

УДК 622:621.316.925

## Напряжение 35 кВ в системе электроснабжения подземных электроприемников

*Регламентированы нормативные требования к применению напряжения 35 кВ вместо 6 кВ. Приведены параметры и нормы, а также требования к системе электроснабжения, отдельным видам электрооборудования, электрическим защитам, системе заземления и конструкции кабеля на напряжение 35 кВ в условиях ЗАО «Запорожский железорудный комбинат».*

На рудниках (шахтах) ЗАО «Запорожский железорудный комбинат», как и на других предприятиях, в системах электроснабжения применяют напряжение 6 кВ, которое регламентировано § 522 Правил [1]. Документом допускается также напряжение 10 кВ для стационарных установок с разрешения Госгорпромнадзора Украины.

С ростом энергооборуженности технологического оборудования и увеличения глубины развития горных работ актуально обеспечить стабильность и качество питающего напряжения, особенно при пуске мощных электроприемников (водоотлив, подъем и др.). Это потребует увеличения питающего напряжения до 35 кВ.

Цель статьи – обоснование требований, правил и норм, регламентирующих применение в системах электроснабжения напряжения 35 кВ.

В настоящее время на шахтах ЗАО «Запорожский железорудный комбинат» ведутся работы по подготовке и эксплуатации Переверзевского месторождения, утвержден проект обработки Юж-

но-Белозерского месторождения до глубины 1540 м с добычей 5,5 млн т руды в год. Для ведения работ необходимо использование электрической мощности до 23 МВ·А. Чтобы эффективно получать и распределять такую мощность при указанной глубине разработки, по расчетам Национального горного университета оптимально применить напряжение 35 кВ, выполнив при этом глубокий ввод от главной поверхностной подстанции (ГПП-35) до центральной подземной понижающей подстанции (ЦПП), размещенной на горизонте 940 м.

Глубокий ввод – система электроснабжения с максимально возможным приближением высшего напряжения (в данном случае 35 кВ) к электроприемникам с минимальным количеством ступеней промежуточной трансформации и коммутационных переключений. Отметим, что напряжение свыше 6 кВ используется в шахтах Австралии (33 кВ), США (25 кВ) и Европы (24 кВ).

Для регламентации применения рабочего напряжения 35 кВ в электрических сетях рудников ЗАО «Запорожский железорудный комбинат» МакНИИ, Национальным горным университетом и ЗАО «ЗЖРК» разработаны и утверждены в установленном порядке «Временные нормативы по безопасности применения напряжения 35 кВ для систем электроснабжения подземных электро-



**А. Г. МНУХИН,**  
доктор техн. наук  
(МакНИИ)



**О. А. ДЕМЧЕНКО,**  
канд. техн. наук  
(МакНИИ)



**Ф. П. ШКРАБЕЦ,**  
доктор техн. наук  
(Национальный горный университет)



**А. Н. ЗУБКО,**  
инж.  
(ЗАО «Запорожский железорудный комбинат»)

приемников ЗАО «Запорожский железорудный комбинат». Документ содержит требования, правила и нормы, регламентирующие проектирование систем электроснабжения и безопасную эксплуатацию электрооборудования напряжением 35 кВ. Основные регламентирующие положения следующие.

Система электроснабжения напряжением 35 кВ должна быть выполнена с изолированной нейтралью трансформатора, чтобы устойчиво контролировать утечки тока на землю и упреждать аварийные режимы, приводящие к короткому замыканию (КЗ).

Для обеспечения бесперебойной подачи электрической энергии и устойчивой работы электрических защит система электроснабжения (рис. 1) предусматривает две независимые линии питания напряжением 35 кВ.

Независимые линии питания обустроены двумя секциями, от которых запитаны только подземные электроприемники, что позволяет исключить их отключения из-за аварий поверхностных потребителей. В ГПП-35кВ обе секции соединены между собой секционным комплектным распределительным устройством (КРУ-35). В нормальном режиме питания он отключен. От каждой секции двумя кабельными линиями через КРУ-35 напряжение по вспомогательному стволу поступает в ЦПП, размещенную на горизонте 940 м. В ЦПП каждую линию питания подключают к трансформатору напряжением 35/6 кВ. Особенностью трансформаторов является то, что они сухие (не маслонаполненные) и на вводе имеют разъединитель, который по цепям дистанционного управления заблокирован с КРУ-35 ГПП и КРУ-6кВ (КРУРН-6А) ЦПП. Это дает возможность отключить разъединитель после предварительного снятия питающего напряжения 35 кВ и потребителей на напряжение 6 кВ [2].

