

ЛЕКЦИЯ 1

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ШАХТ И РУДНИКОВ

1.1 Общие положения

Современные горные предприятия имеют большое количество электрифицированных машин и механизмов как на поверхности, так и в подземных выработках. Их суммарная мощность достигает десятков мегаватт. Для питания потребителей электроэнергией на шахтах и рудниках (далее – шахты) сооружаются подстанции, распределительные пункты, кабельные и воздушные линии электропередачи (ЛЭП).

Электроснабжение шахт может осуществляться такими основными способами: от автономных источников питания; от собственных электростанций, связанных с энергосистемой; от энергосистем. Большинство шахт Украины питаются от энергосистемы, мощность которой в десятки (сотни) раз превосходит электрические нагрузки отдельного предприятия.

Комплекс электроснабжения горного предприятия состоит из системы:

- внешнего электроснабжения;
- внутреннего электроснабжения, включающей систему электроснабжения комплекса поверхности шахты и систему электроснабжения подземных потребителей.

Система внешнего электроснабжения имеет главную понизительную подстанцию (ГПП) горного предприятия, кабельные или воздушные линии от подстанции энергосистемы (или от ЛЭП энергосистемы при подключении к ним отпайками) к ГПП, ячейки присоединения на подстанции (ПС) энергосистемы.

К системе внутреннего электроснабжения относятся трансформаторные ПС и распределительные пункты, ЛЭП, расположенные на территории промплощадки шахты и в подземных выработках.

Системы питания электроприемников строятся в зависимости от требований по бесперебойности электроснабжения. По надежности электроснабжения Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) электроприемники (ЭП) разбиты на три категории.

К I категории относятся ЭП, перерыв в питании которых приводит к опасности для жизни людей, выходу из строя технологического оборудования, длительной остановке сложного технологического процесса, массовому выпуску бракованной продукции. К таким потребителям относятся вентиляторы главного проветривания (ВГП) и их собственные нужды, вспомогательные вентиляторные установки шахт III категории и сверхкатегорных по газу и пыли, главные водоотливные установки (ГВУ), клетевой подъем и его собственные нужды, котельная, установка для дегазации угольных пластов, насосы противопожарной установки.

ЭП I категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых источников питания или иметь не менее двух установок, приводы которых получают питание от двух независимых источников. Перерыв в их электроснабжении допускается на время автоматического включения резервного питания.

К II категории относится ЭП, перерыв в электроснабжении которых связан со снижением производительности труда, простоем рабочих механизмов и т.п. К ним относятся: скиповые подъемы, компрессоры, обогатительные установки, мощные комплексы для ведения очистных работ, технологический комплекс поверхности и др. Для ЭП II категории, как правило, применяется резервное питание. Перерывы в электроснабжении для потребителей II категории допустимы на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной оперативной бригадой.

К III категории относятся все другие ЭП, перерыв в питании которых не вызывает значительных убытков. Резервным питанием такие потребители не обеспечиваются. Перерывы в электроснабжении допустимы на время, необходимое для ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, но не более одних суток.

Поскольку на шахтах есть потребители всех категорий, то они должны питаться электроэнергией от двух независимых источников по двум линиям. При выходе из строя одной из них, другая должна обеспечить электроэнергией все ЭП шахты. При нормальном режиме характерна раздельная работа ЛЭП. Все питающие линии должны быть под нагрузкой.

Электроснабжение шахт может осуществляться по двухцепным ЛЭП напряжением 35 – 220 кВ на опорах, рассчитанных на повышенные ветровые и гололедные нагрузки (на ступень выше нормативов для данного района, установленного ПУЭ), кроме электроснабжения шахт:

- расположенных в IV и особенном районах по гололеду;
- отнесенных к III категории и сверхкатегорных по метану и опасных по внезапным выбросам;
- с нормальным часовым притоком воды свыше 300 м³.

Для электроснабжения шахт применяется трехфазный переменный ток напряжением 6; 10; 35; 110; 150 и 220 кВ промышленной частоты 50 Гц.

1.2 Выбор распределительного напряжения

На современных шахтах основным распределительным напряжением является 6 кВ, а для низковольтных потребителей технологического комплекса – 380, 220 и 127 В. Однако более экономичным считается напряжение 10 кВ. В цеховых электрических сетях поверхности необходимо применять напряжение 660 В вместо 380. Для подземных сетей целесообразен переход на 1140 В вместо 660 В. Это позволит уменьшить потери электроэнергии, номинальные токи и токи короткого замыкания (КЗ), экономить кабельную продукцию. Основным сдерживающим фактором увеличения уровней распределительного напряжения является дефицит соответствующего оборудования. Однако такой переход может быть экономически выгодным только при коренной реконструкции шахты, когда намечается замена значительного количества технологического оборудования.

Для электроснабжения подземных потребителей шахт применяются напряжения 127, 220, 380, 660 и 1140 В, а для питания стационарного местного освещения передвижных машин и механизмов – 36 В, для освещения и сигнализации по голым проводам в очистных забоях, безопасных по газу и пыли, допускается применять напряжение 24 В.

