ЛЕКЦИЯ 6
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ И ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ

6.1 Общие сведения

Электроснабжение подземных ЭП зависит от многих факторов, связанных со специфическими условиями эксплуатации электрооборудования в горных выработках, которые определяют ряд требований к конструкции машин и механизмов, электрическим сетям для создания безопасной и безаварийной их работы.

Наличие влажности в подземных выработках шахт, повышенной концентрации пыли, агрессивных шахтных вод требует специального конструктивного исполнения электрооборудования, защищенного от проникновения внутрь пыли и влаги, а также применения антикоррозийного покрытия отдельных токоведущих частей.

Постоянное продвижение очистных и подготовительных забоев требует постоянного (комбайны, струги и др.) или периодического (конвейеры лавы, маневровые и скреперные лебедки, перегружатели, буровые станки и др.) перемещения машин и механизмов вслед за продвижением фронта работ. Это становится возможным благодаря применению гибких кабелей и концевых штепсельных муфт.

Ограниченность пространства в подземных горных выработках и возможность частичного обрушения кровли и боковых пород вынуждает применять механически крепкое оборудование с минимально возможными размерами.

Взрывоопасная атмосфера может вызывать взрыв или загорание. Поэтому необходимо применять специальное рудничное взрывозащищенное электрооборудование.

Кроме того, в результате повышенной влажности, запыленности горных выработок и высокой электропроводимости шахтных вод опасность поражения электротоком растет. Для повышения безопасности эксплуатации электрооборудования и электрических сетей необходим непрерывный автоматический контроль сопротивления изоляции сети и защитное отключение электроустановок.

При разработке крутых угольных пластов, опасных по внезапным выбросам угля или газа, использование электроэнергии в очистных и подготовительных забоях связано с повышенной опасностью возникновения пожара или взрыва. Поэтому необходимо применять системы электроснабжения с автоматическим опережающим отключением.

Схемы электроснабжения подземных ЭП зависят от многих факторов, а в первую очередь от глубины залегания пластов, размеров шахтного поля, способа подготовки и системы разработки, принятого вида механизации выемки угля, мощности электроприводов основных подземных электроустановок, вида подземного транспорта, принятого напряжения для основных потребителей и др.

Самыми мощными ЭП в шахтах, разрабатывающих пологие и наклонные пласты, являются высоковольтные электродвигатели ГВУ, мощность которых может достигать 3000 кВт. Основными потребителями электроэнергии являются также механизированные комплексы очистных и подготовительных забоев, конвейерный транспорт.

В зависимости от глубины залегания полезных ископаемых может применяться два способа электроснабжения добычных и подготовительных участков от ГПП шахты: при значительной глубине – по кабелям, проложенным в стволе, а при неглубоком залегании – по кабелям, проложенным в скважинах, специально пробуренных для этой цели. В отдельных случаях, при наличии шурфов, последние могут использоваться для прокладки питающих кабелей. В любом случае системы электроснабжения подземных горных ра-

бот должны быть надежными, экономичными, безопасными, допускать поэтапное расширение, обеспечивать обособленное питание подземных сетей напряжением 6 (10) кВ.

В настоящее время на шахтах Украины для подземных распределительных сетей и мощных двигателей применяется напряжение 6 кВ, для силовых питающих сетей участков – 380, 660 и 1140 В. Для питания ручного электрического инструмента и ручных электросверл, а также для освещения горных выработок и световой сигнализации используется напряжение 127 В. Опыт перевода очистных комплексов с напряжения 660 В на 1140 В на шахтах Донбасса показывает, что производительность труда увеличивается в среднем на 30%, а себестоимость угля снижается на 9–10%.

6.2 Способы питания подземных электроприемников

6.2.1 Электроснабжение через ствол

Для большинства шахт Украины наиболее распространенный способ питания подземных ЭП – от ГПП по кабелям напряжением 6–10 кВ, проложенным в стволе, к ЦПП в околоствольном дворе, которая комплектуется КРУ (рис.34). Количество кабелей, прокладываемых от ГПП к ЦПП, зависит от подземной нагрузки и типа КРУ, однако их должно быть не менее двух. Если двух кабелей окажется недостаточно, то прокладывают большее количество кабелей (желательно парное). Сечения стволовых кабелей выбирают так, чтобы при выходе из строя одного из них другие обеспечивали бы электроэнергией подземные ЭП. Для повышения надежности электроснабжения в ЦПП применяют секционированную систему шин. Количество секций равняется количеству стволовых кабелей. В нормальном режиме секционные выключатели отключены. Электроэнергия от ЦПП по бронированным кабелям подводится к РПП-6 кВ, от которых распределяется к ПУПП и отдельным стационарным подстанциям (СТП). На ПУПП (СТП) электроэнергия напряжением 6 кВ трансформируется на напряжение 380, 660 или 1140 В и подводится к распределительным пунктам участков, лав, блоков, от которых с помощью гибких кабелей передается к электроприводам горных машин и механизмов.

ПБ ограничивают мощность КЗ в подземных сетях шахт до значений предельных токов отключения применяемого электрооборудования и сечений кабелей. В угольных шахтах при использовании КРУ типа РДВ-6 мощность КЗ не должна превышать 50 МВА (максимальное сечение стволового кабеля 185 мм^2), а для КРУ типа КРУВ-6 – 100 МВА (сечение кабеля 240 мм^2). При бóльших мощностях КЗ стволовые кабели питаются через реакторы (рис.35). Однако применение последних приводит к дополнительным потерям энергии, поэтому предпочтение отдают схемам без реакторов в ГПП.

При проведении горных работ на нескольких горизонтах на каждом из них сооружается ЦПП, питание которых осуществляется непосредственно по отдельной схеме от шин 6 (10) кВ ГПП или, при малой нагрузке, к некоторым ЦПП нижних горизонтов прокладывается один кабель от ГПП, а второй – от ЦПП верхнего горизонта (рис.35).

Рассмотренный способ электроснабжения подземных потребителей электроэнергией через ствол имеет ряд преимуществ: прокладка кабелей в готовом стволе, удобство централизованного обслуживания высоковольтной сети, независимость условий эксплуатации от атмосферных явлений. Однако он также имеет и недостатки: большой расход высоковольтных кабелей и дорогостоящего высоковольтного оборудования, значительная емкость сетей 6 кВ, необходимость строительства специальных камер для размещения оборудования.

