

**Шарнопольская Оксана Николаевна**

канд. экон. наук, доцент

**Маренич Мария Константиновна**

аспирант

ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет»

г. Донецк, Донецкая Народная Республика

**НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УЧАСТКА ШАХТЫ КАК ФАКТОР  
ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА  
РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

*Аннотация:* в статье обоснована целесообразность изменения концепции построения системы электроснабжения участка шахты на основе применения локальных защитных устройств, отказа от заземления центральных жил гибких кабелей, что существенно для повышения эффективности защиты персонала от электропоражения и обеспечения конкурентоспособности перспективных видов рудничного электрооборудования.

*Ключевые слова:* шахта, система электроснабжения участка, электробезопасность, средства защиты, анализ эффективности, технические предложения, рудничное электрооборудование, производители, возможности производства.

Современное горное производство, как и подавляющее большинство производств в других отраслях промышленности отличается тем, что все технологические процессы, реализуемые в шахте, электрифицированы. Наличие мощных технологических установок на участках горного предприятия обусловило необходимость применения трансформаторных подстанций высокой мощности (630–1000кВА и более) при подаче на участковые электросети линейных напряжений достаточно высокого уровня: 660 В, либо 1140 В. В этих условиях и с учётом стеснённости пространства, повышенной влажности и запыленности

атмосферы крайне актуальным представляется решение задачи защиты персонала от поражения электрическим током.

Применительно к эксплуатации шахтного участкового электротехнического комплекса – с этой целью реализуется концепция построения системы электропоражения, которая заключается в следующем:

– защита человека от электропоражения при контакте с металлическим корпусом электроустановки, находящимся под потенциалом фазы сети вследствие повреждения изоляции, осуществляется заземлением корпусов;

– защита человека от электропоражения при контакте с фазным проводником, нормально находящимся под напряжением, осуществляется техническими средствами аппаратов защиты от утечек тока на землю.

Согласно этой концепции – защитному заземлению подлежат металлические корпуса не только стационарных, но и перемещаемых в процессе эксплуатации установок (очистные комбайны и т. п.). С этой целью используют центральные жилы силовых кабелей электропитания, электрически соединяя корпус перемещаемой установки с заземленным корпусом стационарного магнитного пускателя.

Анализ данного технического решения позволяет сделать вывод о наличии активных и ёмкостных проводимостей в цепях «фаза-земля», образуемых изоляцией кабеля между фазными проводниками и заземляемой центральной жилой кабеля (рис. 1). При случайном прикосновении человека к фазному проводнику (рис. 2) эти проводимости создают путь тока через тело человека, что может привести к его электропоражению.

Таким образом, заземление перемещаемого электрооборудования посредством центральных проводников кабелей изначально превращает шахтную участковую электрическую сеть в потенциально опасный объект, когда защита человека от электропоражения может быть обеспечена только эффективностью функционирования аппаратов защиты от утечек тока на землю [1].

Анализ схем последних позволяет выделить функциональные узлы:

- узел выявления фазы с повышенной проводимостью на землю и формирования команды на отключение сети;
- узел компенсации ёмкости изоляции сети;
- узел закорачивания на землю фазы с повышенной проводимостью на землю.

