

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Лысьвенский филиал федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Факультет: Профессионального образования

Направление: 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль: Автоматизированный электропривод и робототехнические комплексы

Кафедра: Общенаучных дисциплин

Доцент с и.о. зав. кафедрой ОНД

_____ К.В. Кондратьева

«___» _____ 2026 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему:

«Автоматизация раздельного проветривания уклонного блока Нефтешахты

№1 компании ООО «ЛУКОЙЛ-Коми»

Студент: _____ М.В. Бушмелев
(подпись, дата)

Группа: АЭП21-1603ЛФ

Состав ВКР:

1. Пояснительная записка на _____ стр.
2. Графическая часть на _____ листах.
3. Электронный носитель с материалами ВКР

Руководитель: _____ ст. преподаватель М.В. Листопадова
(подпись, дата)

Проверено
на наличие

заимствования: _____ канд. экон. наук, доцент, К.В. Кондратьева
(подпись, дата)

Лысьва 2026

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Лысьвенский филиал федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Факультет: Профессионального образования

Направление: 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль: Автоматизированный электропривод и робототехнические комплексы

Кафедра: Общенаучных дисциплин

Доцент с и.о. зав. кафедрой ОНД
_____ К.В. Кондратьева
« ____ » _____ 2026 г.

ЗАДАНИЕ **на выпускную квалификационную работу**

Фамилия, имя, отчество: Бушмелев Михаил Владимирович

Группа: АЭП-21-1603ЛФ

Начало выполнения работы: 05.02.2026 г.

Срок предоставления на кафедру: 18.06.26 г.

Защита работы на заседании ГЭК: 22.06.26 г.

1. Выпускная квалификационная работа на тему: «Автоматизация раздельного проветривания уклонного блока Нефтешахты №1 компании ООО «ЛУКОЙЛ-Коми»

2. Исходные данные к работе: Законодательные и нормативно-правовые акты по вопросам эксплуатации нефтегазодобывающей отрасли, учетная и отчетная документация при осуществлении производственно-хозяйственной деятельности и при организации технического обслуживания нефтяных скважин.

3. Содержание пояснительной записки:

а) Введение. Отразить актуальность выбранной темы, сформулировать цель и конкретные задачи исследований. Конкретизировать объект и предмет исследований. В краткой форме сформулировать необходимость разработки данной темы, ее теоретическое значение и практическую значимость для исследуемого предприятия. Увязать решение темы ВКР с общими научно-техническими задачами развития транспортного комплекса Российской Федерации.

б) Основная часть:

Исследовательский раздел. Изучение и анализ нормативно-правовых документов и теоретических вопросов в области охраны труда, техники безопасности, производственной санитарии, пожарной защиты; мероприятия по охране труда и технике безопасности на предприятии; мероприятия по улучшению условий труда на предприятии; формулирование задач материально-технического обеспечения по

повышению безопасности и улучшению условий труда на предприятии; описание применяемых средств индивидуальной и общей защиты на предприятии.

Тщательно отобрать и логически увязать собранный материал, обратить внимание на логические переходы при оформлении пояснительной записки. По результатам исследования сделать аргументированные выводы, сформулировать предложения в соответствии с темой ВКР и определить задачи для достижения поставленной цели.

в) Технологический (конструкторский) раздел. В соответствии с поставленными задачами и темой ВКР разработать предложения по повышению безопасности и улучшению условий труда на предприятии. Выполнить необходимые расчеты для реализации предложений и определить экономический эффект от их внедрения.

Заключение. Краткое изложение решаемых в рамках ВКР задач и полученных результатов, практическая значимость работы для исследуемого объекта, соответствие полученных результатов теме и заданию ВКР.

4. Дополнительные указания: нет

5. Основная литература:

1. ГОСТ 7.32-2017 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

2. Е.Н. Хаматнурова, Ю.А. Чурсина, Методические указания по выполнению выпускных квалификационных работ для студентов всех направлений, реализуемых кафедрами.

3. Коноплев Ю.П., Буслаев В.Ф. и др. «Термошахтная разработка нефтяных месторождений», М.: «Недра-Бизнесцентр», 2006.

4. Правила безопасности при разработке нефтяных месторождений шахтным способом, 1986. 250 с.

5. Николаев А.В. Способ проветривания уклонных блоков нефтешахт, повышающий энергоэффективность подземной добычи нефти/ А.В. Николаев // Нефтяное хозяйство. – 2016.

6. Электропривод главной вентиляторной установки нефтешахты, регулируемый с учетом действия общешахтной естественной тяги / А.М. Седунин, А.В. Николаев, Д.Ю. Седнев// Горное оборудование и электромеханика. – 2012. - № 11.

7. Мохирев Н.Н., Радько В.В. «Инженерные расчеты вентиляции шахт. Строительство. Реконструкция. Эксплуатация.», М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007.

8. Информационные горные технологии «Ингортех» – каталог товаров [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ingortech.ru/> (25.04.2026)

9. Сайт завода изготовителя ГК «Новые технологии» – каталог товаров [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mtn.nt-rt.ru/> (25.04.2026)

10. Сайт компании «Овен» – каталог товаров [электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.owen.ru/> (25.04.2026)

11. Сайт завода изготовителя АО «Вентпром» – каталог товаров [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ventprom.com/> (25.04.2026)

12. Сайт завода изготовителя ООО «ВЭМ» – каталог товаров [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ingortech.ru/> (25.04.2026)

13. Сайт завода изготовителя ООО «Электромашина» – каталог товаров [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.elektro-mashina.ru/> (25.04.2026)

14. Сайт компании ЗАО ГУ НПО «Стройтехавтоматика» – каталог товаров [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://rus-privod.pulscen.ru/> (25.04.2026)

15. Сайт завода изготовителя «PHOENIX CONTACT» – каталог товаров [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.denol.ru/> (25.04.2026)

16. Плащанский Л.А. «Основы электроснабжения горных предприятий» Учебное пособие, 2-е издание, исправленное. М: МГГУ, 2006

17. Мельников Ю.Ф. «Инструкция по расчету системы электроснабжения подземных участков калийных рудников», методические указания к курсовому и дипломному проектированию, изд. ПГТУ, г. Пермь, 2000

Руководитель ВКР _____ ст. преподаватель М.В. Листопадова
(подпись, дата)

Задание получил _____ М.В. Бушмелев
(подпись, дата)

КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

№ п/п	Наименование этапа	Объем этапа, в %	Сроки выполнения		Примечание
			начало	конец	
1	Получение задания на выполнение ВКР.	10 /10	01.11.25	09.11.25	
2	Написание ВКР.	20/30	10.11.25	22.05.26	
3	Оформление пояснительной записки.	30/60	23.05.26	14.06.26	
4	Представление работы на проверку и отзыв руководителя квалификационной работы	15/75	15.06.26	17.06.26	
5	Представление ВКР на проверку заведующему кафедрой	10/85	18.06.26	19.06.26	
6	Защита на заседании ГЭК	7/92	22.06.26	23.06.26	

Руководитель ВКР _____ ст. преподаватель М.В. Листопадова
(подпись, дата)

«С календарным графиком ознакомлен» _____ М.В. Бушмелев
(подпись, дата)

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
Глава 1 Описание технологического процесса проветривания Нефтешахты №1	10
1.1 Технология добычи тяжелой нефти	10
1.2 Температурный режим уклонных блоков	14
1.3 Технология проветривания Нефтешахты №1	15
1.4 Технология отдельного проветривания уклонных блоков Нефтешахты №1	16
1.5 Оценка эффективности отдельного проветривания уклонного блока Нефтешахты №1	17
1.6 Описание технологического процесса автоматизации отдельного проветривания уклонного блока Нефтешахты №1	22
1.7 Описание структуры системы автоматизации технологического процесса отдельного проветривания уклонных блоков Нефтешахты №1	25
1.8 Выбор оборудования для системы автоматизации технологического процесса отдельного проветривания уклонных блоков Нефтешахты №1	25
1.9 Описание алгоритма управления режимами работы вентиляторов при отдельном проветривании уклонных блоков Нефтешахты №1	49
Глава 2 Электроснабжение уклонного блока Нефтешахты №1	52
2.1 Описание схемы подземного электроснабжения Нефтешахты №1	52
2.2 Расчет электрических нагрузок и выбор типа и мощности КТП.....	53
2.3 Расчет кабельной сети	56
2.4 Расчет кабельной сети потери напряжения при нормальном режиме	59
2.5 Расчет сети по потери напряжения при пуске наиболее мощных и удаленных потребителей	65
2.6 Расчет приведенных длин кабелей	71
2.7 Расчет токов короткого замыкания	72

2.8 Проверка сечений жил кабелей по условию термической стойкости	82
2.9 Выбор и проверка коммутационно-защитных аппаратов	83
2.10 Выбор и проверка уставок максимально-токовой защиты	85
Глава 3 Выбор вентиляторов для технологического процесса раздельного проветривания уклонных блоков	90
3.1 Оценка требуемых показателей расхода воздуха для технологического процесса раздельного проветривания уклонных блоков Нефтешахты №1	90
3.2 Выбор вентилятора местного проветривания	91
3.3 Выбор поверхностного вентилятора	93
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	95
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	96

ВВЕДЕНИЕ

В современных экономических условиях, условиях кризиса, нехватки природных ресурсов и постоянного увеличения затрат на модернизацию производственного процесса и увеличение мощностей предприятий сказывается нехватка производственных ресурсов.

Для современного предприятия, необходимо учитывать все эти факторы при производстве, стараться повысить эффективность производства при минимизации затрат. Энергоэффективность и энергосбережение – являются необходимыми условиями для развивающегося предприятия. Данным предприятием являются нефтешахты компании ООО «ЛУКОЙЛ-Коми».

Данные шахты являются уникальным производственным объектом, в котором нефть добывается подземным способом. Для данного предприятия существуют свои технологические особенности, в результате которых существуют проблемы с проветриванием данных шахт.

Решение данных проблем может являться введение новой системы проветривания, которая должна повысить эффективность проветривания данных шахт. Так же новый способ является наиболее энергосберегающим, чем традиционные способы проветривания шахт и рудников.

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка такой системы, оценка ее эффективности и построение системы автоматизации.

Задачами данной работы являются:

1. Описание технологического процесса проветривания Нефтешахты;
2. Разработка системы электроснабжения уклонного блока Нефтешахты;
3. Выбор оборудования для технологического процесса отдельного проветривания уклонных блоков;
4. Выполнить оценку выбранных показателей;

Объект исследования: Нефтешахта ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» Ярегского месторождения.

Предмет исследования: Система автоматизации Нефтешахты №1.

Методы исследования:

1. Теоретические методы — нужны для изучения и обобщения информации, работы с литературой и концепциями.
2. Эмпирические (практические) методы — предназначены для сбора и обработки реальных данных.
3. Методы анализа данных — обработка собранной информации.

Глава 1 Описание технологического процесса проветривания Нефтешахты №1

1.1 Технология добычи тяжелой нефти

Ярегское месторождение – месторождение преимущественно вязкой нефти, открытое в 1932 году в центральной части Республики Коми на Тиманском кряже в 25 километрах к юго-западу от современного города Ухты, относится к Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. Залежь нефти находится на глубине 140 – 200 метров в кварцевых песчаниках мощностью до 26 метров.

С 1972 года с целью повышения нефтеотдачи пласта начал внедряться термошахтной способ добычи вязкой нефти. Стоит отметить, что основным достоинством термошахтного способа добычи вязкой нефти является максимальная приближенность горных выработок к нефтяному пласту, что обеспечивает наиболее полное использование его энергии. Данный способ позволил повысить нефтеизвлечение пласта до 53,2 %, в сравнении с шахтным способом на естественном режиме, где нефтеизвлечение пласта не превышало 10 % [1].

В настоящее время, на нефтешахтах ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» используются две основные системы термошахтной добычи вязкой нефти: двухгоризонтная и подземно-поверхностная системы.

Двухгоризонтная система добычи нефти (рисунок 1.1.1) заключается в создании двух систем горных выработок. Одна из них расположена над продуктивным пластом и состоит из системы полевых штреков. В полевых штреках сооружаются буровые камеры, из которых бурятся кусты нагнетательных скважин. Другая расположена в нижней части продуктивного пласта или под ним и имеет кольцевой вид (добывающая галерея). Из добывающей галереи бурятся пологовосстающие добывающие скважины. Данная система обладает наиболее равномерным охватом пласта

тепловым воздействием. Закачка пара ведется по всему объему пласта, через плотную сетку подземных нагнетательных скважин. Двухгоризонтная система характеризуется высокими темпами нефтеизвлечения, но она наиболее затратная. Время подготовки блока к разработке составляет 4 -5 лет.

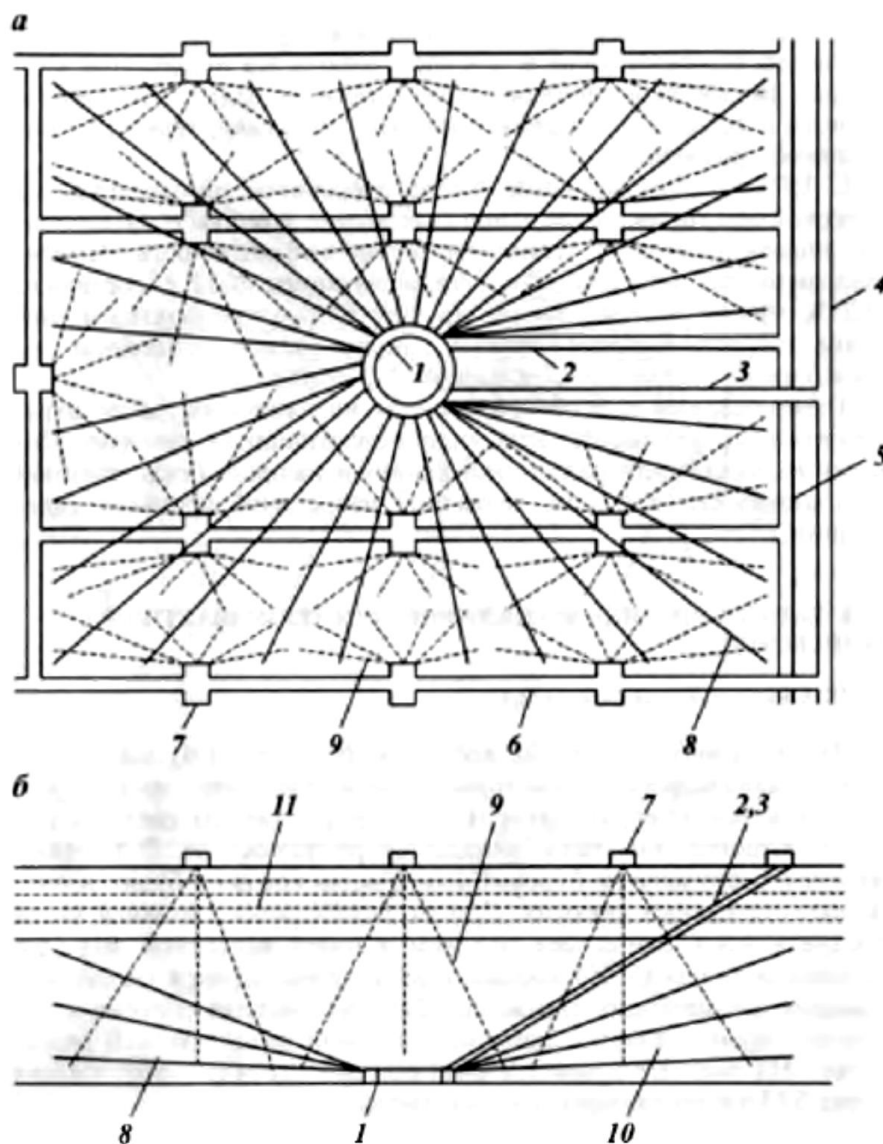


Рисунок 1.1.1 – Принципиальная схема двухгоризонтной системы:
а – план; б – разрез; 1 – галерея; 2 – ходок; 3 – уклон; 4 – вентиляционный штрек; 5 – откаточный штрек; 6 – полевой штрек; 7 – буровая камера; 8 – добывающая скважина; 9 – нагнетательная скважина; 10 – нефтяной пласт; 11 – надпластовые породы.

Принципиальным отличием *подземно-поверхностной системы* (рисунок 1.1.2) от других систем термошахтной разработки является закачка пара в пласт через скважины, пробуренные с поверхности. Вся система пароснабжения выносится на поверхность, что позволяет закачивать пар предельно допустимых параметров при термошахтной разработке. Кроме того, уменьшается опасность ведения подземных работ и значительно сокращаются тепловыделения в горные выработки.

Для равномерного распределения пара по пласту из горной выработки бурится специальная подземная парораспределительная скважина, которая пересекает забой поверхностной нагнетательной скважины или проходит в зоне ее влияния. Подземная парораспределительная и поверхностная нагнетательная скважины образуют единую систему нагнетания пара и являются аналогом горизонтальной скважины, но стоимость их строительства на порядок меньше, чем поверхностной горизонтальной скважины.

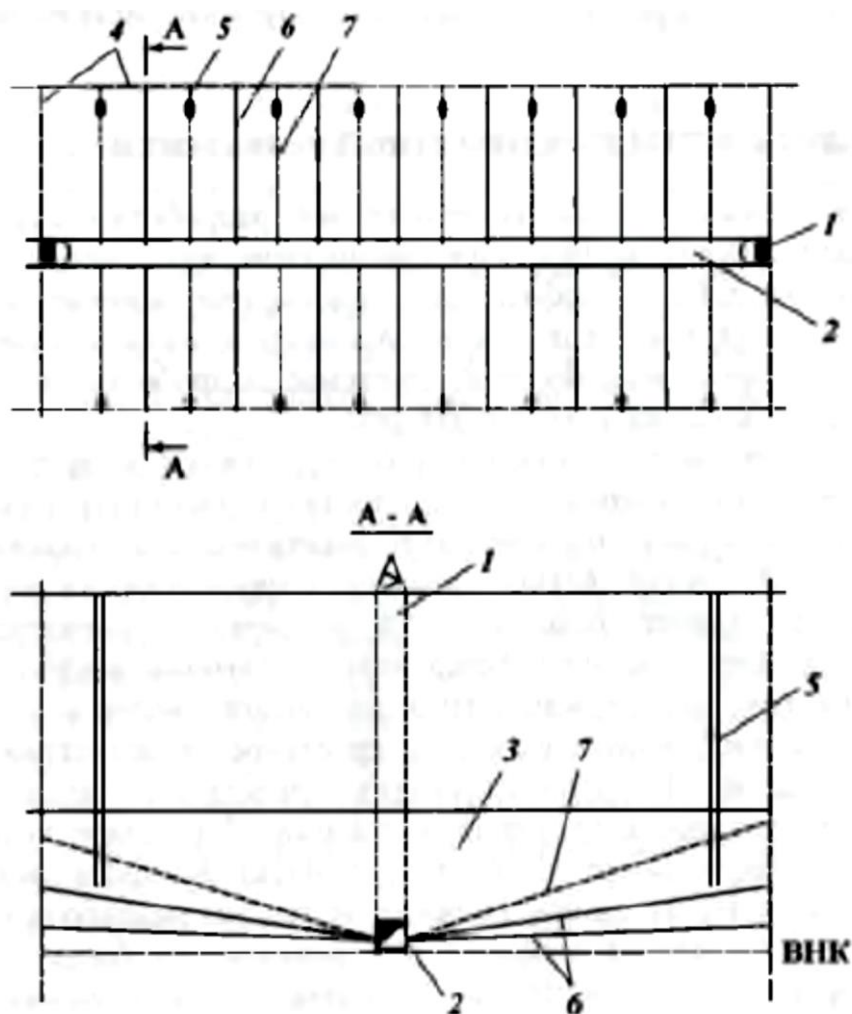


Рисунок 1.1.2 – Принципиальная схема подземно-поверхностной системы:
 1 – шахтный ствол; 2 – галерея; 3 – нефтяной пласт; 4 – граница участка; 5 –
 поверхностная нагнетательная скважина; 6 – подземная добывающая
 скважина; 7 – подземная парораспределительная скважина.

Процесс добычи вязкой нефти происходит следующим образом: по сети паровых скважин, пробуренных в нефтяной песчаник, подается пар, в результате этого происходит разогрев пласта и разжижение нефти под действием температуры. Далее разогретая нефть вытекает через скважины, пробуренные в буровой галерее уклонного блока, в специальные нефтесборники (зумпфы), находящиеся так же в уклонных блоках.

После этого, операторами участка добычи нефти, нефть из зумпфа откачивается в специальные песколовушки, где происходит процесс очистки

нефти от песчаных примесей, так же на этом этапе в нефть добавляют специальные вещества – деэмульгаторы, с помощью которых происходит отделение воды от нефти. После чего нефть подается на центральную нефтеподающую станцию (ЦНПС), с которой происходит дальнейшая транспортировка нефти на поверхность. Конечным этапом добычи нефти является окончательное ее очищение от воды и примесей, который происходит на участке подготовки и очищения нефти (УПОН), куда нефть приходит с ЦНПС.

Несмотря на достоинства термошахтного способа добычи нефти, он не лишен своих недостатков, основной из которых значительные тепловыделения в горные выработки. В результате этого, температура в уклонных блоках нефтяных шахт, по данным предприятия, может достигать до 55° С и выше в зависимости от условий.

