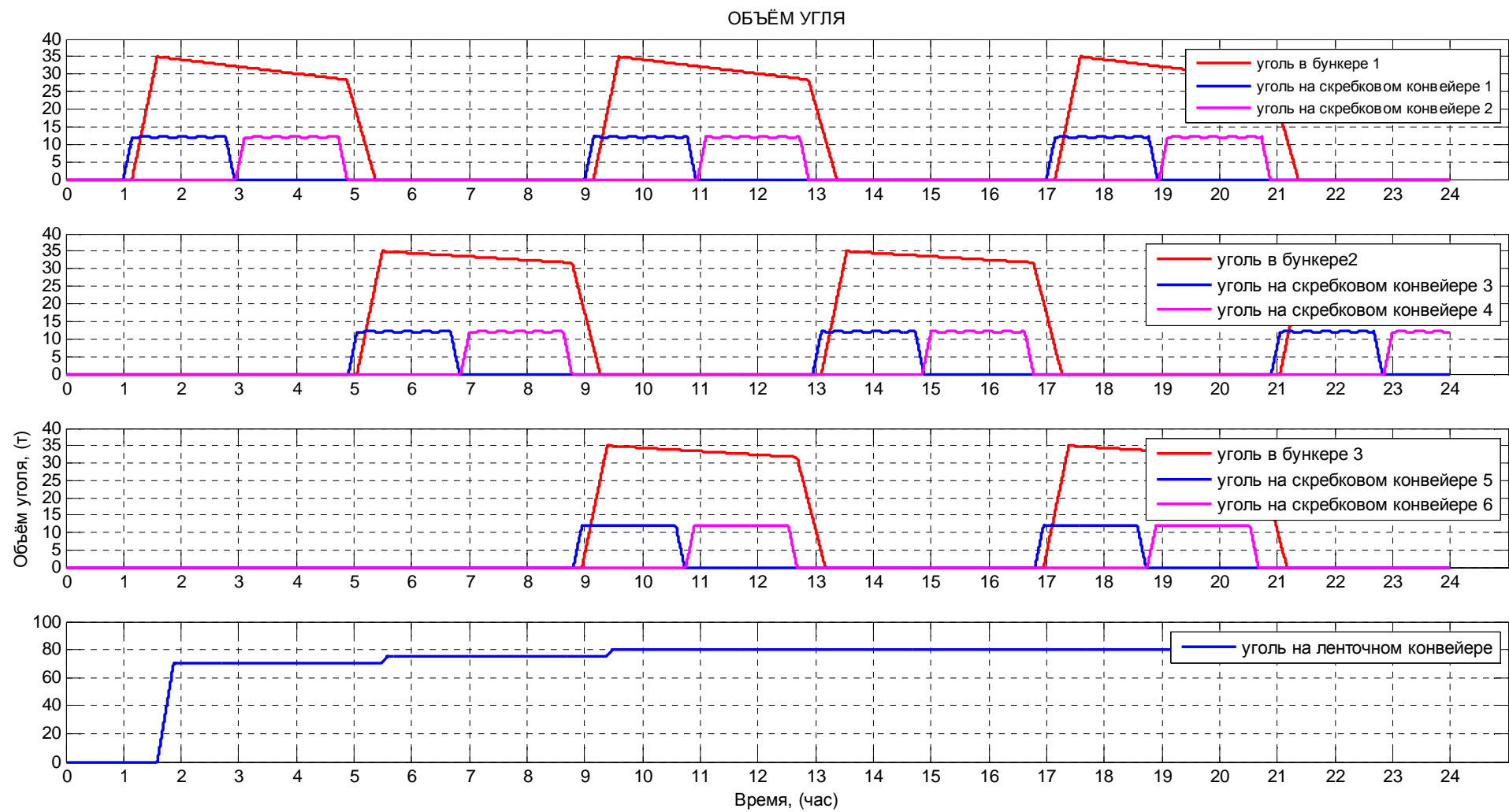


Рис. 2.28. Вариант работы шести участков за сутки (окончательная итерация).

2.6. Выводы по второй главе.

В главе проанализировано Современное состояние и перспективы развития угольной промышленности Вьетнама. Выявлено, что основной объем добываемого угля будет приходиться на горные предприятия разрабатывающие месторождения подземным способом.

Проведён обзор горно-геологических и горнотехнических условий бассейна Куангнинь. Выявлены особенности угольного бассейна Куангнин. На этом бассейне работают наиболее крупные шахты Социалистической Республики Вьетнам Хонг Тхай, Ха Лам, Наммау, Мао Хе, Вангзань, Монг Зыонг и Хе Чам. Строение угольных пластов угольного бассейна Куангнин сложное, нередко пласт состоит из несколько пачек, разделенных породными прослойками, мощность которых колеблется от 10 до 30 см. Мощность пластов изменяется от 1,2 до 10...15 м, а угол падения пластов изменяется от 15^0 до 30^0 и более (преобладают 20^0 ... 35^0).

Выявлены основные особенности применяемой технологии добычи угля на шахте Хонг Тхай угольного бассейна Куангнинь. Разработка пласта ведется буровзрывным способом несколькими очистными забоями. В перспективных планах определено увеличение мощности шахты путем увеличения числа очистных забоев и длины выемочных участков. Из анализа технологической информации по шахте Хонг Тхай определены основные параметры, влияющие на работу транспортной системы.

- Число выемочных участков;
- Длина выемочного столба,
- Длина лавы;
- Время выдачи отбитого угля из очистного забоя;
- Время выполнения взрыва и проветривания;
- Количество взрывов за смену;
- Продолжительность смены;
- Мощность угольного пласта;

- Производительность смены;
- Угол уклона очистных забоев.

Разработана Математическая модель загрузки и перемещения угля по скребковым и ленточному конвейерам при взрывной отбойке угля несколькими очистными забоями системы транспорта шахты Хонг Тхай. Выполнена её проверка на адекватность, путем сравнения рассчитанных значений загрузки магистрального конвейера с фактически наблюдаемыми. Среднеквадратическое отклонение составило рассчитанных значений от наблюдаемых не превысило 7 %.

На основе разработанной Математической модели загрузки и перемещения угля по скребковым и ленточному конвейерам при взрывной отбойке угля несколькими очистными забоями системы транспорта шахты Хонг Тхай было объяснен факт увеличения загрузки магистрального конвейера при равномерно распределенном графике работы четырех участков.

Приведено математического моделирования транспортной системы шахты, разрабатывающей угольный пласт несколькими очистными забоями буровзрывным способом.

Разработан алгоритм нахождения режимов взрывной отбойки угля несколькими очистными забоями, обеспечивающий равномерное и постоянное поступление угля на магистральный конвейер и реализующий потоковый принцип работы транспорта угольной шахты. Проведена проверка его работоспособности при поиске наилучшего режима работы транспортной системы шахты, разрабатывающей угольный пласт шестью очистными забоями буровзрывным способом.

ГЛАВА 3 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ТРАНСПОРТА ШАХТЫ.

3.1. Комплекс автоматизированного управления конвейерными линиями типа АУК.1М и АУК.3.

Модернизированный комплекс АУК.1М предназначен для автоматизированного управления и контроля работы стационарными полустационарными неразветвленными конвейерными линиями, состоящими из ленточных и скребковых конвейеров. Комплекс может применяться также для управления разветвлёнными конвейерными линиями, состоящими из двух-трех ответвлений, каждое из которых управляется как самостоятельная неразветвленная линия, имеющая до 10 конвейеров. Может применяться в рудниках, на обогатительных фабриках и других предприятиях, особенно, где имеет место взрывоопасная среда.

В состав аппаратуры АУК.1М входят: пульт управления ПУ; выносной прибор-указатель ВПУ; блоки управления БУ; блок концевого реле БКР; телефонные трубки; звуковые сигнализаторы СВ.1; датчики скорости ДКС (УПДС) и ДМ-2М; датчики схода ленты КСЛ-2; кабель тросовые выключатели КТВ-2; провод держатели; кнопочный пост управления КУ-93. Электродные датчики заштыбовки изготавливаются из жилы кабеля по месту установки. Комплекс АУК.1М наиболее распространен на шахтах, однако релейно-контактная элементная база аппаратуры не позволяет использовать её в компьютерно-интегрированных системах мониторинга и управления [76, 77].

В функциональном отношении комплекс АУК.3 является дальнейшим развитием функциональных возможностей аппаратуры АУК.1М и обеспечивает порядка 70 функций (табл. 3.1), основными из которых являются следующие функции:

- управление конвейерной линией (по каналу телемеханики);
- управление механизмами конвейера (пускатели приводных двигателей и тормоза);

- контроль защит и блокировок конвейера (включая пробуксовку приводного барабана);
- отображение и передача информации (в текстовом виде) на пульт управления;
- определение типа сработавшего датчика в конвейерной линии;
- построение схем автоматизации конвейера с минимальными ценовыми затратами.

Таблица 3.1. Технические характеристики оборудования АУК.3

Количество функций по управлению	9
Количество контролируемых защит и блокировок	22
Количество передаваемых сигналов с конвейера на ПУ	22
Количество управляемых приводных двигателей, шт.	2
Количество типов контролируемых датчиков конвейера, шт.	10
Сопротивление шлейфа линии экстренного отключения, Ом,	300
Скорость движения ленты:	
Контролируемая, не уже пределов, м/с	1,4 ÷ 5,0
Относительно номинальной, при которой выдается сигнал	75
Относительно номинальной, при которой выдается сигнал	108
При которой выдается сигнал на положение тормозов, м/с	0,2 ÷ 0,5
Значение защитной уставки пробуксовки приводного барабана,	10

3.2. Система автоматизированного управления разветвленными конвейерными линиями (САУКЛ).

Система САУКЛ (рис. 3.1) состоит из комплекта аппаратуры пульта управления, включающего пульт управления (ПУ), адаптер пульта управления (АПУ), адаптер линии связи (АЛС) и комплекта аппаратуры управления конвейером, включающего блок управления конвейером (БУК), модули линейные

(МЛ), модуль заштыбовки и сирены (МЗС), датчик акустический (ДА) и источник питания (ИП).

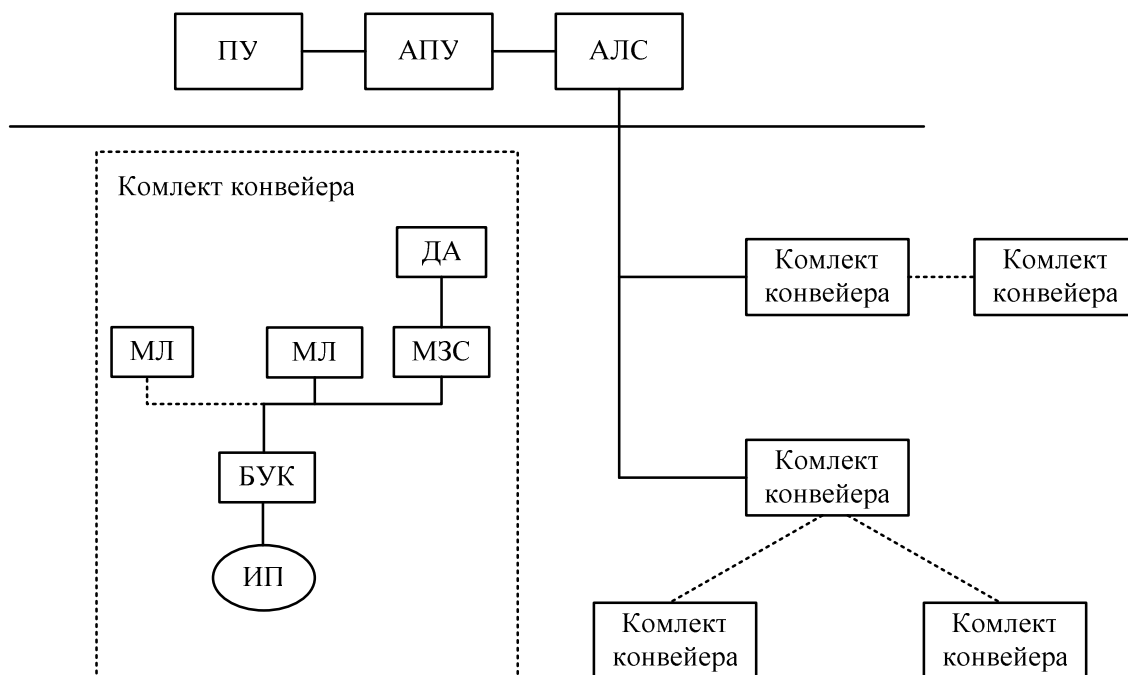


Рис.3.1. Структура системы автоматизированного управления конвейерными линиями

Дискретные датчики и концевые выключатели, типа "замыкающийся" или "размыкающийся" контакт, подключаются на входы модулей линейных (МЛ), которые располагаются вдоль конвейера и соединяются между собой и блоком управления конвейером (БУК) двухпроводной линией связи модулей линейных (ЛС МЛ). Количество подключаемых МЛ к одному БУК зависит от числа датчиков, установленных на конвейере, но не более 16. К одному МЛ может подключаться от 1 до 4 датчиков. Карта подключения датчиков к входам МЛ составляется индивидуально для каждого конвейера на этапе выполнения проекта привязки системы и записывается в каждый БУК специальной программой из пульта управления (ПУ). При подключении датчиков аварийного отключения конвейера рекомендуется использовать датчики с размыкающимся контактом.

Взрывобезопасность аппаратуры САУКЛ обеспечивается видом взрывозащиты: "искробезопасная электрическая цепь" и "взрывонепроницаемая оболочка". Искробезопасность обеспечивается гальванической развязкой электрических цепей пульта управления, линии связи, линии телефона, линии

модулей линейных, линии взаимоблокировки, цепи питания датчика электродного и цепей питания электронных схем, а также применением схем, обеспечивающих ограничение мощности возможной искры, за счет ограничения тока короткого замыкания.

Комплексы АУК.3 и САУКЛ являются современной аппаратурой автоматизации конвейерного транспорта шахты. В результате анализа функциональных возможностей и состава указанных комплексов в качестве базовой аппаратуры автоматизации системы мониторинга и управления конвейерным транспортом шахты принят комплекс АУК.3.

Следует отметить, для автоматизации определения требуемого технологического параметра – текущая длина выемочного участка (расстояние от очистного забоя до магистрального конвейера) необходимо комплексы АУК.3 и САУКЛ дополнить датчиками, измеряющие расстояние.

3.3. Анализ возможностей использования для управления системой транспорта шахты преобразователей частоты.

