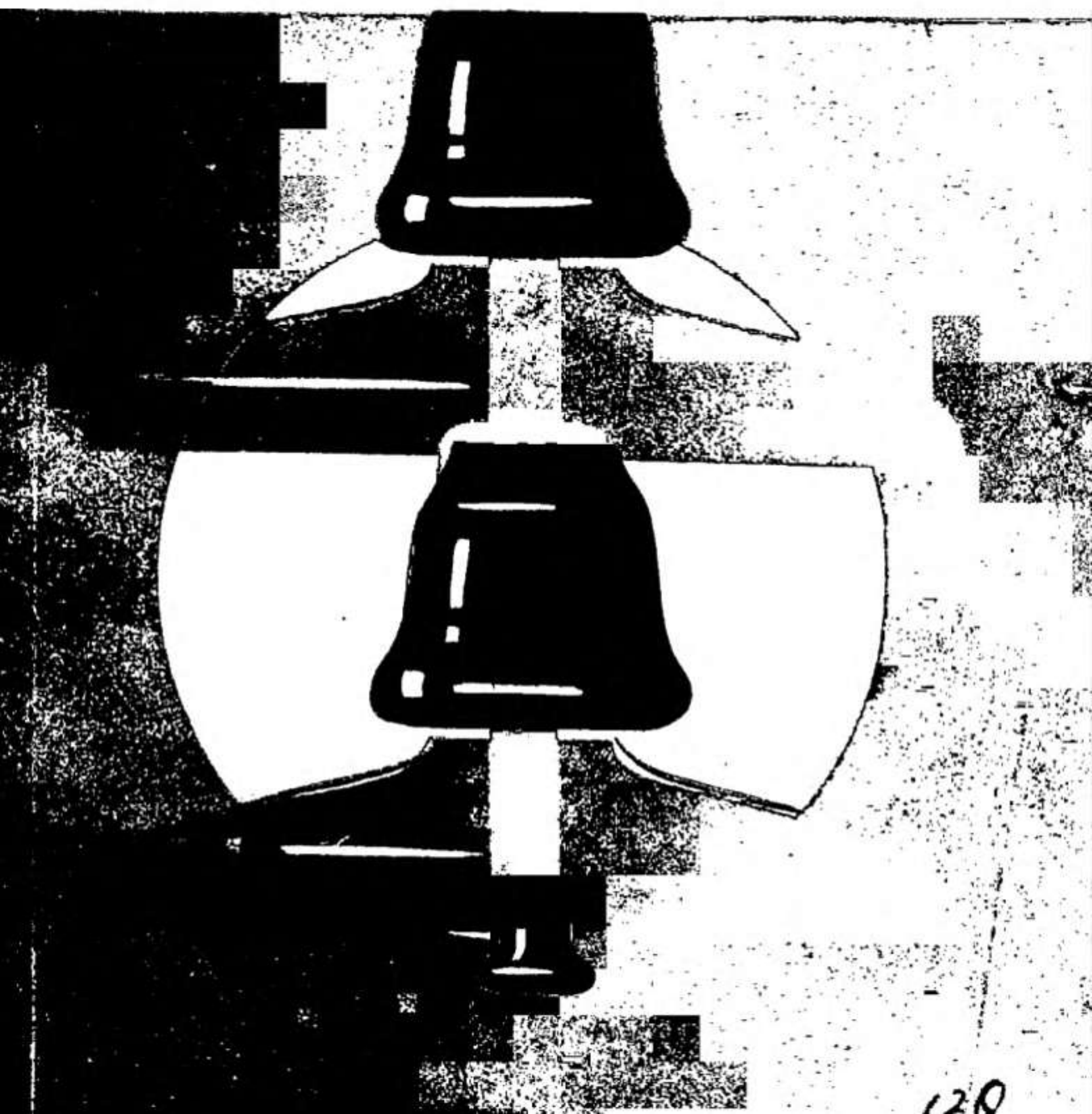


А. И. ЦИМБЕРОВ, А. В. ШТЕРН

СТЕКЛЯННЫЕ ИЗОЛЯТОРЫ



А. И. ЦИМБЕРОВ, А. В. ШТЕРН

СТЕКЛЯННЫЕ ИЗОЛЯТОРЫ



«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1973

Гос. б-ка
науч.-техн. б-ка
СП
ЧИТАЛЬНЫЙ ЗАЛ

6П2.1.06

Ц 61

УДК 621.315.62:621.315.612.6

44 44-139
15064

Цимберов А. И. и Штерн А. В.

Ц 61 Стекланные изоляторы. М., «Энергия», 1973.
200 с. с ил.

В книге освещены вопросы физико-химических свойств стекол для производства изоляторов, даны описания конструкций стекланных изоляторов и изложены технические требования к ним. Дано описание технологического процесса производства стекланных изоляторов, начиная с подготовки шихты и кончая армированием. Приведены некоторые основные способы расчетов и конструирования стекланных изоляторов и методы испытаний их при выпуске с производства.

Книга предназначена для инженерно-технических работников, связанных с производством стекланных изоляторов, а также может служить пособием для конструкторов и студентов.

Ц 3310-429
051(01)-73 128-73

6П2.1.06

© Издательство «Энергия», 1973 г.

АБРАМ ИОСИФОВИЧ ЦИМБЕРОВ,
АРКАДИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ ШТЕРН

Стекланные изоляторы

Редактор Н. В. Никулин

Редактор издательства И. В. Антик

Переплет художника П. П. Перевалова

Технический редактор О. Д. Кузнецова

Корректор И. А. Володяева

Сдано в набор 2/IV 1973 г.

Подписано к печати 27/XI 1973 г.

T-16979

Формат 84×108^{1/32}

Бумага типографская № 2

Усл. печ. л. 10,5

Уч.-изд. л. 12,05

Тираж 5 000 экз.

Зак. 144

Цена 61 коп.

Издательство «Энергия», Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.
Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Планом развития народного хозяйства 1971—1975 гг. предусмотрено дальнейшее развитие энергетической базы страны. Производство электроэнергии к концу пятилетки достигнет 1 030—1 070 млрд. *квт·ч*, на электростанциях будут введены новые мощности в размере 65—67 млн. *квт*, будут продолжены работы по созданию единой энергетической системы страны. Наряду со строительством линий электропередачи напряжением 35—500 *кв* заканчивается сооружение линии электропередачи напряжением 750 *кв* Донбасс—Западная Украина; будут начаты работы по строительству дальних линий электропередачи переменного тока при напряжении 1 150 *кв* и постоянного тока при напряжении 1 500 *кв*.

Перед энергетиками страны стоит задача к 1975 г. увеличить энерговооруженность труда в сельском хозяйстве почти на 70% и потребление электроэнергии вдвое. Это в свою очередь выдвигает задачу дополнительного развития сетей 10—0,4 *кв*.

Вместе с увеличением протяженности ЛЭП, с ростом мощностей, передаваемых на большие расстояния, растут и требования к надежной работе линий электропередачи, безаварийной службе элементов ЛЭП: опор, арматуры, линейной изоляции.

Ежегодно заводы треста Электросетьизоляция выпускают около 30 млн. линейных изоляторов. К концу пятилетки это количество будет увеличено примерно в 1,5 раза. При этом особое внимание уделяется постоянному росту выпуска стеклянных линейных изоляторов.

Стекло в качестве диэлектрика при изготовлении линейных изоляторов нашло в начале XX в. такое же распространение, как фарфор. Однако в силу физических особенностей стекла: высокой хрупкости, относительно низкой нагревостойкости и отсутствия технологического оборудования, необходимого для производства

крупногабаритных стеклодеталей, стеклянные изоляторы на первом этапе развития работ по электрификации были вытеснены изоляторами из электротехнического фарфора. Этому обстоятельству способствовал тот факт, что первоначально для производства стеклянных изоляторов применялись обычные марки стекол, используемые для выпуска стеклотары и изделий хозяйственного назначения и обладавшие недостаточно высокими диэлектрическими свойствами.

К середине 30-х годов электротехнический фарфор, применявшийся в качестве единственного изоляционного материала для изготовления высоковольтных изоляторов, в известной мере стал лимитировать дальнейший прогресс в области развития электрических сетей.

Трудности, связанные с получением кондиционного исходного сырья постоянного состава, сложность технологического процесса при производстве фарфора, отсутствие отработанных решений по механизации и автоматизации основных операций чрезвычайно затрудняют получение стабильных по своим электромеханическим характеристикам фарфоровых линейных изоляторов, особенно когда речь идет о конструкциях, рассчитанных на нагрузки 16—30 тс. Поэтому, когда в середине 30-х годов был разработан метод упрочнения стеклянных деталей сложной формы путем их закалки, стеклом как диэлектрическим материалом для изготовления высоковольтных изоляторов вновь заинтересовались некоторые фирмы. Впервые подвесные изоляторы из закаленного стекла были созданы в Англии фирмой Pilkington. Позднее, уже после второй мировой войны производство стеклянных изоляторов было освоено во Франции.

Постепенно совершенствовался состав стекла, применяемый для изготовления стеклянных изоляторов, были резко улучшены его диэлектрические свойства. Изготовление стеклянных высоковольтных и низковольтных изоляторов организовано, помимо Франции и Англии, в Италии, США и частично в ФРГ. По рекламным сообщениям фирм — изготовителей стеклянных изоляторов их продукция успешно эксплуатируется на линиях электропередачи различных классов напряжений и в различных районах земного шара.

В Советском Союзе начиная с 1956 г. разработкой стеклянных изоляторов одновременно занимались: ВЭИ им. В. И. Ленина, Всесоюзный научно-исследователь-

ский институт стекла, Львовский политехнический институт им. М. И. Калинина. За 15 лет на основе работ этих институтов организована новая отрасль промышленности, насчитывающая ряд цехов и предприятий по выпуску стеклянных изоляторов, лабораторий и конструкторских бюро, занимающихся дальнейшим усовершенствованием конструкций различных типов изоляторов и технологических процессов их производства, разработкой новых стеклообразных изоляционных материалов.

Начиная с 1966 г. объем производства стеклянных изоляторов в общем объеме выпуска линейных изоляторов возрос с 14 до 39%.

Сейчас изоляторные заводы Славянский, Южно-уральский и Львовский выпускают около 5 млн. высоковольтных подвесных изоляторов с гарантированной прочностью 6—30 тс, значительная часть которых предназначена для укомплектования ЛЭП 330—500 кв.

Создаются конструкции стеклянных изоляторов с гарантированной прочностью 40 и 50 тс, специальные изоляторы, предназначенные для работы в районах с интенсивным уровнем промышленного и естественного загрязнения.

Наряду с выпуском подвесных изоляторов из закаленного стекла в широких масштабах осуществляется выпуск штыревых высоковольтных изоляторов из отожженного стекла.

Помимо изоляторных заводов треста Электросетьизоляция выпуском стеклянных изоляторов в различное время занимались Львовский бутылочный завод, Орджоникидзевский стеклотарно-изоляторный завод, продолжает выпускать стеклянные изоляторы комбинат «Ярваканди-Техасед» в ЭССР.

Уже первые годы производства и эксплуатации стеклянных изоляторов выявили ряд их преимуществ по сравнению с однотипными фарфоровыми изоляторами:

сырьевые материалы, используемые при изготовлении стеклянных изоляторов, более постоянны по своему составу, чем сырье для керамического производства, что создает благоприятные условия для стабилизации физико-технических характеристик стекла и технологических процессов;

технологический процесс производства стеклянных изоляторов в значительной степени поддается механи-

зации и автоматизации, что исключает влияние субъективных свойств обслуживающего персонала на характеристики изоляторов;

электромеханические характеристики закаленного стекла намного выше, чем фарфора, что позволяет создавать изоляторы с необходимой механической прочностью, размеры и масса которых значительно ниже, чем у аналогичных конструкций из фарфора;

контроль изоляторов из закаленного стекла в производстве и особенно в эксплуатации значительно проще;

за счет автоматизации технологических процессов стоимость изолирующих стеклодеталей изоляторов ниже, чем стоимость изолирующих деталей аналогичных изоляторов, изготовленных из фарфора.

Процесс совершенствования технологии производства стеклянных изоляторов на заводах треста Электро-сетьизоляция продолжается, испытываются новые составы электроизоляционных стекол, осваиваются новые виды технологического оборудования, новые механизированные и автоматические линии, совершенствуются методы контроля стеклянных изоляторов. Накапливаемый опыт производства и эксплуатации стеклянных изоляторов в различных системах Советского Союза помогает в разработке новых конструкций и определении перспектив дальнейшего увеличения их выпуска.

Авторы

Глава первая

СТЕКЛО КАК ДИЭЛЕКТРИК

1-1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СТЕКЛАХ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТЕКЛЯННЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

Любые стекла, в том числе электротехнические, являются аморфными веществами, обладающими изотропными свойствами. Эти свойства стекла обусловлены однородностью структуры материала во всех направлениях. Состоящие из нескольких компонентов, число которых иногда достигает полутора десятков, стекла представляют сложную систему, подразделяющуюся на две основные части: неизменную (главную) и изменяемую. Неизменной является сплав кремнезема, который в большинстве стекол составляет более 60%. Изменяемая часть — это окислы, соединяемые (сплавляемые) с кремнеземом, причем их характер и соотношение определяют основные свойства стекол.

Учитывая, что стекло образуется в результате сплавления при высокой температуре всех входящих в его состав компонентов, его считают сложным расплавом высокой вязкости, которая колеблется в широких пределах в зависимости от температуры расплава.

Несмотря на то, что стекло считается аморфным материалом, отрицать полностью наличие в стекле некоторых упорядоченных структурных образований нельзя.

Существует несколько теорий, объясняющих с разных позиций наличие структуры в стекле. Одна из этих теорий разработана Порай-Кошицем [Л. 29] и носит название гипотезы кристаллитного строения стекла. Согласно этой теории структура стекла — не что иное, как концентрация чрезвычайно большого количества

мелких деформированных кристаллов — кристаллитов, в основе которых лежит решетка кремнезема, связанная с окислами натрия, калия, кальция и других элементов. При этом только в каких-то определенных точках решетка имеет более или менее правильную форму. С переходом к периферии от этих точек кристаллическое строение переходит постепенно к кристаллитному, а затем — к аморфному. Таким образом, стекло может быть представлено совокупностью областей, в центре которых находится упорядоченное структурное образование, а пограничная зона находится полностью в аморфном состоянии. Упорядоченная кристаллическая часть структуры стекла составляет приблизительно 10—15% общего объема. Такая теория структурного строения хорошо объясняет основные физико-технические свойства стекла и их изменение в зависимости от химического состава, технологии выработки и условий эксплуатации стеклянных изделий.

Какими свойствами должно обладать стекло, применяемое для производства стеклянных изоляторов? Оно должно быть механически прочно и противостоять большим нагрузкам, включая нагрузки на изгиб и удар. Термостойкость стекла должна гарантировать нормальную работу изоляторов в интервале температур от минус 60 до плюс 80 °С (в тропических условиях), а также при резких перепадах температуры. Поверхность стекла не должна претерпевать заметных изменений под воздействием влаги и агрессивных агентов, выпадающих в виде загрязнений на изоляторы. Адгезия этих материалов к поверхности стеклянных изоляторов должна быть по возможности минимальной. Наконец, стекло как диэлектрик должно иметь высокую электрическую прочность, большие удельные объемное и поверхностное сопротивления и незначительный тангенс угла диэлектрических потерь. Перспективы широкого применения стеклянных изоляторов для сооружений линий электропередачи постоянного тока выдвигают дополнительные требования надежной работы стекла в электрическом поле постоянного тока.

Для производства стеклянных изоляторов в СССР и за рубежом применяются различные марки стекол, которые по своему составу могут быть разбиты на две группы: щелочные (с содержанием $R_2O \geq 5\%$) и малощелочные (с содержанием $R_2O \leq 5\%$). Малощелочные стекла

в свою очередь могут быть классифицированы как боросиликатные и алюмомагнезialesные. Другие составы стекол, разрабатываемые специально для изготовления изделий, работающих при высоких частотах или требующих хороших оптических свойств, свариваемости с металлами, здесь не рассматриваются.

В табл. 1-1 приведены составы стекол, используемых для выпуска высоковольтных и низковольтных изоляторов на заводах СССР и ряда зарубежных фирм. Для сравнения в таблице приведен состав кварцевого стекла, положивший начало всей серии электротехнических стекол.

