

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)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2018

Работа выполнена в ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС»
(НИТУ «МИСиС»)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Кубрин Сергей Сергеевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Каледин Валерий Олегович,
Новокузнецкий институт (филиал)
ФГБОУ ВО «Кемеровский
государственный университет»,
зав.лабораторией;

доктор технических наук, доцент
Шпрехер Дмитрий Маркович
ФГБОУ ВО «ТулГУ»
Государственный Университет
(ФГБОУ ВО «ТулГУ»), кафедра ЭТЭО

Ведущая организация: Акционерное общество «Научный
центр ВостНИИ по промышленной и
экологической безопасности в горной
отрасли» (АО «НЦ ВостНИИ»), г.
Кемерово

Защита диссертации состоится « 20 » июня 2018 г. в ____ часов на
заседании диссертационного совета Д 212.132.13 при федеральном
государственном автономном образовательном учреждении высшего
профессионального образования «Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС» по адресу: 119049, г. Москва,
Ленинский проспект, д. 6.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке
НИТУ «МИСиС» и на сайте <http://misis.ru/science/dissertations/2018/3419/>

Автореферат разослан «____» _____ 2018 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат физико-математических наук, доцент



Лычев А.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 таким 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 разветвленную 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность научной задачи повышения добычи угля с помощью определения режимов работы очистных участков и транспорта шахты, включающего скребковые и ленточный конвейеры в условиях неравномерного потока груза при взрывной отбойке угля. Сформулирована цель работы, поставлены задачи научного исследования, изложены основные научные положения, выносимые на защиту, отмечены

научная новизна и практическая ценность работы, указаны сведения об апробации работы.

В первой главе диссертации анализируются технологические особенности работы угольных шахт, разрабатывающих наклонные и круто наклонные пласты несколькими очистными забоями. Определен характер грузопотоков добытого угля от очистного забоя до поверхности. Выявлена главная особенность грузопотока отбитого угля буровзрывным способом – его неравномерность связана с особенностью технологии. Основная возможность увеличения объемов добычи угля шахтой – это использование дополнительных очистных забоев. С учетом того, что выдача угля из очистного забоя занимает около 2 часов из 8 часовой смены, то распределяя равномерно график работ очистных бригад можно организовать работу четырех очистных участков. При этом не потребуется переоснащения шахты новыми магистральными конвейерами большой производительности.

При ведении очистных работ, положение очистного забоя изменяются, длина конвейерного штрека сокращается. Вместе с этим меняется время (исходя из максимальной скорости используемых скребковых конвейеров 0,7 м/с) перемещения отбитого угля от очистного забоя до магистрального конвейера в диапазоне от 24 минут в начале отработки выемочного столба (длина конвейерного штрека 1000 метров) практически до нуля, в конце обработки выемочного столба. С учетом этого, поступление угля на магистральный конвейер при работе нескольких очистных участков меняется в пределах $\pm 0,5$ час, это приводит к кратному увеличению загрузки угля на магистральном конвейере, что ведет к заштыбовке и просыпке. При возникновении заштыбовки и просыпке угля на магистральном конвейере требуется его остановка для проведения работ по зачистке капитальной выработки и устранения заштыбовки в ручном режиме, что ведет к простоям всей шахты.

Частично задачу можно решить путем соответствующего регулирования скоростей скребкового и ленточного конвейеров в зависимости от интенсивности грузопотока. Эти вопросы рассматривали в своих работах такие ученые, как Нгун Конг Хунга, Пономаренко В.А., Малевича, Лейтеса З.М., Гудалова В.П., Мерцалова Р.В. и ряд других. Регулирование скорости скребкового и ленточного конвейеров предполагает создание замкнутых систем автоматического регулирования, которые должны включать в себя: датчики величины грузопотока, датчики скорости ленты в месте загрузки, элемент сравнения, усилители, исполнительные и корректирующие устройства (рис. 1). При

поступлении вход системы регулирования полезного сигнала $v_{гр}(t)$, пропорционального грузопотоку с помехой $v_{э\kappa\text{в}}^*(t)$: $v_{вх}(t) = v_{гр}(t) + v_{э\kappa\text{в}}(t)$. Воздействие $v_{гр}(t)$ и $v_{э\kappa\text{в}}(t)$ являются стационарными случайными функциями с известными корреляционными связями со средними значениями равными нулю. Если средние значения отличны от нуля, то производится центрирование $v_i'(t) = v_i(t) - M\{v_i(t)\}$. Для определения управляющих воздействий система выполняет линейное преобразование полезного входного сигнала $v_{гр}(t)$ в сигнал $V_3(t)$ по формуле $L[v_3(t)] = H(s)L[v_{гр}(t)]$ ($H(s)$ – заданный преобразующий оператор).

Далее, используя обозначения $v_{гр}(t) = m(t)$, $v_{э\kappa\text{в}}(t) = n(t)$, $V_{вх}(t) = \varphi(t)$, $v_3(t) = h(t)$, $V_x(t) = x(t)$, $\varphi(t) = m(t) + n(t)$, $L[h(t)] = H(s)L[m(t)]$ ищется импульсная переходная функция $k(t)$, удовлетворяющая условию $k(t) = 0, t < 0$ и обеспечивающая минимум среднего значения квадрата ошибки: $\varepsilon_{\min}^{-2} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T [h(t) - x(t)]^2 dt$ между требуемым управлением $h(t)$ и возможным изменением величины $x(t)$. С учетом, что: $x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t - \tau)k(\tau)d\tau$ получим:

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

Тогда задача заключается в том, чтобы найти передаточную функцию $\phi(j\omega)$ системы регулирования $\phi(j\omega) = \int_0^{\infty} k(t)e^{-j\omega t}dt$, при которой ε^2 была бы минимальна. Такая передаточная функция, согласно Виснер N., имеет вид:

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

где $S_{h\varphi}(\omega)$ - взаимная спектральная плотность.

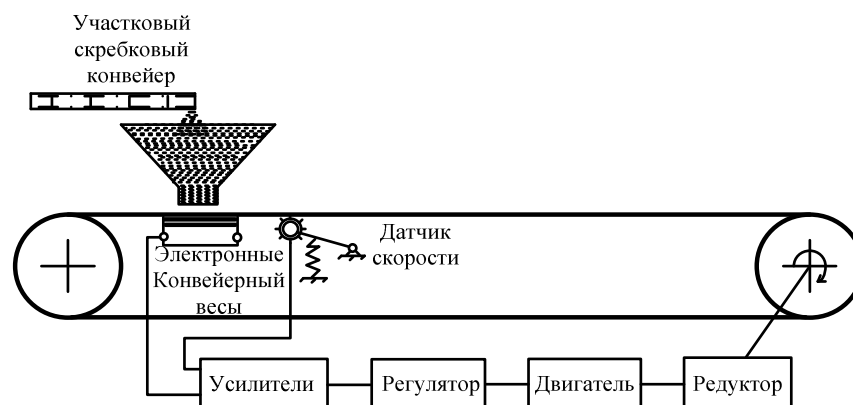


Рисунок 1 - Общая система непрерывного регулирования скорости ленты конвейера.