1.3 Схемы внешнего электроснабжения

Под внешним электроснабжением шахт понимают комплекс сооружений, обеспечивающий передачу электроэнергии от принятой точки присоединения к энергосистеме до приемных ПС шахт включительно. Топология схемы внешнего электроснабжения зависит от многих факторов: производительности шахты, единичных мощностей применяемого оборудования, размеров шахтного поля, глубины залегания пластов, газового и пылевого режима и др. Выбор конкретной схемы выполняется путем общей проработки их с энергосистемой и технико-экономического сравнения вариантов. Однако, невзирая на их разнообразие, все они должны удовлетворять таким основным требованиям:

- бесперебойное питание электроэнергией потребителей путем глубокого секционирования шин от ПС энергосистемы к шинам низкого напряжения ПС шахты;
- поддержка необходимого качества напряжения в пределах допустимых отклонений и колебаний напряжения в нормальных, аварийных и послеаварийных режимах, а также допустимых коэффициентов несинусоидальности и несимметрии;
- экономичность всех элементов системы электроснабжения (желательно принимать глубокие вводы и разукрупнение ПС);
- гибкость, что позволяет без значительного влияния на действующие потребители обеспечивать поэтапный рост электрических нагрузок, связанный как с расширением производства, так и с его реконструкцией;
- безопасность и удобство эксплуатации.

Для питания электроприемников шахт рекомендуется предусматривать упрощенные блочные и мостовые схемы. На рис.1, *а* приведена схема электроснабжения шахты от энергосистемы при напряжении 6 – 10 кВ. Питание ГПП осуществляется по двум линиям от двух секций шин подстанции энергосистемы (ПЭС). Линии напряжением 6 кВ выполняются, как правило, алюминиевыми проводами. Такие схемы применяются при передаче мощности не более 3–4 МВт на расстояние до 3 км.

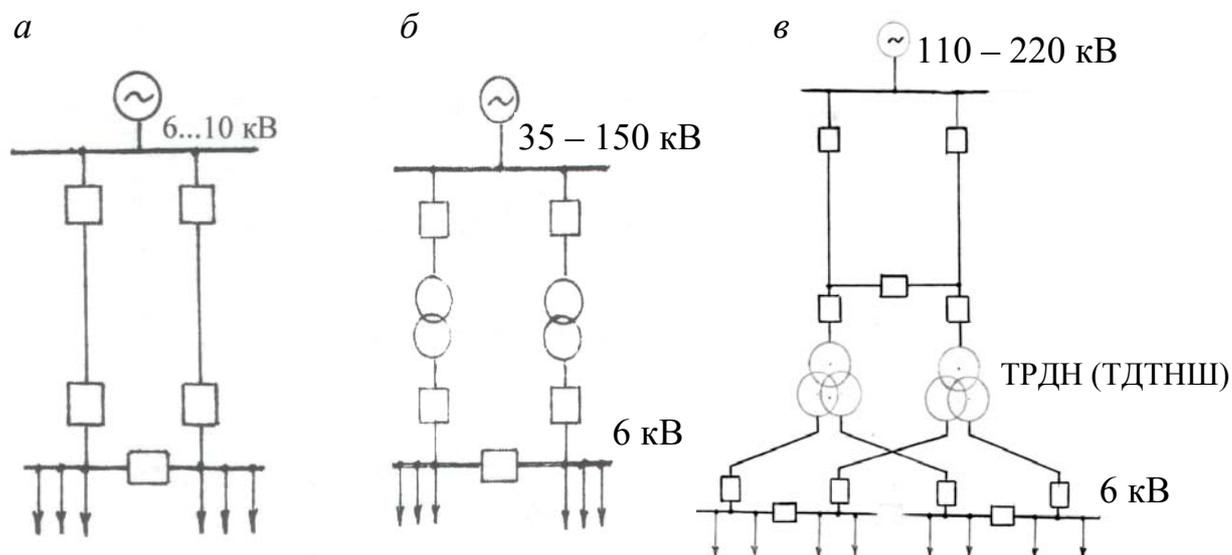


Рис.1. Наиболее распространенные радиальные схемы внешнего электроснабжения шахты напряжением 6–10 кВ (*а*) и схемы глубокого ввода (*б* и *в*)

Наибольшее распространение получила система глубокого ввода и разукрупнения ПС. Под глубоким вводом подразумевается система электроснабжения с максимальным приближением высокого напряжения к электроустановкам с наименьшим количеством уровней промежуточной трансформации.

Глубокий ввод выполняется по двум схемам:

- радиальными ЛЭП, которые питают подстанции 35–220 кВ по схеме блока "линия – трансформатор";
- магистральными ЛЭП, которые проходят в зоне мощных узлов нагрузок и питают несколько разукрупненных ПС без выключателей на стороне первичного напряжения.

На рис.1, *б* приведена радиальная схема глубокого ввода, когда ЛЭП подводятся непосредственно к трансформаторам без распределительного устройства с шинами. Такая схема получила название блока "линия–трансформатор". Выбор первичного напряжения зависит от напряжений ПЭС, передаваемой мощности и расстояния до ГПП. При

мощности трансформатора до 10000 кВА обычно подводится напряжение 35 кВ, при большей мощности – целесообразное напряжение 110 кВ.

При благоприятных климатических условиях и при отсутствии сборных шин на стороне высшего напряжения могут применяться упрощенные радиальные схемы с блоками "разъединитель–короткозамыкатель" вместо выключателей на стороне 35–110 кВ, как более дешевые и экономичные.