Оба вида щелочного стекла (составы № 6 и № 7), используемые для выпуска изоляторов в СССР, имеют свои как положительные, так и отрицательные свойства. Малощелочное стекло (состав 13в) по своим термическим, химическим и электроизоляционным свойствам превосходит все щелочные стекла. Состав стекла 13в можно считать универсальным, так как из него можно вырабатывать, кроме закаленных подвесных, также отожженные штыревые линейные, телеграфные и аппаратные изоляторы, которые должны обладать высокой механической и термической прочностью без закалки. Малощелочное стекло состава 13в относится к первому гидролитическому классу. Оно не подвержено выщелачиванию и, следовательно, устойчиво к воздействию внешней среды, в том числе агрессивной. Изоляторы из малощелочного алюмомагнезialesного стекла благодаря наличию в этом составе небольшого количества щелочных окислов характеризуются высокими электроизоляционными свойствами и могут успешно работать на линиях электропередачи переменного и постоянного тока, низкого и высокого напряжения. Изоляторы же из щелочных стекол под воздействием больших напряжений постоянного тока подвержены электролизу, а следовательно, более быстрому старению во время эксплуатации. Щелочные стекла имеют температурный коэффициент расширения в 1,5—1,7 раза выше, чем малощелочные стекла, поэтому изоляторы из щелочных незакаленных стекол имеют термостойкость не более 35 °C. В то же время теоретические расчеты показывают, что щелочные стекла должны лучше поддаваться закалке. Максимальное сближение температурных коэффициентов расширения этих стекол и металлов, из которых изго-

Таблица 1-1.

[illegible]

товляется арматура, обеспечивает надежность работы изоляторов при резких колебаниях температуры.

В табл. 1-2 приведены основные характеристики стекол, применяемых для изготовления изоляторов.

Таблица 1-2

Характеристика	Щелочное стекло № 7	Малоще- лочное стекло 13В	Электротех- нический фар- фор неглазу- рованный
Плотность, $г/см^3$	2,47	2,51	2,4
Предел прочности при растяжении, $кгс/см^2$	823	889	350—500
Предел прочности при сжатии, $кгс/см^2$	9 730	9 600	5 000—6 000
Модуль Юнга, $кгс/см^2$	650 000	700 000	—
Микротвердость, $кгс/см^2$	45 000	95 000	—
Удельное поверхностное сопротивление (при 20 °С), $ом$	10^{14}	10^{14}	10^{13}
Удельное объемное сопротивление (при 20 °С), $ом \cdot см$	10^{14}	10^{14}	10^{13}
Тангенс угла диэлектрических потерь (при 20 °С)	0,027	0,024	0,015—0,028
Диэлектрическая проницаемость (при 20 °С)	7,2	6,9	6,2—7
Электрическая прочность (при 20 °С), $кв/мм$	45	48	30—38
Температурный коэффициент линейного расширения, $°C^{-1}$	$85 \cdot 10^{-7}$	$56 \cdot 10^{-7}$	$40 \cdot 10^{-7}$
Удельная теплоемкость, $кдж/(кг \cdot °C)$	0,84	0,83	—
Теплопроводность, $вт/(м \cdot °C)$	0,92	0,93	—
Гидролитический класс	II	I	—

Исходя из особенностей различных видов стекла и их электрофизических свойств, могут быть рекомендованы области их применения для изготовления изоляторов.

Из малощелочных стекол могут изготавливаться изоляторы:

- низковольтные отожженные;
- высоковольтные аппаратные и штыревые отожженные;
- высоковольтные, линейные подвесные, закаленные всех типов на все виды нагрузок;
- высоковольтные, линейные подвесные, закаленные всех типов для работы на линиях электропередачи постоянного тока.

Из щелочных составов стекол изготавливаются все типы закаленных изоляторов для линий электропередачи переменного тока.

1-2. ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТЕКОЛ

Основные физико-технические свойства стекол в значительной степени зависят от их состава и от режимов тепловой обработки, при этом абсолютные значения тех или иных характеристик стекол различных марок колеблются в широких пределах.

Плотность стекол. Наибольшей плотностью обладают стекла с большим содержанием окиси свинца. Такие стекла имеют плотность 6—8 г/см³. Плотность стекол, используемых для производства изоляторов, находится в пределах 2,4—2,6 г/см³. С повышением температуры плотность стекла уменьшается. Плотность закаленного стекла ниже, чем у отожженного.

Механическая прочность. Стекло, как все силикатные материалы, работает на изгиб и растяжение значительно хуже, чем на сжатие. Прочность стекла на растяжение ограничивает возможность использования его в различных конструкциях, в том числе и в электронизоляционных. Предел прочности при растяжении отожженных стекол в зависимости от их химического состава колеблется в пределах 350—900 кгс/см². В то же время прочность стекла, рассчитанная теоретическим путем, исходя из сил межмолекулярного воздействия, почти в 200 раз выше. Объясняется это наличием мельчайших поверхностных дефектов, около которых концентрируются напряжения. Со временем эти дефекты развиваются и приводят к разрушению стеклянных деталей. Поэтому, как доказывает У. Хоупвуд [Л. 8], при длительном приложении нагрузки предел прочности стекла может снизиться почти в 3 раза по сравнению с прочностью, существующей при кратковременном нагружении.

Повышение прочности стеклянных изделий достигается путем полировки их поверхности или их химической обработкой, которая позволяет устранить дефекты поверхности. Наиболее значительные результаты дает закалка стекла. Прочность закаленных стеклоизделий в 4—10 раз выше, чем этих же изделий в отожженном

состоянии. На повышении прочности стекла сказывается наличие в их составе CaO и B_2O_3 (приблизительно до 15%); в меньшей степени — Al_2O и BaO .

Твердость стекла по универсальной шкале Мооса лежит в пределах 5—7. К наиболее твердым сортам стекол относятся малощелочные боросиликатные с содержанием B_2O_3 до 12%. Увеличение в составе стекла щелочных окислов уменьшает их твердость.

Хрупкость стеклянных изделий зависит в основном от их формы, размеров и термической обработки. С увеличением толщины стенки изделия и степени его закаливания ударная прочность возрастает. Введение в состав стекла окиси магния, кремнезема и борного ангидрида также увеличивает ударную прочность изделий.

Тепловые свойства. Теплоемкость стекла зависит от его химического состава и температуры. В среднем теплоемкость различных составов стекол при комнатной температуре колеблется в пределах 0,3—1,05 кДж/(кг $\times$ °C). Повышению теплоемкости, способствует введение в состав стекла окислов лития, натрия, магния. Повышение температуры приводит к повышению теплоемкости.

Теплопроводность стекол различных составов изменяется в небольших пределах [0,7—1,3 Вт/(м $\cdot$ °C)]. Теплопроводность стекол пропорциональна их теплоемкости. Большое значение для определения практических свойств стекла имеет температурный коэффициент расширения. По его значению определяют термостойкость стекла, возможность соединения стеклянных деталей с металлом, керамикой и другими материалами. Температурный коэффициент (ТК) линейного расширения стекла в большой степени зависит от химического состава. Наиболее низкий ТК имеет кварцевое стекло ($5,8 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$). Самый большой ТК у щелочных стекол, при этом ТК растет пропорционально количеству щелочных окислов, введенных в состав стекла. Так, щелочные стекла, применяемые для изготовления изоляторов, имеют ТК, равный $(85 \div 90) \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Термическая стойкость стеклянного изделия характеризуется разностью температур, между которыми оно может быть резко охлаждено без повреждения. Вполне понятно, что для стеклянных изоляторов, работающих на открытом воздухе, эта характеристика является одной из главных. При внезапном изменении темпера-

туры в поверхностных слоях стекла возникают термические напряжения, которые могут явиться причиной быстрого разрушения изделия. При резком нагреве эти напряжения носят сжимающий характер, а при охлаждении — растягивающий. Так как стекла менее устойчивы к растягивающим усилиям, резкое охлаждение стеклодеталей более опасно. Термостойкость стекла является функцией многих его свойств: температурного коэффициента расширения, упругости, прочности при растяжении и др.

Приближенно термостойкость стекла может быть оценена коэффициентом термостойкости, который определяют по формуле

$$F = \frac{\sigma_p}{\alpha E} \sqrt{\frac{\lambda}{cd}}, \quad (1-1)$$

где σ_p — предел прочности стекла при растяжении; α — температурный коэффициент линейного расширения; E — модуль упругости; λ — коэффициент теплопроводности; c — удельная теплоемкость; d — плотность стекла.

Из всех величин, определяющих термостойкость стекла, в наиболее широких пределах изменяется (в зависимости от состава) только температурный коэффициент линейного расширения. Благодаря этому можно качественно определять термостойкость стекла, исходя из значения α . Как указывалось выше, наиболее низкий α имеет кварцевое стекло. Благодаря этому изделия из этого стекла, будучи нагретыми до красна, могут быть без опасения опущены в холодную воду. В то же время стекла с большим содержанием щелочных окислов и большим α обладают наименьшей термостойкостью. Промежуточное положение занимают малощелочные стекла. Термостойкость стеклодеталей зависит также от толщины изделия: чем тоньше стенка стеклянного изделия, тем выше его термостойкость. Термостойкость стекла может быть повышена путем закалки, т. е. резкого охлаждения разогретой до определенной температуры стеклянной детали. Во время этого процесса наружные слои стекла охлаждаются и твердеют значительно быстрее внутренних. Охлаждение и соответственно усадка внутренних слоев происходят уже после образования жесткого «панциря» на поверхности стеклодетали. Это приводит к образованию растягивающих

усилий во внутренних слоях стекла и сжимающих — в наружных. Схематически распределение напряжений в пластине закаленного стекла представлено на рис. 1-1.

Где-то в глубине стекла напряжение сжатия проходит через нулевое значение и дальше начинают возрастать напряжения растяжения. В равновесном состоянии при

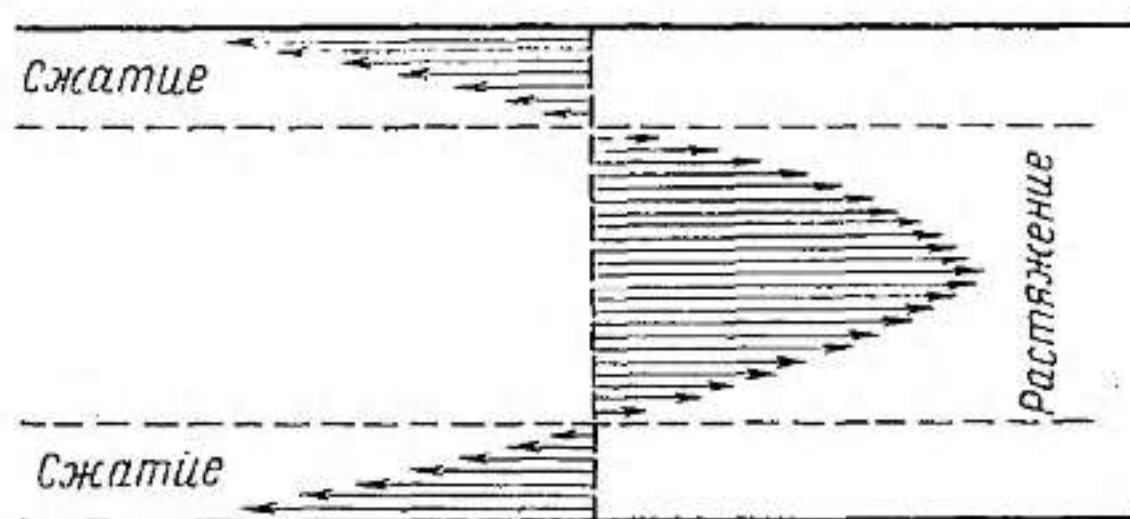


Рис. 1-1. Схема распределения внутренних напряжений в листовом стекле.

нормальных температурах и при отсутствии механических нагрузок внутренние напряжения растяжения полностью уравниваются напряжением сжатия в поверхностных слоях. Такое положение предварительного напряженного состояния позволяет стеклу противостоять значительным термическим ударам, а также большим механическим нагрузкам.

На рис. 1-2 представлены эпюры напряжений, возникающих в толщине стекла во время резких перепадов температуры, т. е. термоударов, как положительных, так и отрицательных. При отрицательном термоударе в наружных слоях возникают растягивающие усилия. Для того чтобы разрушить закаленную стеклодеталь, усилия, возникающие при отрицательном термоударе, должны быть

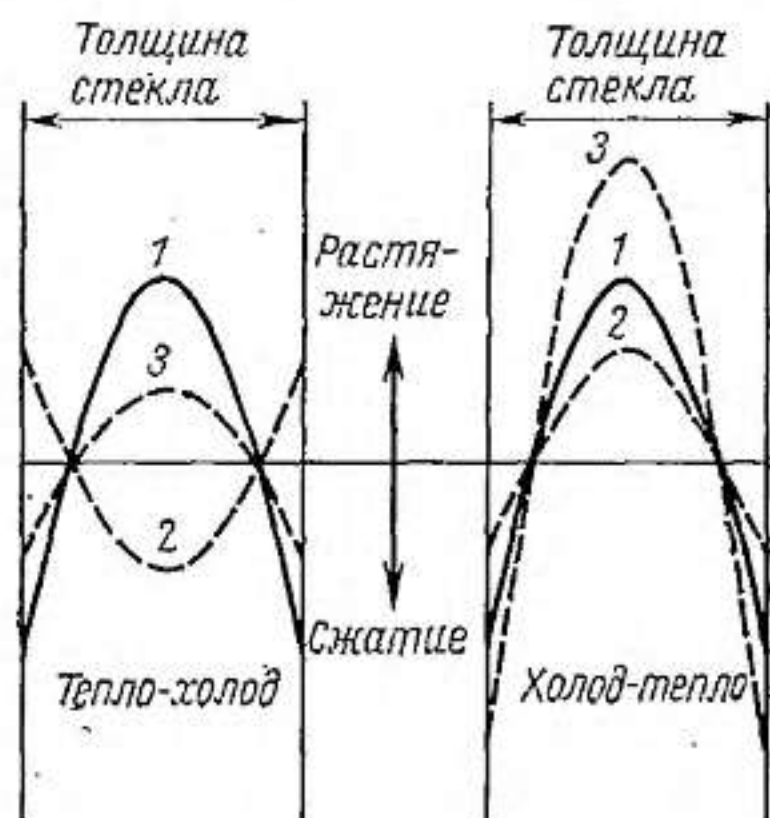


Рис. 1-2. Напряжения, возникающие в закаленном стекле при резком изменении температуры.

1 — напряжение закалки; 2 — напряжения термического удара; 3 — суммарное напряжение.

больше усилий сжатия, созданных в наружном слое стекла во время закалки. Таким же образом, механическая нагрузка, действующая на стеклянную деталь, должна для ее разрушения превышать сумму напряжений, созданных в наружном слое стекла во время закалки, и собственную механическую прочность стекла.

Разработанный в 1935 г. метод закалки стеклянных изделий сложной конфигурации нашел широкое применение в производстве стеклянных изоляторов. Подробно свойства закаленных стеклянных изоляторов и технология закалки будут рассмотрены ниже.

1-3. ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТЕКОЛ

К диэлектрическим характеристикам стекла, характеризующим его как материал для производства изоляторов, должны быть отнесены: проводимость, диэлектрическая проницаемость, диэлектрические потери и электрическая прочность.

Рассматривая диэлектрические свойства стекла, необходимо отметить, что наиболее подробно с этой точки зрения изучены стекла щелочных составов. Диэлектрические свойства стекол малощелочных составов и влияние на эти свойства различных факторов изучены в значительно меньшей степени. Поэтому в настоящей главе в основном описываются электрические свойства щелочных стекол и их зависимость от состава, температуры, вида электрического поля и т. д.

Электропроводность. Электрический ток возникает в любом веществе под воздействием прилагаемого электрического напряжения. При этом действие сил электрического поля вызывает упорядоченное движение заряженных частиц этого вещества, так называемых носителей тока. Объемная электропроводность стекол обуславливается направленным перемещением ионов веществ, входящих в состав стекол, а также ионов примесей. Основными переносчиками электрических зарядов являются ионы щелочных металлов, обладающие наименьшими размерами, благодаря чему они могут перемещаться внутри структурной решетки более свободно, чем ионы других металлов. При этом наиболее подвижными являются ионы Li и N, менее подвижны ионы K. Как будет показано ниже, именно наличие в составе

щелочных стекол, Li и Na определяет проводимость этих стекол.

Что касается бесщелочных стекол, то основным переносчиком электрических зарядов здесь являются ионы двухвалентных металлов (например, Mg) или электроны [Л. 30 и 31].