Задача экстраполяции управляющего воздействия является одной из важных составляющих, необходимых для регулирования скорости скребковых и ленточных конвейеров. Конечно, в результате экстраполяции, не возможно получить точного будущего изменения грузопотока, но ввиду его временной стационарности, возможно оценить вероятное поведения сигнала в будущем. При решении задачи определения упреждения управляющих воздействий требуется произвести сглаживание входной величины, тогда $V_3(t) = V_{rp}(t + t_0)$. И тогда система регулирования должна выдавать скорости конвейеров в момент времени t с меньшей ошибкой, по сравнению с той, которая будет на входе системы в момент времени $t + t_0$. Это позволит снизить влияние помехи $V_{экр}(t)$, которая обычно содержит более высокие частоты, чем полезный сигнал $V_{rp}(t)$ и, следовательно, эффективно может быть “сглажена”. Тогда, с учетом $S_{V_3 V_{Bx}}(\omega) = e^{j\omega t_0} S_{V_{rp}}(\omega)$, где: $S_{V_3 V_{Bx}}(\omega)$ - взаимная спектральная плотность между входным и выходным сигналами определяется передаточной функцией:

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

Непрерывное регулирование является одним из рациональных способов регулирования скорости скребкового и ленточного конвейеров 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.

Вторая глава посвящена вопросам разработки и апробации математической модели загрузки и перемещения угля по скребковым и ленточному конвейерам при взрывной отбойке угля несколькими очистными забоями. Так, рассмотренные вопросы упреждающего управления транспортной системы, работоспособны 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 случайным образом, а режимом работы очистных участков. 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 к непрерывному. 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. Такой подход 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 была разработана математическая модель загрузки и перемещения угля по скребковым и ленточному конвейерам при взрывной отбойке угля несколькими очистными забоями.

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. Аналогично скребковому конвейеру работает ленточный конвейер, только с большой скоростью. Общая математическая модель процесса перемещения угля при использовании технологии буровзрывных работ несколькими забоями примет вид:

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

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 $лс$ 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.

С помощью разработанной математической модели загрузки и перемещения угля по скребковым и ленточному конвейерам при взрывной отбойке угля несколькими очистными забоями был проверен режим работы за смену угольной шахты четырьмя очистными участками (рис. 2). Результаты моделирования показали, что при равномерно распределенном режиме работы четырех очистных участков в смену, во второй половине смены нагрузка на магистральном конвейере возрастает на 20%, что связано с инерционностью процесса транспортировки угля скребковыми конвейерами. 17.02.2017 года произведены наблюдения за загрузкой магистрального конвейера на шахте «Хонг Тхай» при равномерно распределённой работе четырех очистных участков в течении 3-х часов. 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.

Используя разработанную математическую модель загрузки и перемещения угля по скребковым и ленточному конвейерам при взрывной отбойке угля несколькими очистными забоями, была решена задача определения режимов работы очистных участков, обеспечивающих равномерную загрузку магистрального конвейера. Для нахождения таких режимов 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 (рис. 3). С его помощью получен график работы шести участков минимизирующий нагрузку магистрального конвейера (рис. 4).

В третьей главе выполнено обоснование требуемых технических средств для автоматизированной системы управления взрывной отбойкой и транспортировкой неравномерных потоков угля из очистных забоев.

Проведен анализ используемой аппаратуры (комплекс АУК.1М, АУК.3, САУКЛ) и технических средств, позволяющих регулировать скорость ленточного конвейера – частотных преобразователей. Комплекс АУК.1М наиболее распространен на шахтах, однако релейно-контактная элементная база аппаратуры не позволяет использовать её в компьютерно-интегрированных системах мониторинга и управления. Комплексы АУК.3 и САУКЛ являются современной аппаратурой автоматизации конвейерного транспорта шахты и выбраны в качестве базовой аппаратуры автоматизации системы управления транспортом шахты.

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 не превышать 10%. В работе выполнена оценка качества электроэнергии сети шахты при применении преобразователей частоты для управления электродвигателями. Изменение частоты, кроме положительных свойств для плавной регулировки скорости асинхронных двигателей изменяет режим работы электрооборудования в сети, снижает качество электроэнергии и порождает ряд трудностей, связанных с эксплуатацией электродвигателей (увеличение температуры, снижение производительности, потеря электроэнергии, вибрация и шум). В работе произведено моделирование работы сети шахты с использованием преобразователей частоты (рис. 5 -7).

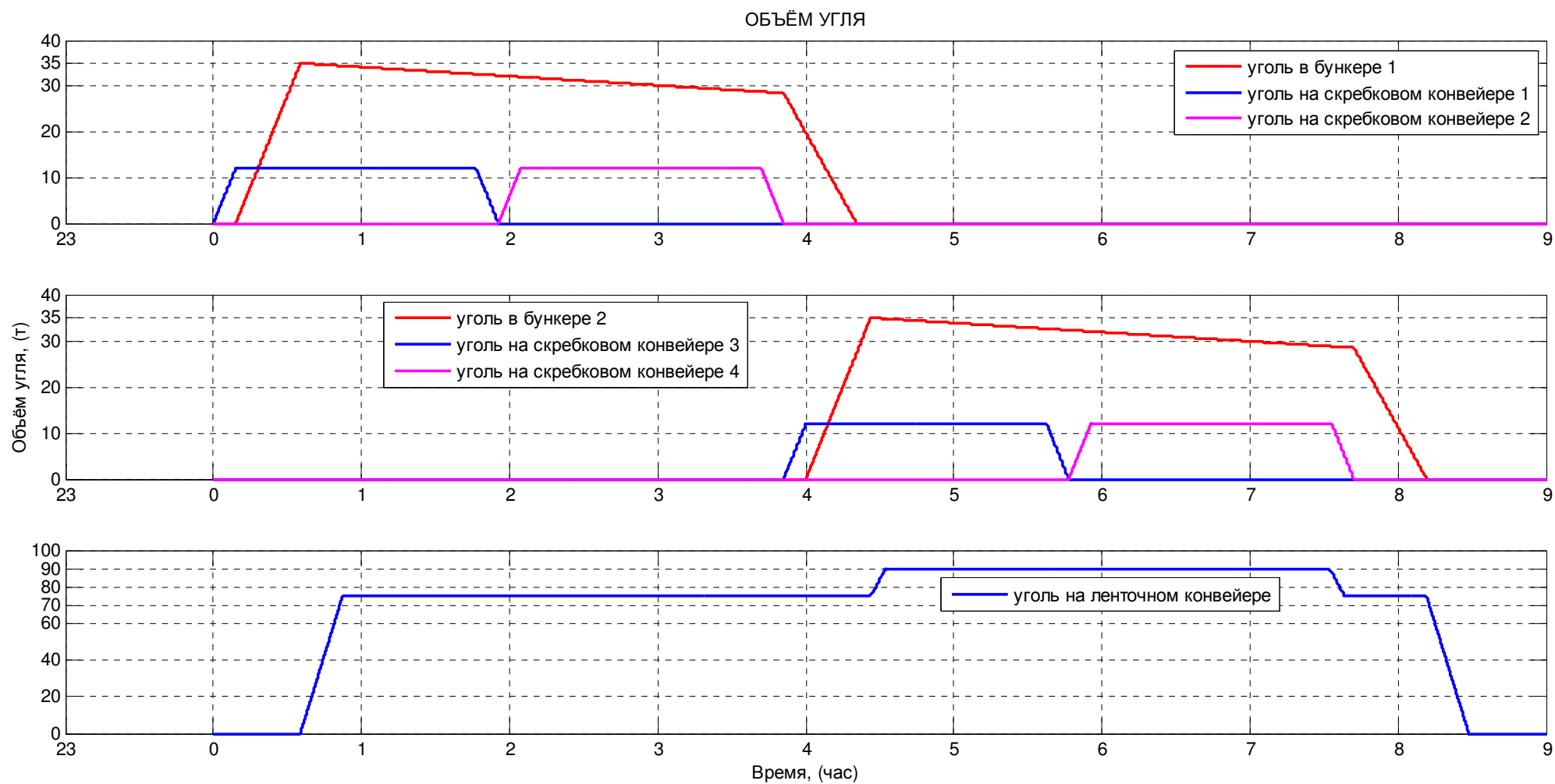


Рисунок 2 - Загрузка транспортной системы шахты за смену, при равномерном распределённом режиме работы четырех очистных бригад