В настоящее время, требование эффективного использования энергоресурсов становится все более актуальным в промышленности и при большом расходе энергии, особенно для угольных шахт. Таким образом, эффективное использование энергии принесёт значительную экономическую выгоду, будет способствовать снижению себестоимости производства угля. Для развивающихся стран (в том числе Вьетнама), на открытых работах и шахтах, большинство единиц технологического оборудования разработано в 80-е годы прошлого века, которые не обеспечивают удаленного управления горным производством. Высокоэффективный способ использования электроэнергии предприятием основывается на применении современных технологических систем управления.

Преобразователь частоты (ПЧ) представляет собой статическое преобразовательное устройство, предназначенное для управления и изменения скорости вращения асинхронных электродвигателей и на основании принципа

изменения частоты электропитания (или изменение скорости системы привода). Управление двигателем может быть основано на использовании интерфейса преобразователя частоты, а также с помощью иных устройств для мониторинга и управления на расстоянии. Кроме этого, для подключения взрывобезопасного преобразователя частоты к периферийным устройствам (ПЛС, Датчик), обеспечена поддержка интерфейсов в соответствии с стандартами Modbus, Profibus-DP и Ethernet.

С помощью преобразователя частоты, можно управлять системами приводов и обеспечить автоматизацию их работы, включая пуск, торможение, реверс и изменение скорости вращения электродвигателя. Преимущества преобразователей частоты: автоматический пуск, который обеспечивает плавное включение пусковых сопротивлений электродвигателя, возможность изменения тока в допускаемых пределах, что значительно уменьшит развитие неблагоприятных процессов, возникающих при пуске, и повысит производительность системы привода. То же самое относится к реверсу и торможению. При использовании преобразователей частоты устраняется один из существенных недостатков электродвигателей с короткозамкнутым ротором — независимость скорости вращения ротора электродвигателя от нагрузки. Преобразователь частоты позволяет управлять скоростью электродвигателей в соответствии с характеристиками нагрузки. Это в свою очередь позволяет избегать сложных переходных процессов в электрических сетях, обеспечивая работу оборудования в наиболее экономичном режиме [14].

3.3.1. Оценка качества электроэнергии сети шахты при применении преобразователи частоты для управления электродвигателями.

Вид (качество) гармонической волны электроэнергии влияет на режим работы электрооборудования в сети и при отклонении от синусоиды снижает качество электроэнергии и порождает ряд проблем, связанных с электродвигателями (увеличение температуры, снижение производительности, потеря электроэнергии, вибрация и шум). На рис. 3.2 – 3.5 представлены

Моделирование показало, что при использовании преобразователя частоты, в сети возникают несинусоидальные колебания тока.

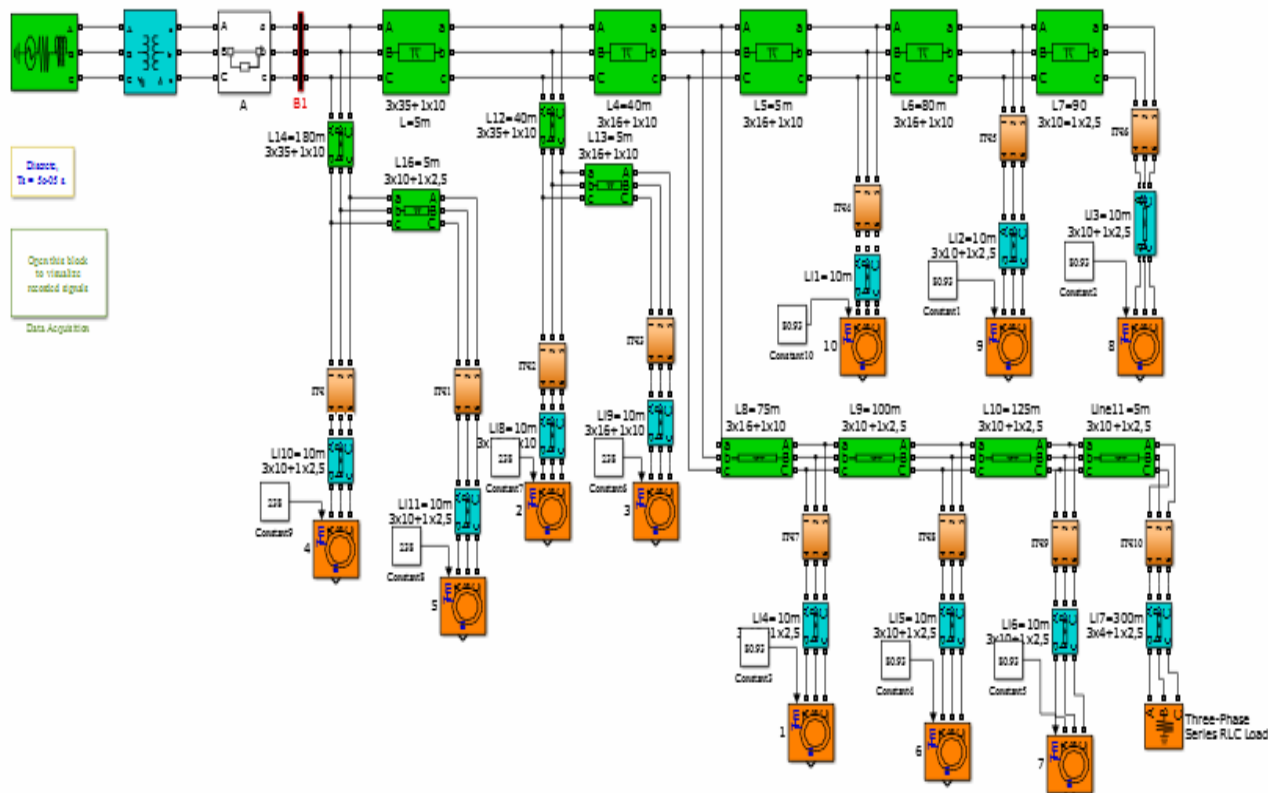


Рис 3.2. Моделирование работы электросети шахты с преобразователями частоты

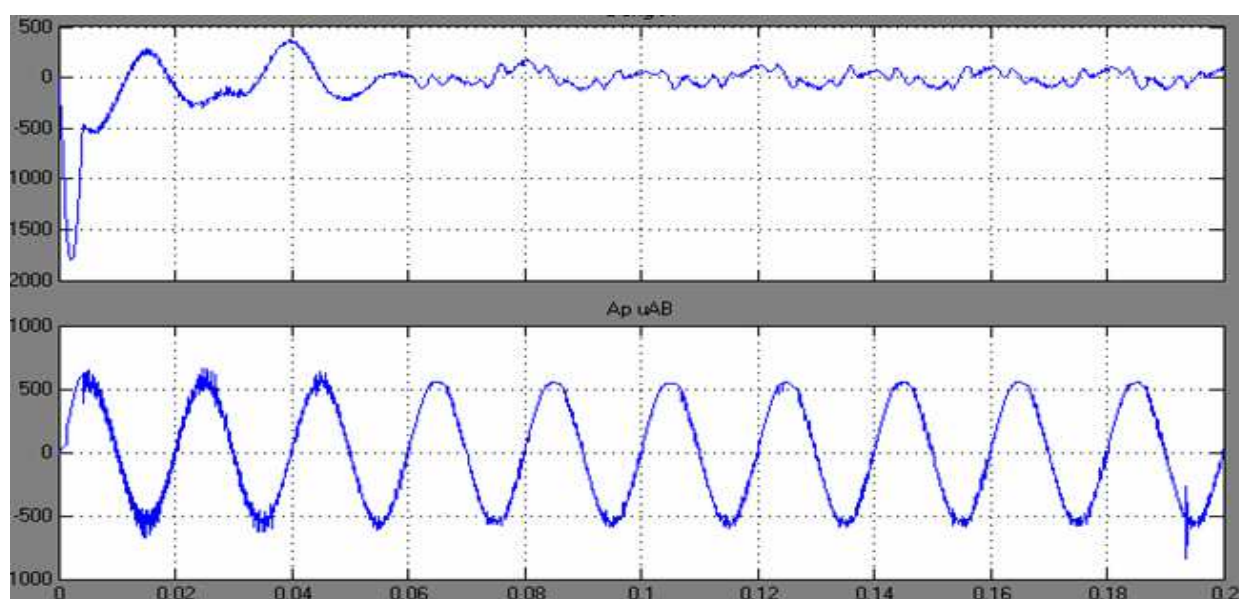


Рис. 3.3. Форма волны тока и напряжения: фаз А

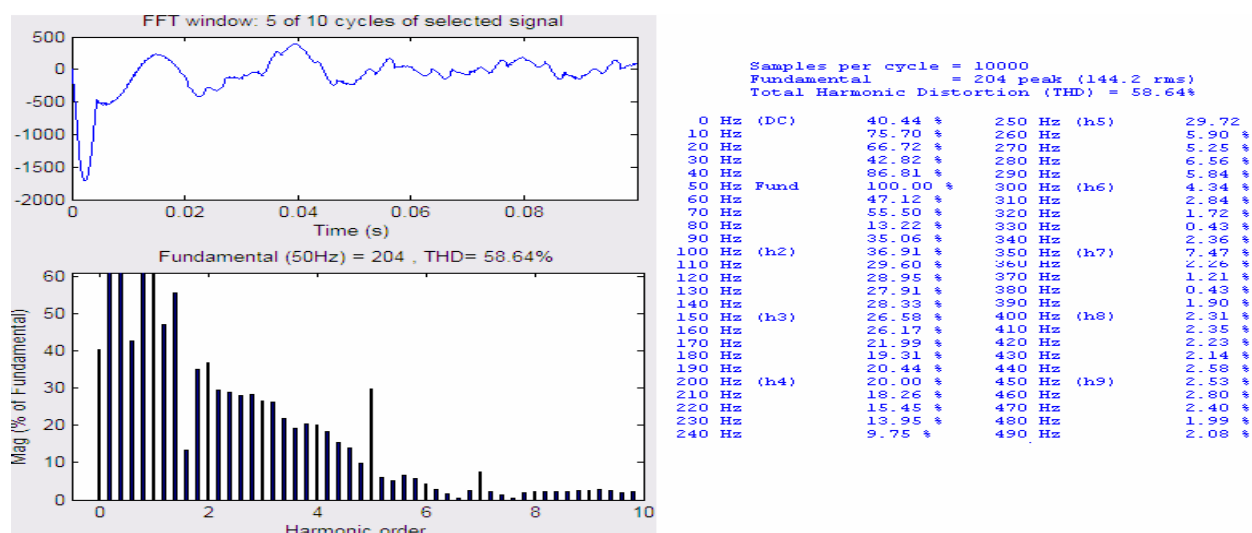


Рис. 3.4. Результаты анализа спектра гармонических волн сила тока: фаз А

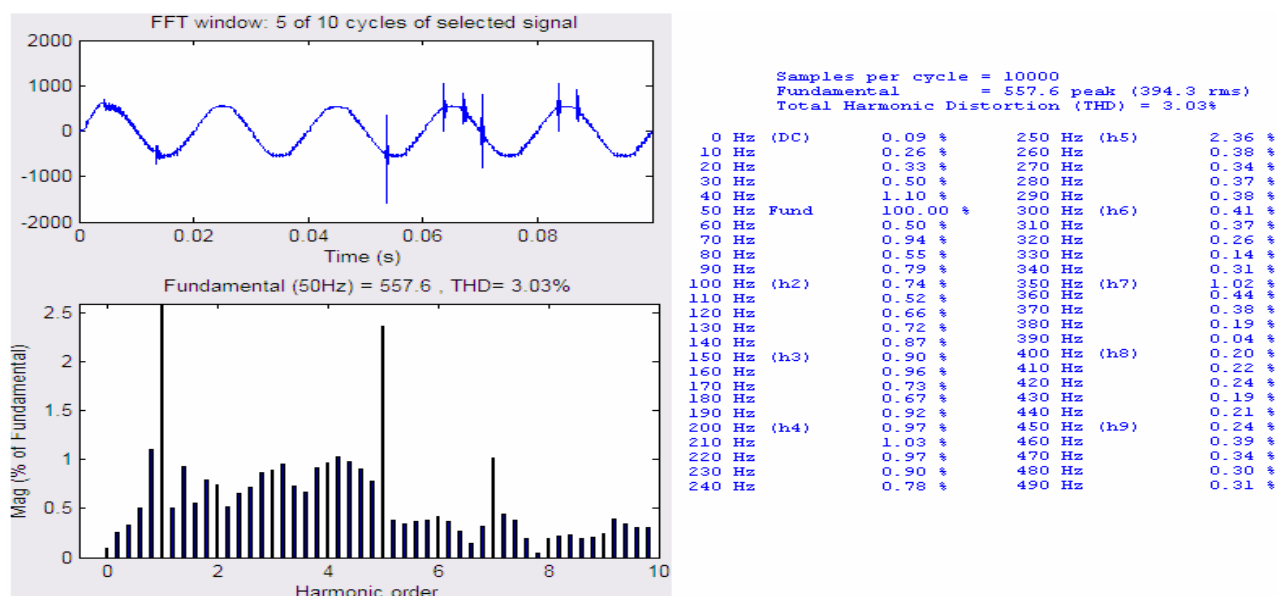


Рис. 3.5. Результаты анализа спектра гармонических волн напряжения: фаз А

Результат анализа частот гармонических волн тока фазы А свидетельствует, что уровень искажений гармонической составляющей тока ($THD_i\%$) примерно 58,64%, гармоническая волна появляется на большинстве уровней, но в основном на уровне 3, 5, 7. Фазы В уровень искажений гармонической составляющей тока примерно 25,21% гармоническая волна появляется на большинстве уровней, но в основном на уровне 5, 7. Фаз С уровень искажений гармонической составляющей

тока примерно 46,72%, гармоническая волна появляется на большинстве уровней, но в основном на уровне 3, 5, 7.

Результаты анализа гармонических волн напряжения фаза 1, общая сумма элементов искажений гармонической составляющей напряжения ($THD_u\%$) примерно 3,03%, фаз 2: Общая сумма элемента искажений гармонической составляющей напряжения примерно 4,54% и фаз 3: Общая сумма элемента искажений гармонической составляющей напряжения примерно 2,86%.

Моделирование показало, что в сети горного предприятия генерируется ряд гармонических волн (степень 3,5,7,11,13, 15...) для снижения которых необходимо использовать регулируемый фильтр обходного соединения. Результаты исследования показали, что в основном гармонические волны степени 5 и 7. Следовательно, необходимо использовать фильтр низких частот – LC

Моделирование и результаты анализов сети шахты с использованием преобразователя частоты и активного фильтра LC представлены на рис. 3.6 -3.8.