Данный фактор негативно сказывается на условиях труда подземных горнорабочих, снижая производительность труда, не говоря об опасности высоких температур для жизни рабочих в условиях подземных выработок.

1.2 Температурный режим уклонных блоков

В связи с тепловыделениями в горные выработки нарушается температурный режим шахты. Согласно [2], температура воздуха в добычных, подготовительных и других действующих выработках у мест, где работают люди, не должна превышать 26° С при относительной влажности воздуха до 90% и 25° С при относительной влажности воздуха свыше 90%.

В горных выработках, из которых происходит закачка теплоносителя в пласт, в которых производится отбор горячей продукции добывающих скважин, в емкостях подземных нефтеловушек, в выработках, где проложены трубопроводы с температурой наружной поверхности 40° С и выше, при условии, что во всех этих выработках нет постоянного присутствия людей в течении смены допускается температура воздуха до 36° С включительно.

Для поддержания температур, указанных выше, необходимо чтобы к этим выработкам подводилось требуемое количество воздуха. Т.к. буровая галерея уклонного блока нефтяных шахт является местом, где происходит отбор горячей продукции, температура воздуха не должна превышать 36° С. Однако, по данным, полученным на предприятии, данные требования не выполняются. Данные температуры воздуха в уклонных блоках Нефтешахты №1 представлены в таблице 1.2.1.

Таблица 1.2.1 – Данные о температуре воздуха в уклонных блоках

Место замера температуры воздуха	Температура воздуха, °С
Свежая струя воздуха	23
Свежая струя воздуха на нижнем перегибе уклонного блока	30
Исходящая струя насосной камеры	34
В буровой галерее (по правилам безопасности)	Не более 36
В буровой галерее (фактическая)	40
В буровой галерее в режиме «продувки» добычных скважин	40 – 55
Исходящая струя воздуха	Имеет температуру в зависимости от режима работы буровой галерии

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о не достаточной эффективности существующего способа проветривания нефтешахты №1.

1.3 Технология проветривания Нефтешахты №1

Процесс проветривания шахты является сложной и важной задачей, т.к. в процессе развития шахты происходят изменения ее параметров. В связи с этим, необходимо контролировать процесс воздухораспределения, чтобы к выработкам поступало требуемое количество воздуха.

В настоящее время процесс проветривания нефтешахты №1 осуществляется за счет действия общешахтной депрессии. Недостатком данного способа применительно к нефтяным шахтам, можно отнести тот факт, что воздух, нагретый в уклонных блоках, за счет действия общешахтной депрессии распространяется по исходящим выработкам

шахты. Этот фактор, как упоминалось выше, снижает производительность работы подземных горнорабочих и не отвечает требованиям санитарно-гигиенических норм. В результате чего, производство работ в выработках с температурой воздуха выше 26°C осуществляется в соответствии с мероприятиями, утвержденными главным инженером, такими мероприятиями являются перерывы в работе с выходом людей для отдыха на струю воздуха с температурой не выше 26°C при продолжительности каждого перерыва не менее 45 минут.

На предприятии ведутся попытки борьбы с данной проблемой, посредством пробуривания вентиляционных скважин, для подачи дополнительного охлажденного воздуха с поверхности. Данный способ описан в статье [3].

1.4 Технология раздельного проветривания уклонных блоков

Нефтешахты №1

Целью данного проекта, является разработка технологического процесса проветривания нефтешахты, при котором будет происходить удаление нагретого воздуха в уклонном блоке через вентиляционную скважину. Данный способ позволит использовать положительное действие естественной тяги, возникающей из-за разницы температур в уклонном блоке и на поверхности, так же данный способ должен повысить энергоэффективность проветривания нефтяных шахт [3, 4].

Новый способ проветривания уклонного блока осуществляется следующим образом: часть свежего воздуха, проходящего по выработкам шахты, поступает в ходок уклонного блока, далее воздух поступает в буровую галерею, где происходит его нагрев. За счет разницы температур воздуха, приходящего в уклонный блок и нагретого воздуха в буровой галереи и воздуха на поверхности возникает перепад давлений, естественная тяга, в результате этого воздух выходит на поверхность через

вентиляционную скважину. Для поддержания постоянной направленности потока воздуха, скважина оборудуется поверхностным вентилятором. С целью предотвращения нагретого воздуха в исходящие выработки шахты, в уклонном блоке установлен воздушный тамбур из двух перемычек, с установленными в них дверями, для возможности прохода людей. Подача воздуха в исходящие выработки, за воздушным тамбуром, производится вентилятором местного проветривания. Достоинством данного способа заключается в том, что в исходящие выработки будет поступать воздух имеющий температуру воздуха приходящей в уклонный блок. Упрощенная схема отдельного проветривания уклонного блока Нефтешахты №1 представлена в графической части ВКР (лист 1).

1.5 Оценка эффективности отдельного проветривания уклонного блока Нефтешахты №1

Расчет эффективности нового варианта проветривания будет проводиться в 2 этапа: оценка затрат на проветривание при существующем способе вентиляции и оценка затрат на проветривание при новом способе.

Согласно [1], расчетное количество воздуха для проветривания выработок термического участка может быть определена по формуле:

$$Q_p = \frac{k * q * L}{\Delta i_{\text{доп}} * \gamma * 3600}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (1)$$

где q – удельное тепловыделение с 1 погонного метра штрека, принимаемое равным 650 ккал/ч*м [1]; L – длина выработки, м; $\Delta i_{\text{доп}} = i_{\text{исх}} - i_{\text{вх}}$ – допустимое теплосодержание воздуха на определяемом участке, ккал/кг; $i_{\text{исх}}$ – теплосодержание исходящей струи (при $t=26^\circ\text{C}$ и $\phi=70\%$ равно 15,2 ккал/кг); $i_{\text{вх}}$ – теплосодержание входящей струи воздуха (принимается 7,2

ккал/кг), k – коэффициент неравномерности тепловыделений (принимается равным 1,2), γ – плотность воздуха, кг/м³.

Расчетное количество воздуха для выработок уклона, в режиме проветривания, по данной методике составляет 20,5 м³/с [1].

Правилами безопасности регламентируются скорости движения воздуха при высоких температурах в забоях очистных и подготовительных выработок. Минимальная скорость при $t = 24-26$ °С должна быть 2 м/с. Минимальное количество воздуха при $t = 24-26$ °С для проветривания выработок уклона, эксплуатируемого в режиме проветриваемой галереи, определяется из выражения:

$$Q_{min} = u * S, \quad (2)$$

где u – скорость движения воздуха, м/с (2 м/с по ПБ НШ);

S – площадь сечения выработки, м².

Данный расчет является контрольным и не может быть применен для расчета оптимального количества воздуха при проветривании термических участков и шахты в целом.

Из (2) следует:

$$Q_{min} = 2 * 8,5 = 17 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Как видно из расчетов, расчетное количество воздуха для проветривания выработок термического участка составляет 20,5 м³/с, что больше, чем Q_{min} , на данном основании делаем вывод, что расчет выполнен верно, и принимаем в дальнейших расчетах полученное значение.

Для расчета аэродинамического сопротивления трения выработок необходимо знать сечение горных выработок и их длину. Необходимые

расчетные данные были получены на предприятии и представлены в таблице 1.5.1.

Таблица 1.5.1 – Протяженность выработок уклонного блока

	Длина, м	Сечение выработки, м ²	Периметр, м
Верхняя приемная площадка	30	12,8	18,35
Ходок уклона, уклон	150+150	8,5	11,86
Буровая галерея	100	10,3	15,61
Вентиляционная скважина	191	2,01	5,02

Превышения высоты верхней точки уклонного блока над нижней составляет 36,3 м, а глубина от поверхности земли до верхней точки уклонного блока 191 м.

Расчет аэродинамического сопротивления трения выработок производится по формуле:

$$R = \frac{\alpha * P * L}{S^3}, \quad (3)$$

где α – коэффициент аэродинамического сопротивления, определяющий только степень шероховатости поверхностей выработки и не зависящий от геометрических параметров этой выработки; P – периметр выработки, м; L – длина выработки, м; S – площадь поперечного сечения выработки, м².

Выработки уклонных блоков закреплены деревянной крепью, в которых коэффициент α зависит от диаметра крепи d и расстояния между рамами l . Отношение $\Delta=l/d$ называется калибром крепи. Значение α для данных выработок примем равное 0,002 [5].

Из (3) следует:

$$R_{12,8} = \frac{0,002 * 18,35 * 30}{12,8^3} = 0,000525 \text{ даПа} * \text{с}^2/\text{м}^6.$$

Аналогичным образом находятся сопротивления остальных выработок для каждого сечения:

$$R_{10,3} = 0,002857 \text{ даПа} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6;$$

$$R_{8,5} = 0,011587 \text{ даПа} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6;$$

$$R_{\text{СКВ}} = 0,0496596 \text{ даПа} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6.$$

Так же необходимо учесть местные сопротивления, обусловленные изменением сечения горных выработок:

$$R_{\text{м}} = \frac{\xi * \rho}{20 * S^2} = \frac{0,16 * 1,2}{20 * 8,5^2} =$$

$$= 0,00013 \text{ даПа} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6,$$
(4)

где ξ – коэффициент местных сопротивлений, принимаемый равным 0,16;
 ρ – плотность воздуха, принимаем равной 1,2 кг/м³.

$$R_{\text{общ}} = \sum R_i = 0,06505 \text{ даПа} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6.$$
(5)

Для преодоления данного сопротивления необходимо создать давление.

Рассчитаем действие естественной тяги:

$$h = R * Q^2 = 0,06505 * 20,5^2 = 27,34 \text{ даПа}.$$
(6)

$$h_e = g * H(\rho_1 - \rho_2),$$
(7)

где g – ускорение свободного падения, м/с² (в расчетах принимается 0,981); H – высота столба воздуха, м; ρ_1 – плотность воздуха в устье скважины, кг/м³; ρ_2 – плотность воздуха в скважине, кг/м³.

Величина естественной тяги будет изменяться в зависимости от времени года. В результате, чем больше разница в плотности воздуха, тем сильнее будет действие естественной тяги.

Из (7) следует:

$$\rho_1 = \frac{0,465 * B}{273 + t} = \frac{0,465 * 745}{273 - 20} = 1,369 \text{ кг/м}^3 \text{ (в зимнее время);}$$

$$\rho_1 = \frac{0,465 * B}{273 + t} = \frac{0,465 * 745}{273 + 15} = 1,203 \text{ кг/м}^3 \text{ (в летнее время);}$$

$$\rho_2 = \frac{0,465 * B}{273 + t} = \frac{0,465 * 745}{273 + 40} = 1,107 \text{ кг/м}^3 \text{ (в скважине);}$$

$$h_e = g * H(\rho_1 - \rho_2) = 0,981 * 191 * (1,369 - 1,107) = \\ = 49,18 \text{ даПа} - \text{в зимнее время;}$$

$$h_e = g * H(\rho_1 - \rho_2) = 0,981 * 191 * (1,203 - 1,107) = \\ = 18 \text{ даПа} - \text{в летнее время.}$$

Данные температуры воздуха для холодного и теплого времени года указаны в [1].

Результат расчета естественной тяги показывает, что ее направление не меняется в течение года и всегда способствует работе вентилятора. По величине естественной тяги можно сказать, что ее величины в зимнее время будет достаточно для проветривания уклонного блока только за счет действия естественной тяги. За счет этого эффекта планируется увеличить энергоэффективность процесса проветривания.

В результате действия естественной тяги, можно сказать, что, объем воздуха, поступающий к уклонному блоку, будет увеличиваться. В итоге величина экономии затрат на электроэнергию за счет работы ГВУ могут составить $10 \text{ м}^3/\text{с}$, для одного уклонного блока, если учесть, что на шахте находятся 6 уклонных блоков, экономия может составить до $60 \text{ м}^3/\text{с}$.

В настоящее время, объем воздуха, поступающий в шахту за счет работы ГВУ составляет 160 м³/с, с условием что экономия воздуха составит 60 м³/с, экономический эффект будет составлять 37%.

Затраты электроэнергии на работе ГВУ могут быть определены по формуле (по данным предприятия):

$$N = \frac{Q_{\text{в}} h_{\text{в}}}{100 \cdot \eta} = \frac{160 \cdot 410}{100 \cdot 0,7} = 937,14 \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (8)$$

Экономический эффект будет составлять $937,14 \cdot 0,37 = 346,74 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$.

1.6 Описание технологического процесса автоматизации отдельного проветривания уклонного блока Нефтешахты №1

С целью обеспечения энергосберегающего режима данный процесс должен быть автоматизирован. Для этой цели установлены датчики расхода воздуха, контролирующие объем воздуха, поступающий в буровую галерею и производительность вентилятора местного проветривания, и датчики температуры, информация с которых поступает на средний уровень автоматизации – программируемый микроконтроллер. В зависимости от объемного расхода свежего воздуха, требуемого для проветривания уклонного блока, программируемый микроконтроллер будет выбирать режим работы ВМП и поверхностного вентилятора. Если для проветривания уклонного блока, будет достаточно величины естественной тяги, то поверхностный вентилятор отключается. С целью поддержания требуемых параметров работы поверхностного вентилятора и ВМП, их производительность будет поддерживаться на заданном уровне за счет управляемого электропривода, с этой целью вентиляторы оборудованы преобразователями частоты. Так же система автоматизации контролирует параметры рудничной атмосферы, с этой целью по шахте установлены соответствующие датчики.

Датчики подключаются к модулям удаленного ввода/вывода данных, которые передают информацию по шахтной промышленной шине, с протоколом передачи данных RS-485, программируемому микроконтроллеру. В микроконтроллере установлен преобразователь интерфейса, в результате чего на его выходе используется протокол связи Ethernet 10TX. Далее информация поступает на сетевой концентратор и далее на автоматизированные рабочие места диспетчера, оператора и общий сервер, где хранится вся информация.

Описание контролируемых сигналов, данной системы автоматизации технологического процесса проветривания Нефтешахты №1, представлено в таблице 1.6.1.

Таблица 1.6.1 – Контролируемые параметры системы автоматизации

Обозначение	Устройство	Описание сигнала
VT	Датчик вибрации	AI – контроль вибрации вентиляционных установок
TT	Датчик температуры	AI – контроль температуры подшипников вентилятора
GS	Датчик положения	DI – контроль положения тормоза вентилятора
TT	Датчик температуры	AI – контроль температуры статорной обмотки двигателя вентилятора
NS	Пускатель двигателя вентилятора	DI – контроль состояния работы двигателя вентилятора
FT	Датчик расхода воздуха	AI – контроль расхода воздуха поступающего из шахты
PT	Датчик депрессии	AI – контроль депрессии, развиваемой вентилятором
VT	Датчик вибрации	AI – контроль вибрации вентиляционных установок
TT	Датчик температуры	AI – контроль температуры подшипников вентилятора
GS	Датчик положения	DI – контроль положения тормоза вентилятора
TT	Датчик температуры	AI – контроль температуры статорной обмотки двигателя вентилятора
NS	Пускатель двигателя вентилятора	DI – контроль состояния работы двигателя вентилятора
FT	Датчик расхода воздуха	AI – контроль расхода воздуха поступающего из шахты

Продолжение таблицы 1.6.1

Обозначение	Устройство	Описание сигнала
PT	Датчик депрессии	AI – контроль депрессии, развиваемой вентилятором
PT	Датчик депрессии	AI – контроль давления в устье ствола
GS	Датчик положения	DI – контроль положения направляющего аппарата
TT	Датчик температуры	AI – контроль температуры подшипников двигателя ГВУ
LT	Датчик уровня	DI – контроль уровня масла в маслобаке
FT	Датчик расхода	AI – контроль расхода масла в системе смазки подшипников
PT	Датчик давления	AI – контроль давления масла в системе смазки подшипников
NS	Пускатель насоса системы смазки подшипников	DI - контроль состояния работы двигателя насоса
TT	Датчик температуры	AI – контроль температуры воздуха свежей струи
PT	Датчик депрессии	AI – контроль давления воздуха
FT	Датчик расхода воздуха	AI – контроль расхода воздуха, поступающего в уклонный блок
QE	Датчик концентрации	AI – контроль концентрации метана
QE	Датчик концентрации	AI – контроль концентрации углекислого газа
QE	Датчик концентрации	AI – контроль концентрации угарного газа
QE	Датчик концентрации	AI – контроль концентрации кислорода
NS	Пускатель ВМП	DI – контроль состояния работы ВМП
TT	Датчик температуры	AI – контроль температуры статорной обмотки двигателя ВМП
PT	Датчик депрессии	AI – контроль давления воздуха за ВМП
FT	Датчик расхода воздуха	AI – контроль расхода воздуха за ВМП
PT	Датчик депрессии	AI – контроль давления воздуха в конце буровой галереи
TT	Датчик температуры	AI – контроль температуры воздуха исходящей струи уклонного блока
TT	Датчик температуры	AI – контроль температуры воздуха поступающего в шахту
PT	Датчик депрессии	AI – контроль давления воздуха, на воздухоподающих стволах
FT	Датчик расхода воздуха	AI – контроль расхода воздуха, поступающего в шаху
ME	Датчик влажности воздуха	AI – контроль влажности воздуха, поступающего в шахту
QE	Датчик концентрации	AI – контроль концентрации метана
QE	Датчик концентрации	AI – контроль концентрации углекислого газа
QE	Датчик концентрации	AI – контроль концентрации угарного газа
QE	Датчик концентрации	AI – контроль концентрации кислорода

1.7 Описание структуры системы автоматизации технологического процесса раздельного проветривания уклонных блоков Нефтешахты №1

Данная система автоматизации является распределенной и состоит из трех уровней: нижнего (полевого), среднего (программируемый логический микроконтроллер) и верхнего уровня.

Полевой уровень данной системы составляют датчики, контролирующие параметры технологического процесса, такие как: температуру воздуха, расход воздуха, концентрация токсичных газов в воздухе и параметры технологического оборудования.

Вся информация с датчиков поступает на модули удаленного ввода/вывода. Далее информация с этих модулей передается программируемый логический микроконтроллер (ПЛК). Из этих модулей и микроконтроллера состоит средний уровень автоматизации технологического процесса раздельного проветривания уклонных блоков Нефтешахты №1.

Информация с микроконтроллера передается на верхний уровень, состоящий из автоматизированных рабочих мест оператора, диспетчера шахты и серверной, где происходит запись и хранение всей информации о технологическом процессе.

Автоматизированные рабочие места представляют из себя персональные компьютеры промышленного исполнения, к которым предъявляются повышенные требования по надежности: повышенная виброустойчивость, помехоустойчивость, повышенная прочность и др.

1.8 Выбор оборудования для системы автоматизации технологического процесса раздельного проветривания уклонных блоков Нефтешахты №1

Для реализации данной системы автоматизации подходит контроллер универсальный шахтный (КУШ) в многофункциональной газоаналитической

шахтной системе «Микон III» [6]. Система предназначена для автоматического непрерывного измерения параметров состояния промышленных и горнотехнологических объектов (ГТО), в том числе параметров шахтной атмосферы и микроклимата, состояния горного массива, состояния основного и вспомогательного технологического оборудования, осуществления местного и централизованного диспетчерского ручного, автоматизированного и автоматического управления оборудованием, обмена информацией с диспетчерским пунктом, обработки информации, ее отображения и хранения.

Система реализует следующие функции:

1. измерения объемной доли метана, оксида углерода, запыленности в воздухе (АГК), скорости воздушных потоков в горных выработках (АКВ), в каналах вентиляторов, воздуховодах, трубопроводах систем газоотсоса и дегазации, раннего обнаружения пожаров, контроля дополнительных параметров шахтной атмосферы, автоматического контроля состояния вентиляционных шлюзов;
2. автоматической газовой защиты (АГЗ);
3. управления вентиляторами местного проветривания;
4. контроля параметров горного массива, состояния технологического оборудования и аппаратов энергоснабжения, контроль состояния систем противопожарной защиты и орошения, дегазации и газоотсоса;
5. сигнализации о превышении значений контролируемых параметров заданных величин, местного отображения информации о контролируемых параметрах и состоянии оборудования;
6. реализации функций шахтной автоматики, местного и централизованного, диспетчерского и ручного, автоматизированного и автоматического управления основным и вспомогательным оборудованием, системами вентиляции, пневмо-, гидро- и электроснабжения;

7. отображение информации на наземных вычислительных устройствах автоматизированных рабочих мест (АРМ оператора, диспетчера, специалиста) в виде мнемосхем, графиков изменения контролируемых параметров, таблиц;

8. обработка собранной информации на наземных вычислительных устройствах (серверах);

9. формирование отчетов о газовой обстановке в шахте, работе технологического оборудования, функционировании газоотсасывающего оборудования и дегазационных систем, функционировании систем безопасности (АГК/АГЗ) и т.д.

10. хранение собранной информации на серверах и обеспечение доступа к ней.

Область применения – контроль состояния воздуха угольных шахт и прочих объектов угольного хозяйства и промышленных предприятий, на которых возможны возгорания и пожары, автоматическое управление технологическими процессами и построение автоматизированных систем оперативно - диспетчерского управления в наземных помещениях и подземные выработки шахт и рудников, в том числе опасные по газу (метану), пыли и внезапным выбросам в соответствии с ПБ 05-618-03 и ПБ 03-553-03.