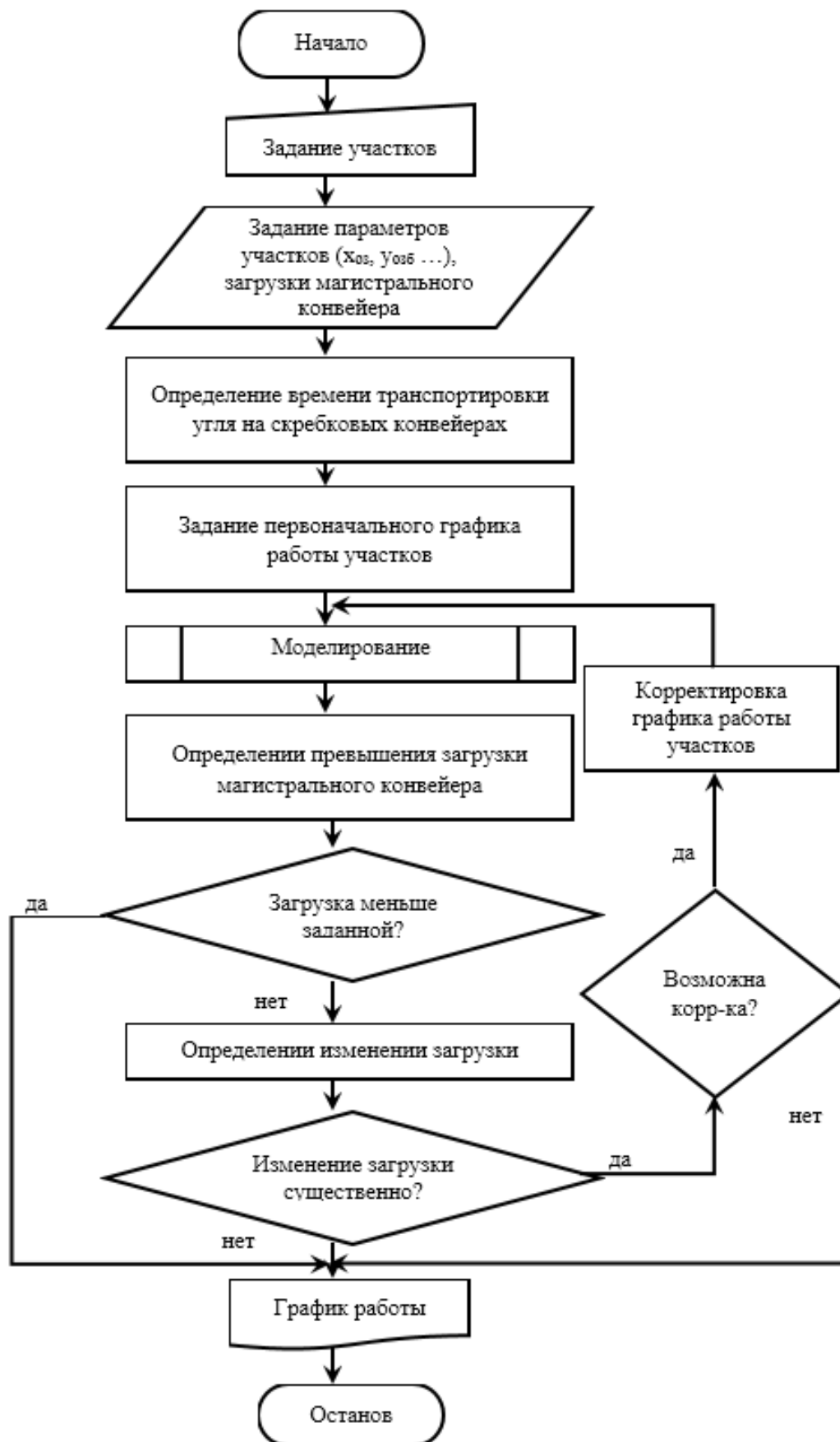


Рисунок 3 - Алгоритм нахождения режимов взрывной обойки угля несколькими очистными забоями, обеспечивающий равномерное и постоянное поступление угля на магистральный конвейер и реализующий потоковый принцип работы транспорта угольной шахты

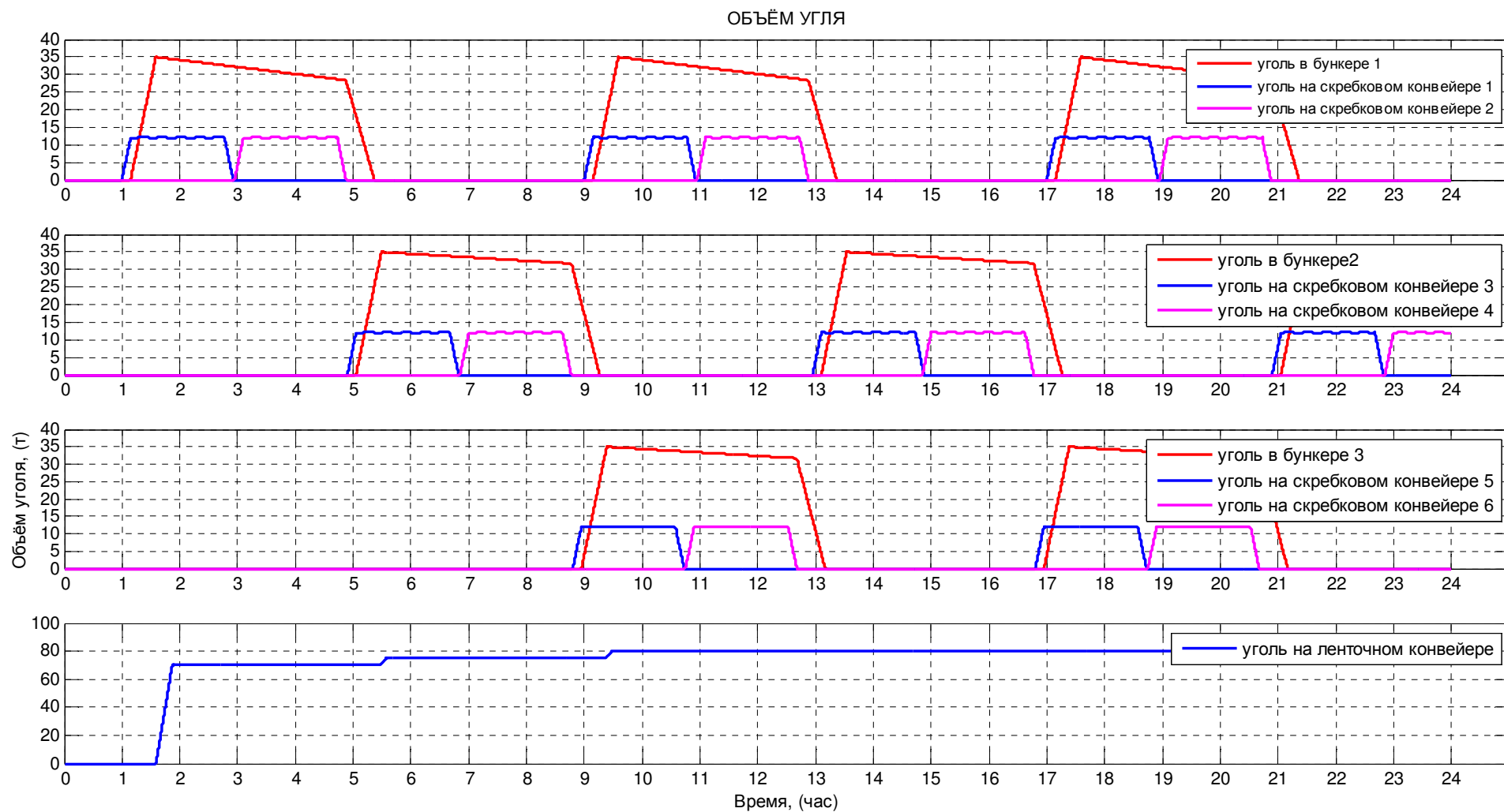


Рис. 4. График работы шести участков, обеспечивающий равномерную загрузку магистрального конвейера и минимизирующий наибольшую его загрузку.