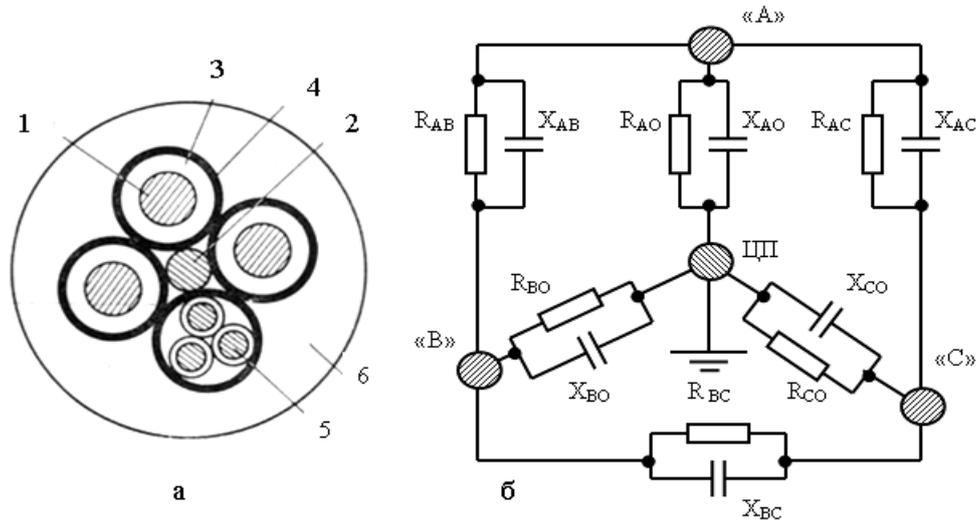


Рис. 1. Схема взаиморасположения (а) силовых жил 1 и центрального провода (ЦП) 2 гибкого экранированного шахтного кабеля (3 – резиновая изоляция; 4 – резиновый электропроводящий экран; 5 – сигнальная жила; 6 – оболочка кабеля) и формирования (б) активных ( $g=1/R$ ) и ёмкостных ( $b=1/X$ ) проводимостей изоляции кабеля при заземлении центрального провода

Исследование особенностей функционирования данных узлов позволило установить следующее. Исполнительным устройством защитного отключения сети является автоматический выключатель серии А37ХХ. Его собственное время срабатывания лежит в пределах 80–100 мс, что в условиях эксплуатации мощных протяженных кабельных сетей (с высоким уровнем ёмкости изоляции) может привести к превышению количеством электричества, проходящего по человеку предельно допустимой величины  $q = 50 \text{ мА} \cdot \text{с}$  [2] и требует дополнительных средств интенсификации обесточивания сети.

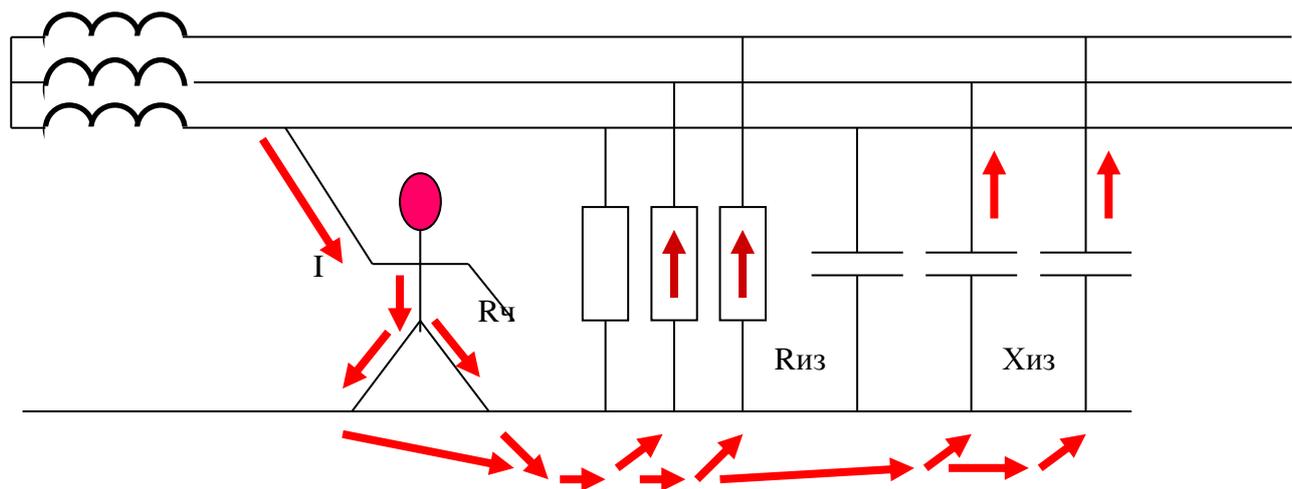


Рис. 2. Схема электропоражения человека при контакте с фазным проводником в шахтной участковой электросети