К выходу трансформаторов, в цепи напряжением 6 кВ, подключены КРУРН-6А (их назначение приводится при рассмотрении электрических защит в системе электроснабжения). Затем напряжение поступает в ЦПП-6кВ соответственно к I и II секциям питания. Секции, как и в ГПП-35, соединены секционным (С) выключателем КРУРН-6А (С). От этих секций напряжение 6 кВ поступает к электроприемникам. Электроснабжение напряжением 6 кВ по работкам осуществляется по классической схеме.

Предлагаемая структура системы электроснабжения предусматривает перевести на напряжение 35 кВ только кабельные сети и ввод трансформатора, рассчитанного на напряжения 35/6 кВ, не применяя при этом коммутационные аппараты, что по-

зволяет сократить количество объектов в шахте с таким напряжением.

В системе электроснабжения напряжением 35 кВ предусмотрены следующие виды электрических защит: от токов короткого замыкания; от перегрузки трансформаторов и кабелей; от коммутационных перенапряжений; однофазных замыканий на землю; от снижения сопротивления изоляции в отходящем присоединении при отключенном напряжении.

Основные устройства (блоки) защиты по сети 35 кВ размещают в распределительных устройствах, которые находятся в ГПП-35кВ.

Защиту от токов короткого замыкания (КЗ) выполняют мгновенной (без выдержки времени) с обеспечением селективности отключения (отключение только поврежденного участка), а защиту от перегрузки трансформатора напряжением 35/6 кВ – с выдержкой времени на отключение. Электрические защиты от токов КЗ предусматривают во всех КРУ (вводных, секционных и фидерных).

Коммутационные аппараты выбирают по значению номинального тока  $I_n$  и тока отключения  $I_o$  в режиме КЗ согласно зависимостям:

$$I_n \geq I_p; \quad I_o \geq I_{КЗ}^{(3)},$$

где  $I_p$  – рабочий ток цепи без учета токов кратковременных перегрузок, А;

$I_{КЗ}^{(3)}$  – расчетный ток трехфазного короткого замыкания системы в месте установки аппарата, А.

Выбор и проверку уставок срабатывания максимальной токовой защиты для токовых реле мгновенного действия определяют по формулам:

$$I_{p2} = I_{p \max} / k_{т.т}; \quad I_y = k_3 I_{p2}; \quad k_ч = I_{КЗ}^{(2)} / I_y,$$

где  $I_{p2}$  – расчетный ток в цепи электроприемников на вторичной стороне, А;

$k_3 = 1,2 - 1,4$  – коэффициент запаса;

$I_{p \max}$  – максимальный рабочий ток защищаемой линии в режиме пуска, А;

$k_{т.т}$  – коэффициент трансформации трансформаторов тока;

$I_y$  – ток уставки реле, принимается равным ближайшему большему расчетному значению, А;

$k_ч$  – коэффициент чувствительности;

$I_{КЗ}^{(2)}$  – расчетный минимальный ток двухфазного короткого замыкания, А.

Максимальный рабочий ток защищаемой линии  $I_{p \max}$  определяют с учетом номинального тока электроприемников и пускового тока наиболее мощного электроприемника. Коэффициент чувствительности для защиты силовых трансформаторов должен быть не менее 2. Его вычисляют из отношения минималь-

ного значения тока КЗ к значению тока уставки.

Защита от тока КЗ должна обеспечить требуемый  $k_{\text{ч}}$  с учетом длины кабельной линии, включая участок от трансформатора напряжением 35/6 кВ до шин КРУ напряжением 6 кВ. С помощью распределительных устройств КРУРН-6А, подключенных к выходу трансформаторов напряжением 35/6 кВ, выполняют защиту от замыкания фазы на землю и от КЗ на участке кабеля от названного выключателя до вводных зажимов выключателей КРУРН-6А, размещенных в ЦПП на горизонте 940 м.

Защита от однофазных замыканий на землю на участках отходящих линий питания подземных электроприемников должна быть направленного действия и выполнена в виде блоков, встраиваемых в КРУ ГПП-35 и ЦПП. Ее выполняют мгновенного действия (без выдержки времени) с функцией селективного отключения поврежденного присоединения. Срабатывание защиты индицируют световой сигнализацией.