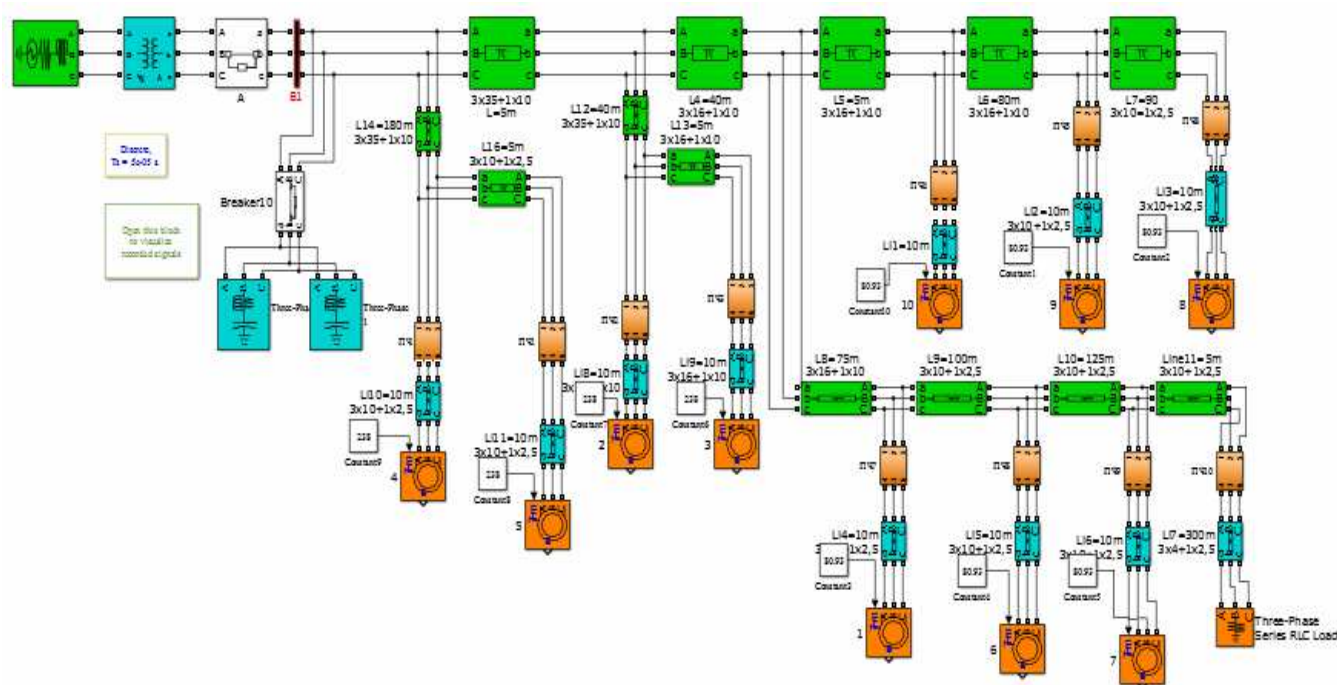


Рис.3.6. Моделирование работы электросети с преобразователями частоты активных фильтров LC

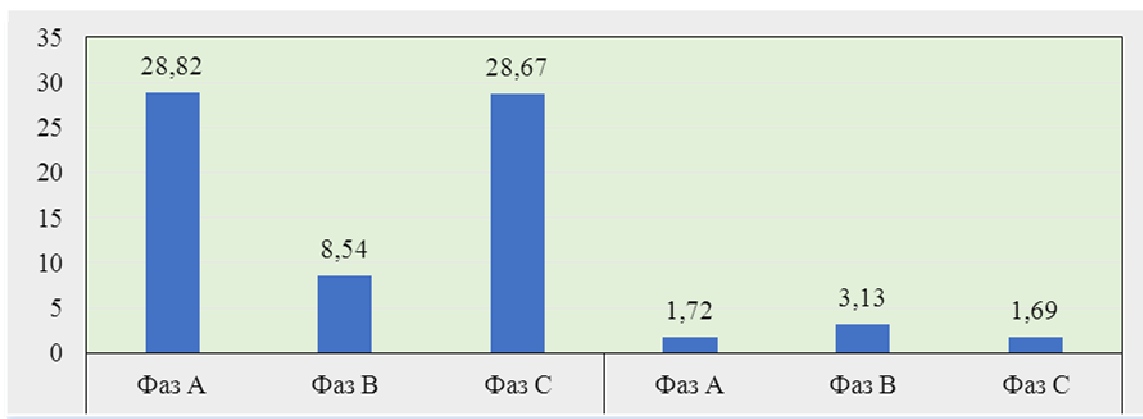


Рис 3.7. Искажения гармонической составляющей тока ($THD_i\%$) и напряжения ($THD_u\%$) по фазам.

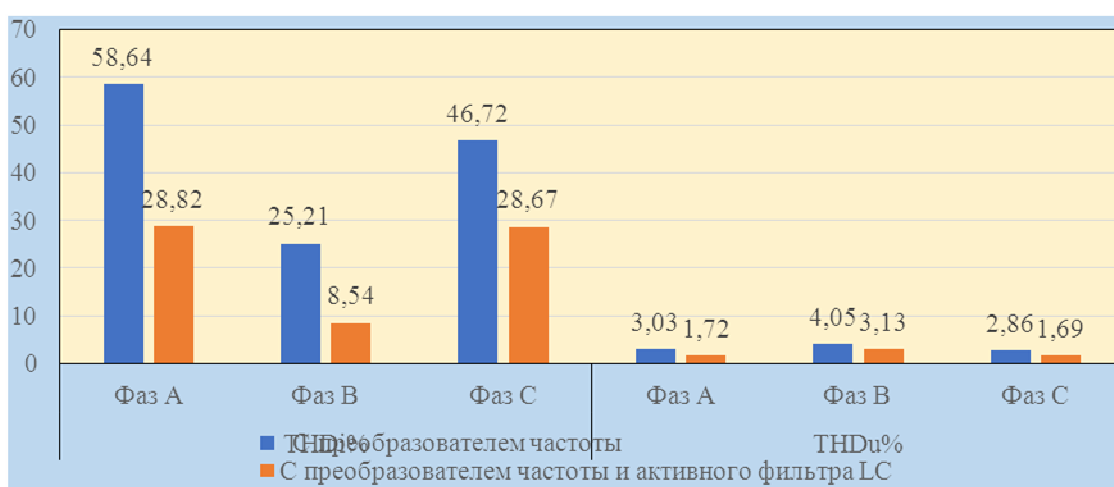


Рис 3.8. Результаты моделирования работы электросети шахты с преобразователями частоты с и без присоединения активных фильтров LC.

Применение преобразователя частоты в системе управления проводами технологического оборудования горного предприятия экономически эффективно. Появление высших гармоник в электросети, порождает неблагоприятные явления для оборудования, (перегрев электродвигателей, трансформаторов, кабелей и потерю электроэнергии, вибрацию, шум). Поэтому, применение преобразователей частоты должно сопровождаться использованием активных фильтров LC, соответствующих мощности электродвигателей. Это обеспечит режим работы электросети, при котором коэффициент нелинейных искажений тока и напряжения будет меньше 10% [74, 71, 60, 17].

3.3.2. Использование преобразователей частоты на угольных шахтах

Вьетнама.

В таблице 3.2 приведен перечень оборудования – преобразователей частоты, установленных на шахтах Вьетнам В основном они используются на конвейерах. Анализ приведенных данных свидетельствует о не достаточном использовании преобразователей частоты на шахтах Вьетнама.

Таблица 3.2. Использование преобразователей частоты угольных шахт Вьетнама.

N ⁰	Тип ПЧ и управление максимальной мощностью двигателя	Производитель	Количество
Угольная шахта МонгЗыонг			
1	ПЧ ACS-800-3 фазы 380В-55кВт	ABB	2
2	ПЧ ACS-550-380В-45кВт	ABB	3
Обогатительная угольная фабрика КыаОнг			
1	ПЧ 3 фазы 380В-220кВт	Schneider	2
2	ПЧ 3 фазы 380В-220кВт	Simmens	
3	ПЧ 3 фазы 380В-110кВт	Schneider	2
4	ПЧ 3 фазы 380В-45кВт	Schneider	3
5	ПЧ 3 фазы 380В-75кВт	Toshiba	3
6	ПЧ 3 фазы 380В-45кВт	Toshiba	2
Угольная шахта КокШау			
1	ПЧ MCD3450-3 фазы 380В-450кВт	Данфосс	2
2	ПЧ MCD3132-3 фазы 380В-132кВт	Данфосс	7
3	ПЧ MCD3055-3 фазы 380В-55кВт	Данфосс	6
4	ПЧ MCD3015-3 фазы 380В-15кВт	Данфосс	1
5	ПЧ MCD3015-3 фазы 380В-37кВт	Данфосс	2
Угольная шахта ТхонгНхат			
1	ПЧ 3 фазы 380В-40кВт	Данфосс	1

Угольная шахта НуйБео			
1	ПЧ 3 фазы 380В-55кВт	Данфосс	1
2	ПЧ 3 фазы 380В-45кВт	Данфосс	1
3	ПЧ 3 фазы 380В-30кВт	Данфосс	1
4	ПЧ 3 фазы 380В-18,5кВт	Данфосс	1
Угольная шахта ХаЛам			
1	ПЧ MCD3110-3 фазы 380В-110кВт	Данфосс	2
Угольная Компания УонгБй			
1	ПЧ 3 фазы 380В-45кВт	Китай	4
2	ПЧ 3 фазы 380В-40кВт	Китай	1
Угольная шахта КуангХанг			
1	ПЧ 3 фазы 380В-132кВт	Schneider	7
2	ПЧ 3 фазы 380В-75кВт	Schneider	3
3	ПЧ 3 фазы 380В-55кВт	Schneider	4
Угольная шахта МаоХе			
1	ПЧ MCD3450-3 фазы 380В-30кВт	Данфосс	1

3.3.3. Достоинство и недостатки использования преобразователей частоты.

Известно, что регулировать скорость системы привода (вращения исполнительного механизма) можно различными способами:

- Регулирование электропривода по механическому вариатору;
- Регулирование электропривода по гидравлической муфте ;
- Регулирование электропривода по электромеханическому преобразователю частоты (системы генератор – двигатель);
- Дополнительно вводимые в статор или фазный ротор сопротивления и др.

Эти способы имеют недостатки: сложность в применении, обслуживании, эксплуатации, низкое качество и диапазон регулирования.

Использование преобразователей частоты управления конвейером имеют следующие преимущества:

- Конвейер работает с большей надёжностью: у привода конвейера большой пусковой момент, который влияет на механическое оборудование и электропитание. Особенно это проявляется на длинных конвейерных лентах, нагруженных углем. Мягкий пуск уменьшает пусковой ток электродвигателя и пусковой момент. Преобразователь частоты устанавливает высокий пусковой момент, обеспечивающий пусковой ток без изменений напряжений. Кроме этого, регулируется коэффициент мощности так, что он всегда находится в стабильном диапазоне. В зависимости от конкретного объекта и решаемой задачи коэффициент экономии (КЭ) варьируется от 30% до 80%.

- Экономия энергии: Преобразователь, работая в энергосберегающем режиме, отслеживает потребление тока и, если нагрузка невелика, снижает выходное напряжение до минимально возможного. т.е. увеличивается КПД оборудования. Это важно, тогда нагрузка является переменной.

- Преобразователь частоты позволяет отслеживать и отображать на цифровом пульте основные параметры конвейерной системы заданную скорость, выходную частоту, ток и напряжение двигателя, выходную мощность и момент. Экономия энергии при работе по низкоскоростным двигателям в соответствии с требованиями нагрузки и экономии за счет устранения оборудования компенсации реактивной мощности.

- Упрощение системы конвейера, снижение инвестиционных затрат и обслуживания, регулирование скоростью электродвигателя, простой привод при использовании привода.

Для преобразователей частоты в системе сложного привода, может использоваться подключение к нескольким электродвигателям (например, систем насоса водоотведение на шахте). Кроме этого, поддерживает давления в системе один работающий двигатель, а остальные находятся в резерве или на регламентном обслуживании. Тогда, в этом случае, между двигателем и преобразователем должен быть установлен устройство коммутации, работающий

по довольно сложному алгоритму, учитывающему различные блокировки, временные задержки включения и пр.

Преимущества преобразователей частоты управления электродвигателем системой приводов:

- регулирование скорости вращения асинхронного электродвигателя производится путем изменения частоты и величины напряжения питания;
- увеличение сроков службы технологического оборудования;
- снижение затрат на плановые, предупредительные и ремонтные работы;
- обеспечение оперативного управления и достоверного контроля за ходом технологических процессов;
- координация работы приводов установок с несколькими приводами

3.3.4. Ограничения использования преобразователей частоты.

На сегодняшний день преобразователи частоты, применяемые на промышленных предприятиях, включают в себя следующие марки: ABB, FUJI, TOSHIBA, MISUBISHI, OMRON (Японии), SIMENS, LENZE (Германии), LS (Южной Кореи), DANFOSS (Дании) и т.д. На карьере или обогатительной фабрике преобразователь частоты применяется при управлении несколькими приводами. Например, конвейер, насос или стреловая лебедка. Однако, на шахтах преобразователи частоты используются мало, потому что требуется взрыв-искробезопасное исполнение.

В настоящее время, некоторые страны выпускают взрыв-искробезопасные преобразователи частоты, применяющихся на шахтах, управляющих синхронными и асинхронными электродвигателями напряжением 660/1140 В, входная частота с 47 Гц до 63 Гц, и выходная частота с 0 до 50 Гц, мощность до 600 кВт. Например, ПЧ ВРJ1- производство Китая, ПЧ МСВ - производство Дании, ПЧ СНV- производство Китая (технология Германии). [81]. Эти типы ПЧ, используются на горных предприятия Вьетнама, их стоимость большая, поэтому использование их ограничено. [59, 60].

3.4. Определение зависимости между частотой питающего напряжения и интенсивностью грузопотока.

