

**Государственное бюджетное учреждение
«Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и
технологический институт взрывозащищенного и рудничного
электрооборудования»
(ГБУ «НИИВЭ»)**



**МАТЕРИАЛЫ
КРУГЛОГО СТОЛА**

**«О ПУТЯХ И МЕТОДАХ ПОВЫШЕНИЯ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ОБОРУДОВАНИЯ В (ГОРНОЙ) ПРОМЫШЛЕННОСТИ»**

28.11.2024 г.

г. Донецк

СОДЕРЖАНИЕ

1. Подавление коммутационного плазмообразования плавким предохранителем как способ повышения ресурса автоматического выключателя трансформаторной подстанции (О.К. Маренич, ГБУ «ДОНГИПРОШАХТ»)	4
2. Концептуальные пути развития взрывозащищенных ктп повышенных мощностей (И.Я. Чернов, А.И. Белошистов, К.Н. Костик, ГБУ «НИИВЭ»)	8
3. Об альтернативе использования центрального провода гибкого кабеля в качестве заземляющей жилы (М.К. Маренич, ФГБОУ ВО «ДОННТУ»).....	11
4. О выборе величины испытательного давления для взрывонепроницаемой оболочки (А.И. Дьяченко, И.В. Марейченко, Д.И. Николаенко, А.Н. Поважнюк, ГБУ «НИИВЭ»)	15
5. Ряд мехатронных очистных комбайнов КДК (И.В. Косарев, А.В. Мезников, В.В. Косарев, Г.В. Андреев, Е.М. Чайков, ГБУ «ДОНУГЛЕМАШ») 20	
6. Перспективы развития электродвигателей для горнодобывающей техники (В.А. Горчаков, А.В. Кукулевский, ГБУ «НИИВЭ»)	24
7. Бесцепная система подачи повышенной безопасности очистного комбайна кдк 1000 (И.В. Косарев, А.В. Мезников, В.В. Косарев, Г.В. Андреев, Е.М. Чайков, ГБУ «ДОНУГЛЕМАШ»)	28
8. Оптимизация тепловых расчётов в процессе проектирования систем жидкостного охлаждения с разъемным соединением электрического модуля (А.И. Дьяченко, И.В. Марейченко, ГБУ «НИИВЭ»)	31
9. Метод позиционирования проходческого комбайна в условиях ограниченного пространства (А.Ю. Довгань, В.В. Казаков, А.Ю. Карповский, ГУ «Автоматгормаш им В.А. Антипова»)	40
10. О разработке компонентов и задачи по внедрению взрывозащищенного электрооборудования на напряжение 3,3 кв (А.И. Белошистов, М.В. Маратулец, А.Л. Серов, ГБУ «НИИВЭ»)	44

Материалы круглого стола
«О путях и методах повышения производительности и эффективности
использования оборудования в (горной) промышленности»

11. Использование датчиков в системе управления магистральным ленточным конвейером (И.В. Марейченко, А.Н. Поважнюк, Б.Ф. Рясков, ГБУ «НИИВЭ»)	47
---	----

УДК 621.333: 622.647.1

**ПОДАВЛЕНИЕ КОММУТАЦИОННОГО ПЛАЗМООБРАЗОВАНИЯ
ПЛАВКИМ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕМ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ
РЕСУРСА АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ
ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ**

О.К. Маренич, к.т.н.
ГБУ «ДОНГИПРОШАХТ»

***Аннотация.** Исследован процесс возникновения посткоммутационного к.з. в автоматическом выключателе в сети напряжения 1140 В. Предложена схема ускорения коммутации на основе применения плавкого предохранителя*

***Abstract.** The process of occurrence of post-commutation short circuit in an automatic circuit breaker in a voltage network of 1140 V. A circuit for accelerating switching based on the use of a fuse is proposed.*

***Ключевые слова:** АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ, РЕСУРС, КОММУТАЦИЯ, ПЛАЗМООБРАЗОВАНИЕ, ОГРАНИЧЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ, СХЕМА.*

***Keywords:** CIRCUIT BREAKER, RESOURCE, SWITCHING, PLASMA FORMATION, PARAMETER LIMITATION, CIRCUIT.*

Автоматические выключатели (АВ) серии А37ХХ, отличаясь высокой надёжностью, функциональностью и компактностью конструкции, нашли широкое применение в структуре рудничного силового коммутационного электрооборудования, применяемого в участковых электросетях линейного напряжения 660 В. Модификация А3792У этого выключателя адаптирована к сети линейного напряжения 1140 В и применяется в структуре распределительного устройства низшего напряжения участковой комплектной трансформаторной подстанции (КТП). Эксплуатацией выявлены недостаточные свойства этого АВ в части сохранения работоспособности после отключения короткого замыкания (к.з.) – повторяющиеся факты возникновения междуфазных к.з. внутри самого АВ в момент его повторного включения после защитного отключения к.з. во внешнем присоединении.

Исследованием [1, 2] установлено, что причиной возникновения междуфазного пробоя в автоматическом выключателе в процессе его повторного включения являются дуго-плазмообразования, происходящие в процессе отключения тока к.з. в сети напряжения 1140 В и характеризующиеся, в связи с этим, высокими мощностными показателями формирования электрической дуги. В данном случае речь идёт о степени влияния продолжительности дугообразования и тока электрической дуги на её энергетические параметры (энергию $A_{\text{разр}}$ дугового разряда), в допущении, что мощность, поступающая в дугу: $P_{\text{дуг.}} = ui = qi^2$ (где q и u – проводимость и напряжение дуги):

$$A_{\text{разр}} = \frac{1}{6}(U - U^*)iT_p + \frac{1}{2}Li^2 \quad (1)$$

где T_p – длительность дугового разряда; U^* – сумма падений напряжения на электродах при коммутационном дугообразовании; U – напряжение источника питания; i – размыкаемый ток; L – индуктивность цепи дугообразования.

В функциональной зависимости от тока дуги также находится её радиус: $r_0 = 0,135\sqrt{I}$ [3]. Таким образом, имеет место зависимость энергетических параметров процесса, в частности, постоянной времени τ дуги от её тока и радиуса. Коммутационное дуго-плазмообразование сопровождается придиафрагменным расширением столба дуги. Зависимость расширения радиуса плазмы r_{nl} дуги в придиафрагменной области от диаметра d диафрагмы представляется выражением [2]:

$$\begin{cases} r_{nl} = (16/d) - (9 - a); \\ a = 7 - 0,4375d + (d/2). \end{cases} \quad (2)$$

Расширение плазмы дуги подтверждено в конструкции автоматического выключателя типа А3792У, т.к. форма окна дугогасительной камеры, в которой образуется щель, шириной 1 мм в процессе перемещения контакта, создаёт эффект диафрагмы, что приводит к расширению тела дуги в придиафрагменной области и металлизации последней (рис.1). Плазмообразование наступает с задержкой на разогрев поверхности контактов, её плавление, испарение. В результате анализа графиков энергетических параметров дугообразования в электрической цепи установлена зависимость изменения диаметра D столба дуги от продолжительности дугообразования на интервале переходного процесса (в диапазоне $2 \text{ мс} \leq t_k \leq 15 \text{ мс}$) в предположении, что начальный момент $D = 2r_k$; r_k – радиус канала дуги, а t_k принимается в секундах:

$$D \approx r_k \cdot \left(2 + 1,1 \cdot (t_k \cdot 10^3 - 2) / 6,4 \right) \quad (3)$$

На основании (2) и (3), а также исходного математического аппарата и учёта зависимости температуры T на поверхности электрода от плотности энергии W и времени $t_{\text{дуг.}}$ дугообразования следуют выводы: быстродействие МТЗ (БЗУ-ТП) и время срабатывания АВ типа А3792У (80 мс – 100 мс) не препятствуют достижению коммутационной плазмой установившихся значений; ограничить энергетику плазмообразования возможно при ограничении продолжительности дуги.

Приемлемым техническим решением в области обеспечения безаварийной эксплуатации АВ типа А3792У в шахтной участковой сети напряжения 1140 В

является схема коммутации плавким предохранителем выхода мостового выпрямителя, объединяющего вторичные фазные обмотки трансформатора КТП в трёхфазную цепь (рис.2). Защитная функция плавкого предохранителя имеет на порядок лучшие показатели быстродействия в сравнении с МТЗ (включая БЗУ-ТП) и, собственно, сам АВ. Так, в эксперименте с АВ типа А3792 с применением предохранителя последовательно в цепи отключения тока к.з. зафиксировано время срабатывания 5,9 мс и отсутствие реакции на этот ток со стороны блока защиты БЗУ-ТП и расцепителя максимального тока самого АВ (рис.3).



Рис. 1. Дугогасительная камера автоматического выключателя А3792У со следами придифрагменного плазмообразования

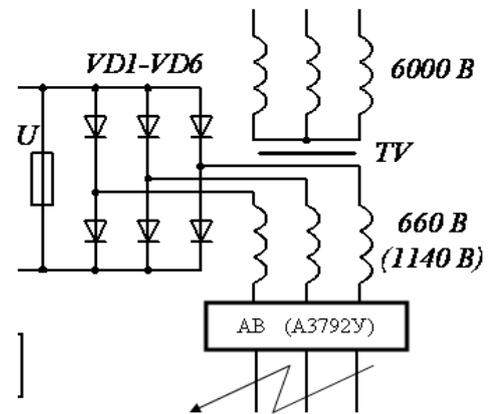


Рис. 2. Схема устройства ускорения процесса отключения к.з. в присоединении КТП

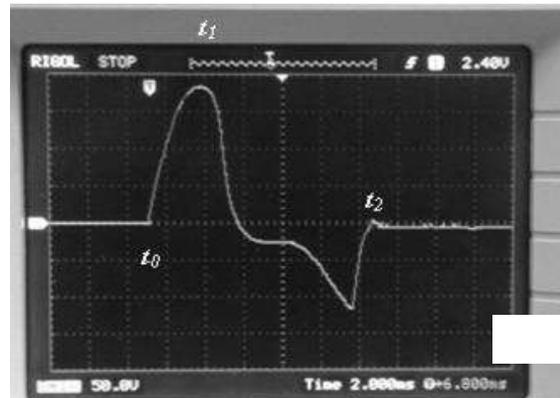
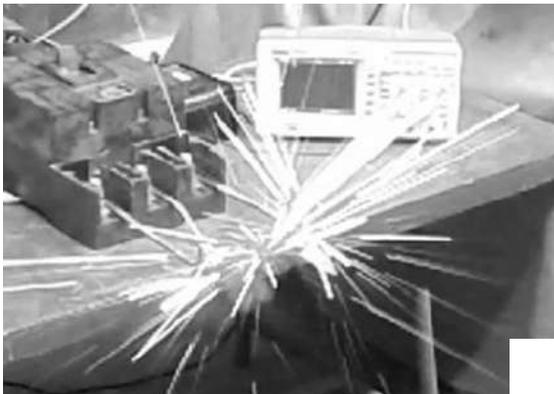


Рис. 3. Фиксация момента перегорания плавких элементов (медь сечения $0,52\text{мм}^2$) в цепи трёхфазного к.з. на выходе АВ (а) и осциллограмма тока (б) в цепи к.з. амплитуда тока 4292 А; продолжительность процесса: 0,0059 с

Список литературы

1. Маренич, О.К. Элементы конструкции автоматического выключателя А37ХХ как фактор возникновения его потенциально опасного состояния / О.К. Маренич, И.В. Ковалёва //

Материалы круглого стола
«О путях и методах повышения производительности и эффективности
использования оборудования в (горной) промышленности»

Вестник Донецкого национального технического университета. – Донецк: ДонНТУ, 2018. – Вып 4(14). – С. 47-52. [Электронный ресурс]: <http://vestnik.donntu.org/dl/2018/04/kovalyova.pdf>

2. Маренич О.К. Управляемая коммутация трансформаторной подстанции как фактор эффективности эксплуатации электротехнического комплекса участка шахты: монография / О.К. Маренич, И.В. Ковалёва. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. – 120 с.

3. Горячев С.В. Экспериментальное исследование прикатодной области сильноточных электрических дуг: дис. ... канд. техн. наук: 01.04.08 / Горячев Сергей Викторович.- Москва, 2010.-178 с.

УДК 621.314.211

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПУТИ РАЗВИТИЯ ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННЫХ КТП ПОВЫШЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ

Чернов И.Я., Белошистов А.И., Костик К.Н.
ГБУ «НИИВЭ»

Аннотация. Предложены концептуальные пути развития взрывозащищенных КТП повышенных мощностей при ограничении их габаритных размеров: повышение уровня напряжения и эффективности охлаждения, обеспечение современными средствами защиты, повышение электро- и взрывобезопасности.

Ключевые слова: ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННАЯ КТП, ПОВЫШЕННАЯ МОЩНОСТЬ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ, ЭЛЕКТРО- И ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ.

К взрывозащищенным комплектным трансформаторным подстанциям (КТП), как одним из наиболее консервативных видов шахтного электрооборудования предъявляются жесткие требования в части соблюдения параметров электро- и взрывобезопасности, энергоэффективности и надежной и долговременной эксплуатации.

В последние годы стала актуальна тема энергообеспечения мощных высокопроизводительных угледобывающих комплексов [1].

Технико-экономический анализ, изучение отечественного и зарубежного опыта, оценка вопросов безопасности взрывозащищенного электрооборудования [2, 3], показали востребованность на современном этапе КТП мощностью 1000 – 2500 кВ·А и принятия в качестве участкового электроснабжения напряжение 3,3 кВ.