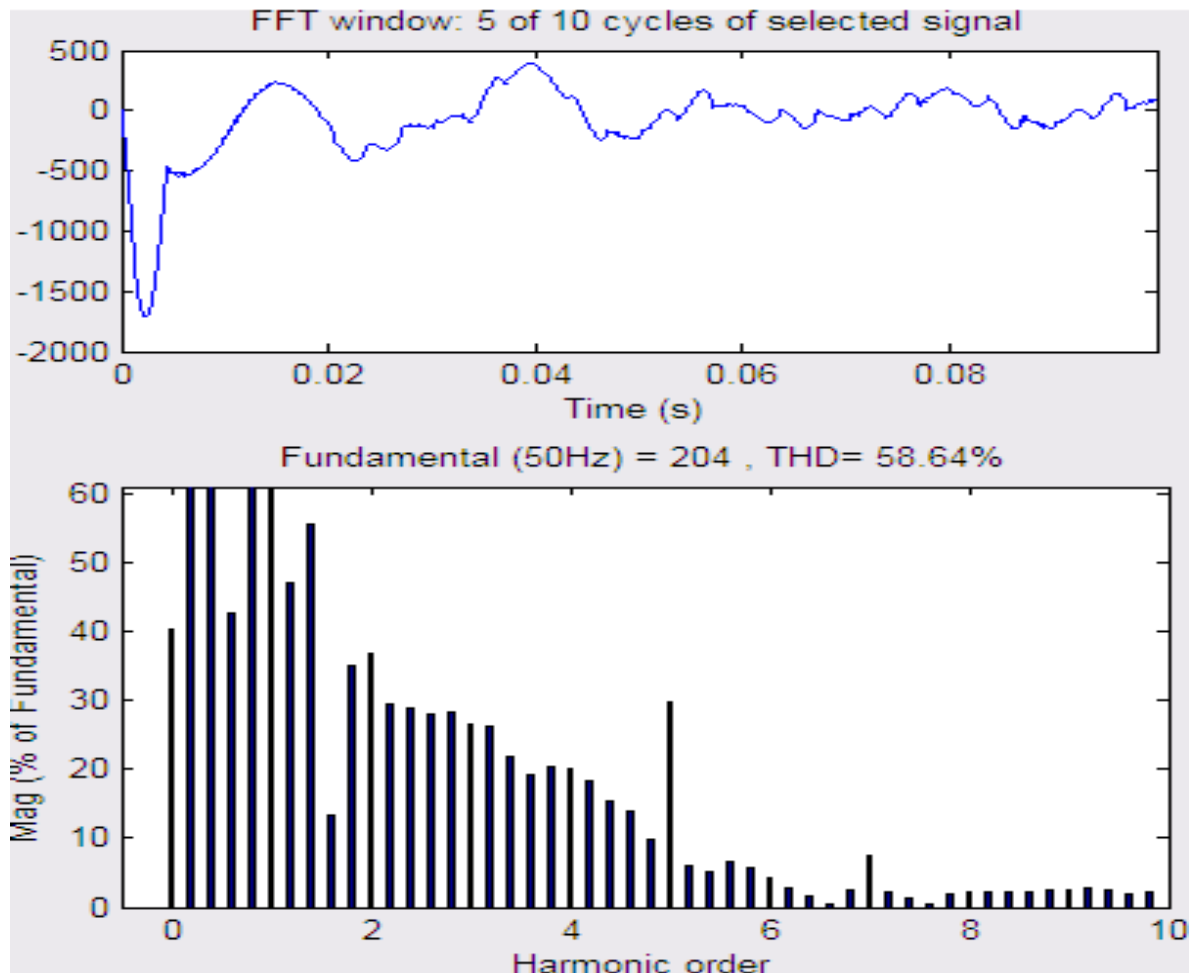


Рисунок 5 - Частотный спектр гармонических волн по силе тока

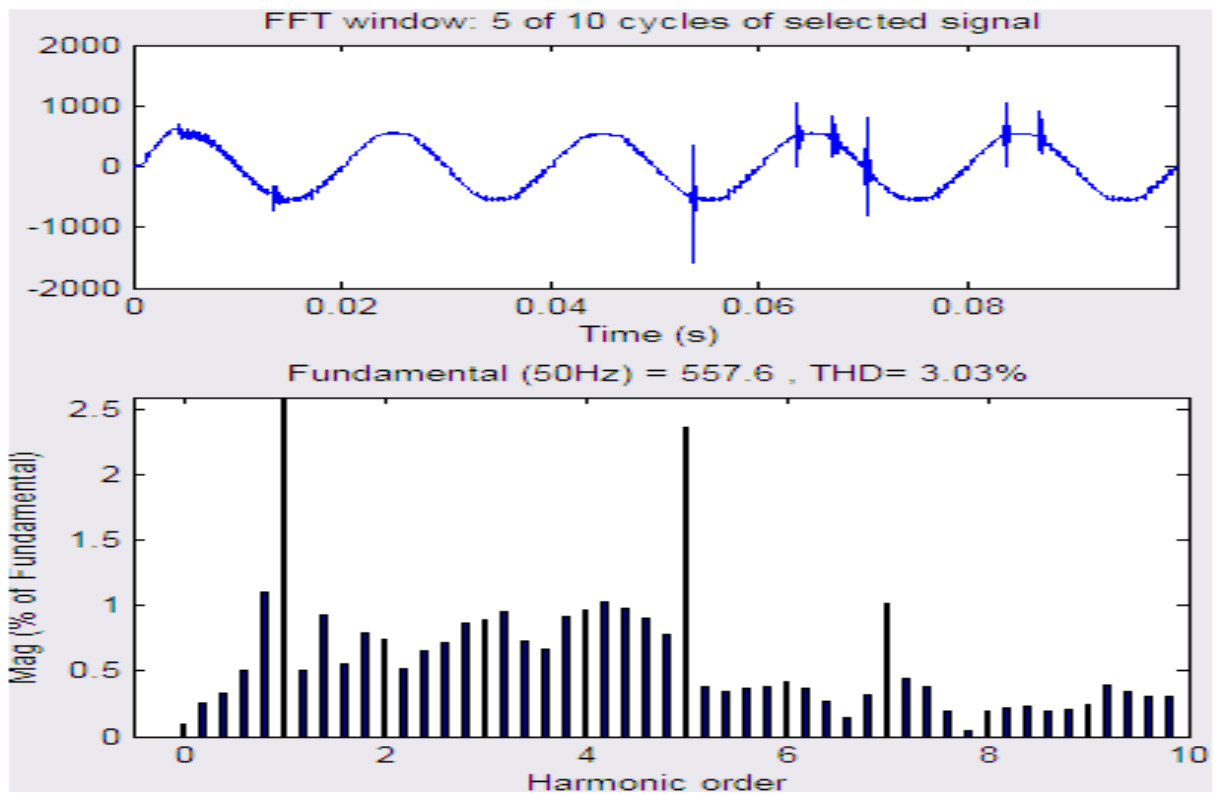


Рисунок 6 - Частотный спектр гармонических волн по напряжению.