Прогрессивным направлением в электроснабжении горных предприятий является применение мостовых схем глубокого ввода с установкой на ГПП шахты трансформаторов ТРДН с расщепленной вторичной обмоткой или модифицированных трехобмоточных трансформаторов ТДТНШ с напряжением вторичных обмоток 6,3 и 6,6 кВ (рис.1, в). Они предназначены для электроснабжения шахт с обособленным питанием подземных ЭП при напряжении 6 кВ, что повышает безопасность и надежность применения электроэнергии в шахте.

На рис.2 изображена магистральная схема глубокого ввода. Такая схема применяется для электроснабжения крупных шахт и горно-обогатительных комбинатов, которые имеют несколько мощных подстанций.

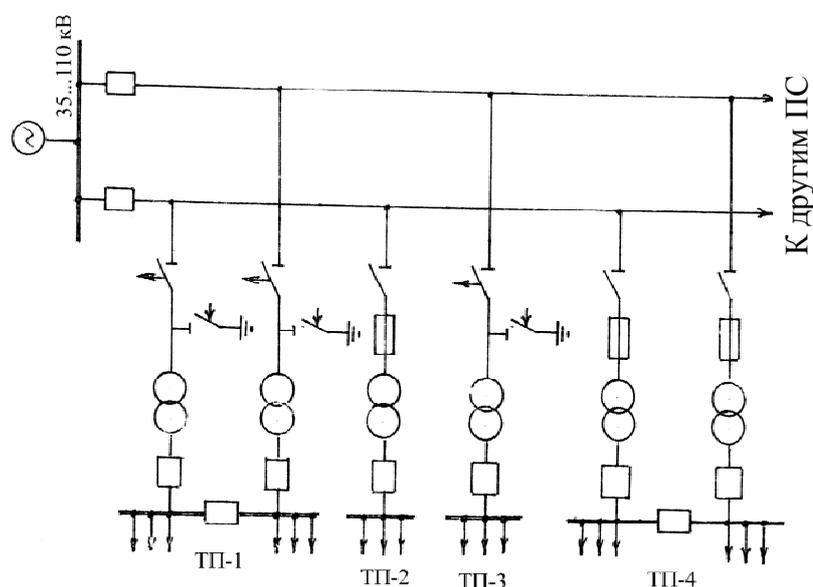


Рис.2. Магистральная схема глубокого ввода

1.4 Подстанции и распределительные устройства на поверхности шахты

По назначению различают главные понизительные подстанции (ГПП) и так называемые цеховые трансформаторные подстанции (ТП).

По конструктивному выполнению ПС могут быть открытыми, закрытыми, встроенными или пристроенными. В зависимости от выполняемых функций они могут быть трансформаторными или преобразовательными.

Для ГПП шахт предусматриваются открытые распределительные устройства (ОРУ) на напряжение 35–220 кВ с наружной установкой силовых трансформаторов и закрытые распределительные устройства (ЗРУ) на напряжение 6 (10) кВ. На рис.3 приведена типовая схема ГПП шахты.