Изменение удельного объемного сопротивления, т. е. величины, обратной проводимости стекла, в зависимости от температуры имеет большое значение для определения работоспособности электроизоляционных конструкций в требуемом диапазоне температур. У стекол, предназначенных для производства изоляторов, в первую очередь важна зависимость удельного электрического сопротивления в интервале температур от 0 до 100 °С. Желательно, чтобы в этом интервале удельное объемное сопротивление стекла не изменялось резко и не вызывало перераспределения электрического напряжения вдоль гирлянды изоляторов.

Существует зависимость [Л. 30], определяющая проводимость стекла:

$$\gamma = \frac{n_0 q^2 \delta^2 \nu}{3kT} e^{-\frac{U_0}{kT}}, \quad (1-2)$$

где n_0 — количество ионов, содержащееся в единице объема; q — заряд иона; δ — расстояние между двумя потенциальными ямами структурной решетки; ν — частота колебаний иона в положении равновесия ($\nu = 10^{12} \div 10^{13}$ гц); k — постоянная Больцмана; T — абсолютная температура; U_0 — эффективная энергия активации.

Расчет удельного объемного сопротивления стекла может быть произведен следующим образом [Л. 30]. Вначале определяется удельное сопротивление при 300 °С:

$$\begin{aligned} \lg \rho_{300} = & (75 - a) \cdot 0,08 + (38 - a) \cdot 0,05 \frac{a_K}{a} + \\ & + \left[0,25 - \left(\frac{a_K}{a} - 0,5 \right)^2 \right] \cdot 6,4 + 0,018 b_{mz} + \\ & + (30 - a)^2 \frac{b_c + b_{bp}}{7 \cdot 300} + 0,05 b_c + 0,08 b_{bp} - 0,05 c + \\ & + (30 - a)^2 \frac{d}{6 \cdot 000} + 0,04 d + 0,015 b, \end{aligned} \quad (1-3)$$

где a — сумма содержания щелочных оксидов; a_h — содержание K_2O ; b — сумма всех RO ; b_{mz} — содержание суммы MgO и ZnO ; b_c — содержание CaO ; b_{bp} — содержание суммы BaO и PbO ; c — содержание Al_2O_3 ; d — содержание B_2O_3 .

Все величины выражены в молярных процентах.

Одновременно рассчитывается $\lg A$, равный величине отрезка, отсекаемого продолжением прямой, характеризующей функцию $\lg \rho = f(1/T)$ на оси ординат при $1/T = 0$:

$$\lg A = (30 + a) \cdot 0,03 + \left[0,25 - \left(\frac{a_h}{a} - 0,5 \right)^2 \right] \times \\ \times 0,22a + 0,03b_{bp} - 0,01c. \quad (1-4)$$

Удельное сопротивление стекла при интересующей температуре определяется по формуле

$$\lg \rho_t = (\lg \rho_{300} + \lg A) \frac{573}{t + 273} - \lg A. \quad (1-5)$$

Опыт показывает, что удельные объемные сопротивления стекла одного и того же химического состава, определенные экспериментальным или расчетным путем, совпадают с большой степенью точности.

На рис. 1-3 показан характер изменения удельного объемного сопротивления щелочных и малощелочных стекол. Если у щелочных стекол зависимость $\lg \rho = f(1/T)$ носит прямолинейный характер, т. е. сопротивление резко уменьшается с ростом температуры, то у малощелочных стекол в интервале температур от 20 до 100—150 °C удельное сопротивление изменяется незначительно.

Если известно сопротивление стекла хотя бы при двух температурах, то можно рассчитать значение ρ при любой температуре, соответствующей твердому состоянию стекла [Л. 30]:

$$\lg \rho_x = (\lg \rho_1 - \lg \rho_2) \frac{\frac{1}{T_x} - \frac{1}{T_2}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} + \lg \rho_2, \quad (1-6)$$

где ρ_1 и ρ_2 — удельные сопротивления стекла при температурах T_1 и T_2 ; T_1 и T_2 — соответствующие абсолютные температуры; ρ_x — удельное сопротивление, определяемое при абсолютной температуре x .

В табл. 1-3 приведены значения удельных объемных сопротивлений ряда стекол, составы которых близки к стеклам, используемым для изготовления высоковольтных и низковольтных изоляторов.

Таблица 1-3

Состав стекла	ρ		Примечание
	20 °C	100 °C	
72,5% SiO_2 ; 11% Na_2O ; 3% K_2O	$10^{15,1}$	$10^{11,5}$	Данные Львовского политехнического института
72,5% SiO_2 ; 9% Na_2O ; 5% K_2O	$10^{16,5}$	$10^{12,5}$	
72,5% SiO_2 ; 14% Na_2O ; 7% CaO	$10^{12,9}$	$10^{9,6}$	
57% SiO_2 ; 15,5% Al_2O_3 ; 4% MgO ; 4% Na_2O	$10^{15,3}$	$10^{12,0}$	Данные ГИС
98,8% SiO_2	$10^{18,0}$	$10^{18,0}$	

Сопоставляя приведенные в табл. 1-3 данные, можно отметить, что малощелочные стекла в этих условиях снижают свое сопротивление в меньшей степени, чем стекла с содержанием большого количества щелочных окислов. Это свойство малощелочных стекол дает основание полагать, что при длительной эксплуатации изоляторов в условиях высоких температур, например в странах с тропическим климатом, более надежно должны работать изоляторы, изготовленные из малощелочного стекла.

Приведенные данные говорят о том, что химический состав стекол в значительной степени влияет на их электрические характеристики и в первую очередь на проводимость и удельное объемное сопротивление. Абсолютно точно определить зависимость проводимости

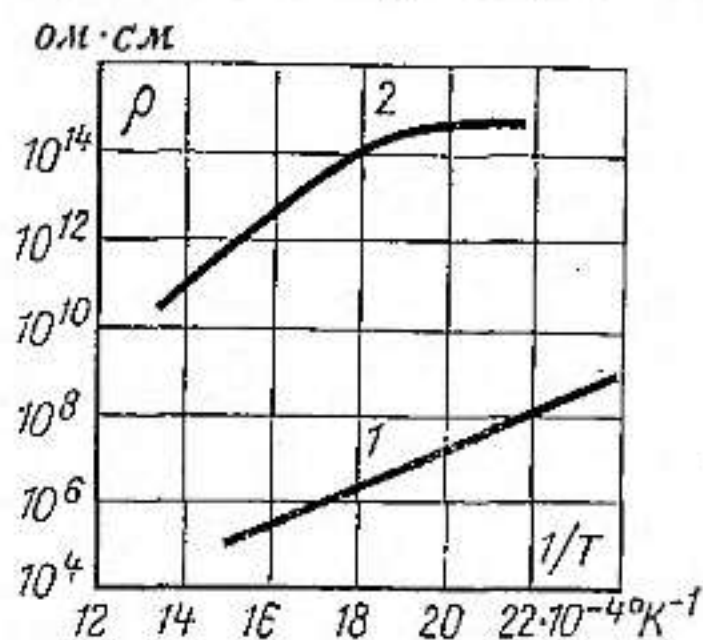


Рис. 1-3. Характерная температурная зависимость удельного объемного сопротивления щелочных и малощелочных стекол.

1 — щелочное стекло; 2 — малощелочное стекло.

стекла от его химического состава весьма сложно, но общий характер изменения этой зависимости исследован и описан многими авторами [Л. 30, 33—35].

Естественно предположить, что коль скоро основными переносчиками электрических зарядов в щелочных стеклах являются ионы щелочных металлов, то их содержание в стекле главным образом будет определять электрическое сопротивление такого диэлектрика.

Уже небольшой добавки щелочных окислов в кварцевое стекло достаточно для уменьшения его сопротивле-

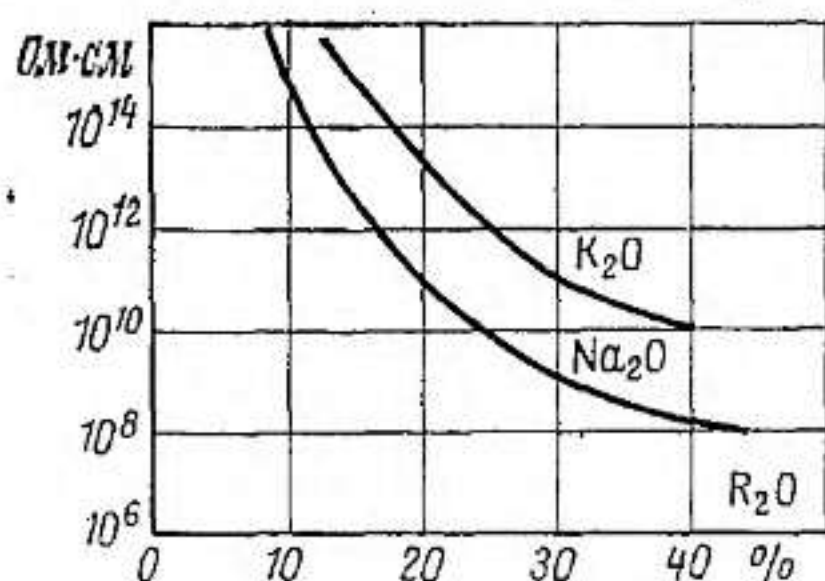


Рис. 1-4. Влияние замены части SiO_2 щелочными окислами на удельное сопротивление стекла. Исходный состав стекол: 82% SiO_2 + 18% Na_2O .

ния на 1—2 порядка. При замещении в составе кварцевого стекла 40% кремнезема на щелочные окислы сопротивление стекла уменьшается с 10^{18} до 10^{10} — 10^8 ом·см. Среди щелочных стекол большее сопротивление, как видно из рис. 1-4, имеют калиевые стекла. Натриевые и литиевые стекла при содержании одинакового количества R_2O имеют более высокую проводимость.

И тем не менее одновременное введение в определенных пропорциях в состав щелочных стекол двух или трех различных окислов щелочных металлов не только не увеличивает проводимость такого стекла, но, наоборот, снижает ее. Этот эффект, изученный и описанный Г. И. Сканами [Л. 36], носит название «нейтрализационного», или полищелочного эффекта. Физический смысл этого эффекта состоит в следующем. В стекле, содержащем два или три щелочных иона, перенос зарядов осуществляют ионы, которые перемещаются внутри решетки по вакантным местам, освобожденным ионами одноименного щелочного металла. Основная доля переносимого электричества падает на ионы того металла, концентрация которого в данном стекле максимальна. Поэтому введение в состав щелочного стекла одного или двух других щелочных окислов приводит, во-первых, к уменьшению концентрации основного носителя и, во-

вторых, затрудняет ионам основного щелочного металла перемещение внутри решетки. Экспериментально установлено, что для стекла, содержащего в своем составе натрий и калий, максимальное значение удельного объемного сопротивления достигается при соотношении щелочных металлов, равном

$$\frac{K_2O}{K_2O + Na_2O} = 0,6$$

(рис. 1-5).

Картина изменения сопротивления щелочных стекол с введением в их состав еще одного щелочного окисла сохраняется и у стекол, содержащих окислы щелочно-земельных металлов, таких как CaO ; MgO ; BaO и др., хотя при этом условие $R_2O'/R_2O'' = 1,5$ и $\rho_{\text{макс}}$ несколько изменяется. Явление нейтрализационного эффекта дает возможность регулировать электрическое сопротивление щелочных стекол, сохраняя другие электрофизические и технологические свойства стекол выбранного состава.

Замена части кремнезема у щелочных стекол другими окислами нещелочных металлов приводит, как правило, к увеличению электрического сопротивления этих стекол.

Объясняется это тем, что увеличение в составе стекла ионов двухвалентных металлов, обладающих большими размерами по сравнению с ионами щелочных металлов, затрудняет свободное перемещение последних и тем самым препятствует переносу электрических зарядов через диэлектрик.

На рис. 1-6 и 1-7 приведены кривые, характеризующие изменение сопротивления щелочных стекол (начальное содержания $Si_2O = 82\%$, $R_2O = 18\%$) с введением в их состав окислов двухвалентных и трехвалентных металлов. Своеобразно влияет на проводимость щелочных стекол введение в их состав вместо SiO_2 окиси алюминия. Если в первоначальный момент сопротивление стекла растет и при соотношении $Al_2O_3/R_2O \approx 0,2$

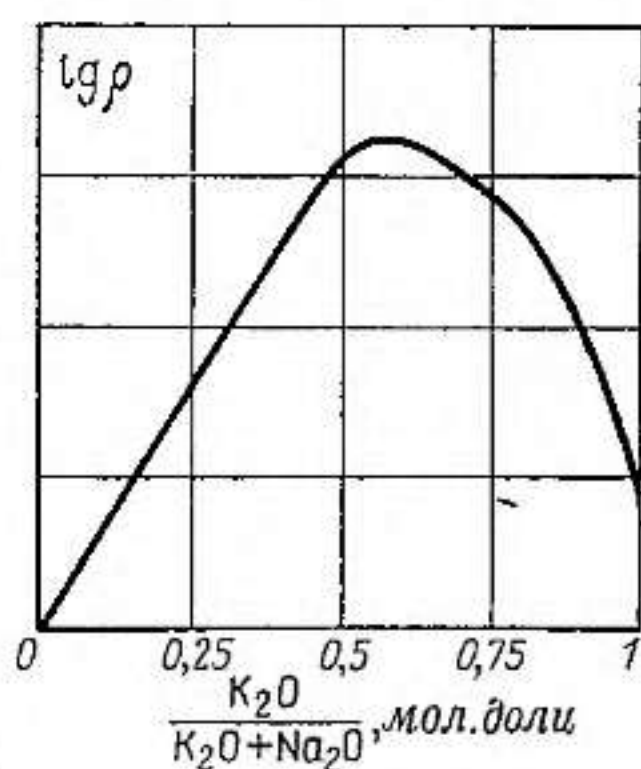


Рис. 1-5. Нейтрализационный эффект в щелочных стеклах.

достигает максимума, то дальнейшее увеличение окиси алюминия приводит к уменьшению сопротивления, которое достигает минимума при соотношении $Al_2O_3/R_2O=1$. Поэтому в состав щелочных стекол, содержащих около 12—14% щелочей, введение окиси алюминия в больших количествах нежелательно. В то же время с уменьшением содержания щелочей в составе стекла влияние добавок окиси алюминия возрастает. Особенно сильно влияет на увеличение сопротивления введение окиси

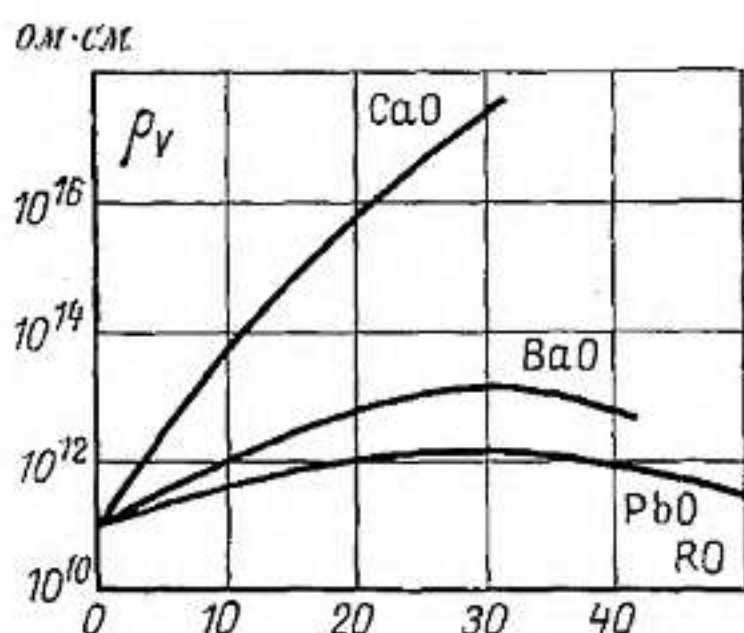
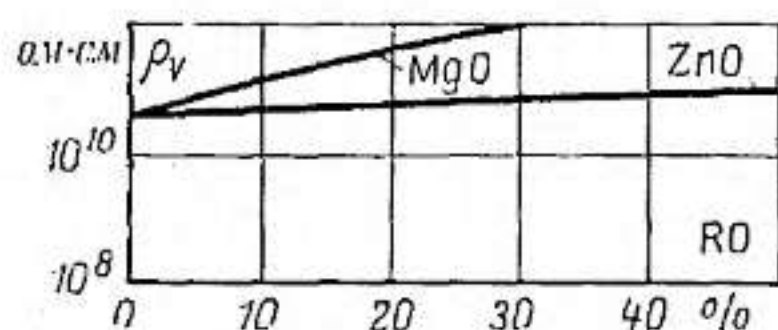


Рис. 1-6. Влияние замены части SiO_2 в щелочном стекле окислами двухвалентных металлов на удельное электрическое сопротивление.