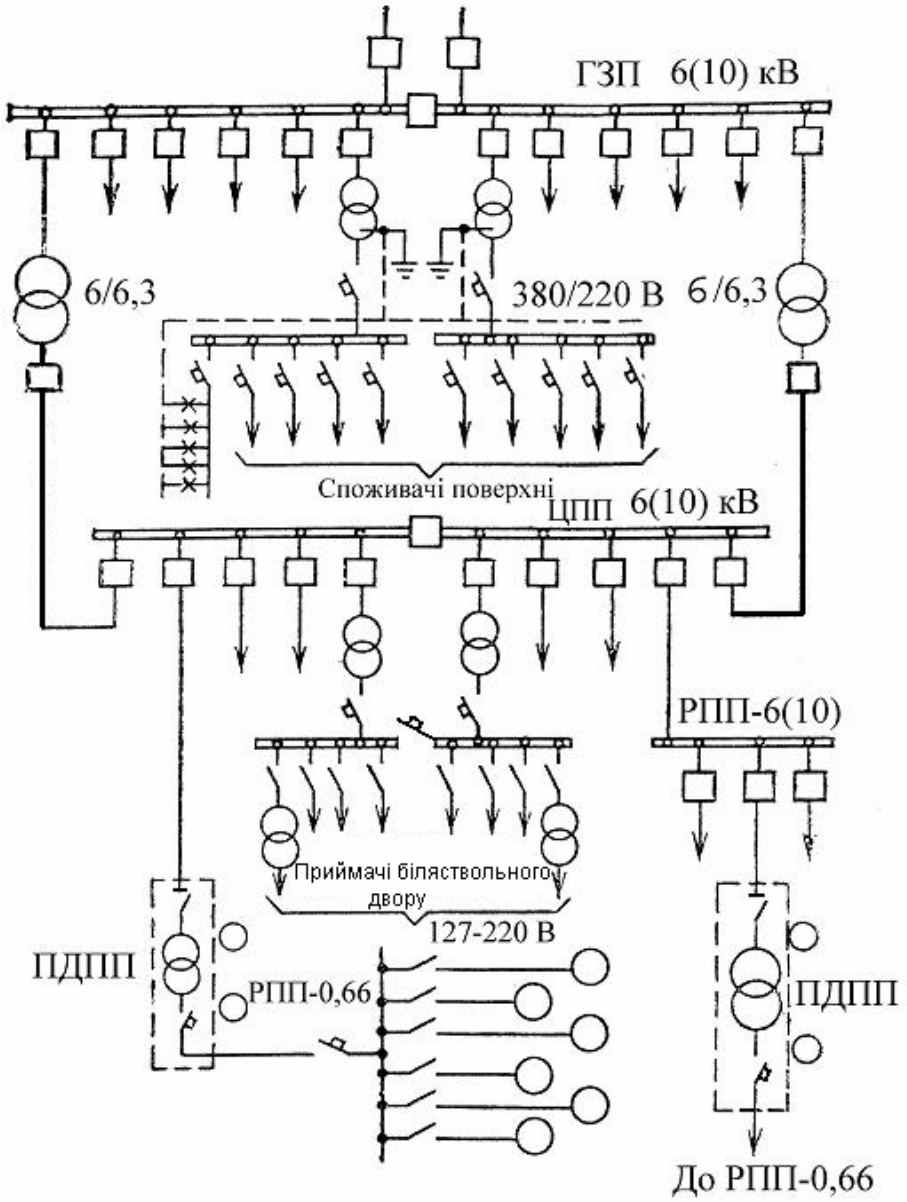

Рис.34. Принципиальная схема электроснабжения подземных ЭП через ствол

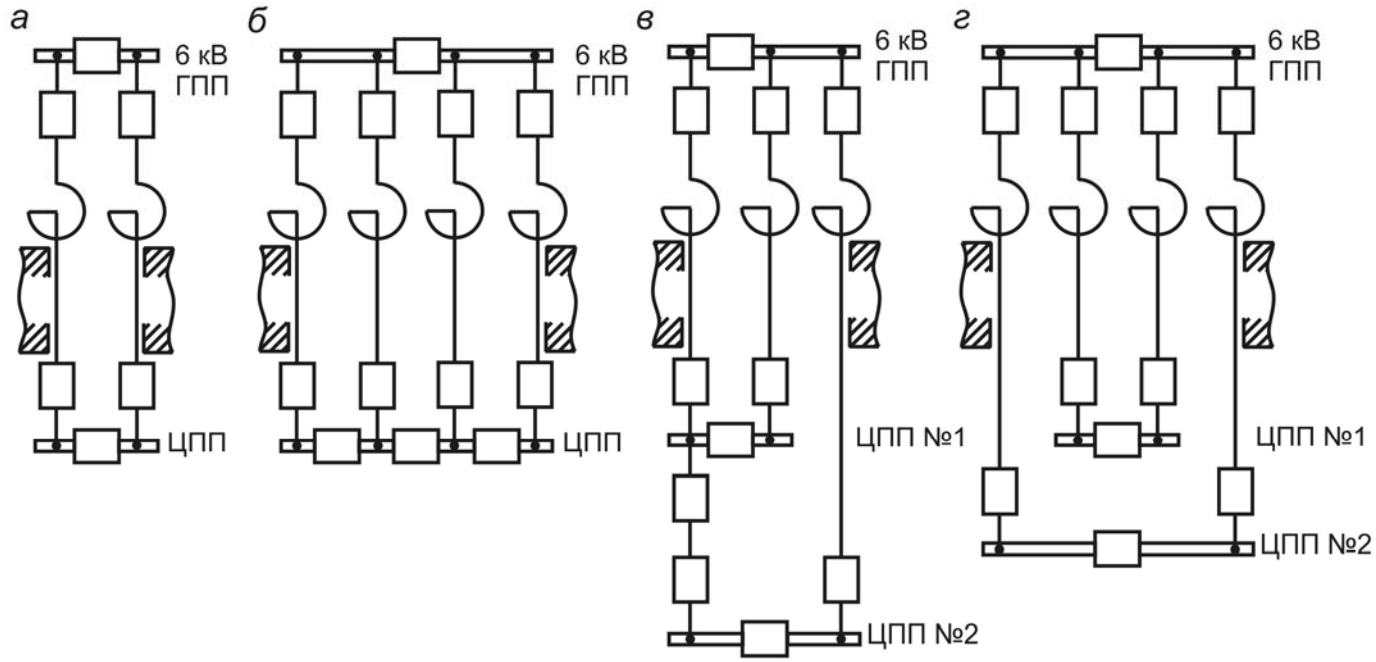

Рис.35. Схема питания ЦПП при одном (*а, б*) и двух (*в, г*) горизонтах

6.2.2 Электроснабжение через скважины

В значительной мере недостатки способа электроснабжения подземных ЭП через ствол устраняет способ питания через скважины или шурфы при относительно неглубоком залегании пластов (до 300 м). При этом возможны два варианта: при напряжении до 1200 В кабелями, подвешенными в скважине или проложенными в шурфе (рис.36, *а*, *б*), и кабелями напряжением 6 кВ (рис.36, *в*, *г*). При передаче в подземные выработки электроэнергии при напряжении до 1200 В от ГПП строится воздушная ЛЭП напряжением 6 кВ до передвижной комплектной трансформаторной подстанции наружной установки (ПКТП), размещенной в устье скважины (рис.36, *а*, *б*). Кабели от ПКТП до подземного РПП низкого напряжения прокладываются в скважине, закрепленной обсадной трубой с внутренним диаметром 130–150 мм. Каждый кабель (не более двух) крепится к отдельному стальному тросу диаметром 6–8 мм с помощью бандажей через 1,5–2 м.

При подаче в подземные выработки высокого напряжения возле устья скважины устанавливается комплектное распределительное устройство нормального исполнения, к которому подводится воздушная ЛЭП (рис.36, *в*, *г*). В скважине прокладываются кабели напряжением 6 (10) кВ к ПУПП или к РПП-6 (10) кВ, от которых получают питание участковые ПУПП.

Опыт эксплуатации рассмотренных схем питания подземных потребителей через скважины выявил, что наиболее целесообразный вариант – это использование скважины при подаче высокого напряжения. При этом нужно приблизительно в два раза меньше цветных металлов и на 40% кабельной продукции.

Основными преимуществами способа питания ЭП участков через скважины являются снижение объемов строительства камер для ЦПП и РПП-6 (10) кВ, уменьшение протяженности кабельных линий в подземных выработках, количества используемого дорогостоящего оборудования, снижение емкостных токов в подземной распределительной сети 6 кВ, повышение безопасности эксплуатации подземных высоковольтных сетей. К основным недостаткам такого способа можно отнести необходимость бурения и крепления скважин, потерю обсадных труб, трудности прокладки воздушных ЛЭП на местности со сложным рельефом и сложности в их обслуживании при неблагоприятных климатических условиях, использование пахотных земель под трассу ЛЭП.

На практике для конкретных горнопромышленных районов предоставляют преимущество определенному способу питания подземных ЭП. Так, для шахт Донбасса принят способ питания через стволы, для Александрийского бассейна – через скважины.

6.2.3 Обособленное электроснабжение

При совместном электроснабжении подземных и поверхностных потребителей от общих шин 6 кВ ГПП образуется значительная общая длина кабельных и воздушных ЛЭП на поверхности и в подземных выработках. Это приводит к большой емкости подземных сетей 6 кВ, что осложняет, а в ряду случаев исключает срабатывание аппаратуры общесетевой защиты от токов утечки. Кроме того, из-за грозовых разрядов, коммутационных перенапряжений, переходных процессов в электрических сетях поверхности шахты возможно появление открытого искрения в подземных сетях 6 кВ. Поэтому последние следует электрически отделять от высоковольтных сетей поверхности. Схема электроснабжения, в которой отсутствует электрическая связь между подземными и поверхностными сетями 6 кВ, получила название обособленной.

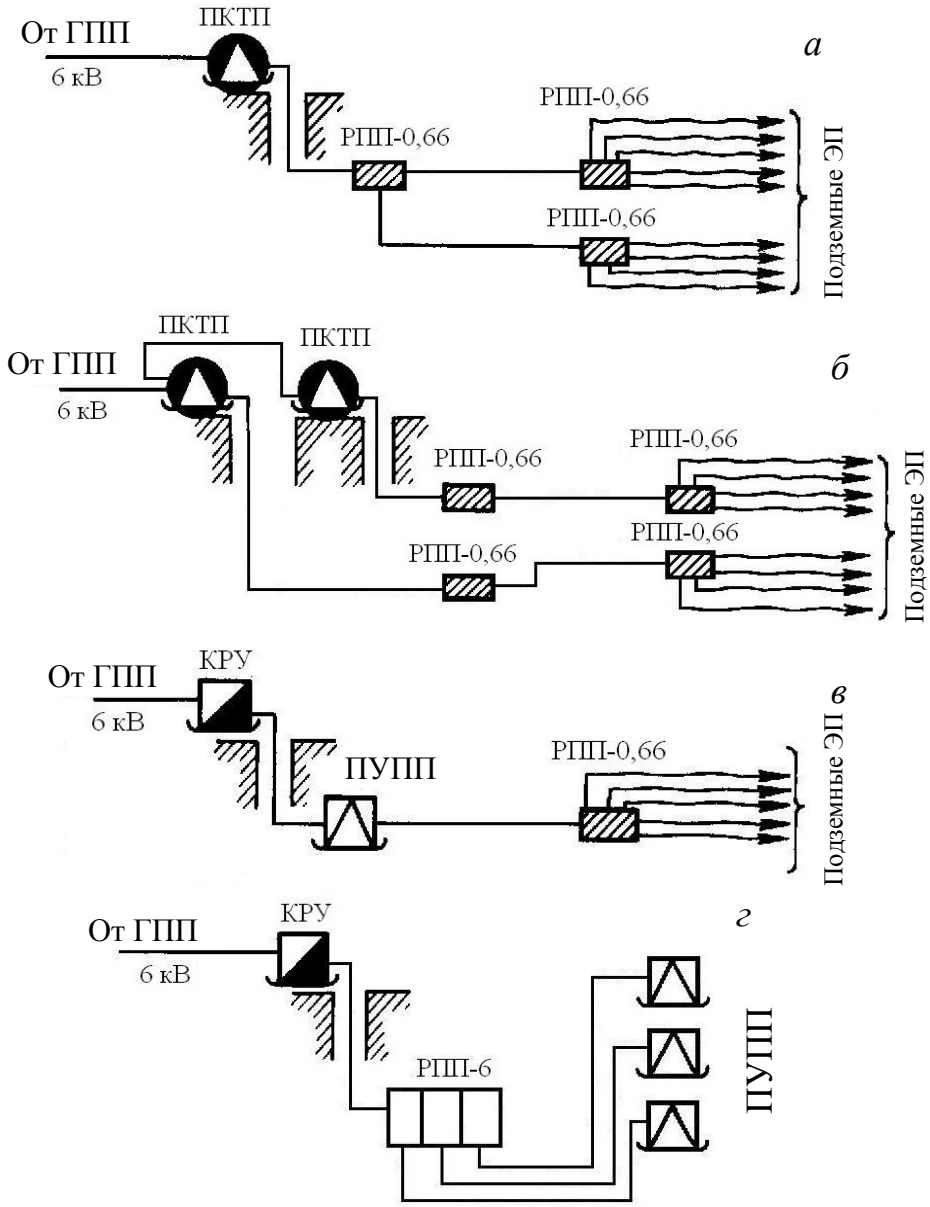

Рис.36. Принципиальные схемы электроснабжения через скважины по кабельным линиям напряжением до 1200 В (*а*, *б*), 6 (10) кВ (*в*) и 6 (10) кВ с устройством РПП (*г*)

В этом случае уменьшается вероятность открытого искрения в подземных сетях, снижается емкость высоковольтных подземных сетей, что уменьшает емкостную составляющую тока утечки в сетях 6 кВ и улучшает условия работы аппаратов защиты от утечек, иногда позволяет обойтись без реактивирования кабельных вводов в ЦПП, повышает безопасность обслуживания шахтных распределительных сетей, ослабляет влияние на подземные ЭП и сеть высших гармоник напряжения и тока.

Схемы обособленного питания могут быть выполнены с помощью специальных разделительных трансформаторов с коэффициентом трансформации 1:1, устанавливаемых в ГПП (рис.34) или в ЦПП (рис.37, *б*). Последний способ применяется в том случае, если шахта не имеет обособленного питания, но разрабатывает один из пластов, опасный по внезапным выбросам. Электроснабжение очистных и подготовительных участков на таком пласте осуществляется по обособленной схеме.

Схемы обособленного питания могут быть выполнены также на базе трехобмоточных ТДТНШ или двухобмоточных с расщепленной обмоткой ТРДН трансформаторов более низкого напряжения (рис.37, *а*).

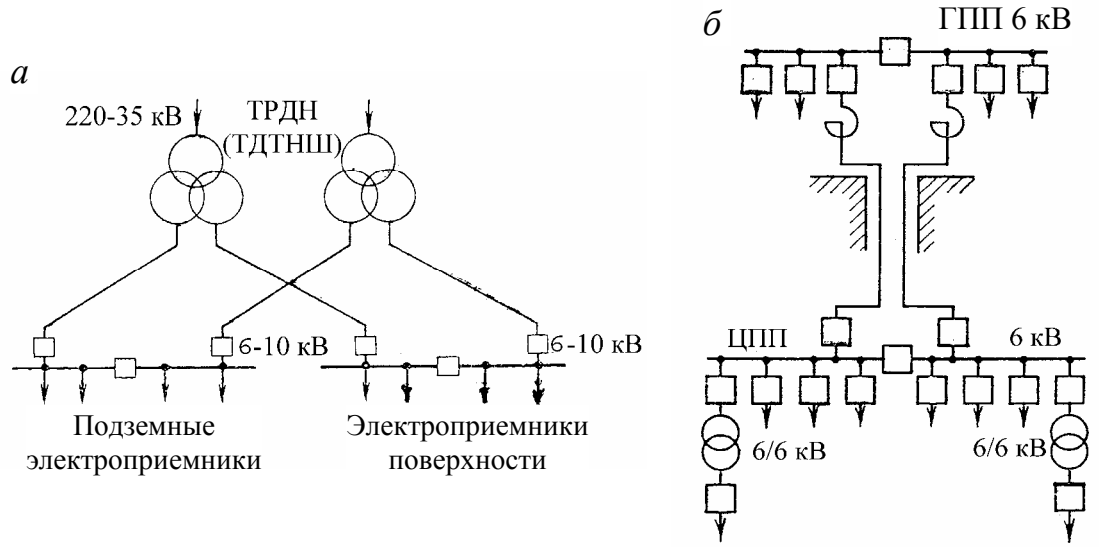

Рис.37. Схемы обособленного питания подземных ЭП от трехобмоточных (*а*) и разделительных (*б*) трансформаторов, установленных в ЦПП

6.3 Электроснабжение участков на пологих и наклонных пластах

Схемы электроснабжения добычных участков очень разнообразны. Они зависят от горно-геологических и технологических факторов, принятого вида механизации, способа транспортировки полезных ископаемых и др.