Сам же микроконтроллер обеспечивает выполнение следующих функций:

1. преобразование в цифровой код сигналов постоянного напряжения (тока) от датчиков (преобразователей) с аналоговым выходом;

2. преобразование в цифровой код сигналов переменного напряжения (тока) от датчиков с частотным выходом;

3. преобразование в цифровой код сигналов от дискретных датчиков типа «сухой» контакт;

4. преобразование цифрового кода в аналоговый сигнал типа «сухой» контакт;
5. преобразование цифрового кода в аналоговый сигнал постоянного напряжения (тока);
6. преобразование цифрового кода в частотный сигнал переменного напряжения (тока);
7. обмен информацией с полевыми устройствами (датчиками, измерителями, преобразователями, исполнительными и сигнализирующими устройствами с цифровым интерфейсом), подключенными к внутренней шине КУШ;
8. выполнение технологической пользовательской программы (местное и централизованное диспетчерское ручное, автоматизированное и автоматическое управления);
9. локальное отображение информации и получение команд от пользователя (реализация местных постов и пультов управления);
10. обмена информацией с диспетчерским пунктом;
11. самотестирование и самодиагностика.

Контроллер универсальный шахтный КУШ выпускается в двух исполнениях:

1. КУШ-ПЛК - программируемого логического контроллера, в состав которого обязательно входит модуль контроллерный, источник питания и могут входить модуль клавиатуры и дисплея, интерфейсные модули и модули ввода-вывода;
2. КУШ-УМН – набор модулей удаленного сопряжения, в состав которого входят модули ввода-вывода, интерфейсные модули, модули источников питания.

Для обмена информацией между контроллером, модулями и полевыми устройствами с цифровым интерфейсом используется низкоскоростная система связи на основе искробезопасной версии интерфейса RS-485 и

протокола Modbus RTU (искробезопасная шахтная полевая шина – ШПШ-485).

Микроконтроллер так же укомплектовывается высокоскоростным цифровым интерфейсом для подключения к системам передачи информации, которые обеспечивают обмен информацией между КУШ и наземным вычислительным комплексом (диспетчерской, АРМ оператора, горного диспетчера, инженерным АРМ). Для обмена информацией между модулем центрального процессора и ЦЭВМ наземного компьютерного комплекса используется искробезопасная система передачи информации с интерфейсом Ethernet 10 TX.

Система состоит из набора модулей, отвечающих каждый за свои функции. Модули ввода-вывода МВ и интерфейсные модули МИ являются микропроцессорными устройствами, которые функционируют в соответствии с собственными микропрограммами, результатом выполнения которых является: для модулей аналогового ввода МВ-АИ – формирование цифровых кодов, соответствующих напряжениям на входах модуля, поступающих с датчиков с аналоговыми выходами; для модулей дискретного ввода МВ-ДИ – формирование цифровых кодов, соответствующих состояниям дискретных датчиков типа «сухой» контакт с диодом», подключенным к соответствующим входам; для модулей релейного вывода МВ-ДО – установление выходных реле в состояние, которое задается получаемой командой; для модулей индикации и управления МИ-ИС – формирование цифровых кодов, соответствующих состояниям кнопок и переключателей, и управление СДИ в соответствии с получаемой командой; для модулей удаленного терминала МИ-KD.20.03 – получение запросов, формируемых с помощью клавиатуры и передача данных для отображения на ЖКД. Микропрограммы модулей ввода-вывода выполняются не реже 50 раз в секунду.

Конструктивно КУШ является устройством в настенном кожухе. Основной механической конструкции КУШ является прямоугольный стальной защитный корпус с открывающейся или съемной передней дверью с замком или невыпадающими болтами. На задней стенке КУШ расположены DIN-рейки, которые могут крепиться на монтажной плите или на специальных элементах корпуса. На DIN-рейке крепятся модули. Конструкция модулей обеспечивает возможность их быстрой замены в условиях эксплуатации. На DIN-рейке также могут быть установлен клеммники, которые обеспечивают «сквозной» монтаж линий питания и связи.

Модули системы являются Ex-компонентами с искробезопасными электрическими цепями уровня «ia», предназначенными для применения в шахтах и рудниках опасных по газу и/или пыли, и могут размещаться в ящиках монтажных ЯСУ и другом электрооборудовании по согласованию с испытательной лабораторией.

Технические характеристики модулей системы «Микон III» представлены в таблице 1.8.1.

Таблица 1.8.1 – Технические характеристики модулей системы «Микон III»

Общие характеристики:	
Питание: – источник питания – номинальное напряжение, В – диапазон допустимых напряжений питания, В – потребляемая мощность, Вт, не более	искробезопасный 12 9...13,5 6
Интерфейс связи с наземными ЦЭВМ: – КУШ-ПЛК – КУШ-УМН	Ethernet 10 TX / RS-485 RS-485

Продолжение таблицы 1.8.1

Система технологического программирования	CoDeSys
Степень защиты от внешних воздействий (по ГОСТ 14254)	IP54
Класс защиты от поражения электрическим током (по ГОСТ 12.2.007.0)	III
Вес, кг, не более	24
Габаритные размеры, мм, не более	650 × 450 × 250
Средняя наработка на отказ, час	10000
Предельный / срок службы, лет	10 / 5
Характеристики основных модулей:	
<i>Количество модулей ввода-вывода, шт.:</i> – суммарное количество модулей – модулей аналогового ввода MB-AI.1Y.ZZ – модулей дискретного ввода MB-DI.1Y.ZZ – модулей релейного вывода MB-DO.1Y.ZZ – модулей удаленного терминала MB-KD.2Y.ZZ – модулей индикации и управления МИ-IC.1Y.ZZ	0...128 0...128 0...128 0...128 0...128 0...128
<i>Модуль контроллерный МК-ПУ.10.03:</i> – тип процессора – объем RAM / Flash, мБайт – часы реального времени – количество портов Ethernet 10 TX, шт., не более – количество портов RS-485, шт., не более – тип связи	SCxx 8 / 8 есть 1 2 высокоскоростная
<i>Модуль аналогового ввода MB-AI.1Y.ZZ:</i> – количество входов, шт. – диапазоны: - постоянного напряжения, В - постоянного тока, мА: - с шунтом 100±0,1 Ом - с шунтом 400±0,4 Ом – входное сопротивление для сигнала постоянного напряжения, кОм, не менее – эффективная разрядность АЦП, бит	8 0,4...2 / 0...2 / -2...0...2 4...20 / 0...20 / -20...0...20 1...5 / 0...5 / -5...0...5 22 10
<i>Модуль дискретного ввода MB-DI.1Y.ZZ:</i> – количество входов, шт. – тип Максимальный входной ток дискретного входа, мА,	8 «сухой» контакт 7
<i>Модуль релейного вывода MB-DO.1Y.ZZ:</i> – количество выходов, шт. – тип – сопротивление в разомкнутом состоянии, Мом, не менее – сопротивление в замкнутом состоянии, Ом, не более – гальванической изоляции: тип / напряжение, В – максимальные коммутируемые напряжение / ток / мощность, В / мА	8 С 1 1 поканальная / 1500 200 / 120

Общие характеристики модулей: – тип связи – степень защиты от внешних воздействий (по ГОСТ 14254) – вес, кг, не более – габаритные размеры (в платформе для DIN-рейки), мм – способ монтажа	RS-485 IP20 0,1 158×78×55 рейки TS-32, TS-35
Характеристики систем передачи данных	
Система низкоскоростной связи RS-485: – тип интерфейса для локального / удаленного соединения – тип связи – режим связи – скорость передачи данных, Бод – протокол связи – длина сегмента линии передачи данных (без повторителя), м, не более – количество модулей на сегменте / на магистрали, шт., не более – физическая среда передачи	TTL / RS-485 полудуплекс ведущий – ведомый 600 ... 38600 Modbus RTU / ШПШ 3500 14 / 128 витая пара
Система высокоскоростной связи: – тип интерфейса – протокол связи – длина сегмента линии передачи данных, м, не более – физическая среда передачи	Ethernet 10 TX TCP/IP 150 две витых пары
Уровень и вид взрывозащиты (по ГОСТ Р 51330.10)	
– КУШ-ПЛК.UWYZ, КУШ-УМН.UWYZ – КУШ-УМН/MU-XX.YW.01 (MU-XX.YW.01), КУШ-УМН/MU-XX.YW.02 (MU-XX.YW.02) – КУШ-УМН/MU-XX.YW.03 (MU-XX.YW.03), КУШ-УМН/MU-XX.YW.04 (MU-XX.YW.04)	PO ExiaI X PO ExiaI X ExiaIU
Характеристики искробезопасных цепей	
Входные искробезопасные параметры цепи питания: – максимальное входное напряжение U_i , В – максимальный входной ток I_i , мА	15 500
Входные искробезопасные параметры цепей аналоговых входов: – максимальное входное напряжение U_i , В – максимальный входной ток I_i , мА – максимальная внутренняя емкость C_i , мкФ – максимальная внешняя емкость C_o , мкФ	22,5 21 0,1 1
Входные искробезопасные цепей дискретных входов: – максимальное выходное напряжение U_o , В – максимальный выходной ток I_o , мА – максимальная внешняя емкость C_o , мкФ – максимальное входное напряжение U_i , В – максимальный входной ток I_i , мА – максимальная внутренняя емкость C_i , мкФ	17,64 9,3 4 22,5 218 0,1

<i>Искробезопасные цепи систем связи:</i>	
– низкоскоростная (RS-485):	
- максимальное выходное напряжение U_o , В	13,1
- максимальный выходной ток I_o , мА	115
- максимальная внешняя индуктивность L_o , мГн	1,05
- максимальная внешняя емкость C_o , мкФ	10
- максимальное входное напряжение U_i , В	13,6
- максимальный входной ток I_i , мА	244
– высокоскоростная (Ethernet 10 TX):	
- максимальное выходное напряжение U_o , В	7,14
- максимальный выходной ток I_o , мА	150
- максимальное входное напряжение U_i , В	8,73
- максимальный входной ток I_i , мА	167

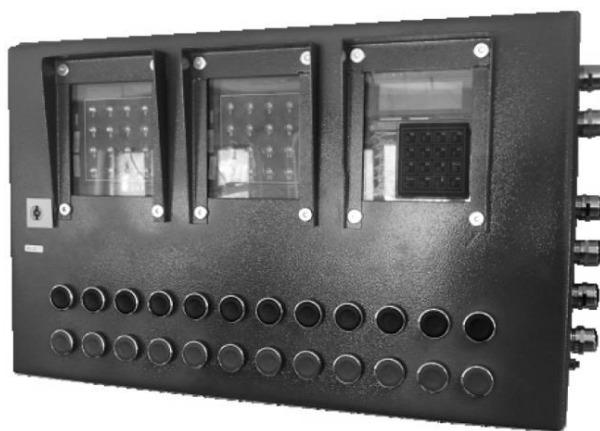


Рисунок 1.8.1 – Вид микроконтроллера КУШ

Питание модулей происходит от искробезопасного источника питания 12 В марки ZVB [6]. Источник питания ZVB используется для создания искробезопасных цепей питания. Он оборудован аккумуляторной батареей и обеспечивает возможность автоматического переключения на аккумуляторное питание при исчезновении питающего напряжения переменного тока в системе электроснабжения.

Исчезновение напряжения в системе электроснабжения идентифицируется встроенным в ИП устройством, которое может использоваться как дискретный датчик (типа «сухой» контакт) для сигнализации об исчезновении сетевого питания и передачи этой

информации в наземные вычислительные устройства через подземное вычислительное устройство (ПВУ).

Источник питания используется для электрического питания ПВУ, аналоговых, дискретных и импульсных датчиков и других устройств системы «Микон III» и аналогичных систем. Технические характеристики источника питания ZVB представлены в таблице 1.8.2.

Таблица 1.8.2 – Технические характеристики источника питания ZVB

Наименование параметра	Значение
Входное напряжение, В, 50 Гц	$\sim 36^{+10\%}_{-15\%}$
Номинальное выходное напряжение, В: -аккумуляторного блока -сетевого блока	12 15
Максимальный выходной ток нагрузки, мА, не более: - аккумуляторного блока - сетевого блока	250 500
Емкость аккумуляторной батареи, А×час	4
Тип аккумуляторной батареи	никель – кадмиевая
Длительность работы аккумулятора при полной нагрузке, час, не менее	15
Сигнализация об отказе питающего напряжения	«сухой» контакт с диодом
Степень защиты от внешних воздействий по ГОСТ 14254	IP54
Уровень и вид взрывозащиты по ГОСТ Р 51330.0	PB Exds[ia]I / PO Exs[ia]I
Параметры искробезопасных выходных цепей питания: - напряжение на выходе аккумуляторного блока: - максимальное выходное напряжение U_0 , В, не более - максимальный выходной ток I_0 , мА, не более - максимальная выходная мощность P_0 , мВт, не более - максимальная внешняя емкость C_0 , мкФ, не более - максимальная внешняя индуктивность L_0 , мГн, не более - напряжение на выходе сетевого блока: - максимальное выходное напряжение U_0 , В, не более - максимальный выходной ток I_0 , мА, не более - максимальная выходная мощность P_0 , мВт, не более - максимальная внешняя емкость C_0 , мкФ, не более - максимальная внешняя индуктивность L_0 , мГн, не более - L_0 / R_0 , Гн/Ом, не более	 13,5 250 3 4 1 15,8 500 7 4 0,2



Рисунок 1.8.2 – Вид источника питания ZVB

В свою очередь, для питания источника питания ZVB и блока промежуточного реле БПР-6 требуется наличие источника питания 36 В. Таким источником служит блок трансформаторный БТ-6. Блок трансформаторный предназначен для использования в составе системы «Микон III». Он используется для преобразования напряжения 660 В в напряжение 36В, которое подается на источник питания, блок автоматического ввода резерва (БАВР), блок промежуточного реле (БПР) и другую аппаратуру, входящую в состав системы. Характеристики БТ-6 приведены в таблице 1.8.3.

Таблица 1.8.3 –Технические характеристики БТ-6

Наименование параметра	Значение
Входное напряжение, В, 50 Гц	$\sim 660^{+10\%}_{-15\%}$
Выходное напряжение, В:	$\sim 36^{+10\%}_{-15\%}$
Максимальный выходной ток, А	2,5
Мощность трансформатора, Вт	100
Степень защиты от внешних воздействий по ГОСТ 14254	IP54
Уровень и вид взрывозащиты по ГОСТ Р 51330.0	PB ExdsI

Для коммутации не искробезопасных цепей к модулю дискретного вывода должно осуществляться через блок промежуточного реле (БПР). С помощью БПР выходы подземных вычислительных устройств (ПВУ) могут подключаться к не искробезопасным цепям управления отключающих катушек аппаратов электроснабжения напряжением до 660В.

БПР можно использовать для повторения и размножения искробезопасного дискретного (релейного) сигнала. Технические характеристики БПР представлены в таблице 1.8.4.

Таблица 1.8.4 – Технические характеристики БПР

Наименование параметра	Значение
Входное напряжение, В, 50 Гц	$\sim 36^{+10\%}_{-15\%}$
Потребляемый ток, А, не более	0,3
Количество нормально замкнутых искробезопасных выходов, шт	2
Количество нормально разомкнутых искробезопасных выходов, шт	2
Количество искробезопасных выходов	1
Коммутируемые напряжение/ ток/ мощность искробезопасной цепи, В/ А/ Вт, не более	660/5/130
Тип выходного контакта искробезопасной входной цепи	Переключающий «сухой» контакт с диодом
Тип сигнала управления	«сухой» контакт с диодом
Тип сигнализации о наличии питающего напряжения	«сухой» контакт с диодом
Допустимая длина линии связи от БПР до ПБУ, км, не более	10
Степень защиты от внешних воздействий по ГОСТ 14254	IP54
Уровень и вид взрывозащиты по ГОСТ Р 51330.0	PB Exds[ia]I / PO Exs[ia]I



Рисунок 1.8.3 – Вид блока промежуточного реле БПР

Для подземного комплекса данной системы автоматизации, необходимо использование искробезопасных датчиков. Такими датчиками являются:

1. Датчики температуры ДТМ-1 с функциями измерения давления и влажности шахтной атмосферы;
2. Датчики горючих и токсичных газов интеллектуальные стационарные ИТС2;
3. Стационарный датчик скорости движения воздуха СДСВ 01.

Датчик температуры ДТМ предназначен для непрерывного автоматического контроля температуры, влажности и давления шахтной атмосферы, температуры электромеханических агрегатов, горных пород и угольного пласта на угольных предприятиях, в том числе шахтах опасных по газу и пыли и внезапным выбросам. Датчик производит измерения температуры с периодом 1 с. Каждое измерение начинается с диагностики чувствительных элементов и других наиболее важных подсистем. При выявлении неисправностей датчик осуществляет местную и телесигнализацию об отказе и вызывает срабатывание выходного реле.



Рисунок 1.8.3 – Вид датчика температуры ДТМ-1

Основные функции:

1. измерение температуры шахтной атмосферы, электромеханических агрегатов, горных пород и угольного пласта;
2. измерение абсолютного давления;
3. измерение относительной влажности;

4. отображение результатов измерений;
5. сравнение измеренных значений с заданным значением порогов срабатывания сигнализации формирование управляющего (защитного) воздействия при превышении порога;
6. местная сигнализация о превышении значений предаварийного и аварийного порогов срабатывания сигнализации;
7. местная и телесигнализация о наличии напряжения питания и отказе и др.

Основные характеристики датчика ДТМ-1 представлены в таблице 1.8.5.

Таблица 1.8.5 – Характеристика датчика ДТМ-1

Характеристика	Значение
Диапазон измерения температуры, °С	-40...120
Диапазон измерения давления, кПа	30...110
Диапазон измерения относительной влажности, %	0...100
Время преобразования температуры не более, мс	750
Интерфейс с контроллерным уровнем	0,4...2 В
Дальность передачи, км, не более	1,2 / 5
Номинальное напряжение питания, В	12
Номинальный ток потребления, мА	20
Степень защиты от внешних воздействий (по ГОСТ 14254-96), не хуже	IP54

Датчики горючих и токсичных газов интеллектуальные стационарные ИТС2 предназначены для:

1. для непрерывного измерения концентраций метана;
2. для непрерывного определения степени взрывоопасности контролируемой атмосферы, в которой могут содержаться горючие газы и пары нефтепродуктов (в том числе бензина). В качестве типичных представителей семейства химически подобных газов, измеряемых датчиком, выбраны метан, пропан, бутан и гексан;

3. для непрерывного определения степени взрывоопасности контролируемой атмосферы, в которой может содержаться метановодородная смесь;

4. для непрерывного измерения концентрации оксида углерода (CO), диоксида углерода (CO₂), кислорода (O₂), сероводорода (H₂S), оксида азота (NO), диоксида азота (NO₂), водорода (H₂).

Датчики выполняют следующие функции:

1. непрерывное измерение концентрации измеряемого компонента;
2. преобразование измеренных значений в зависимости от исполнения в цифровой код с передачей по интерфейсу RS-485 или аналоговый сигнал;
3. цифровую индикацию на графическом дисплее;
4. световую сигнализацию превышения установленных пороговых значений концентрации;
5. передачу информации о превышении пороговых значений концентрации;
6. передачу информации о состоянии датчика.

Преобразованный аналоговый сигнал имеет нормированный выходной параметр 4...20 мА. Маркировка взрывозащиты датчиков соответствует PO Exiasl X [2].



Рисунок 1.8.4 – Вид датчиков ИТС-2

Стационарный датчик скорости движения воздуха СДСВ 01:

Измеритель скорости воздушного потока СДСВ 01 предназначен для непрерывного измерения скорости движения воздушных потоков в горных выработках, каналах вентиляторов главного проветривания, вентиляционных системах угольных предприятий, воздуховодах систем газоотсоса и дегазации. Область применения – контроль скорости движения (расхода) воздуха (газовых смесей) в подземных выработках шахт и рудников и их наземных строениях в том числе опасных по газу, пыли и внезапным выбросам. СДСВ может быть подключен к измерительным и информационно-управляющим системам с цифровым интерфейсом связи на основе RS-485/Modbus RTU.

Характеристики СДСВ 01 представлены в таблице 1.8.6.

Таблица 1.8.6 – Характеристики датчика скорости движения воздуха СДСВ-01

Характеристика	Значение
Диапазон измерения скорости воздушного потока, м/с	0,1 ... 30
Диапазон показаний скорости воздушного потока, м/с	-60 ... +60
Диапазон преобразования скорости воздушного потока в электрический сигнал, м/с	-60 ... 60
Максимальное отклонение оси измерительной головки от оси воздушного потока, град	±12
Выходные сигналы: - информационный: - напряжение постоянного тока, В - постоянный ток, мА - цифровой - релейный: - тип - максимальные значения коммутируемых напряжения / тока / мощности релейного выхода, В / А / Вт, не менее	0,4 ... 2,0 0 ... 5 / 4 ... 20 RS-485 (EIA/TIA-485) «сухой контакт» с диодом 200 / 0,1 / 0,5
Уровень и вид взрывозащиты (по ГОСТ Р 51330.0)	PO ExiaI
Степень защиты от внешних воздействий (по ГОСТ 14254)	IP54
Степень защиты от поражения электрическим током (по ГОСТ 12.2.007.0)	III



Рисунок 1.8.5 – Вид датчика скорости движения воздуха СДСВ 01

Контроль вибрации вентиляционных установок контролируется датчиком вибрации ИВД – 3 по трем взаимно перпендикулярным осям. Датчик конструктивно выполнен в виде цилиндрического корпуса с установочной площадкой, внутри корпуса установлены 4 миниатюрных функциональных платы: две платы с чувствительным элементом, аналоговую плату и плату микроконтроллера [6].