Основной трудностью при переводе участковых сетей на повышенный уровень номинального напряжения является обеспечение электробезопасности в соответствии с нормативными требованиями. Чем выше номинальное напряжение в участковой сети, тем большие токи будут протекать через тело человека при его случайном прикосновении к токоведущим частям и, соответственно, тем большее быстроедействие должны иметь защитные аппараты для отключения этих токов [2].

Наряду с применением новых магнитных, проводниковых, изоляционных материалов, а также повышением эффективности системы охлаждения и переходом на более высокий уровень напряжения, обеспечивающих снижение потерь электроэнергии и высокую энергоэффективность, - вопросы обеспечения современными средствами электрозащиты, пожаро- и взрывобезопасности, являются определяющими [4] (см. Рисунок).

Для выполнения этих требований потребуется разработка новых комплектующих изделий с использованием нетрадиционных методов коммутации электрических цепей и создание принципиально новых средств

Материалы круглого стола
«О путях и методах повышения производительности и эффективности
использования оборудования в (горной) промышленности»

защиты, совмещающих функции управления несколькими токоприемниками одновременно.

Новые устройства должны будут отображать полную информацию о работе КТП с запоминанием режимов работы и нагрузок, контроля состояния с возможностью последующих расшифровок и выяснения причин выхода ее из строя.

Выводы

Для достижения современного технического уровня взрывобезопасных передвижных КТП повышенной единичной мощности, наряду с выполнением общих требований по обеспечению высокой энергоэффективности трансформатора, необходим комплексный взаимоучет таких требований как, обеспечение эффективной теплоотдачи корпуса КТП, переход на более высокий уровень напряжения, а также разработка новых комплектующих изделий с использованием нетрадиционных методов коммутации электрических цепей и создание принципиально новых средств защиты.

Список литературы

1. «Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года», утверждена распоряжением Правительства РФ от 09.06.2020 г. №1523-р.
2. Белошистов А.И., Чернов И.Я., Серов А.Л. Нормативное обеспечение безопасности применения взрывозащищенного электрооборудования на 3,3 кВ. // Материалы XXIV Международной научно-технической конференции «Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых». Сб. науч. тр. ФГБОУ ВО «ДонНТУ». – Донецк, 2024.- С.207-208.
3. Энерготехнологии Becker. Трансформатор – комплектные устройства распределения и управления. Паспорт изделия. Becker Mining Systems GmbH. ТЕК/RU/ 2005-07-26.– 4 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.becker-mining.com/>.– Загл. с экрана (дата обращения 02.12.2024).
4. Вареник Е.А., Чернов И.Я., Золотарев Е.В., Савицкий А.В., Савицкий В.Н. Идеология построения электрических защит взрывобезопасных трансформаторных подстанций серии ТВПШ. / Взрывозащищенное электрооборудование: Сб. науч. тр. УкрНИИВЭ. – Донецк, 2017.- С.14-24.

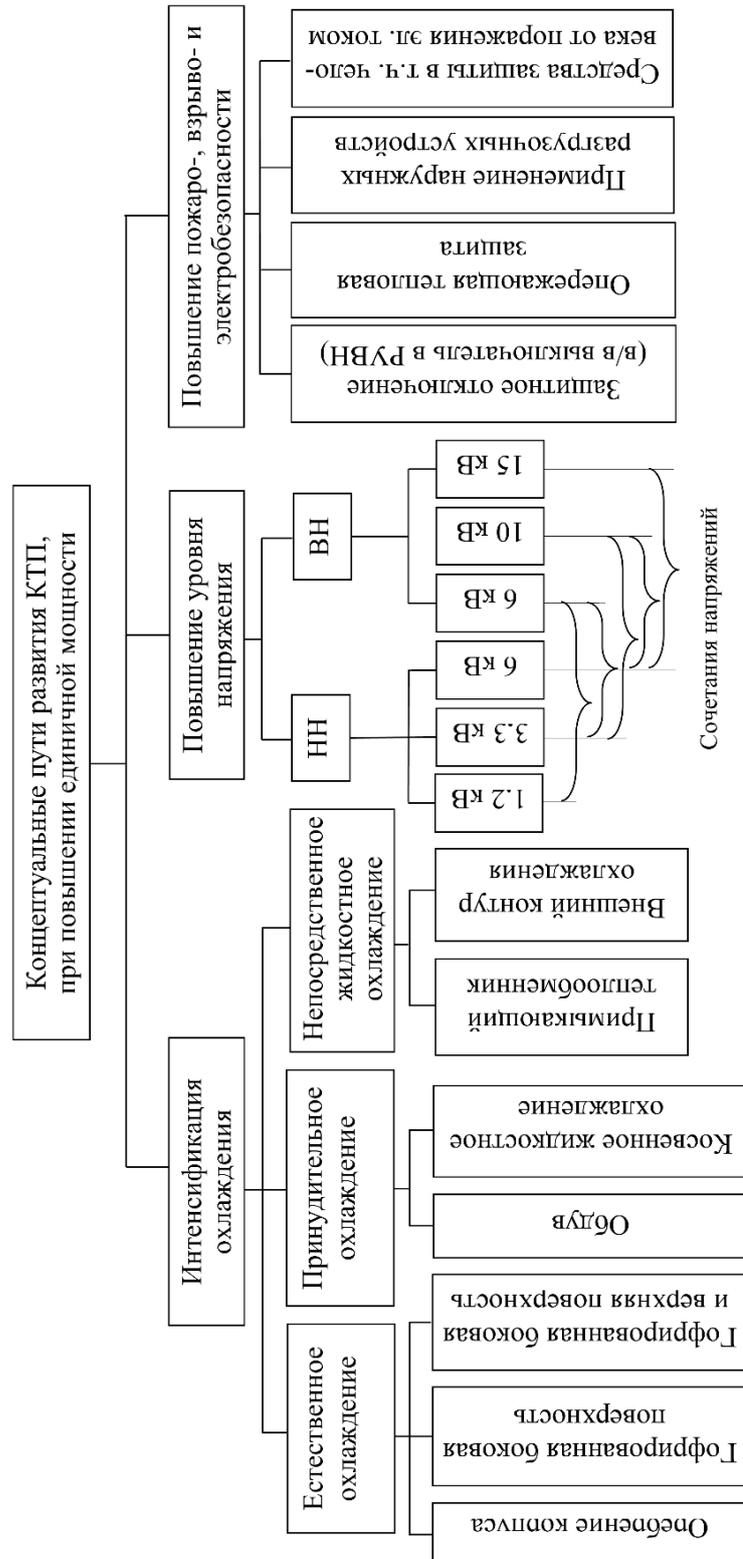


Рисунок. Концептуальные пути развития КТП, при повышении единичной мощности

УДК 621.313.333

ОБ АЛЬТЕРНАТИВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРОВОДА ГИБКОГО КАБЕЛЯ В КАЧЕСТВЕ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕЙ ЖИЛЫ

М.К. Маренич

ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет»

***Аннотация.** Обоснована опасность формирования электропоражающего фактора вследствие применения центральных проводов гибких кабелей в качестве элементов заземления металлических корпусов рудничных электродвигателей. Предложено альтернативное техническое решение в контексте поддержания безопасных условий эксплуатации рудничного участкового электрооборудования*

***Abstract.** The danger of forming an electric shock factor due to the use of central wires of flexible cables as grounding elements of metal housings of mine electric motors is substantiated. An alternative technical solution is proposed in the context of maintaining safe operating conditions for mine section electrical equipment*

***Ключевые слова:** УЧАСТОК ШАХТЫ, СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРОПОРАЖЕНИЯ, АНАЛИЗ, ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ.*

***Keywords:** MINE SECTION, POWER SUPPLY SYSTEM, DANGER OF ELECTRIC SHOCK, ANALYSIS, TECHNICAL PROPOSALS.*

Практика эксплуатации рудничных асинхронных двигателей (АД) в структуре электромеханических установок технологических участков шахты свидетельствует о минимальной вероятности возникновения контакта фазы с металлическим корпусом электрической машины [1]. Так, основной причиной отказа АД являются межвитковые замыкания (93%) в то время, как на пробой изоляции приходится около 2% отказов. Это является следствием применения в структуре АД многократно дублирующих изоляционных компонентов и изоляционных материалов с высокими классами (F; H) нагревостойкости.

Тем не менее, в отношении эксплуатации рудничных АД выполняется требование обязательного заземления их металлических корпусов. Учитывая нестационарность рудничного электромеханического оборудования, это требование реализуется электрическим подключением корпусов АД к заземлённым корпусам пускателей посредством центральных проводов силовых кабелей электропитания, которые, в связи с этим, повсеместно именуются «заземляющими жилами».

Помимо того, что такой способ противоречит п. 1.4.2 ГОСТ 28298-89 [2], заземлением центрального провода формируется постоянно действующий в электросети участка шахты электропоражающий фактор, что нивелирует все преимущества режима изолированной нейтрали трансформатора в части создания безопасных условий эксплуатации шахтной участковой электрической сети. Опасность поражения человека электрическим током в этом случае

обусловлена наличием ёмкостных проводимостей между фазными проводниками кабелей и их центральными проводами, что при заземлении последних предопределяет возникновение аналогичных ёмкостных проводимостей между фазами сети и землёй [3].

В качестве решения данного технического противоречия предлагается принципиально изменить концепцию построения системы электроснабжения участка шахты в части отказа от присоединения центральных проводов шахтных гибких экранированных кабелей к заземлениям при условии применения локальных средств выявления контакта фазы сети с корпусом силовой электроустановки, осуществляющих управление защитным отключением пускателей, что иллюстрируется схемой (рис.1).

В соответствии с этой схемой, в отсеке кабельных вводов каждого рудничного АД должна быть предусмотрена цепь соединённых последовательно резистора R1, конденсатора C1, обмотки K1 электромагнитного реле с замыкающим контактом K1.1 и диода VD1, подключенная между металлическим корпусом АД и контактом (X1) соединения между собой фазных обмоток его статора. Центральный провод силового кабеля электропитания в отсеках кабельных вводов двигателя и пускателя он присоединён к изолированным от металлических корпусов клеммам X2 и X3, соответственно.

В отсеках кабельных вводов пускателей (моторные камеры) в этом случае должны быть предусмотрены резисторы R2, R3, R4 и реле K2, с размыкающим контактом K2.1. Резисторы R2, R3, R4 присоединены к выводам фаз (А, В, С) пускателя и к обмотке реле K2, второй вывод которой присоединён к клемме X3. Контакт K2.1 реле K2 предназначен для подключения последовательно в цепь дистанционного управления контактором пускателя через клеммы X4 и X5, контакт K1.1 реле K1 в отсеке кабельного ввода двигателя соединён между металлическим корпусом этого двигателя и клеммой X2.

В штатном режиме эксплуатации потенциалы точки соединения между собой вторых выводов резисторов R2, R3, R4, а также контакта X1 соединения выводов фазных обмоток статора АД равны нулю, и токи через обмотки реле K2 и K1 не протекают. В случае повреждения изоляции фазного проводника кабеля возникает контакт этого проводника с центральным проводом кабеля. Этим создаётся путь тока через обмотку реле K2, что приводит к срабатыванию последнего, размыканию контакта K2.1 и отключению пускателя.

В случае контакта фазного проводника кабеля электропитания АД с его металлическим корпусом создаётся путь тока через обмотку реле K1, что приводит к срабатыванию последнего и замыканию контакта K1.1. При этом, через замкнутый контакт K1.1 создаётся путь тока через обмотку реле K2. Данное реле срабатывает размыкает свой контакт K2.1 в цепи дистанционного управления контактором пускателя, что приводит к его отключению.

Применение конденсатора C1 и диода VD1 в цепи между корпусом АД и контактом X1 исключает воздействие устройства на работу защиты от утечек

тока на землю в участковой электросети. Прохождению постоянного оперативного тока этой защиты на корпус двигателя и на землю (при наличии переходного сопротивления) препятствуют элементы VD1 и C1. Их наличие является средством отделения силовых цепей электропитания АД в штатном режиме эксплуатации от его корпуса, что соответствует режиму изолированной нейтрали трансформатора шахтной участковой электрической сети.

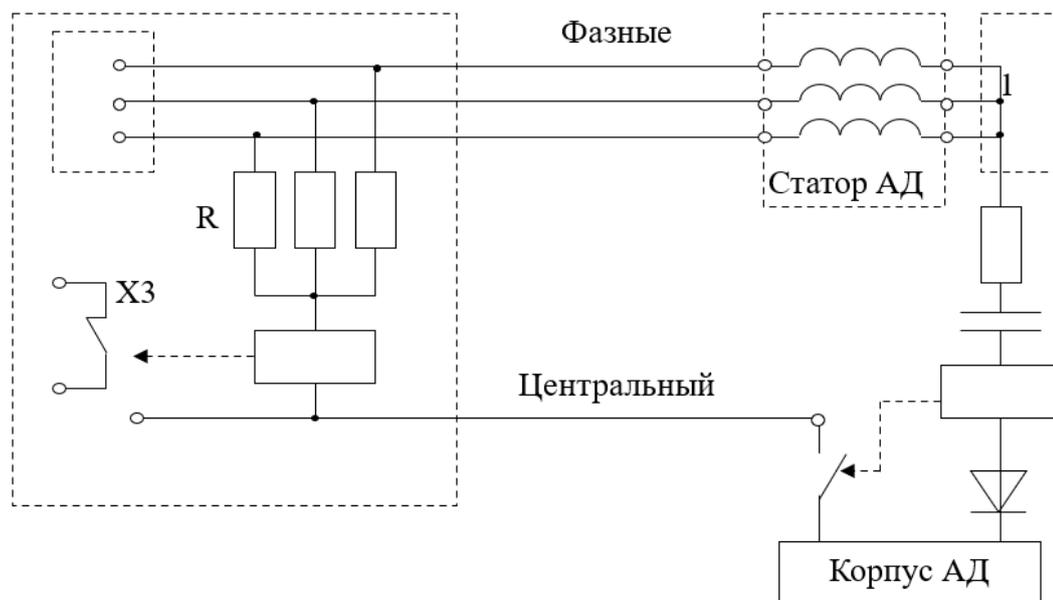


Рис. 1. Устройство защиты от повреждения в кабельном присоединении статора рудничного асинхронного двигателя

Данная структура поддерживает функцию предварительного контроля изоляции силового кабельного присоединения, отходящего от пускателя. В этом случае вывод блока контроля изоляции (БКИ), либо блокировочного реле утечки (БРУ), предназначенный для подключения к металлическому корпусу пускателя должен быть присоединён к контакту X3.