Электроприемники участков подключаются к стационарным или передвижным трансформаторным подстанциям. Применение ПУПП позволило реализовать схему глубокого ввода в подземных выработках, то есть приблизить высокое напряжение к центрам нагрузок, что улучшило качество электрической энергии, сократило расходы кабельной продукции, уменьшило потери электроэнергии.

Коммутационные аппараты (АВ, магнитные пускатели, пусковые агрегаты и станции управления), которые выполняют функции управления и защиты, комплектуются в низковольтные распределительные пункты, которые в зависимости от принятого на участке напряжения обозначают РПП-0,38, РПП-0,66 или РПП-1,14 кВ.

Несмотря на разнообразие условий, влияющих на структуру схемы электроснабжения участков на пологих и наклонных пластах, основные принципы их построения являются общими. Разработаны типовые схемы электроснабжения участков для прогрессивных технологических схем разработки пластов и используемых средств механизации.

На рис.38 приведены варианты схем электроснабжения участков от ЦПП для разного количества и мощности ЭП, а также при наличии или отсутствии подготовительных работ для условий пологого и наклонного залегания пластов. При расчетной мощности ЭП, не превышающей 630 кВА, возможны схемы, изображенные на рис.38, *а – в*. Однако при панельном способе подготовки шахтного поля и отработке столбов обратным ходом очистные работы ведутся территориально отдельно от подготовительных. И, кроме того, внедрение мощных механизированных комплексов принудило разделить электроснабжение очистных и подготовительных забоев (рис.38, *г – ж*).

При отработке столбов ЭП лавы могут получать питание от одной или двух ПУПП (рис.38, *г*). Передвижные подстанции (до трех), предназначенные для электроснабжения одного участка, могут получать питание транзитом по одному бронированному или полугибкому кабелю от ячейки ЦПП или РПП-6 кВ, имеющей дистанционное управление.

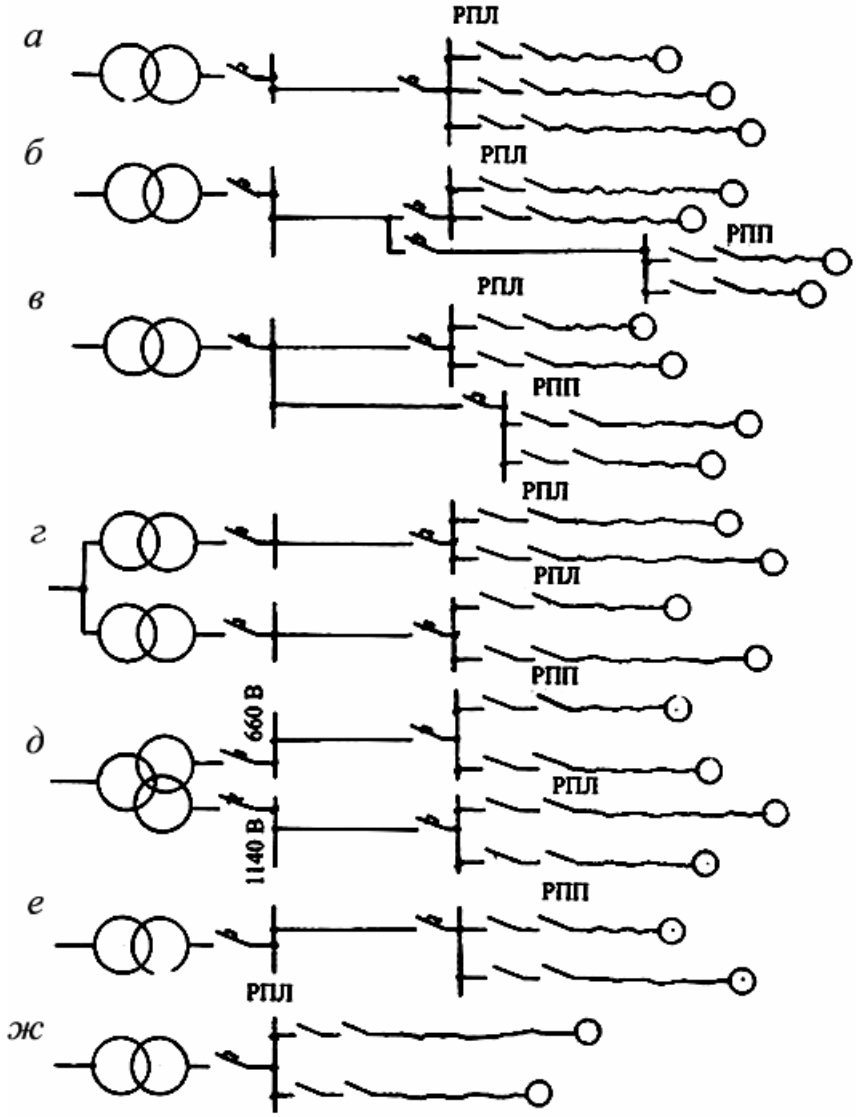

Рис.38. Варианты схем электроснабжения на пологих и наклонных пластах: *а* – электроснабжение без подготовительных работ; *б* – то же, с питанием подготовительных работ от РП лавы; *в* – то же, с непосредственным питанием подготовительных работ от ПУПП; *г* – электроснабжение добычных работ с использованием мощного комплекса; *д* – питание потребителей участка напряжением 1140 и 660 В от трехобмоточного трансформатора; *е* – питание подготовительного забоя непосредственно от ПУПП; *ж* – питание потребителей добычного участка от "энергопоезда"; РПЛ и РПП – распределительный пункт лавы и подготовительных работ.

Магистральные линии от ПУПП до низковольтных РПП-0,66 (1,14) кВ выполняются полугибкими или бронированными кабелями сечением 95–120 мм^2. В отдельных случаях принимают даже два кабеля (при значительной мощности). Длина магистральных кабельных линий зависит от шага передвижки ПУПП. При расположении оборудования на транспортном штреке и в лаве (пологое залегание пластов) ПУПП и РПП-0,66 (1,14) кВ также размещают в транспортном штреке, но чтобы они не мешали транспортировке грузов, прохождению людей и были доступны для обслуживания. При сечении конвейерных выработок 8 – 9 м^2 и углах падения пластов до 6 град (при отработке по падению или восстанию) целесообразно ПУПП и РПП (энергопоезд) расположить над перегружателей или конвейером на специальных конструкциях. В таких случаях передвижка РПП лавы и подстанции выполняется одновременно. Если подстанция используется как полустационарная, она опережает или отстает от забоя на расстояние 250–300 м и размещается в расширении штрека, в нише или на специально оборудованных разъез-

дах, если выработки имеют рельсовые пути. В выработках с конвейерным транспортом ПУПП может устанавливаться как над конвейером, так и в нише. Место установки подстанции должно освещаться (обычно от осветительного трансформатора самой ПУПП).

Аналогично при питании через скважины при напряжении до 1200 В используют разные варианты схем электроснабжения (рис.39).

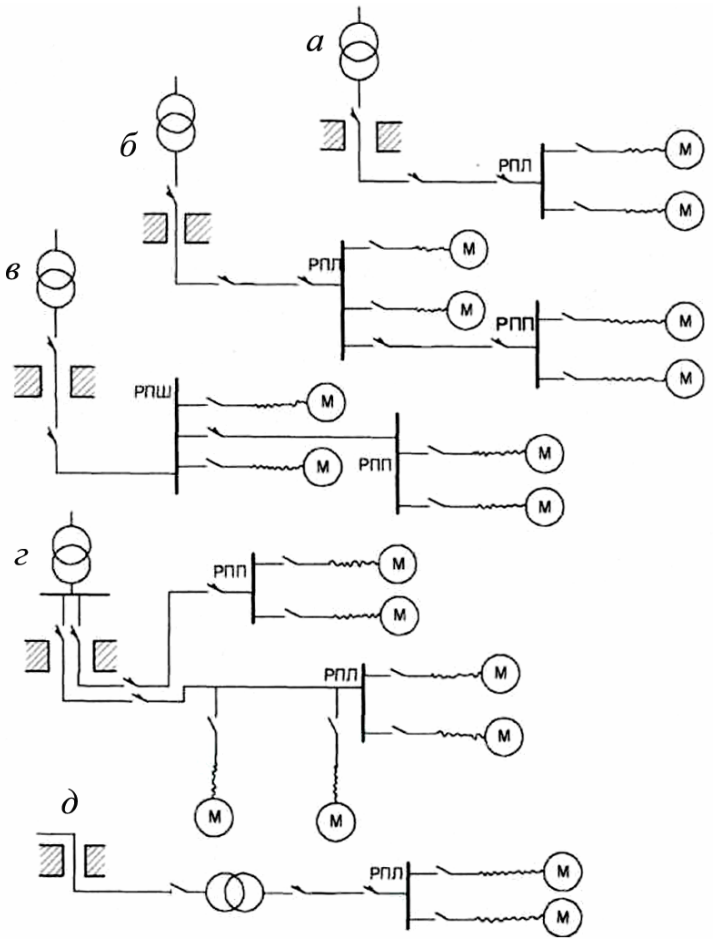

Рис.39. Варианты схем электроснабжения участков через скважины: *а* – электроснабжение лавы без подготовительных работ; *б* – то же, с питанием подготовительных работ от РПЛ; *в* – питание сборного штрека и лавы; *г* – раздельное электроснабжение очистных и подготовительных работ; *д* – питание через скважину подземной ПУПП; РПШ – распределительный пункт сборного штрека.

При разработке длинными столбами с применением механизированного комплекса (рис.40) от ПУПП кабелями ЭВТ электроэнергия подводится к РПП-0,66 (1,14) кВ, расположенному на конвейерном штреке. ЭП очистного забоя и конвейерного штрека с помощью гибких кабелей марки КГЭШ присоединяются к РПП. Приводы участковых ленточных конвейеров питаются от отдельной подстанции, расположенной на конвейерном штреке или на сопряжении штрека с бремсбергом или уклоном.

При наклонном залегании пластов электроснабжение очистных забоев по сравнению с пологими пластами отличается тем, что на вентиляционном штреке необходимо устанавливать поддерживающую лебедку для удержания комбайна и лебедку кабелесборника. Поэтому при таких условиях электрооборудование располагают на конвейерном и вентиляционном штреках.