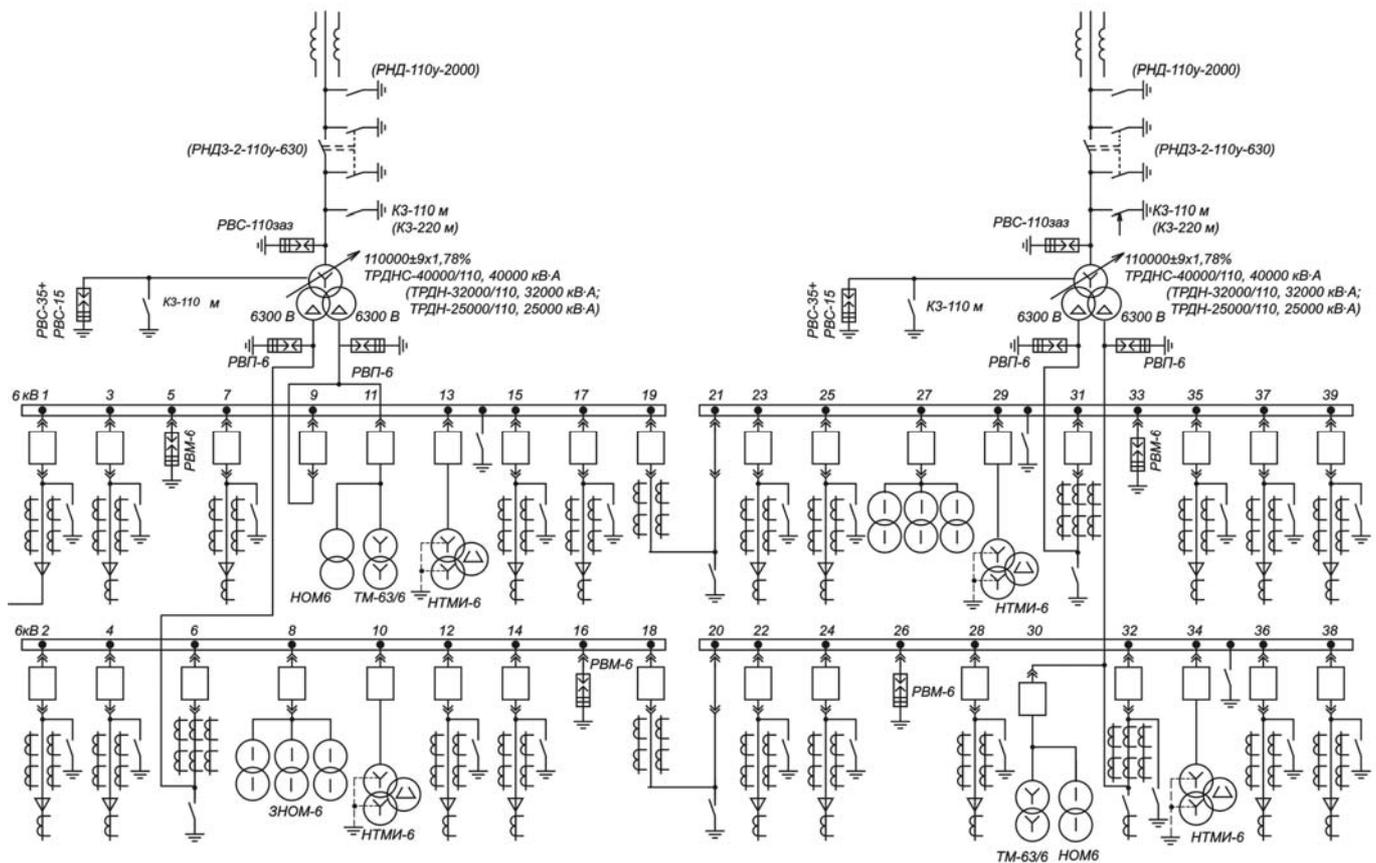


Рис.3. Принципиальная схема типовой ГПП шахты

Для ответственных установок или узлов нагрузки рекомендуется применять комплектные распределительные устройства (КРУ) с выкатными выключателями, а при необходимости одностороннего обслуживания оборудования и на временных электроустановках – КРУ типа КСО (камера с односторонним обслуживанием). Для неответственных потребителей при напряжении 6 (10) кВ рекомендуется применять выключатели нагрузки в комплекте с предохранителями, когда их параметры удовлетворяют режимам работы установки.

В настоящее время наибольшее распространение получили упрощенные схемы ОРУ на напряжение 35–220 кВ ГПП, основанные на блочном принципе. На таких ГПП отсутствуют сборные шины ОРУ 35–220 кВ, а трансформаторы питаются по схеме блока "линия – трансформатор". В этом случае каждый трансформатор питается по отдельной радиальной линии 35–220 кВ, присоединенной к шинам ПС энергосистемы через выключатель или к магистральной воздушной ЛЭП напряжением 35–220 кВ (рис.4).

ЗРУ на напряжение 6 (10) кВ – центральный распределительный пункт промплощадки шахты, который питает все основные потребители (подъемные, вентиляторные, калориферные, подземные установки). Распределительное устройство 6 (10) кВ состоит из комплектных ячеек внутренней установки и имеет систему сборных шин, разделенную на рабочие секции (рис.5).

Комплектные распределительные устройства наружной установки (КРУН) на 6 (10) кВ состоят из соединенных между собой металлических шкафов с встроенными в них аппаратами и приборами, устройствами управления, защиты и автоматики.

Промышленностью выпускаются различные КРУ с вакуумными, элегазовыми, воздушными и масляными выключателями, такие как КУ-10С, ВМ-1, КМ-1Ф, Эталон, КРУ/TEL и др. С более подробной технической информацией по КРУ можно ознакомиться в работе [7] и на сайтах заводов-изготовителей.