Данное техническое предложение, признанное изобретением (положительное решение ФИПС по заявке на изобретение) является принципиальным отличием предлагаемой альтернативной концепции построения системы электроснабжения участка шахты и позволяет решить задачу повышения безопасности эксплуатации силового рудничного электрооборудования исключив формирование электропоражающего фактора, возникающего вследствие заземления центральных проводов кабелей электропитания асинхронных двигателей.

Список литературы

4. Статистика отказов и анализ повреждаемости электрических машин [Электронный ресурс]. - Режим доступа :<https://poznayka.org/s6047t2.html>. –Загл. с экрана.
5. ГОСТ 28298-89. Заземление шахтного электрооборудования. Технические требования и методы контроля:– М.: Стандартинформ, 2005. – 7с.

Материалы круглого стола
«О путях и методах повышения производительности и эффективности
использования оборудования в (горной) промышленности»

6. Маренич М.К. Ёмкость изоляции электросети участка шахты как фактор формирования тока в цепи заземления [Электронный ресурс] / М.К. Маренич, И.Б. Гуляева, // Вестник Донецкого национального технического университета.– Донецк: ДонНТУ, 2022. – Вып 3(29). – С. 20-26. – Режим доступа: <http://vestnik.donntu.ru/dl/2022/03/marenich1.pdf>.– Загл. с экрана.

УДК 621.3.036.213

О ВЫБОРЕ ВЕЛИЧИНЫ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ВЗРЫВОНЕПРОНИЦАЕМОЙ ОБОЛОЧКИ

А.И. Дьяченко, И.В. Марейченко, Д.И. Николаенко, А.Н. Поважнюк
ГБУ «НИИВЭ»

***Аннотация.** Освещена проблематика определения испытательного давления оболочек с совмещенными объемами применительно к оболочке комплектного устройства управления магистрального ленточного конвейера.*

***Abstract.** In the report, we consider the problems of determining the test pressure of housings with a total volume at low temperatures in relation to the housing of the complete control device of the main conveyor belt.*

***Ключевые слова:** ВЗРЫВОНЕПРОНИЦАЕМАЯ ОБОЛОЧКА, ЛЕНТОЧНЫЙ КОНВЕЙЕР, ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ, СОВМЕЩЕННЫЙ ОБЪЕМ, УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ*

***Keywords:** EXPLOSION-PROOF SHELL, CONVEYOR BELT, TEST PRESSURE, COMBINED VOLUME, CONTROL DEVICE*

Введение. На стадии проектирования комплектного устройства управления разработчиками предусматривается определенный запас механической прочности оболочки, в зависимости от применяемых материалов, объема оболочки (и, как следствие, ожидаемого максимального давления взрыва), а также многих других факторов. Однако, как показала практика, ключевую роль играет не столько объем оболочки, сколько ее «геометрия», в частности, отношение внутренней площади к объему. Помимо этого, на значение максимального давления взрыва в ряде случаев существенное влияние оказывает внутреннее заполнение оболочки. Так, максимальное давление взрыва, которое развивается в оболочке, заполненной оборудованием, может быть в несколько раз (а в отдельных случаях – на порядок) больше, чем в такой же пустой оболочке при прочих равных условиях. Наблюдается такой эффект по ряду причин: неравномерность распространения по объему оболочки фронта горения (и, как следствие, взрывной волны), отражение взрывной волны от преград в виде встроенного в оболочку оборудования и стенок оболочки, накладывание отраженных волн и обертонов взрывной волны друг на друга и прочее. В данном контексте особый интерес вызывает так называемый эффект «Pressure Piling» («Накопление давления»). Применительно к взрывозащищенному электрооборудованию этот эффект возникает в случаях, когда внутренний объем оболочки разделен на два или несколько отделений (отсеков), например,

перегородками, которые сами по себе не несут функций взрывозащиты, но в них выполнены сквозные отверстия (например, для прокладки коммуникаций), и в одном из отделений происходит воспламенение взрывоопасной смеси.[1]

Электрооборудование комплектного устройства управления магистральным ленточным конвейером размещается во взрывонепроницаемой оболочке, так как применяется для угольных шахт. Проработка конструктивного решения предполагает наличие нескольких внутренних отсеков. В каждом отсеке размещается отдельное функциональное устройство, такие как: инвертор, выпрямитель, аппарат питания цепей освещения и сигнализации и т.п.

Большое количество узлов в камерах (отсеках) делает конструкцию комплектного устройства управления трудоемким как при обслуживании, так и при монтаже электротехнических компонентов.

Рационально было бы уменьшить количество обособленных взрывонепроницаемых отсеков комплектного устройства управления. Однако применение большого количества электротехнических компонентов требует наличия монтажных панелей и несплошных перегородок, фактически разделяющих общий объем взрывонепроницаемой оболочки на ряд объемов, сообщающихся друг с другом, как показано на рисунке 1.

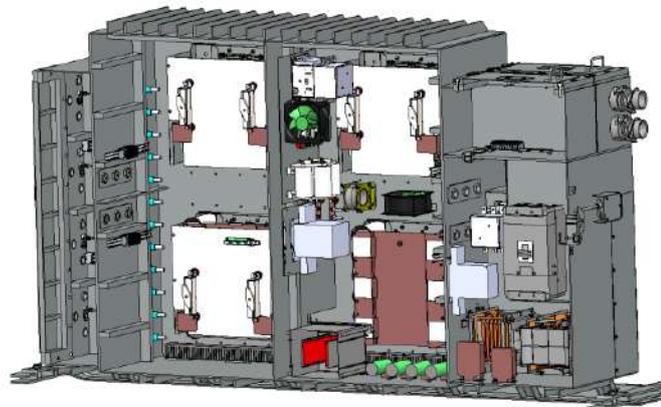


Рис. 1. Общий вид взрывонепроницаемой оболочки в разрезе

Из литературы [1] такое конструктивное исполнение можно рассматривать как взрывозащищенный отсек с мембранами, и полученную конструкцию взрывонепроницаемой оболочки рассматривать как группу отсеков с совмещенными объемами, где возможно проявление эффекта «Накопления давления».

Одним из критериев годности, вновь разработанной или имеющей изменения в конструкции взрывонепроницаемой оболочки являются результаты динамических испытаний, т.е. испытаний на определение давления взрыва, испытаний на взрывоустойчивость и испытаний на взрывонепроницаемость,

Материалы круглого стола
«О путях и методах повышения производительности и эффективности
использования оборудования в (горной) промышленности»

проводящиеся согласно Государственному стандарту на «Электрооборудование взрывозащищенное с видом взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка» [2]. Оболочка считается в т. ч. годной в случае прохождения этих видов испытаний если не происходит передача взрыва во внешнюю среду, не происходит разрушения корпуса оболочки, остаточная деформация корпуса и крепежных элементов не приводит к увеличению щелей и зазоров до значений, превышающих допустимые Государственным стандартом.

В случае положительных результатов испытаний по этим пунктам предприятию – изготовителю (разработчику) предписывается значение давления, равное полуторакратному давлению взрыва. В дальнейшем изготовитель обязуется проводить обязательные гидроиспытания оболочки или частей оболочки под этим давлением, для подтверждения их годности к эксплуатации.

ГОСТом [2] предписывается как минимальное испытательное давление (0,35 МПа) так и ориентировочные значения максимального давления (до 1,0 МПа).

Большой (более чем 30-и летний) практический опыт испытаний взрывозащищенного оборудования с видом взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка», полученный еще в период работы Испытательного центра ГБУ «НИИВЭ» показывал, что в конструкциях с совмещенными объемами возникает значительно большее давление взрыва, чем ожидаемое, исходя из предпосылок действующих нормативных требований. Наиболее заметными расхождения стали после начала проведения испытаний при т.н. «низких температурах», когда испытания проводятся при н.у. с учетом коэффициента для сохранения концентрации смеси, в сочетании со сложной конфигурацией расположения внутренних элементов - камер взрывонепроницаемой оболочки или т.н. совмещенных объемов (таблица 1).

Таблица 1 – результаты определения давления взрыва различных взрывонепроницаемых оболочек.

№	Вид оборудования	Маркировка взрывозащиты	Температура, град. цельсия	Давление взрыва P, МПа	Давление взрыва P при испытаниях на взрывоустойчивость, МПа
1	Электродвигатель 4 ВАО 4-630	1ExdeIIBT4 / PB4B	3	1,82	3,7
2	Электродвигатель ВАО 2-63	1ExdIIBT4 / PB4B, PBExdI	-60	3,5	4,36
3	Электродвигатель 1ВАО-450 LB	1ExdIIBT4 / PBExdI	-40	1,8	3,8
4	Электроблок 4ПП-2М.70.08.000-2	PB1B / ExdI	-1,5	1,956	>2,5

Материалы круглого стола
«О путях и методах повышения производительности и эффективности
использования оборудования в (горной) промышленности»

5	Электродвигатель ВАО 5П 630 S - 4	1ExdIIВТ4 / PB4В	3	1,426	2,244
6	Электродвигатель ВАО 7 – 630	1ExdIIВТ4/ PB ExdI	-45	1,42	2,64

ГОСТ указывает на область применения в диапазоне температур от минус 20 °С до плюс 60°С, но не дает корректировок относительно изменения испытательных давлений оболочки в диапазоне более низких температур или при увеличении поджатия взрывоопасной смеси.

Примеры результатов испытаний свидетельствуют об отсутствии корреляции между измеренными значениями давления взрыва при передачах взрыва и существенно более высокими давлениями (чем рекомендует Стандарт), полученными в процессе испытаний.

Предписывать предприятию-изготовителю заниженное испытательное давление гидроиспытаний некорректно, а давление гидроиспытаний, полученное на основаниях испытаний, в некоторых случаях вызывает недоумение. 4.36 МПа (сорок три атм.?!) п. 2 таблицы 1.

Наиболее ощутимый вклад в увеличение испытательного давления дает комбинация из увеличения начального давления смеси для испытаний при «низких температурах» и наличие т.н. «совмещенных объемов».

В случае «совмещенных объемов» резкое увеличение давления взрыва связано не только с «низкими температурами», но и с геометрией как внутренних так и внешних элементов оболочки. Внутренние элементы работают как диафрагмы и лабиринты, препятствующие прямому распространению фронта пламени, что может приводить к существенному увеличению давления взрыва. Увеличение площади окон диафрагм, которыми могут являться панели крепления различных элементов, приводит к резкому уменьшению развития аномальных давлений. Наружные элементы, например трубы охлаждения электродвигателей, способствуют возникновению резонанса, закрепление их в определенных местах к корпусу оболочки приводит к уменьшению резонансных явлений и, как следствие уменьшению давления взрыва.

В некоторых случаях перекомпоновка элементов является невозможной. Очевидное уменьшение количества смеси при заполнении оболочки содержимым и одновременное пикообразное увеличение давления взрыва вызывает противоречие при предписании давления гидроиспытаний.

Решение данной проблемы видится в разработке и применении такой методики выбора величины испытательного давления взрывонепроницаемой оболочки, в которой будут приведены в соответствие результаты динамических испытаний и предписываемое изготовителям давление гидроиспытаний.

Материалы круглого стола
«О путях и методах повышения производительности и эффективности
использования оборудования в (горной) промышленности»

Выводы: представляется необходимым проведение исследований для приведения в соответствие результатов динамических испытаний и предписываемых изготовителем давлений гидроиспытаний. В ГБУ «НИИВЭ» есть испытательное оборудование, наработки и методики для выполнения исследований, позволяющих выполнить такую работу.

Список литературы

1. Руденко, С. А. Исследование эффекта накопления давления для смежных отделений взрывонепроницаемых оболочек / С. А. Руденко // Взрывозащищенное электрооборудование: сб. науч. тр. ГУ «НИИВЭ». – Донецк: ООО «Типография Восток Пресс», 2017. – № 1(52). – С. 146-153.
2. ГОСТ 30852.1-2002 (МЭК 60079-1:1998). Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 1. Взрывозащита вида «взрывонепроницаемая оболочка» : межгосударственный стандарт : дата введения 2014-02-15 / Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации. – Изд. официальное. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 39 с.

УДК 622.232.72

РЯД МЕХАТРОННЫХ ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ КДК

И.В. Косарев, А.В. Мезников, В.В. Косарев, Г.В. Андреев, Е.М. Чайков,
ГБУ «ДОНУГЛЕМАШ»

***Аннотация.** В представленном материале обоснована возможность освоения в производстве на машиностроительных заводах РФ современных импортозамещающих очистных комбайнов мехатронного класса типа КДК, приведены основные параметры типоразмерного ряда комбайнов, хронология их создания, а также указаны пути освоения производства и ожидаемые результаты.*

***Abstract.** The presented material substantiates the possibility of mastering modern import-substituting cleaning combines of the mechatronic class of the KDK type in production at machine-building plants of the Russian Federation, provides the main parameters of a standard-sized range of combines, the chronology of their creation, and also indicates the ways of mastering production and expected results.*

Ключевые слова: ОЧИСТНОЙ КОМБАЙН, ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ПРИВОД, МЕХАТРОННАЯ СИСТЕМА, ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ, РЕСУРС.