Скорость магистральных ленточных конвейеров $V(\text{м/с})$ в шахтах, выражается через номинальный груз угля $Q(\text{кг})$ находящийся на ленточных конвейерах, т.е. массу угля, могущее принять и практически без просыпей транспортировать конвейерами, через грузопоток угля, который поступает на конвейеры $q(\text{кг/с})$ и через длину ленточных конвейеров $L(\text{м})$ следующим образом:

$$v = \frac{q \cdot L}{Q} \text{ м/с}, \quad (3.1)$$

Скорость магистральных ленточных конвейеров $V(\text{м/с})$ в шахтах, выражается через скорость вращения двигателя $\omega_{\text{дв}}$ (1/с), радиус барабана $R_{\text{бар}}$ (м) и передаточное отношение редуктора i следующим образом:

$$V = \frac{\omega_{\text{дв}} \cdot R_{\text{бар}}}{i} = \frac{\omega_c (1-s) R_{\text{бар}}}{i} \cdot R_{\text{бар}} ; \text{ м/с} \quad (3.2)$$

где s - скольжение двигателя

ω_c – синхронная скорость асинхронного двигателя, (с^{-1}),

Используя формулы (3.1) и (3.2) получаем зависимость между скоростью вращения двигателя и частотой питающего напряжения f_1 :

$$\omega_{\text{дв}} = \omega_c (1-s) = \frac{2\pi f_1}{p} - \Delta\omega, \text{ с}^{-1} \quad (3.3)$$

Писание формулы (3.2) в виде:

$$V = \frac{R_{\text{бар}}}{i} \left(\frac{2\pi}{p} \cdot f_1 - \Delta\omega \right); \quad \text{м/с} \quad (3.4)$$

Сравнивая формулы (3.1) и формулы (3.4) получаем:

$$\frac{qL}{Q} = \frac{R_{\text{бар}}}{i} \left(\frac{2\pi}{p} \cdot f_1 - \Delta\omega \right). \quad (3.5)$$

Формула (3.5) выражает частоту питающего напряжения в зависимости от интенсивности грузопотока, который поступает на конвейер:

$$f_1 = \frac{p \cdot L \cdot i}{2\pi Q R_{\text{бар}}} q + \frac{\Delta\omega \cdot P}{2\pi} = K_1' q + C_1'; \text{ Гц}, \quad (3.6)$$

где K_1' , C_1' - константы, которые зависят от электропривода и. параметров конвейера

Для конкретно исследуемых скребковых или ленточных конвейеров получаем:

- для магистрального ленточного конвейера:

$$f_1 = \frac{2 \cdot 238 \cdot 15}{2 \cdot 3,14 \cdot 8263,889 \cdot 0,315} q + \frac{1,36 \cdot 2}{2 \cdot 3,14} = K'_1 q + C'_1 ; \text{ Гц,}$$

или $f_1 = 0,436761 \cdot q + 0,433121; \text{ Гц,}$ (3.7)

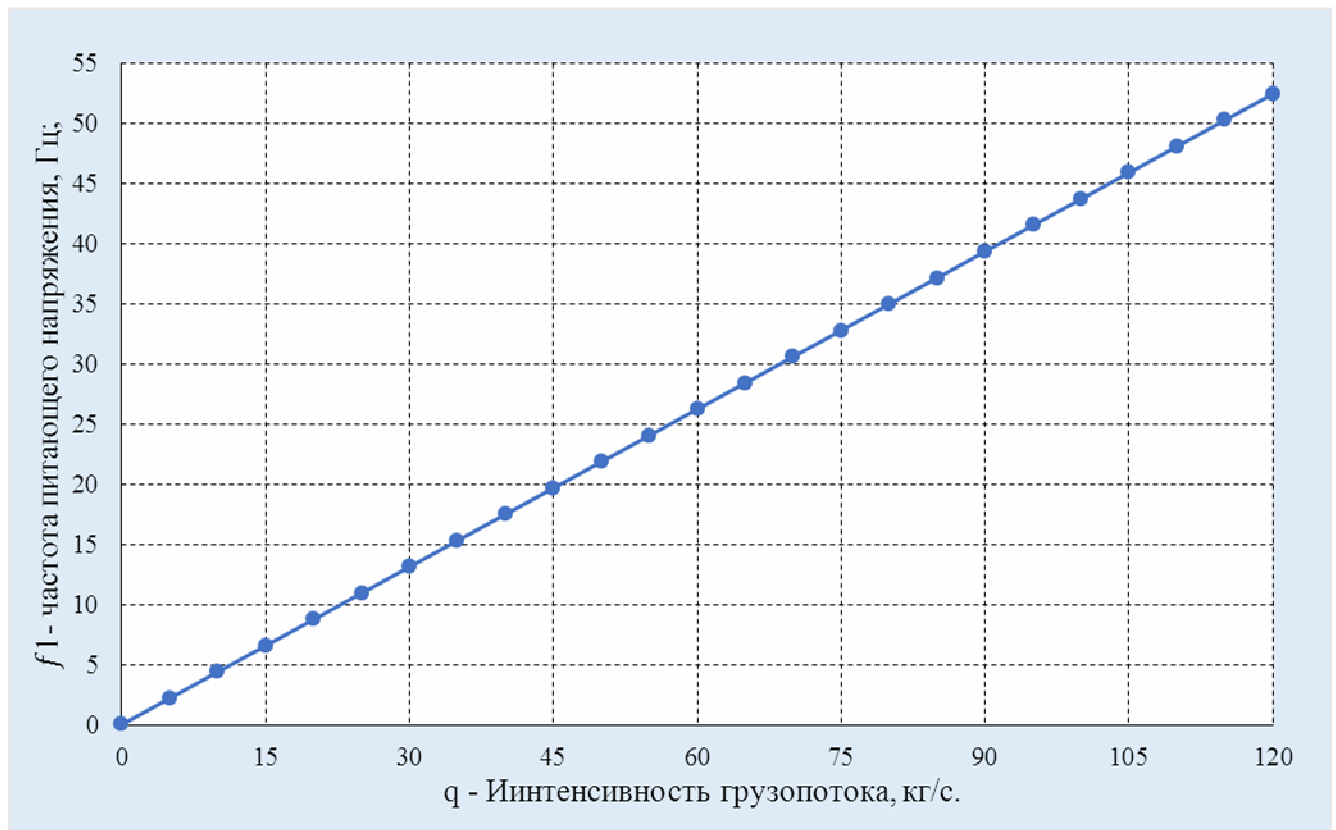


Рис.3.9. Зависимость между частотой питающего напряжения и интенсивностью грузопотока на конвейере

- для участкового скребкового конвейера:

$$f_1 = \frac{2 \cdot 80 \cdot 29,45}{2 \cdot 3,14 \cdot 2656,8 \cdot 0,19} q + \frac{1,36 \cdot 2}{2 \cdot 3,14} = K'_1 q + C'_1 ; \text{ Гц,}$$

или

$$f_1 = 0,895031 \cdot q + 0,433121; \text{ Гц,}$$
 (3.8)

где f_1 - частота питающего напряжения, Гц;

q - интенсивность грузопотока, кг/с.

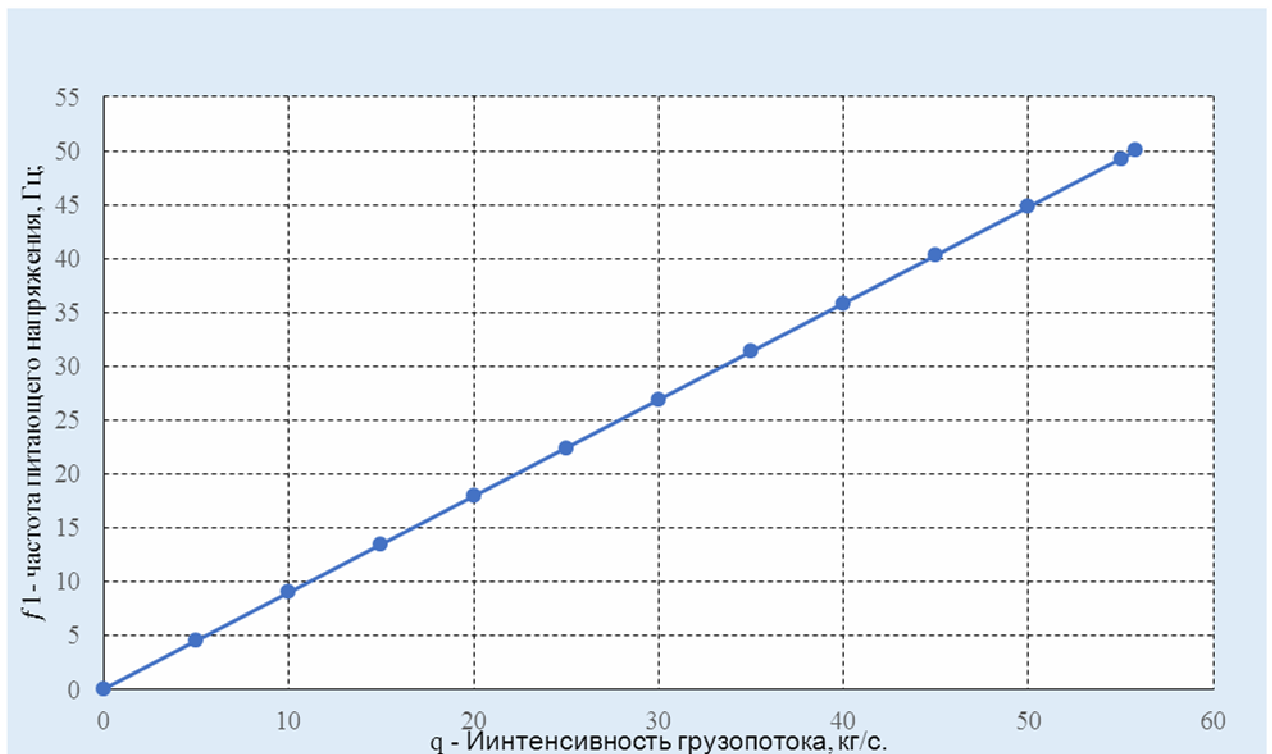


Рис.3.10. Зависимость между частотой питающего напряжения и интенсивностью грузопотока на скребковом конвейере

3.5. Определение зависимости между скоростью конвейера и интенсивностью поступающего грузопотока.

Угловая скорость вращения асинхронных двигателей равна:

$$\omega_{дв} = \omega_c (1-s) = \frac{2\pi f_1}{p} - \Delta\omega, \text{ с}^{-1} \quad (3.9)$$

Используя формулы (3.6), мы получаем зависимость между угловой скоростью асинхронного двигателя и интенсивностью грузопотока:

$$\omega_{дв} = \frac{2\pi}{p} \left(\frac{p \cdot L \cdot i}{2\pi Q R_{\partial ap}} \cdot q + \Delta\omega \right) (1-s); \text{ с}^{-1}$$

или

$$\omega_{дв} = \left(\frac{L \cdot i}{Q R_{\partial ap}} \cdot q + \Delta\omega \right) (1-s), \text{ с}^{-1} \quad (3.10)$$

где $p=2$ - число пар полюсов асинхронного электродвигателя.

Скорость вращения ротора n_2 (об/мин) асинхронного электродвигателя равна:

$$n_2 = n_1 (1-s) = \frac{60 \cdot f_1}{p} (1-s), \text{ об/мин}, \quad (3.11)$$

где n_1 - скорость вращения электромагнитного ротора поля статора; (об/мин),

Зависимость между скоростью ротора двигателя n_2 (об/мин) и интенсивностью поступающего грузопотока (кг/с) выражается следующим

образом:
$$n_2 = \frac{60(1-s)}{p} \cdot \left(\frac{p \cdot L \cdot i}{2\pi Q R_{\text{бар}}} \cdot q + \frac{\Delta \varpi \cdot p}{2\pi} \right), \text{ об/мин.} \quad (3.12)$$

Линейную скорость ленточного конвейера при отсутствии проскальзывания, в зависимости от угловой скорости асинхронного электродвигателя, мы получаем:

$$V = \frac{\varpi_{\text{ДВ}} \cdot R_{\text{бар}}}{i} ; \text{ м/с,} \quad (3.13)$$

где $R_{\text{бар}}$ - радиус приводного барабана;

$i = 15$ - передаточное число редуктора,

Используя формулы (3.10), мы получаем линейную скорость конвейера (м/с) в зависимости от интенсивности поступающего груза на конвейерах:

$$v_{\text{зАд}} = \frac{R_{\text{бар}}}{i} \cdot \left(\frac{L \cdot i}{Q R_{\text{бар}}} \cdot q + \Delta \varpi \right) \cdot (1-s) ; \text{ м/с, или}$$

$$v_{\text{зАд}} = \left(\frac{L}{Q} \cdot q + \frac{\Delta \varpi R_{\text{бар}}}{i} \right) \cdot (1-s) = K_2 \cdot q + C_2 ; \text{ м/с,} \quad (3.14)$$