Анализ частот гармонических волн тока фаз свидетельствуют, что уровень искажений гармонической составляющей тока примерно 58%, гармоническая волна появляется на большинстве уровней, но в основном на уровне 3, 5, 7, общая сумма искажений гармонической составляющей напряжения примерно 3%. Моделирование показало, что в сети горного предприятия генерируется ряд гармонических волн (степень 3, 5, 7, 11, 13, 15...), если для снижения необходимо использовать регулируемый фильтр обходного соединения. Результаты анализов сети шахты с использованием преобразователя частоты и активного фильтра LC представлены на рис. 8, 9.

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%.

В работе проведен анализ зависимости между скоростью конвейера, частотой питающего напряжения с интенсивностью поступающего грузопотока и разработано решение автоматического управления тяговыми органами конвейеров при изменении нагрузки (рис. 10, 11). С помощью выражения $f_1 = \frac{P \cdot L \cdot I}{2\pi Q R_{\text{зар}}} q + \frac{\Delta \omega \cdot P}{2\pi} = K'_1 q + C'_1$ определяется частота питающего напряжения в зависимости от интенсивности грузопотока, на конвейере, и устанавливается требуемая скорость $v_{\text{зад}} = \left(\frac{L}{Q} \cdot q + \frac{\Delta \omega \cdot R_{\text{зар}}}{i} \right) \cdot (1 - s) = K_2 \cdot q + C_2$.

В четвертой главе разработана Автоматизированная система управления взрывной отбойкой и транспортировкой неравномерных потоков угля из очистных забоев. Структурная схема (рис 12) системы является двухуровневой компьютерно-интегрированной системой управления с использованием промышленной шины.

Верхний уровень представлен системой планирования режима работ очистных участков, оперативным мониторингом и диспетчерским управлением работы технологического оборудования транспорта шахты. В нижний уровень входят три локальные подсистемы управления: участковыми скребковыми конвейерными линиями, магистральной конвейерной линией, накопительными бункерами. Система обеспечивает планирование режима работы очистных

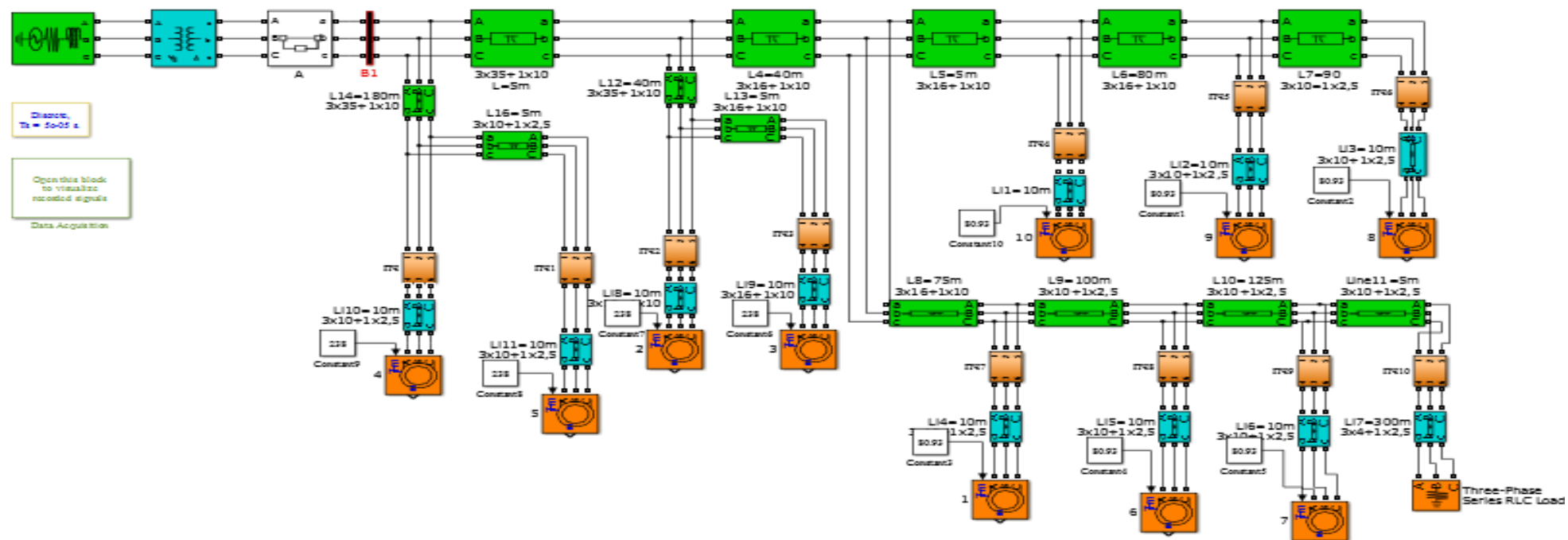


Рисунок 7 - Моделирование работы электросети шахты с преобразователями частоты

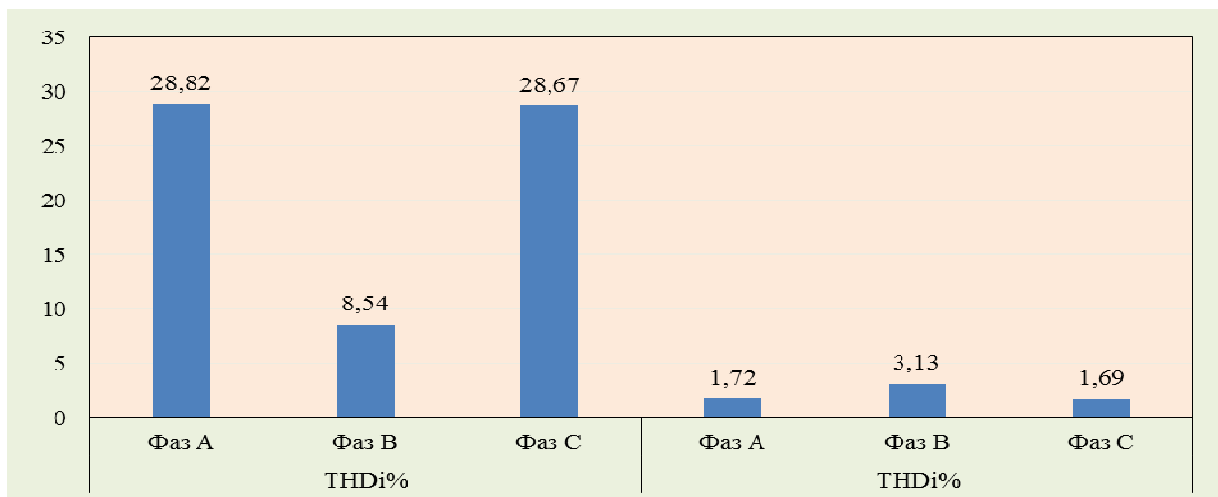


Рисунок 8 - Искажения гармонической составляющей тока и напряжения ($THD_u\%$) по фазам.