Keywords: CLEANING COMBINE, FREQUENCY-CONTROLLED DRIVE, MECHATRONIC SYSTEM, ENERGY SUPPLY, RESOURCE.

Очистные комбайны, поставляемые на шахты РФ фирмами Eickhoff (Германия), JOY (США), Fatur (Польша), T-Machinery (Чехия), имеют возможность продуктивной отработки протяженных лав длиной до 350 м с производительностью 30 – 40 т/мин, обеспечивая ресурс до капитального ремонта 10-15 млн т. Высокие эксплуатационные показатели достигаются за счет суммарной энерговооруженности режущих блоков более 1000 кВт, энергообеспечения комбайнов напряжением 3300 В, частотно-регулируемого автоматизированного привода системы подачи с тяговым усилием 1000 кН, обеспечивающего оптимальный режим отработки лавы самоадаптируясь под её горно-технические условия. Эти комбайны являются сложными мехатронными системами, состоящими из органически связанных механических, электротехнических, гидравлических, микроэлектронных и компьютерных компонентов [1, 2, 3].

В Донецкой Народной Республике имеется значительный научно-технический и промышленный потенциал с более чем 20-летним опытом по разработке, производству и эксплуатации очистных комбайнов на аналогичных принципах действия, хотя и с меньшими параметрами по вынимаемой мощности, энерговооруженности и энергообеспечению.

В 2002 году было разработано и утверждено техническое задание на ряд очистных комбайнов КДК. В 2002-2003 годах при тесном сотрудничестве ГП «Донгипроуглемаш», ГП «НИИВЭ», ОАО «АВТОМАТГОРМАШ

им. В.А. Антипова», ООО «Элмис» и ЗАО «Горловский машиностроитель» была разработана конструкторская документация и изготовлены два опытных образца типового представителя ряда – комбайна КДК500 для отработки пластов мощностью 1,35-3,2 м. В 2004 году комбайн КДК500 был принят к серийному производству по результатам приемочных испытаний на шахте «Новодонецкая» ГП «Добропольеуголь» (4-я северная лава пласта К₇, средняя мощность – 1,97 м, средняя нагрузка – 1095 т/сут.) и шахте «Южнодонбасская № 3» ГП «Донецкуголь» (23-я восточная лава пласта С₁₁, средняя мощность – 1,65 м, средняя нагрузка – 1610 т/сут.).

С 2005 по 2013 год было выпущено 12 комбайнов КДК500, которые успешно эксплуатировались как в пластах мощностью 3,4 м (ООО «Шахта «Краснолиманская»), так и в пластах мощностью 1,4 м (ОП «Шахта «Красный Партизан» ГП «Свердловантрацит»). Среднесуточные нагрузки на лавы с комбайнами КДК500 составляли 2-3 тыс.т, а средний ресурс до первого капитального ремонта – 3 млн т. Эти показатели в 3-5 раз превосходили традиционные показатели, достигаемые на шахтах Донбасса при эксплуатации серийных комбайнов предыдущих поколений (1ГШ68, 2ГШ68Б, РКУ10, РКУ13).

В 2007 году по заказу ООО «Шахтоуправление «Садкинское», входящее в состав ООО «Южная угольная компания» (Ростовская область) был поставлен комбайн КДК600 как более энерговооруженная версия комбайна КДК500. Усиленные блоки резания этого комбайна были укомплектованы электродвигателями мощностью 300 кВт фирмы «Damel» (Польша), а масса комбайна доведена до 38 т. Этим комбайном были обеспечены стабильные среднесуточные нагрузки от 6 до 7 тыс. т при максимальных до 10 тыс. т при отработке пласта m_8' с геологической мощностью 1,8-2,2 м с сопротивляемостью угля резанию 270 кН/м [11, 12].

В 2019 году ГБУ «ДОНУГЛЕМАШ» совместно с ГБУ «НИИВЭ» и ГУ «АВТОМАТГОРМАШ им. В.А. Антипова» была разработана техническая документация на очистные высокоунифицированные комбайны КДК700 (для отработки пластов 2,0-4,5 м) и КДК800 (для пластов 2,2 – 5,0 м) [14]. При разработке документации учтен опыт, полученный при эксплуатации комбайнов КДК500, КДК600 и КДК700, повышены надежность и ресурс системы подачи за счет оснащения каждого блока подачи своим частотным преобразователем и электродвигателем мощностью 90 кВт против 60 кВт у предшественника. Комбайн имеет единый универсальный блок резания компактной конструкции за счет применения спаренной планетарной передачи, повышенную энерговооруженность – 400 кВт против 355 кВт у предшественника и оснащен принудительной системой смазки. Но самое главное, во вновь разрабатываемых комбайнах – вся силовая электротехническая часть комбайна, включая электродвигатели и частотные преобразователи, а также комплекс средств управления разработаны под изготовление на специализированных производственных мощностях ГБУ «НИИВЭ» и ГУ «АВТОМАТГОРМАШ

Материалы круглого стола
«О путях и методах повышения производительности и эффективности
использования оборудования в (горной) промышленности»

им. В.А. Антипова». Изготовление предусмотрено на базе только отечественных комплектующих (контакторов, электрогидрораспределителей, микропроцессоров) и материалов по уже отработанным технологиям, надежность которых многократно проверена стендовыми испытаниями и эксплуатацией в шахтных условиях.

В 2024 году ГБУ «ДОНУГЛЕМАШ» разработал техническое задание на очистной комбайн КДК1000 для отработки пологонаклонных пластов мощностью 2,5 – 5,5 м [15]. В этом комбайне предусмотрены суммарная установленная мощность 1435 кВт, энерговооруженность блоков резания 2х550 кВт, номинальное напряжение питающей сети 3300 В, тяговое усилие 2х500 кН. Комбайн оснащен системой высоконапорного пылеподавления и искровзрывогашения, высокопрочной и высокоресурсной системой подачи с циклоидальным зацеплением типа «Джумботрак» с автоматизированным частотно - регулируемым приводом.

В настоящее время институтами «ДОНУГЛЕМАШ», «НИИВЭ», «АВТОМАТГОРМАШ им. В.А. Антипова» ведется разработка технической документации на комбайн КДК1000 и его оригинальные комплектующие изделия.

По данным Минтопэнерго России до 2030 года на шахты РФ необходима поставка 60 новых очистных комбайнов. Собственное производство этой наукоемкой и высокотехнологичной продукции на территории РФ отсутствует. В сложившейся неординарной ситуации представляется целесообразным с привлечением наиболее квалифицированных научно и технологически подготовленных сил России разработать техническую документацию на опытный образец импортозамещающего комбайна. В качестве базы для разработки следует применить версию комбайна КДК600, имеющего длительный срок эксплуатации со среднесуточными нагрузками 6-7 тыс.т.

С целью производства комбайнов КДК500 и КДК600 в современных условиях в 2025-2026 годах ГБУ «ДОНУГЛЕМАШ», ГБУ «НИИВЭ», ГУ «АВТОМАТГОРМАШ им. В.А. Антипова», совместно с «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева» под эгидой АНО «НОЦ «Кузбасс-Донбасс» произведут НИР и разработку конструкторской документации на первый импортозамещающий комбайн КДК600. При проведении комплекса НИР будут созданы цифровые двойники тяжело нагруженных узлов комбайна с проведением их всесторонних виртуальных испытаний с отработкой рекомендаций по их усилению. При разработке конструкторской документации помимо усиления конструкции и усовершенствования комбайна основное внимание будет уделено оснащению его отечественными электродвигателями, комплектными устройствами (частотными преобразователями), комплексом средств автоматизации на современной элементной базе полностью отечественного производства. Изготовление комплектующих изделий предусмотрено на специализированных производствах ГБУ «НИИВЭ» (электродвигатели, комплектные устройства) и

Материалы круглого стола
«О путях и методах повышения производительности и эффективности
использования оборудования в (горной) промышленности»

ГУ «Автоматгормаш им. В.А. Антипова» (комплекс средств автоматизации). Изготовление комбайна, его предварительные испытания будут проведены в условиях ООО «Донецкий механический завод» с поставкой в 2026 году материальной модели опытного образца первого импортозамещающего комбайна КДК600 на шахту «Белореченская» ООО «ПГ «Родина» (ЛНР). Поставлена задача при создании и освоении выпуска импортозамещающих комбайнов ряда КДК обеспечить их безремонтный срок службы не менее 10 лет, что составит 30-50 тыс. часов наработки под номинальной нагрузкой или ресурс до капитального ремонта 7-15 млн т.

Заключение: Освоение производства импортозамещающих очистных комбайнов, является первоочередной задачей, поскольку эта мера позволит стабилизировать, а при необходимости и наращивать подземную добычу наиболее ценных марок углей, идущих на экспорт и нужды металлургии.

Серийное производство высокопроизводительных и ресурсных очистных комбайнов мехатронного класса типа КДК обеспечит загрузку отечественных машиностроительных заводов выпуском наукоемкой и высокотехнологичной продукции, а научных организаций инновационной поддержкой развития этого важнейшего для страны направления техники.

Список литературы

1. Горбатов П.А., Косарев В.В., Воробьев Е.А. Особенности формирования структурных решений современных очистных комбайнов как сложных мехатронных систем // Сб. трудов Междунар. конференции «Современные пути развития горного оборудования и технологий переработки минерального сырья». Днепропетровск: НГАУ, 1997.-С. 12-13.
2. Горбатов П.А., Косарев В.В., Лысенко Н.М. Выемочные комбайны нового поколения как энергетические системы мехатронного класса – Донецк: Ноулидж, 2010.-с.173.
3. Высокопроизводительный комбайн КДК500 с частотно-регулируемым приводом подачи / А.Н. Корольчук, И.В. Косарев, В.Л. Головин, В.С. Воскресенский // Уголь Украины. - 2005. - №6. -С.71-73.
4. Косарев И.В., Андреев Г.В., Косарев А.В. Мельниченко А.А., Чайков Е.М., Мезников А.В. Очистные комбайны и системы их подачи // Уголь Украины. – 2013 - № 10. – С. 18-25.
5. Павленко С.В., Иванков А.О., Косарев В.В. Комбайн КДК500 в забоях ООО «Шахтоуправление «Садкинское». -М.: Уголь. -2008. -№6. - С.26-30.
6. Стадник Н.И., Сергеев А.В., Кондрахин В.П. Особенности и функциональная модель мехатронного очистного комплекса // Горное оборудование и электромеханика,- М.: Новые технологии, №5, 2008,- С.32-40.

УДК 621.333

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ТЕХНИКИ

В. А. Горчаков, А. В. Кукулевский
ГБУ «НИИВЭ»

***Аннотация.** Приведены особенности эксплуатации комбайновых асинхронных электродвигателей. Рассмотрены существующие системы охлаждения электродвигателей и эффективность их работы. Определены перспективные направления развития комбайновых электродвигателей.*

***Annotation.** The features of operation of combine asynchronous electric motors are given. The existing cooling systems of electric motors and the efficiency of their operation are considered. Promising directions for the development of combine electric motors have been identified.*

***Ключевые слова:** ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ, СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ, СТАТОР, РОТОР, ПОЛЕЗНАЯ МОЩНОСТЬ.*

***Keywords:** ELECTRIC MOTOR, COOLING SYSTEM, STATOR, ROTOR, USEFUL POWER.*

Особенностью комбайновых асинхронных электродвигателей (АД) являются ограниченные размеры корпуса, определяемые высотой угольного пласта и типом применяемого угольного комбайна. Рост производительности угольных комбайнов потребовал повышения мощности приводных АД в строго ограниченных габаритах. Эта тенденция четко прослеживается в мировом электромашиностроении, но особенно явно в странах разрабатывающих маломощные угольные пласты. Увеличение мощности АД в заданном постоянном габарите может быть достигнуто улучшением характеристик активных материалов, либо повышением эффективности охлаждения. Но за последние 50 лет значительного улучшения характеристик электротехнических сталей не произошло, повышение мощности АД в первый период достигалось, в основном за счет изменения характеристик электроизоляционных материалов и конструкции применяемой изоляции, в частности, увеличения ее класса нагревостойкости от **В** до **Н** и уменьшения ее толщины.

Как показали экспериментальные данные, переход с класса нагревостойкости изоляции **F** на класс **H**, т. е. повышение допустимой температуры обмотки статора на 25 °С, позволяет повысить мощность АД на 12...17%. Поэтому первым шагом для повышения мощности комбайновых АД было применение кремнийорганической изоляции.

Применение более высоких классов изоляции сдерживается тем, что с ростом средней температуры обмотки статора увеличивается неравномерность нагрева ее пазовой и лобовой частей, что неблагоприятно сказывается на надежности обмотки. Кроме того, резко возрастает температура обмотки ротора,

которая при достижении 240...260°C, приводит к лавинообразному всплеску температуры ротора и к выплавлению его алюминиевой обмотки даже при незначительном превышении номинальной мощности (всего на 10...15%).

Из вышесказанного следует, что основным путем повышения мощности АД одного и того же габарита является усиление интенсивности его охлаждения и, в первую очередь, использование принудительного внешнего охлаждения поверхности корпуса статора. Наиболее простым и надежным, но менее эффективным способом является охлаждение воздушными потоками при помощи вентилятора, установленного на валу АД. Удельный расход материалов на 1 кВт мощности у АД типа 4ЭДКО4-120 с данной системой охлаждения составляет около 10 кг/кВт [1].