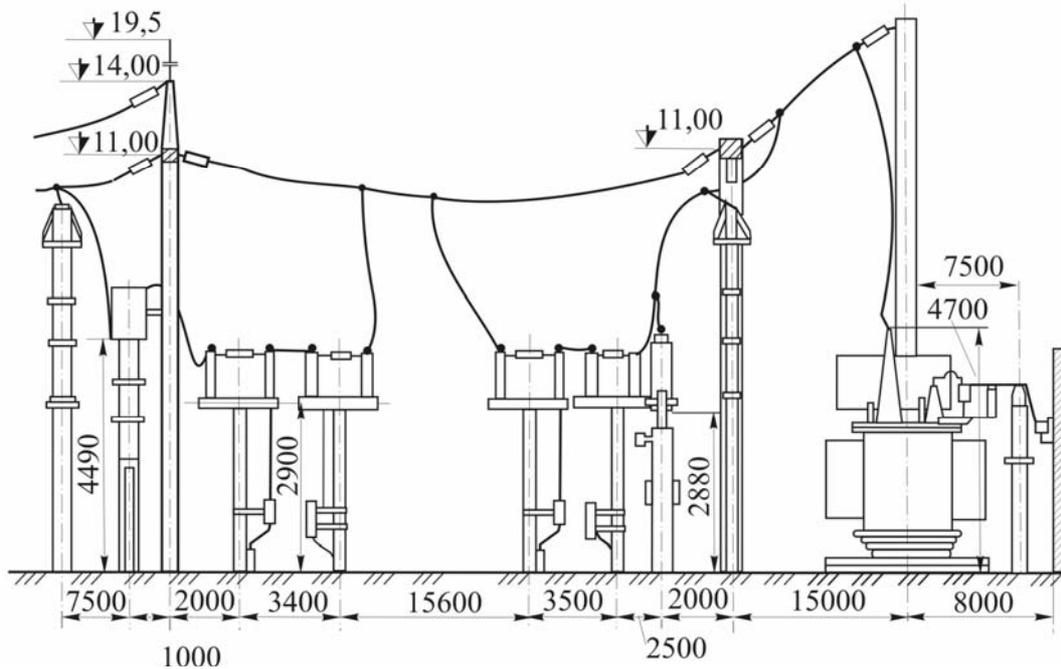
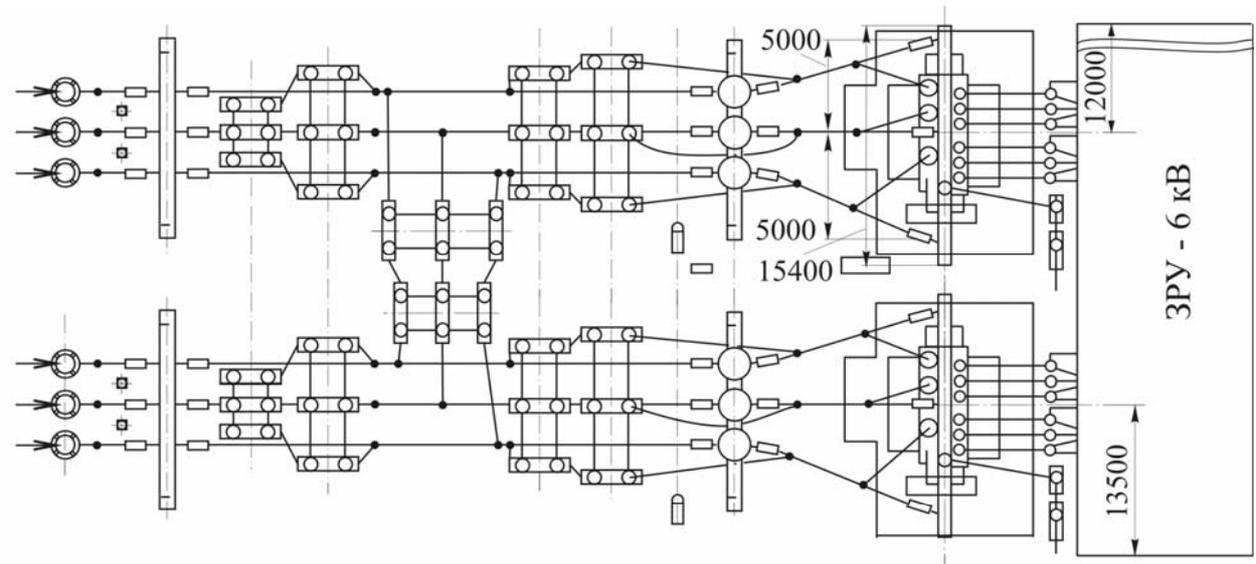