Автокомпенсация ёмкости изоляции сети методом следящей корректировки индуктивности компенсирующего дросселя, реализуемая в аппаратах защиты от утечек тока на землю серии АЗУР-1 реализуется не в полной мере и снижает величину емкостного тока в цепи утечки, в среднем, на  $2/3$  от уровня при отсутствии компенсации (рис. 3) [3]. Это обстоятельство послужило основанием для отказа от применения автокомпенсаторов в структуре аппаратов защиты (АЗУР-4), предназначенных для эксплуатации в электросетях линейного напряжения 1140В [4].

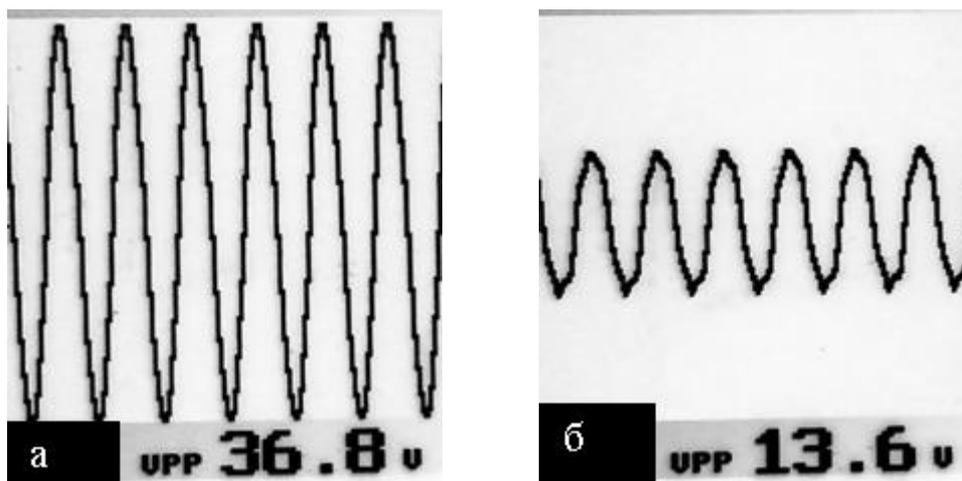


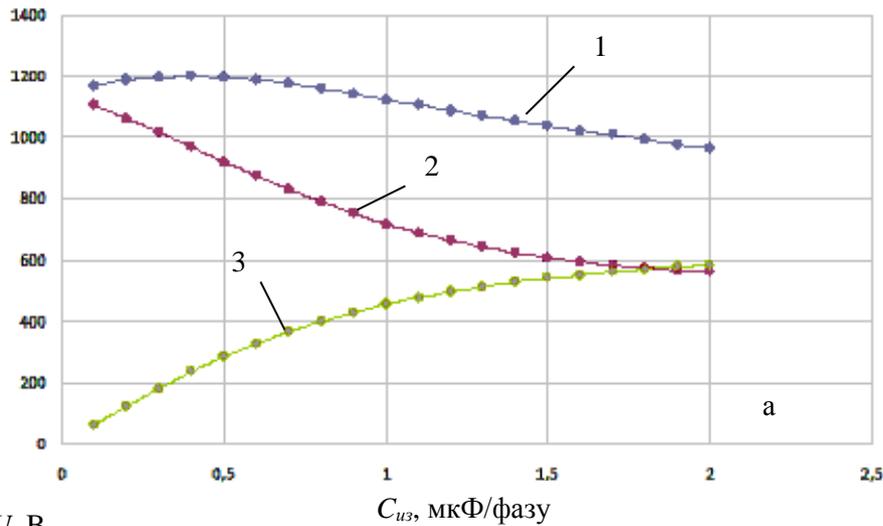
Рис. 3. Осциллограммы параметра падения напряжения на резисторе  $R_{ут} = 1 \text{ кОм}$  цепи утечки при отключенном (а) и подключенном к сети (б,) средстве автокомпенсации ёмкости изоляции сети. Измерение произведено