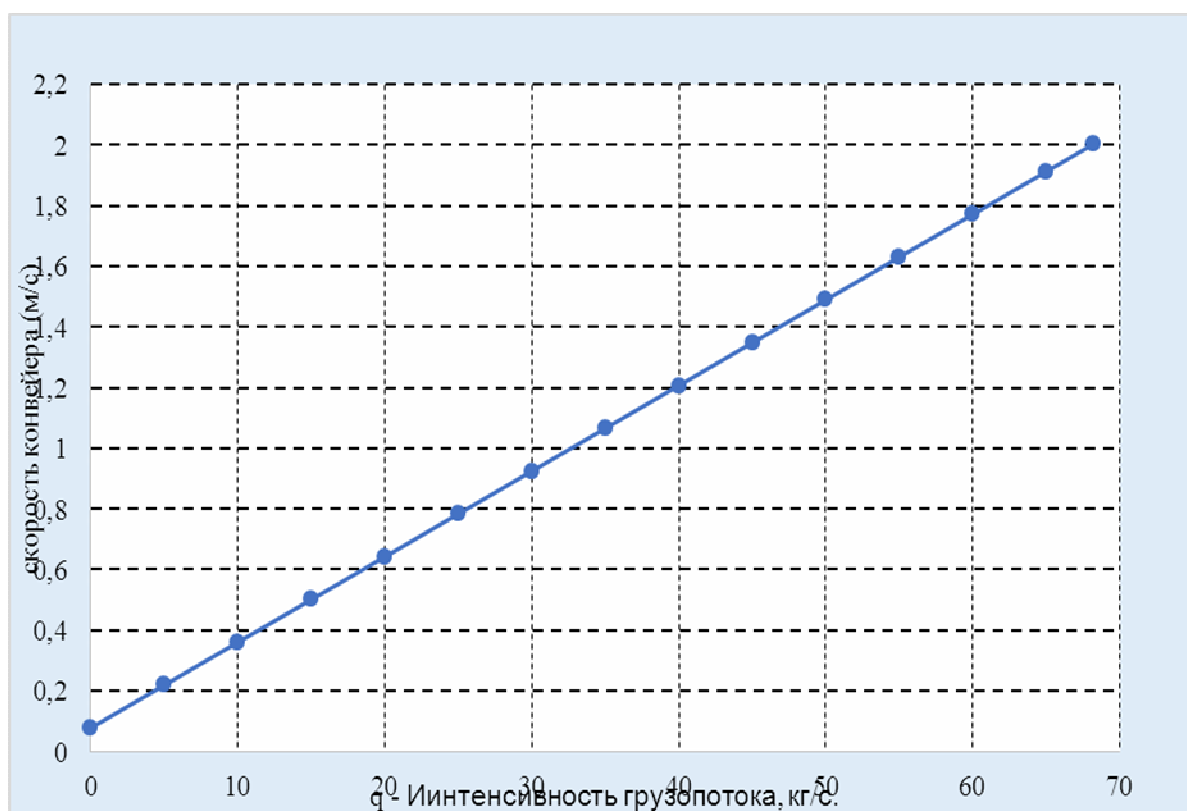


Рис. 3.11. Зависимость между скоростью и интенсивностью грузопотока на конвейере

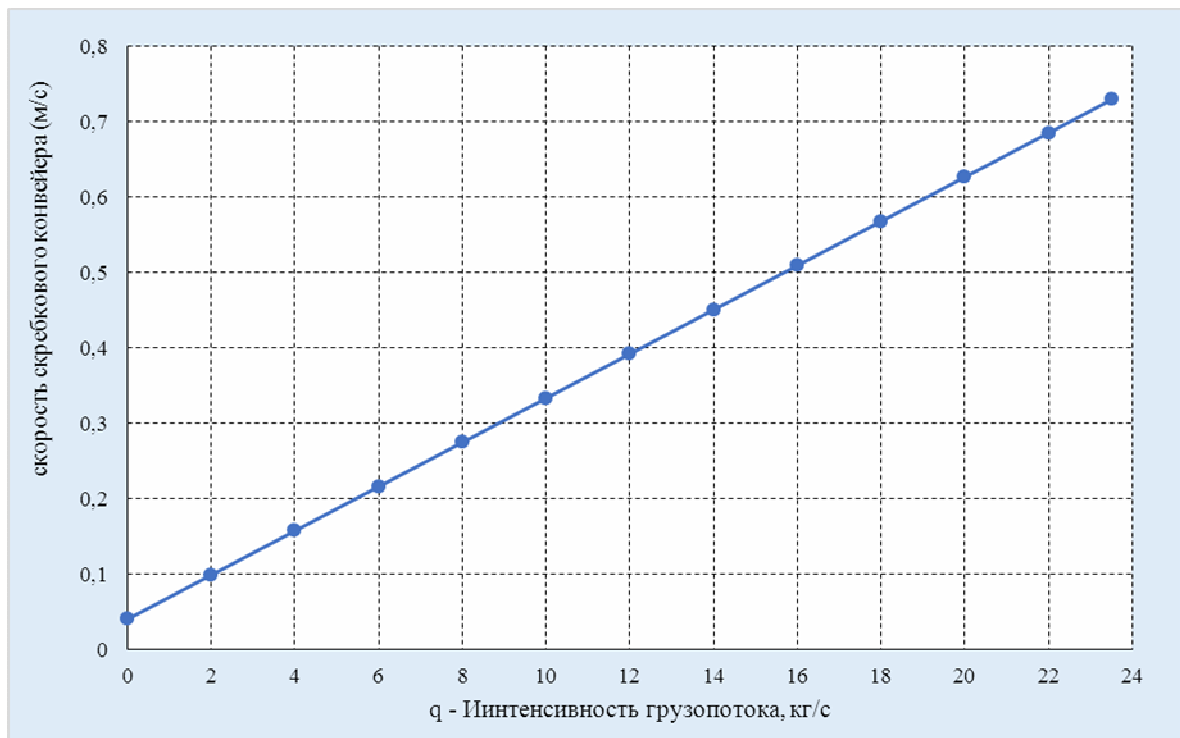


Рис. 3.12. Зависимость между скоростью и интенсивностью грузопотока на скребковом конвейере

- для исследуемого магистрального ленточного конвейера, мы получаем:

$$v_{\text{зАд}} = \left(\frac{238}{8263,889} \cdot q + \frac{1,36 \cdot 0,9}{15} \right) \cdot 0,98 = K_2 \cdot q + C_2 ; \text{ м/с},$$

где K_2, C_2 - константы, зависящие от параметров конвейера. Или

$$v_{\text{зАд}} = 0,028224 \cdot q + 0,079968; \text{ м/с} \quad (3.15)$$

- для участкового скребкового конвейера получаем:

$$v_{\text{зАд}} = \left(\frac{80}{2656,8} \cdot q + \frac{1,36 \cdot 0,9}{294} \right) \cdot 0,9733 = K_2 \cdot q + C_2 , \text{ м/с},$$

или

$$v_{\text{зАд}} = 0,029307 \cdot q + 0,0405211 ; \text{ м/с}, \quad (3.16)$$

3.6. Выводы по третьей главе.

На основе анализа существующих комплексов автоматического управления транспортной системой шахты выбраны комплексы АУК.3 и САУКЛ, которые являются современной аппаратурой автоматизации конвейерного транспорта шахты. В результате анализа функциональных возможностей и состава указанных комплексов в качестве базовой аппаратуры автоматизации системы мониторинга

и управления конвейерным транспортом шахты принят комплекс АУК.3. Определена необходимость дополнения выбранного комплекса датчиками, измеряющие расстояние для автоматизации определения текущей длины выемочного.

Выполнен анализ возможности использования для управления системой транспорта шахты преобразователей частоты. Определены основные требования к устройству.

Проведенное моделирование работы электросети, обеспечивающей работу транспортной системы шахты с преобразователями частоты. Определена необходимость дооснащения электросети активными фильтрами LC.

Определена зависимость между частотой питающего напряжения от интенсивностью грузопотока и зависимость между скоростью конвейера и интенсивностью поступающего грузопотока.

ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЗРЫВНОЙ ОТБОЙКОЙ И ТРАНСПОРТИРОВКОЙ НЕРАВНОМЕРНЫХ ПОТОКОВ УГЛЯ ИЗ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ

4.1. Структура системы мониторинга и автоматического управления работой транспорта шахты.

Структура системы мониторинга и управления работой транспорта шахты в условиях использования скребковых и ленточных конвейеров является двухуровневой компьютерно-интегрированной системой управления с использованием промышленной шины. На верхнем уровне управления расположена система диспетчерского мониторинга и координации работы оборудования транспорта шахты, а на нижнем три подсистемы: подсистема управления участковыми скребковыми конвейерными линиями, подсистема управления магистральными конвейерными линиями, и подсистема управления накопительными бункерами. Обобщенная структурная и расположенная схема оборудования системы мониторинга и автоматического управления работой транспорта шахты представлены на рисунках 4.1 и 4.2.

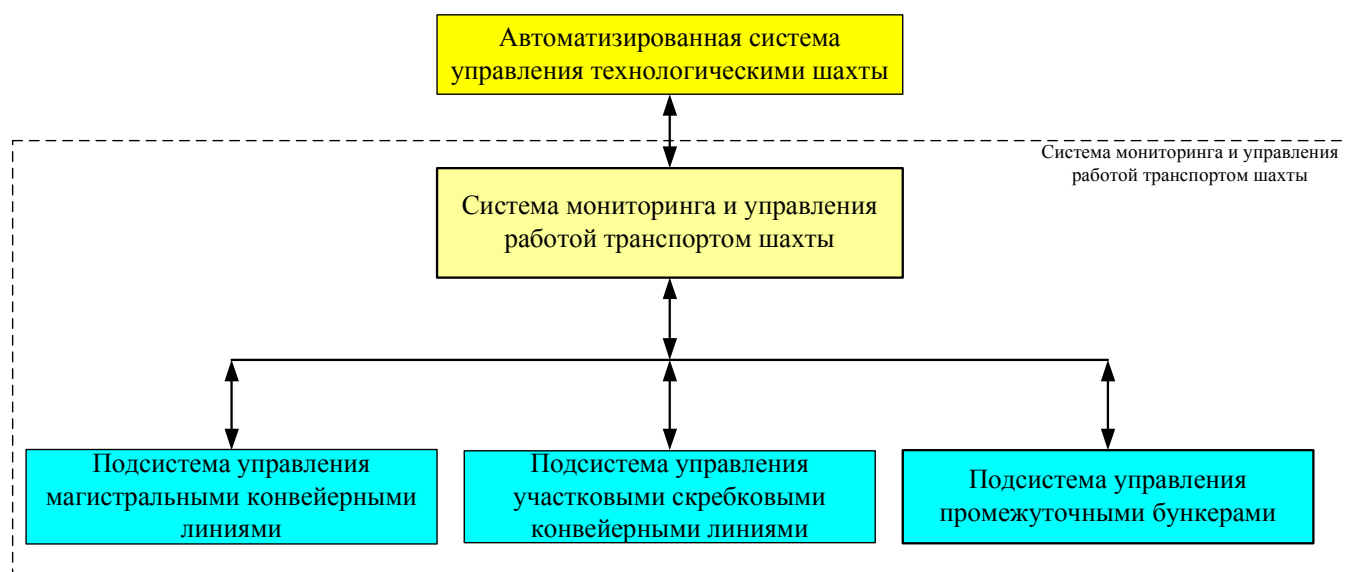


Рис.4.1. Обобщенная структура системы мониторинга и автоматического управления работой транспорта шахты

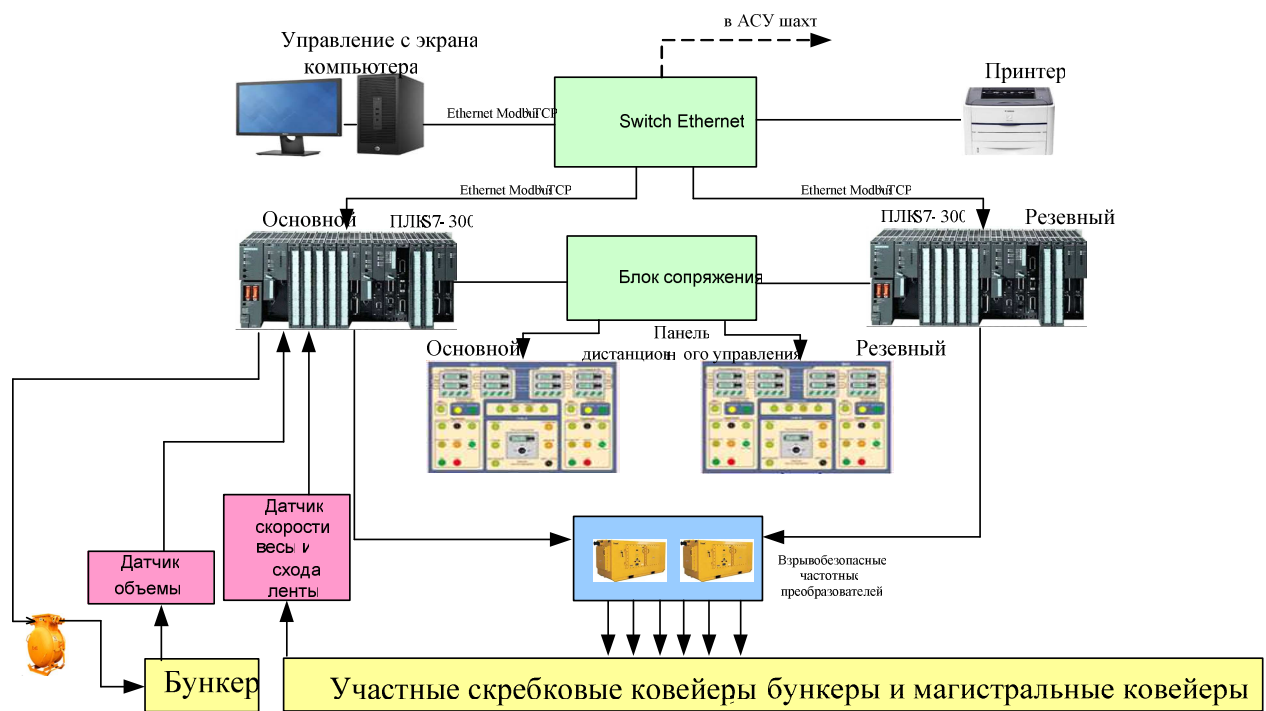


Рис.4.2. Структура системы мониторинга и автоматического управления работой транспорта шахты

Системы мониторинга и автоматического управления работой транспорта шахты – это программно-аппаратный комплекс, предназначенный для управления процессом транспорта шахты, хранения и отображения информации о состоянии работы объектов в режиме реального времени.

Система обеспечивает выполнение следующих требований:

Для системы мониторинга и управления работой транспорта шахты:

- сообщения режимов работы системы (работает или не работает, авария)
- обмен данными и обработка информации со всеми подсистемами в режиме работы реального времени;
- координацию режимов работы технологических установок системы;
- осуществление мониторинга и дистанционного управления технологическими установками системы;
- регистрацию состояния работы каждого скребкового и ленточного конвейеров (включение/выключение, мониторинг их скорости, нормальный режим или аварийный); состояние накопительных бункеров (открыт или закрыт,

объем угля); сообщение о возникновении аварийной ситуации, ее причина и место возникновения.

Для подсистемы управления магистральными конвейерными линиями:

- выбор режима управления (ручное/автоматическое, местное/дистанционное) магистральной конвейерной линии в режимах пуска и останова;
- контроля технологических параметров конвейеров, видов сигнализации согласно требованиям к автоматизации конвейеров шахты;
- передача информации о работе конвейеров на окне интерфейса компьютера (на управленческом центре);
- автоматизацию регулирования скорости магистральной конвейерной линией при интенсивности грузопотока изменения в режиме «энергосбережения».

Для подсистемы управления участковыми скребковыми конвейерными линиями:

- выбор режима управления (ручное/автоматическое, местное/дистанционное) участковыми скребковыми конвейерными линиями в режимах пуска и останова;
- контроля технологических параметров скребковых конвейеров, видов сигнализации согласно требованиям к автоматизации скребковых конвейеров шахты;
- контроля входа объема угля;
- передачу информации о работе участковых скребковых конвейеров на окне интерфейса компьютера (на управленческом центре);
- автоматизацию регулирования скорости участкового скребкового конвейера при интенсивности грузопотока изменения в режиме «энергосбережения».

Для подсистемы управления промежуточными накопительными бункерами:

- контроль и мониторинг состояния бункера (открытие/закрытие, объем угля);
- местное и дистанционное управление бункером в нормальном режиме и тоже в аварийной ситуации;
- передача информации о состоянии бункера на окне интерфейса компьютера (на управленческом центре) и сообщение о возникновении аварийной ситуации при управлении бункером.

Технической базой создаваемой системы мониторинга и управления работой транспорта шахты с ленточными и скребковыми тяговыми органами в условиях взрывной отбойки угля рассмотрены в третьей главе.

Схема системы мониторинга и автоматического управления работой транспорта шахты Хонг Тхай представлена на рисунке 4.3. Система работы транспорта шахты Хонг Тхай осуществляется магистральными конвейерными линиями (от конвейера №1 до конвейера №4) и участковыми скребковыми конвейерными линиями (от участкового скребкового конвейера линии №1 до участкового скребкового конвейера линии № 4). Перегрузка угля с добычными участками (лавы) на участковых скребковых конвейерах выполняется по рештаку, и перегрузка угля с участковыми скребковыми конвейерными линиями на магистральную конвейерную линию осуществляется через промежуточный накопительный бункер.