Рис.4. План (а) и разрез (б) ОРУ подстанции

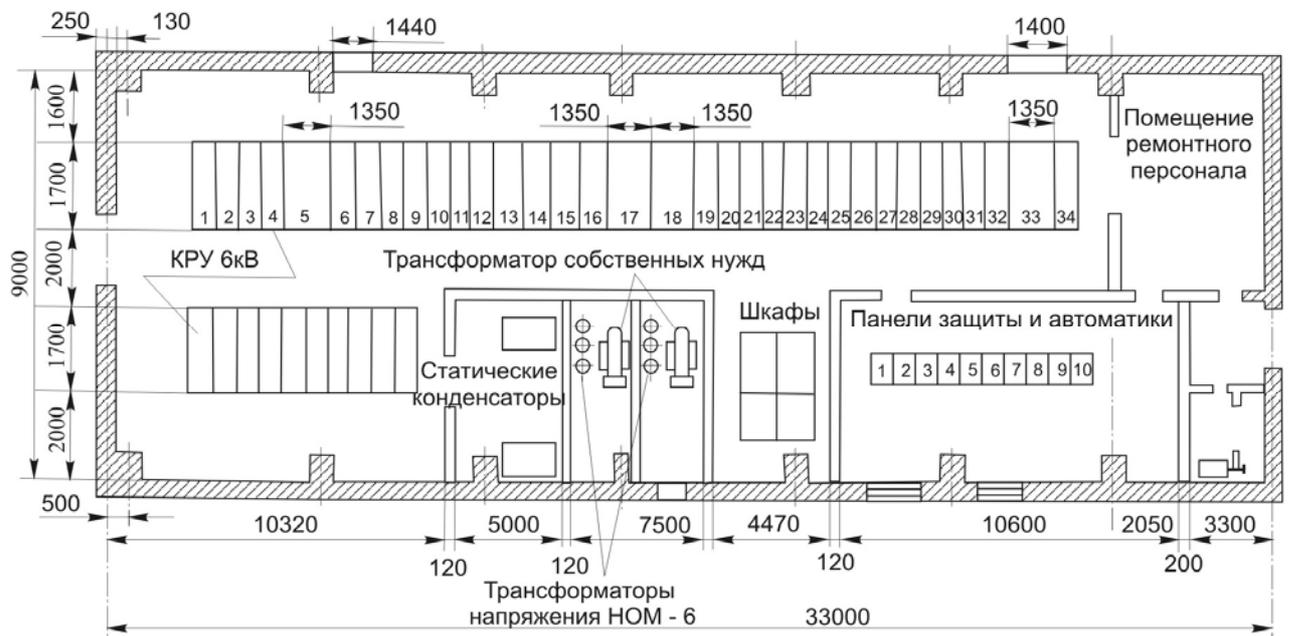


Рис.5. План ЗРУ подстанции

Правильный выбор местоположения ГПП и ТП является одним из основных элементов построения системы электроснабжения. Определение местоположения ПС на генеральном плане предприятия производится построением картограммы нагрузок с нанесением центра электрических нагрузок. При выборе местоположения ГПП должна быть обеспечена возможность удобных заходов и выходов ЛЭП всех напряжений; на самой площадке и в зоне заходов ЛЭП не должно быть строений и коммуникаций, подлежащих переносу или сносу; площадка ГПП должна находиться в пределах общешахтного охранного целика; обязательно должна быть предусмотрена возможность расширения подстанции и сооружения дополнительных к ней ЛЭП. При необходимости сооружения подъездного железнодорожного пути площадка подстанции должна располагаться вблизи него. Зона и месторасположение ОРУ и трасса воздушных ЛЭП должны выбираться с учетом розы ветров, характера и концентрации выделяемой угольной пыли, зоны ее оседания и др.

1.5 Распределение электроэнергии на поверхности шахты

К системе электроснабжения комплекса поверхности шахты относятся цеховые ТП и распределительные пункты (РП), а также распределительные и питающие сети. Схемы распределения электроэнергии на поверхности шахты зависят от многих факторов: мощности и расположения основных машин и механизмов, категории потребителей по надежности электроснабжения, компактности генерального плана, перспектив последующего развития и расширения производства и др.

Распределение электроэнергии на промплощадке шахты осуществляется при напряжении 6 (10) кВ и только к отдаленным фланговым вентиляторам питание может подводиться при более высоком напряжении. В схемах закладывается принцип разукрупнения ПС с тем, чтобы приблизить высокое напряжение к электроприемникам.

На поверхности шахт применяются радиальные, магистральные и кольцевые схемы. Для питания потребителей I и II категорий используются радиальные схемы (рис.6, а). В этих схемах секционный выключатель Q3 нормально выключен. При повреждении одной из питающих линий под действием защиты выключаются аппараты Q1 и Q2 этой линии и за счет автоматического включения резерва (АВР) срабатывает секционный выключатель Q3.

По радиальным схемам питаются мощные потребители, РП 6 кВ или ТП – по отдельным самостоятельным линиям. Они являются простыми и надежными, поскольку при повреждении линии выключается только один потребитель или узел нагрузки. К недостаткам радиальных схем относятся большое количество дорогостоящей коммутационной аппаратуры и значительные расходы кабельной продукции, что делает их более дорогими по сравнению с другими схемами.

Одиночные магистральные схемы применяют для питания отдельных ПС посредством отпаек от воздушной ЛЭП, а при кабельной ЛЭП они поочередно заводятся на несколько подстанций. Такие схемы применяют для питания ЭП III категории.

Питание ЭП I и II категорий выполняется по схеме двойной сквозной магистрали (рис.6, б), когда две кабельные ЛЭП от шин ГПП поочередно заводятся на несколько ТП.

Разновидностью магистральных схем электроснабжения является кольцевая (рис.6, в). При нормальной работе кольцо разомкнуто разъединителем на одной из ТП, что повышает надежность питания, поскольку при замкнутом кольце повреждение на магистрали приводит к выключению обоих выключателей Q1.