В этом случае возможны три варианта построения схем электроснабжения:

- от одной подстанции, расположенной на транспортном (конвейерном) штреке. В этом случае основной РПП-0,66 (1,14) кВ размещают на вентиляционном штреке, а его

электроснабжение осуществляется по проложенному в лаве кабелю. От основного РПП получают питание комбайн, поддерживающая лебедка, кабелесбиратель, маслостанции, насос орошения. Электродвигатели приводов конвейера и перегружателя получают питание от РПП-0,66 (1,14) кВ, расположенного на транспортном штреке;

- от одной ПУПП, расположенной на вентиляционном штреке. Здесь основной РПП-0,66 (1,14) кВ получает питание непосредственно от ПУПП, а вспомогательный РПП транспортного штрека – по кабелю, проложенному в лаве;

- от двух ПУПП, одна из которых размещается на конвейерном, а другая – на вентиляционном штреке (наиболее распространенная схема). В этом случае подстанция вентиляционного штрека может использоваться как полустационарная или перемещаться вместе с РПП-0,66 (1,14) кВ вслед за продвижением забоя. Подстанция конвейерного штрека обычно используется как полустационарная.

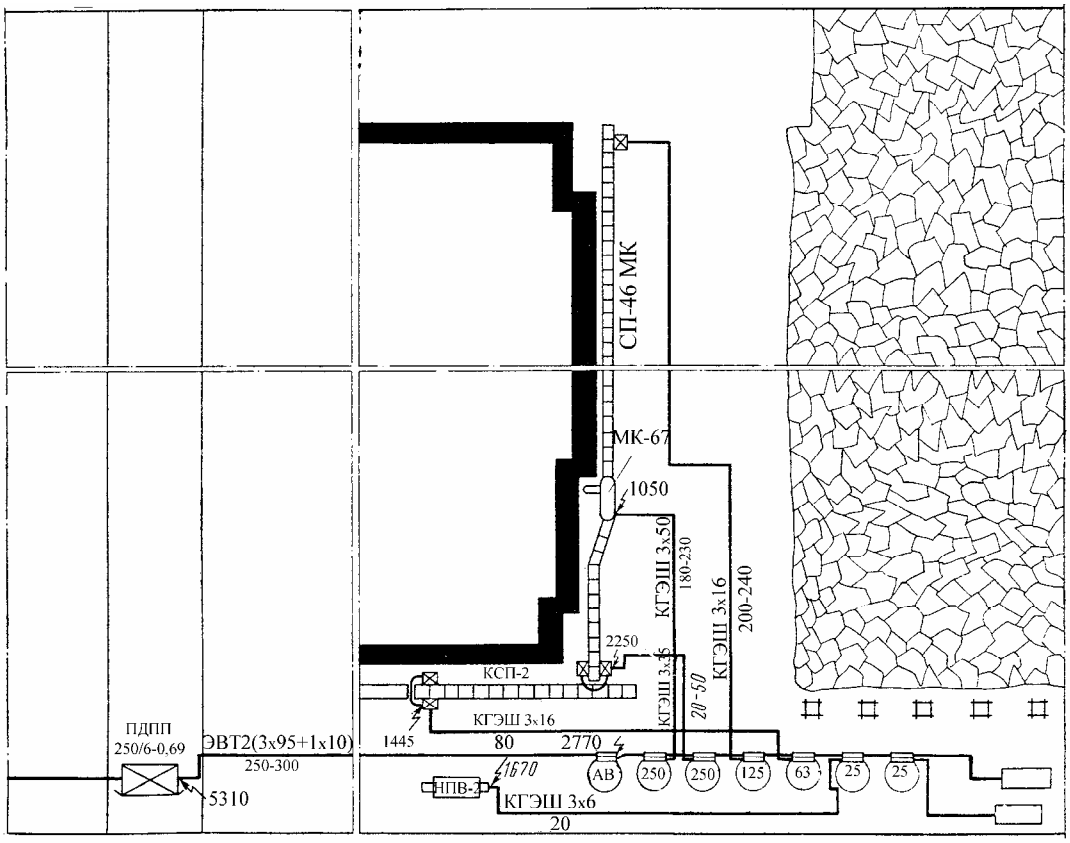

Рис.40. Схема электроснабжения очистного забоя на пологом пласте

При отработке пластов спаренными лавами схема электроснабжения немного усложняется. Передвижные подстанции и РПП-0,66 (1,14) кВ верхней и нижней лавы располагают над конвейером сборного штрека (рис.41). Если сечение выработки недостаточно для такого расположения, для них сооружают специальные ниши или ПУПП и РПП нижней лавы располагают на бортовом конвейерном штреке.

При разработке пологих и наклонных пластов, опасных по внезапным выбросам, к схемам электроснабжения предъявляются повышенные требования. Внезапные выбросы угля и газа могут вызвать повреждение электрооборудования и кабелей, которые находятся в зоне выброса, а также привести к появлению открытого искрения, способного инициировать взрыв метановоздушной смеси. Поэтому применение электрической энергии в забоях очистных и подготовительных выработок в таких случаях допускается, согласно требованиям ПБ, лишь при соблюдении таких условий:

- применение безмасляного электрооборудования;

- использование только КРУ с БРУ и короткозамыкателями;

- автоматический контроль состояния изоляции в сети напряжением 6 кВ и автоматическое снятие напряжения при снижении сопротивления изоляции до 120 кОм при однофазной утечке и 360 кОм – при трехфазной;

- для присоединения ПУПП должны применяться КРУ с дистанционным управлением, обеспечивающие возможность отключения подстанции с места ее установки и защиту от потери управляемости;

- отключение ПУПП и РПП-6 кВ участка без выдержки времени;

- в схемах электроснабжения забойных машин должно предусматриваться аварийное отключение РПП-0,66 (1,14) кВ участка с пульта управления машиной;

- для питания передвижных ЭП должны применяться гибкие экранированные кабели повышенной прочности. В лавах, которые отрабатываются по простиранию, кабели не должны иметь соединений и заводских соединителей;

- в лавах, которые отрабатываются по простиранию, кабели должны подбираться с помощью кабелесбирателей или других подобных устройств;

- автоматический контроль содержания метана и автоматическое отключение напряжения при превышении концентрации метана сверх установленных значений;

- емкость кабельных линий напряжением 0,66 (1,14) кВ, присоединенных к одному трансформатору, не должна превышать 1 мкФ на фазу.

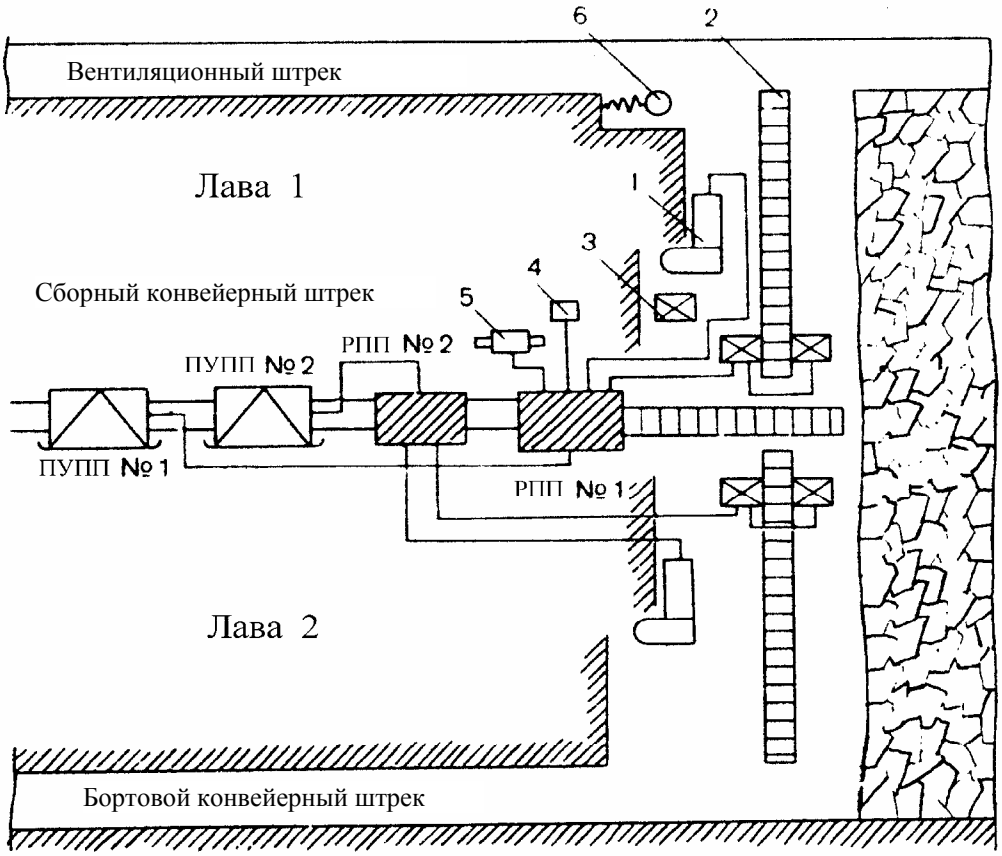

Рис.41. Схема электроснабжения участка при разработке спаренными лавами: 1 – комбайн; 2 – забойный конвейер; 3 – установка для нагнетания воды в пласт; 4 – гидропередвижчик; 5 – насосная установка; 6 – электросверло.

При размещении электрооборудования и кабельных линий в выработках с исходящей струей воздуха согласно перечисленным требованиям дополнительно необходимо обеспечить питание ПУПП от подземной сети 6 кВ, электрически обособленной от высоковольтной сети поверхности шахты.

6.4 Электроснабжение участков на крутых пластах

Условия эксплуатации электрооборудования на крутых пластах являются более опасными, чем на пологих и наклонных. Это объясняется необходимостью размещения электрооборудования на вентиляционных штреках с исходящей струей воздуха с повышенным содержанием метана и угольной пыли, наличием в лавах в подвешенном состоянии гибких кабелей, поддающихся воздействию падающих кусков угля и породы. Кроме того, крутые пласты часто склонны к внезапным выбросам угля и газа. Поэтому применение электроэнергии в очистных и подготовительных забоях допускается только при соблюдении ряда условий. На крутых пластах, безопасных по внезапным выбросам, можно применять электрооборудование с уровнем взрывозащиты РВ при выполнении требований, которые относятся к схемам электроснабжения очистных и подготовительных забоев на пологих и наклонных пластах, опасных по внезапным выбросам. Если крутые пласты опасны по внезапным выбросам, то может применяться электрооборудование с уровнем взрывозащиты РО или с уровнем взрывозащиты РВ, но с системой автоматического быстродействующего отключения (2,5 мс) с одновременной энергетической изоляцией места повреждения как со стороны источника питания (участковой подстанции), так и со стороны ЭП. Схемы электроснабжения для таких условий должны удовлетворять всем требованиям, предъявляемым к схемам электроснабжения забоев на крутых пластах, не опасных по внезапным выбросам, и, кроме того, должны иметь:

- передвижные подстанции ТСВП-КП;
- автоматические быстродействующие выключатели АШВ с групповыми короткозамыкателями ГПМК;
- гибкие кабели повышенной прочности марки КГВЭУШ (ГВШОП) со сниженным переходным сопротивлением экранов (не более 150 Ом);
- короткозамыкатели на зажимах ЭП, способных генерировать электроэнергию в сеть после их отключения и расположенных ближе, чем 50 м до очистного и 150 м подготовительного забоя;
- магнитные пускатели и станции управления в исполнении АШВ, в которых есть цепь для управления короткозамыкателями, установленными на электродвигателях;
- средства газовой защиты.