Датчик работает следующим образом:

1. преобразует сигнал чувствительного элемента в напряжение и ток, пропорциональные виброускорению;
2. производит низкочастотную и высокочастотную фильтрацию аналогового сигнала;
3. выполняет аналого-цифровое преобразование с частотой дискретизации 25000 Гц;
4. интегрирование ускорения и расчет СКЗ виброскорости;
5. преобразует внутренний интерфейс в интерфейс RS-485.

Таблица 1.8.7 – Технические характеристики датчика ИВД – 3

Характеристика	Значение
Диапазон измерений СКЗ виброскорости мм/с	от 0,8 до 70
Диапазон частот измерений СКЗ виброскорости, Гц	от 40 до 800
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений СКЗ виброскорости, %	± 6
Уровень шумового сигнала Датчика в единицах измерений среднеквадратичного значения (СКЗ) виброскорости, мм/с, не более	0,2
Диапазоны выходного токового сигнала при измерении СКЗ виброскорости, мА	4...20
Затухание АЧХ, дБ/окт, не менее: - в области частот ниже 10 Гц - в области частот выше 1000 Гц Затухание АЧХ по уровню 3 дБ, Гц - в области нижних частот - в области верхних частот	6 27 От 10 до 40 От 800 до 1000
Маркировка взрывозащиты:	PO Exial X
Степень защиты от внешних воздействий	IP67

Для датчиков, находящихся на поверхности, не обязательно требование, предъявляемое по исполнению взрывозащиты, поэтому можно применять датчики в общепромышленном исполнении, т.к. они будут находится на поверхности, где не возникают взрывоопасные ситуации.

Для измерения температуры подшипников двигателя и вентилятора выберем интеллектуальные датчики температуры «Метран-286» в исполнении для подшипников.

Интеллектуальные преобразователи температуры Метран-286 предназначены для точных измерений температуры в составе автоматических систем управления технологическими процессами.. Метран-286, могут применяться во взрывоопасных зонах, в которых возможно образование взрывоопасных смесей газов, паров, горючих жидкостей [7].

Таблица 1.8.8 – Характеристики датчика температуры Метран-286

Характеристика	Значение
Диапазон измерения, °С	-50...500
Выходной сигнал, мА	4...20
Степень защиты от внешних воздействий (по ГОСТ 14254)	IP65



Рисунок 1.8.6 – Вид датчика температуры Метран-286

Для измерений давления в маслопроводе применяются датчики дифференциального давления серии 8313. Физическая величина давления преобразуется в электрическую величину посредством интегрированной цепи полного тензометрического моста. Интегрированный измерительный усилитель для выходного сигнала [7].

Таблица 1.8.9 – Характеристики датчика дифференциального давления 8313

Характеристика	Значение
Диапазон измерения, кгс/см ²	0...±5
Выходной сигнал, мА	4...20
Степень защиты от внешних воздействий (по ГОСТ 14254)	IP65



Рисунок 1.8.7 – Вид дифференциального датчика давления серии 8313

Для измерения расхода масла в системе смазки подшипников – Свободно выравниваемые датчики потока FCST предназначены для мониторинга скорости потока жидкий и вязких сред.

Таблица 1.8.10 – Характеристики датчика FCST

Характеристика	Значение
Условия монтажа	Погружного типа
Выходной сигнал, мА	4...20
Рабочая среда	Жидкость

В качестве датчика уровня: поплавковые датчики уровня ОВЕН ПДУ – устройства, предназначенные для сигнализации уровня жидкостей. ОВЕН ПДУ применяются в составе систем контроля и регулирования жидкости (воды, растворов, светлых нефтепродуктов и иных жидких сред, в том числе и агрессивных, за исключением коррозионно-активных к материалу датчика) в различных резервуарах.

ОВЕН ПДУ применяются для измерения как текущего, так и предельного (максимального или минимального) уровня жидкости. Поплавковые датчики уровня имеют общепромышленные и взрывозащищенные исполнения. Поплавковые датчики уровня ОВЕН устойчивы к пене и пузырькам и могут работать с вязкими жидкостями. [8].

Таблица 1.8.11 – Технические характеристики датчика уровня Овен ПДУ

Наименование параметра	Значение
<i>Электрические параметры:</i>	
Количество сигнализируемых уровней	1 или 2
Максимальная коммутируемая мощность, Вт	10
Максимальный коммутируемый ток, А	0,5
Максимальное коммутируемое напряжение, В	200
Количество срабатываний при напряжении коммутации постоянного тока 24 В и токе 0,25 А	1×10^6
<i>Конструктивные параметры:</i>	
Расположение оси крепежного отверстия датчика в резервуаре	Вертикальное
Максимальная длина штока до нижнего уровня, мм	3000
Состояние контактов датчика в нижнем положении поплавка	Нормально-разомкнутое Нормально-замкнутое
Плотность измеряемой среды, г/см ³	0,70
Температура контролируемой среды, °С	-40...+105
Давление контролируемой среды, МПа	1,6
Материал рабочей части датчика	Сталь 12Х18Н10Т
Степень защиты по ГОСТ 14254	IP68



Рисунок 1.8.9 – Вид датчика уровня ОВЕН-ПДУ

Для использования вентиляторов уклонных блоков предлагается использовать ВМЭВО-6,7А для работы под землей и КВРСм-12,5 для использования на устье скважины. Данные вентиляторы выбраны исходя из условий их работы на данную сеть и требований по требуемой производительности. Расчет выбора вентиляторов представлен в главе 3.

Вентиляторы шахтные местного проветривания серии ВМЭВО со встроенным взрывозащищенным электродвигателем, предназначены для проветривания тупиковых горных выработок в угольных и рудных шахтах, включая опасные по газу и пыли, посредством подачи воздуха по гибкому или жесткому трубопроводу [9].

Таблица 1.8.12 – Технические характеристики вентилятора ВМЭВО-6,7А

Характеристика	Значение
Диаметр рабочего колеса номинальный, мм	670
Частота вращения рабочего колеса, мин ⁻¹	3000
Подача номинальная, м ³ /с	7
Статическое давление, номинальное, daPa	400
КПД статический максимальный	0,72
Мощность электропривода, кВт	45
Уровень взрывозащиты двигателя	РВ-3В
Степень защиты двигателя	IP-54



Рисунок 1.8.10 – Вид вентилятора ВМЭВО-6,7А

Вентиляторы крышного типа ВКРСм предназначены для работы с воздухом и неагрессивными газоздушными смесями, не содержащими липких веществ и волокнистых материалов, с максимальным содержанием в рабочей среде пыли и твердых примесей до 100 г/м³.

Крышные вентиляторы ВКРСм развивают низкое давление и работают на одностороннее всасывание. Выброс утилизируемого воздуха осуществляется в сторону. Вентилятор так же имеет взрывозащищенное исполнение.

Таблица 1.8.13 – Технические характеристики вентилятора ВКРСм-12,5

Характеристика	Значение
Диаметр рабочего колеса номинальный, мм	1310
Частота вращения рабочего колеса, мин ⁻¹	750
Подача в пределах рабочей области, м ³ /с	5,6-21,7
Статическое давление в рабочей области, даПа	0-104
Мощность электропривода, кВт	22



Рисунок 1.8.11 – Вид вентилятора ВКРСм-12,5

В соответствии с мощностью выбранных вентиляторов, для обеспечения возможности регулирования производительности данных вентиляторов необходимо выбрать соответствующие преобразователи частоты. С этой целью для ВМП выбираем частотный преобразователь по каталогу производителя [11]. Частотный преобразователь ВМП типа ЧПВП предназначен для автоматического поддержания заданной производительности вентиляторов местного проветривания в сетях напряжением 660 В с частотой 50 Гц.

Данный преобразователь обеспечивает выполнение следующих функций:

1. оперативное местное и дистанционное управление;
2. возможность подключения двух двигателей вентиляторов к одному преобразователю;
3. рабочий или резервный режим работы привода;
4. контроль утечки воздуха из вентиляционной трубы;
5. защиту от заклинивания вала ВМП и др.

При применении данного преобразователя частоты отпадает необходимость в установке пускателя, т.к. он встроен в аппарат.

Таблица 1.8.14 – Технические характеристики преобразователя частоты ЧПВП

Наименование параметра	Значение
Номинальное напряжение питающей сети, В	660
Количество подключаемых ВМП, шт	До 2
Суммарная мощность двигателей ВМП	50
Протокол обмена данными	Modbus RTU
Количество портов RS-485	2
Степень защиты оболочки по ГОСТ 14254	IP54
Уровень и вид взрывозащиты по ГОСТ Р 51330.0	PB Exds[ia]I



Рисунок 1.8.12 – Вид преобразователя частоты вентилятора проветривания
ЧПВП

Для поверхностного вентилятора предлагается выбрать частотный преобразователь серии СТА-В3.VC. СТА-В3.VC – серия векторных частотных преобразователей специального назначения для средневольтных электродвигателей с уровнем напряжения питания 660 В / 690 В, способных работать как в разомкнутых, так и в замкнутых по скорости электродвигателя системах [12].

Таблица 1.8.15 – Технические характеристики преобразователя частоты СТА-В3.VC

Наименование параметра	Значение
Номинальное напряжение питающей сети, В	660
Диапазон мощностей, кВт	22-630
Протокол обмена данными	Modbus RTU
Количество портов RS-485	2
Степень защиты оболочки по ГОСТ 14254	IP20

Частотный преобразователь СТА-В3.VC поддерживает 3 режима управления скоростью электродвигателя: векторное управление в разомкнутой по скорости электродвигателя системе, векторное управление

в замкнутой по скорости электродвигателя системе (через плату сопряжения с энкодером), скалярное управление U/f в разомкнутой по скорости электродвигателя системе.

Управление заданием частотой для частотных преобразователей происходит по средствам интерфейса RS-485.

С целью разветвления сигнала, поступающего со среднего уровня автоматизации используется сетевой концентратор FL HUB 8TX-ZF. Данный концентратор так же имеет промышленное исполнение [13].

Таблица 1.8.16 – Характеристики сетевого концентратора FL HUB 8TX-ZF

Характеристика	Значение
Количество портов, шт	8
Скорость передачи данных, Мбит/с	10/100
Тип интерфейса	Ethernet 10/100 TX
Степень защиты от внешних воздействий	IP 20
Допустимая влажность воздуха, %	100
Допустимая температура окружающей среды, °C	0...60
Электромагнитная совместимость	Соответствие директиве по ЭМС 89/336/EWG
Излучение помех	EN 61000-6-3/4
Помехоустойчивость	EN 61000-6-2

1.9 Описание алгоритма управления режимами работы вентиляторов при раздельном проветривании уклонных блоков Нефтешахты №1

Алгоритм управления вентиляторами представлен в графической части ВКР (лист 2). Изначально в микроконтроллер заложены основные контролируемые параметры системы автоматизации: температура воздуха в буровой галерее, объем воздуха, поступающий в буровую галерею, производительность ВМП.

Алгоритм работает следующим образом: изначально происходит опрос датчика производительности ВМП (V1), который сравнивает фактическое значение производительности, с заданным значением. Если фактическое значение соответствует заданному, то алгоритм переходит на определение отклонения фактической величины производительности ВМП от заданной.

Если фактическая производительность ВМП оказывается меньше заданной, то алгоритм переходит на подпрограмму увеличения производительности ВМП. В этой подпрограмме происходит увеличение частоты частотного преобразователя ВМП. После увеличения производительности ВМП с выдержкой времени происходит повторный опрос датчика производительности ВМП V1, если данного увеличения было достаточно, то алгоритм переходит для опроса датчика следующего параметра системы. Если же нет, то цикл повторяется до тех пор, пока фактическое значение производительности, не будет соответствовать заданному значению.

В случае, когда необходимо уменьшить производительность ВМП, алгоритм переходит на подпрограмму уменьшения производительности ВМП, где дополнительно контролируется параметр давления, которое развивает ВМП, его значение не должно быть меньше заданного (лист 3 графической части ВКР).

Следующим этапом, происходит опрос датчика расхода воздуха V2, который отвечает за объем воздуха, поступающий в уклонный блок. Процесс данной части схож с алгоритмом управления ВМП, однако, имеет свои отличия. Данная часть учитывает действие естественной тяги, если ее величины достаточно для обеспечения буровой галереи уклонного блока требуемым объемом воздуха, то поверхностный вентилятор может быть отключен, но в этом случае происходит более частый опрос датчика V2, с целью более раннего обнаружения снижения объема воздуха, поступающего в буровую галерею. В случае, когда происходит снижение объемов воздуха, алгоритм работает по подпрограмме для увеличения производительности поверхностного вентилятора (лист 3 графической части ВКР). Данная подпрограмма учитывает режим работы поверхностного вентилятора, находится он в работе или выключен.

После того, как произошел опрос датчика объема воздуха, поступающего в уклонный блок, происходит опрос датчика температуры в буровой галерее.

Данная часть алгоритма контролирует температуру воздуха в буровой галерее, ее значение не должно превышать заданного. Если температура воздуха в буровой галерее соответствует установленной, то алгоритм возвращается в начало и происходит повторный опрос всех датчиков. Если же, температура воздуха превышает установленное значение и подаваемого в уклонный блок объема воздуха недостаточно для снижения температуры, происходит увеличение производительности поверхностного вентилятора. Возможен случай, когда при поступающих объемах воздуха температура в буровой галерее будет меньше заданной, в этом случае алгоритм перейдет на снижения производительности поверхностного вентилятора, с целью повышения энергосбережения.

Весь процесс данного алгоритма повторяется циклически с заданной выдержкой времени, которая учитывает большую инерционность процесса проветривания.

Глава 2 Электроснабжение уклонного блока Нефтешахты №1

2.1 Описание схемы подземного электроснабжения Нефтешахты №1

Нефтешахты являются потребителями I категории, поэтому к системе электроснабжения должны предъявляться повышенные требования надежности электроснабжения. Питание шахты осуществляется от двух независимых источников. Питание подземного комплекса осуществляется по двум кабельным линиям 6 кВ, проложенным по стволу шахты. Для данных целей применяются кабели марки СКЗ 3х95 длиной 250 м. Каждый кабель присоединяется к своей секции шин ГПП. Центральная подземная подстанция (ЦПП) состоит из двух секций 6 кВ, состоящей из сборки КРУВ-6-ОП УХЛ5.

Питание подземных потребителей шахты осуществляется прокладкой кабельной сети 6 кВ бронированными кабелями до распредпунктов и далее до участков, каждый участок (уклонный блок) имеет свою участковую подстанцию, где происходит понижение напряжения до уровня потребителей. В качестве участковых подстанций применяются подстанции типов: ТСВП, ТСШВП, КТПВШ, ПВКТ мощностью от 180 до 630 кВА. Данные подстанции преобразуют напряжение 6 кВ до уровня напряжения потребителей (660 В). В сети напряжением 660 В применяются гибкие экранированные кабели марок КГЭШ и ГРШЭ.

Основными потребителями электроэнергии в уклонных блоках являются насосные установки различных марок и мощностей, которые установлены в насосной камере. Так же каждый уклонный блок оборудован специальными лебедками, для спуска и подъема грузов и оборудования в уклонные блоки.

В качестве пусковой аппаратуры используются пускатели серии ПВИ и автоматические выключатели серий АФВ, АВШ и ВВ.

Для подключения сети освещения используются агрегаты АП – 4 и АПШ – 1. Для освещения применяются светильники РВЛ-20 в рудничном взрывобезопасном исполнении.

Для борьбы с основным недостатком термощахтного способа добычи нефти предлагается изменить схему проветривания уклонных блоков за счет общешахтной депрессии на способ раздельного проветривания. С этой целью необходимо использовать два дополнительных вентилятора, которые подключаются к участковой подстанции. Один из вентиляторов находится в шахте и работает на подачу воздуха через перемычку, а другой из вентиляторов находится на поверхности, установленный на вентиляционной скважине, пробуренный в конце уклонного блока. Питание данного вентилятора предусматривается осуществлять через энергоскважину, в связи с небольшой глубиной расположения подземных выработок (192 метра). Данный способ является предпочтительней в связи с тем, что не придется осуществлять прокладку кабельной линии на поверхности, исключается подготовка территории для прокладки данной линии, а в связи с тем, что уклонные блоки могут располагаться на расстоянии нескольких километров от ближайшей подстанции, может ускорить ввод в эксплуатацию данную систему.

2.2 Расчет электрических нагрузок и выбор типа и мощности КТП

Необходимо проверить существующую схему электроснабжения уклонного блока на возможность подключения дополнительной нагрузки в виде двух вентиляторов.

Составим таблицу с характеристиками электропотребителей (таблица 2.2.1). Значения коэффициента спроса указаны в [14].

Таблица 2.2.1 – Технические данные по установленной мощности электропотребителей

Наименование электроприемника	Кол- во, шт	Тип двигателя	Характеристики электроприемников при U _{ном} =660 В							
			P _{ном} , кВт	Kc	Cos φ, о.е.	КПД, %	I _{ном} , А	$\frac{I_{п.ном}}{I_{ном}}$	I гр.	II гр.
Освещение АПШ-1	1	-	4	0,7	0,88	86	3,5	3	4	-
Лебедка ЛШГ-3	1	BA 200L6	30	0,7	0,84	90	34,1	7,5	30	-
Насос ПБС2Э	1	BA 200M2	37	0,7	0,85	92	39,1	7	37	-
Насос ЦНС-150	1	BA 200S4	22	0,7	0,84	90	24,6	7	22	-
Насос НБ-125ИЖ (№ 1)	1	BA 180M2	30	0,7	0,85	90,5	34,1	7,5	30	-
Насос 9МГр (№ 2)	1	BA 180S2	22	0,7	0,84	90	24,6	7	22	-
Насос 6-НК	1	BA 250S2	75	0,8	0,85	94,3	76,2	7,5	75	-
Вентилятор ВМЭВО-6,7А	1	BA 200L4	45	0,7	0,85	92	47,6	7	-	45
Вентилятор ВКРСм-12,5	1	АИР 200L8	22	0,8	0,77	90	27,8	6,2	-	22
Итого:									220	67

Для расчета электрических нагрузок воспользуемся методом коэффициента спроса. Расчетная мощность трансформаторов может быть определена:

$$S_{p.тр} = \frac{K_c * \sum_{i=1}^n P_{ном.i}}{\cos\varphi_{ср}} \text{ кВА}, \quad (9)$$

где $\sum_{i=1}^n P_{ном.i}$ – сумма номинальных мощностей электроприемников, кВт;

K_c – коэффициент спроса группы электроприемников;

$\cos\varphi_{ср}$ – средневзвешенный коэффициент мощности электроприемников.

$$\begin{aligned} \cos\varphi_{ср} &= \frac{\sum(P_{ном.i} * \cos\varphi_i)}{\sum P_{ном.i}} = \\ &= \frac{0,85 * (37 + 75 + 30 + 45) + 0,84(22 + 30 + 22) + 0,77 * 22 + 0,88 * 4}{4 + 30 + 37 + 22 + 30 + 22 + 75 + 45 + 22} = \\ &= 0,91. \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} S_{p.тр} &= \frac{0,7 * (4 + 37 + 22 + 30 + 22 + 30 + 45) + 0,8 * (75 + 22)}{0,91} = \\ &= 231,4 \text{ кВА}. \end{aligned}$$

Выполним проверку существующей КТП по коэффициенту загрузки:

$$\beta = \frac{S_{p.тр}}{S_{ном}} = \frac{231,4}{630} = 0,37. \quad (11)$$

Для шахтных трансформаторных подстанций, коэффициент загрузки трансформатора должен находиться в пределах $0,6 < \beta < 1$, как видно

условие не выполняется, даже с учетом подключенных вентиляторов. Необходимо произвести замену КТП на КТП меньшей мощности.

По данным каталога завода изготовителя [11] выбираем КТП типа КТПВШ на 250 кВА. Технические характеристики приведены в таблице 2.2:2.

Таблица 2.2.2 – Технические характеристики КТПВШ-250/6

Параметр	Значение
Номинальная мощность, кВ·А	250
Частота тока, Гц	50
Номинальное первичное напряжение, кВ	6,0
Номинальное вторичное напряжение, кВ	0,69
Напряжение короткого замыкания, %	3,6
Потери короткого замыкания силового трансформатора, кВт	3,6
Ток холостого хода, %	1,5
Потери холостого хода силового трансформатора, кВт	1,5

Проверим выбранную КТП по коэффициенту загрузки. Из (11) следует:

$$\beta = \frac{231,4}{250} = 0,92.$$

Вывод: выбранная КТП удовлетворяет требованию по коэффициенту загрузки.

2.3 Расчет кабельной сети

Расчет сводится к определению сечений жил силовых кабелей, которые обеспечат подвод к потребителям электроэнергии, достаточной для их нормальной работы, не перегреваясь сверх допустимой нормы, и удовлетворяли условиям экономичности и механической прочности.

Выбор марок и сечений кабелей

Выбор сечения по токовой нагрузке для группы потребителей определяется методом коэффициента спроса.