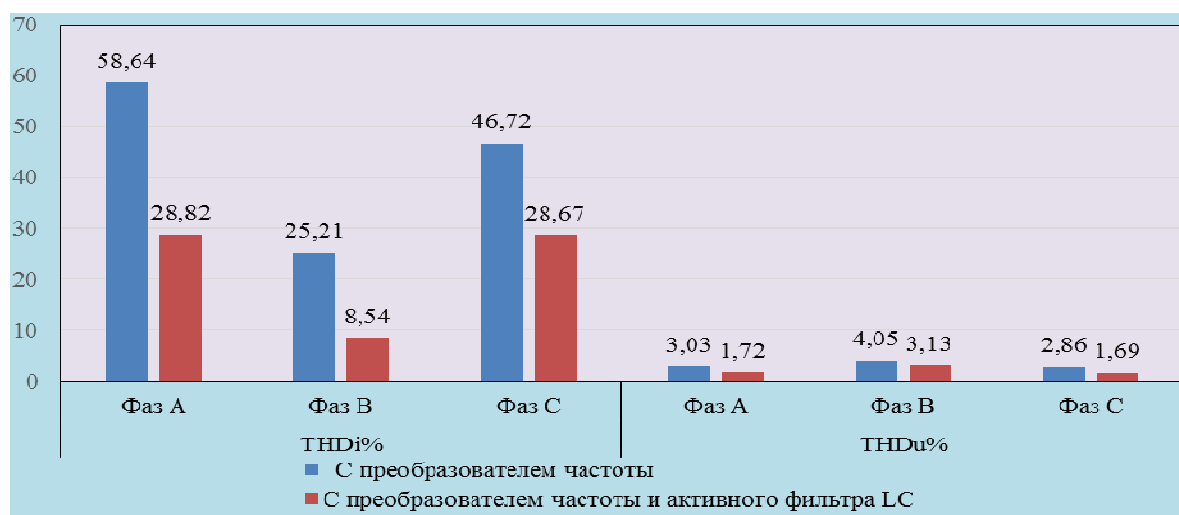


Рисунок 9 - Результаты моделирования работы электросети шахты с преобразователями частоты с и без присоединения активных фильтров LC.

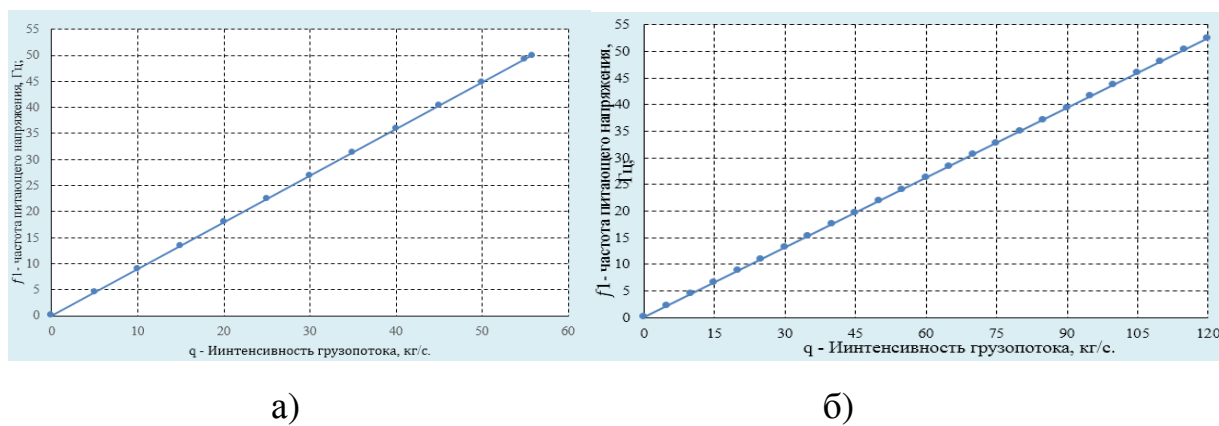


Рисунок 10 - Зависимость между частотой питающего напряжения и грузопотоком на ленточном (а) и скребковом (б) конвейерах.

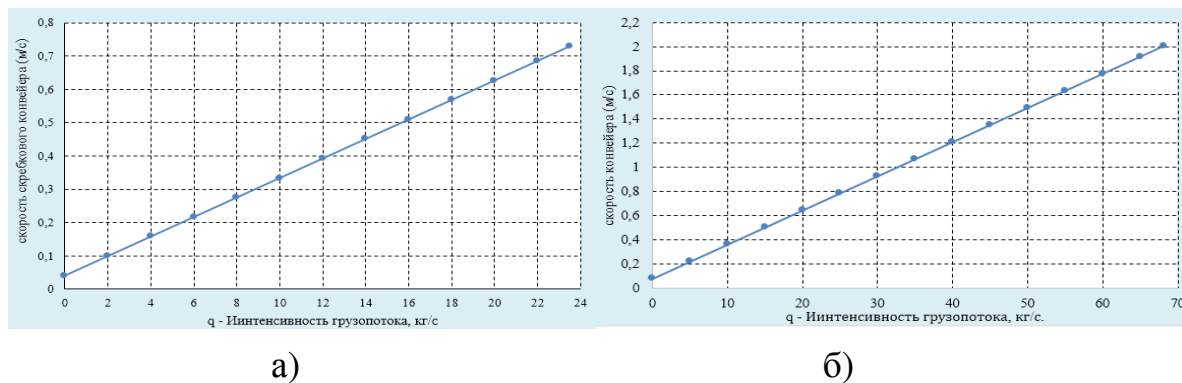


Рисунок 11 - Зависимость между скоростью и грузопотоком на скребковом (а) и ленточном (б) конвейерах.

участков, обмен данными, контроль работы оборудования (работает или не работает, авария), автоматическую регулировку работы участковыми скребковыми конвейерными линиями, ленточными конвейерами, накопительными бункерами, ведение журналов технических параметров оборудования и аварийных сообщений, выполняет операторские функции контроля процессов транспортировки угля и диспетчерские функции удаленного управления технологическим оборудованием, переключения режимов управления (ручное/автоматическое, местное/дистанционное), обеспечение регулирования скорости магистральной конвейерной линии при интенсивном изменении грузопотока в режиме «энергосбережения».

Для решения задач по обеспечению равномерной, бесперебойной работы технологического оборудования транспортной системы в комплекс технических средств автоматизированной системы управления транспортом входят датчики скорости движения конвейеров, уровня угля в бункерах, схода конвейерной ленты, дальномеры, контроллеры и для управления скоростью конвейера преобразователи частоты (рис. 12).

Для обеспечения требуемых функций Автоматизированной системы управления взрывной отбойкой и транспортировкой неравномерных потоков угля из очистных забоев разработаны служебные программы: управления и контроля оборудованием с использованием программируемого логического контроллера; контроля схода ленты; контроля объема угля на конвейере; контроля объема угля в аккумулярующем бункере; управлением открытием/закрытием бункера (рис. 13); управления ленточным конвейером при изменении интенсивности грузопотока (рис. 14).

Для определения режима работы очистных участков (в количестве от 2 до 6 участков) для равномерного распределения поступления отбиваемого угля