4.2. Разработка локальных алгоритмов управления работой элементов транспортной системы шахты.

4.2.1. Алгоритм управления работой бункера.

Работа ленточного конвейера зависит от объемов угля на бункере. Датчик объема, определяет количества угля и передает сигнал до ПЛК и через управление конвейером. Блок – схема (рис. 4.4) алгоритма управления открытием/закрытием бункера и с контролем объемов угля в бункере должна выполнять следующие шаги:

1. Сброс программы управления открытием/закрытием дна бункера.
2. Выбор способов управления (автоматический или ручной).
3. Выбор способа ручному управления.
4. Состояние дна бункера – закрытие.
5. Контроль объема угля в бункере.
6. Контроль объем угля высокого уровня.
7. Контроль объем угля низкого уровня.
8. Сигнал управления электродвигателем открыть бункер.
9. Сигнал управления электродвигателем закрыть бункер.

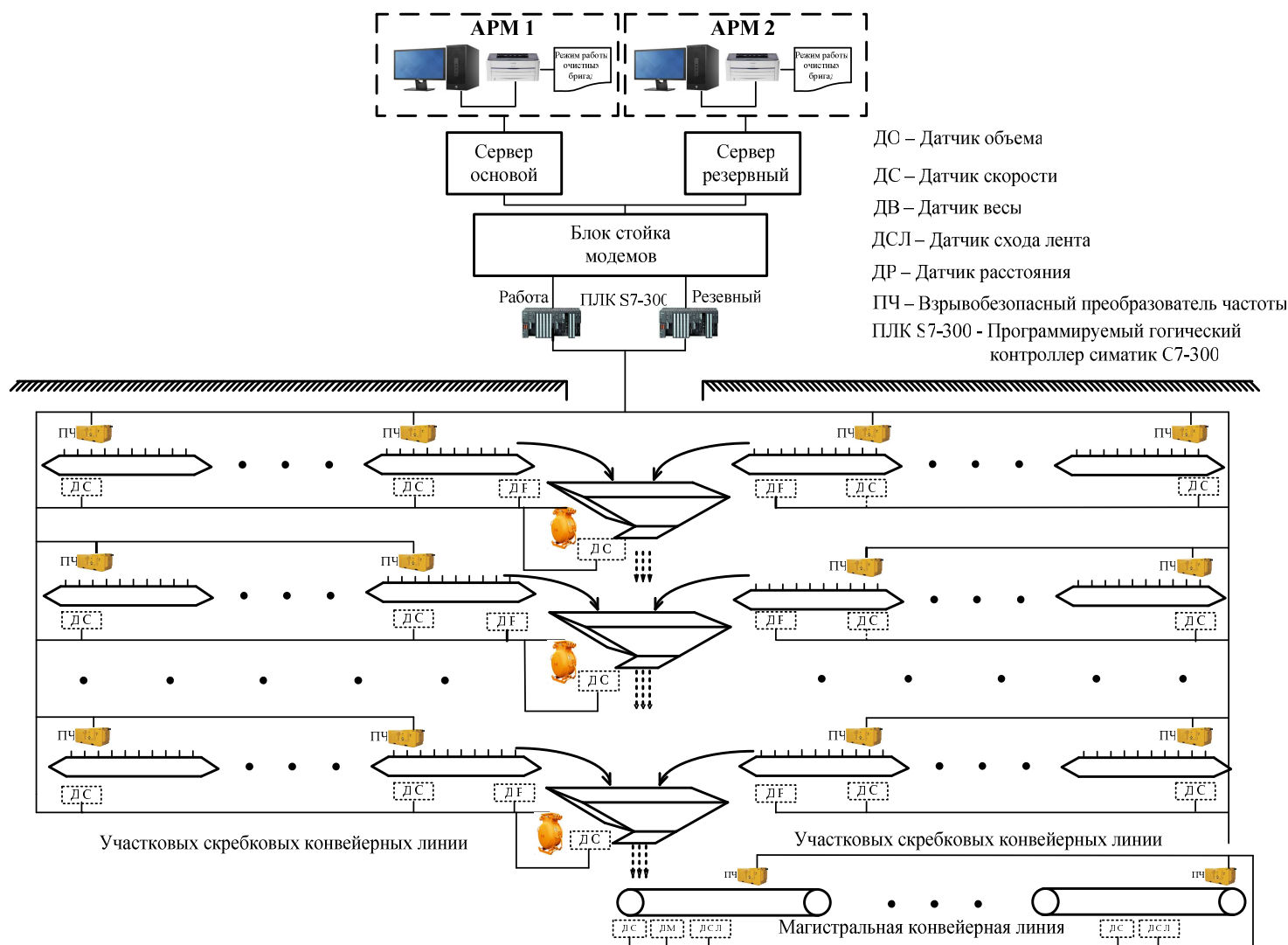


Рис 4.3. Структурная схема системы мониторинга и автоматического управления работой транспорта шахты (ДО- датчик объёма; ДС датчик скорости; ДМ – датчик массы; ДСЛ - датчик схода ленты; ДР – датчик расстояния; ПЧ - взрывобезопасный преобразователь частоты)

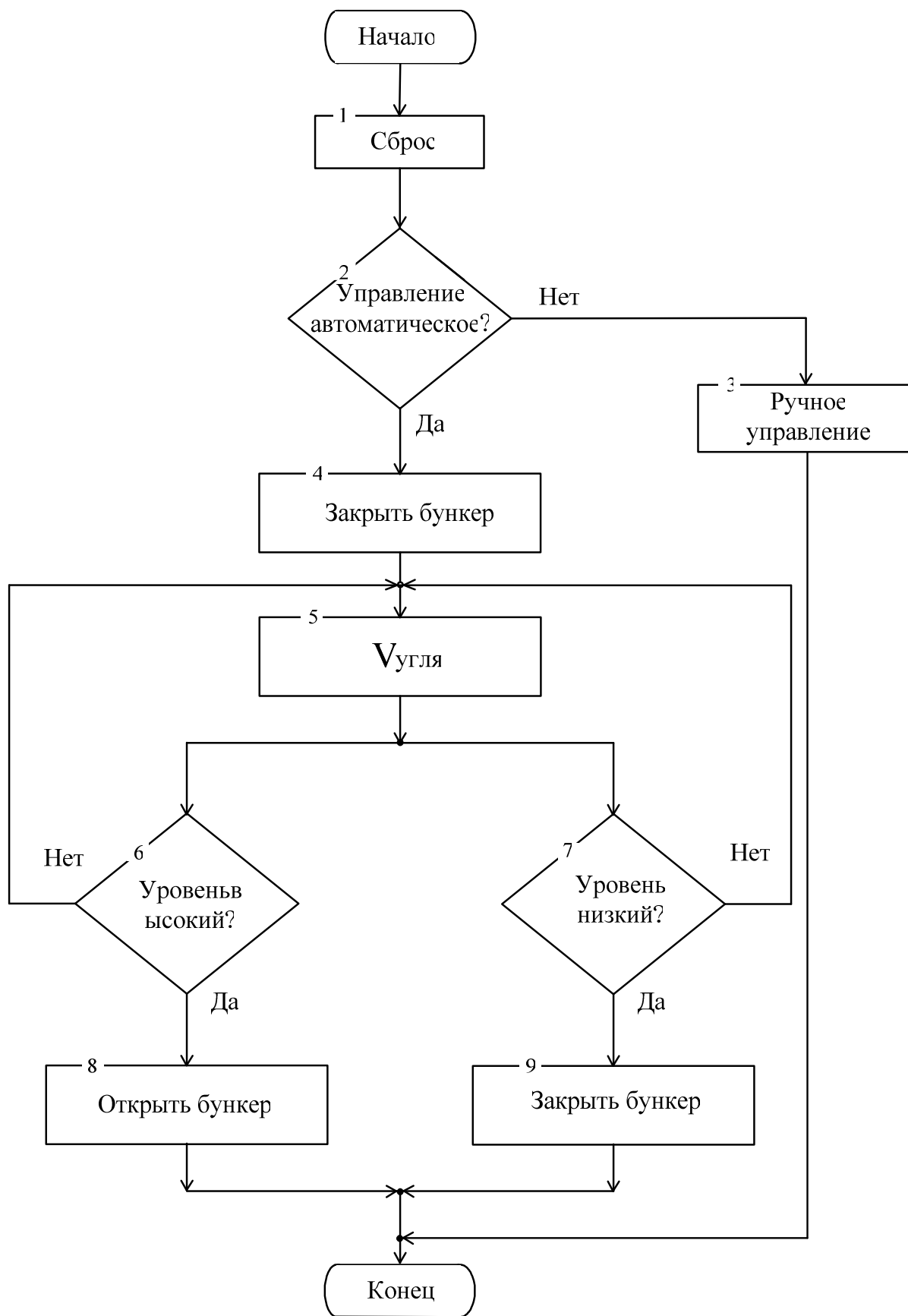


Рис. 4.4. Блок – схема алгоритма управления открытием/закрытием бункера

4.2.2. Алгоритм управления работой конвейера.

Алгоритм управления ленточным конвейером (или скребковым конвейером) рис. 4.4 должен отслеживать изменение грузопотока и состояния конвейера. В алгоритме предусмотрены шаги.

1. Сброс система
2. Выбор способов управления (автоматическое или ручное управление)
3. Выбор способа ручного управления
4. Исходная установка и блокировка
5. Вернуть в исходное состояние после останова системы
6. Включение системы и сообщение о пуске
7. Анализ сигналов о нарушениях и неисправностях
8. Анализ аварийных сообщений
9. Определение объёма угля на конвейере
10. Выявление изменения объёма угля на конвейере
11. Уменьшился (к шагу 13) или увеличился объём угля на конвейере
12. Увеличение скорости конвейера. К шагу 14.
13. Уменьшения скорости конвейера
14. Следует остановить конвейере. Если нет к шагу 7.
15. Останов конвейера.

4.3. Основные элементы автоматизированной системы управления взрывной отбойкой и транспортировкой неравномерных потоков угля из очистных забоев.

Программное обеспечение мониторинга и управления работой транспорта шахты обеспечивает выполнение следующих операций:

- ввода с клавиатуры или мыши на экран видеомонитора участковых скребковых конвейерных линий (или сборных скребковых конвейеров), магистральных конвейерных линий и бункеров в символах, и их хранение в памяти персональной электронной вычислительной машины;

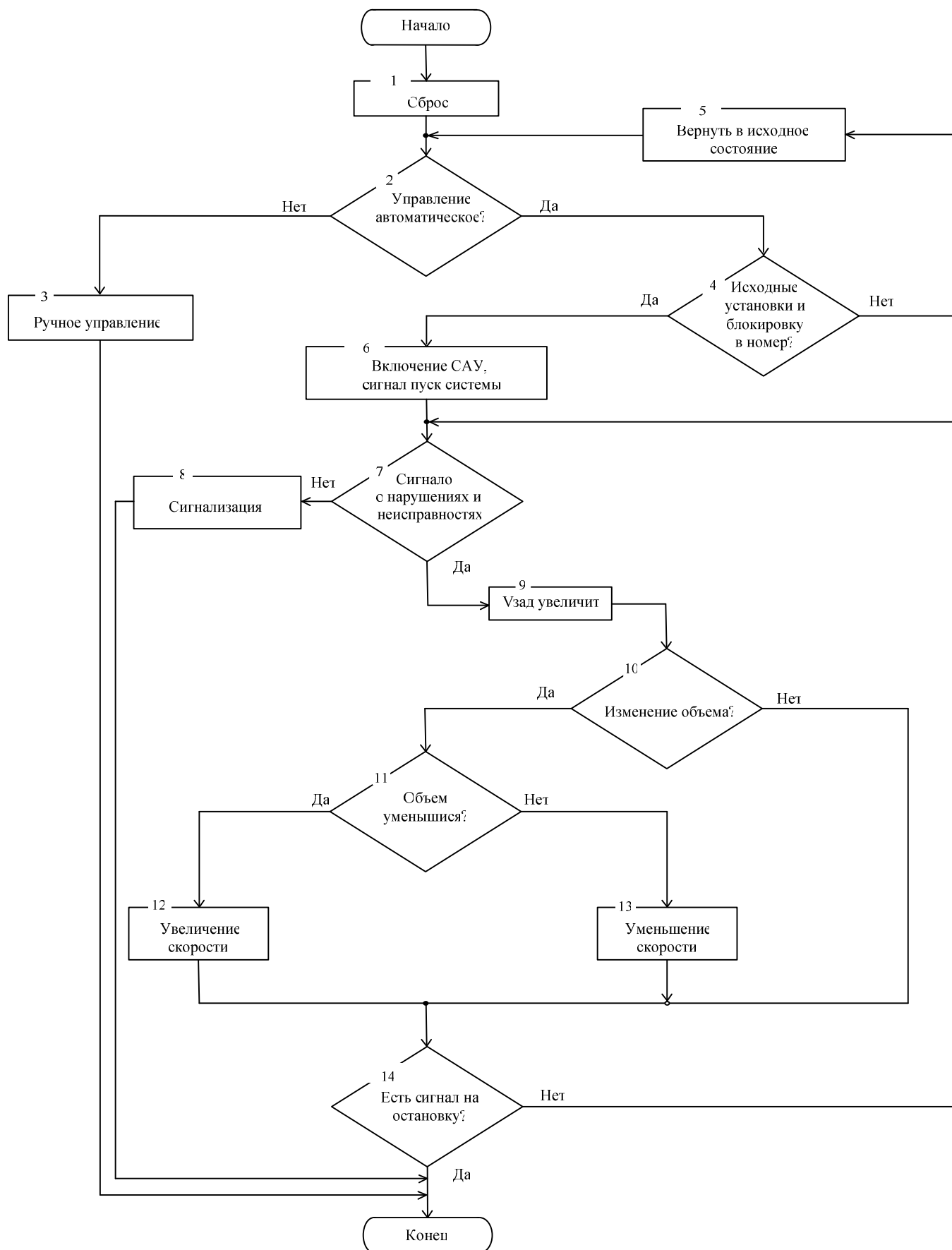


Рис. 4.5. Блок – схема алгоритма управления ленточным конвейером (или скребковым конвейером) при изменении интенсивности грузопотока.

- корректировки схем транспорта с добавлением и или исключением отдельных их частей.