Расчетный ток группы потребителей может быть рассчитан:

$$I_p = \frac{K_c * \sum_{i=1}^n P_{ном.i}}{\sqrt{3} * U_{ном} * \cos \varphi_{ср}}, \text{ A.} \quad (12)$$

где $\sum_{i=1}^n P_{ном.i}$ – сумма номинальных мощностей электроприемников, питающихся по данному кабелю, кВт;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение электроприемников, кВ;

K_c и $\cos \varphi$ принимаются из предыдущего расчета.

Выбору подлежат кабели для подключения вентиляторов. С учетом низкой температуры окружающей среды в выработках шахт, длительно допустимая токовая нагрузка кабелей может быть увеличена.

$$I_{доп.р} = K_v * I_{дл.доп}, \quad (13)$$

где K_v – поправочный коэффициент, учитывающий фактическое значение температуры окружающей среды (+20°C было принято самостоятельно) и допустимый нагрев жилы [15]; $I_{дл.доп}$ – длительно допустимый ток, который может проходить через кабель, не вызывая его перегрузку. Берется из паспортных данных для каждого кабеля. Расчеты и результаты расчета сведены в таблицу 2.3.1.

Расчетный ток стороны ВН трансформатора может быть определен:

Из (12) следует:

$$I_{р.тр} = \frac{0,7*(4+37+22+30+22+30+45)+0,8*(75+22)}{\sqrt{3}*6*0,91} = 22,3 \text{ A.}$$

Расчетный ток кабеля питающего вентиляторов равен:

$$I_p = I_{н(ВМЭВ0)} + I_{н(ВКРСм)} = 75,4 \text{ A.} \quad (14)$$

Остальные расчетные величины токов рассчитываются аналогично.

Расчет по экономической плотности тока

Расчету подлежат кабели напряжением выше 1 кВ и ниже 1кВ, если время использования максимума нагрузки свыше 5000 часов за год.

$$S_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}}, \quad (15)$$

где I_p – расчетный ток кабеля, А;

$j_{\text{эк}}$ – экономическая плотность тока при использовании максимума нагрузки, А/мм² [15].

Время использования максимума нагрузки не известно, поэтому для расчета зададимся коэффициентом $j_{\text{эк}}$ самостоятельно, примем его равным 3,1 А/мм².

Выбор сечений кабелей по условию механической прочности

По условию механической прочности минимальное сечение кабелей $S_{\text{мех}}$ принимается равным:

- 1) Для питания РП напряжением до 1 кВ (фидерные кабели) не менее 25 мм²;
- 2) Для питания ВМП не ниже 16 мм²;
- 3) Для питания АП не ниже 10 мм²;

Результаты расчета по выбору сечений жил кабелей по трем условиям сведены в таблицу 2.3.1.

Таблица 2.3.1 – Определение расчетных токов и сечений жил кабеля

Наименование кабелей	Расчетный ток кабеля $I_{p.k.}, \text{ А}$	Марка кабеля	Сечение жилы $S_{\text{ж}}$ (мм ²) по условиям		Выбранное сечение жилы $S_{\text{ж}}$, мм ²
			$I_{p.i}$	$S_{\text{мех}}, S_{\text{эк}}$	
Кабель 6 кВ от ЦПП до КТП	$I_{p.k.(вн)} = 22,3 \text{ А}$	СБ-6 4 жилы	25, $I_{\text{дл.доп}} = 110 \text{ А}$	$S_{\text{мех}} = 16;$ $S_{\text{эк}} = \frac{29,53}{2} = 9,52$	$S_{\text{ж}} = 25$, существующее минимальное сечение кабеля в линии до КТП

Наименование кабелей	Расчетный ток кабеля $I_{p.k.}, A$	Марка кабеля	Сечение жилы $S_{ж}$ (мм ²) по условиям		Выбранное сечение жилы $S_{ж}$, мм ²
			$I_{p.i}$	$S_{мех}, S_{эк}$	
Кабель питания вентиляторов	$I_{p.(фк4)} = 75,4 A$	КГЭШ 4 жил	16, $I_{дл.доп} = 105 A$, $I_{доп.p}=1,05*105=110,2 A$	$S_{мех} = 16$; $S_{эк} = \frac{75,4}{2,7} = 27,9$	По $S_{эк}$ принимаем $S_{ж} = 35 \text{ мм}^2$
Кабель питания ВМЭВО-6,7А	$I_{н(ВМЭВО)} = 47,6 A$	КГЭШ 4 жил	6, $I_{дл.доп} = 58 A$, $I_{доп.p}=60,9 A$	$S_{мех} = 16$; $S_{эк} = \frac{47,6}{2,7} = 17,6$	По условию экономической плотности принимаем $S_{ж} = 25 \text{ мм}^2$
Кабель питания вентилятора ВКРСМ-12,5	$I_{н(ВКРСМ)} = 27,8 A$	КГЭЖШ 4 жил	4, $I_{дл.доп} = 45 A$, $I_{доп.p}=47,25 A$	$S_{мех} = 16$; $S_{эк} = \frac{27,8}{6,8} = 10,2$	По условию механической прочности принимаем $S_{ж} = 16 \text{ мм}^2$

Данные по токовым нагрузкам и характеристики кабелей взяты с сайта завода КамКабель [16]. Применение кабеля КГЭЖШ обуславливается его прокладкой в энергоскважине, кабель марки КГЭШ не пригоден для этой цели.

Вывод: в результате расчета были выбраны марки и сечения жил кабелей, для питания вентиляторов.

2.4 Расчет кабельной сети потери напряжения при нормальном режиме

Цель данного расчета является определение потерь напряжения в системе электроснабжения потребителей, поэтому расчет будет производиться для наиболее тяжелого режима, когда все потребители находятся в работе.

Составим расчетную схему замещения для расчета потерь напряжения при нормальном режиме работы (рисунок 2.4.1). Расчет производится для наиболее мощных и удаленных потребителей, такими потребителями являются насос 6-НК и вентилятор ВКРСм, т.к. он является наиболее удаленным. В расчете необходимо учесть внутреннее сопротивление автоматических выключателей и пускателей (сопротивление соответствует 15 м гибкого кабеля сечением 50 мм²).

Расчетная потеря напряжения состоит из суммы падений напряжения на отдельных участках линии: падение напряжения в трансформаторе, в кабельных линиях, в автоматических выключателях и пускателях.

$$\sum \Delta U_p = \Delta U_{тр} + \Delta U_{ф.к} + \Delta U_{АВ} + \Delta U_{П} + \Delta U_{м.к}; \quad (16)$$

$$\Delta U_{тр} = \sqrt{3} * I_{р.тр} (1,5 R_{тр} * \cos \varphi_{ср} + X_{тр} * \sin \varphi_{ср}), \quad (17)$$

где 1,5 – коэффициент, учитывающий увеличение активного сопротивления обмоток трансформатора при нагреве от +20 до +150%.

$$I_{р.тр} = \frac{0,7 * (4 + 37 + 22 + 30 + 22 + 30 + 45) + 0,8 * (75 + 22)}{\sqrt{3} * 0,66 * 0,91} = 202,45 \text{ А};$$

$$R_{тр} = \frac{\Delta P_{кз} * U_{ном.нн}^2}{S_{тр.ном}^2} * 10^3, \text{ Ом}; \quad (18)$$

$$X_{тр} = \sqrt{U_{кз}^2 - \left(\frac{100 * \Delta P_{кз}}{S_{тр.ном}} \right)^2} * \frac{U_{ном.нн}^2}{S_{тр.ном}} * 10, \text{ Ом}. \quad (19)$$

Определим потери напряжения для трансформатора КТП.

Найдем сопротивления трансформатора:

$$R_{\text{тр}} = \frac{3,6 * 0,69^2}{250^2} * 10^3 = 0,027 \text{ Ом};$$

$$X_{\text{тр}} = \sqrt{3,6^2 - \left(\frac{100 * 3,6}{250}\right)^2} * \frac{0,69^2}{250} * 10 = 0,063 \text{ Ом}.$$

Определим потери напряжения:

$$\Delta U_{\text{тр}} = \sqrt{3} * 202,45(1,5 * 0,027 * 0,91 + 0,063 * 0,415) = 22,1 \text{ В}.$$

Потери в кабеле можно определить:

$$\Delta U_{\text{к}} = \sqrt{3} * I_{\text{р.к}}(r_0 * l * \cos \varphi_{\text{ср}} + x_0 * l * \sin \varphi_{\text{ср}}), \quad (20)$$

где r_0, x_0 – удельные активное и индуктивное сопротивление кабеля, Ом/км;

l – длина линии, км.

Суммарные расчетные потери напряжения должны быть меньше допустимых:

$$\sum \Delta U_{\text{р}} \leq \Delta U_{\text{доп}}, \quad (21)$$

$$\Delta U_{\text{доп}} = U_0 - (1 - 0,05)U_{\text{ном}} = 690 - 0,95 * 660 = 63 \text{ В}.$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение потребителей, В; U_0 – номинальное напряжение вторичной обмотки трансформатора, В.

Перед расчетом необходимо определить величины токов, протекающих от работающих потребителей.

$$I_{\text{р.}(фк1)} = \frac{0,7 * (4 + 37 + 22 + 30 + 22 + 30) + 0,8 * 75}{\sqrt{3} * 0,66 * 0,83} = 170,2 \text{ А}.$$

Остальные расчетные величины выполняются аналогично, и результаты указаны в таблице 2.4.1.

Вывод: в результате расчета сети по потере напряжения в нормальном режиме оказалось, что потери напряжения не превышают допустимые 63 В, для наиболее мощных и удаленных потребителей.

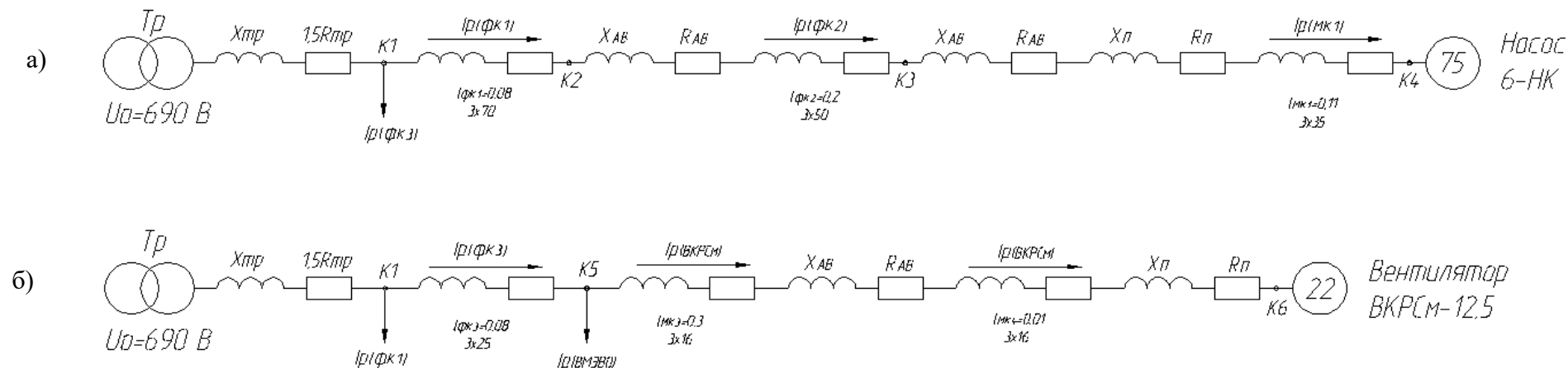


Рисунок 2.4.1—Схема замещения к расчету потерь напряжения при нормальном режиме работы электроприемников: а) для насоса 6-НК, б) для вентилятора ВКРСм-12,5

Таблица 2.4.1 – Определение потерь напряжения при нормальной работе электроприемников (при $\cos\varphi = 0,83$; температура жил кабелей $+65^{\circ}\text{C}$):

Расчетные участки и точки	Расчетный ток участка, кабеля $I_{p,i}$, А	Характеристики кабеля				Потери напряжения $\Delta U_{\text{норм},i}$ в участках сети, В
		$S_{\text{ж}}$, мм ²	$l_{\text{к.л}}$, км	$r_{\text{к.л}}$, Ом/км	$x_{\text{к.л}}$, Ом/км	
К1 (Трансф)	$I_{p,\text{тр}} = 202,45$	-	-	-	-	$\Delta U_{\text{тр}} = 22,1$
К1-К2 (Ф.к.1)	$I_{p(\text{фк1})} = 155,25$	70	0,08	0,302	0,069	$\Delta U_{\text{фк.1}} = 1,73 * 155,25(0,302 * 0,08 * 0,83 + 0,069 * 0,08 * 0,56) = 6,53$

Продолжение таблицы 2.4.1

Расчетные участки и точки	Расчетный ток участка, кабеля $I_{p,i}$, А	Характеристики кабеля				Потери напряжения $\Delta U_{\text{норм},i}$ в участках сети, В
		$S_{\text{ж}}$, мм ²	$l_{\text{к.л.}}$, км	$r_{\text{к.л.}}$, Ом/км	$x_{\text{к.л.}}$, Ом/км	
K2-K3 (AB+Ф.к.2+AB)	$I_{p(\text{фк}2)} = 92,68$	50	0,215	0,423	0,081	$\Delta U_{\text{фк.2}} = 1,73 * 92,68(0,423 * 0,23 * 0,7 + 0,081 * 0,23 * 0,714) = 14,67$
K3-K4 (П+М.к.1)	$I_{p(\text{мк}1)} = 76,2$	35	0,015+0,11	0,423; 0,6	0,081; 0,087	$\Delta U_{\text{мк.1}} = 8,45 + 0,83 = 9,26$
Суммарные потери напряжения для насоса 6-НК $\sum U_{\text{норм}} = 52,56 < 63$						
K1	$I_{p.\text{тр}} = 202,45$	-	-	-	-	$\Delta U_{\text{тр}} = 22,1$
K1-K5 (Ф.к.4)	$I_{p(\text{фк}4)} = 75,4$	35	0,08	0,6	0,087	$\Delta U_{\text{фк.4}} = 6,08$
K5-K6 (М.к.3+AB+М.к.4+П)	$I_{\text{н(ВКРСм)}} = 27,8$	16	0,31+0,03	1,32; 0,423	0,099; 0,081	$\Delta U_{\text{К6}} = 18,54 + 0,56 = 19,1$
Суммарные потери напряжения для вентилятора ВКРСм-12,5 $\sum U_{\text{норм}} = 47,28 < 63$						

2.5 Расчет сети по потери напряжения при пуске наиболее мощных и удаленных потребителей

Целью данного расчета является определение напряжения на зажимах конечных потребителей при пуске, которого должно быть достаточно для обеспечения пуска потребителей.

Для вентиляторов и насосов напряжение на зажимах должно быть не менее $0,6U_{\text{ном}}=0,6*660=396$ В.

На рисунке 2.2 представлена схема замещения для расчета сети по потере напряжения при пуске. Расчет будет производиться для случая, когда все потребители работают с номинальной мощностью.

Напряжение на зажимах потребителя определяется формулой:

$$U_{\text{пр}} = U_0 - \sum \Delta U'_{\text{норм}} - \sum \Delta U'_{\text{п}}, \quad (21)$$

где U_0 - напряжение холостого хода трансформатора, В;

$\sum \Delta U'_{\text{норм}}$ - потеря напряжения от уже работающих потребителей, В;

$\sum \Delta U'_{\text{п}}$ - потеря напряжения от запускаемого привода, В;

$$\sum \Delta U'_{\text{норм}} = \Delta U'_{\text{тр}} + \Delta U'_{\text{ф.к}} + \Delta U'_{\text{ав}} + \Delta U'_{\text{п}} + \Delta U'_{\text{м.к}}. \quad (22)$$

$\Delta U'_{\text{тр}} = \sqrt{3} * I'_{\text{р.тр}} (1,5R_{\text{тр}} * \cos\varphi + X_{\text{тр}} * \sin\varphi)$, т.к. расчет был произведен для нормального режима работы, то:

$$\frac{\Delta U_{\text{тр.норм}}}{I_{\text{р.тр}}} = \frac{\Delta U'_{\text{тр}}}{I'_{\text{р.тр}}}; \quad (23)$$

$$\Delta U'_{\text{тр}} = \Delta U_{\text{тр.норм}} \frac{I'_{\text{р.тр}}}{I_{\text{р.тр}}}; \quad (24)$$

$$I'_{\text{р.тр}} = \frac{0,7 * (4 + 37 + 22 + 30 + 22 + 30 + 45) + 0,8 * 22}{\sqrt{3} * 0,66 * 0,91} = 144,8 \text{ А},$$

где $\sum P'_{\text{ном}}$ — мощность потребителей работающих на момент пуска, кВт;
 $\Delta U_{\text{тр.норм}}$ — потери напряжения в трансформаторе в нормальном режиме, В;
 $I'_{\text{р.тр}}$ — расчетный ток трансформатора стороны НН протекающий под действием потребителей, работающих на момент пуска, А.

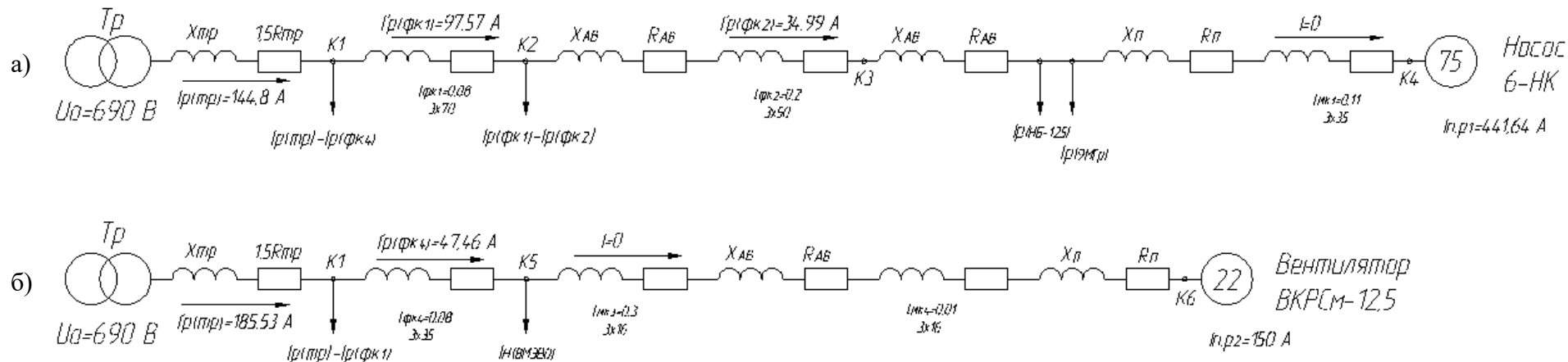


Рисунок 2.5.1 – Схема замещения к расчету потерь напряжения при пуске мощных и удаленных электродвигателей:

а) для насоса 6-НК, б) для вентилятора ВКРСм-12.

Потери напряжения в кабелях:

$$\Delta U'_K = \sqrt{3} * I'_{р.к} (r_0 * l * \cos\varphi + x_0 * l * \sin\varphi).$$

Выполнив аналогичные преобразования, как и для трансформатора:

$$\Delta U'_K = \Delta U_{к.норм} \frac{I'_{р.к}}{I_{р.к}};$$

$$I'_{p.k} = \frac{K_c * \sum_{i=1}^n P'_{ном.i}}{\sqrt{3} * U_{ном} * \cos \varphi_{cp}} ;$$

$$I'_{p.(фк1)} = \frac{0,7 * (4 + 37 + 22 + 30 + 22 + 30)}{\sqrt{3} * 0,66 * 0,91} = 97,57 \text{ А}$$

Результаты расчетов представлены в таблице 2.5.1.

Таблица 2.5.1 – Определение потерь напряжения $\Delta U'_{ном}$ на зажимах двигателей к моменту их запуска при работе остальных электроприемников

Расчетные участки и точки	Расчетный ток участка кабеля $I'_{p.i}$, А	Потери напряжения $\Delta U'_{ном.i}$ в участках сети, В
Запуск двигателя 75 кВт насоса 6-НК		
K1 (Трансф)	$I'_{p.тр} = 144,8$	$\Delta U'_{тр} = 22,1 * \frac{144,8}{202,45} = 15,8$
K1-K2 (Ф.к.1)	$I'_{p.(фк1)} = 97,57$	$\Delta U'_{ф.к1} = 6,53 * \frac{97,57}{155,25} = 4,1$
K2-K3 (АВ+Ф.к.2+АВ)	$I'_{p.(фк2)} = 34,99$	$\Delta U'_{ф.к2} = 14,67 * \frac{34,99}{92,68} = 5,54$
K3-K4 (П+М.к.1)	$I'_{p.(мк1)} = 0$	$U'_{к5} = 0$
Суммарные потери напряжения для точки K4 $\sum \Delta U'_{ном} = 25,44 \text{ В}$		
Запуска двигателя 22 кВт вентилятора ВКРСМ-12,5		
K1 (Тр.)	$I'_{p.тр} = 185,53$	$\Delta U'_{тр} = 22,1 * \frac{185,53}{202,45} = 20,2$
K1-K5 (Ф.к.4)	$I'_{p.(фк4)} = 47,46$	$\Delta U'_{ф.к4} = 6,08 * \frac{47,6}{75,4} = 3,8$
K5-K6 (М.к.3+АВ+М.к.4+П)	$I'_{p.(ВКРСм)} = 0$	$\Delta U'_{к6} = 0$
Суммарные потери напряжения для точки K10 $\sum \Delta U'_{ном} = 24 \text{ В}$		

Расчет потерь от запускаемого привода можно определить:

$$\sum \Delta U'_{п} = \Delta U'_{тр.п} + \Delta U'_{ф.к.п} + \Delta U'_{АВ.п} + \Delta U'_{П.п} + \Delta U'_{М.к.п};$$

$$\Delta U'_{тр.п} = \sqrt{3} * I'_{p.п} (1,5 R_{тр} * \cos \varphi_{п} + X_{тр} * \sin \varphi_{п});$$

$$\Delta U'_{ф.к.п} = \sqrt{3} * I'_{p.п} (r_{ф.к} * l_{ф.к} * \cos \varphi_{п} + x_0 * l_{ф.к} * \sin \varphi_{п});$$

$$\Delta U'_{\text{м.к.п}} = \sqrt{3} * I'_{\text{р.п}} (r_{\text{м.к}} * l_{\text{м.к}} * \cos \varphi_{\text{п}} + x_0 * l_{\text{м.к}} * \sin \varphi_{\text{п}}),$$

где $I'_{\text{р.п}}$ – расчетный пусковой ток двигателя, А; $\cos \varphi_{\text{п}} = 0,5$ – коэффициент мощности при пуске двигателей.