Допускается также применять электрооборудование с уровнем взрывозащиты РВ без системы автоматического опережающего отключения:

- в выработках со свежей струей воздуха крутых пластов, опасных по внезапным выбросам, которые разрабатываются без быстродействующей защиты, а также в выработках с исходящей струей на любых пластах, на расстоянии не менее чем 50 м от очистного забоя и не менее чем 150 м от подготовительного;
- в очистных и подготовительных выработках пластов, опасных по внезапным выбросам, при их защите пластами, разработанными выше или ниже их;
- в очистных забоях на крутых пластах, опасных по внезапным выбросам, которые разрабатываются без быстродействующей защиты широкими полосами по падению с применением щитовых агрегатов или других подобных технических средств.

Схемы электроснабжения на крутых пластах зависят от принятой системы разработки и средств механизации. При комбайновой выемке угля возникает необходимость в размещении электрооборудования на вентиляционном штреке. При этом подвод электроэнергии к очистному забою может осуществляться по одной из схем обособленного питания от ЦПП или РПП-6 кВ по кабелю, проложенному в откаточном штреке к участковой ПУПП, а затем по кабелю – в печи, гезенке либо специальном трубопроводе на вен-

тиляционный штрек к РПП забоя, либо по вентиляционному штреку к ПУПП и дальше от основного РПП-0,66 кВ лавы по печи, гезенку или трубопроводу к РПП, расположенному на откаточном штреке. Однако типовыми схемами электроснабжения рекомендуется размещать ПУПП на свежей струе воздуха, то есть на откаточном штреке (рис.42).

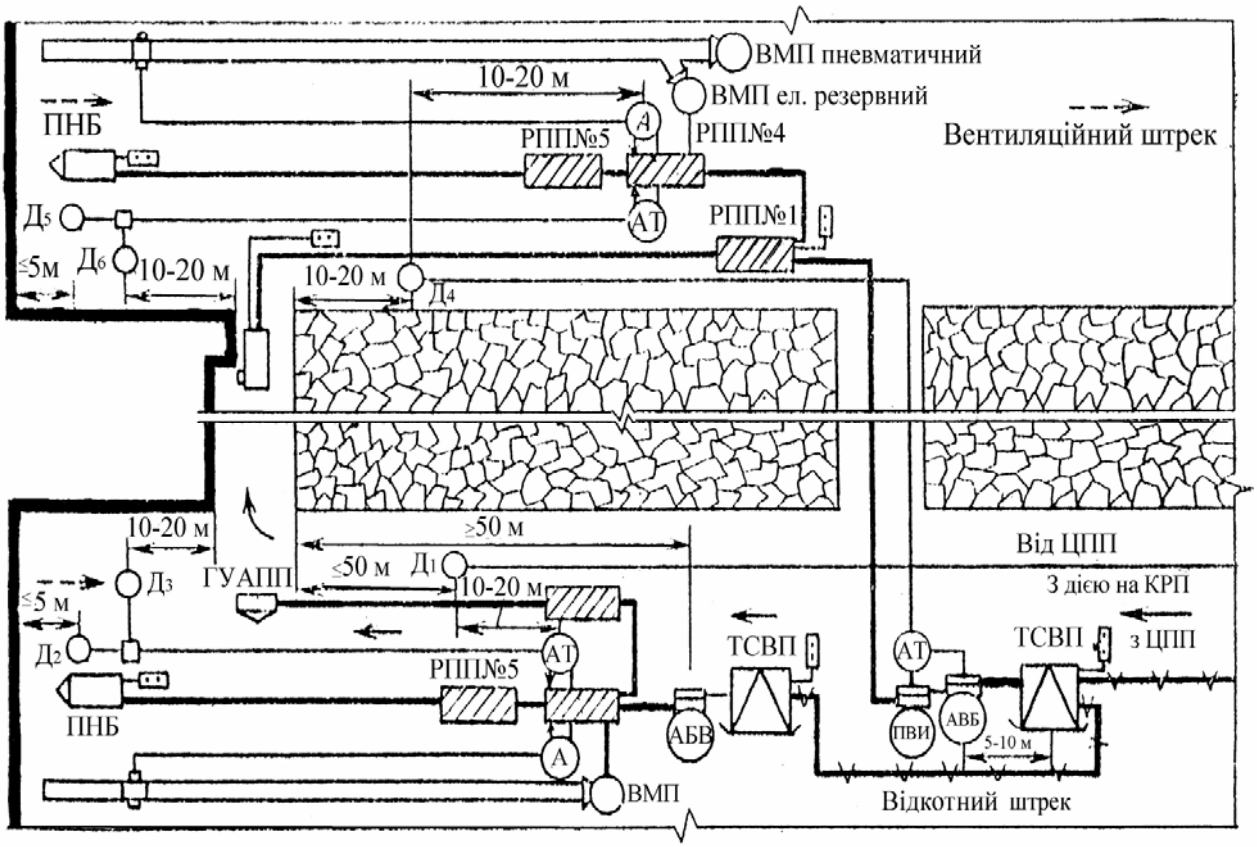

Рис.42. Схема размещения электрооборудования на участке с комбайном при разработке крутых пластов, опасных по внезапным выбросам: $Д_1$ –Д6 – датчики метана, АТ – аппарат сигнализации, А – аппарат контроля проветривания тупиковой выработки.

Иногда используется схема электроснабжения, при которой одна ПУПП располагается на откаточном штреке, а другая – на вентиляционном.

При отработке крутых пластов, опасных по внезапным выбросам, длинными столбами по падению с помощью щитовых агрегатов, размещение электрооборудования под щитом с уровнем взрывозащиты РВ без системы быстродействующего отключения зависит от способа подготовки столбов. Если столб нарезается одной вентиляционной печью, то электропривод щитового агрегата должен располагаться на расстоянии не более чем 10 м от углеспускной печи, по которой поступает свежая струя воздуха. Остальная лава под щитом и в участковых вентиляционных выработках должна оснащаться электрооборудованием с уровнем взрывозащиты РВ и системой быстродействующего отключения.

Если столб нарезается двумя вентиляционными печами, то под щитом можно устанавливать электрооборудование с уровнем взрывозащиты РВ без системы быстродействующего отключения. Без последней системы запрещается применять ЭП на вентиляционном штреке в сторону забоя, в вентиляционных печах во время их проходки, на откаточном штреке от углеспускной печи в сторону тупиковой выработки.

В зависимости от схемы отработки крутых пластов и средств механизации разработаны несколько типовых распределительных пунктов: РПП1 – очистного забоя при комбайновой выемке угля; РПП2 – грузового пункта очистного забоя; РПП3 – очистного

забоя при щитовой выемке; РПП4 – вентиляторов местного проветривания (ВМП) и групповых коммутационных аппаратов для тупиковых выработок; РПП5 – подготовительного забоя с погрузочной машиной; РПП6 – подготовительного забоя с проходческим комбайном. Принципиальные схемы таких РПП приведены в литературе [4, 5].

При использовании в системе электроснабжения быстродействующих выключателей типа АШВ, необходимо реле утечки в РУНН ПУПП отсоединить от силовой сети. Защиту от токов утечки будет осуществлять выключатель АШВ. Перемычка для присоединения АШВ к ПУПП тогда должна иметь длину не более чем 5–10 м.

В системах электроснабжения с опережающим отключением на всех ЭП, которые находятся на расстоянии ближе, чем 50 м до очистного и 150 м до подготовительного забоев (опасная зона), и способных генерировать электроэнергию после их выключения, должны устанавливаться моторные короткозамыкатели ПМК. ЭП, находящиеся в безопасной зоне, могут быть энергоизолированы одним групповым короткозамыкателем.

В системе электроснабжения крутых пластов обязательно применение двухступенчатой газовой защиты. Аппаратура первой ступени устанавливается в ЦПП или РПП-6 кВ и защищает высоковольтную часть системы электроснабжения, а аппаратура второй ступени – устанавливается непосредственно на РПП-0,66 кВ для защиты низковольтной сети. Схемы размещения аппаратуры контроля содержания метана приведены в справочной литературе [7–9].

6.5 Электроснабжение участков на напряжении 1140 В

Внедрение высокопроизводительных комплексов большой мощности требует перехода в участковых сетях на более высокое напряжение. При существующем напряжении 660 В и ограничении пускового тока в участковых сетях до 1000 А предельная мощность электродвигателя с короткозамкнутым ротором составляет 175 кВт. Увеличение мощности электродвигателей достигается при переводе участковых сетей на номинальное напряжение 1140 В (коэффициент перехода составляет $\sqrt{3}$). Это дает возможность использовать часть электрооборудования как при обычном, так и при повышенном напряжении за счет переключения обмоток (с треугольника на звезду). Однако переход с 1140 на 660 В допустим только для двигателей мощностью до 175 кВт, у которых пусковой ток при напряжении 660 В достигает предельного значения 1000 А. Более мощные двигатели не следует переводить на пониженное напряжение.

Переход в участковых сетях на напряжение 1140 В позволяет повысить предельные моменты двигателей, увеличить их единичную мощность, снизить потери напряжения и мощности в кабельной сети. Однако при увеличении номинального напряжения участковых сетей и двигателей повышается стоимость электрооборудования в результате необходимости усиления его изоляции. Кроме того, в ряде случаев из-за утолщения изоляции обмоток двигателя снижается его мощность в заданных габаритах. Особенно значительно при росте напряжения увеличивается стоимость двигателей малой мощности. Для каждого уровня напряжения есть нижняя граница мощности двигателя, ниже которой практически нецелесообразно создавать двигатели.

Повышение напряжения вызывает рост эксплуатационных расходов на обслуживание высоковольтного оборудования и обеспечение необходимого уровня электробезопасности. Поэтому номинальное напряжение в системе электроснабжения участка угольной шахты выбирается на основе технико-экономического сравнения вариантов.

При выборе номинального напряжения 1140 В возможны такие схемы электроснабжения участков (рис.43):

- от трансформатора 6/1,2 кВ (рис.43, *а*), когда все ЭП, кроме освещения и ручных электросверл, получают питание на напряжении 1140 В;

- от двух трансформаторов (рис.43, *б*), один из которых питает самые мощные ЭП участка на напряжении 1140 В, а второй – вспомогательные установки на 660 В;

- от трехобмоточного трансформатора (рис.43, *в*), вторичные обмотки которого рассчитаны на номинальное напряжение 1140 и 660 В, но такие трансформаторы пока не выпускаются в Украине.