Основные цели создания системы мониторинга и управления работой транспорта шахты:

- организация бесперебойной транспортировки;
- регулирование скорости электродвигателей тяговых органов в зависимости от грузопотока позволит увеличить эффективность использования магистральной конвейерной линии, повысить срок её службы, а также снизить энергопотребление, что важно в условиях низкой рентабельности шахт;
- возможность планирования обслуживания и ремонта электрооборудования по его фактическому техническому состоянию;
- получение в реальном масштабе времени достоверной информации о параметрах;

Программа мониторинга и автоматического управления работой транспорта шахты распределяется по двум группам оборудования. Первая группа включает в себя: компьютеры, программные логические контроллеры, частотные преобразователи и панели дистанционного управления, вторая группа состоит из исполнительных устройств (электродвигателей). Программное управление, функционирующее на оборудовании второй группы и, в свою очередь, в иерархическом плане, разделяется на два подуровня: уровень автоматизированного рабочего места (программы интерфейса оператора, базы данных и декодирования данных) и уровень драйверов (драйверы и буферные программы). Отличительные особенности программы управления работой транспорта шахты являются работой в режиме реального времени, высоко надёжности и уровня большой устойчивости, а также универсальности применения в различных схемах транспорта горных предприятий, или обогатительных фабрик. Обмен данными между управленческими и исполнительными устройствами, осуществляется по алгоритму и управленческой программе, преобразовывающих считанную информацию в определенную стандартную форму для передачи в системе. Количество данных, характеризующих текущее

состояние контролируемого драйвером технологического оборудования, определяется только текстовым конфигурационным файлом.

Интерфейс оператора — это элемент управления исполнительным оборудованием, выполняющий следующие основные функции:

- отображение состояния работы объектов технологического исполнительного оборудования на экране компьютера по выбранной системе графических знаков;
- управление на расстоянии объектами технологического исполнительного оборудования через подачу команд управления;
- автоматическое управление системами технологического исполнительного оборудования по заранее заданным алгоритмам;
- контроль входа (выхода) персонала в системы мониторинга и автоматического управления.

Для разработки графической части программы интерфейса оператора, используется программное обеспечение Win CC 6.0. Вся остальная исходная информация, необходимая для запуска и исполнения программы интерфейса оператора задается текстовыми конфигурационными файлами программного обеспечения ПЛК S7-300 входящий в состав графической оболочки Симатика-Интерфейс человеческих машин (Simatic - Human Machine Interface). Мнемосхема общей системы транспорта шахты приведена на рис.4.6.

База данных системы представляет собой набор файлов, которые состоящий из записей событий в хронологическом порядке, т.е. упорядоченных по времени их поступления. Запись событий содержит каждый файл, произошедших за смену, сутки. В конце каждой смены (или суток), производится контроль количества аварий [1].

Вся исходная информация для запуска и исполнения программного обеспечения, а также состояния и работы объектов технологического устройства, которые определяются соответствующими текстовыми конфигурационными файлами.

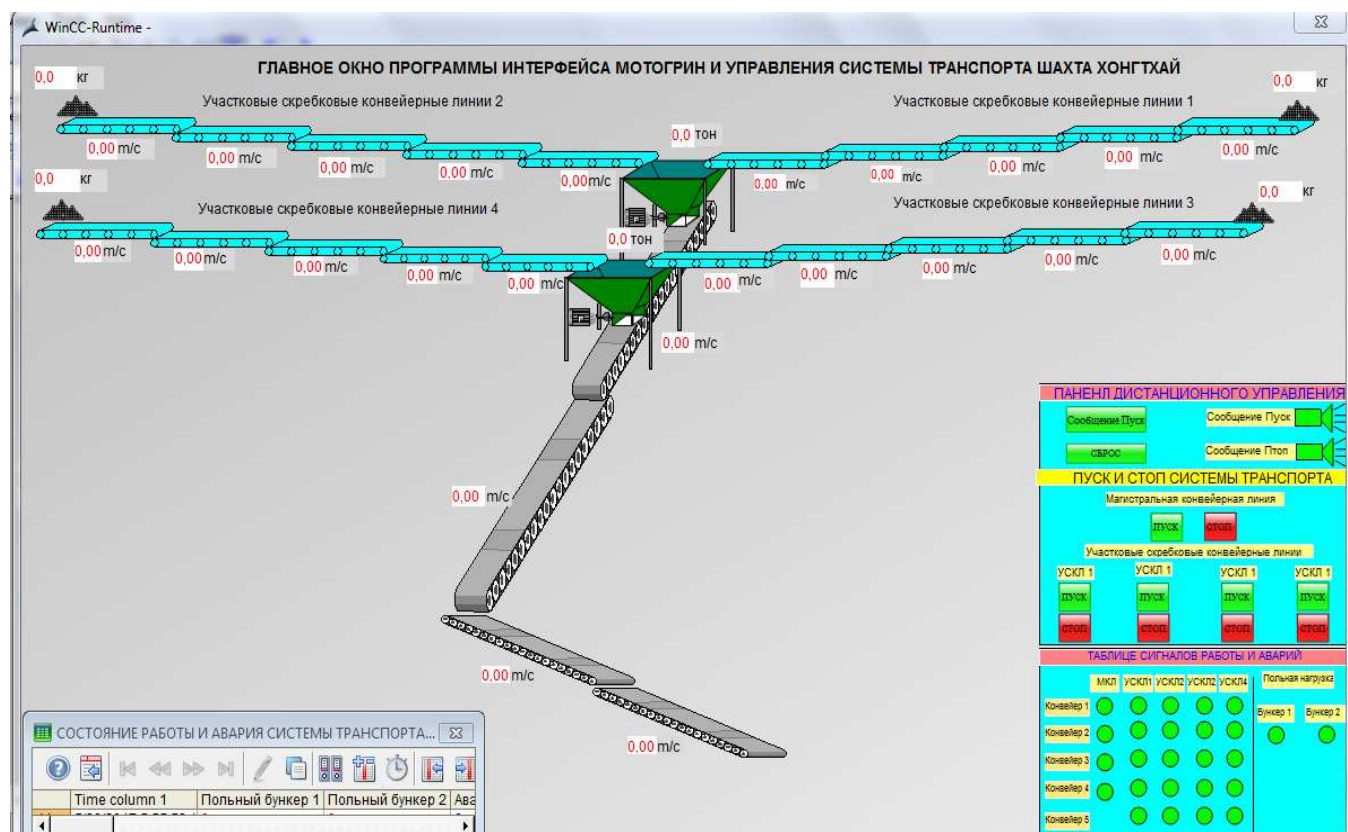


Рис. 4.6. Главная панель мониторинга и автоматического управления системой транспорта шахты Хонг Тхай

Для определения режима работы очистных участков используется разработанный алгоритм нахождения режимов взрывной обойки угля несколькими очистными забоями, обеспечивающий равномерное и постоянное поступление угля на магистральный конвейер и реализующий потоковый принцип работы транспорта угольной шахты и математическая модель загрузки и перемещения угля по скребковым и ленточному конвейерам при взрывной отбойке угля несколькими очистными забоями. Для ввода необходимой информации разработана диалоговая панель рис. 4.7.

4.4. Предварительный расчет экономического эффекта.

По графику рабочего плана, производительности скребкового конвейера и конвейеров в лавах с мощностью подсечного слоя 1,85 м, длиной лавы 64 м и производительностью угля в смену 142 т, определяется время работы участковых скребковых конвейерных и магистральных конвейерных линий:

Рис. 4.7. Окно интерфейса для определения режима работы очистных участков.

Случай без системы мониторинга и автоматического управления

По рабочему графику, среднему времени работы участковых скребковых конвейерных и магистральных конвейерных линий в 6 часов, суммарная мощность электродвигателей составит:

- для участковых скребковых конвейерных линий:

$$P_{\text{НОМ}} = 18,5 \text{ (кВт)} * 20 \text{ (шт.)} / 0,89 = 415,73 \text{ (кВт)};$$

Общая потреблённая мощность за смену:

$$W_{\text{НОМ-э}} = 6 \text{ (час)} * 415,73 \text{ (кВт)} = 2494,38 \text{ (кВт.ч)}$$

- для магистральной конвейерной линии:

$$P_{\text{НОМ}} = 40 \text{ (кВт)} * 7 \text{ (шт.)} / 0,86 = 325,58 \text{ (кВт)};$$

Общая потреблённая мощность за смену:

$$W_{\text{НОМ-э}} = 6 \text{ (час)} * 325,58 \text{ (кВт)} = 1953,49 \text{ (кВт.ч)}$$

При применении системы мониторинга и автоматического управления

- для участковой скребковой конвейерной линии:

- Сумма времени работы:

$$t = 1,926 \text{ (час)};$$

Общая потреблённая мощность за смену:

$$W_{\text{ном-э}} = 1,926(\text{час}) * 415,73 (\text{кВт}) = 800,7 (\text{кВт}\cdot\text{ч})$$

- для магистральной конвейерной линии:

- Сумма времени работы:

$$t = 2,2639(\text{час});$$

Общая потреблённая мощность за смену:

$$P_{\text{ном-э}} = 2,2639(\text{час}) * 325,58(\text{кВт}) = 737,1 (\text{кВт}\cdot\text{ч})$$

В результате параметры лавы показывают, что производство угля на смене 142 тонны (4 лавы ~ 568 тонн), тогда участковые скребковые конвейерные линии и магистральные конвейерные линии при бесперебойном рабочем времени в 5 час, если без системы мониторинга и автоматического управления, и при применении системы мониторинга и автоматического управления среднее рабочее время участковых скребковых конвейерных линий является 1,78 ч, среднее рабочее время магистрального ленточного конвейера и бункеров является 2,37.

Результаты предварительного технико-экономического расчёта для скребкового и ленточного конвейеров при применении системы мониторинга и автоматического управления работой транспорта шахты, оснащённого оборудованием (интерфейс человек-компьютер и преобразователь частоты) оптимизировал работу транспорта шахты и принес следующие эффекты:

1. Расход электроэнергии в случае применения системы мониторинга и автоматического управления сборными скребковыми конвейерными линиями и магистральными конвейерными линиями шахты Хонг Тхай получается (по расчёту) на 65,4% меньше, чем без применения системы мониторинга и автоматического управления.

2. При применении системы мониторинга и автоматического управления работой транспорта шахты Хонг Тхай время работы оборудования (67,9% - для скребковых конвейерных линий и 62,2% - для магистральной конвейерной линии) меньше, чем для системы без мониторинга и автоматического управления, и приводит к увеличению срока службы роликов на грузовой ветви.

Таблице 4.1. Результаты сравнения экономической эффективности системы.

	Без применения автоматического управления	С применением автоматического управления
Сумма времени работы скребковых конвейерных линий (час)	120	38,52
Сумма времени работы магистральных конвейерных линий (час)	42	15,85
Общая потреблённая мощность за смену электродвигателями скребковых конвейерных линий (кВт.ч)	2494,38	800,1
Общая потреблённая мощность за смену электродвигателями магистральных конвейерных линий (кВт.ч)	1 953,49	737,1
Суммарная потреблённая мощность системы (кВт.ч)	4 447,87	1537,8
Энергосбережение(кВт.ч/смена)	2 910,07	

3. Срок службы для скребкового конвейера и конвейера линии, оснащенного системой мониторинга и автоматического управления по фактору износа обкладок, получается больше по сравнению со скребковым конвейером и конвейером линией без мониторинга и автоматического управления.

4. Срок эксплуатации системы транспорта по критерию усталости для скребкового конвейера и конвейера линии при применении системы мониторинга и автоматического управления, увеличивается в 3,11 и 2,64 раза.

5. Результаты расчётного экономического эффекта, показывает, что капитальные затраты для скребкового конвейера и конвейера линии, оснащенного системой мониторинга и автоматического управления работы транспорты шахты, возрастают на 4379 тыс.руб/год, при этом энергосбережение составит 8166 тыс.руб/год. В результате общий экономический эффект составит

3787 тыс.руб/год, при этом удельные приведённые затраты стоимости транспортирования угля уменьшаются на 12,82 руб./т угля.

4.5. Выводы по четвертой главе.

Структура системы мониторинга и автоматического управления работой транспорта шахты приводят к централизованному управлению в управленческом центре наблюдению состояния элементов системы, и уменьшению расхода электроэнергии. Система мониторинга и автоматического управления работой транспорта шахты позволяет синхронизировать скоростью скребкового и ленточного конвейеров в соответствии с текущей загрузкой.

Разработана структурная схема автоматизированной системы управления взрывной отбойкой и транспортировкой неравномерных потоков угля из очистных забоев (рис 4.3).

Разработаны алгоритмы локального управления элементов транспортной системы шахты управления работой бункером и работой конвейера в условиях изменения текущей нагрузки.

Для автоматизированной системы управления взрывной отбойкой и транспортировкой неравномерных потоков угля из очистных забоев разработаны интерфейсные окна.

Выполнен предварительный расчет экономической эффективности внедрения автоматизированной системы управления взрывной отбойкой и транспортировкой неравномерных потоков угля из очистных забоев, которая составит составляет 3787 тыс.руб/год, для системы транспорта состоящей из 20 скребковых и 4 ленточных конвейеров, и 2 бункеров, получающейся в основном за счёт уменьшения расхода электроэнергии, увеличения срока эксплуатации ленты по фактору износа обкладок и по критерию усталости.

Произведено внедрение автоматизированной системы управления взрывной отбойкой и транспортировкой неравномерных потоков угля из очистных забоев на шахте Хонг Тхай.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе выполненных в диссертационной работе исследований дано решение актуальной научной задачи управления работой транспорта шахты при разработке наклонных и круто наклонных пластов, несколькими очистными забоями буровзрывным способом, обеспечивающее равномерное и постоянное поступление угля на магистральный конвейер и позволяющее реализовать потоковый принцип работы транспорта угольной шахты.

Основные научные и практические результаты, полученные лично автором:

1. Разработана математическая модель работы транспортной системы шахты, разрабатывающей наклонные и круто наклонные пласты буровзрывным способом несколькими участками, описывающая выдачу отбитого угля из очистного забоя и его последующее перемещение по скребковым (участковым) и ленточному (магистральному) конвейерам, обладающая адекватностью (сумма квадратов отклонений модельных и наблюдаемых параметров загрузки магистрального конвейера не превышают 7%) и может быть использована для планирования графика работы бригад (определения моментов времени проведения взрывной отбойки угля) для равномерного распределения по смене и в сутки поступления угля на магистральный конвейер.

2. Выполнены исследования загрузки участковых и магистрального конвейеров путем математического моделирования работы транспортной системы угольной шахты, разрабатывающей наклонные и круто наклонные пласты буровзрывным способом несколькими участками, показавшие приемлемую работоспособность.