Потери в автоматическом выключателе и пускателе рассчитываются по аналогичным формулам для потери напряжения в кабельной линии.

В данных выражениях, слагаемые в скобках заменяются на коэффициент $A_{\text{Ки}}$.

$$A_{\text{тр}} = 1,5 R_{\text{тр}} * \cos \varphi_{\text{п}} + X_{\text{тр}} * \sin \varphi_{\text{п}}. \quad (25)$$

$$A_{\text{к.л}} = r_{\text{к.л}} * l_{\text{к.л}} * \cos \varphi_{\text{п}} + x_{\text{к.л}} * l_{\text{к.л}} * \sin \varphi_{\text{п}}. \quad (26)$$

Расчет коэффициентов $A_{\text{Ки}}$ представлен в таблице 2.5.2.

Таблица 2.5.1 – Определение значений $A_{\text{Ки}}$ для цепей запускаемых двигателей

Расчетные участки и точки	Характеристики кабеля				Величина $A_{\text{Ки}}$ для трансформатора и кабелей
	$S_{\text{ж}}, \text{мм}^2$	$l_{\text{к.л}}, \text{км}$	$r_{\text{к.л}}, \text{Ом/км}$	$x_{\text{к.л}}, \text{Ом/км}$	
К1 (Трансф)	-	-	-	-	$A_{\text{тр1}} = 1,5 * 0,01 * 0,5 + 0,039 * 0,866 = 0,075$
К1-К2 (Ф.к.1)	70	0,16	0,302	0,069	$A_{\text{фк1}} = 0,302 * 0,08 * 0,5 + 0,069 * 0,08 * 0,866 = 0,017$
К2-К3 (АВ+Ф.к.2+АВ)	50	0,2+0,03	0,423	0,081	$A_{\text{фк2}} = 0,423 * 0,23 * 0,5 + 0,081 * 0,23 * 0,866 = 0,065$
К3-К4 (П+М.к.1)	35	0,11	0,6	0,087	$A_{\text{мк1}} = 0,041 + 0,004 = 0,045$
Суммарное значение для точки К4 $\sum A_{\text{Ки}} = 0,202$					
К1 (Тр.)	-	-	-	-	$A_{\text{тр}} = 0,075$
К1-К5 (Ф.к.4)	35	0,08	0,6	0,087	$A_{\text{фк4}} = 0,6 * 0,08 * 0,5 + 0,087 * 0,08 * 0,866 = 0,03$
К5-К6 (М.к.3+АВ+М.к.4+П)	16 50	0,3+0,001 +0,03	1,32 0,423	0,099 0,081	$A_{\text{мк4}} = 0,224 + 0,008 + 0,007 = 0,239$
Суммарное значение для точки К10 $\sum A_{\text{Ки}} = 0,344$					

$$\sum \Delta U'_{\text{п}} = \sqrt{3} * I'_{\text{р.п}} \sum A_{\text{Ки}} \quad (27)$$

Из соотношения $\frac{U_{\text{ном}}}{I_{\text{п.ном}}} = \frac{\Delta U'_{\text{п}}}{I'_{\text{р.п}}}$ выражаем расчетный пусковой ток двигателя:

$$I'_{\text{р.п}} = I_{\text{п.ном}} * \frac{\Delta U'_{\text{р.п}}}{I'_{\text{р.п}}},$$

где $\Delta U'_{\text{р.п}}$ – напряжение на шинах РП, к которому подключен двигатель;
 $I_{\text{п.ном}}$ – номинальный пусковой ток двигателя, А.

$$\Delta U'_{\text{р.п}} = U_0 - \sum \Delta U'_{\text{норм}}$$

Напряжение на зажимах электродвигателя может быть определено по формуле:

$$U_{\text{п.р}} = \frac{U_0 - \sum \Delta U'_{\text{норм}}}{1 + \sqrt{3} * \frac{I_{\text{п.ном}}}{U_{\text{ном}}} * \sum A_{Ki}}, \text{ В} \quad (28)$$

Результаты расчетов представлены в таблице 2.5.3.

Данные по характеристикам двигателей насоса и вентилятора взяты из [10,17].

Таблица 2.5.3 – Определение расчетных значений напряжения $U_{\text{п.р}}$ на зажимах двигателей при пуске и пускового тока двигателей $I_{\text{п.р}}$

Расчетные точки	Расчет значений			
	$\sum U'_{\text{норм}}, \text{ В}$	$\sum A_{Ki}$	$U_{\text{п.р}}, \text{ В}$	$I_{\text{п.р}}, \text{ А}$
К4	25,44	0,202	$U_{\text{пр1}} = \frac{690 - 25,44}{1 + 1,73 * \frac{76,2 * 7,5}{660} * 0,202} = 510,04$	$I_{\text{пр1}} = 571,5 * \frac{510,04}{660} = 441,65$
К6	24	0,344	$U_{\text{пр2}} = \frac{690 - 24}{1 + 1,73 * \frac{172,36}{660} * 0,344} = 576,3$	$I_{\text{пр2}} = 167 * \frac{591,4}{660} = 150,5$

Вывод: данная сеть проходит по потере напряжения при пуске насоса 6-НК и вентилятора ВКРСм-12,5. Напряжения на зажимах составляют 510 и 576,3 В, что больше допустимой величины в 396 В.

2.6 Расчет приведенных длин кабелей

Данный расчет является подготовительным перед расчетом токов короткого замыкания. Суть расчета заключается в приведении всех кабелей разного сечения к виртуальной сети, где кабели имеют одного сечение равное 50 мм². Принимаемые параметры сопротивлений для данного сечения $x_{50} = 0,075$ Ом/км, величина активного сопротивления зависит от режима КЗ: для $I_K^{(3)}$ $r_{50} = 0,363$ (t=15°C) Ом/км, а для $I_K^{(2)}$ используется величина сопротивления при температуре жил 65°C, в данном случае $r_{50} = 0,423$ (t=65°C) Ом/км.

Приведенная длина кабеля определяется формулой:

$$l_{пр}^* = l_{ф} * K_{пр}, \quad (29)$$

где $l_{ф}$ — фактическая длина кабеля, км; $K_{пр}$ — коэффициент приведения кабеля к кабелю сечением 50 мм².

При расчетах токов к.з. в сети НН учитывается влияние сети ВН. Для этого длину кабельной сети ВН приводят к сети НН:

$$l_{(ВН-НН)}^* = \frac{\sum l_{ВН}^*}{K_T^2} \quad (30)$$

$\sum l_{ВН}^*$ — суммарная приведенная длина кабелей ВН от базовой расчетной точки, где определено $S_K^{(3)}$; K_T — коэффициент трансформации напряжения ($K_T = \frac{6000}{690} = 8,7$).

Таблица 2.6.1 – Расчет приведенных длин кабелей ВН и НН от базовой точки

Наименование кабеля	Сечение силовой жила $S_{ж}$, мм ²	Фактич еская длина l_i , км	$K_{пр}$	Приведенная длина кабеля	
				В сети ВН $l_{ВН}^*$	В сети НН $l_{НН}^*$
1	2	3	4	5	6
От ЦПП СБ-6	50	0,35	1	0,35	$l_{(ВН-НН)}^* = \frac{1,58}{8,7^2}$ $= 0,021$
СБ-6	25	0,24	1,97	0,47	
СБ-6	35	0,54	1,41	0,76	
Всего:				1,58	
Фидерный 1 от КТП	70	0,08	0,72	-	$l_{фк1}^* = 0,058$
Фидерный 2	50	0,2	1	-	$l_{фк2}^* = 0,2$
Фидерный 3	35	0,03	1,41	-	$l_{фк3}^* = 0,042$
От ВВ до АФВ-1	25	0,04	1,97	-	$l_{СБ}^* = 0,079$
От ВВ до ПВИ	35	0,18	1,41	-	$l_{к}^* = 0,254$
От ПВИ до ПВИ	35	0,1	1,41	-	$l_{к2}^* = 0,141$
От ПВИ до ПБС2Э	10	0,035	4,92	-	$l_{ПБС2Э}^* = 0,172$
От ПВИ до ЦНС-150	35	0,018	1,41	-	$l_{ЦНС}^* = 0,025$
От АФВ-1 до ПВИР	6	0,003	8,22	-	$l_{к3}^* = 0,025$
До ЛШГ-3	35	0,02	1,41	-	$l_{ЛШГ}^* = 0,028$
До АПШ-1	10	0,005	4,92	-	$l_{АПШ}^* = 0,025$
До НБ-125 ИЖ	35	0,008	1,41	-	$l_{НБ}^* = 0,011$
До 9МГр	50	0,026	1	-	$l_{9МГр}^* = 0,026$
До 6-НК	35	0,11	1,41	-	$l_{6-НК}^* = 0,155$
Фидерный 4	35	0,08	1,41	-	$l_{фк4}^* = 0,113$
До ВМЭВО	25	0,01	1,97	-	$l_{ВМЭВО}^* = 0,02$
Кабель в скважине	16	0,3	3,06	-	$l_{скв}^* = 0,918$
До ВКРСм	16	0,01	3,06	-	$l_{ВКРСм}^* = 0,031$
Автоматические выключатели и пускатели	50	0,015	1	-	$l_{АВ,П}^* = 0,015$

Вывод: в результате расчета были найдены приведенные длины кабелей и произведено приведение сети ВН к сети НН.

2.7 Расчет токов короткого замыкания

Цель данного расчета заключается в определении ожидаемых величин токов трех- и двухфазного короткого замыкания, которые могут возникнуть в участковой сети. При возникновении к.з. участковая сеть в целом или ее отдельные участки должны быть отключены максимально-токовой защитой,

т.к. данный режим является аварийным для сети. Расчет производится в именованных единицах.

Токи трехфазного к.з. необходимы выбора и проверки коммутационно-защитной аппаратуры, а так же необходимы для проверки сечений жил кабелей по условию термической стойкости.

При расчете тока $I_K^{(3)}$ учитывается, что к моменту к.з. напряжение в сети повышено, а проводники перед этим не были нагружены током и их температура не превышает температуру окружающей среды. Считается, что исходная температура жил кабелей составляет $+15^\circ\text{C}$, а температура обмоток питающих трансформаторов равна $+20^\circ\text{C}$.

Ток двухфазного к.з. является минимально-возможным током к.з. и является необходимым для проверки уставок максимально-токовой защиты по коэффициенту чувствительности.

При расчете тока $I_K^{(2)}$ учитывается, что к моменту к.з. напряжение в сети снижено, жилы кабеля нагреты предварительным током нагрузки до предельной температуры $+65^\circ\text{C}$, а температура обмоток питающих трансформаторов – до $+150^\circ\text{C}$.

Сопротивление энергосистемы находится по формуле:

$$X_{c(\text{ВН})} = \frac{U_{\text{ВН.НОМ}}^2}{S_K^{(3)}} = \frac{6300^2}{50 * 10^6} = 0,794 \text{ Ом}, \quad (31)$$

где $U_{\text{ВН.НОМ}}$ – номинальное напряжение на шинах ГПП, равное 6300 В; $S_K^{(3)}$ – мощность короткого замыкания на ЦПП, равна 50 МВА.

Для расчета потребуется сопротивление системы ВН, приведенное к сети НН:

$$X_c^* = \frac{X_{c(\text{ВН})}}{K_T^2} = \frac{0,794}{8,7^2} = 0,0105 \text{ Ом}. \quad (32)$$

Величины токов к.з. в сетях напряжением 6 кВ определяются по формулам:

При трехфазном к.з.:

$$I_{\text{к(ВН)}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ном(ВН)}}}{\sqrt{3} * Z_{\text{к(ВН)}}^{(3)}}, \text{ А}; \quad (33)$$

При двухфазном к.з.:

$$I_{\text{к(ВН)}}^{(2)} = \frac{U_{\text{ном(ВН)}}}{2 * Z_{\text{к(ВН)}}^{(2)}}, \text{ А}; \quad (34)$$

где $U_{\text{ном(ВН)}}$ – номинальное напряжение на шинах ГПП, равное 6300 В;

$Z_{\text{к(ВН)}}$ – полное сопротивление фаз цепей ВН при трех- и двухфазном к.з., Ом.

Сопротивления фаз цепей ВН определяются по формулам:

Для трехфазного к.з. при температуре жил кабелей +15°C:

$$Z_{\text{к(ВН)}}^{(3)} = \sqrt{(X_{\text{с(ВН)}} + 0,075 * l_{\text{ВН}}^*)^2 + (0,363 * l_{\text{ВН}}^*)^2}, \text{ Ом}. \quad (35)$$

Для двухфазного к.з. с учетом нагрева жил кабелей до +65°C:

$$Z_{\text{к(ВН)}}^{(2)} = \sqrt{(X_{\text{с(ВН)}} + 0,075 * l_{\text{ВН}}^*)^2 + (0,423 * l_{\text{ВН}}^*)^2}, \text{ Ом}. \quad (36)$$

Токи к.з. в сетях НН определяются с учетом возможно колебания питающего напряжения в пределах от 0,95 до 1,05 от номинального напряжения трансформатора $U_{\text{ном.тр}}=690\text{В}$.

Для трехфазного к.з.:

$$I_{\text{к}}^{(3)} = \frac{1,05 * U_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} * z_{\text{к}}^{(3)}}, \text{А}; \quad (37)$$

Для двухфазного к.з.:

$$I_{\text{к}}^{(2)} = \frac{0,95 * U_{\text{ном.тр}}}{2 * z_{\text{к}}^{(2)}}, \text{А}; \quad (38)$$

где $z_{\text{к}}$ – сопротивление цепи к.з. в сети НН, Ом.

Сопротивление цепей в сетях напряжением 660 В определяются с учетом влияния сети напряжением 6 кВ по формулам:

Для трехфазного к.з. при температуре жил кабелей +15°C и обмотки трансформатора +20°C:

$$z_{\text{к}}^{(3)} = \sqrt{(X_{\text{с}}^* + X_{\text{тр}} + 0,075 * L^*)^2 + (R_{\text{тр}} + 0,363 * L^*)^2}, \text{Ом.}$$

Для двухфазного к.з. с учетом нагрева жил кабелей до +65°C и обмотки трансформатора до +150°C:

$$z_{\text{к}}^{(2)} = \sqrt{(X_{\text{с}}^* + X_{\text{тр}} + 0,075 * L^*)^2 + (1,5R_{\text{тр}} + 0,423 * L^*)^2}, \text{Ом,}$$

где L^* – общая приведенная к НН длина кабелей ВН и НН от базовой точки до точки к.з., км;

$X_{\text{тр}}, R_{\text{тр}}$ – индуктивное и активное сопротивление обмоток трансформатора, Ом.

1,5 – коэффициент, учитывающий увеличение активного сопротивления обмоток трансформатора при нагреве от +20 до +150°C.

Расчетные значения сопротивлений представлены в таблице 2.7.1 (суммарные значения приведенных длин линий см. в таблице 2.7.2). Расчет токов короткого замыкания представлен в таблице 2.7.2.

Вывод: в результате расчета были определены расчетные величины токов короткого замыкания, необходимые в дальнейших расчетах.