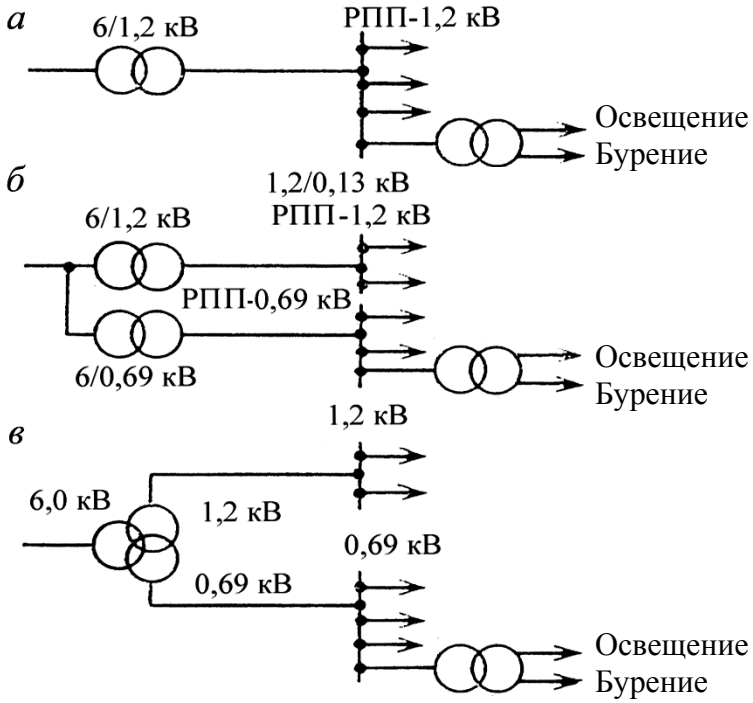

Рис.43. Варианты схем электроснабжения участков на напряжении 1140 В

Переход на напряжение 1140 В на угольных шахтах Украины осуществляется по второму варианту.

6.6 Электроснабжение участков с регулируемым электроприводом

Широкое использование электроприводов на добычных и подготовительных участках угольных шахт, увеличение их суммарной и единичной мощности остро ставит вопрос относительно улучшения технико-экономических показателей, обеспечения экономичных технологических режимов работы забоев на основе регулируемого электропривода постоянного или переменного тока.

Система регулируемого электропривода постоянного тока "тиристорный преобразователь – двигатель" (ТП-Д) характеризуются простотой исполнения преобразовательной установки и сложностью в эксплуатации двигателей постоянного тока.

В регулируемом электроприводе переменного тока с помощью тиристорных преобразователей частоты (ТПЧ-Д) наиболее надежным в эксплуатации является асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, но недостаточно надежны преобразователи частоты со звеном постоянного тока. Поэтому выбор системы регулируемого электропривода в значительной мере зависит от характеристики условий выполнения технологического процесса.

При применении регулируемого электропривода схемы электроснабжения зависят от его типа (рис.44). При использовании системы ТП-Д в РПП-0,66 (1,14) кВ для каждого

ЭП устанавливают тиристорные выпрямители В, от которых получают питание электродвигатели (рис.44, *а*). При применении системы ТПЧ-Д схемы электроснабжения зависят от места установки инвертора I, который преобразует постоянный ток в переменный регулируемой частоты. Он может быть встроен в рабочую машину (рис.44, *б*) или расположен на РПП участка (рис.44, *в*). Возможен также вариант, когда выпрямитель (звено постоянного тока) и инвертор совмещены с трансформаторной подстанцией, а преобразователи частоты Пч устанавливаются в РПП участка (рис.44, *г*).

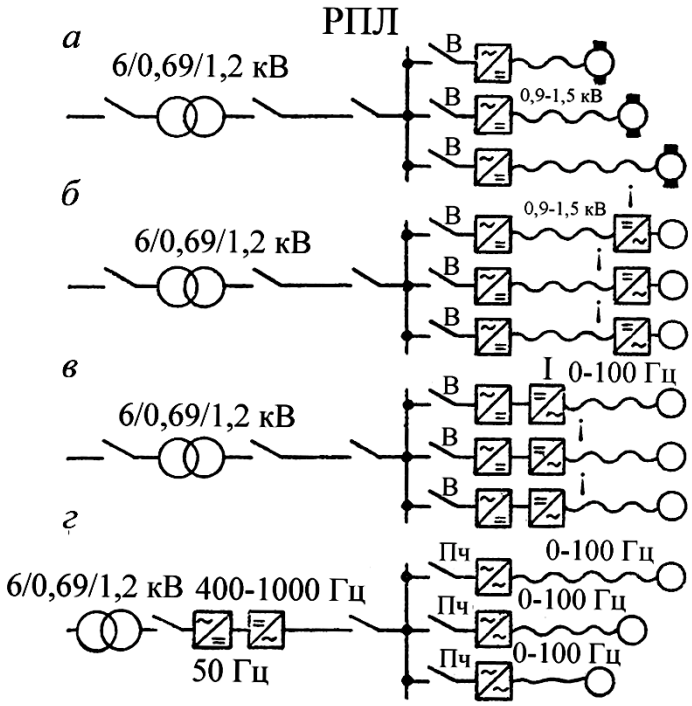

Рис.44. Схемы электроснабжения участков при регулируемом электроприводе

При применении регулируемого электропривода постоянного тока на участках для ряда машин и механизмов целесообразно оставить нерегулируемый асинхронный электропривод из-за его известных преимуществ (простота конструкции и обслуживания, невысокая стоимость и др.). Таким образом, на участке будут использованы комбинированные системы электроснабжения с сетями постоянного и переменного тока. Это вызывает значительные сложности в создании автоматического контроля состояния изоляции в таких сетях и обеспечении защиты от поражения электрическим током. Также в зависимости от принятого закона управления тиристорным преобразователем частоты, могут возникнуть сложности при защите сетей от токов КЗ и использовании существующих коммутационных аппаратов.

Тиристорные преобразователи являются основным источником высших гармоник, оказывая существенное влияние на несинусоидальность формы кривой напряжения и тока. При прохождении токов высших гармоник возникают дополнительные потери активной мощности и энергии из-за несинусоидальности; интенсивнее проходит процесс старения изоляции; высшие гармоники влияют на погрешность измерительных приборов, становится невозможным использование силовых цепей для передачи информации, и выводят из строя батареи статических конденсаторов.

Несинусоидальность формы кривой напряжения можно уменьшить многофазным эквивалентным режимом работы преобразователей, применением фильтров высших гармоник и специальных фильтрокомпенсирующих устройств.

6.7 Электроснабжение участков рудных шахт

В отличие от угольных шахт, для которых характерна высокая концентрация горных работ, сопровождающаяся высоким уровнем механизации и электрификации производства, на рудных шахтах очистные и подготовительные работы, из-за особенностей залегания месторождений рудных тел и жил, проводятся раздельно сразу на нескольких горизонтах и участках. Причем полезные ископаемые добываются буровзрывным способом. Бурение шпуров и погрузка руды и породы осуществляется буровыми станками и погрузочными машинами соответственно. Компрессорные установки с электрическим приводом обычно находятся на поверхности рудника.

На добычных и подготовительных участках потребителями электрической энергии являются, в основном, сравнительно небольшой мощности скреперные лебедки, грузовые машины, вентиляторы местного проветривания и осветительные сети, которые присоединяются к блочным распределительным пунктам (БРП).

В свою очередь БРП получают питание по магистральным (рис.45, *а*) или радиальным линиям (рис.45, *б*) от участковых трансформаторных подстанций (УТП). Для некоторых марганцевых шахт, а также небольших рудников характерным является незначительное расстояние от околоствольного двора до границы шахтного поля. В этом случае питание ЭП очистных и подготовительных работ целесообразно обеспечивать от трансформаторов, установленных непосредственно в ЦПП, если это возможно по условию допустимой потери напряжения.

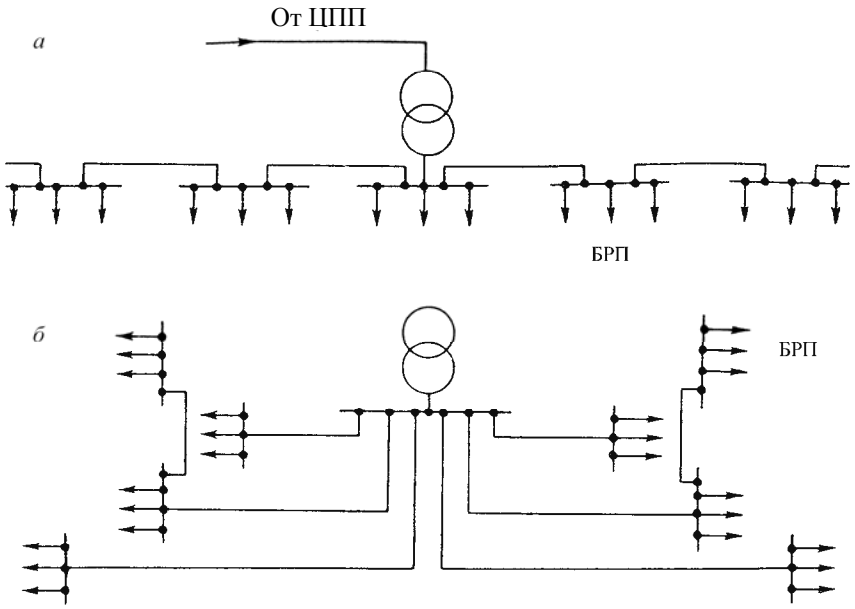

Рис.45. Магистральная (*а*) и радиальная (*б*) схемы распределения электроэнергии в рудной шахте от участковой подстанции к БРП

При значительных размерах шахтного поля рационально устанавливать несколько участковых подстанций на горизонте. Место их установки выбирают на главном откаточном штреке соответственно развитию горных работ на предельно допустимом расстоянии по условию потери напряжения до наиболее удаленного и мощного ЭП (рис.46). Блочные распределительные пункты и распределительные пункты камер располагают непосредственно в блоках возле самих камер.

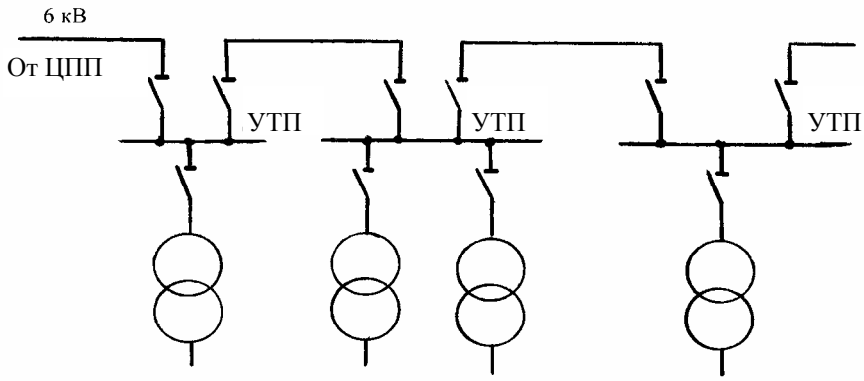

Рис.46. Схема питания участковых подстанций от ЦПП в рудных шахтах

6.8 Особенности электроснабжения тупиковых выработок

Электроснабжение подготовительных работ значительно отличается от добычных участков. Это связано не только с видом применяемого оборудования для проходки выработок, но и с повышенной опасностью их загазованности, поскольку проветривание последних осуществляется не за счет ВГП, которые имеют 100%-й технологический резерв, а с помощью вентиляторов местного проветривания (ВМП). Поэтому схема электроснабжения строится так, чтобы при недостаточном объеме воздуха, подаваемом в забой, или превышении концентрации метана сверх допустимых значений в выработке или в месте размещения электрооборудования произошло автоматическое отключение оборудования тупиковой выработки. При этом питание ВМП не должно прекращаться.