Дальнейшее повышение мощности АД в существующих габаритах достигается за счет водяного охлаждения проточной водой наружной поверхности статора и одновременной организации циркуляции воздуха во внутренних полостях корпуса при помощи внутренних вентиляторов. Для увеличения поверхностей охлаждения в некоторых конструкциях электродвигателей используются подшипниковые щиты, через которые циркулирует вода.

Данная конструкция на сегодняшний день самая распространенная для комбайновых электродвигателей и позволяет добиться удельного расхода материалов около 7 кг/кВт.

Одним из лучших способов повышения эффективности охлаждения АД с водяным охлаждением корпуса статора является водяное охлаждение вала проточной водой. Эффективность такого охлаждения подтверждена испытаниями АД типа 5ЭКВ4УС2. Результаты испытаний приведены в таблице 1. Данная конструкция позволяет повысить мощность АД в стандартном режиме S4 (ПВ 60%, 30 вкл/ч при FJ=2,5), соответствующему режиму работы угольного комбайна, с 220 до 315 кВт, т.е. на 43%, в стандартном режиме S4 (ПВ90%, 160 вкл/ч и FJ=2,5) соответствующему режиму работы струга, со 160 до 240 кВт, т.е. на 50% и в режиме S1 – со 145 до 220 кВт [2;3]. Удельный расход материалов составил около 5 кг/кВт. При этом минусом данной конструкции АД является невозможность использования второго конца вала для передачи крутящего момента, а так же применения торсионных валов.

Дальнейшее повышение интенсивности охлаждения можно достичь применением непосредственного жидкостного охлаждения внутренних частей АД. Так теплопроводность воздуха при температуре 20°C составляет 0,0259 Вт/(м·К), а к примеру диэлектрического трансформаторного масла - от 0,09 до 0,14 Вт/(м·К), что приблизительно в 4,6 раз выше, а это значит, что и отвод тепла от наиболее нагретых частей ротора будет происходить более интенсивно.

Изготовленные опытные образцы АД с жидкостным заполнением и водяным охлаждением корпуса показали, что ЭКВЖ4-315 имеет температуру лобовых частей обмотки статора на 30%, температуру ротора на 68% и среднюю

температуру обмотки статора на 44% ниже, чем 4ЭКВ4УС2 и мощность на 73% больше [4]. Как следует из таблицы 1, удельный расход материалов жидкостно-заполненных АД составляет около 4 кг/кВт. По данному показателю жидкостно-заполненные АД значительно превосходят остальные АД.

В начале 90-х годов исследования и разработки в данном направлении были остановлены. В настоящее время появились новые изоляционные материалы, уплотнительные элементы валов и диэлектрические жидкости, поэтому есть необходимость возобновления НИОКР по данному перспективному направлению, что позволит добиться повышения мощности комбайновых АД при сохранении требуемых габаритных ограничений.

Список литературы

1. Электродвигатели 2ЭКВ3,5-100 и 4ЭДКО4-120 для привода комбайнов/А.К. Бондаренко, Ю.И. Дмитренко, К.Д. Макаров, Е.Б. Ковалев, Л.Б. Ландкоф, В.Н. Оприян, С.Г. Локшинский //Уголь Украины.-1999.-№4.-С.25-26.
2. Новые электродвигатели для привода струговых установок/ А.К. Бондаренко, Ю.И. Дмитренко, К.Д. Макаров, Е.Б. Ковалев, Л.Б. Ландкоф, В.Н. Оприян, С.Г. Локшинский //Уголь Украины.-1996.-№8.-С.34-35.
3. Электродвигатель для горных машин с охлаждением вала проточной водой/ А.К. Бондаренко, Ю.И. Дмитренко, Е.Б. Ковалев, Л.Б. Ландкоф, К.Д. Макаров // Электротехника.-1994.-№9.-С.6-8
4. Жидкостное заполнение взрывозащищенных асинхронных двигателей/ А.И. Быков, Е.Б. Ковалев, Ю.И. Дмитренко, Ю.В. Расков //Электротехника.-1978.-№10.-С.48-49.

Материалы круглого стола
«О путях и методах повышения производительности и эффективности
использования оборудования в (горной) промышленности»

Таблица 1

Тип двигателя	Охлаждение		ПВ, %	FJ	Число пусков в час	U, В	P2, кВт	п, об/мин	Mмах, Нм	Mпуск, Нм	Iпуск, А	G, кг	G/P2, кг/кВт	Габариты корпуса (HxBxL), мм
	Внешнее	Внутреннее												
4ЭДКО4-120	Воздух		60	2,5	30	660	120		3000	2300	1150	1273	10,6	400x720x1165
ЭКВ4-185			100	-	-	1140	185		3300	2500	750	1150	6,2	
4ЭКВ4УС2		Воздух	60	2,5	120		160					1325	8,28	
5ЭКВ4УС2 (вал с водяным охлаждением)			100	-	-	660	220	1500	4000	3000	1500		6,0	415x500x1090
		Вода	60	2,5	30		315					1330	4,2	
ЭКВЖ4-315			90	-	160		240						5,54	
			100	-	-		346		4600				3,76	
ЭКВЖ4-250-6		Жидкостное	100	-	-	1140	265						4,9	415x500x1150
	60		2,5	60		309		3600			1000	1300	4,2	
	90			160		267		5000					4,87	

УДК 622.232.72

БЕСЦЕПНАЯ СИСТЕМА ПОДАЧИ ПОВЫШЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА КДК 1000

И.В. Косарев, А.В. Мезников, В.В. Косарев, Г.В. Андреев, Е.М. Чайков,
ГБУ «ДОНУГЛЕМАШ»

***Аннотация.** В представленном материале приведена информация о новом очистном комбайне с автоматизированным управлением частотно-регулируемым приводом бесцепной системы подачи повышенной безопасности для особо сложных условий эксплуатации.*

***Abstract.** The presented material provides information about a new cleaning combine with automated control of a frequency-controlled drive of a chainless supply system with increased safety for particularly difficult operating conditions.*

***Ключевые слова:** ОЧИСТНОЙ КОМБАЙН, БЛОК ПОДАЧИ, ЧАСТОТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ МУФТА.*

***Keywords:** CLEANING COMBINE, FEED UNIT, FREQUENCY CONVERTER, ELECTROMAGNETIC COUPLING.*

С учетом глобальных изменений, происходящих в мире для формирования технологического суверенитета страны в России идет локализация производства стратегически важных видов промышленного оборудования, в т.ч. горной техники.

Программой развития угольной промышленности с обеспечением импортозамещения зарубежных машин и оборудования аналогичной продукцией российского тяжелого машиностроения, утвержденной распоряжением Правительства РФ № 1582-р от 13.06.2020 г., предусмотрено освоение производства отечественных очистных комбайнов как основной позиции горно-шахтного оборудования для подземной добычи угля.

Более 60 % подземной добычи угля в РФ приходится на комбайновые лавы, отрабатывающие пологонаклонные пласты мощностью 2,5 – 5,5 м [1]. С целью обеспечения импортозамещаемых поставок этих комбайнов ГБУ «ДОНУГЛЕМАШ», ГБУ «НИИВЭ», ГУ «АВТОМАТГОРМАШ им. В.А. Антипова», при тесном сотрудничестве в решении вопросов безопасности и промсанитарии с ГУ «МАКНИИ», в соответствии с утвержденным ГКНТ ДНР Техническим заданием ведут разработку конструкторской документации на очистной комбайн КДК1000 с автоматизированным частотно-регулируемым приводом бесцепной системы подачи.

В соответствии с технической характеристикой комбайна КДК1000 при ориентировочной массе 85 т он должен устойчиво работать при углах наклона лав до 35 °, разрушая угольный забой по всей мощности пласта до 5,5 м при захвате до 1,0 м при сопротивляемости угля резанию до 400 кН/м, обеспечивая

Материалы круглого стола
«О путях и методах повышения производительности и эффективности
использования оборудования в (горной) промышленности»

номинальное усилие подачи 1000 кН и максимальное – 1200 кН. Эти нагрузки в 2 – 5 раз выше, чем на любом из ранее созданных отечественных комбайнов.

Бесцепная система подачи комбайна КДК1000 состоит из двух автономных блоков подачи, которые жестко крепятся с завальной стороны по краям несущей рамы в специально организованных для них нишах.

Комбайн перемещается вдоль лавы посредством обкатывания приводных звезд блоков подачи по зубчатым рейкам. Скорость перемещения комбайна регулируется за счет изменения скорости вращения роторов электродвигателей подачи, путем изменения частоты тока, подаваемого на статоры электродвигателей. Изменение частоты тока, поступающего на двигатели, обеспечивается двумя комплектными устройствами (частотными преобразователями), установленными в электроблоке комбайна. Изменение частоты от 0 до 100 Гц обеспечивается по заданной программе системой автоматизированного управления привода подачи как от нагрузки на блоках резания, так и от целого ряда прочих факторов, но, прежде всего, требований безопасности.

С целью надежного ограничения тягового усилия (не более 25 % сверх рабочих тяговых усилий [2]) в каждом редукторе блоков подачи комбайна встроены фрикционно-дисковые муфты предельного момента с настройкой на 20 % превышающей крутящий момент при номинальном тяговом усилии на приводной звезде составляющем 500 кН.

В бесцепной системе подачи комбайна КДК1000 предусмотрено оснащение каждого блока подачи автоматическими устройствами удержания комбайна от сползания при оперативных остановках или при возможных аварийных перемещениях с обеспечением величины запаса тормозного усилия каждым из них не менее 1,6 и максимально допустимым путем торможения не более 0,6 м [2].

Впервые в отечественных комбайнах тормозное устройство в виде электромагнитной муфты установлено на валу в задней части электродвигателя подачи. Работает устройство по следующему принципу. При включении электродвигателя подается ток на обмотку электромагнитной муфты и она магнитными силами перемещает прижимной диск сжимая пружины, воздействующие на дисковый тормоз, установленный на хвостовике вала электродвигателя. Происходит растормаживание вала электродвигателя и запуск его в работу. При отключении электроэнергии или отклонении скорости вращения вала, отслеживаемой датчиком оборотов, от заданной (при аварийной ситуации) происходит отключение электромагнитной муфты, сжатие пружинами дискового тормоза, установленного на валу электродвигателя, и остановка вала.

При суммарном тормозном моменте, обеспечиваемом электромагнитными тормозами 1200 Нм, массе комбайна 85 т при остановке комбайна на ставе конвейера в лаве с предельным по области применения углом наклона 35 ° (без учета сил торможения от контакта шнеков с горным массивом и разрушенной

Материалы круглого стола
«О путях и методах повышения производительности и эффективности
использования оборудования в (горной) промышленности»

горной массой) запас тормозного усилия будет составлять 2,5 против нормативного 1,6 для «тяжелых» комбайнов.

Учитывая значительный рост параметров по массе и усилиям воздействия на тяговый орган системы подачи, а также необходимости повышения его ресурсных параметров по сравнению с традиционно применяемыми сварными цевочными рейками типа «Айкотрак» с шагом 126 мм предусмотрен переход на высокопрочные литые рейки с использованием циклоидального зацепления типа «Джумботрак» с шагом 147 мм. Преимуществом такого зацепления по сравнению с цевочным является уменьшение взаимного скольжения профилей зубьев приводных колес и рейки и контактных напряжений в зацеплении, что повышает износостойкость зубьев и ресурс бесцепной системы подачи в целом [3]. По расчетам запас прочности всех ответственных элементов тягового органа в виде литых зубчатых реек с циклоидальным зацеплением не менее 3 при регламентируемом запасе 1,5 [2].

Заключение. Освоение производства очистного комбайна КДК1000 с высокоресурсной и повышенной безопасности бесцепной системой подачи с автоматизированным частотно-регулируемым приводом на машиностроительных предприятиях РФ позволит осуществить импортозамещение комбайнов фирм Германии, США, Польши, Чехии, используемых в настоящее время на шахтах Российской Федерации, для продуктивной и безопасной отработки пластов мощностью 2,5 – 5,5 м.

Список литературы

1. Выполнить научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы по очистному комбайну с автоматизированным управлением и частотно-регулируемым приводом бесцепной системы подачи с энерговооруженностью блоков резания 1100 кВт под номинальное напряжение 3300 В для отработки пластов мощностью 2,5 – 5,5 м в условиях угольных предприятий Российской Федерации. Отчет НИР / Технический архив ГБУ «ДОНУГЛЕМАШ» А/0094, 78 с., 2024.

2. ГОСТ 31557-2012 Комбайны очистные. Общие технические требования. Методы испытаний. Москва. Стандартиформ 2016.18 с.

3. Кондрахин В.П. Электрические механизмы перемещения очистных комбайнов / В.П. Кондрахин, В.В. Косарев, Н.И. Стадник.- Под общ. Ред. В.П. Кондрахина. – Донецк: Технопарк ДонНТУ УНИТЕХ, 2010.-257 с.