При емкостном токе замыкания на землю в сети напряжением 35 кВ, превышающем 10 А, необходима его компенсация с помощью дугогасительных реакторов с автоматической или ручной регулировкой тока. В электрических сетях, работающих с компенсацией емкостного тока, напряжение несимметрии не должно превышать 0,75 % фазного напряжения.

При отсутствии в сети замыкания на землю допускается напряжение смещения нейтрали: в течение продолжительного времени – не более 15 % фазного напряжения и в течение 1 ч – не более 30 %. Снижение напряжения несимметрии и смещение нейтрали до указанных значений осуществляется выравниванием емкостей фаз сети относительно земли.

В электрической сети напряжением 35 кВ, содержащей КРУ с вакуумными выключателями, следует предусматривать защиту от коммутационных перенапряжений с помощью нелинейных ограничителей перенапряжений, подключенных по схеме «фаза – земля». Устройство защиты от перенапряжений должно удовлетворять следующим требованиям:

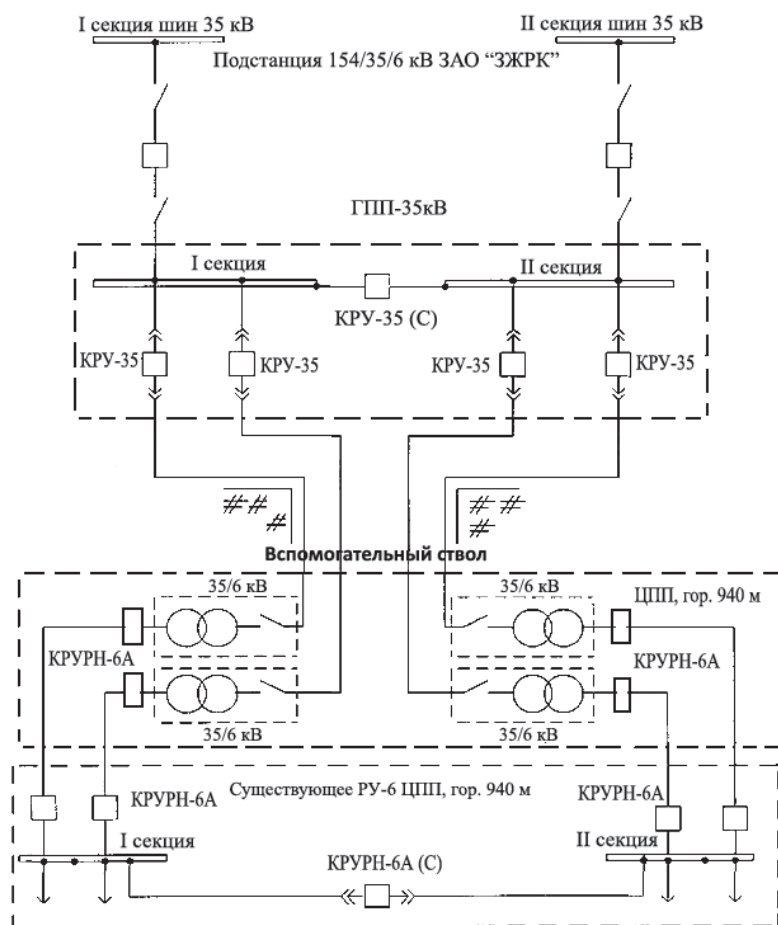


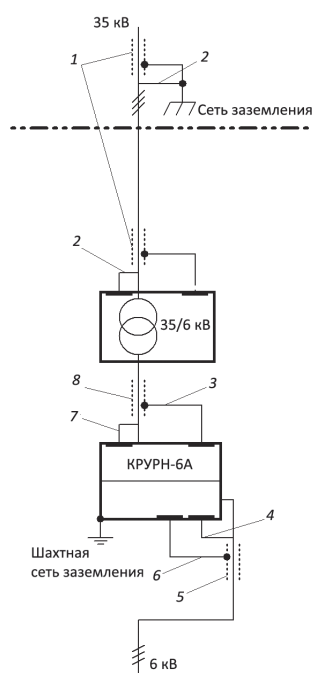
Рис. 1. Примерная структура системы электроснабжения ЗАО «Запорожский железорудный комбинат».