алюминия в состав малощелочных и бесщелочных стекол, хотя в целом сопротивление бесщелочных стекол в меньшей степени зависит от состава, чем сопротивление щелочных стекол. Это можно объяснить тем, что в отличие от щелочных стекол переносчиками электрических зарядов у бесщелочных и малощелочных стекол являются малоподвижные ионы двухвалентных металлов. Поведение стеклянных изоляторов при длительной работе под постоянным напряжением еще недостаточно изучено. На невозможность применения изоляторов из стекла с большим содержанием натрия для линий электропередачи постоянного тока указывается в [Л. 8], где рекомендуется для этих целей использовать специальный состав стекла. В то же время французская фирма Sediver и итальянская фирма Fidenza Vetraria утверждают, что их изоляторы, изготовленные из обычных щелочных стекол, успешно эксплуатируются на линиях электропередачи постоянного тока. Можно предположить, что использование полищелочного эффекта снизит вероятность ускоренного старения щелочных

стекло под воздействием постоянного напряжения, но пока можно лишь утверждать, что наиболее надежно в этих условиях будут работать бесщелочные и мало-щелочные стекла.

Заканчивая рассмотрение вопроса об электрическом сопротивлении стекол, необходимо отметить, что оно изменяется также в зависимости от величины напряженности электрического поля и тепловой обработки стекла.

Увеличение напряженности электрического поля, в котором работает стекло, вызывает уменьшение со-

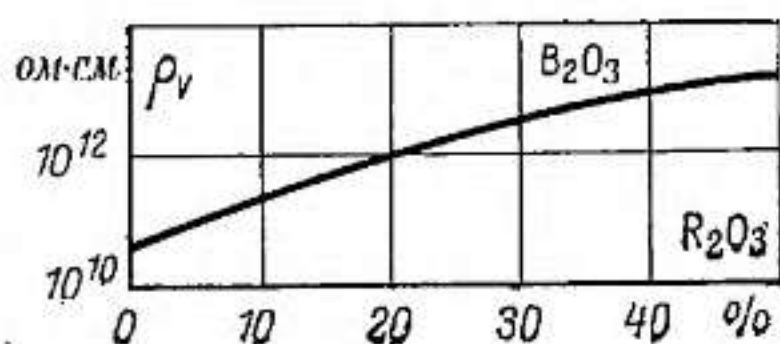


Рис. 1-7. Влияние замены части SiO_2 в щелочном стекле окислами трехвалентных металлов на удельное электрическое сопротивление.

противления последнего. Однако практического значения эта зависимость для условий работы стеклянных изоляторов не имеет, так как уменьшения сопротивления стекла примерно на один порядок можно ожидать только при напряженности электрического поля, равной 10^3 кВ/см. Что касается тепловой обработки стекла, то известно, что закаленные образцы стекла обладают меньшим электрическим сопротивлением по сравнению с аналогичными образцами, изготовленными из отожженного стекла.

Поверхностное электрическое сопротивление. В обычных условиях удельное поверхностное сопротивление стекол различных составов колеблется в пределах 10^{13} — 10^{16} ом. Поверхностная электропроводность стекла вызывается главным образом образованием на увлажненной поверхности стеклянных изоляторов пленки электролита, состоящей из растворенных в воде окислов, входящих в состав стекла. Поэтому изменение влажности окружающего воздуха влияет на изменение поверхностного электрического сопротивления стекла. Стекла

с низкой гидролитической стойкостью (например, щелочные) имеют большую поверхностную проводимость. Как правило, у таких стекол при достижении максимальной влажности воздуха удельное поверхностное сопротивление уменьшается на 4—5 порядков в течение 1 ч. Значительно возрастает поверхностная проводимость при повышении температуры окружающего воздуха. Особенно заметно это изменение в пределах 20—100 °С, т. е. в диапазоне рабочих температур стеклянных изоляторов. По сравнению с щелочными стеклами бесщелочные стекла обладают удельным поверхностным сопротивлением на 2—3 порядка выше. Учитывая, что поверхностная проводимость стекла в значительной степени может влиять на работу стеклянных изоляторов, особенно тех, которые работают в условиях высокой влажности и повышенной температуры (например, влажные тропики), необходимо рассмотреть вопрос о возможной стабилизации поверхностного сопротивления стеклянных изоляторов.

Для тех изоляторов, которые работают в условиях незагрязненной атмосферы, по-видимому, целесообразно поддерживать неизменным высокое поверхностное сопротивление, сохраняя при повышении влажности и температуры окружающего воздуха. В этих целях может быть рекомендовано покрытие поверхности стекла специальными гидрофобными покрытиями. Известны получаемые на поверхности стекла пленки из хлорсиланов и продуктов окисления парафина. Эти пленки обладают высокими химостойкостью и нагревостойкостью. Пленки эти независимо от степени влажности обеспечивают стабильность поверхностного сопротивления стекол. Однако органическая природа этих пленок создает опасность их уничтожения на поверхности изоляторов при работе на открытом воздухе под воздействием ультрафиолетовых лучей, озона, а также в случае перекрытия изоляторов электрической дугой. Стабилизация высокого поверхностного сопротивления стеклянных изоляторов может быть достигнута также путем огневой полировки их поверхности или обработки ее специальными кислотными составами (второй способ только для отожденных изоляторов). Для улучшения работы изоляторов в условиях интенсивного загрязнения целесообразно, наоборот, несколько снизить поверхностное сопротивление изоляторов до 10^7 — 10^8 ом. Поверхностное сопротив-

ление стекла может быть снижено путем нанесения на его поверхность тонких металлических пленок. Однако такие пленки, как правило, механически и химически непрочны, а технология их нанесения не приемлема для массового производства изоляторов.

Более удобным представляется использование на поверхности стекла окисно-металлических пленок. Получение таких пленок может быть достигнуто путем нанесения:

а) окиси свинца, сурьмы или висмута — восстановлением соответствующих металлов в среде водорода при высоких температурах;

б) окиси кадмия — неполным окислением слоя металлического кадмия, нанесенным на поверхность стекла;

в) двуокиси титана — частичным восстановлением водородом слоев окиси титана, нанесенных на стекло;

г) окиси индия — обработкой нагретого стекла горячими парами InCl_3 ;

д) двуокиси олова — окислением слоя металлического олова в воздухе; гидролизом спиртовых растворов хлористого олова или обработкой стекла парами хлористого олова.

Для приведенных выше окисно-металлических пленок толщиной от 0,05 до 2 мкм можно получить следующие значения ρ_s .

SnO_2	10^8 — 10^2 ом (в зависимости от метода нанесения и толщины пленки)
CdO	10^2 ом
TiO_2	10^7 ом
In_2O_3	10^3 ом
PbO	10^4 ом

Исходя из значений удельных поверхностных сопротивлений различных окисно-металлических пленок, а также технологии их нанесения на поверхность стеклодеталей изоляторов, можно предположить, что наиболее приемлемыми для указанных выше целей являются пленки из двуокиси олова.

Однако и в этом случае пока нельзя достичь абсолютно стабильных величин поверхностного сопротивления стеклянных изоляторов.

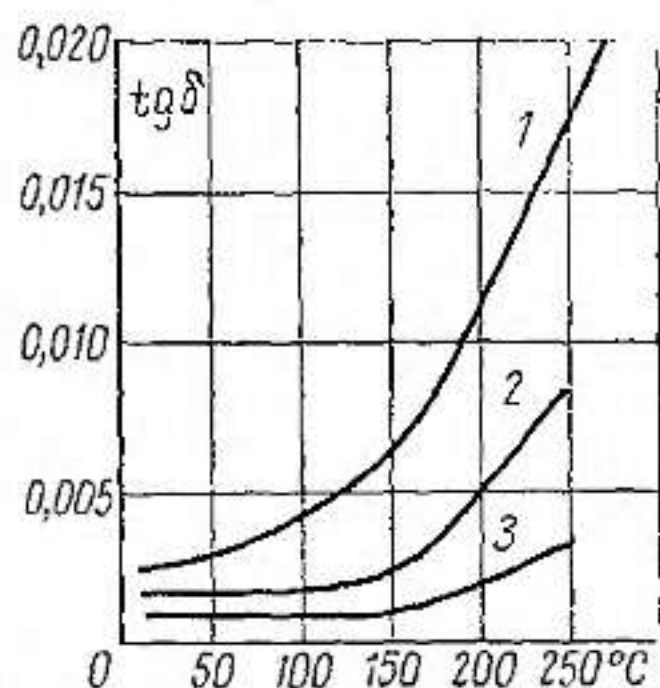


Рис. 1-8. Температурная зависимость $\text{tg } \delta$ (при высокой частоте).

1 — нормальный (натриевый) пирекс; 2 — натриево-калиевый пирекс; 3 — калиевый пирекс.

ла щелочных окислов, подвижность ионов которых определяет уровень потерь. А так как подвижность ионов в свою очередь зависит от величины их зарядов, то литиевые стекла обладают значительно более высоким $\text{tg } \delta$, чем натриевые и тем более чем калиевые стекла (рис. 1-8). Наличие в составе стекла окислов тяжелых металлов, таких как BaO ; CaO ; PbO , значительно снижает величину $\text{tg } \delta$.

Увеличение степени миграции щелочных ионов с повышением температуры вызывает соответствующее увеличение потерь в щелочных стеклах. У таких стекол $\text{tg } \delta$ при изменении температуры от 20 до 80 °C увеличивается в 5—7 раз.

Из рис. 1-9 видно, что диэлектрические потери в подвесных изоляторах, изготовленных из щелочного стекла, при повышении температуры растут значительно быстрее, чем потери в фарфоровых изоляторах и изоляторах из стекла пирекс. При эксплуатации изоляторов в центральной и северных

Диэлектрические потери. Диэлектрические потери в стекле вызываются поляризацией диэлектрика и наличием в нем электропроводности. В силу этого диэлектрические потери зависят от состава стекла, его структуры и температуры окружающего воздуха. Наиболее низкие потери свойственны кварцевому стеклу ($\text{tg } \delta$ при 20 °C равен 0,0002). Все остальные стекла имеют более высокие значения $\text{tg } \delta$. Особенно сказывается на увеличении диэлектрических потерь введение в состав стек-

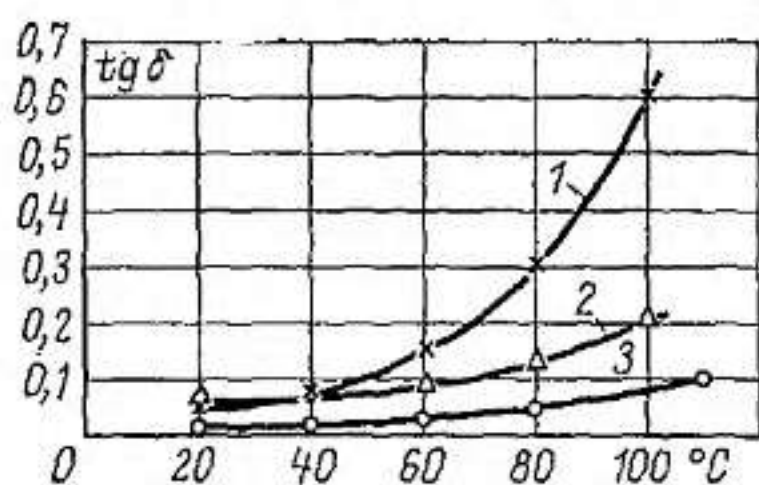


Рис. 1-9. Диэлектрические потери в подвесных изоляторах в зависимости от температуры.

1 — щелочное закаленное стекло; 2 — фарфор; 3 — пирекс отожженный.

Таблица 1-4

Способ обработки	Угол потерь в минутах при 20 °С и 10° зц	
	Стекло сили- катно-натриевое	Стекло свин- цовое
Нормальный отжиг	25	4
Длительный отжиг при низкой температу- ре с последующим быстрым охлажде- нием	28	5
Кратковременный отжиг с быстрым ох- лаждением	35	5
Закалка	43	7

частях СССР можно не опасаться увеличения диэлектрических потерь в стекле до критических значений. В то же время возможность возникновения теплового пробоя стеклянных изоляторов при длительной эксплуатации их в районах с рабочей температурой выше 50 °С необходимо учитывать при выборе марки стекла, из которого должны изготавливаться изоляторы для этих условий эксплуатации.

Упорядочение структуры стекла, т. е. отжиг, сопровождается снижением уровня потерь, и, наоборот, закаленному стеклу с менее упорядоченной структурой соответствуют более высокие диэлектрические потери.

В табл. 1-4 приведены зависимость угла диэлектрических потерь стекол от способа их термической обработки (данные Пасынкова, Богородицкого, Тареева).

Таким образом, можно предположить, что при эксплуатации отоженных стеклянных изоляторов тепловой пробой менее вероятен, чем при эксплуатации закаленных изоляторов.

Величина $\operatorname{tg} \delta$ изоляторов из щелочного стекла в отличие от фарфоровых резко возрастает с ростом напряжения (рис. 1-10). Диэлектрические потери большинства стекол растут также с увеличением частоты. Например, при номинальной температуре $\operatorname{tg} \delta$ силикатного тугоплавкого стекла при 1 МГц равен 0,0036, а при 3000 МГц 0,0065, для свинцового стекла при тех же частотах — соответственно 0,0009 и 0,0044. Только $\operatorname{tg} \delta$ кварцевого стекла не меняется с частотой, составляя около 0,0002 как при 1 МГц, так и при 3000 МГц [Л. 37].

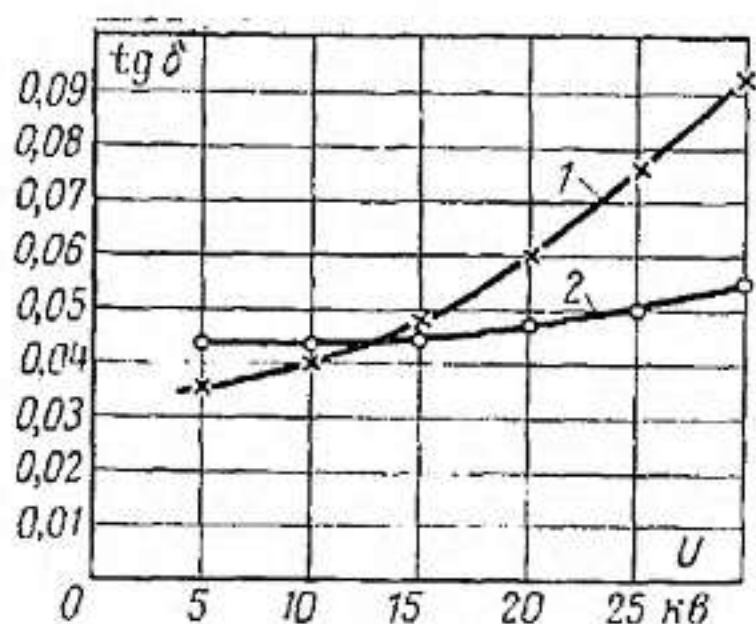


Рис. 1-10. Диэлектрические потери подвесных изоляторов в зависимости от напряжения.

1 — изолятор из закаленного стекла;
2 — фарфоровый изолятор.

Диэлектрическая проницаемость стекла. Диэлектрическая проницаемость стекла как диэлектрика, из которого изготавливаются высоковольтные изоляторы, в первую очередь подвесные, должна быть как можно большей, с тем чтобы увеличить емкость каждого изолятора и обеспечить более равномерное распределение напряжения вдоль гирлянды.

Для всех стекол, используемых в технике, величина ϵ лежит в пределах от 4 до 16. Для стекол, применяемых при производстве изоляторов, этот диапазон сужается и составляет при нормальной температуре 6—8. Резким увеличением (до 25%) в составе стекла щелочных окислов, особенно Na_2O , можно добиться увеличения ϵ до 9—10. Таким же образом влияет на увеличение ϵ введение в состав стекла окислов тяжелых металлов PbO и BaO , ионы которых имеют высокую поляризуемость и активно участвуют в диэлектрическом смещении. Стекло с содержанием 80% PbO имеет $\epsilon = 16,2$. Диэлектрическая проницаемость всех стекол возрастает с повышением температуры (рис. 1-11). Так как ТК ϵ стекол в интервале температур 20—100 °C колеблется от $+30 \times 10^{-6}$ до $+500 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, то практического значения для улучшения работы стеклянных изоляторов при повышении температуры это свойство не имеет.