через делитель напряжения 1:10; линейное напряжение сети 380 В,

ёмкость изоляции 0,75 мкФ/фазу

Узел закорачивания на землю фазы с возникшей цепью проводимости на землю может применяться в сетях с относительно невысокой ёмкостью изоляции ( $C_{из} \leq 1,0$  мкФ/фазу), т.к. при  $C_{из} > 1,0$  мкФ/фазу возникают условия ложного выявления поврежденной фазы (выявляется фаза 2 вместо фазы 3 по рис.4), а её закорачивание на землю создает условия попадания человека, прикоснувшегося к фазе сети, под действие линейного напряжения, что крайне опасно [5].

$U, V$



$U, V$

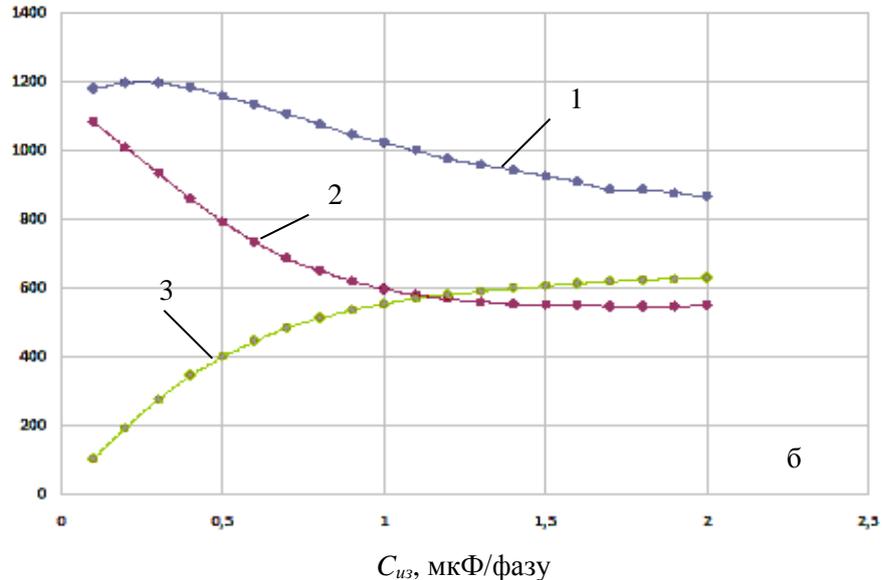


Рис. 4. Графики изменения разностей потенциалов между землёй и фазами в шахтной электрической сети линейного напряжения 1140 В в зависимости от ёмкости изоляции ( $C_{из}$ ) при возникновении утечки тока на землю в фазе

напряжения  $U_m (\sin\omega t + 4\pi/3)$ : а – сопротивление утечки  $R_{ут} = 1 \text{ кОм}$ ;  
б – сопротивление утечки  $R_{ут} = 1,6 \text{ кОм}$ ; 1 – фаза напряжения  $U_m (\sin\omega t)$ ;  
2 – фаза напряжения  $U_m (\sin\omega t + 2\pi/3)$ ; 3 – фаза напряжения  $U_m (\sin\omega t + 4\pi/3)$ :

Таким образом, функциональные узлы существующих средств защиты от утечек тока на землю функционируют на пределе возможности и, более того, вносят ограничения в развитие конфигурации шахтных участковых электросетей. В частности, ограничение емкости изоляции сети величиной  $1,0 \text{ мкФ/фазу}$  препятствует применению протяженных гибких кабелей больших сечений, то есть – совершенствованию технологического процесса угледобычи при эксплуатации очистных забоев повышенной протяженности и сокращение объема подготовительных работ (проходка штреков – затратный технологический процесс).