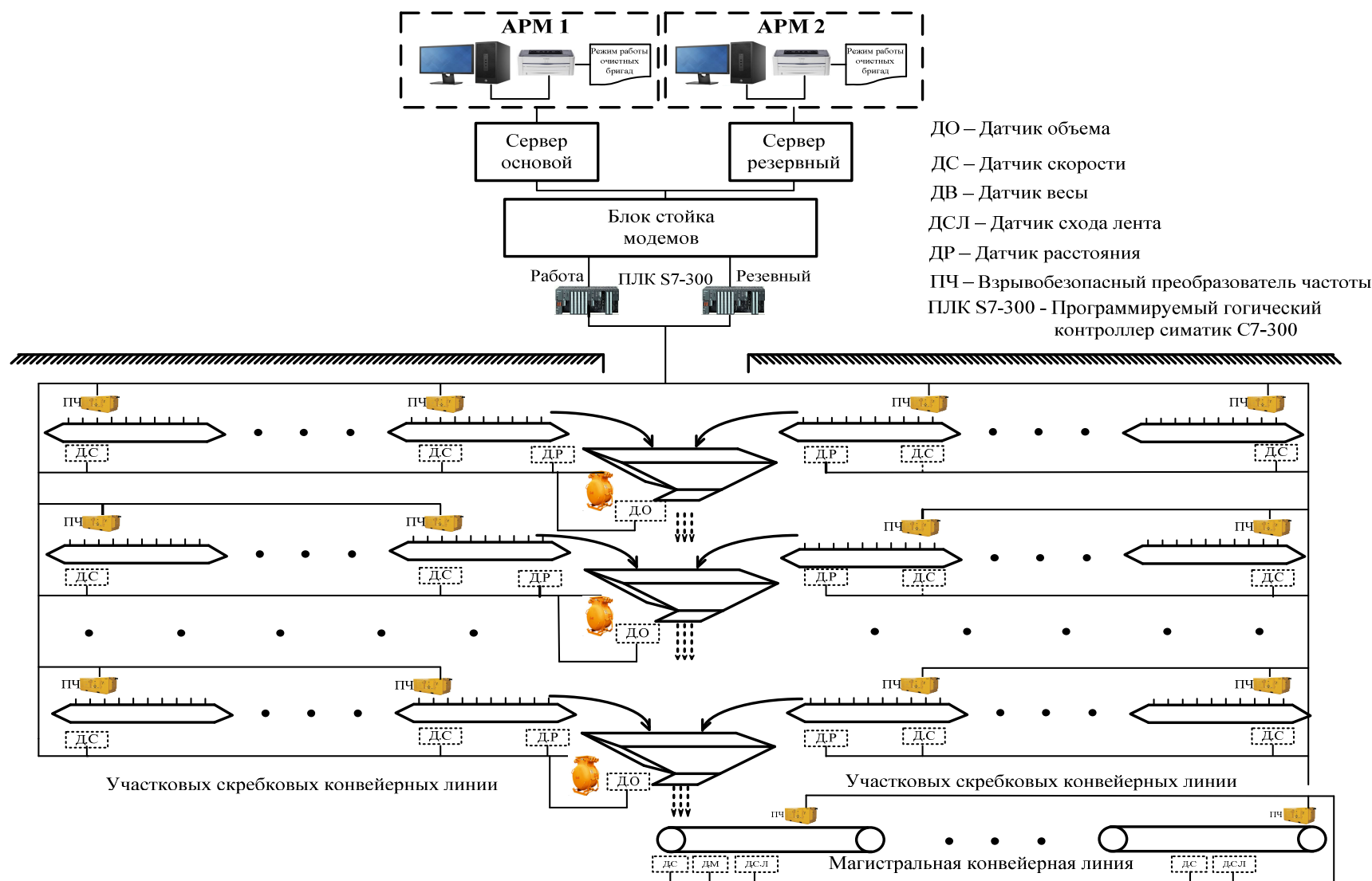


Рис. 12. Структурная схема Автоматизированной системы управления взрывной отбойкой и транспортировкой неравномерных потоков угля из очистных забоев