3. Создан алгоритм нахождения режимов взрывной отбойки угля несколькими участками в зависимости от их количества и расположения линий очистных забоев (расстояния ленточного конвейера), обеспечивающий равномерное поступление угля на магистральный конвейер и позволяющий реализовать потоковый принцип работы транспорта шахты;

4. Разработана структура Автоматизированной системы управления взрывной отбойкой и транспортировкой неравномерных потоков угля из очистных забоев шахты, разрабатывающей наклонные и круто наклонные пласты буровзрывным способом несколькими участками.

5. Обоснован комплекс технических средств, позволяющий автоматизировать процесс определения протяженности участковых конвейеров, расчёт графика работы бригад (моментов времени проведения взрывной отбойки угля), производить мониторинг, контроль и управление работой транспортной системы в соответствии с принятым графиком работы.

6. Созданы алгоритмы и программы: контроля схода ленты; определения объемов угля на конвейере; определения объемов угля в бункере; управлением бункером; управления ленточным конвейером при изменении интенсивности грузопотока.

7. Разработана и внедрена на шахте «Хонг Тхай» республики Вьетнам Автоматизированная система управления взрывной отбойкой и транспортировкой неравномерных потоков угля из очистных забоев, определяющая график работы бригад (моменты проведения взрывной отбойки угля) и выполняющая контроль и управление работой транспортной системы.

8. Результаты работы рекомендованы к использованию на шахтах угольной компании «ВИНАКОМИН» республики Вьетнам, разрабатывающей угольное месторождение Куангнинь.

Дальнейшие исследования по вопросам управления разветвленным транспортом шахты, использующим ленточные и скребковые конвейера, должны быть направлены на автоматизацию технологических процессов изменения протяженности конвейерных линий с целью снижения числа монтажно/демонтажных работ отдельных секций конвейеров при изменении протяженности выработок вследствие продвижении фронта горных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.И.Благодарый, О.З.Гусев..., Автоматизированная система контроля и управления ленточными конвейерами на угольных шахтах, Журнал Горная промышленность No 26-2008. С 38-44.
2. Алотин Л.М. и др. Методы исследования и математическое описание подземных грузопотоков для расчета систем внутри- шахтного транспорта, КНИУИ, Караганда, 1971, 48 с.
3. Алотия Л.М., Мерцалов Р.В., Краус Э.Г. К вопросу о целесообразности регулирования скорости конвейеров в условиях шахт Карагандинского бассейна. Сб. "Механизация и автоматизация рудничного транспорта", вып. 17, КНИУИ, Недра, 1965.
4. Алотин Л.М., Мерцалов Р.В. Технологические предпосылки ступенчатого регулирования скорости конвейеров в наклонных выработках шахт Карагандинского бассейна. Сб. "Вопросы развития и совершенствования рудничного транспорта, вып. 22, КНИУИ, Недра, 1966.
5. Бельфор В.Е. Исследование переходных процессов в многоприводных ленточных конвейерах для горнорудных предприятий. Диссертация на соискание ученой степени, к.т.н. М., 1968.
6. Бишеле И.В., Нгуен Мюанг Хунг, Выбор рациональных ступеней регулирования скорости конвейеров в зависимости от грузопотоков. Горные машины и автоматика, №2, 1969.
7. Биличенко Н.Я., Высочин Е.М., Завгородний Е.Х. Эксплуатационные режимы ленточных конвейеров. ГИТЛ, УССР, Киев, 1964.
8. Бишеле И.В., Нгуен Монг Хунг. Выбор рациональных ступеней регулирования скорости конвейеров по грузопотоку Горные машины и автоматика №2, 1969.
9. Борисенко Л.А. Экономическое обоснование выбора пропускной способности участкового транспорта. ЦШЭЙуголь. Экономика угольной промышленности, Р 5, №6, 1967.
10. Вентцель Е.С. теория вероятностей. Наука, М., 1964.

- 11 Вишневский С.Н. Характеристики двигателя в электроприводе. Энергия, М., 1967.
12. Волотковский В.С., Нохрин Е.Г., Герасимова М.Ф. Износ и долговечность конвейерных лент. М., "Недра", 1976
13. Вычислительная техника. Справочник, тт.1.2. Под редакцией Г.Д. Хаски и Г.А. Корна. Энергия, М.Л, 1964.
14. Глазенко.Т.А., Гончаренко Р.В. Полупроводниковые преобразователи частоты в электроприводах. Энергия, Л., 1969.
15. Глянь Д. В., Оголобченко А. С. Обоснование способа автоматического управления участковой конвейерной линией с накопительным бункером многопоточной конвейерной системы / Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых. Сборник научных работ XV международной научно-технической конференции аспирантов и студентов в г. Донецке 20–22 мая 2015 г. – Донецк: ДонНТУ, 2015.
16. Гнеденко В.В. Курс теории вероятностей. ГИТТЛ, М.Л., 1950.
17. Дерек А Пейс. Многоимпульсные методы для чистой мощности // IEEE 1 октября 1995. - 202с.
18. Запения И.В., Бельфор В.Е., Селищев Ю.А. Моделирование переходных процессов ленточных конвейеров, М..Недра, 1969, 107 с.
18. Запенин И.В., Бельфор В.Е., Селищев Ю.А. Моделирование переходных процессов ленточных конвейеров. "Недра", М., 1969.
19. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия-Телеком, 2009. – 608с., ил.
20. Краус Э.Г. Обоснование целесообразности и основные вопросы применения регулируемого автоматизированного тока для подземных, степени к.т.н. М., 1964.
21. Кузнецов. П.И., Стратонович Р.Л., Тихонов В.И.О длительности выбросов случайной функции. ЖЭТФ, 24:1, 1954.
22. Лейтес З.М. Внутрисменная неравномерность подземных грузопотоков и некоторые методы ее расчета. Вопросы рудничного транспорта. Вып.5., Госчертехиздат. 1961.

23. Лейтес З.М., Гудалов В.П. Совершенствование технологии подземного транспорта при комплексной механизации очистных забоев на шахтах Кузнецкого и Печорского бассейнов. ИГД. М., 1969.
24. Ленинг Дж., Веттин Р.Г. Случайные процессы в задачах автоматического управления, ИЛ., 1969.
25. Лобачева А.К. Исследование и установление параметров и способов регулирования скорости ленточных конвейеров в зависимости от забойного грузопотока. Кандидатская диссертация, М., 1970, 249 с.
26. Лысюк В.С. Разработка аналоговых моделей основных звеньев подземного транспорта угольных шахт и их исследование. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н., 1968.
27. Малевич Н.А. Научные основы выбора средств и параметров транспорта шахт. Диссертация на соиск. ученой степени, к.т.н. М., 1958.
28. Малевич Н.А. Научные основы выбора средств и параметров транспорта по главным откаточным выработкам угольных шахт. Докторская диссертация. М., 1958. 328 с.
29. Масленко В. О., Оголобченко А. С. Устройство управления аккумулярующим бункером в системе автоматизации конвейерной линии/ Сборник научных статей межрегиональной молодежной научной конференции СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ-2007. – Ухта: УГТИ, 21–23 марта 2007. – С. 43–46.
30. Мерцалов Р.В. Исследование подземных грузопотоков и установление способов повышения эффективности использования шахтных конвейеров. Диссертация, представленная на соискание ученой степени, к.т.н. Караганда, 1968.
31. Мерцалов Р.В., Алотин Л.М., Солод Г.И. Аналитический метод определения суммарных шахтных грузопотоков. Технология добычи угля подземным способом, N4, 1968.
31. Мыльников Л.А. Автоматизация интеллектуальной поддержки процессов оперативного управления электроснабжением промышленного предприятия, Диссертация на соиск. ученой степени, к.т.н. Пермь., 2003.

32. Нгуен Монг Хунг. Исследование режимов работы забойных скребковых конвейеров и установление некоторых параметров их в зависимости от условий эксплуатации. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н., М.1969.
33. Нгуен Монг Хунг. Статистические исследования грузопотоков угля в лавах Донбасса.Сб. научных трудов МГИ, 1968
34. Нуждихин Г.И.,Ананькин Г.П. Повысить пропускную способность подземного транспорта на шахтах комбината "Тулауголь","Уголь",Р 5,1968.
35. Овсянников Ю. А., Кораблев А. А., Топорков А. А., Автоматизация подземного оборудования: Справочник рабочего. – М.: Недра, 1990. – 287с.
36. Панибратченко Н.И.,Чангли Н.Д. Опыт эксплуатации подземных конвейеров на повышенных скоростях. "Уголь", Р 7,1969
37. Папоян Р.Л. Регулирование скорости шахтных конвейеров. Горные машины и автоматика. "Недра", 64,1965.
38. Папоян Р.Л. Повышение эффективности использования шахтных конвейерных линий автоматическим регулированием скорости и определением грузопотоков. Кандидатская диссертация, М., 1967, 213 с.
39. Полунин В. Т., Папоян Р. Л. Эффективность регулирования скорости шахтных конвейеров. Научные труды МГИ, № 5. – М. – 1965.
40. Полунин В.Т., Папоян Р.Л. Эффективность регулирования скорости шахтных конвейеров. Научные труды МГЙ, М., 1965.
41. Пономаренко В.А. Резервы пропускной способности подземного транспорта, ГИТИ, М., 1962
42. Пономаренко В.А., Калюжная Н.В., Овчинникова I.К. Неравномерность подземных грузопотоков и их характеристика, Сб. "Рудничный транспорт", М., "Недра", 1968.
43. Пономаренко В.А. Научные основы определения резервов пропускной способности и оптимизация систем подземного транспорта угольных шахт. Докт. диссертация, Донецк, 1965, 326 с.

44. Пономаренко В.А., Научные основы определения резервов пропускной способности и оптимизаций систем подземного транспорта угольных шахт. Диссертация на соискание ученой степени д.т.н., Донецк, 1965.
45. Р. В. Мерцалов, Г. И. Солод, П. М. Трухин и др. Подземные механизированные бункера– М.: Недра, 1985г. – 224с.
46. Романюха И.Е. Исследование грузопотоков карьерных ленточных конвейеров. Канд. диссертация, Днепропетровск, 1971, 169 с.
47. Свешников А.Л. Прикладные методы теории случайных функций. Наука, М., 1968.
48. Солод Г.И. О технологических предпосылках автоматизации конвейеров и конвейерных линий в горнодобывающей промышленности. Сб. Транспорт горных предприятий. М., 1963.
49. Солод Г.И., Папоян Р.Л. Основные технические и технологические предпосылки автоматизации шахтных конвейеров с регулируемой скоростью. Сб. Механизация и автоматизация рудничного транспорта. Вып. 17, “Недра”, 1965.
50. Солод Г.И. О технологических предпосылках автоматизации конвейеров и конвейерных линий в горнодобывающей промышленности, сб. Транспорт горных предприятий, М., 1968.
51. Солодовников В.В. Статистическая динамика линейных систем автоматического управления. ГИФИЛ, М., 1960.
52. Спиваковский А.О. Проблема конвейерного транспорта шахт и карьеров. Сб. Проблемы механизации горных работ. Изд.АН СССР, М., 1963.
53. Спиваковский А.О., Дьячков В.Н. Транспортирующие машины. Машиностроение, М., 1968.
54. Спиваковский А.О., Потапов М.Г., Котов М.А. Карьерный конвейерный транспорт, М., 1968.
55. Спиваковский А.О., Дмитриев В.Г. Теория ленточных конвейеров. М., Наука, 1982, 192 с,
56. Танатар А.И. Методы регулирования скорости асинхронных двигателей. Изд. Техника, К., 1968.

57. Тихонов В.И., Куликов Е.И. Распределение выбросов и максимумов флюктуаций. Радиотехника. N2, 1962.
58. Тулин В.С. Обобщения результатов исследования в области регулируемых электрических и электрогидравлических приводов. Научно – исслед. Отчет, М., 1963.
59. Ч.К. Буй, С.С. Кубрин, В.В. До., Влияние преобразователи частоты на энергетические параметры работы электрической сети шахты. Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. –N⁰ 02. – С. 286–291
60. Ч.К. Буй, С.С. Кубрин, Применение преобразователей частоты путь повышение эффективности работы оборудования на шахте, 13 Международная научная школа молодых ученых и специалистов, 2016.
61. Ч.К. Буй, С.С. Кубрин. Исследование, разработка системы мониторинга и управления высоковольтными ячейками 6 кв на центральной распределительной подстанции горного предприятия. Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. –NO 12. – С. 286–291.
62. Шахмейтер Л.Г., Бицелле М.В. Статистические оценка параметров грузопотоков для расчета потребной производительности конвейеров. Горные машины и автоматика N9. 1966.
63. Шахмейтер Л.Г., Ярошевкий В.И. О расчетной производительности сборного конвейера разветвленной конвейерной линии угольных шахт. Горный машины и автоматика N7, 1965.
64. Шаходжаев Д.М. Применение осредняющих бункеров и регулирование скорости конвейеров для повышения степени использования, Диссертация представленная на соискание ученой степени к.т.н. М., 1965.
65. Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г., Лобачева А.К. Динамика грузопотока и регулирование скорости ленточных конвейеров. VIII, 1972, 163 с.
66. Шахмейтер Л.Г., Бицелле М.В. Математический метод описания грузопотоков из механизированных лав для расчета подземного транспорта. Горные машины и автоматика № 8, 1965.

67. Шаходжаев Д.Ш. Применение усредняющих бункеров и регулирование скорости конвейеров для повышения степени использования подземного конвейерного транспорта. Кандидатская диссертация, М., 1965.
68. Шахмейстер Л.Г., Бишеле И.В. Статистические оценки параметров грузопотоков для расчета потребной производительности конвейеров. "Горный машины и автоматика", Л 9, 1966.
69. Шахмейстер Л.Г. Техничко-экономический анализ выбора рациональных средств подземного транспорта с применением ЭЦВМ, *im/i*, 1968, 69 с.
70. Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. Вероятностные методы расчета транспортирующих машин. М., Машиностроение, 1983, 256 с.
71. Barry W. Kennedy. Праймер качества электроэнергии // Макгроу Хилл профессиональный, 2000. – 360с.
72. Nguyen Doan Phuoc, Phan Xuan Minh – Tu dong hoa voi PLC S7-300, nha xuat ban khoa hoc va ky thuat, Ha Noi 2006 p 25-52.
73. Tran Xuan Ha, Pham Quang Huy – Lap trinh voi S7-300 & Win CC/ Nha xuat ban Hong Duc, Ho Chi Minh .nam. -2008. p 290-327.
74. Wicner N, Extrapolation, interpolation and smoothing of stationary time series? New York, 1949.
75. [ОДО Инстройсервис](#)
76. <http://elektro-mehanik.com.ua>
77. <http://otherreferats.allbest.ru>
78. <http://www.impeks-gho.ru>
79. <http://minetech.ru>
80. <http://www.impeks-gho.ru>
81. <http://dattech.com.vn>