Таким образом, ёмкость изоляции (между фазными проводниками кабелей и землей):

– обуславливает формирование в сети изначально потенциально опасного электропоражающего фактора;

– является фактором, ограничивающим применение аппаратов защиты от утечек тока на землю участковыми электросетями с ограниченными протяженностями и сечениями кабелей, то есть  $C_{из} \leq 1,0 \text{ мкФ/фазу}$ .

Корректным решением данного технического противоречия является реализация альтернативной концепции построения системы электроснабжения участка шахты. Согласно этой концепции в системе электроснабжения участка шахты заземленными остаются только металлические корпуса стационарного электрооборудования. Центральные жилы гибких кабелей не присоединяются к цепям заземления, а служат информационными каналами управления защитным отключением магнитных пускателей при повреждении изоляции отходящих гибких кабелей (рис. 5). Выявление факта контакта фазного проводника с корпусом двигателя нестационарной электроустановки осуществляется локаль-

ным устройством (схема К1-R1-VD1-C1, рис.6), встраиваемые в структуру двигателя и управляющего защитным отключением соответствующего пускателя.

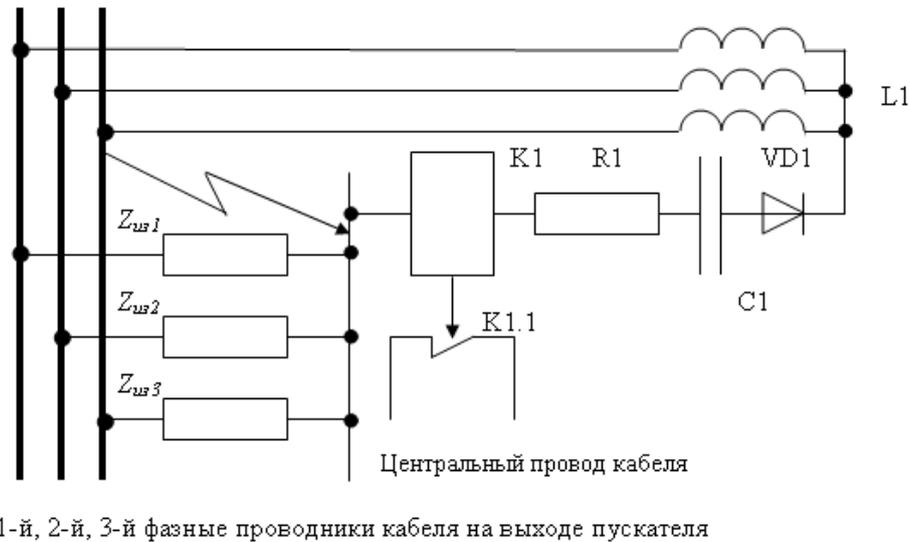


Рис. 5. Схема, иллюстрирующая процесс выявления повреждение изоляции кабеля, находящегося под напряжением, техническими средствами, вводимыми в структуру магнитного пускателя

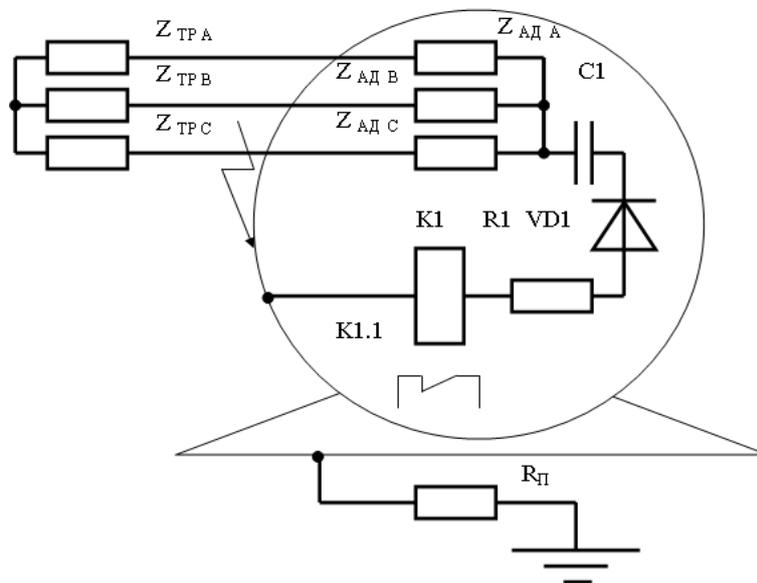


Рис. 6. Схема устройства выявления контакта фазы сети с корпусом электродвигателя (электротехнической установки)