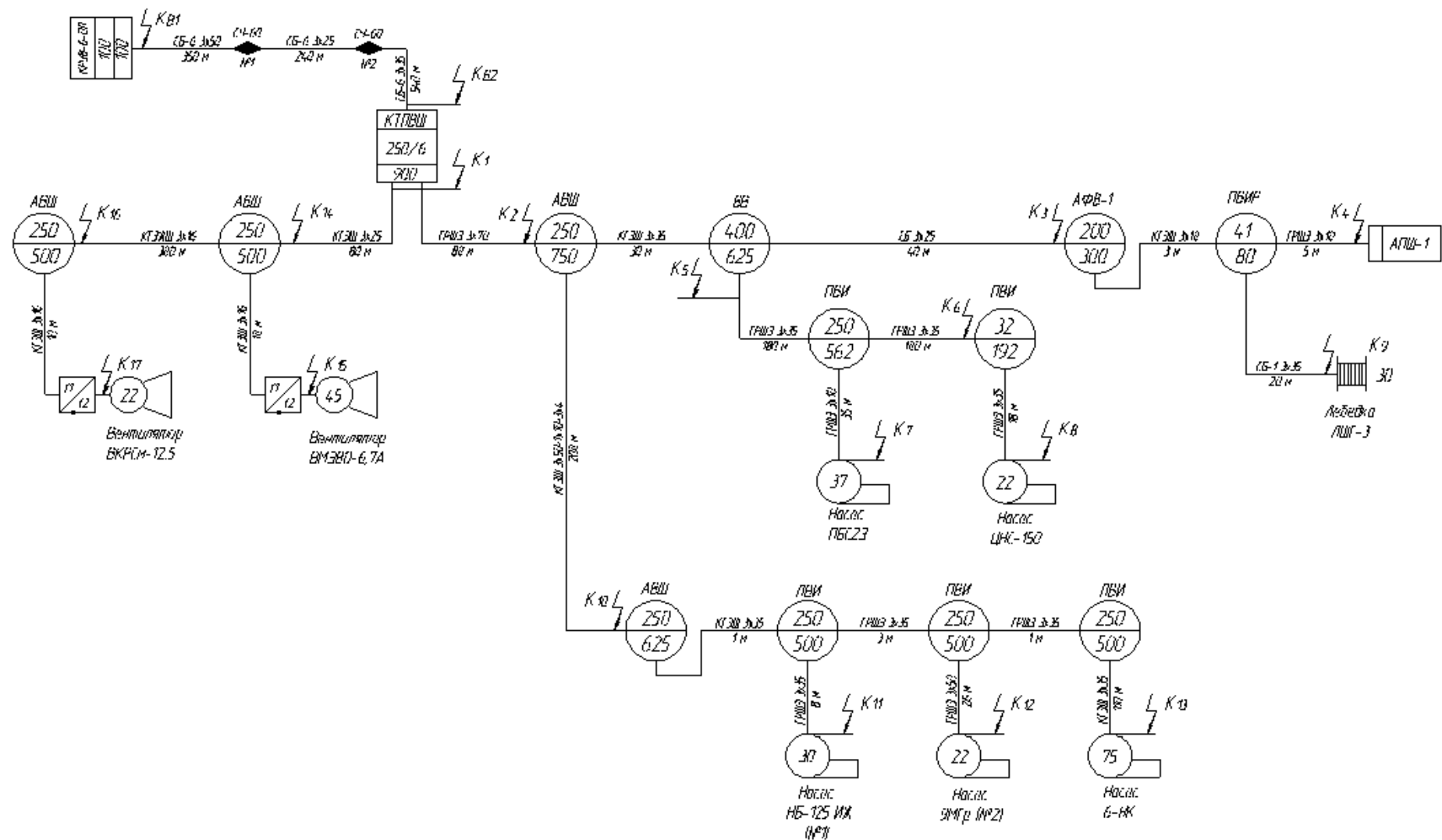


Рисунок 2.7.1 – Расчетная схема к расчету токов короткого замыкания

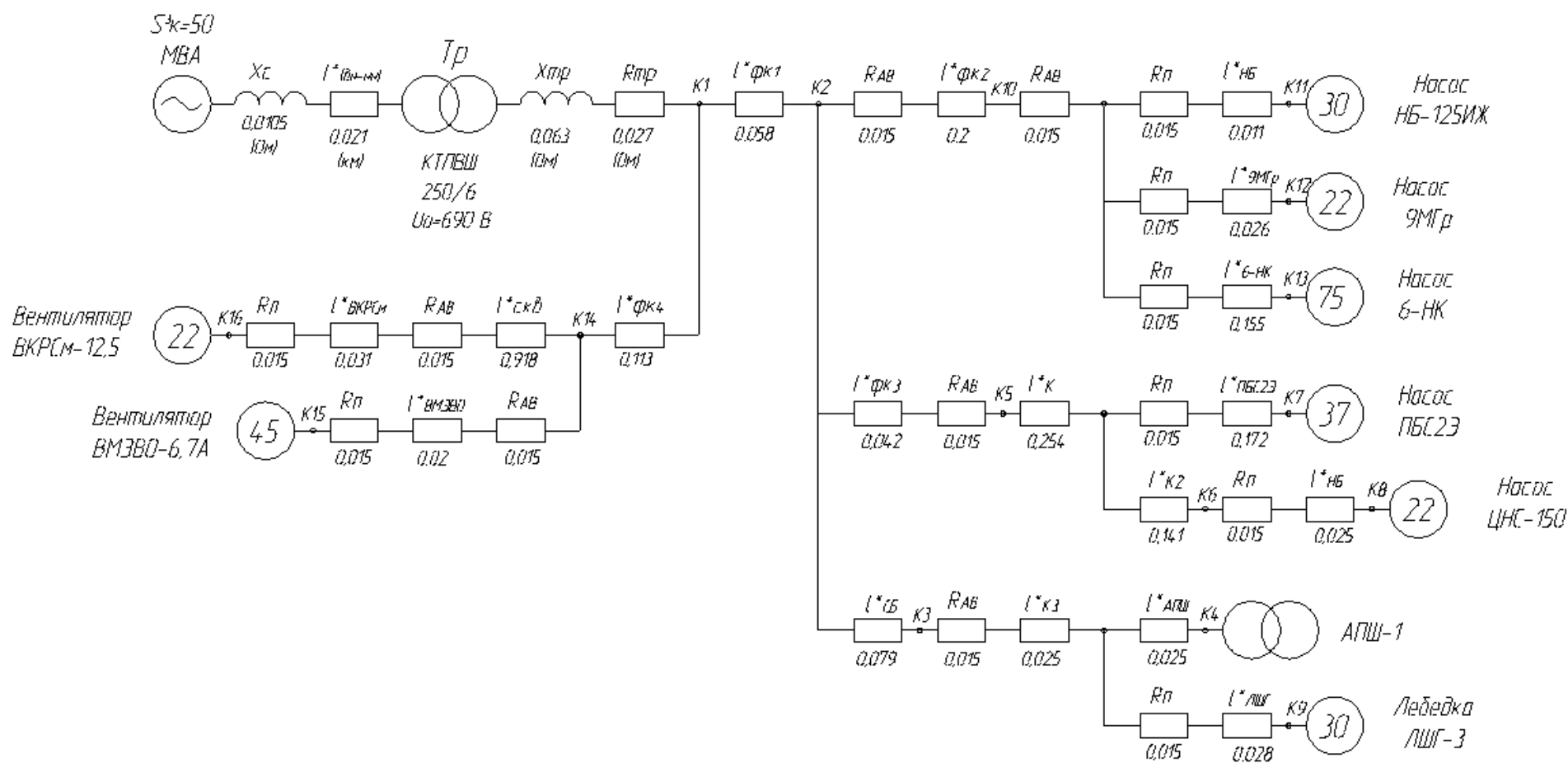


Рисунок 2.7.2 – Схема замещения к расчету токов короткого замыкания

Таблица 2.7.1 – Расчетные значения сопротивлений

Расчетная точка к.з.	Полное сопротивление цепи к.з, Ом	
	$Z_K^{(3)}$	$Z_K^{(2)}$
K_{B1}	$\sqrt{(0,794 + 0,075 * 0)^2 + (0,363 * 0)^2} = 0,794$	$\sqrt{(0,794 + 0,075 * 0)^2 + (0,423 * 0)^2} = 0,794$
K_{B2}	$\sqrt{(0,794 + 0,075 * 0,54)^2 + (0,363 * 0,54)^2} = 1,079$	$\sqrt{(0,794 + 0,075 * 0,54)^2 + (0,423 * 0,54)^2} = 1,132$
K_1	$\sqrt{(0,0105 + 0,063 + 0 * 0,021)^2 + (0,027 + 0 * 0,021)^2} = 0,083$	$\sqrt{(0,0105 + 0,063 + 0 * 0,0205)^2 + (1,5 * 0,027 + 0 * 0,0205)^2} = 0,09$
K_2	0,097	0,108
K_3	0,133	0,153
K_4	0,155	0,179
K_5	0,113	0,129
K_6	0,247	0,288
K_7	0,258	0,301
K_8	0,262	0,305
K_9	0,161	0,186
K_{10}	0,164	0,191
K_{11}	0,178	0,207
K_{12}	0,184	0,213
K_{13}	0,229	0,267
K_{14}	0,113	0,128
K_{15}	0,128	0,147
K_{16}	0,436	0,509
K_{17}	0,459	0,535

Таблица 2.7.2 – Расчетные значения сопротивлений и токов короткого замыкания

Расчетная точка к.з.	Суммарная приведенная длина кабелей от базовой точки до точки к.з. $l_{\text{ВН}}^*$ и L^* , км	Полное сопротивление цепи к.з., Ом		Токи к.з., А	
		$Z_{\text{к}}^{(3)}$	$Z_{\text{к}}^{(2)}$	$I_{\text{к}}^{(3)}$	$I_{\text{к}}^{(2)}$
1	2	3	4	5	6
$K_{\text{В1}}$	$l_{K_{\text{В1}}}^* = 0$	0,794	0,794	$\frac{6300}{\sqrt{3} * 0,794} = 4580,99$	$\frac{6300}{2 * 0,794} = 3967,25$
$K_{\text{В2}}$	$l_{K_{\text{В2}}}^* = 1,584$	1,079	1,132	$\frac{6300}{\sqrt{3} * 1,079} = 3371,61$	$\frac{6300}{2 * 1,132} = 2781,9$
K_1	$L_{K_1}^* = l_{(\text{ВН}-\text{НН})}^* = 0,021$	0,083	0,09	$\frac{1,05 * 690}{\sqrt{3} * 0,083} = 5059,5$	$\frac{0,95 * 690}{2 * 0,09} = 3647,31$
K_2	$L_{K_2}^* = L_{K_1}^* + l_{\phi K_1}^* = 0,021 + 0,058 = 0,079$	0,097	0,108	$\frac{1,05 * 690}{\sqrt{3} * 0,097} = 4312,44$	$\frac{0,95 * 690}{2 * 0,108} = 3020,76$
K_3	$L_{K_3}^* = L_{K_2}^* + l_{\phi K_3}^* + l_{\text{СБ}}^* = 0,079 + 0,042 + 0,079 = 0,2$	0,133	0,153	3139,418	2138,813
K_4	$L_{K_4}^* = L_{K_3}^* + l_{\text{АВ}}^* + l_{\text{АПШ}}^* = 0,265$	0,155	0,179	2705,927	1832,060
K_5	$L_{K_5}^* = L_{K_2}^* + l_{\phi K_3}^* + l_{\text{АВ}}^* = 0,136$	0,113	0,129	3691,757	2542,671
K_6	$L_{K_6}^* = L_{K_5}^* + l_{\text{К}}^* + l_{K_2}^* = 0,531$	0,247	0,288	1691,752	1136,764
K_7	$L_{K_7}^* = L_{K_5}^* + l_{\text{К}}^* + l_{\text{П}}^* + l_{\text{ПБС2Э}}^* = 0,562$	0,258	0,301	1619,157	1087,769
K_8	$L_{K_8}^* = L_{K_6}^* + l_{\text{П}}^* + l_{\text{ЦНС}}^* = 0,571$	0,262	0,305	1599,193	1074,307
K_9	$L_{K_9}^* = L_{K_3}^{*'} + l_{K_3}^* + l_{\text{П}}^* + l_{\text{ЛШГ}}^* = 0,283$	0,161	0,186	2604,038	1760,984

Продолжение таблицы 2.7.2

1	2	3	4	5	6
K_{10}	$L_{K10}^* = L_{K2}^* + l_{AB}^* + l_{\Phi K2}^* = 0,294$	0,164	0,191	2545,097	1720,021
K_{11}	$L_{K11}^* = L_{K10}^* + l_{AB}^* + l_{\Pi}^* + l_{HB}^* = 0,335$	0,178	0,207	2345,274	1581,921
K_{12}	$L_{K12}^* = L_{K10}^* + l_{AB}^* + l_{\Pi}^* + l_{9M\Gamma p}^* = 0,35$	0,184	0,213	2279,199	1536,496
K_{13}	$L_{K13}^* = L_{K10}^* + l_{AB}^* + l_{\Pi}^* + l_{6-HK}^* = 0,479$	0,229	0,267	1828,612	1229,334
K_{14}	$L_{K14}^* = L_{K1}^* + l_{\Phi K4}^* = 0,134$	0,113	0,128	3711,388	2557,353
K_{15}	$L_{K15}^* = L_{K14}^* + l_{AB}^* + l_{BM\Delta BO}^* + l_{\Pi}^* = 0,184$	0,128	0,147	3264,484	2228,831
K_{16}	$L_{K16}^* = L_{K14}^* + l_{CKB}^* = 1,052$	0,436	0,509	958,602	644,095
K_{17}	$L_{K17}^* = L_{K16}^* + l_{AB}^* + l_{BKPCM}^* + l_{\Pi}^* = 1,130$	0,459	0,535	911,876	612,785

2.8 Проверка сечений жил кабелей по условию термической стойкости

Данная проверка производится для кабелей сечением до 35 мм² включительно. Для каждого кабеля рассчитывается коэффициент его загрузки и находится предельный допустимый ток для этого кабеля. В результате расчета предельный допустимый ток должен быть больше, чем ток трехфазного к.з. $I_{к.пр} \geq I_k^{(3)}$.

$$I_{к.пр} = \frac{K_3 * C * S_{ж}}{\sqrt{t_{пр}}}, \text{ А}; \quad (39)$$

где K_3 – коэффициент, учитывающий загрузку кабеля до момента к.з. и температуру окружающей среды v_0 ; C – коэффициент, учитывающий начальную и конечную температуру нагрева кабеля, $\text{А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$ [14]; $t_{пр}$ – приведенное время отключения тока к.з. защитно-коммутационным аппаратом, с.

$$K_3 = 1 + 0,005(v_{дл} - v_0)(1 - \beta^2), \quad (40)$$

где $v_{дл}$ – нормированная температура жилы, °С; v_0 – температура окружающей среды, °С;

β – коэффициент загрузки кабеля.

$$\beta = \frac{I_{р.к}}{K_v * I_{дл.доп}}, \quad (41)$$

где K_v – поправочный коэффициент, учитывающий фактическое значение температуры окружающей среды (+20°С было принято самостоятельно) [14].

Приведенное время отключения $t_{пр}$ для быстродействующих автоматических выключателей серии АВ составляет 0,05 с [14].

Выполним проверку кабеля СБ-6 3х25 от ЦПП до КТП, $I_k^{(3)}$ на ЦПП равен 4581 А, $I_{к.пр}^{(3)}=8,75$ кА по данным [14], следовательно кабель проходит.

Для кабелей сечением 10 мм² $I_{к.пр}^{(3)} = 4,9$ кА, расчетные токи КЗ меньше данной величины.

Для кабелей сечением 16 мм², $I_{к.пр}^{(3)} = 7,84$ кА, ток $I_{к14}^{(3)} = 3711,4$ А, делаем вывод, что кабель питающий вентилятор ВКРСм-12,5 проходит по условию термической стойкости.

Для кабелей сечением 25 мм², $I_{к.пр}^{(3)} = 12,2$ кА, расчетные токи КЗ меньше данной величины, делаем вывод, что фидерный кабель 4 проходит по условию термической стойкости.

Для кабелей сечением 35 мм², $I_{к.пр}^{(3)} = 17,2$ кА, все кабели проходят данную проверку, т.к. расчетные значения токов $I_k^{(3)}$ не превышают 6189 А.

Вывод: в результате проверки по условию термической стойкости все кабели прошли проверку.

2.9 Выбор и проверка коммутационно-защитных аппаратов

По заданию выбору подлежат: автоматические выключатели и пускатели для нового подключаемого оборудования. Выбор осуществляется по номинальному напряжению электроустановки $U_{ном}$, номинальному току $I_{ном}$, а так же по отключающей способности.

На участке должна быть обеспечена защита от токов утечки и предварительного контроля сопротивления изоляции.

Выбор автоматических выключателей

По сколько основными коммутационными аппаратами на предприятии являются выключатели серии АВШ, выбираем такие же автоматические выключатели с целью унифицирования оборудования.

Номинальный ток автоматического выключателя:

$$I_{\text{ном.АВ}} \geq I_{\text{р.(ф.кз)}}.$$

По справочным данным [14] и сайта завода изготовителя НПП «Точприбор» [17] выбираем автоматические выключатели:

Выбираем автоматический выключатель серии АВШ-250. $I_{\text{ном}}=250$ А, тип встроенного автоматического выключателя АЗ742У, тип максимальной токовой защиты (МТЗ) – ПМЗ.

$$250 > 75,4$$

Предельная отключающая способность $I_{\text{о.пр}} \geq 1,2 * I_{\text{к}}^{(3)}$

где $I_{\text{к}}^{(3)}$ – ток к.з. на зажимах выключателя, А.

$$I_{\text{о.пр}} \geq 1,2 * 3711,4 =$$

$$20000 > 4453,68$$

Выключатель проходит проверку по отключающей способности.

Для вентилятора ВКРСм-12,5 выбираем аналогичный выключатель. Проверку данного выключателя можно не производить, т.к. расчетные значения токов КЗ будут меньше, чем для точки К14 $I_{\text{к14}}^{(3)} = 3711,4$ А.

Выбор магнитных пускателей

Магнитные пускатели выбору не подлежат, т.к. они установлены в преобразователях частоты заводом изготовителем. Результаты выбора оборудования представлены в таблице 2.9.1.

Таблица 2.9.1 – Выбор защитно-коммутационных аппаратов

Наименование электроприемника	Расчетная нагрузка $I_{p.i}, A$	Ток к.з. в месте подключения аппарата $I_K^{(3)}, A$	Данные электро-коммутационных аппаратов		
			Тип	$I_{ном}, A$	$I_{о.пр}, A$
Вентилятор ВМЭВО-6,7А	$I_{p(фк4)} = 75,4$	$I_{K14}^{(3)} = 3711,4$	АВШ-250	250	18000
Вентилятор ВКРСм-12,5	$I_{p(скв)} = 27,8$	$I_{K16}^{(3)} = 958,6$	АВШ-250	250	18000

Вывод: в результате выбора коммутационной аппаратуры, были выбраны и проверены коммутационно-защитные аппараты.

2.10 Выбор и проверка уставок максимально-токовой защиты

При защите ответвлений к электродвигателям ток уставки МТЗ выбирается по условиям:

- 1) Уставка должна быть отстроена от наиболее тяжелого пуска

$$I_y \geq K_n I_{п.р} + \sum I_p, \quad (42)$$

где K_n – коэффициент надежности, принимается равным 1,25;

$I_{п.р}$ – расчетный пусковой ток электродвигателя, А;

$\sum I_p$ – сумма токов от приводов, работающих на момент пуска, А.

Для одиночных потребителей уставка может быть определена:

$$I_y \geq K_n I_{п.ном},$$

где $I_{п.ном}$ – номинальный пусковой ток потребителя, А.

- 2) Уставка должна быть выбрана исходя из условий селективности.

Значение вышестоящей уставки должно быть на 20% больше, чем у нижестоящей.

- 3) Окончательному выбору подлежит уставка по шкале аппарата, ближайшая большая к расчетной.

Расчет и предварительный выбор уставок представлены в таблице 2.10.1.

Выбранные уставки срабатывания МТЗ автоматов и пускателей проверяются по условию надежного отключения минимального тока двухфазного к.з. по величине коэффициента чувствительности:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к}}^{(2)}}{I_{\text{y}}} \quad (43)$$

Следует учитывать, что при отказе действия основной МТЗ, должна работать защита последующего аппарата, т.е. обеспечиваться резервирование защиты.

Коэффициент чувствительности $K_{\text{ч}}$ должен быть не менее 1,5 – для основной и 1,25 – для резервной зоны защиты. В отдельных случаях, для магистралей и ответвлений, выполненных бронированными или экранированными кабелями, допускается снижение коэффициента чувствительности до 1,25 и для основной защиты. Это обусловлено тем, что при двухфазных к.з. неизбежно произойдет замыкание на экран кабеля, в результате чего сработает реле утечки и произойдет отключение коммутационно-защитного аппарата.

Результат проверки уставок МТЗ представлен в таблице 2.10.2.

Таблица 2.10.1 – Предварительный выбор уставок МТЗ

Наименование электроприемника	Пусковые токи двигателей $I_{\text{п.ном}}, I_{\text{п.р}}, \text{А}$	Определение уставки МТЗ по условию пуска двигателя $I_{\text{y}} \geq 1,25 I_{\text{п.р}}, \text{А}$	Предварительный выбор уставки МТЗ $I_{\text{y}}, \text{А}$
Вентилятор ВМЭВО-6,7А	$I_{\text{п.н}} = 47,6 * 7 = 333,2$	$I_{\text{y(п)}} \geq 1,25 * 333,2 = 416,5$	312
Вентилятор ВКРСм-12,5	$I_{\text{п.н}} = 172,36$	$I_{\text{y(п)}} \geq 1,25 * 167 = 215,45$	218

В результате проверки уставок защит, выяснилось, что не обеспечивается необходимый коэффициент чувствительности, в результате этого необходимо увеличить сечение кабеля КГЭЖШ до 35 мм² и кабеля, питающего вентиляторы до 50 мм², с целью увеличения токов КЗ и

установить дополнительный автоматический выключатель. Новые значения токов КЗ указаны со знаком “ ’ ”.

Вывод: в результате расчета были проверены и выбраны окончательные уставки для МТЗ, а так же необходимые меры для достижения требуемого коэффициента чувствительности.

Таблица 2.10.2 – Проверка уставок МТЗ и окончательно принимаемая уставка

Наименование электроприемника	Ток к.з. $I_K^{(2)}$ в зонах действия защиты, А		Коэффициент чувствительности МТЗ по току $I_K^{(2)}$ в зонах К _ч		Окончательная принятая уставка I_y , А
	Основной	Резервный	основной	резервный	
1	2	3	4	5	6
Ячейка ЦПП КРУВ-6-ОП	$I_{KB2}^{(2)} = 3371,6$	$I_{K14}^{(2)} = 2967$	$\frac{2782}{100} = 27,8$	$\frac{2967}{\sqrt{3} * 8,7 * 100} = 1,97$	$I_{y.я} = 100$
Автоматический выключатель в КТП	$I_{K16}^{(2)} = 644,1$	$I_{K17}^{(2)} = 612,8$	$\frac{644,1}{900} = 0,71$	$\frac{612,8}{900} = 0,68$	$I_{y(кТП1)} = 900$
	$I_{K14}^{(2)'} = 2820,9$	$I_{K16}^{(2)'} = 1148,42$	$\frac{2820,9}{900} = 3,1$	$\frac{1148,42}{900} = 1,28$	
Автоматический выключатель АВШ-1	$I_{K10}^{(2)} = 1720$	$I_{K10}^{(2)} = 1720$	$\frac{1720}{750} = 2,3$	$\frac{1720}{750} = 2,3$	$I_{y(AB1)} = 750$
Автоматический выключатель гр. насосов АВШ-2	$I_{K10}^{(2)} = 1720$	$I_{K13}^{(2)} = 1229$	$\frac{2092}{625} = 3,3$	$\frac{1402}{625} = 2,24$	$I_{y(AB2)} = 625$
Автоматический выключатель насосов (ПБС2Э и ЦНС-150)	$I_{K6}^{(2)} = 1136,8$	$I_{K8}^{(2)} = 1074$	$\frac{1136,7}{625} = 1,8$	$\frac{1074}{625} = 1,72$	$I_{y(ВВ)} = 625$
Автоматический выключатель АФВ-1	$I_{K4}^{(2)} = 1832$	$I_{K9}^{(2)} = 1761$	$\frac{1832}{300} = 6,1$	$\frac{1761}{300} = 5,87$	$I_{y(АФВ)} = 300$
Автоматический выключатель АВШ-3	$I_{K15}^{(2)'} = 2437$	$I_{K15}^{(2)'} = 2437$	$\frac{2437}{500} = 4,9$	$\frac{2437}{500} = 4,9$	$I_{y(AB3)} = 500$
Автоматический выключатель АВШ-4	$I_{K17}^{(2)'} = 1054$	$I_{K17}^{(2)'} = 1054$	$\frac{1054}{500} = 2,1$	$\frac{1054}{500} = 2,1$	$I_{y(AB4)} = 500$
Пускатель ЛШГ-3	$I_{K9}^{(2)} = 1760$	—	$\frac{1760}{80} = 22$	—	$I_{y(ПВИР)} = 80$
Дополнительный АВ	$I_{K16}^{(2)'} = 1148,42$	$I_{K17}^{(2)'} = 1054$	$\frac{1148,42}{625} = 1,84$	$\frac{1054}{625} = 1,69$	$I_{y(AB)} = 625$

Продолжение таблицы 2.10.2

1	2	3	4	5	6
Пускатель ПБС2Э	$I_{K7}^{(2)} = 1087$	—	$\frac{1087}{500} = 2,17$	—	$I_{y(ПВИ)} = 500$
Пускатель ЦНС-150	$I_{K8}^{(2)} = 1074$	—	$\frac{1074}{192} = 5,6$	—	$I_{y(ПВИ)} = 192$
Пускатель НБ-125ИЖ	$I_{K11}^{(2)} = 1582$	—	$\frac{1582}{500} = 3,2$	—	$I_{y(ПВИ)} = 500$
Пускатель 9МГр	$I_{K12}^{(2)} = 1536,5$	—	$\frac{1536,5}{500} = 3,1$	—	$I_{y(ПВИ)} = 500$
Пускатель 6-НК	$I_{K13}^{(2)} = 1229$	—	$\frac{1229}{500} = 2,4$	—	$I_{y(ПВИ)} = 500$
Пускатель ВМЭВО-6,7А	$I_{K15}^{(2)} = 2437$	—	$\frac{2437}{312} = 7,8$	—	$I_{y(ПВИ)} = 312$
Пускатель ВКРСм-12,5	$I_{K17}^{(2)'} = 1054$	—	$\frac{1054}{218} = 4,8$	—	$I_{y(ПВИ)} = 218$

Глава 3 Выбор вентиляторов для технологического процесса раздельного проветривания уклонных блоков

3.1 Оценка требуемых показателей расхода воздуха для технологического процесса раздельного проветривания уклонных блоков Нефтешахты №1

Как отмечалось в пункте 1.2, на данный момент существует проблема повышенных температур в выработках нефтешахт, для решения этой проблемы была предложена новая схема проветривания уклонных блоков. Данная схема предусматривает установку двух вентиляторов: поверхностного и ВМП.