УДК 621.3.036.213

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ РАСЧЁТОВ В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЖИДКОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ С РАЗЪЕМНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ

А.И. Дьяченко, И.В. Марейченко
ГБУ «НИИВЭ»

***Аннотация.** Рассмотрен способ учёта влияния шероховатости поверхностей контактирующих материалов при моделировании тепловых процессов в системе охлаждения силовых электрических компонентов горных машин в прикладном пакете FLOW SIMULATION в процессе проектирования комплектного устройства управления магистральным ленточным конвейером.*

***Abstract.** A method is considered for taking into account the influence of surface roughness of contacting materials when modeling thermal processes in the cooling system of power electrical components of mining machines in the FLOW SIMULATION application package in the process of designing a complete control device for a main belt conveyor.*

***Ключевые слова:** ТЕРМОАНАЛИЗ, СИЛОВОЙ МОДУЛЬ IGBT, КОНТАКТНОЕ ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЕ, ПЛИТА ЖИДКОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ, ИНВЕРТОР, SOLIDWORKS, FLOW SIMULATION.*

***Keywords:** FEA THERMAL MODEL, IGBT POWER MODULE, THERMAL ANALYSIS, LIQUID COLD PLATE, INVERTER, SOLIDWORKS, FLOW SIMULATION.*

Введение. Современные технологии, такие как численное моделирование, использование высокоточных материалов и интеллектуальных систем управления, играют ключевую роль в обеспечении надежности и безопасности электрического оборудования. Это позволяет создавать системы, которые адаптируются к изменяющимся условиям эксплуатации и минимизируют риск возникновения аварий и отказов.

Выбор оптимального теплового режима работы электрических компонентов является весьма наукоёмкой задачей. Она требует учёта множества факторов и применения сложных методов анализа. Современные методы проектирования, основанные на компьютерном моделировании с использованием специализированного программного обеспечения, значительно ускоряют и упрощают процесс расчётов, что делает их незаменимыми в современной инженерии.

Одной из наиболее популярных систем проектирования позволяющей выполнять термодинамические расчеты является пакет Flow Simulation в среде компьютерного 3d моделирования SolidWorks [1].

Как правило, при установке радиаторов охлаждения применяют термопасты, которые нивелируют шероховатость в зоне контакта поверхностей. Таким методом приводя величину реального контактного теплового сопротивления к значению, близкому по теплопроводности к идеальному контакту. Поэтому, в большинстве расчётов систем охлаждения электронных модулей величину шероховатости не учитывают [3-5].

В ходе текущей работы по разработке силового электронного устройства для очистного комбайна КДК-1000 рассматривался вариант конструктивного исполнения сопрягаемых теплопроводящих поверхностей, исключающих применение термопаст. Такое решение было продиктовано желанием улучшить и облегчить ремонт и обслуживание горно-шахтного оборудования.

Для определения практической реализуемости выбранного решения нужно было сделать тепловой расчёт с учётом фактического контактного сопротивления поверхностей имеющих дефекты неровностей в виде шероховатости, волнистости или макронеровности.

Термическое сопротивление фактического контакта было рассчитано по методике, изложенной в книге Виктора Михайловича Попова «Теплообмен в зоне контакта разъемных и неразъемных соединений»

$$R_M = \frac{1}{2,12 \cdot \lambda_M \cdot \left(\frac{P}{E} \cdot B_n\right)^{0,8}} \cdot 10^{-4};$$

где P – удельная нормальная нагрузка на поверхность соприкосновения (контактное давление), $\text{Н}/\text{м}^2$;

E – модуль упругости металла (модуль Юнга);

B_n – коэффициент, характеризующий геометрические свойства контактирующих поверхностей и определяемый геометрическим способом на основании эмпирических зависимостей.

Термическое сопротивление межконтактной воздушной прослойки (формула справедлива только до 7 класса чистоты поверхности):

$$R_c = \frac{(h_{cp1} + h_{cp2}) \cdot (1 - m)}{\lambda_c};$$

h_{cp} – средняя высота выступов микронеровностей, м;

m – коэффициент заполнения профиля микронеровностей, определяемый геометрическим способом на основании эмпирических зависимостей.

При моделировании, значения контактного сопротивления для различных значений шероховатостей, материалов деталей сопрягаемых поверхностей и

Материалы круглого стола
 «О путях и методах повышения производительности и эффективности
 использования оборудования в (горной) промышленности»

окружающей среды выполняется расчетным путем. Данные расчёта приведены в таблице 1.

Таблица 1. Пример расчётных данных приведённого контактного термосопротивления (для материалов контактируемых поверхностей: охлаждающая плита – латунь, монтажная плита – медь)

№	Ra, мкм	hcp1+hcp2, мкм	Bn	$\bar{\lambda}_m$, Вт/м · град	P, Мпа	RM, м ² · град/Вт	Rc, м ² · град/Вт	\bar{R} , м ² · град/Вт
1	0,63	1,26	26,42	165	606E-05	1,45E-04	1,05E-05	3,15E-04
2	0,8	1,6	26,24			1,46E-04	2,67E-05	8,00E-04
3	1,6	3,2	25,39			1,5E-04	5,60E-05	1,68E-04
4	2,5	5	24,48			1,54E-04	9,17E-05	2,75E-04
5	3,2	6,4	23,79			1,58E-04	1,23E-04	3,68E-04
6	6,3	12,6	20,98			1,75E-04	2,52E-04	7,56E-04
7	12,5	25	16,56			2,10E-04	5,21E-04	1,56E-04

Полученные значения контактного теплового сопротивления вносятся во вкладку ввода «входных параметров» текущего исследования параметрического моделирования (рис. 1).

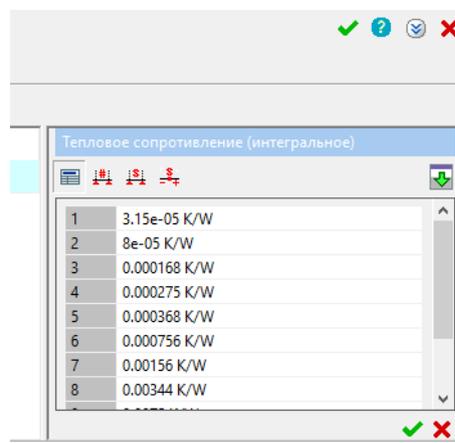
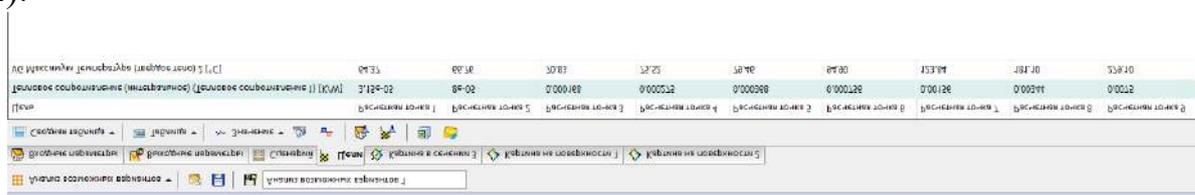


Рис. 1. Задание нескольких дискретных значений теплового сопротивления контакта

Программным обеспечением формируются сценарии расчёта в зависимости от изменяемых входных параметров, значений термосопротивлений (рис.2).



Материалы круглого стола
«О путях и методах повышения производительности и эффективности
использования оборудования в (горной) промышленности»

Рис. 2. Окно сценариев расчёта для изменяемых входных параметров при параметрической симуляции

Эти значения могут быть внесены с различным способом варьирования: дискретными значениями, диапазоном с шагом или количеством шагов, или же диапазоном минимум – максимум, в зависимости от потребности конкретного исследования.

Дискретные значения : позволяет задать определенный набор значений (рис. 3).

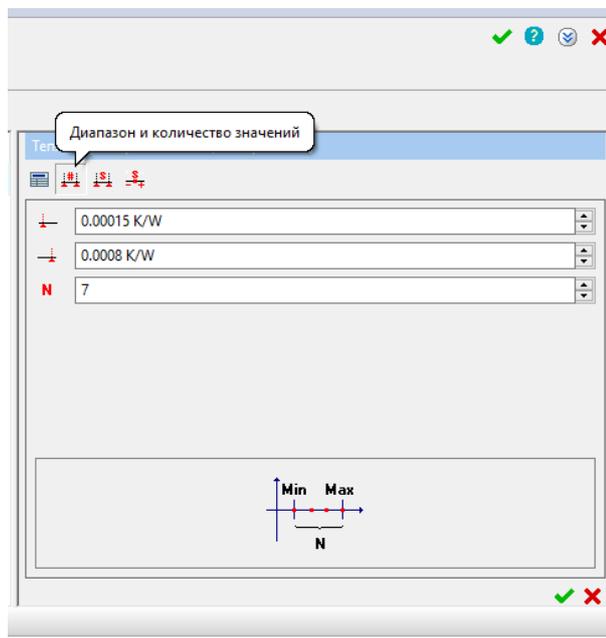


Рис. 3. Вкладка дискретного ввода значений

Диапазон и количество значений : позволяет задать диапазон и количество значений (рис. 4).

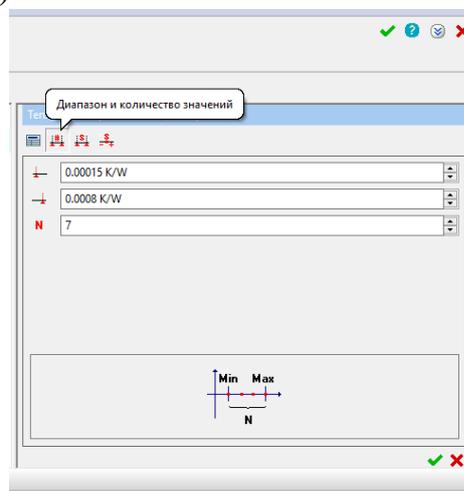


Рис. 4. Вкладка ввода диапазона значений

Диапазон и шаг между значениями $\pm S$: позволяет указать диапазон значений и шаг между двумя соседними значениями (рис. 5).

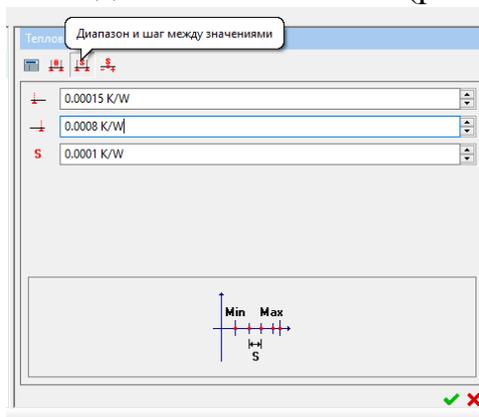


Рис. 5. Вкладка ввода диапазона значений с шагом

Относительный шаг $\pm S$: позволяет задать шаги относительно текущего значения (рис. 6).

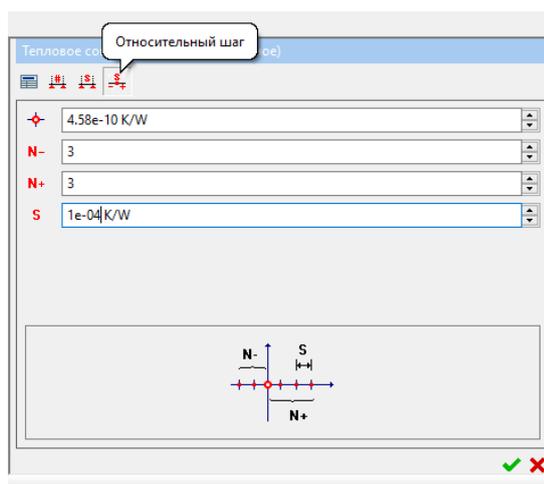


Рис. 6. Вкладка ввода диапазона значений с изменяющимся шагом

В нашем случае вводится ряд дискретных значений приведённых контактных термосопротивлений для каждой величины шероховатости

Таблица 2. Расчётные данные приведённого контактного термосопротивления (для материалов контактируемых поверхностей: охлаждающая плита – латунь, монтажная плита – медь)

№	Шероховатость Ra, мкм	Приведенная теплопроводность \bar{R} , м ² · град/Вт
1	0,63	3,15E-04
2	0,8	8,00E-04
3	1,6	1,68E-04

Материалы круглого стола
«О путях и методах повышения производительности и эффективности
использования оборудования в (горной) промышленности»

4	2,5	2,75E-04
5	3,2	3,68E-04
6	6,3	7,56E-04
7	12,5	1,56E-04

Запускаем симуляцию. В окне сценариев можно выбрать несколько рабочих компьютеров (рис. 7) для проведения расчётов. Вычисление на двух одновременно компьютерах позволяет ускорить расчёт в 3,5 раза.

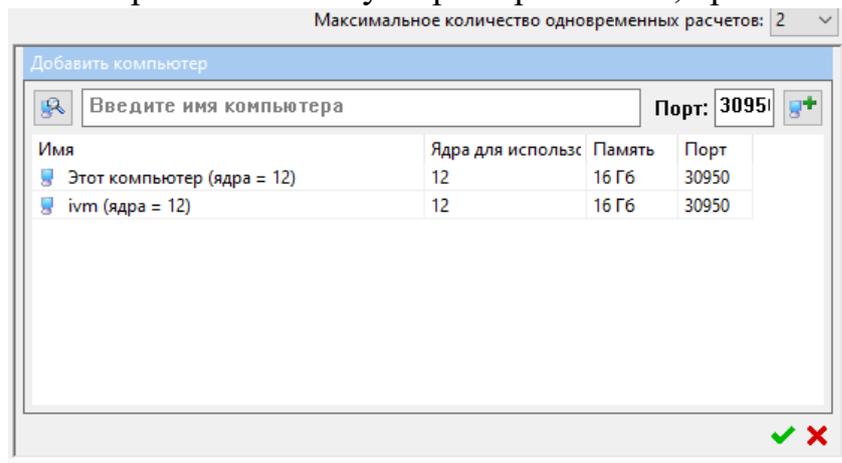


Рис. 7. Окно выбора рабочих компьютеров

Запускаем расчёт параметрического термоанализа. За ходом расчёта (рис. 8) и картиной распределения тепла можно наблюдать в реальном времени.