В тупиковых выработках можно размещать электрические аппараты, предназначенные для управления и защиты ЭП только этой выработки. Коммутационные аппараты комплектуются в распределительные пункты, которые могут располагаться не ближе 20 м к забою тупиковой выработки. Если РП находится на свежей струе воздуха, то его располагают так, чтобы исходящая струя из тупиковой выработки проходила не ближе 10 м от группового аппарата, в качестве которого могут использоваться магнитные пускатели, АВ, групповые контакторы в станциях управления, высоковольтные КРУ, которые имеют БРУ, нулевую защиту и искробезопасные цепи дистанционного управления.

При подготовке столбов к отработке обратным ходом длина подготовительной выработки может достигать 1000 м и больше. В этом случае ПУПП размещают в тупиковой выработке, проветриваемой ВМП, а в качестве группового аппарата используется высоковольтная ячейка, которая устанавливается на свежей струе воздуха на бремсберге, уклоне или в ходке так, чтобы исходящая струя из тупиковой выработки проходила не ближе 10 м к ячейке КРУ. Рукоятка ручного включения привода ячейки снимается, а управление ею должно осуществляться с помощью кнопочного поста, расположенного возле ячейки, по командам, передаваемым по телефону от ПУПП в тупиковой выработке.

Допускается устанавливать групповые аппараты (кроме КРУ) в тупиковой выработке, проветриваемой ВМП. Однако в этом случае датчики содержания метана, установленные в ВМП, должны подавать сигналы на отключение группового аппарата при концентрации метана 0,5% и на отключение вентилятора при концентрации метана 1%.

На рис.47 приведена схема электроснабжения тупиковой выработки при резервировании ВМП от одной ПУПП с двумя выводами для питания рабочего и резервного ВМП. Для обеспечения непрерывной работы ВМП его пускатель присоединяют к транзитному выводу общего АВ с помощью отдельного выключателя, не имеющего нулевой защиты. Все другие технологически несвязанные между собой ЭП подключают к отдельным распределительным пунктам, каждый из которых имеет на вводе АВ.

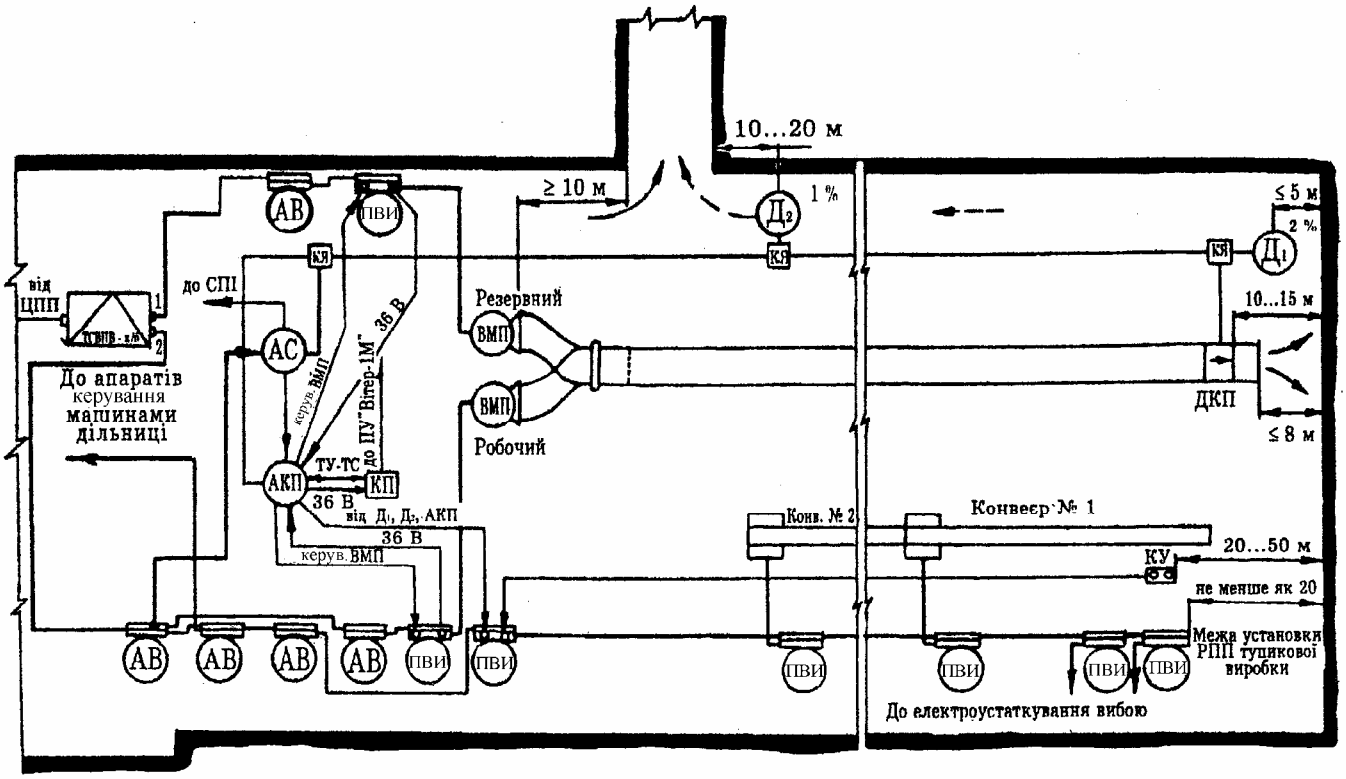

Рис.47. Схема электроснабжения тупиковой выработки при резервировании ВМП

Если в качестве группового аппарата для управления ВМП используются магнитные пускатели, в которых блокировочный разъединитель размещается в обособленном взрывозащищенном отделении, то АВ перед ними могут не устанавливаться, а защита этих пускателей обеспечивается выключателями, установленными в ПУПП или на РПП-0,66 кВ. Кроме того, если расстояние между групповым аппаратом и общим АВ распределительного пункта участка не превышает 20 м, то перед групповым аппаратом автоматический выключатель также может не устанавливаться.

Размещение датчиков контроля расхода воздуха и концентрации метана в тупиковой выработке приведено на рис.47. Аппаратура контроля должна работать непрерывно. При нарушении режима проветривания тупиковой выработки или при превышении содержания метан в контролируемых точках допустимых норм аппаратура вместе с групповым аппаратом должна автоматически снять напряжение со всего электрооборудования, расположенного в тупиковой выработке. Автоматическое включение группового аппарата непосредственно исполнительными реле аппаратуры контроля содержания метана и расхода воздуха не допускается.

В тупиковых выработках должны применяться электрические аппараты, которые имеют искробезопасные цепи управления, нулевую защиту, автоматический контроль сопротивления цепи заземления машин, защиту от потери управляемости при замыканиях в цепях управления, защиту от самовключения при повышении напряжения до 1,5 номинального и блокировку от включения при снижении сопротивления изоляции ниже установленных значений.

6.9 Электроснабжение подземных транспортных средств

Электроснабжение конвейерного транспорта

В угольных шахтах применяются транспортные средства разного назначения: конвейеры, аккумуляторные, контактные и бесконтактные электровозы, лебедки. На добычных участках для доставки угля из лавы чаще всего используются скребковые и меньше

пластинчатые конвейеры. Для транспортировки груза по главным горизонтальным и наклонным выработкам применяют стационарные магистральные ленточные, а в криволинейных выработках – пластинчатые изгибающиеся конвейеры.

Для забойных скребковых конвейеров характерным является многодвигательный привод с разным количеством двигателей и способами их размещения. Суммарная мощность электроприводов скребковых конвейеров достигает 220 кВт. Магистральные ленточные конвейеры (1Л-100, 2Л-100У и др.) имеют одно- и двухдвигательный привод суммарной мощностью от 200 до 500 кВт. Суммарная мощность отдельных магистральных уклонных конвейеров достигает 10000 кВт при пяти двигателях (5ЛУ-200).

Для электроснабжения участковых конвейерных установок обычно применяется радиальная схема, при которой электропривод конвеєра лавы питается по отдельным кабелям от РПП-0,66 (1,14) кВ, когда включение-отключение двигателей осуществляется одновременно от магнитного пускателя или станции управления (рис.48).

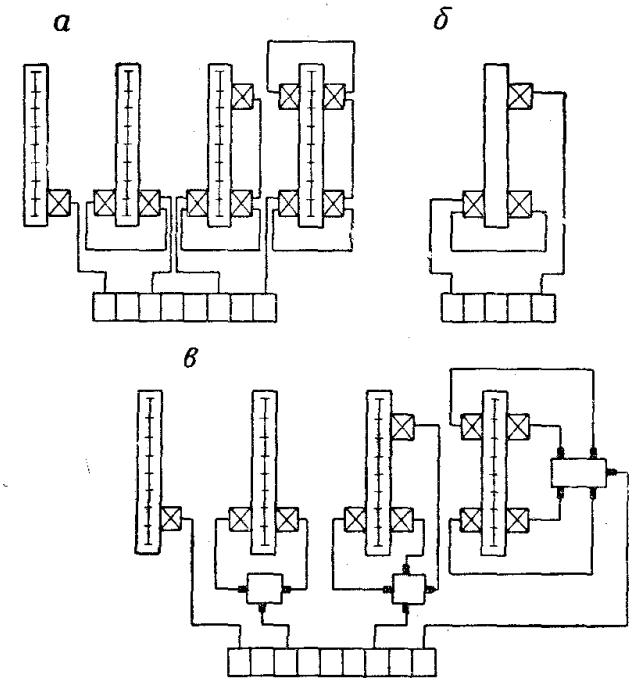

Рис.48. Варианты расположения многодвигательных приводов конвейеров и схемы их электроснабжения: *а* – через двойные кабельные вводы; *б* – от отдельных пускателей; *в* – через шинные коробки.

Для стационарных последовательно установленных конвейеров на штреках и бремсбергах чаще всего применяется магистральная схема, при которой двигатели получают питание по общему магистральному кабелю от передвижных или стационарных участковых трансформаторных подстанций при напряжении 660 В.

Мощные уклонные конвейеры получают питание от стационарных подстанций по радиальным схемам. Двигатели мощностью 500 кВт и больше обеспечиваются электроэнергией при напряжении 6 кВ от РПП-6 кВ горизонта шахты.

Электроснабжение электровозного транспорта

При транспортировке полезных ископаемых на большие расстояния по горизонтальным выработкам в шахтах и рудниках широко применяется рельсовый транспорт, а именно контактные, аккумуляторные и бесконтактные электровозы. Тяговые двигатели контактных электровозов выпускаются на напряжение 250 и 550 В, аккумуляторных – на напряжение от 40 до 175 В. *Контактные электровозы* получают питание от контактного провода с помощью специального токоснимателя. Их система электроснабжения имеет

стационарную или передвижную тяговую подстанцию (рис.49). Контактный провод обычно секционируется через каждые 500 м секционными выключателями и изоляторами. Последние устанавливаются также на всех ответвлениях.