Для определения требуемых объемов воздуха, подаваемых ВМП через перемычку, необходимо учитывать множество факторов, т.к. этого объема воздуха должно быть достаточно для проветривания исходящих выработок, которые проветривались за счет действия общешахтной депрессии. По данным депрессионной съемки, полученным на предприятии ООО «ЛУКОЙЛ-Коми», примем за необходимый объем воздуха, для проветривания исходящих выработок, равным $10 \text{ м}^3/\text{с}$. Данный объем воздуха был достаточным для проветривания исходящих выработок Нефтешахты №1, но не достаточен, для проветривания буровой галереи. Выбор ВМП будет осуществлен для данной производительности, т.к. на данный момент не предоставляется возможным определить требуемый объем воздуха для проветривания исходящих выработок, поскольку нет данных о количестве людей, которые могут находиться в выработках, буровзрывных работах и других факторов.

Необходимый объем воздуха для проветривания буровой галереи уклонного блока представлен в [1] и упоминался в пункте 1.5. Объем воздуха, определенный по формуле (1).

3.2 Выбор вентилятора местного проветривания

Выбор ВМП будет осуществляться по методике, изложенной в [5]. Расчет будет производиться для труб воздуховода типа МУ (матерчатые усиленные). Предпочтение для данных труб стоит отдать в виду их легкости, быстроты монтажа и наличии на предприятии данных труб.

Необходимое давление, теряемое вентилятором в трубопроводе, определим по формуле:

$$h_B = R_{\text{тр}} \frac{Q_B^2}{k_{\text{ут}}}, \quad (44)$$

где Q_B – расчетная производительность вентилятора, которая равна:

$$Q_B = k_{\text{ут}} * Q_3. \quad (45)$$

При использовании гибких трубопроводов типа МУ, коэффициент утечки определяется по формуле:

$$k_{\text{ут}} = 1,0284 + 0,000523L_p.$$

Расчетная длина трубопровода L_p определяется по формуле:

$$L_p = L_{\text{тр}} + \sum L_{\text{экв}}. \quad (46)$$

где $L_{\text{экв}} = 20 * d$ при повороте трубопровода на угол 90° ; $L_{\text{тр}}$ – требуемая длина трубопровода, принимаемая равной 15 м.

Т.к. у нас присутствует один поворот на 90° при диаметре трубопровода равном 0,6 м, получаем:

$$L_{\text{экв}} = 20 * 0,6 = 12 \text{ м.}$$

$$L_p = 15 + 12 = 27 \text{ м.}$$

$$k_{yt} = 1,0284 + 0,000523 * 27 = 1,042521$$

Расчетная производительность вентилятора будет равна:

$$Q_v = 1,042521 * 10 = 10,42 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Сопротивление трубопровода определим методом интерполирования по данным [5]. В результате, сопротивление трубопровода при длине 27 м будет равно:

$$R_{тр} = \frac{27 * 2}{50} = 1,08 \text{ даПа} * \text{с}^2/\text{м}^6.$$

Давление, которое необходимо развить вентилятору будет равно:

$$h_v = 1,08 * \frac{10,42^2}{1,042521} = 112,5 \text{ даПа}.$$

По данным завода изготовителя [9], выбираем вентилятор, характеристики которого наиболее близко находятся к расчетному режиму. В результате для требуемых целей выбираем вентилятор ВМЭВО-6,7А. На рисунке 3.2.1 представлены аэродинамические характеристики ВМП и характеристика трубопровода.

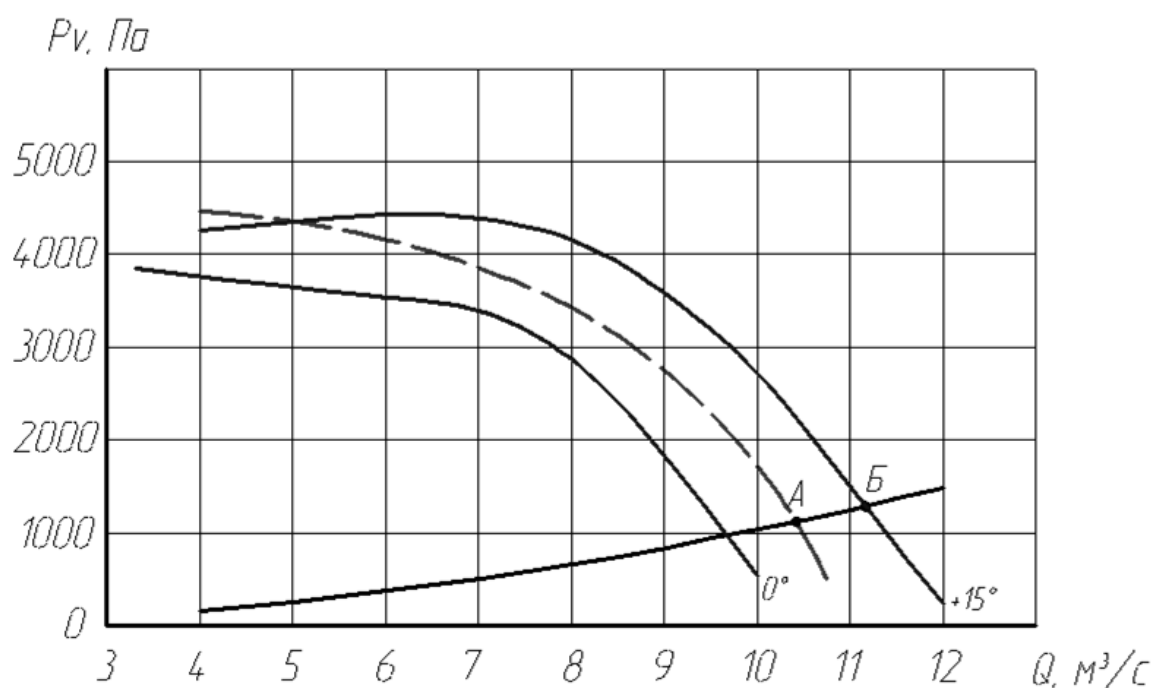


Рисунок 3.2.1 – Аэродинамические характеристики вентилятора ВМЭВО-6,7А

точка А – расчетный режим; Б – фактический режим работы на сеть.

Пунктиром обозначена характеристика вентилятора при применении частотного регулирования

В результате выбора вентилятора фактический режим работы вентилятора будет соответствовать параметрам: $Q_B = 11,2 \text{ м}^3/\text{с}$, $h_B = 128,7$ даПа (точка Б). Однако за счет применения частотного преобразователя, можно добиться, чтобы фактический режим работы ВМП соответствовал расчетному, это позволит сократить затраты электроэнергии на проветривание.

3.3 Выбор поверхностного вентилятора

В пункте 1.5 уже были определены требуемые параметры объема воздуха и аэродинамическое сопротивление выработок, в результате чего расчетный режим для поверхностного вентилятора будет соответствовать данным $Q_B = 20,5 \text{ м}^3/\text{с}$, $h_B = 27,34$ даПа. По каталожным данным

общепромышленных вентиляторов [10], наиболее близко к расчетному режиму находится вентилятор ВКРСм-12,5. Аэродинамические характеристики вентилятора представлены на рисунке 3.3.1.

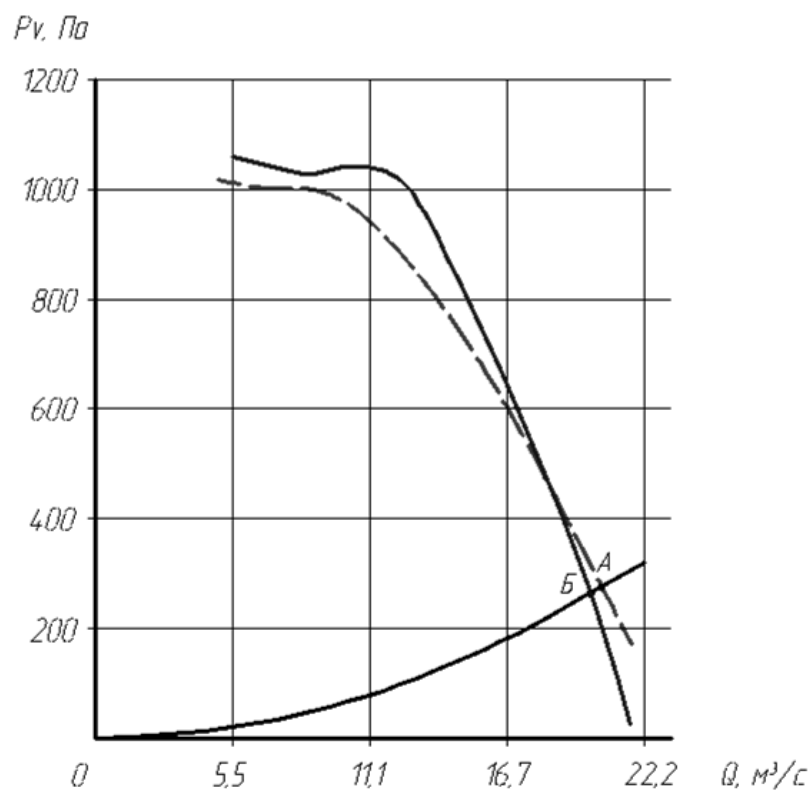


Рисунок 3.3.1 – Аэродинамические характеристики вентилятора ВКРСм-12,5 точка А – расчетный режим; Б – фактический режим. Пунктиром обозначена характеристика вентилятора при применении частотного регулирования.

Как видно из рисунка 3.3.1, данная модель вентилятора не обеспечит требуемые параметры производительности, однако, с учетом действия естественной тяги и применения частотного регулирования данный вентилятор выйдет на требуемые параметры. Так же, по спецзаказу для предприятий, производящих вентиляторы, возможно, получить вентилятор, требуемый по условиям технологического процесса.

В результате выбора вентиляторов, были определены их марки, которые будут соответствовать требованиям технологического процесса и в результате создадут благоприятные санитарно-гигиенические условия для подземных горнорабочих.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения дипломного проекта были получены результаты, которые показывают эффективность данной системы раздельного проветривания уклонных блоков нефтяных шахт, на примере Нефтешахты №1.

Стоит отметить, что за счет снижения температуры воздуха в исходящих выработках, снизится количество несчастных случаев, связанных с перегревом рабочих.

Получилось решить все поставленные задачи проекта, а именно:

1. Описать технологический процесс проветривания Нефтешахты №1;
2. Разработать систему электроснабжения уклонного блока Нефтешахты;
3. Выбрать и проверить оборудование для технологического процесса раздельного проветривания уклонных блоков.
4. Выполнить оценку выбранных показателей;

В результате расчета были проверены и выбраны кабели и коммутационно-защитная аппаратура, а также выбраны окончательные уставки для МТЗ, и необходимые меры для достижения требуемого коэффициента чувствительности.

Данная система позволит экономить на затратах электроэнергии на ГВУ до 37%, но для более точных данных нужно проводить более глубокие исследования в данной области.

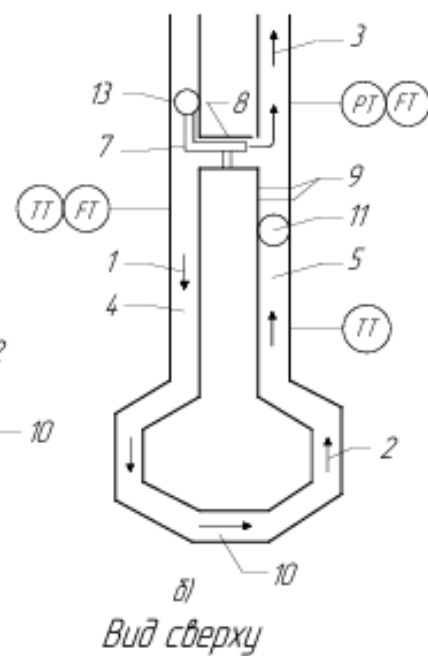
Так же система позволит добиться требуемых санитарно-гигиенических норм для нормальной работы подземных горнорабочих, благодаря правильно подобранным вентилятором.

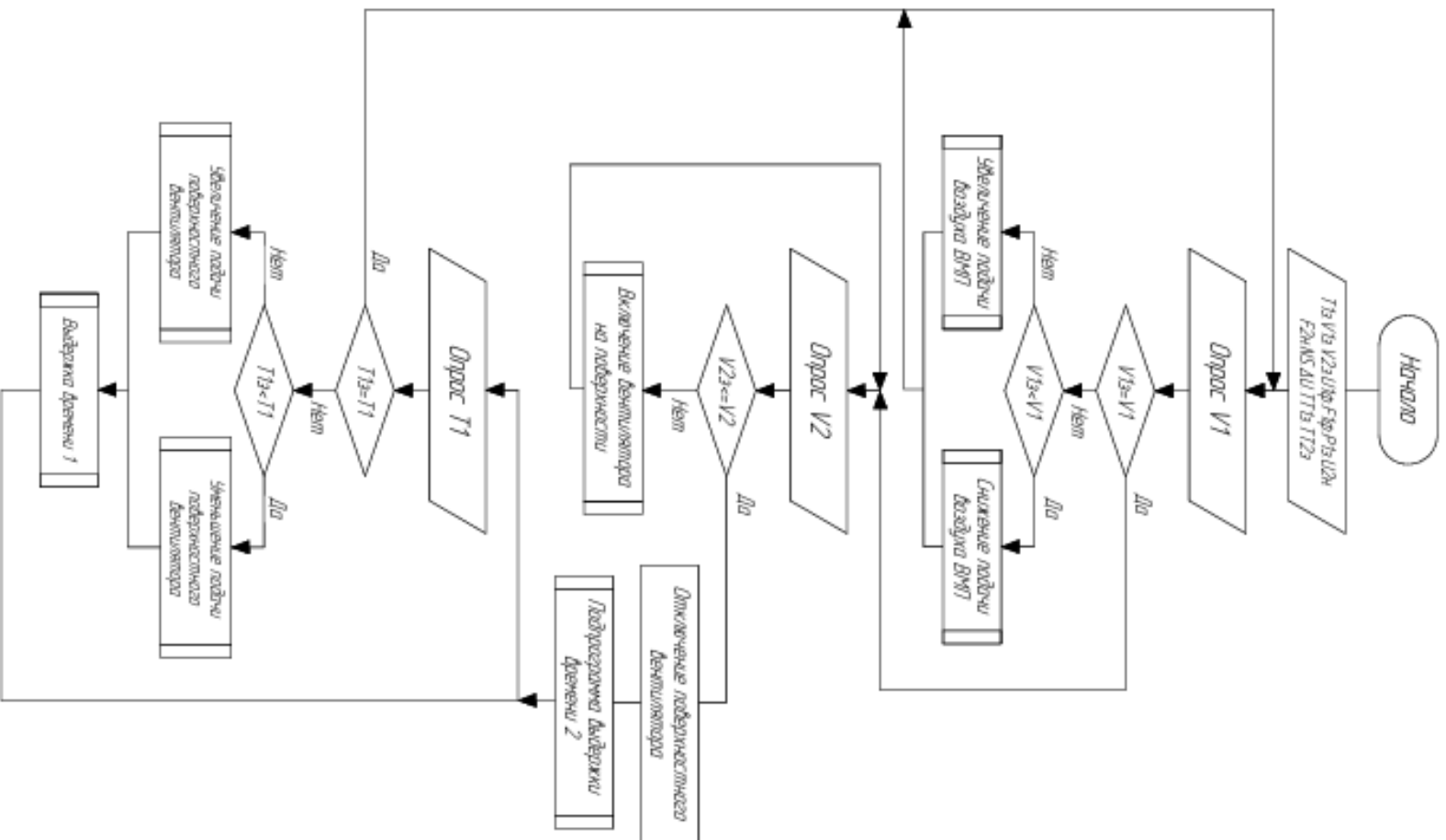
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Коноплев Ю.П., Буслаев В.Ф. и др. «Термошахтная разработка нефтяных месторождений», М.: «Недра-Бизнесцентр», 2006.
2. Правила безопасности при разработке нефтяных месторождений шахтным способом, 1986. 250 с.
3. Николаев А.В. Способ проветривания уклонных блоков нефтешахт, повышающий энергоэффективность подземной добычи нефти/ А.В. Николаев // Нефтяное хозяйство. – 2016.
4. Электропривод главной вентиляторной установки нефтешахты, регулируемый с учетом действия общешахтной естественной тяги / А.М. Седунин, А.В. Николаев, Д.Ю. Седнев// Горное оборудование и электромеханика. – 2012. - № 11.
5. Мохирев Н.Н., Радько В.В. «Инженерные расчеты вентиляции шахт. Строительство. Реконструкция. Эксплуатация.», М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007.
6. Информационные горные технологии «Ингортех» – каталог товаров [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ingortech.ru/> (25.04.2026)
7. Сайт завода изготовителя ГК «Новые технологии» – каталог товаров [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mtn.nt-rt.ru/> (25.04.2026)
8. Сайт компании «Овен» – каталог товаров [электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.owen.ru/> (25.04.2026)
9. Сайт завода изготовителя АО «Вентпром» – каталог товаров [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ventprom.com/> (25.04.2026)
10. Сайт завода изготовителя ООО «ВЭМ» – каталог товаров [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ingortech.ru/> (25.04.2026)

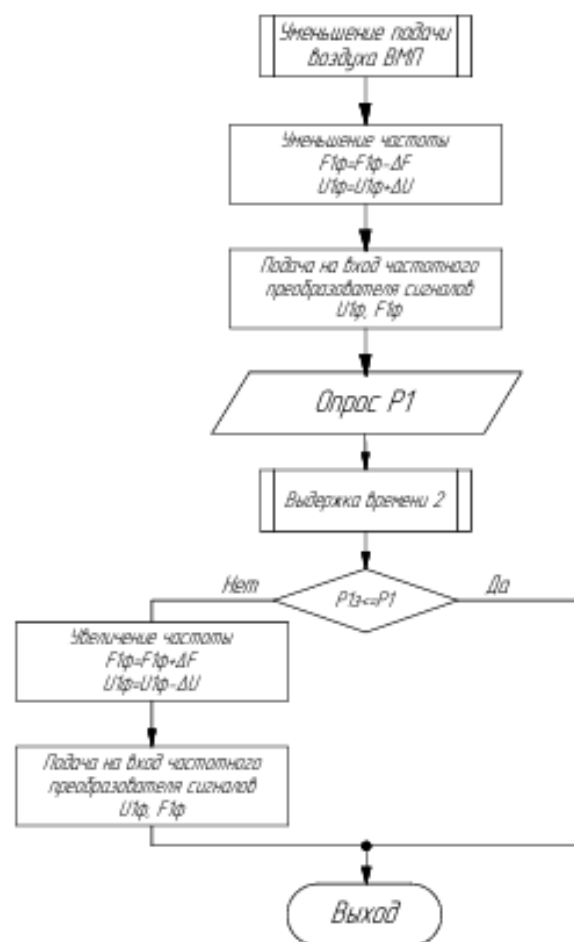
11. Сайт завода изготовителя ООО «Электромашина» – каталог товаров [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.elektro-mashina.ru/> (25.04.2026)
12. Сайт компании ЗАО ГУ НПО «Стройтехавтоматика» – каталог товаров [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://rus-privod.pulscen.ru/> (25.04.2026)
13. Сайт завода изготовителя «PHOENIX CONTACT» – каталог товаров [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.denol.ru/> (25.04.2026)
14. Плащанский Л.А. «Основы электроснабжения горных предприятий» Учебное пособие, 2-е издание, исправленное. М: МГГУ, 2006
15. Мельников Ю.Ф. «Инструкция по расчету системы электроснабжения подземных участков калийных рудников», методические указания к курсовому и дипломному проектированию, изд. ПГТУ, г. Пермь, 2000
16. Сайт завода изготовителя ООО «Камкабель» – каталог товаров [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.kamkabel.ru> (25.04.2026)
17. Сайт завода изготовителя ПКФ «Армвент» – каталог товаров [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://armavent.ru/> (25.04.2026)
18. Сайт завода изготовителя НПП «Точприбор» – каталог товаров [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://npp-tp.ru/> (25.04.2026)

a)
Вид сдоку

[illegible]



Алгоритм подпрограммы уменьшения производительности ВМП



Алгоритм подпрограммы включения поверхностного вентилятора