Электрическая прочность стекла. Пробой стекла связан со многими факторами, среди которых необходимо учитывать не только химический состав стекла, но и однородность электрического поля, в котором работает диэлектрик, длительность приложения напряжения, а также термические и механические напряжения в самом стекле.

Поэтому пробой стекла, как и других твердых диэлектриков, может представлять собой электрический или тепловой пробой в зависимости от преобладания факторов, вызывающих ту или другую форму пробоя.

Кратковременная электрическая прочность стекла мало зависит от состава. В однородном электрическом поле электрическая прочность стекол колеблется в пределах 100—300 кВ/мм и мало зависит от толщины образца.

В неоднородном электрическом поле толщина диэлектрика сказывается в большей степени и это обстоятельство необходимо учитывать при разработке реальных конструкций изоляторов. Большой разброс значений электрической прочности стекол, определенных различными исследователями, объясняется, по-видимому, применением для испытаний масел различного качества. Известно, что величина электрической прочности диэлектрика в значительной степени зависит от электрических свойств испытательной среды. Так, испытания стеклянных образцов, проведенные фирмой Sediver в маслах с различной электрической прочностью, дали совершенно различные величины электрической прочности стекла. При этом все результаты отличались от тех, которые были получены при испытании образцов стекол в воздухе [Л. 7]. Поэтому фирма считает нерациональным испытание стеклянных изоляторов в условиях, при которых пробой диэлектрика происходит в среде, отличающейся от его естественной среды. Фирмой разработана специальная жидкость, которая имеет удельное объемное сопротивление $3 \cdot 10^8$ Ом·см; диэлектрическую проницаемость 4,2 и электрическую прочность 20 кВ/2,54 мм. Испытание стеклянных изоляторов в такой среде дает значение электрической прочности, превышающее значение электрической прочности фарфоровых изоляторов, обладающих идентичной толщиной диэлектрика. В то же время испытание фарфоровых и стеклянных изоляторов в трансформаторном масле по методике ГОСТ 6490-67 и ГОСТ 14197-69 приводит

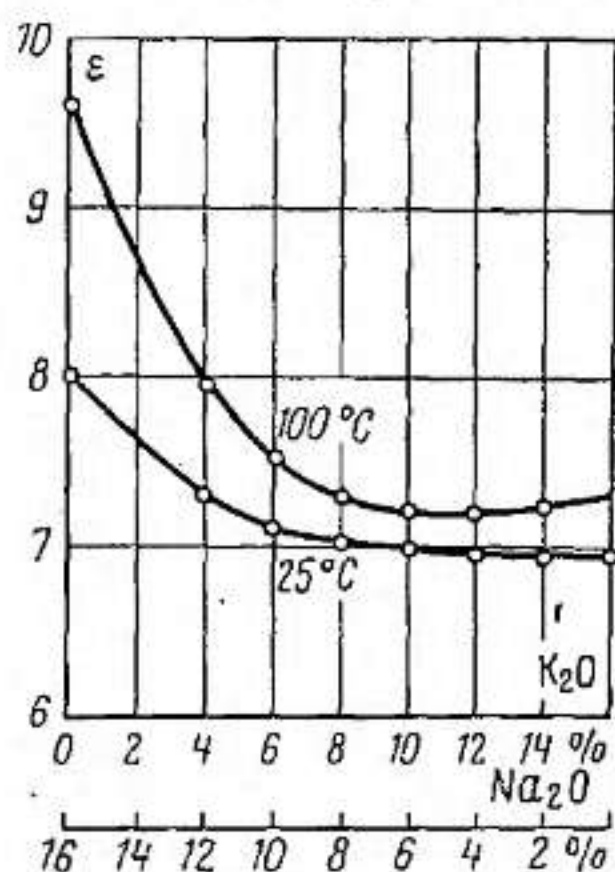


Рис. 1-11. Зависимость диэлектрической проницаемости от состава для ряда стекол, содержащих 74% SiO₂, 16% R₂O и 10% CaO по весу ($f=10^3$).

к обратным результатам. На снижение величины электрической прочности стекла при испытании в трансформаторном масле или других изоляционных средах большое влияние оказывают дефекты стекла: пузыри, инородные включения, свили.

Учитывая отсутствие единой методики определения электрической прочности стекла и пробивного напряжения стеклянных изоляторов, а также плохое совпадение получаемых результатов, национальные стандарты некоторых стран предусматривают возможность определения пробивного напряжения стеклянных изоляторов импульсным напряжением. Во время этих испытаний

импульсные волны, возрастающие ступенями, создают напряжения, которые развиваются в диэлектрике быстрее, чем распространение разрядов в воздухе. Эта методика имитирует работу изоляторов в реальных условиях при грозовых разрядах и позволяет более достоверно определить эксплуатационную надежность стеклянных изоляторов.

Тепловой пробой стекла может произойти, как указывалось ранее, в случае применения составов

с большими диэлектрическими потерями и при длительной эксплуатации изоляционных конструкций при высоких температурах.

В [Л. 38] исследовано поведение подвесных изоляторов из фарфора, щелочного стекла и пирекса с точки зрения их устойчивости к тепловому пробою. Результаты исследования изображены на рис. 1-12.

Подвесные изоляторы из щелочного стекла ведут себя в этих условиях менее надежно, чем такие же изоляторы из пирекса и фарфора. Правда, фирма Sediver утверждает [Л. 7], что эта характеристика стеклянных изоляторов может быть улучшена путем замены в обычном стекле части окиси натрия окисью калия, т. е. за

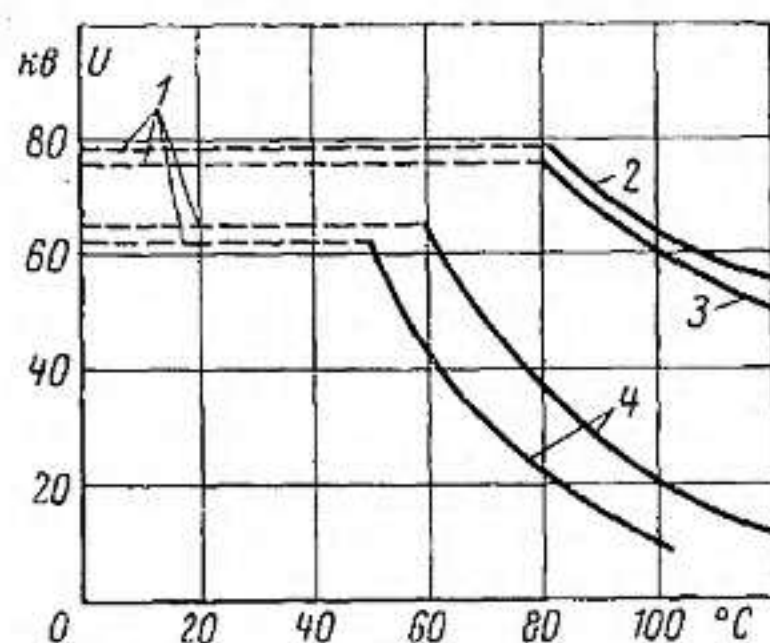


Рис. 1-12. Пробивное напряжение подвесных изоляторов в зависимости от температуры.

1 — сухоразрядное напряжение; 2 — фарфоровый изолятор; 3 — изолятор из пирекса; 4 — изолятор из закаленного щелочного стекла.

счет использования полищелочного эффекта. Этот вывод о положительном влиянии полищелочного эффекта на электрическую прочность стеклянных изоляторов согласуется с работами, проведенными Львовским политехническим институтом.

1-4. СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ СВОЙСТВА

Использование стекла для изготовления изоляционных конструкций, несущих значительные механические нагрузки, стало возможным, как указывалось ранее, только после разработки и внедрения процесса закалки стеклянных изоляторов.

Другим способом повышения механической прочности стекла является превращение аморфного материала в кристаллический. Стеклокристаллические материалы получают из исходного стеклообразного вещества путем термической обработки, в процессе которой во всем объеме стеклодетали образуется множество кристалликов размером в доли микрометра, соединенных между собой стекловидными прослойками.

По данным [Л. 39] при кристаллизации в 1 мм^3 стекла образуется 10^9 — 10^{15} кристаллов.

Стеклокристаллические материалы в СССР получили название «ситаллы».

Таким образом, ситаллы — это гамма материалов, образующихся в результате управляемой кристаллизации стекол с введенными в них минерализаторами — веществами, вызывающими кристаллизацию. В мире создано много различных марок стеклокристаллических материалов. В 1958 г. американской фирмой Corning был создан материал, названный авторами «пирокерам». Константиновский завод «Автостекло» выпускает изделия из стеклокристаллического материала — стеклофарфора.

Стеклокристаллические материалы могут быть прозрачными и непрозрачными (матовыми, молочно-белыми, желтыми и др.). Несмотря на большое количество стеклокристаллических материалов, все они могут быть разбиты на две группы — ситаллы и шлакоситаллы.

Технические ситаллы получают из стекол, сваренных с применением природного и синтетического сырья, причем в состав некоторых из них входят серный или углекислый литий, соли серебра, золота, окись церия и дру-

гие компоненты, стоимость которых чрезвычайно высока. Материалы типа «фотокерам» должны в процессе производства подвергаться облучению коротковолновыми лучами (рентгеновскими или ультрафиолетовыми). Все это позволяет применять технические ситаллы для выпуска пока только отдельных небольших деталей и конструкций, где их использование экономически оправдано. Материалы типа «пирокерам» кристаллизуются в процессе ступенчатой термической обработки. Они не требуют облучений.

В Советском Союзе впервые разработан способ изготовления шлакосиликатов из металлургических шлаков. Сущность процесса изготовления таких материалов заключается в том, что создан технологический прием превращения расплава шлака в стекло и шлакового стекла — в керамику [Л. 40].

Шлакоситаллы, по мнению их разработчиков, должны найти широкое применение для производства различных конструктивных элементов, в том числе и электроизоляционных. При этом их стоимость не будет превышать стоимости материалов, которые они призваны заменить.

Стеклокристаллические материалы обладают высокими электромеханическими и физико-техническими свойствами. Ситаллы по механической прочности превосходят не только стекло и фарфор, но и некоторые металлы. Отношение прочности к плотности у ряда ситаллов более высокое, чем у алюминия и стали. Отсутствие пористости, водопоглощения, высокая химостойкость при обычных и повышенных температурах, а также высокие электроизоляционные свойства определяют преимущества технических ситаллов перед лучшими неорганическими диэлектриками.

Ниже приведены свойства ситаллов, используемых для изготовления изоляторов.

Плотность, $г/см^3$	2,5—2,7
Предел прочности при изгибе, $кгс/см^2$	1 000—3 500
Температурный коэффициент расширения в интервале $20—100\text{ }^{\circ}C^{-1}$	$(3\div 200) \cdot 10^{-7}$
Удельное объемное сопротивление при $20\text{ }^{\circ}C$, $ом \cdot см$	$10^{12}—10^{14}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при 50 $гц$	1,5—9
Электрическая прочность, $кв/мм$	25—35

Как видно из таблицы, основные характеристики ситаллов колеблются в достаточно широких пределах. Это

объясняется различием компонентов, входящих в состав шихты различных марок ситаллов, а также технологией их варки и термообработки. Естественно, что технические ситаллы обладают несравненно более высокими свойствами, чем шлакоситаллы.

Тем не менее все ситаллы независимо от их состава как минимум в 1,5—2 раза прочнее электротехнического фарфора и стекла, используемых для изготовления изоляторов. Эта особенность ситаллов определяет область их возможного применения, когда речь идет об электрической изоляции.

Применять ситаллы для изготовления обычных подвесных тарельчатых изоляторов нецелесообразно, в силу того что эти материалы не могут конкурировать с закаленным стеклом. Кроме того, применение закаленного стекла позволяет без больших затрат выявлять дефектные изоляторы при их эксплуатации на линиях электропередачи. Следовательно, ситаллы могут успешно работать в тех изоляционных конструкциях, где основным требованием к диэлектрику является его высокая механическая прочность.

К таким конструкциям в первую очередь относятся все виды стержневых изоляторов, а также некоторые типы аппаратных изоляторов.

Необходимо отметить, что все стеклокристаллические материалы, а следовательно, изделия из них в силу структурных особенностей материала всегда имеют шероховатую поверхность. Достичь у таких изделий гладкой стеклообразной поверхности, аналогичной поверхности глазурованного фарфорового изолятора, можно только за счет усложнения технологического процесса — покрытия поверхности легкоплавким стеклом и повторной термообработки.

Испытания показывают, что ситалловые изоляторы, изготовленные из обычного неглазурованного ситалла, имеют мокроразрядные характеристики в среднем на 10% ниже, чем характеристики таких же изоляторов, покрытых легкоплавкими глазурями.

Основным препятствием для широкого использования ситаллов при изготовлении изоляторов является отсутствие окончательно отработанной технологии, обеспечивающей стабильные характеристики материала, а также сравнительно высокая себестоимость ситалловых изделий.

КОНСТРУКЦИИ СТЕКЛЯННЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

2-1. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ СТЕКЛЯННЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

За последние годы стеклянные и стеклокерамические изоляторы получили распространение в энергетическом строительстве, на линиях электропередачи, электрифицированном железнодорожном транспорте и в высоковольтной аппаратуре.

В связи с указанным назначением стеклянных изоляторов и их конструкции весьма разнообразны. Стеклянные линейные изоляторы предназначены для изоляции проводов на воздушных линиях электропередачи, для изоляции контактной сети на электрифицированном железнодорожном транспорте и на линиях связи.

Стеклянные аппаратные изоляторы применяются в качестве опорных электроизоляционных конструкций в распределительных устройствах и в аппаратах.

По конструктивному исполнению стеклянные изоляторы разделяются на штыревые, подвесные, опорные, опорно-штыревые и стержневые.

Стеклянные изоляторы, предназначенные для работы в наружных установках, имеют исполнения: для нормальных атмосферных условий и для районов с загрязненной атмосферой (уносы промышленных предприятий, морские солевые отложения и др.).

Из стеклокристаллических материалов (ситаллов) изготавливаются изоляторы, рассчитанные на высокую механическую прочность, например стержневые изоляторы для электрифицированного железнодорожного транспорта и др.

2-2. КОНСТРУКЦИИ СТЕКЛЯННЫХ ИЗОЛЯТОРОВ **Линейные изоляторы**

К линейным стеклянным изоляторам относятся штыревые изоляторы низкого и высокого напряжения, а также подвесные тарельчатые и стержневые изоляторы высокого напряжения. Конструкции всех вышеуказанных

стеклянных изоляторов принципиально не отличаются от конструкций соответствующих типов фарфоровых изоляторов.

Вместе с тем в конструкциях стеклянных изоляторов учитываются технологические особенности стекольного производства: возмож-

ность изготовления изоляторов с более тонкими стенками и резкими переходами, а также возможность обеспечения более точных размеров с меньшими допусками, чем в фарфоровых изоляторах.

На рис. 2-1 представлен штыревой стеклянный изолятор на 10 кВ типа ШСС-10, изготавливаемый из незакаленного малощелочного стекла 13 в. Изолятор ШСС-10 идентичен фарфоровому штыревому изолятору типа ШФ-10-А, имеет те же основные размеры и параметры, но масса его несколько меньше. Также идентичны конст-

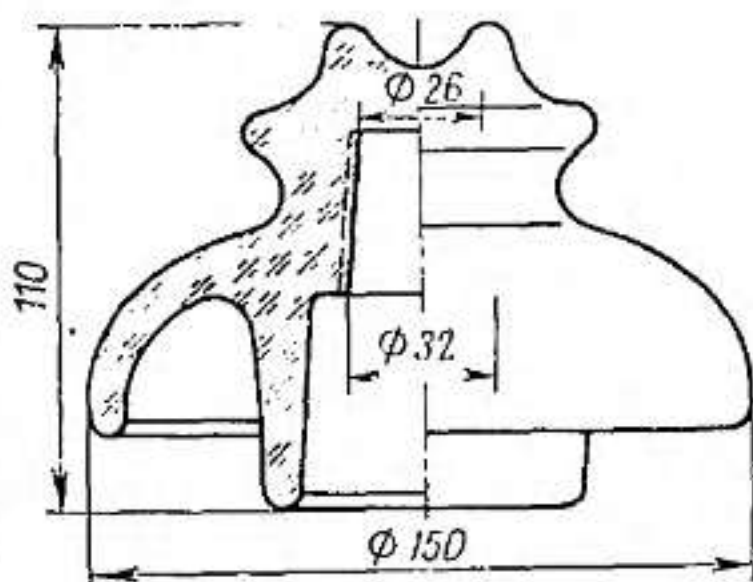


Рис. 2-1. Стеклянный штыревой изолятор типа ШСС-10 на 10 кВ.