Далее определим температуру на кристалле при использовании идеального контакта. В реальных условиях это будет означать применение термопасты.

Для этого отключаем в проекте учёт теплового сопротивления контакта.

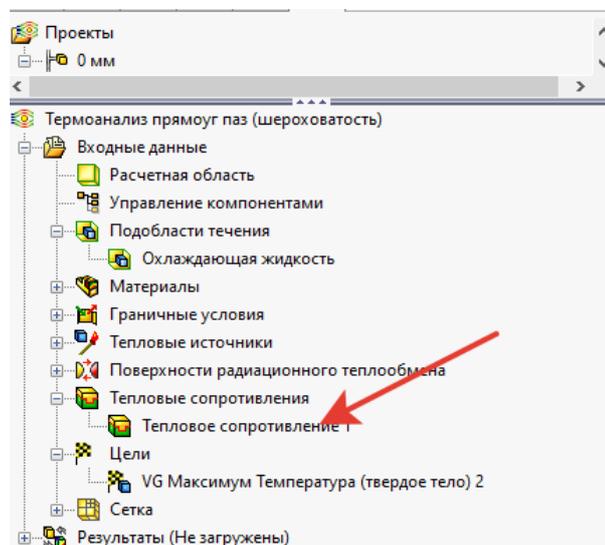


Рис. 8. Тепловое сопротивление контакта в дереве проекта

Материалы круглого стола
«О путях и методах повышения производительности и эффективности
использования оборудования в (горной) промышленности»

Расчёт показал следующий результат. Максимальная температура на кристалле IGBT модуля равнялась 70 °С.

Сравним полученные результаты системы охлаждения с термопастой и без (таблица 4).

Таблица 4. Сравнение результатов температур кристалла при применении термопасты и без

№	Шероховатость Ra, мкм	Температура кристалла (без термопасты) Tj, °С	Температура кристалла (с термопасты) Tj, °С	Разница температуры кристалла ΔT, °С
1	0,63	83,03	70	13,03
2	0,8	83,54		13,54
3	1,6	87,97		17,97
4	2,5	89,59		19,59
5	3,2	91,70		21,7
6	6,3	106,48		36,48
7	12,5	108,10		38,1

Сравнительный анализ наглядно показывает значительную разницу температур кристалла без использования термопасты в соединении с плитой охлаждения.

По результатам компьютерного моделирования можно сделать вывод о влиянии шероховатости поверхности охлаждающей плиты на контактное термическое сопротивление. Что в дальнейшем влияет на эффективность теплоотвода. В конечном итоге, можно сделать вывод что использование разъёмного соединения для охлаждения силовой электроники возможно только с шероховатостью контактируемых поверхностей не грубее Ra 6,3 мкм.

В данном расчёте используется набор сценариев, основанный на изменении значений контактных термосопротивлений.

Далее термодинамическая симуляция выполняется штатными методами среды FlowSimulation.

Оценка влияния значения шероховатости на качество теплопередачи при проиллюстрирована графиком (рис. 13).

Материалы круглого стола
«О путях и методах повышения производительности и эффективности
использования оборудования в (горной) промышленности»

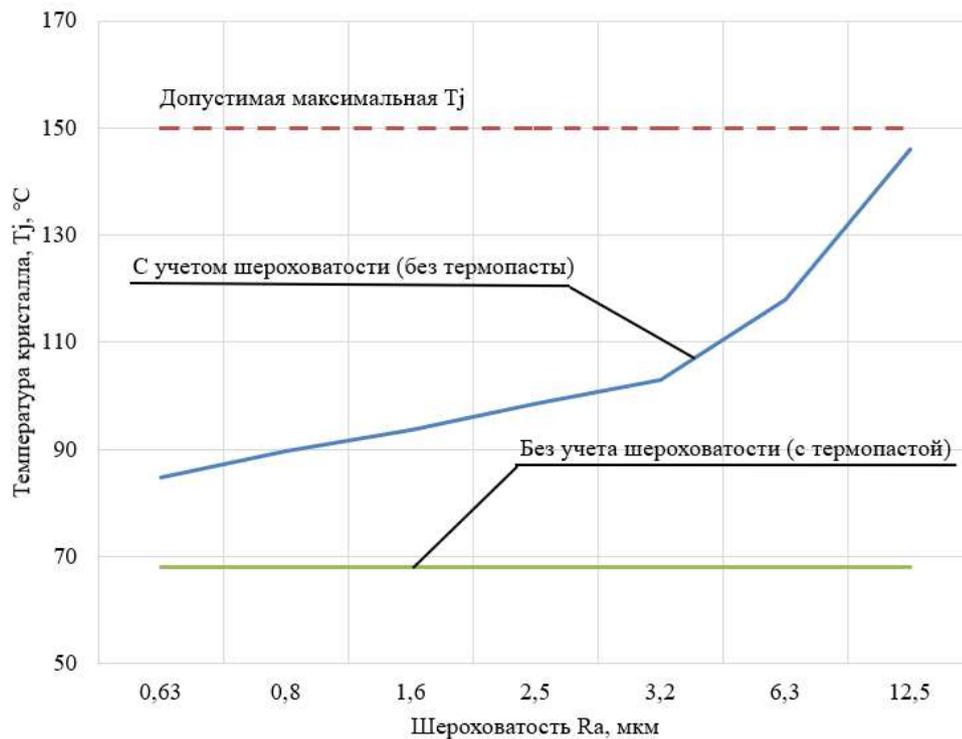


Рис. 9. Сравнение зависимостей температуры кристалла IGBT транзистора от шероховатости на контактных поверхностях охлаждающей плиты и монтажной панели с применением термопасты и без

Вывод: сочетание расчётного метода вычисления величины термического контактного сопротивления с использованием системы SolidWorks Flow Simulation значительно улучшает качество и точность проведения расчетов при проектировании систем охлаждения электронных модулей горных машин, что позволяет с уверенностью сказать о необходимости и целесообразности применения описанных в статье методов в процессе проектирования систем охлаждения. Что в свою очередь, обеспечивает надёжную и безаварийную работу.

Список литературы

1. SolidWorks Flow simulation— программный комплекс САПР для вычислительной гидродинамики (CFD), встроенное в SOLIDWORKS 3D CAD и позволяющее моделировать потоки жидкости и газа для вычисления рабочих характеристик и возможностей изделия. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.solidworks.com/ru/product/solidworks-flow-simulation>
2. Попов В. М. Теплообмен в зоне контакта разъемных и неразъемных соединений. М., «Энергия», 1971. – 216 с.

Материалы круглого стола
«О путях и методах повышения производительности и эффективности
использования оборудования в (горной) промышленности»

3. Thermal Analysis of Si-Igbt Based Power Electronic Modules in 50kw Traction Inverter Application / M. Shahjalal, T. Shams, S. B. Hossain [et al.] // Social Science Research Network. – 2022. – DOI 10.2139/ssrn.4091251. – EDN GIALXX.

4. Asadi, A. Effects of constructal theory on thermal management of a power electronic system / A. Asadi, F. Pourfattah // Scientific Reports. – 2020. – Vol. 10, No. 1. – P. 1-14. – DOI 10.1038/s41598-020-78566-x. – EDN KREQVU.

5. Kurhade, Anant & Darade, Milind & Siraskar, Gulab & Biradar, Ramdas & Mahajan, Rupesh & Kardile, Chaitrali & Waware, Shital & Yadav, Rahul. (2024). State-of-the-Art Cooling Solutions for Electronic Devices Operating in Harsh Conditions. Journal of Mines, Metals and Fuels. 843-861. 10.18311/jmmf/2024/45374.

УДК 622.232.7

МЕТОД ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОГО ПРОСТРАНСТВА

А.Ю. Довгань, В.В. Казаков, А.Ю. Карповский
ГУ «Автоматгормаш им В.А. Антипова»

Аннотация. В статье сделан обзор состояния подготовительных работ горных выработок в настоящее время, рассмотрены пути увеличения темпов проведения подготовительных горных выработок.

Abstract. The article provides an overview of the current state of preparatory mining operations, and considers ways to increase the pace of preparatory mining operations.

Ключевые слова: ОБЪЕКТ, МЕТОД, ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ, ОГРАНИЧЕННОЕ ПРОСТРАНСТВО, ТОЧНОСТЬ, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ.

Keywords: OBJECT, METHOD, POSITIONING, LIMITED SPACE, ACCURACY, PRODUCTIVITY.

В соответствии со стратегией научно-технологического развития [1] актуальной задачей является повышение роботизации в разных областях. В настоящее время применительно к добыче угля требуется значительное увеличение темпов проведения подготовительных горных выработок.

При ручном управлении стреловым проходческим комбайном машинист выполняет ряд функций, в том числе и такие функции:

- выбирает схему обработки забоя в зависимости от состояния породного массива, принятой технологии и своих навыков,
- следит за состоянием породного массива, процессом его разрушения, размещением комбайна в выработке, нагрузкой электродвигателей, пылегазовым режимом, состоянием отдельных узлов и механизмов.

При этом количество перемещений исполнительного органа проходческого комбайна по забою колеблется от 25 до 70 и более [2]. На рисунке 1 приведены схемы обработки забоя стреловым проходческим комбайном.

При недостаточных навыках машиниста проходческого комбайна возможны ситуации:

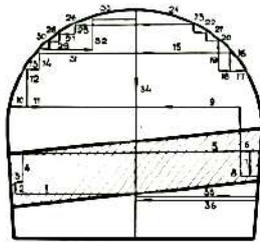
- некачественная обработка контура выработки, приводящая к переборам по сечению и к значительному объему забутовки пустот и снижению стойкости выработки;
- значительное время отработки цикла по разрушению забоя из-за затрат времени на принятие решения по выбору схемы обработки забоя и изменению положения исполнительного органа;
- высокая трудоемкость управления, приводящая к высокой напряженности машиниста и его ошибкам.

Материалы круглого стола

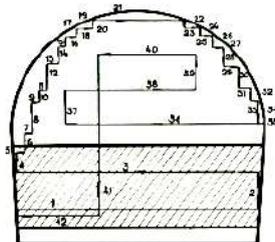
«О путях и методах повышения производительности и эффективности использования оборудования в (горной) промышленности»

Системы ручного управления не дают возможности стабильно поддерживать ряд параметров на заданном уровне, с высокой точностью.

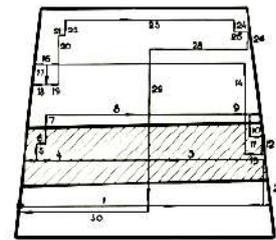
В функции машиниста входит также управление погрузкой и распорным устройством. Это требует высокой квалификации машиниста и значительных навыков в управлении комбайном. Такое количество выполняемых машинистом функций снижает эффективность и повышает напряженность его работы. Поэтому для нормальной продуктивной работы машиниста необходимо как можно больший объем операций передать автоматическим устройствам.



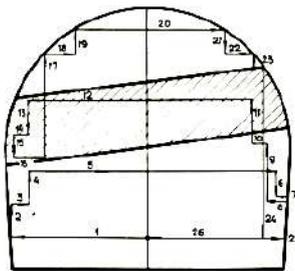
Шахта Ворошиловградская №1 ПО Ворошиловградского, Западный откаточный штрек, пл. К, гор. 311, S выработки 10,5 м², крепость пород почвы $\Psi = 5$, кровли $\Psi = 3-4$ ед, количество движений 30.



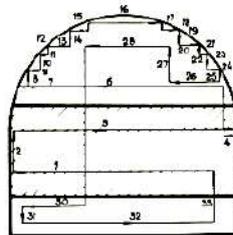
Шахта Лутугинская-Северная ПО Ворошиловградского, Западный вентиляционный штрек, пл. К, гор. 195, S = 11,2 м², крепость $\Psi = 3-4$, почвы 6 ед. Количество движений 42.



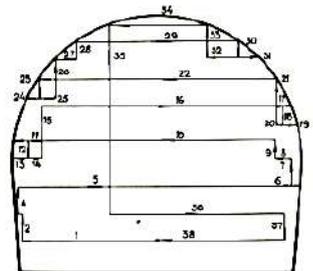
Шахта им. А.С. Коротченко ПО Красноармейского, Восточный откаточный штрек, гор. 400, S = 11,2 м², крепость пород $\Psi = 4-5$, количество движений 30.



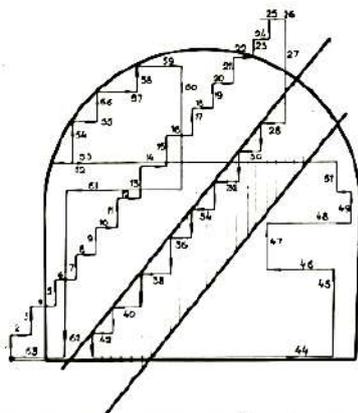
Шахта Краснокутская ПО Донбассантрацит, 2-й Западный вентиляционный ходок, S = 15,3 м², кровля - неустойчивый глинистый сланец $\Psi = 3-4$ ед, почва крепостью $\Psi = 5$. Количество движений 26.



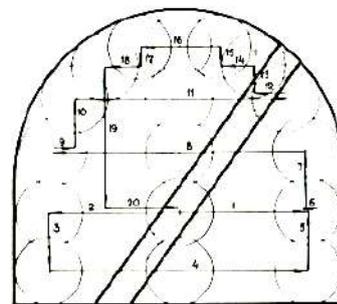
Шахта №21-22 комбината Днепршахтостроя, селективная выемка угля мощностью 1,5 м, S = 4 м² выработки. Почва крепостью $\Psi = 5$, кровля $\Psi = 3-4$, количество движений 33.