емкостной ток проводимости при наибольшем длительно допустимом рабочем напряжении 40,5 кВ не должен превышать 0,7 А;

выдерживать 20 импульсов номинального разрядного тока длительностью 8/20 мкс (длительность фронта и хвоста волны соответственно) с амплитудой не менее чем 10 кА;

устойчиво, без повреждений выдерживать режим металлического однофазного замыкания на землю; не вызывать ложных срабатываний защиты от замыканий на землю.

В электрических сетях напряжением 35 кВ особое внимание следует уделять системе защитного заземления, поскольку она в таких сетях пока единственная мера обеспечения электробезопасности работников рудников. Заземлению подлежат металлические части электротехнических устройств и кабелей, не находящиеся под напряжением, но которые могут оказаться под напряжением в случае повреж-



**Рис. 2.** Схема заземления электроприемников и кабелей в системе электроснабжения напряжением 35 кВ: 1 – броня кабеля на напряжение 35 кВ; 2 – присоединение заземляющей жилы; 3 – присоединение брони питающего кабеля сети 6 кВ; 4 – присоединение заземляющей жилы отходящего кабеля сети 6 кВ; 5 – броня отходящего кабеля сети на напряжение 6 кВ; 6 – присоединение брони отходящего кабеля сети 6 кВ; 7 – присоединение заземляющей жилы питающего кабеля сети 6 кВ; 8 – броня питающего кабеля сети 6 кВ.

дения изоляции или нарушения конструкции и монтажа их электрической части.

Для данной работы впервые предложено сети заземления электроприемников и кабелей на напряжения 35 кВ и 6 кВ выполнять с гальваническим разделением. С этой целью общую сеть заземления для электроприемников и кабелей на напряжение

35 кВ обустраивают на поверхности рудника в ГПП-35кВ, а для электроприемников и кабелей на напряжение 6 кВ – непосредственно в руднике, в ЦПП-6кВ, размещенную на горизонте 940 м.

Общую сеть заземления создают путем непрерывного соединения между собой всех металлических оболочек электроприемников и заземляющих жил кабелей с присоединением их к главным и местным заземлениям. К общей сети заземления электрооборудования на напряжение 35 кВ, обустраиваемой на поверхности рудника, присоединяют заземляющую жилу и броню кабелей сети 35 кВ, также корпус трансформатора 35/6 кВ, а к корпусу трансформатора – заземляющую жилу и броню кабеля на напряжение 35 кВ (рис. 2).

Общая сеть заземления на напряжение 6 кВ, обустраиваемая непосредственно в руднике, содержит цепи заземления корпусов КРУ и других электроприемников и кабелей. При этом кабели на напряжение 6 кВ, проложенные от трансформатора 35/6 кВ, заземляют только в устройстве КРУРН-6А, корпус которого подключен к сети заземления (см. рис. 2). Контактные зажимы в сети заземления, в том числе при монтаже заземляющих проводов, должны быть хорошо зачищены, надежно затянуты с использованием плоских и распорных шайб. Переходное сопротивление сети заземления электроприемников на напряжение 35 кВ должно быть не более 1 Ом,

а сети заземления электрооборудования 6 кВ – не более 2 Ом.

Предложенный подход к устройству системы заземления подземных электроприемников позволяет снизить значения токов утечки в шахтах и тем самым повысить безопасность системы электроснабжения напряжением 35 кВ.

Из электрооборудования в системе электроснабжения напряжением 35 кВ новым является понижающий трансформатор на напряжение 35/6 кВ в той части, где в его конструкцию встроен ручной разъединитель. Разъединитель выполнен с устройствами блокировки, позволяющими включать и отключать разъединитель трансформатора с опережающим выключением нагрузки (по сети 6 кВ) и сетевого питания напряжением 35 кВ.

Трансформатор не содержит масел или других горючих жидкостей, степень защиты от внешних воздействий обеспечивается оболочкой и составляет не менее IP22 (ГОСТ 14254), класс (ГОСТ 12.2.007.0) защиты от поражения электрическим током 1, исполнение трансформатора РН-2 (рудничное нормальное в соответствии с ГОСТ 24719).

Силовые кабели подключают с помощью кабельных вводов, обеспечивающих необходимую степень защиты от внешних воздействий и предохраняющих кабели от проворачивания и выдергивания.

Заземляющие зажимы и знаки заземления должны быть выполнены в соответствии с требованиями ГОСТ 21130 и ГОСТ 24754 (п.1.5), электроизоляционные материалы, пути утечки и электрические зазоры – ГОСТ 24719.