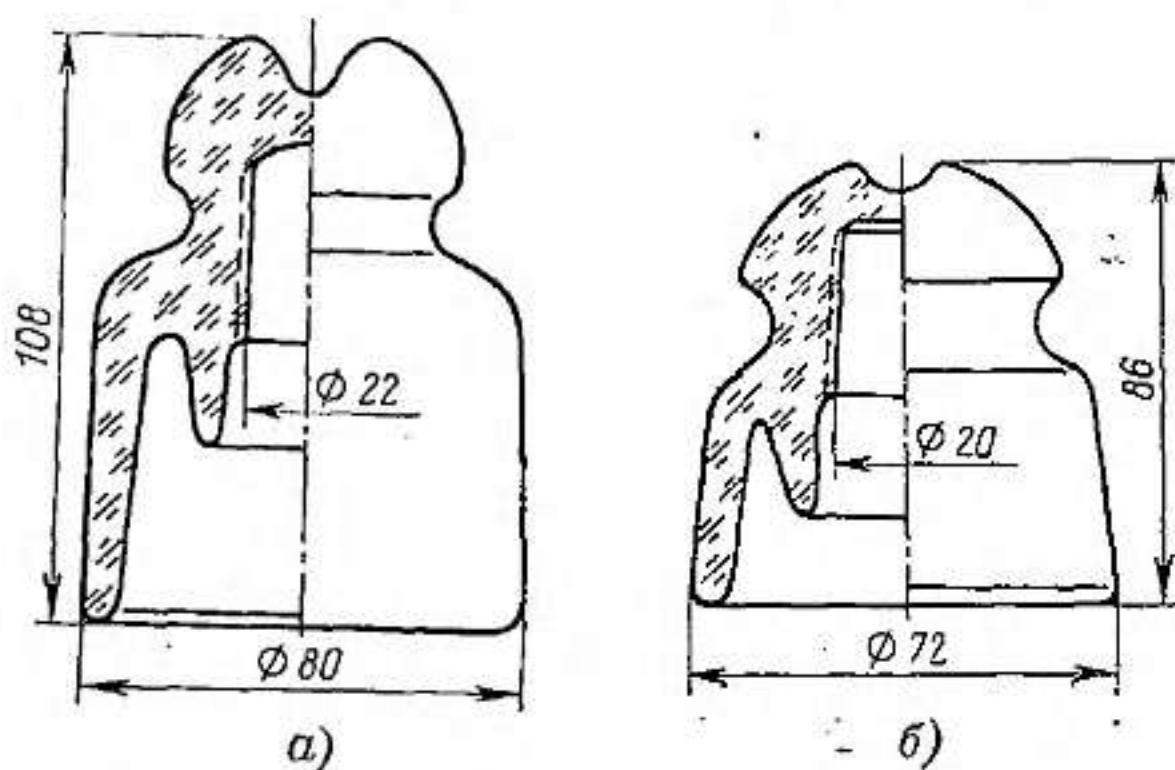


Рис. 2-2. Стеклянные штыревые изоляторы.
а — тип ТСВ для линий связи; б — тип ШЛНС для воздушных низковольтных линий электропередачи.

рукции стеклянных и фарфоровых штыревых изоляторов для линий связи и для низковольтных воздушных линий (рис. 2-2).

За рубежом выпускаются многоэлементные стеклянные штыревые изоляторы на напряжения 20, 35, 45 кВ, состоящие из двух, трех и четырех элементов (рис. 2-3).

Склейка стеклянных элементов производится на цементно-песчаной связке. Крепление провода на изоляторе осуществляется путем вязки мягкой проволокой. Посадка изолятора на штырь эластичная с помощью намотки на штырь пеньки или каболки, пропитанных сури-

ком или посредством специальных переходных пластомассовых или металлических втулок. Штыри и крюки применяются те же, что и для фарфоровых изоляторов.

Конструкции стеклянных подвесных изоляторов тарельчатого типа принципиально не отличаются от конструкций фарфоровых подвесных изоляторов и представляют собой стеклянный элемент с закрепленным в нем стальным оцинкованным стержнем и шапкой с шарнирным захватом, служащим для сцепления

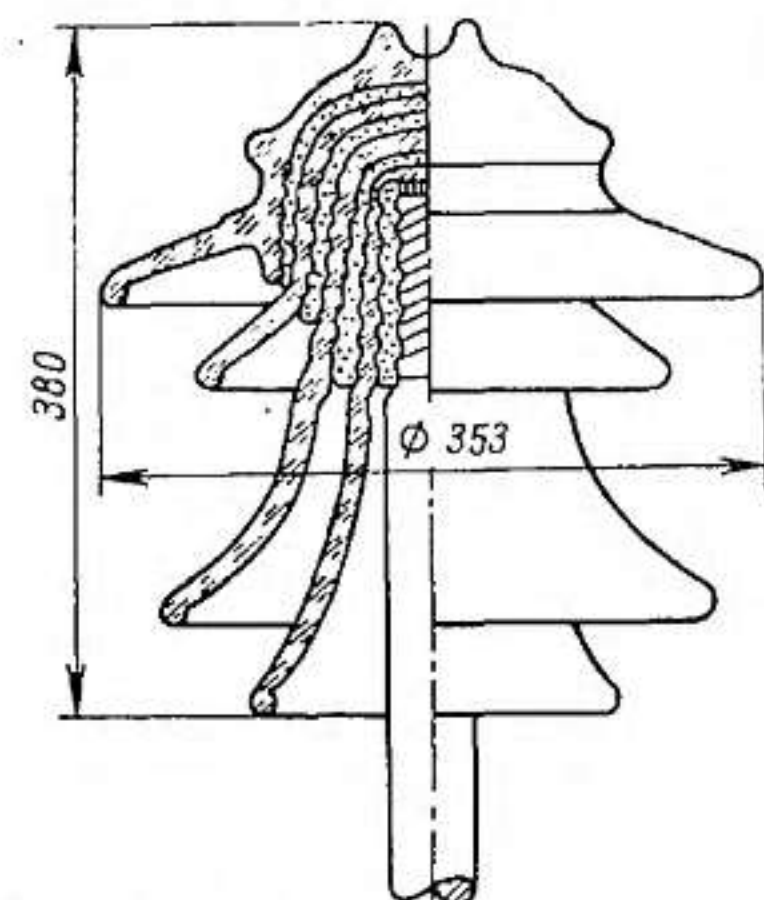


Рис. 2-3. Стеклянный штыревой четырехэлементный изолятор на 45 кВ.

со стержнем соседнего элемента в гирлянде изоляторов. Шапка и стержень закрепляются на стеклянном элементе посредством цементно-песчаного состава связки. В то же время следует отметить отличительные особенности конструкций стеклянных подвесных изоляторов, состоящие в следующем:

а) благодаря более высоким механическим характеристикам закаленного стекла удается выполнять стеклянные изоляторы с более тонкими стенками, чем фарфоровые;

б) ребра на тарелках подвесных изоляторов тоньше, чем у фарфоровых в связи с возможностями технологии стекольного производства;

в) основные габаритные размеры и масса стеклянных подвесных изоляторов меньше, чем у идентичных фарфоровых изоляторов, в особенности это заметно при срав-

нении изоляторов на средние и большие механические нагрузки.

Так, подвесной фарфоровый изолятор типа ПФ20-А на 20 тс (рис. 2-4,а) при конструктивной высоте 194 мм и диаметре тарелки 350 мм имеет массу 12,8 кг, а подвесной стеклянный изолятор типа ПС22-А на 22 тс (рис. 2-4,б) при высоте, равной 190 мм, и диаметре тарелки 320 мм имеет массу 10,8 кг. Еще большее отличие

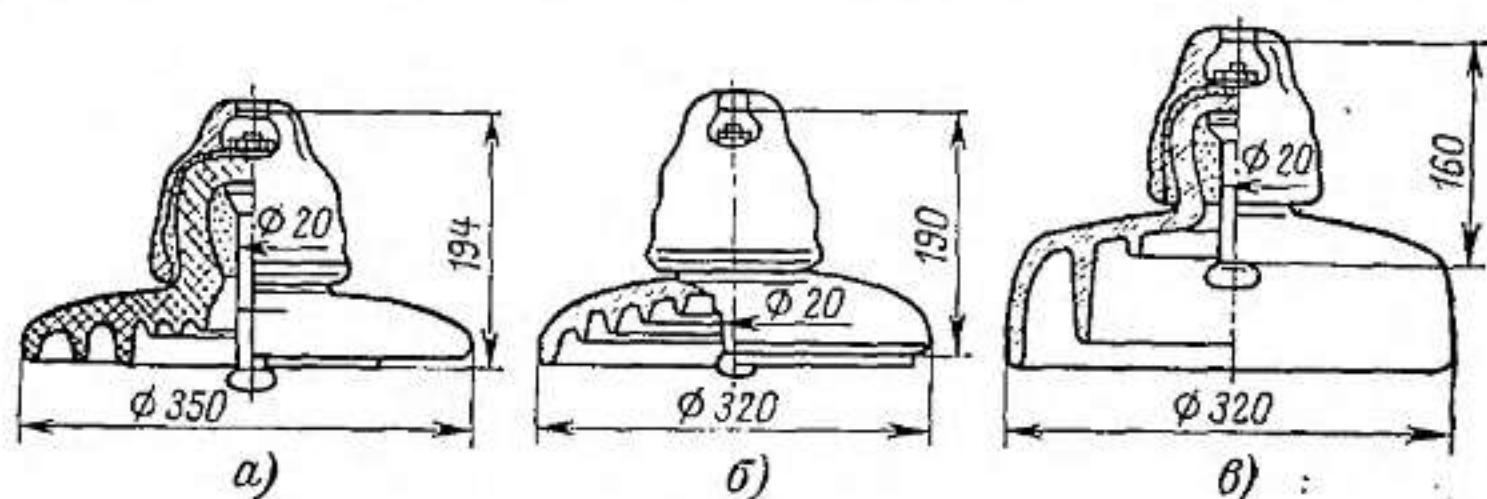


Рис. 2-4. Подвесные изоляторы.

а — фарфоровый ПФ20-А; б — стеклянный ПС22-А; в — стеклянный для загрязненных районов ПСГ16-А.

в размерах и массах имеет место при сравнении стеклянных и фарфоровых изоляторов для районов с загрязненной атмосферой.

Отличительными особенностями конструкций стеклянных подвесных изоляторов для районов с загрязненной атмосферой являются повышенные удельные длины путей утечек (рис. 2-4,в).

Кроме экономии в массе, значительную эффективность дает применение стеклянных малогабаритных изоляторов в связи с сокращением длины гирлянд. Например, длина гирлянды на 110 кВ из малогабаритных фарфоровых изоляторов типа ПФ6-Б составляет 980 мм, а из стеклянных изоляторов ПС6-А — только 910 мм. При напряжении 220 кВ гирлянды из тех же фарфоровых изоляторов имеют длину 1 820 мм, а из стеклянных изоляторов 1 690 мм. Еще большее сокращение длины гирлянд имеет место на ЛЭП 330 и 500 кВ. При проектировании опытной ЛЭП 750 кВ (Конаковская ГРЭС — Москва) оказалось наиболее целесообразным применение стеклянных подвесных изоляторов на электромеханическую нагрузку 30 тс, разработкой которых занимались ВЭИ, ГИС, СКТБ и ЮУАИЗ. Эти изоляторы (из малощелочного стекла 13в) уже эксплуатируются в течение

6 лет, не показывая признаков повреждения. Львовским политехническим институтом им. М. И. Калинина разработаны, освоены на Львовском заводе и на ЮУАИЗ поставлено серийное производство подвесных стеклянных изоляторов из щелочного стекла (составы № 6 и № 7).

Номенклатура стеклянных изоляторов создавалась идентично номенклатуре фарфоровых и определялась требованиями электроустановок.

До последних лет не было в мировой практике единой шкалы подвесных изоляторов тарельчатого типа, имеющих наибольшее распространение. Только в 1969 г. МЭК разработана рекомендуемая шкала подвесных тарельчатых изоляторов [Л. 29], форма и размеры шапки и головки стержня, а также размеры замка.

Рекомендуемая МЭК шкала подвесных изоляторов по электромеханическим разрушающим нагрузкам и основные размеры изоляторов приведены в табл. 2-1.

Таблица 2-1

Класс	Электромеханическая разрушающая нагрузка, k	Высота* H , мм	Диаметр тарелки изолятора D , мм	Длина пути утечки l_y , мм	Диаметр стержня d , мм
U40	40 000	100/110	175	185	11
U60	60 000	127/146	255	280	16
U70	70 000	127/146	255	280	16
U100	100 000	127/146	255	280	16
U120	120 000	146/170	280	280	16
U160	160 000	146/170	280	300	20
U210	210 000	170/195	300	330	20
U300	300 000	195	320	370	24

* Цифры в числителе означают наименьшую возможную высоту изолятора, в знаменателе — наибольшую.

В дальнейшем шкала подвесных изоляторов (табл. 2-1), очевидно, расширится по предложению СССР за счет включения изоляторов на 40 и 50 тс (400 000 и 500 000 k), которые уже включены в шкалу ГОСТ 14197-69.

Из выпускаемых отечественной промышленностью подвесных изоляторов соответствуют рекомендуемой МЭК шкале стеклянные изоляторы: ПС6 (U70), ПС12 (U120), ПС16 (U160), ПС22 (U210), ПС30 (U300).

Промышленность Советского Союза, придерживаясь рекомендаций МЭК, постоянно расширяет ассортимент стеклянных подвесных изоляторов.

Как указывалось выше (§ 1-3), поверхностное сопротивление стеклянных изоляторов зависит от влажности и температуры окружающей атмосферы, состояния по-

верхности и состава стекла. Важнейшей характеристикой изоляторов, работающих в районах с загрязненной

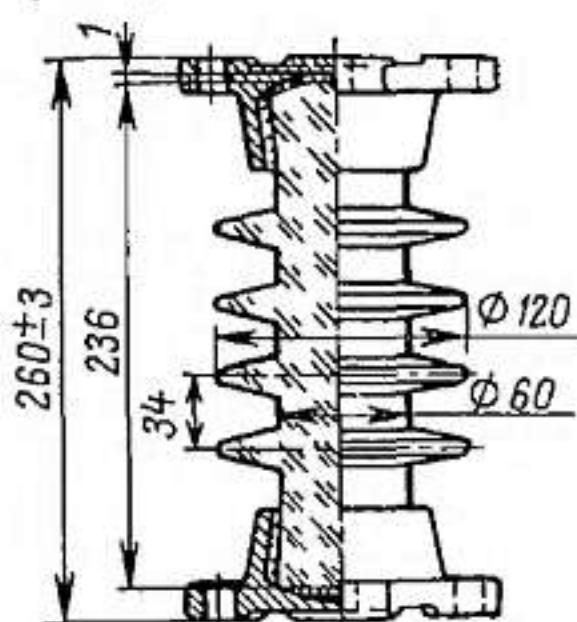
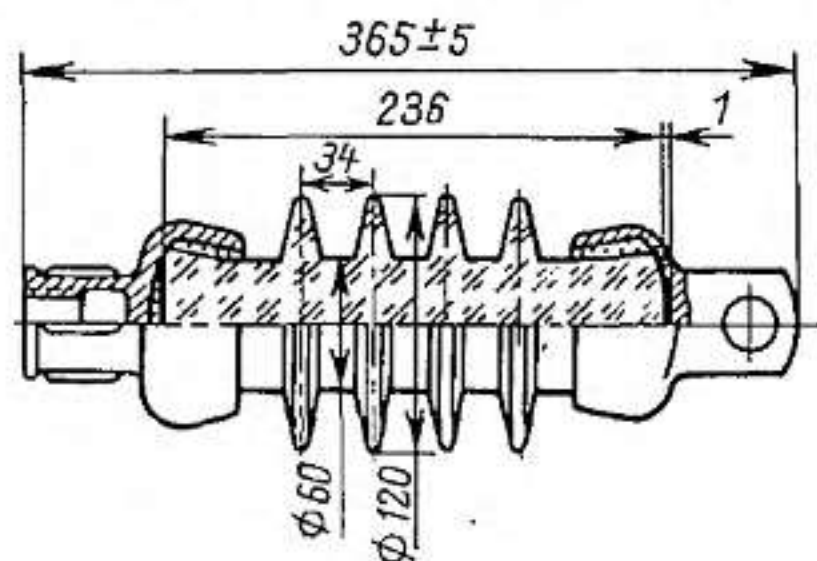


Рис. 2-5. Стержневые изоляторы из стеклофарфора для электрифицированных железных дорог.