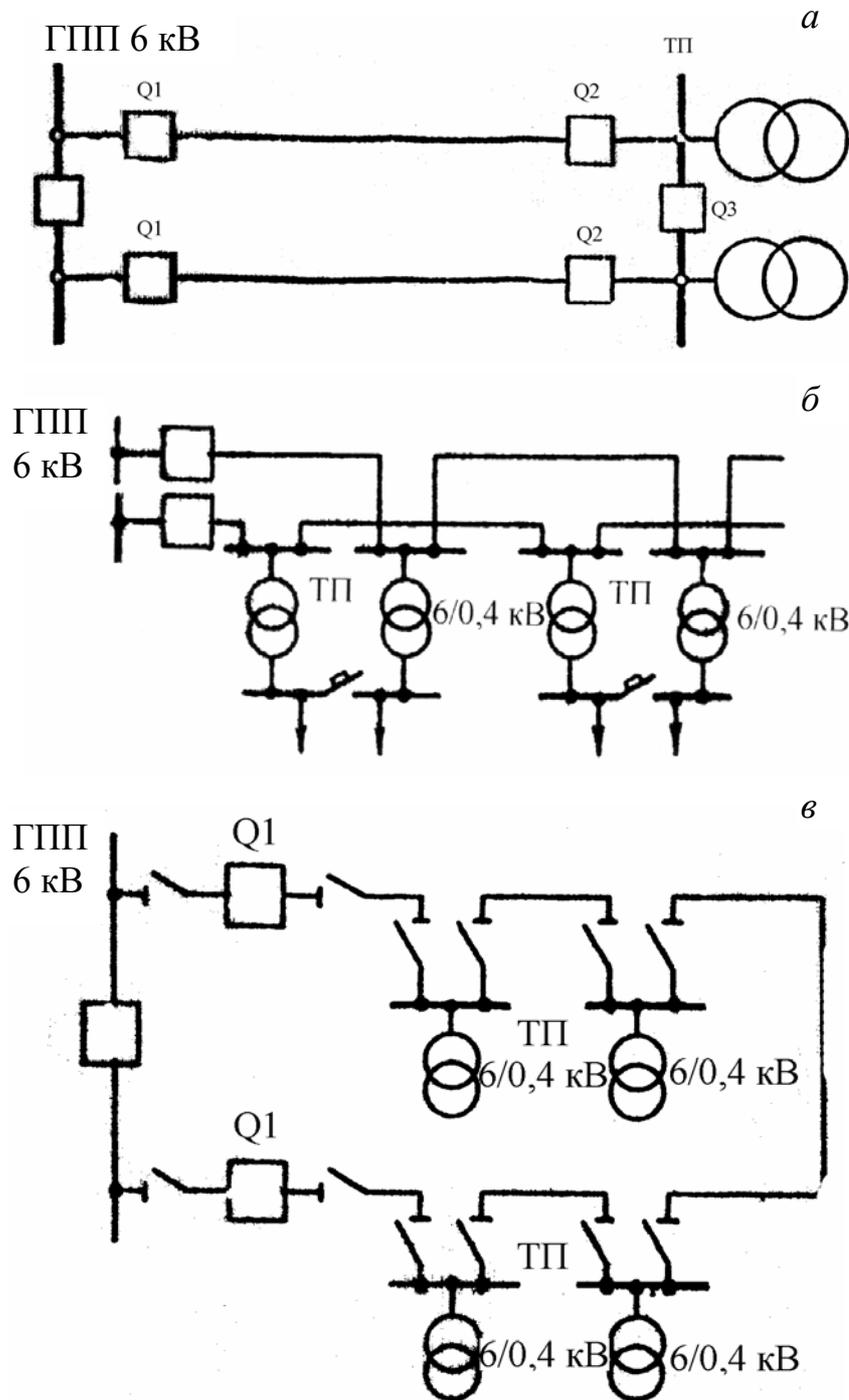


Рис.6. Радиальная (а), магистральная (б) и кольцевая (в) схемы электроснабжения

Магистральные схемы применяются для питания отдельных узлов нагрузки, расположенных в одном направлении от ГПП. Они экономичнее радиальных схем за счет уменьшения количества дорогостоящего коммутационного оборудования и стоимости ЛЭП. Основной недостаток – снижение надежности электроснабжения.

К одной магистральной линии напряжением 6 (10) кВ можно присоединить одну из таких групп электрооборудования: не более двух трансформаторов мощностью 1600 кВА каждый, трех трансформаторов мощностью 1000 кВА каждый и четырех трансформаторов мощностью менее 1000 кВА каждый.

Поскольку на промплощадке шахты есть ЭП I, II и III категорий по надежности электроснабжения, то наибольшее распространение получили смешанные схемы. Соответствующие потребители I и II категорий (подъемы, вентиляторы главного проветривания, компрессорные станции шахт на крутых пластах и др.) питаются по радиальным схемам, а небольшие и средние узлы нагрузки – по магистральным.

Выбор конкретной схемы электроснабжения осуществляется путем технико-экономического сравнения вариантов.

Для распределения электроэнергии по промплощадке шахты рекомендуется использовать в основном кабельные линии (КЛ). Воздушные линии (ВЛ) напряжением до 1000 В применяются для силовых электроустановок небольшой мощности при значительном удалении от промплощадки, а также для осветительных сетей. Вместе с тем ВЛ напряжением 6 кВ широко используются на шахтах, питание подземных потребителей которых осуществляется по скважинам.

Кабельные ЛЭП следует проектировать в соответствии с требованиями ПУЭ, имея в виду, что силовые и осветительные сети напряжением до 1000 В должны быть разделены. Объединение допускается только для удаленных объектов небольшой мощности.

Рекомендуется силовые и осветительные сети на поверхности выполнять кабелями с алюминиевыми жилами и оболочками. Во взрывоопасных помещениях следует прокладывать кабели с медными жилами, негорючие. Прокладку кабелей следует проводить открытую, используя для этого специальные кабельные эстакады, технологические эстакады, а также стены зданий и сооружений. При этом необходимо учитывать условия окружающей среды, вибрацию стен и принимать меры к защите кабелей от прямого воздействия солнечных лучей. Отдельные отрезки кабелей соединяются между собой кабельными муфтами.

При значительных электрических нагрузках применяются токопроводы. Диапазон нагрузок при их использовании лежит в пределах 1500–6000 А. Токопроводы могут прокладываться на опорах, в туннелях и закрытых галереях.

1.6 Электроснабжение потребителей поверхности шахты

Мощными потребителями электроэнергии на поверхности шахт являются подъемные, вентиляторные и компрессорные установки. Кроме того, для бесперебойной работы технологического комплекса промплощадки шахты необходимо надежное обеспечение питанием котельных, калориферных установок, устройств транспортирования полезных ископаемых и породы, ремонтных электромеханических мастерских и др.