Материалы, применяемые в конструкции трансформатора, обладают свойствами самозатухания и не выделяют ядовитых газов в случае возникновения пожара или электрической дуги. Максимальная температура нагрева наружных частей оболочки в номинальном режиме работы трансформатора не превышает 85 °С (п.1.2.5 ГОСТ 24754). В трансформаторе предусмотрено принудительное охлаждение и выполнен контроль температуры нагрева обмоток с воздействием на отключение КРУРН-6А.



Использование трансформатора 35/6 кВ с разъединителем на вводе позволяет упростить структуру системы электроснабжения на напряжение 35 кВ, повысить надежность и безопасность, а также снизить экономические затраты, поскольку в ЦПП на вводах от каждой секции не устанавливают КРУ-35 кВ.

Канализация электроэнергии в шахту осуществляется четырьмя трехжильными бронированными силовыми кабелями на напряжение 35 кВ. Кабели такого назначения серийно выпускает завод «Юж-кабель» (г. Харьков, Украина). В кабеле предусмотрена заземляющая жила, которая обеспечивает цепь заземления подземного электрооборудования на напряжение 35 кВ с обустройством системы заземления на поверхности шахты (рудника).

Конструкция кабелей выполнена с обеспечением безопасного нахождения людей в местах их размещения в стволе и околоствольных выработках. Опасности вызваны воздействием электромагнитного поля на человека при близком нахождении его в выработке, в которой проложены кабельные сети. Такая опасность устраняется транспозицией основных жил по длине кабельной линии непосредственно на заводе-изготовителе путем деления заданной длины кабеля на три равных участка с последующим определенным порядком соединения жил. Кабель содержит три экранированные жилы, скрученные относительно заземляющей жилы, поясную оболочку, броневой слой и наружную защитную оболочку. Основные жилы расположены в структуре кабеля под углом в  $120^\circ$ , что позволяет создать равномерное однопотенциальное электромагнитное поле и тем самым снизить его отрицательное действие. Кабели прокладывают стационарно с использованием конструкций для закрепления их в выработках.

Безопасность эксплуатации систем электроснабжения напряжением 35 кВ обеспечивается при условии правильного монтажа электрооборудования и его обслуживания, а также за счет производства работ с соблюдением мер безопасности: полное снятие напряжения; наложение заземления; проверка отсутствия напряжения на токоведущих частях; использование исправных и периодически проверенных индивидуальных изолирующих средств (диэлектрические перчатки, боты, коврики, изолирующие подставки); применение указателей напряжения и других измерительных приборов [3].

Электротехнический персонал, выполняющий работы на электроустановках напряжением 35 кВ, должен знать требования нормативных документов по электробезопасности, технические характеристики оборудования, безопасные методы и приемы работ в объеме требований, определяемых профессией и занимаемой должностью, а также иметь соответствующую квалификационную группу по электробезопасности (руководитель работ – IV группу, а члены бригады – не ниже III). От знаний и ответственности электротехнического персонала, соблюдения регламентированной нарядной системы зависит безаварийность и безопасные условия труда при выполнении ремонтных работ и обслуживании электроприемников и кабелей на напряжение 35 кВ.

**Выводы.** Впервые предложен и обоснован глубокий ввод напряжением 35 кВ в системе электроснабжения шахт ЗАО «ЗЖРК» вместо применяемого напряжения 6 кВ, в результате решаются задачи качественного электроснабжения и обеспечения стабильности требуемых электрических нагрузок подземных электроприемников.

Разработана структура обособленного электроснабжения подземных электроприемников на напряжение 35 кВ, содержащая поверхностную подстанцию и подстанцию в шахте с понижающим трансформатором 35/6 кВ, что позволяет обеспечить бесперебойную передачу электроэнергии и стабильную работу электрических защит. Сети заземления с электроприемниками на 35 кВ и 6 кВ электрически разделены, и это определяет меры электробезопасности в процессе эксплуатации.

Применены бронированные силовые трехжильные кабели, имеющие особую конструкцию (транспозиция основных жил, размещение жил в структуре кабеля под углом  $120^\circ$ ) в целях локализации электромагнитной зоны вокруг кабелей, что обеспечивает безопасность нахождения людей в выработках с кабелями на напряжение 35 кВ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом.* – М.: Недра, 1977. – 223 с.
2. *Правила устройства электроустановок.* – М.: Форт, 2009. – 708 с.
3. *Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей.* – Харьков: Фактор, 2009. – 352 с.