Шахта Красноармейская - Капитальная, Мазетральный штрек 986 блока №3, S = 15 м², обработка без селективной выработки, количество движений 36, крепость $\Psi = 4$ ед.



Шахта Качегорка ПО Макеевское, S = 11,8 м², $\Psi = 3-4$ ед, мощность угля 1,2 м, количество движений 63.



Шахта Ольховатская ПО Орджоникидзевское, групповой штрек, количество движений 20.

Рисунок 1 – Схемы обработки забоя стреловым проходческим комбайном

Материалы круглого стола
«О путях и методах повышения производительности и эффективности
использования оборудования в (горной) промышленности»

Для уменьшений зависимости от квалификации машиниста и облегчения напряженности его работы необходим анализ используемых машин, систем их управления, необходимы исследования, направленные на модернизацию и создание более продуктивных и безопасных машин, их экспериментальную проверку. Основным способом реализации этого пути является создание систем автоматического и дистанционного управления.

Опыт эксплуатации комбайнов показывает, что при высоких темпах проходки сдерживающими факторами являются не только отсутствие механизации крепления выработок, неритмичность работы транспорта, выполнение вспомогательных работ, но и несовершенство управления процессами разрушения забоя и погрузки горной массы, что становится возможным с повышением уровня роботизации.

Предлагается проходческий комбайн рассматривать в качестве объекта роботизации. Для повышения его роботизации необходимо разрабатывать и применять аппаратно-программные комплексы, которые обеспечат обработку забоя по заданной программе с автоматическим более точным выдерживанием заданного профиля забоя.

Одним из направлений повышающим уровень роботизации – позиционирование роботизированного объекта. Применительно к проходческому комбайну это означает определение и позиционирование комбайна к пространству забоя, позиционирование исполнительного органа и его подъёмно-поворотной секции конвейера.

Позиционирование роботизированных объектов влияет на точность обработки и повышает эффективность работы, как показано в [3].

В части охраны труда и обеспечения безопасности персонала система позиционирования позволит: обеспечить соблюдение требований федеральных правил промышленной безопасности, снизить аварийность техники и тем самым избежать серьезных финансовых потерь, определять входение персонала в опасные зоны, на опасных производственных участках уменьшить число работников или вообще их исключить, уменьшить производственный травматизм.

В связи с этим разработка и внедрение нового метода позиционирования объектов (проходческий комбайн, его исполнительный орган и его подъёмно-поворотная секция конвейера) в ограниченном пространстве (забое) является перспективным направлением в задачах автоматического и дистанционного управления.

Список литературы

1. Указ Президента Российской Федерации от 28.02.2024 №145 «О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации»

Материалы круглого стола
«О путях и методах повышения производительности и эффективности
использования оборудования в (горной) промышленности»

2. Злодеев, А.В. Повышение эффективности программной обработки забоя стреловыми комбайнами / А.В. Злодеев, В.В. Синенко, С.Е. Шумалинский //Автоматизация забойного оборудования: сб. научн. тр. – М.: НПО «Автоматгормаш», 1984. – Вып.9. – С. 57-60

3. Шабает О.Е., Довгань А.Ю., Математическая модель формирования вектора внешнего возмущения на осевой коронке исполнительного органа проходческого комбайна //Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2024. № 2 (22). С. 55-72.

УКД 621.3.06

О РАЗРАБОТКЕ КОМПОНЕНТОВ И ЗАДАЧИ ПО ВНЕДРЕНИЮ ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА НАПРЯЖЕНИЕ 3,3 КВ

А.И. Белошистов, М.В. Марапулец, А.Л. Серов
ГБУ «НИИИВЭ»

Аннотация. В работе рассмотрены задачи по внедрению взрывозащищенного электрооборудования на напряжение 3,3 кВ. Изложены основные требования к вакуумным контакторам на номинальное напряжение 3,3 кВ в шахтном исполнении.

Abstract. The paper considers the tasks of introducing explosion-proof electrical equipment at a voltage of 3.3 kV. The basic requirements for vacuum contactors with a nominal voltage of 3.3 kV in the shaft design are described.

Ключевые слова: ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ, ВАКУУМНЫЙ КОНТАКТОР, ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Keywords: EXPLOSION-PROOF ELECTRICAL EQUIPMENT, VACUUM CONTACTOR, TECHNICAL REQUIREMENTS

На данный момент угольная промышленность Российской Федерации претерпевает серьезные изменения в плане энергетической модернизации. Увеличение производительности угольных шахт и нагрузки на забой, потребовало разработки новых средств механизации очистных работ в виде мощных энерговооруженных очистных комплексов. Создание мощных электроприводов для таких комплексов возможно только по пути увеличения напряжения, так как напряжение 1140 В исчерпало себя по многим причинам. Рост мощности очистных комплексов влечет за собой рост мощности механизмов для проведения горных выработок и транспортных средствами, а также вспомогательных механизмов, обеспечивающих функционирование предприятия в целом.

Выбор соответствующего уровня напряжения может в полной мере и на длительный срок решить задачу качественного снабжения высокопроизводительных забойных машин с учетом перспективы роста мощности их электропривода. Повышение эффективности систем подземного электроснабжения высокопроизводительных угольных шахт за счет создания отечественного взрывозащищенного электрооборудования на напряжение 3300 В. соответствует «Программе импортозамещения» и предусмотрено «Программой развития угольной промышленности России на период до 2035 года». Учитывая сложившуюся ситуацию, связанную со всевозможными ограничениями, разработка взрывозащищенного электрооборудования на перспективное напряжение 3,3 кВ является актуальной задачей.

ГБУ «НИИВЭ» ведет разработку компонентов для взрывозащищенного электрооборудования для сетей напряжением 3,3 кВ. Разработан ряд проходных и опорных изоляторов. Работы по разработке датчиков тока и разъединителя на указанное напряжение находятся на стадии завершения.

Тенденция развития взрывозащищенного аппаратостроения основана на широком применении вакуумных коммутационных аппаратов. Данный класс коммутационных аппаратов широко представлен в диапазонах напряжений от 380 до 1140 В и выше 6 кВ в специальном, шахтном, исполнении. Пластмассовые детали таких контакторов изготавливаются из трекингостойких материалов. Конструктивно контакторы имеют блок-контакт на номинальное напряжение сети, что обеспечивает подключение цепей предварительного контроля изоляции к контролируемой сети.

При проектировании взрывозащищенных электрических аппаратов на номинальное напряжение сети 3,3 кВ возникнет вопрос, чем заполнить вакуум, образовавшийся в ряде вакуумных коммутационных аппаратов на данное напряжение. Использование на данное напряжение коммутационных аппаратов, разработанных для сетей 6 кВ и выше, представляется не рациональным. Это связано с увеличением габаритных размеров, и как следствие, с увеличением веса аппарата, что приводит к неоправданным затратам. Кроме того, данные коммутационные аппараты не в полной мере соответствуют требованиям, предъявляемым к рудничному электрооборудованию. Решение данной задачи позволило бы, на базе имеющихся разработок, в кратчайшие сроки разработать современный вакуумный контактор на номинальное напряжение 3,3 кВ, соответствующий требованиям горнорудной промышленности.

При разработке вакуумных контакторов на номинальное напряжение 3,3 кВ необходимо учитывать не только требования по путям утечки, изоляции и трекингостойки, но и учитывать факторы эксплуатации, такие как вибрационные нагрузки в местах установки, воздействие внешних факторов при эксплуатации. Это особенно важно при размещении вакуумных контакторов непосредственно на проходческих или угледобывающих комбайнах.

Вакуумные контакторы для взрывозащищенных коммутационных аппаратов должны иметь конструктивные особенности в плане выполняемых функций. Необходимо учитывать, что коммутационный аппарат должен иметь вспомогательные блок-контакты для подключения как искробезопасных цепей, так и цепей устройств предварительного контроля изоляции сети. Расположение данных цепей должно удовлетворять ряду нормативных документов и обеспечивать функционирование аппарата. Требование к цепям подключения устройства предварительного контроля изоляции сети является наиболее затруднительным в реализации. Блок-контакт, подключаемый к контролируемой сети, должен быть рассчитан на номинальное напряжение сети, иметь видимый разрыв и обеспечивать надежную коммутацию малого, порядка нескольких миллиампер, тока.

Материалы круглого стола
«О путях и методах повышения производительности и эффективности
использования оборудования в (горной) промышленности»

Управление вакуумным контактор на номинальное 3,3 кВ должно осуществляться при помощи встроенного блока форсированного включения. Блок форсированного включения должен обеспечивать удержание вакуумного контактора во включенном состоянии с учетом больших просадок сети.

Для подавления перенапряжений, возникающих в результате работы контактора, необходимо устройство ограничения напряжения.

Выполнение данных условий обеспечит надежную и безаварийную работу электрооборудования, что должно быть приоритетной задачей при разработке данного вида продукции.

На данном этапе, возможно разработать техническое задание для разработки отечественного вакуумного контактора на номинальное напряжение 3,3 кВ, с характеристиками, удовлетворяющими потребности горнорудной промышленности. Серийный выпуск вакуумных контакторов позволит удовлетворить потребности горнорудной промышленности в современном, отечественном, электрооборудовании.

Данное техническое задание необходимо направить ведущим производителям вакуумных техники с целью привлечения их к серийному выпуску вакуумных контакторов, отвечающих потребностям горнорудной промышленности.

Вывод. Таким образом, разработка вакуумного контактора на напряжение 3,3 кВ позволяет ускорить переход на данное номинальное напряжение шахтного электрооборудования.

УДК 681.2.084

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАТЧИКОВ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫМ ЛЕНТОЧНЫМ КОНВЕЙЕРОМ

И.В. Марейченко, А.Н. Поважнюк, Б.Ф. Рясков
ГБУ «НИИВЭ»

Аннотация. Рассмотрены вопросы возможности применения устройств УТКР, УОПС, УКРЖ в аппаратуре управления ленточным магистральным конвейером.

Abstract. In this report, the issues of the possibility of using UTKR, UOPS, and UKRZH devices in the control equipment of a belt main conveyor are considered.

Ключевые слова: ЛЕНТОЧНЫЙ КОНВЕЙЕР, АДАПТИВНЫЕ ДАТЧИКИ, СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, КОМПЛЕКТНОЕ УСТРОЙСТВО, БЕЗОПАСНОСТЬ

Keywords: CONVEYOR BELT, ADAPTIVE SENSORS, CONTROL SYSTEM, COMPLETE DEVICE, SAFETY

Магистральный ленточный конвейер один из основных транспортных механизмов перемещения горной массы в угольной промышленности. Безотказная работа является фактором безопасности при проведении горных работ.

В ходе ведения работы по разработке комплектного устройства управления для многодвигательного частотно-регулируемого электропривода магистральных ленточных конвейеров ЧРЭ на напряжение 1140 В с замкнутой жидкостной системой охлаждения взрывозащищенного и рудничного нормального исполнения правильным и разумным возложить контроль над датчиками на комплектное устройство управления применяя цифровые датчики.

Имеющийся ряд цифровых датчиков [1] таких как - устройство обработки и передачи сигналов (УОПС-1) (рис. 1), устройство теплового контроля редуктора (УТКР-1-У5) (рис. 2), устройство контроля расхода жидкости (УКРЖ) (рис. 3) рационально применить для построения цифровой системы управления магистральным ленточным конвейером.

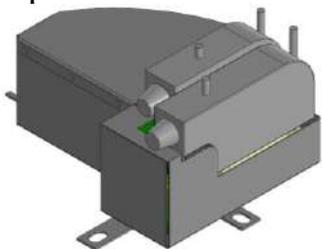


Рис. 1. Общий вид устройства обработки и передачи сигналов УОПС-1



Рис. 2. Общий вид с разрезом устройства теплового контроля редуктора УТКР-1



Рис. 3. Общий вид устройства контроля расхода жидкости УКРЖ

Устройство обработки и передачи сигналов УОПС-1, предназначено для сбора показаний с температурных датчиков Pt-100 и позисторов РТС, а также преобразования выходных сигналов энкодера в «токовую петлю». Устройство встраивается в приводной двигатель и обеспечивает обработку и передачу по цифровой шине данных.

Устройство теплового контроля редуктора УТКР-1, предназначено для измерения температуры высоконагруженных механизмов, в частности редуктора приводной станции магистрального конвейера. В настоящее время редукторы приводных станций не содержат такое устройство контроля, разумно установить на нагруженных передачах для обеспечения тепловой защиты и выполнить нормативные требования.

Устройство контроля расхода жидкости УКРЖ [2] обеспечивает контроль расхода и давления в системе охлаждения горных машин в сложных и стесненных условиях эксплуатации при использовании в качестве охлаждающей жидкости технической воды.

УКРЖ разумно применить в качестве контроля расхода воды на орошении пересыпного устройства и в качестве контроля системы охлаждения высоконагруженных узлов частотно-регулируемого электропривода.

Вывод. В арсенале разработок ГБУ «НИИВЭ» имеются устройства контроля параметров магистрального ленточного конвейера которые разумно применить для создания цифровой системы управления.

Список литературы

1. Марейченко И.В., Поважнюк А.Н., Опыт разработки адаптивных датчиков для горных машин // Материалы круглого стола «Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шихтах», 30 мая 2024 г, [Электронный ресурс] .URL: <https://maknii.jimdofree.com/новости/>
2. Марейченко, И. В. Цифровое устройство для контроля давления и расхода охлаждающей жидкости в системе охлаждения электрических аппаратов горных машин / И. В. Марейченко, А. Н. Поважнюк, И. Н. Садовая // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. – 2024. – № 3(66). – С. 110-120. – EDN UQJAHJ.