Данные технические решения в полной мере обеспечивают электробезопасность эксплуатации шахтных участковых электросетей, обеспечивая изначально безопасные условия поскольку исключается ток через тело человека при касании к фазному проводнику.

При этом реализация данной концепции сопряжена с некоторыми дополнениями схем магнитных пускателей и асинхронных двигателей, заменой сложных аппаратов защиты от утечек тока на землю в структуре участковых трансформаторных подстанций более простыми устройствами (аналогичными схеме по рис. 5), контролирующими состояние исключительно магистральных кабелей (от подстанции до распределительного пункта участка).

Сама по себе, предложенная концепция представляет собой инновационный подход в отношении построения системы электроснабжения участка шахты. В её реализации могут быть задействованы заводы рудничного взрывозащищенного взрывозащищенного электроаппарато- и электромашиностроения:

- ГБУ «НИИВЭ» (опытно-экспериментальной завод г. Донецк);
- ГУП ДНР «Донецкий электротехнический завод»;
- ГП ДНР «Донецкий энергозавод»;
- ГП ДНР «Горезкий электротехнический завод»;
- ЧАО НПП «Макеевский завод шахтной автоматики»;
- ОАО «Первомайский электромеханический завод им. К. Маркса» (г. Первомайск, ЛНР) и др. профильные предприятия.

Положительный эффект от практической реализации предложенной альтернативной концепции построения системы электроснабжения шахты будет основанием для широкого применения модернизированных рудничных электродвигателей и коммуникационных устройств, что является фактором повышения их конкурентоспособности.

### ***Список литературы***

1. Гуляева И.Б. Проводимость изоляции электрической сети участка шахты как фактор риска электротравматизма. Проблемные вопросы и пути их решения / И.Б. Гуляева, Е.С. Дубинка, М.К. Маренич [и др.] // Вестник Донецкого национального технического университета. – 2021. – Вып. 3 (25). – С. 34–47. EDN YEUIJXZ

2. Аппараты защиты от токов утечки рудничные для сетей напряжением до 1200 В. Общие технические условия: ГОСТ 22929-78. С изменениями согласно ИУС 11-80, 7-81, 11-83. Соответствует СТ СЭВ 2309-80. – [Вступил в силу 01.01.79]. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 13 с.

3. Гуляева И.Б. Анализ эффективности защитной функции автокомпенсатора ёмкостного тока в структуре аппарата защиты серии «АЗУР-1» / И.Б. Гуляева, Е.С. Дубинка, М.К. Маренич // Вестник Донецкого национального технического университета. – 2022. – Вып. 1 (27). – С. 50–60. EDN KBIXAH

4. Аппарат защиты от токов утечки унифицированный рудничный АЗУР-4МК. Руководство по эксплуатации / ИТЭП 28648513.004.РЭ. – Донецк, 2013. – 28 с [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://itep.com.ua>

5. Маренич М.К. Анализ эффективности защитной функции короткозамыкателя «повреждённой фазы в структуре аппарата защиты от утечек тока на землю / М.К. Маренич // Вестник Донецкого национального технического университета. – 2022. – Вып. 2 (28). – С. 46–53. EDN RVJSTJ

6. Денисова Е.В. Специфика заземления электрооборудования участка шахты в контексте соответствия критерию эффективности защиты персонала от электропоражения / Е.В. Денисова, И.Б. Гуляева, М.К. Маренич // Горная промышленность. – 2022. – №4. – С. 110–118. – DOI 10.30686/1609-9192-2022-4-110-118. – EDN KKZLFE