Подъемные установки (ПУ) получают питание при напряжении 6 кВ по радиальным линиям непосредственно от ГПП шахты. Электроснабжение клетевых ПУ (I категория по надежности), предназначенных для спуска и подъема людей, осуществляется по двум кабелям от разных секций шин 6 кВ ГПП для каждой подъемной машины (рис.7, а). Скиповые и клетевые ПУ для транспортирования материалов и грузов (II или III категория по надежности) получают питание по двум или одному кабелю с резервированием переключкой (рис.7, б). Управление подъемными машинами осуществляется чаще всего выключателями, установленными в ГПП. Двигатели подъемов напряжением до 1000 В питаются от РП низкого напряжения ГПП или от ближайшей ТП. Подъемные установки со шкивами трения для глубоких шахт оборудуют двигателями постоянного тока, которые работают по системе "тиристорный преобразователь – двигатель". Они получают питание от тиристорных преобразователей через трансформаторы, которые устанавливаются на верхних отметках башенного копра (90 – 100 м) вблизи с двигателем ПУ.

Вентиляторы главного проветривания по требованиям ПБ имеют полный технологический резерв, то есть один из них является резервным. Как повод вентилятора применяется синхронный двигатель напряжением 6 кВ. При расположении ВГП на одной промплощадке с ГПП каждый двигатель получает питание по радиальной кабельной линии от ГПП по схеме блока "линия – двигатель" (рис.8, а).

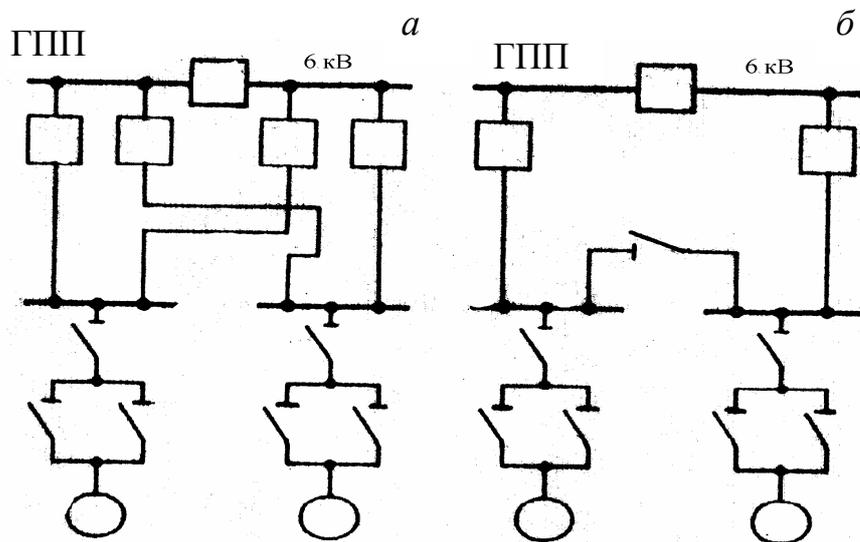


Рис.7. Схемы электроснабжения шахтных подъемных установок

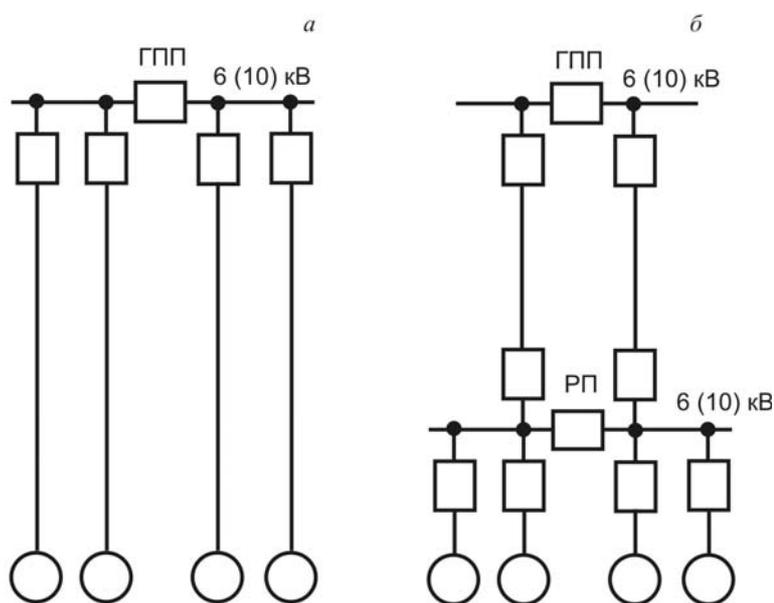


Рис.8. Схемы электроснабжения ВГП:
а – блок "линия – двигатель", *б* – с РП 6 (10) кВ.

При фланговом проветривании вентиляторы значительно удалены от ГПП. В этом случае применяют схемы электроснабжения с устройством собственного РП 6(10) кВ или понижающей ПС 110 – 35/6(10) кВ (рис.8, б).

Компрессорные станции и станции холодильных машин иногда блокируются. В качестве приводных для компрессорных установок применяются синхронные и асинхронные двигатели, которые получают питание по радиальным кабельным линиям от разных секций шин 6 кВ ГПП или от РП напряжением 0,4 (0,69) кВ. При значительном количестве двигателей напряжением выше 1000 В и двигателей собственных нужд напряжением 0,38 кВ целесообразно принимать схему с пристроенным РП 6 кВ и комплектной ТП 6/0,4 кВ.

Другие ЭП напряжением до 1000 В получают питание от трансформаторов 6/0,4 кВ, установленных в ЗРУ ГПП или от цеховых ТП, которые находятся вблизи ЭП. Потребители, расположенные вне основной промплощадки шахты (отвалы породы, очистные сооружения, шурфы), питаются от ПС напряжением 6/0,4 или 110–35/6 кВ, сооружаемых для этих целей.