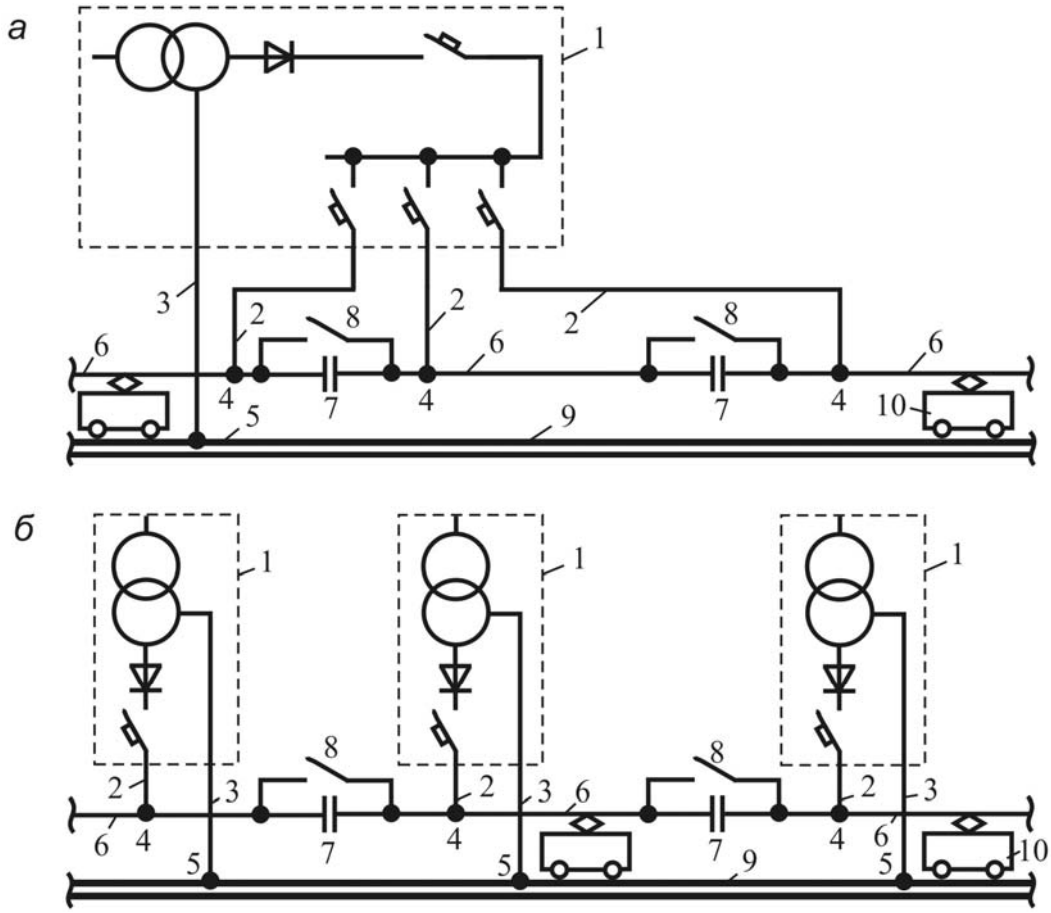

Рис.49. Схемы централизованного (а) и децентрализованного (б) питания контактной сети: 1 – тяговая подстанция, 2, 3 – питающая и отсасывающая линии, 4, 5 – питающий и отсасывающий пункты, 6 – контактный провод, 7 – секционный изолятор, 8 – секционный выключатель, 9 – рельсовый путь, 10 –электровоз.

Источником питания контактной сети является тяговая подстанция, которая имеет распределительное устройство, силовой трансформатор, тяговый преобразовательный агрегат и устройство постоянного тока. Серийно выпускаются преобразовательные агрегаты типов АТП и АТПШ.

Тяговая сеть выполняется контактным проводом марки МФ – медный, фасованный. Подвеска провода эластична с двойной изоляцией от земли, а рельсовый путь в основных выработках выполняется рельсами Р24 и Р33, а во вспомогательных – рельсами Р18. Стыки рельсов соединяются сваркой или перемычками из медного провода сечением не менее 50 мм^2 или из круглой стали. Для питающих и всасывающих цепей используются одножильные бронированные кабели марок СБ или СП сечением 70–95 мм^2.

Для защиты от токов КЗ в шахтных контактных сетях применяются автоматические выключатели ВАРП-200, ВАРП-315. Разработаны также автоматический фидерный тиристорный выключатель АФТВ и автоматический линейный выключатель АЛВ с тиристорным короткозамыкателем, которые обеспечены двухступенчатой защитой по скорости нарастания тока. Выключатель АФВТ устанавливают на отходящих присоединениях, в тяговой подстанции, а АЛВ – в местах секционирования контактной сети.

Контактные электровозы более удобны в эксплуатации, имеют большую производительность, более экономичны по сравнению с аккумуляторными. Однако возможность

возникновения искр между токоснимателем и контактным проводом, а также между колесами и рельсами ограничивает сферу их применения. Контактная электровозная откатка широко применяется в рудниках и шахтах, не опасных по газу и пыли.

Электроснабжение *аккумуляторных электровозов* обеспечивается от тяговых батарей, которые укомплектованы щелочными аккумуляторами ТНЖ (тяговый никель-железный, в резиновом чехле) или свинцово-кислотными типа PzS. Выпускаются также аккумуляторы ТНЖШ (шахтные), имеющие повышенную удельную энергоемкость и корпус с эпоксидным покрытием, и ТНЖК (комбинированные) – с безламельным отрицательным электродом.

В последнее время для электропривода электровозов применяют аккумуляторные батареи типа PzS. Батарея состоит из двух модулей, соединенных последовательно. Каждый модуль представляет собой металлический ящик с кислотостойким изнутри покрытием, в котором размещены 36 аккумуляторов типа PzS напряжением 2 В каждый. Между аккумуляторами расположены полипропиленовые гофрированные прокладки. Все аккумуляторы последовательно соединены в батарею. В зависимости от количества аккумуляторов в модуле (36, 33, 30) аккумуляторные батареи имеют номинальное напряжение 144, 132 или 120 В соответственно и номинальную емкость при 5-часовом режиме разряда 385, 560 или 640 А·ч.

Для зарядки аккумуляторных батарей в шахте строится гараж-зарядная, в которой размещаются зарядные устройства и разные вспомогательные приспособления в виде механизированных зарядных столов, кран-балок, мостовых кранов и т.п. Преобразовательная подстанция и вспомогательные устройства обычно располагается в отдельных камерах. В качестве преобразовательных агрегатов для зарядки аккумуляторных батарей применяют полупроводниковые выпрямители, которые имеют систему автоматического регулирования зарядного режима, устройства защиты и сигнализации, приборы контроля и блокировки, создающие безопасные условия эксплуатации.

Для зарядки аккумуляторных батарей электровозов с сцепным весом 8–14 т применяют зарядные устройства ЗУК-155/230М, а для батарей малогабаритных электровозов (2–5 т) – ЗУК-75/120. Для аккумуляторных батарей электровозов АРП14 и АРП-28 разработаны новые зарядные устройства типу УЗА-160-320 и УЗА-200-230, которые обеспечивают зарядку и других аккумуляторных батарей электровозов.

Зарядные устройства ЗУК-75/120М присоединяются к сети 660/380 В с помощью магнитных пускателей ПВИ-32М, а устройства ЗУК-155/230, УЗА-200-230, УЗА-160-320 – пускателей ПВИ-125М при напряжении сети 660 В. Для зарядных устройств типу УЗА при напряжении сети 380 В необходимо применять пускатель ПРВИ-250.

Зарядные устройства обеспечены защитой от токов КЗ, перегрузок и коммутационных перенапряжений, а также защитой от токов утечки на землю при снижении сопротивления изоляции в зарядной цепи и вторичной обмотке силового трансформатора.

В шахтах, опасных по газу и пыли, в последние годы используется новый вид откатки –рудничный бесконтактный электровозов, который получает электроэнергию из тяговой сети через воздушный зазор благодаря индуктивной связи ее проводников с приемниками, которые работают на переменном токе повышенной частоты. Структурная схема электроснабжения бесконтактного электровозного транспорта (рис.50) состоит из преобразовательной подстанции 1, тяговой сети в виде короткозамкнутого контура, выполненного специальным кабелем 3, компенсирующих пунктов 2 и рельсов 7.

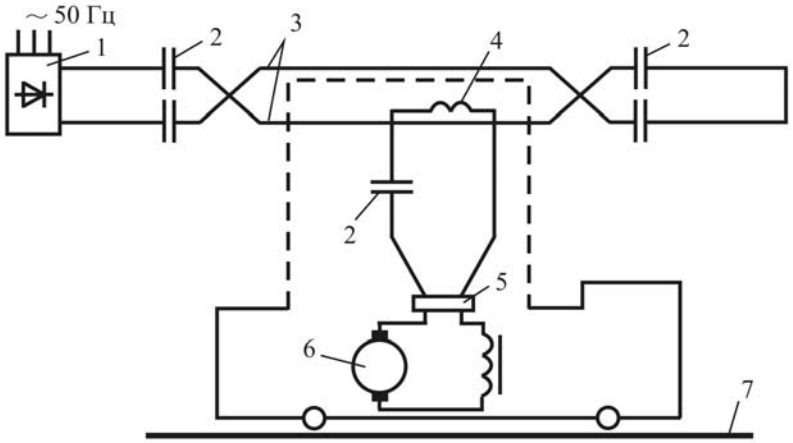

Рис.50. Схема электроснабжения бесконтактного электровозного транспорта

В преобразовательной подстанции установлены высоковольтная ячейка КРУВ-6, сухой трансформатор ТСВ, выключатель АВ с аппаратами защиты, статический преобразователь частоты ТПЧ-250-5 мощностью 250 кВт и напряжением 1,5 кВ, к которому присоединена тяговая сеть, выполненная специальным кабелем КШСТ-130. Индуктивность кабельной сети и обмоток энергоприемника компенсируется конденсаторами, которые включены последовательно в тяговую сеть на компенсирующих пунктах 2. Благодаря этому входное сопротивление тяговой сети со стороны тяговой подстанции близко к активному. В тяговой сети протекает ток частотой 5000 Гц. Вокруг кабелей создается электромагнитное поле, энергия которого принимается на электровозе энергоприемником 4, который представляет собой две плоские обмотки, образованные витками специального кабеля и уложенные в незамкнутые ферритовые сердечники. Электроэнергия от энергоприемника через выпрямитель 5 подводится к тяговым двигателям 6.

Работа бесконтактных электровозов В14-900 на шахтах Донбасса был выявила их существенные преимущества перед аккумуляторными: производительность откатки выросла в 2,5 раза, а удельный расход электроэнергии снизился в 1,75 раза. Такой вид рудничного транспорта целесообразно применять на откаточных горизонтах большой производительности со значительными размерами шахтных полей по простиранию.

Электроснабжение лебедок

Электроснабжение маневровых, предохранительных и скреперных лебедок обеспечивается по радиальным схемам от распределительных пунктов лав, подготовительных участков, а в рудниках – от блочных РПП.

Грузовые лебедки получают питание также по радиальным схемам обычно от собственных подстанций. При установке лебедок в шурфах или в выработках с большим углом наклона и при транспортировке грузов в скипах для обеспечения нормального режима работы применяется три пускателя: ПВИ-250 – для подачи напряжения на все механизмы лебедки и на привод предохранительного тормоза, ПМВИР-41 или ПВИ-80МР – на двигатель лебедки и ПВИ-63М – на двигатель рабочего тормоза.

Подъемные лебедки относятся к ряду малых подъемных машин и применяются на уклонах и бремсбергах для систем откатки с конечным и бесконечным канатом. Для них необходимо регулирование скорости, реверсирование и торможение. Мощности асинхронных двигателей с фазным ротором колеблются от 37 до 500 кВт. Питание обеспечивается по радиальным схемам, часто от собственных подстанций.