а — фиксаторный типа ИФССФ-3,3; б — опорный типа ИОССФ-3,3.

атмосферой, является длина пути утечки (l_y) тока. Благодаря особенностям технологии стекольного производства удастся придать стеклянным изоляторам наиболее благоприятные с точки зрения грязестойкости формы.

Действующие и вновь разрабатываемые в Советском Союзе стеклянные изоляторы соответствуют требованиям МЭК по длине пути утечки (табл. 2-1), а также [Л. 17.]

В настоящее время в СССР применяются следующие специальные стеклянные изоляторы с повышенной дли-

ной пути утечки: штыревой изолятор типа ШЖБ-10с с $l_y=330$ мм и подвесной ПСГ 16-А с гарантированной электромеханической нагрузкой 16 тс и $l_y=480$ мм. Следует отметить, что подвесные стеклянные изоляторы в нормальном исполнении для районов с незагрязненной атмосферой имеют удельные длины пути утечки $l_y/D > 1$, что выше, чем у однотипных фарфоровых изоляторов (см. гл. 3).

Для электрификации железнодорожного транспорта применяется как постоянный ток при напряжении 3,3 кВ, так и переменный ток промышленной частоты 50 Гц при 27,5 кВ. Ранее изоляторы для электрических железных дорог изготовлялись из фарфора, однако разработка и применение стеклокерамики дало возможность значительно повысить механическую прочность изоляторов.

Впервые в Советском Союзе освоены стержневые изоляторы из стеклофарфора для электрифицированного железнодорожного транспорта: фиксаторные (рис. 2-5,а), опорные (рис. 2-5,б).

Характеристики стержневых изоляторов для электрифицированного железнодорожного транспорта приведены в табл. 2-2.

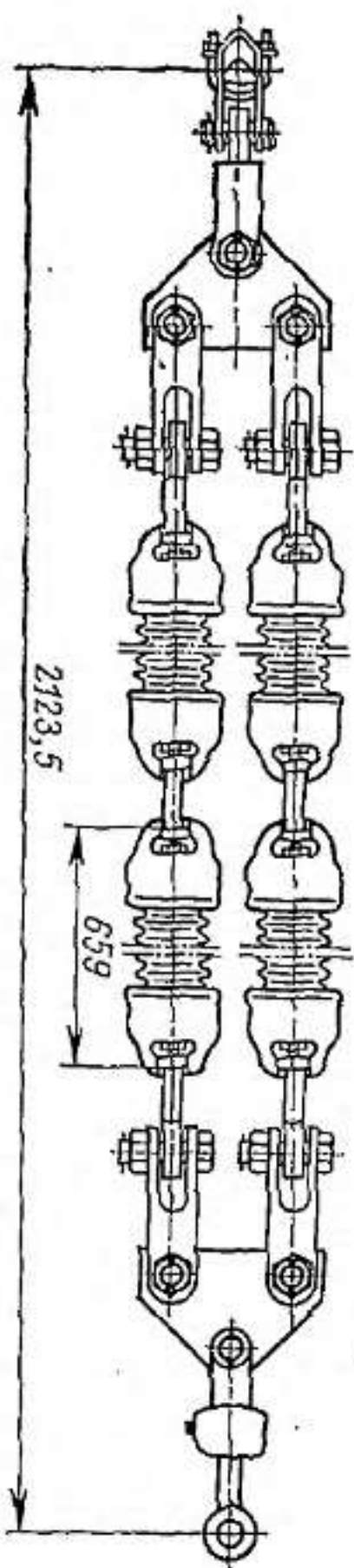
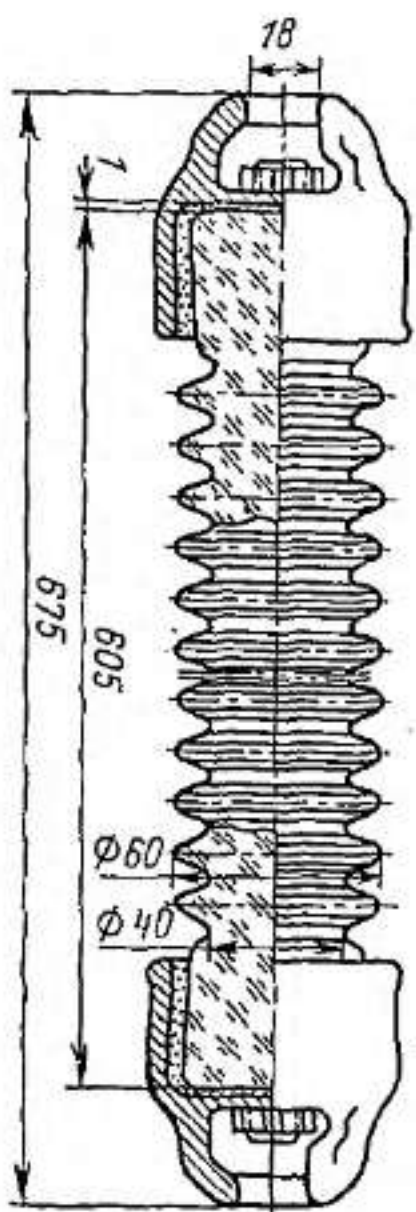
Таблица 2-2

Тип изолятора	Номинальное напряжение, кВ	Строительная высота Н, мм	Наибольший диаметр D, мм	Разрядные напряжения, кВ		Гарантированная механическая прочность, кгс, при		
				сухоразрядное	мокроразрядное	растяжении	сжатии	изгибе
ИФСССФ-3,3	3,3	330	120	70	40	4 000	5 000	400
ИОСССФ-3,3	3,3	260	120	70	40	4 000	5 000	400

Примечание. Условные обозначения изоляторов: И — изолятор, Ф — фиксаторный, О — опорный, С — стержневой, СФ — стеклофарфоровый, цифры 3,3 — величина номинального напряжения.

ВЭИ им. В. И. Ленина и ГИС разработан стержневой линейный стеклянный изолятор (рис. 2-6,а), представляющий собой сплошной стержень длиной 605 мм и диаметром тела 40 мм с 14 ребрами высотой 10 мм¹.

¹ Кожухов В. К. и др. Высоковольтный подвесной изолятор. А. С. № 237943 (СССР). Оpubл. в бюлл. «Открытия. Изобретения. Пром. образцы. Товарные знаки», 1969, № 8.



б)

Рис. 2-6. Поддерживающая двухцепная гирлянда из стержневых ребристых стеклянных изоляторов типа РСС на 110 кв.
а — стеклянный изолятор типа РСС; б — общий вид гирлянды.

Изолятор имеет на концах гладкие с обратным конусом части, служащие для закрепления посредством армировочного состава металлических шапок со стандартными гнездами. Эти изоляторы могут применяться в гирляндах с одной или несколькими цепями.

На рис. 2-6,б представлена двухцепная гирлянда из стержневых стеклянных изоляторов типа РСС для ЛЭП на 110 кВ на деревянных опорах и находящаяся в опытной эксплуатации.

Аппаратные изоляторы

К аппаратным изоляторам относятся опорные и опорно-штыревые стеклянные изоляторы.

По конструкции опорные изоляторы для внутренней установки и опорно-штыревые изоляторы для наружной

установки практически не отличаются от тех же типов фарфоровых изоляторов (рис. 2-7,а, б). Освоение производства опорных изоляторов из стекла дает возможность избежать процесса армирования изоляторов посредством цементно-песчаных связок и применить заделку металлической арматуры (ниппелей) при формовке стеклодеталей изоляторов* (рис. 2-8). Так

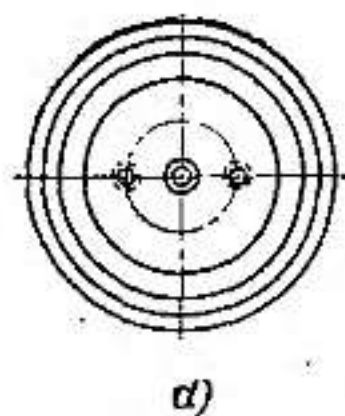
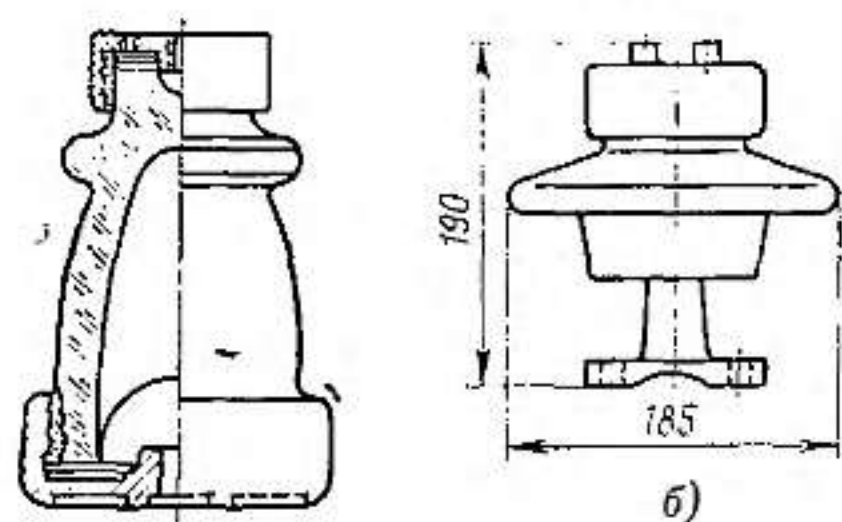


Рис. 2-7. Опорные стеклянные изоляторы.

а — для внутренних установок на 10 кВ; б — для наружных установок на 10 кВ.

как ниппели выполняются из металла, имеющего больший температурный коэффициент расширения, чем стекло, то зазор, образующийся между ниппелями и телом изолятора, оказывается достаточным для расширения стекла и ниппеля в эксплуатации под воздействием температурных колебаний.

* Способ изготовления опорных стеклянных изоляторов. А. С. № 111948 (СССР) от 1958 г. С. И. Андреев, Л. И. Бунеева, В. К. Кожухов, И. С. Кузнецов, И. Д. Тыкачинский и А. И. Цимберов. «Бюлл. изобрет. и товарных знаков», 1958, № 3.

Применение опорных изоляторов с внутренней заделкой арматуры может дать значительный эффект в аппаратостроении по сравнению с обычными стеклянными опорными изоляторами по следующим причинам:

1) значительное сокращение высоты изолятора;

2) сокращение веса арматуры;

3) исключение возможности внутреннего перекрытия изолятора.

Благодаря конструктивным особенностям опорно-штыревые изоляторы могут быть разработаны на значительные механические нагрузки. Это объясняется тем, что диэлектрик в этих изоляторах работает в основном на сжатие или срез, а не на изгиб, как в опорных изоляторах. Основная же нагрузка на изгиб приходится на штырь, достаточная прочность которого может быть достигнута сравнительно просто.

К недостаткам этих изоляторов относятся: значительная масса (из-за массы арматуры) и наличие армированных на цементной связке деталей.

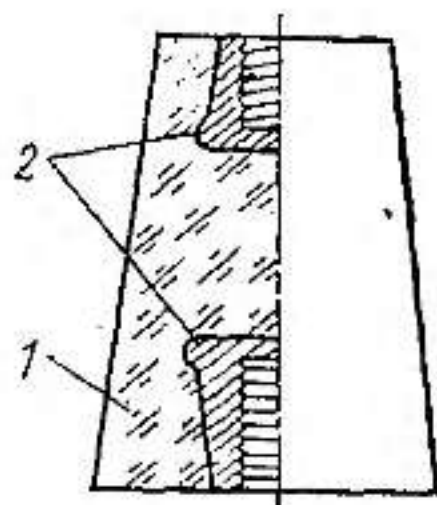


Рис. 2-8. Опорный стеклянный изолятор с внутренней заделкой арматуры.

1 — диэлектрик; 2 — чугунные ниппели.

2-3. МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В КОНСТРУКЦИЯХ СТЕКЛЯННЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

Каждый стеклянный изолятор состоит из стеклянного элемента (стеклодетали) и металлических деталей (арматуры), служащих для соединения изоляторов между собой и для крепления изоляторов к конструкциям, опорам и проводов к изоляторам.

Подвесные изоляторы тарельчатого типа могут изготавливаться как из щелочного стекла, так и из малощелочного, но с обязательной закалкой. Закалка обеспечивает необходимые электромеханические характеристики изоляторов и простоту контроля подвесных изоляторов в эксплуатации на ВЛ электропередачи в связи с хорошей видимостью поврежденного изолятора.

Что касается изоляторов других конструкций, как-то: опорных, опорно-штыревых, штыревых, это эти изолято-

ры целесообразно изготавливать только из высокопрочного стекла без закалки, например из стекла 13в. Закалка указанных изоляторов ухудшила бы условия эксплуатации, так как при электрическом пробое изолятор разрушился бы полностью. Вследствие этого закрепленный на штыревом изоляторе провод и на опорном и опорно-штыревом изоляторе токоведущая деталь аппарата упали бы на землю. По той же причине и изоляторы стержневого типа для железнодорожного транспорта изготавливаются из специального высокопрочного материала — стеклофарфора без закалки.

Арматура изоляторов изготавливается из следующих материалов: шапки для подвесных изоляторов — из ковкого чугуна марок К4-40-6 или В4-45-5 с пределом прочности при растяжении не ниже 45 кгс/мм^2 и относительным удлинением не менее 6%.

Для изготовления стержней подвесных изоляторов применяется сталь ВМСТ-3 (спокойная) с пределом прочности не меньше 24 кгс/мм^2 и для тяжелых изоляторов — конструкционная сталь 40Х, замки изготавливаются из стали марки 40 или из бронзы марки Бр0Ф 6,5—0,15.

Колпаки и фланцы для опорных изоляторов изготавливаются из чугуна марки С4-12-28 или из алюминиевого сплава, штыри для опорно-штыревых изоляторов — из чугуна марки С4-12-28. Колпаки имеют резьбовые отверстия для крепления аппаратов, а штыри и фланцы — сквозные отверстия для крепления к конструкциям.

Арматура соединяется с корпусом посредством различных армировочных составов (связок) на основе портландского, глиноземистого или других цемента.

Армировочные связки, применяемые для соединения (армирования) металлических деталей с стеклянными элементами, представляют собой водную смесь портландцемента и кварцевого песка. При армировании подвесных изоляторов применяются эластичные промазки (битум марки БНУ или клей ИКФ-130), компенсирующие различие в температурных коэффициентах линейного расширения отдельных элементов изолятора.

С целью избежать нарушения целостности диэлектрика при возможных ударах между арматурой и стеклянным элементом изолятора укладываются эластичные прокладки (картон, пробка, кирза). Более подробно о технологии армирования стеклянных изоляторов — см. гл. 5.

2-4. УСЛОВИЯ РАБОТЫ СТЕКЛЯННЫХ ИЗОЛЯТОРОВ И НАДЕЖНОСТЬ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Стекланные изоляторы в эксплуатации находятся под воздействием тех же факторов, что и фарфоровые изоляторы. Так, изоляторы внутренней установки (опорные) подвергаются механическим нагрузкам, воздействию рабочего напряжения и коммутационных перенапряжений. Изоляторы наружной установки (штыревые, опорно-штыревые, подвесные) подвергаются воздействиям постоянных статических и динамических механических нагрузок (вес провода, ветер, гололед, вибрация проводов и пр.), рабочего напряжения и перенапряжений, а также влиянию климатических и атмосферных условий: туманы, дождь, загрязнения различными промышленными уносами, морскими солями и др.