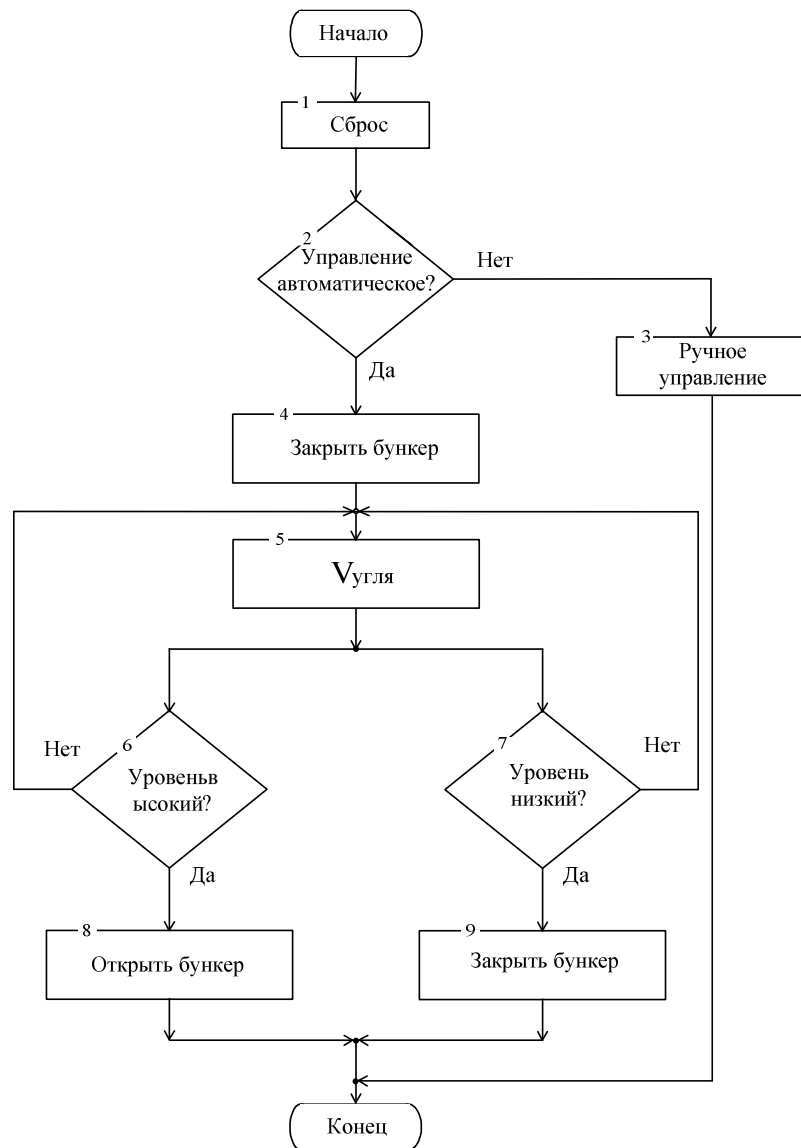


Рисунок 13 - Блок – схема алгоритма управления бункером

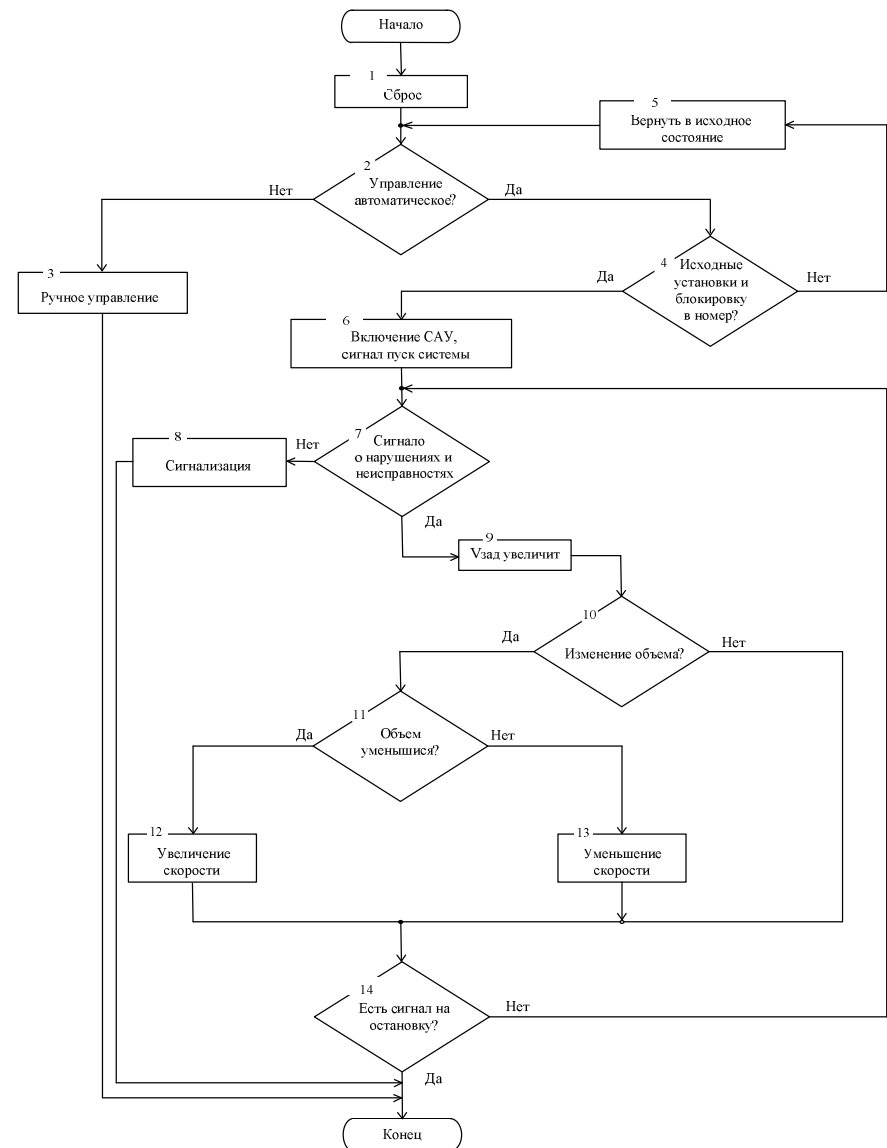


Рисунок 14 - Блок – схема алгоритма управления ленточным конвейером

при выполнении планирования графика работ бригад разработана интерактивная форма (рис. 15).

Рисунок 15 - Окно интерфейса для определения режима работы очистных участков.

В ходе испытания Автоматизированной системы управления взрывной отбойкой и транспортировкой неравномерных потоков угля из очистных забоев аварий, ошибок, связанных с перегрузкой, сходом цепи или ленты, отклонение цепи или ленты и т.д. не зафиксировано.

Разработанная Автоматизированная система управления взрывной отбойкой и транспортировкой неравномерных потоков угля из очистных забоев прошла апробацию и внедрена на шахте «Хонг Тхай» республики Вьетнам. Окно основного интерфейсного окна представлено на рис. 16.

Экономическая эффективность в пересчёте на валюту Российской Федерации составляет 3787 тыс.руб/год для транспортной системы, состоящей из 20 скребковых, 4 ленточных конвейеров и 2 бункеров.

Экономическая эффективность возникает за счёт уменьшения расхода электроэнергии, увеличения срока эксплуатации ленты по фактору износа и снижению количества остановок при перегрузе или заштыбовки.

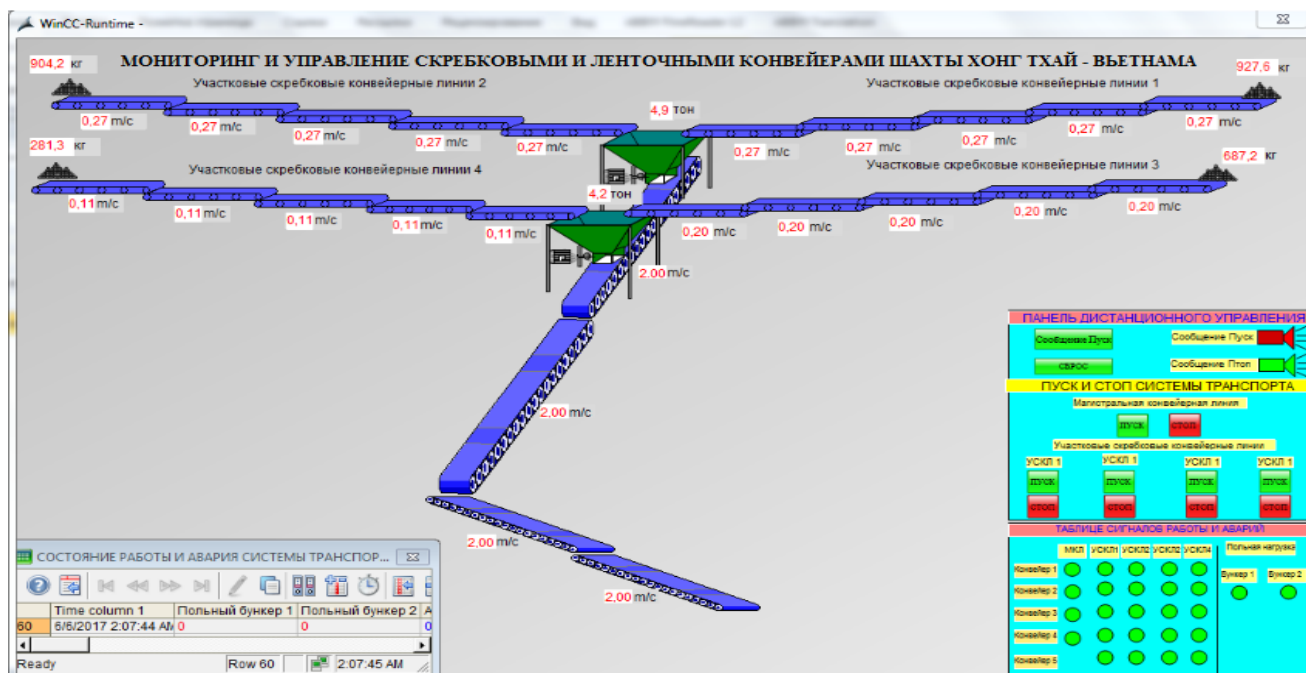


Рисунок 16 - Панель управления системой транспортом шахты «Хонг Тхай».

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 обойки 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 участков 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.

Основанные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

В научных журналах, рецензируемых ВАК при Минобрнауки РФ:

1. Буй Ч.К, Кубрин. С.С, Исследование, разработка системы мониторинга и управления высоковольтными ячейками 6 КВ на центральной распределительной подстанции горного предприятия. // Горный информационно-аналитический бюллетень.- 2015.- № 12. – С.286-291.
2. Буй Ч.К, Кубрин. С.С, Тонг Т.Ф. Система мониторинга и автоматического управления магистральной конвейерной линии шахты. // Горный информационно-аналитический бюллетень.- 2017. - № 12. – С.134-138.
- 3 Буй Ч. К, Кубрин С. С, Каунг П. А Влияние преобразователя частоты на энергетические параметры работы электрической сети шахты. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. - № 2. – С.20-26.
4. Буй Ч. К, Кубрин С. С, Буй Т.Т.Х. Модернизация и оптимизация работы транспорта Хонгтхай шахты - Вьетнама в условиях взрывной отбойки угля. // Горный информационно-аналитический бюллетень (отдельный выпуск). – 2018. - № 3. – вып 10. – 12 с.
5. Каунг П.А, Кубрин С.С, Певзнер Л.Д, Буй Ч.К. Система автоматической стабилизации тягового фактора ленточного конвейера в условиях неравномерной загрузки. // Горный информационно-аналитический бюллетень (отдельный выпуск). - 2017. - № 12. – вып. 31. - 8 с.

В других изданиях:

1. Буй Чунг Кьен, Кубрин С.С. Система управления высоковольтными ячейками на шахте республики Вьетнам. В сборнике; 12-международной научной школы академика К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр» 2015 ИПКОН РАН.
2. Буй Чунг Кьен, Кубрин С.С. Исследование и разработка автоматизированной системы управления электрообеспечением горного предприятия. В сборнике; 2-й международной научной школы академика К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр» 2016 ИПКОН РАН. С. 317-320.
3. Буй Чунг Кьен, Кубрин С.С, До Ван Ванг. Влияние преобразователя частоты на энергетические параметры работы электрической сети шахты. В сборнике; международная научно-практическая конференция «50 лет Российской научной школе комплексного освоения недр Земли» 2017 ИПКОН РАН. С. 275-280.