Создание крупных объединенных энергетических систем и развитие новых индустриальных районов вызывают необходимость строительства линий электропередачи и сверхдальних ЛЭП при сверхвысоких напряжениях 500, 750 кВ и выше. Для обеспечения надежной работы таких линий к изоляторам предъявляются особо высокие требования. Между тем все еще наблюдаются случаи перекрытия линейной изоляции с отключением целых районов. Линейная изоляция на ЛЭП находится в различных и подчас в весьма тяжелых условиях. Так, например, в районе «полюса холода» на Крайнем Севере (Оймякон, Верхолянск) минимальная температура по данным метеостанций доходит до -68 и -71°C , в районе Северного Ледовитого океана, за полярным кругом -46°C и в районе Якутска и Магадана -43°C , при частых гололедах и ветре большой силы [Л. 5]. Большая амплитуда суточных колебаний температуры в осеннее и весеннее время ($30-40^{\circ}\text{C}$) является также одной из причин, имевших здесь место перекрытия изоляторов. В достаточно тяжелых условиях работает линейная изоляция в южных горных районах (Армения), где из 165 случаев отключения ЛЭП в 1961 г. 88 отключений произошло из-за перекрытия изоляторов [Л. 6].

В тропических и полутропических районах линейные изоляторы также работают в весьма неблагоприятных условиях. Так, нагрев изоляторов солнцем до $+80^{\circ}\text{C}$, значительный суточный перепад температуры до 40°C , а также воздействие на изоляторы песка при сильном

ветре, туманы и различные отложения вызывают перекрытие, а часто и разрушение изоляторов.

Если диэлектрик изолятора достаточно стоек при высоких и низких температурах, то этого нельзя сказать о металлической арматуре изоляторов. Так, для работы при температуре -60°C арматура изоляторов должна изготавливаться из стали специальных марок, при температуре $+70^{\circ}\text{C}$ цементные связки изменяют свои свойства и т. д.

Результаты обследования состояния стеклянных подвесных изоляторов, работавших в течение длительного времени (30 лет) в сетях Франции, показали их удовлетворительную работу [Л. 7]. Имевшие место отдельные случаи разрушения тарелки в результате перекрытия не привели к падению провода на землю. Визуальный контроль стеклянных изоляторов с вертолета значительно упростил и удешевил обслуживание линий электропередачи.

Технические требования к подвесным изоляторам должны обеспечивать бесперебойную работу их в течение длительного времени (25—30 лет). В эксплуатации изоляторы подвергаются механическим, тепловым, электрическим и климатическим воздействиям. Лабораторные испытания не в состоянии выявить полную картину влияния эксплуатационных условий на изоляторы. Поэтому метод тщательных лабораторных обследований изоляторов, проработавших на линии тот или другой период времени, может только в какой-то мере характеризовать качество изоляторов. Такие исследования опубликовывались по стеклянным подвесным изоляторам в Италии, Франции и в других странах [Л. 7].

Испытания производились согласно рекомендациям МЭК (публикация № 87).

Результаты механических испытаний показали незначительное снижение прочности изоляторов после 10 лет их эксплуатации, причем разрушение изоляторов происходило главным образом из-за повреждения арматуры и цементной связки.

В Советском Союзе также неоднократно проводились исследования стеклянных подвесных изоляторов советского производства, находившихся в эксплуатации различные периоды. Подвесные изоляторы из щелочного стекла, установленные на линиях электропередачи 35—220 кВ, а также на линии 500 кВ и в загрязненных райо-

нах (Днепроэнерго, Донбассэнерго, Азэнерго и др.), в первый период дали 1,3% саморазрушений в год, однако в этих случаях не имели место падения провода на землю, так как остаток стекла в шапке изолятора имел прочность 4,3—7 тс. При дальнейшей эксплуатации (после 5 лет работы) выход из строя указанных изоляторов составлял 0,2—0,5% в год [Л. 13]. На кривой (рис. 2-9) показана зависимость разрушения стеклянных подвесных изоляторов (в процентах к общему числу установленных изоляторов) от длительности эксплуатации.

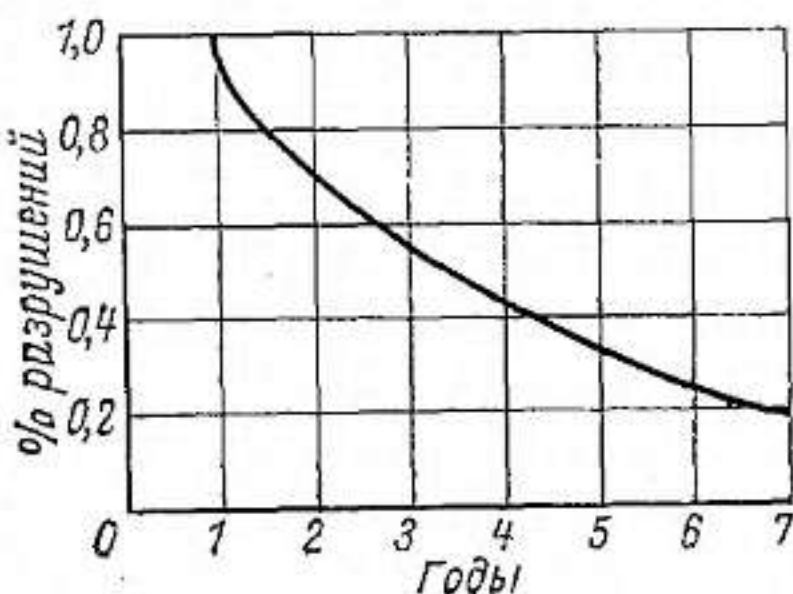


Рис. 2-9. Зависимость повреждения стеклянных подвесных изоляторов от длительности эксплуатации.

Произведено обследование работы подвесных стеклянных изоляторов, установленных в различных энергосистемах страны. При этом оказалось, что изоляторы ПС6 работают надежнее однотипных фарфоровых: отбраковка стеклянных изоляторов в среднем составила 0,5%, а фарфоровых более 1%, причем изоляторы ПС11 из малощелочного стекла на ЛЭП 500 кв имеют в 2 раза меньший процент отбракованных, чем такие же изоляторы из щелочного стекла.

2-5. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СТЕКЛЯННЫМ ИЗОЛЯТОРАМ

Технические требования к стеклянным изоляторам определяются их назначением (тип изолятора, место установки, атмосферные условия и т. д.). Наиболее серьезные требования предъявляются к изоляторам, работающим в наружных установках, на линиях электропередачи, на электрифицированном железнодорожном транспорте, где изоляторы подвергаются одновременно механическим, электрическим и атмосферным воздействиям.

К изоляторам, работающим в условиях повышенных загрязнений, предъявляются специальные требования. Общие требования к изоляторам изложены в ПУЭ и в ГОСТ 1516-68. Требования к стеклянным подвесным вы-

соковольтным изоляторам определяются ГОСТ 14197-69, который распространяется на действующие типы изоляторов: ПС6, ПС12, ПС16, ПС22, ПС30, а также на вновь разрабатываемые изоляторы типов ПС40 и ПС50. Согласно этому стандарту каждому классу могут соответствовать изоляторы нескольких исполнений, но во всех исполнениях отношение длины пути утечки к строительной высоте изолятора должно быть не менее 2,2. Требования к остальным типам стеклянных изоляторов изложены в технических условиях. Все требования к изоляторам могут быть разбиты на следующие группы.

Состояние внешнего вида

1. Качество поверхности, стеклянных элементов и металлических деталей, размеры и допуски, сопряжение деталей и качество антикоррозионных покрытий.

2. Поверхность стеклянной детали изолятора должна быть гладкой, без трещин, посечек, открытых пузырей, морщин, складок, натеков, сколов, свилей, инородных включений.

3. Стекло должно быть прозрачным, окраска допускается, но газовые пузыри и мошка допускаются в незначительном количестве и рассредоточенные. В шейке изолятора пузыри не допускаются.

4. Цинковое покрытие металлических деталей должно быть сплошным, без морщин, забоин, царапин и других дефектов. Площадь неоцинкованных мест может быть не более $0,5 \text{ см}^2$, причем они должны быть покрашены краской с алюминиевой пудрой. Цинковое покрытие должно выдержать четырехкратное погружение продолжительностью по 1 мин в раствор медного купороса без образования несмываемого красновато-розового осадка.

5. К подвесным стеклянным изоляторам, подвергающимся армированию, предъявляются требования к марке цемента (портланд-цемент не ниже 500 по ГОСТ 9835-66 без гидравлических добавок и без ускорителей).

6. Несоосность стержня и шапки допускается не больше 4° . Между торцом шапки и тарелкой стеклянной детали подвесного изолятора предусматривается обязательный зазор не менее 1 мм, во избежание соприкосновения шапки со стеклом. Однако некоторые авторы считают этот зазор не только нежелательным, но даже и

вредным. Так в [Л. 8] указано, что зазоры между шапкой, тарелкой, а также между штырем и тарелкой являются источниками сильных разрядов, приводящих к высокому уровню радиопомех. Поэтому в Великобритании на ВЛ 400 кВ указанные зазоры или заполняют цементной связкой или изменяют конфигурацию тарелки с тем, чтобы избежать зазоров между диэлектриком и металлом. Такой зазор величиной 1—2 мм предусмотрен в ГОСТ на подвесные фарфоровые и стеклянные изоляторы.

7. Для подвесных изоляторов предусматривается требование такого соединения их между собой и с линейной арматурой, при котором обеспечивалась бы шарнирность согласно ГОСТ 11619-65.

8. Учитывая особую ответственность процесса армирования для качества изоляторов, предусматриваются специальные требования к этому процессу, в том числе к качеству цементно-песчаного раствора, к эластичным прокладкам, промазкам поверхностей деталей и к защите цементных швов от попадания влаги.

9. Качество термообработки отожженных стеклянных изоляторов проверяется выборочно посредством полярископа. Принцип действия полярископа состоит в следующем: при прохождении плоскополяризованного луча света через полярископ в стекле изолятора наблюдается двойное лучепреломление — получается интерференционная картина яркости и цвета стекла, по которым и определяется степень термообработки его.

Электрические характеристики стеклянных изоляторов

1. Все изоляторы должны выдерживать в течение 4 мин воздействие непрерывного потока искр переменного тока такой величины, при которой на поверхности изолятора образуется непрерывный поток искр, не переходящих в дугу.

Эти испытания являются массовыми, т. е. такими, каким подвергается каждый выпускаемый с производства изолятор; испытания потоком искр могут производиться или на полностью заармированном изоляторе или только на стеклянной детали.

2. У изоляторов производятся определения следующих параметров:

а) определение величины пробивного напряжения изолятора (кроме стержневых);

б) определение сухоразрядных и мокроразрядных характеристик гирлянд подвесных изоляторов при промышленной частоте и коммутационных перенапряжениях;

в) определение 50%-ного влагоразрядного напряжения загрязненного подвесного изолятора при промышленной частоте;

г) определение импульсных характеристик штыревых изоляторов и гирлянд подвесных изоляторов при 50%-ном импульсном разрядном напряжении;

д) воздействие на гирлянду из подвесных изоляторов 20 разрядов частоты 50 гц в сухом состоянии и под дождем, а также импульсных разрядов при предразрядном времени 2 мксек;

ж) определение напряжения по уровню радиопомех от короны на одиночном подвесном изоляторе.

Механические и электромеханические характеристики

Подвесные стеклянные изоляторы должны выдержать следующие испытания: 1) одномоментной механической растягивающей нагрузкой, равной 50% нормируемой разрушающей; 2) одночасовой электромеханической нагрузкой равной 75% нормируемой разрушающей с приложением напряжения промышленной частоты, равного 75% одномоментного испытательного напряжения; 3) разрушающей, растягивающей нагрузкой остатка стекла в шапке; 4) 24-часовой механической испытательной нагрузкой, равной 60% нормируемой разрушающей нагрузки; 5) минимальной разрушающей электромеханической нагрузкой; 6) механической нагрузкой арматуры подвесных изоляторов, которая должна быть на 10% выше нормируемой разрушающей нагрузки соответствующего класса изолятора.

Все требования к механическим и электромеханическим характеристикам подвесных стеклянных изоляторов идентичны тем же требованиям к фарфоровым подвесным изоляторам за исключением требования к прочности остатка стекла в шапке изолятора (после разрушения его тарелки). Это требование является специфическим для стеклянных подвесных изоляторов тарельчатого типа, так как в эксплуатации при электрическом пробое или при сильном ударе весь изоляционный, стеклянный корпус полностью разрушается, превращаясь

в мелкие осколки. При этом осколки тарелки изолятора падают на землю, а остаток (головка) стеклянного элемента остается зажатой в пространстве между шапкой и стержнем (между клиньями цементно-песчаной связки), удерживая тем самым гирлянду и провод от падения на землю. Минимально допустимая прочность остатка стекла подвесных изоляторов нормируется в ГОСТ и ТУ для каждого типа изолятора в отдельности и составляет 50% разрушающей нагрузки, что обеспечивает надежность работы линий электропередачи.

По шведским нормам прочность остатка стекла в стеклянном изоляторе по разрушении тарелки последнего должна составлять не меньше 80% установленной механической прочности изолятора.

Штыревые изоляторы при выпуске из производства подвергаются выборочной проверке на механическую прочность путем приложения изгибающей нагрузки — до разрушения изолятора.

Все выпускаемые из производства фиксаторные стержневые изоляторы испытываются одномоментной растягивающей нагрузкой и выборочно доводятся до разрушающей нагрузки при растяжении, а опорные — при изгибе.

Термостойкость и термомеханическая прочность

Подвесные стеклянные изоляторы тарельчатого типа должны выдержать испытания на термостойкость путем пятикратного резкого изменения температуры при перепаде 70 °С. Эти испытания определяют термостойкость стеклянного элемента изолятора в статическом состоянии, т. е. без динамических нагрузок.

Другой вид термических испытаний подвесных изоляторов носит название «термомеханических», целью которых является проверка термостойкости подвесных изоляторов при одновременном трехкратном воздействии смены температуры от -60 до $+50$ °С и механической нагрузки, равной 50% нормированной разрушающей нагрузки для данного класса изолятора. Эти требования впервые в мировой практике были включены в ГОСТ 6490-53 на фарфоровые подвесные изоляторы на основании исследований ВЭИ им. В. И. Ленина.

Штыревые и опорно-штыревые изоляторы, изготавливаемые из малощелочного стекла 13в, без закалки,

подвергаются двукратному резкому изменению температуры при перепаде не менее 45°C , а также плавному изменению температуры от $+50$ до -50°C .

Фиксаторные и опорные изоляторы для железных дорог, изготавливаемые из стеклофарфора, должны выдерживать двукратный перепад температуры не менее 50°C и плавное изменение температуры от $+50$ до -50°C .

Надежность работы изолятора в значительной мере определяется конфигурацией и размерами головки стержня, сопрягаемой с шапкой изолятора или с арматурой, которые должны соответствовать ГОСТ 11619-65. Что касается головки стержня, заделываемой в стеклянном элементе изолятора, то его форма и размеры зависят от принятой конструкции и размеров внутренней полости головки изолятора.

В подвесных изоляторах способ заделки стержня в полости стеклянного элемента и принятые конфигурации стержня и полости изолятора в сочетании с опорной нижней поверхностью шапки являются решающими факторами для обеспечения запроектированной механической прочности изолятора. В мировой практике существуют две основные формы головки подвесного изолятора: конусная (рис. 2-10,а) и цилиндрическая (рис. 2-10,б). В стеклянных подвесных изоляторах принята конусная и цилиндрическая форма головки, причем в изоляторах на небольшие и средние нагрузки (6 000, 11 000 кгс) внутренняя и наружная поверхности головки имеют опорные выступы — заплечики (рис. 2-10,в). Такие опорные выступы обеспечивают лучшее распределение усилий от параллельно расположенных к выступам наклонных поверхностей головки стержня и шапки. Благодаря этому удается снизить высоту головки таких изоляторов.

Толщина чугуновой шапки в наиболее тонком месте принимается обычно не меньше 5 мм и зависит от принятой марки чугуна. Геометрические размеры захвата шапки и нижней головки стержня должны соответствовать ГОСТ 11619-65. Угол отклонения головки стержня в захвате шапки должен быть в пределах $2-6^{\circ}$ при нагруженной гирлянде и в пределах $8-12^{\circ}$ при ненагруженной. Нижняя (выступающая из изолятора) часть стержня должна обеспечить свободное сцепление изоляторов между собой и с линейной арматурой.

Наибольший интерес представляет конструкция подвесного изолятора с цилиндрической формой головки,

принятая многими зарубежными фирмами США, Японии и др. (рис. 2-10,б). Как показывает многолетний опыт выпуска таких подвесных изоляторов как с фарфоровым, так и со стеклянным элементами, в конструкциях с цилиндрической формой головки удастся получить лучшие техникоэкономические показатели, чем в подвесных изоляторах с конической формой головки. За счет снижения высоты и диаметра головки изоляционного элемента изолятора уменьшается конструктивная высота изолятора.

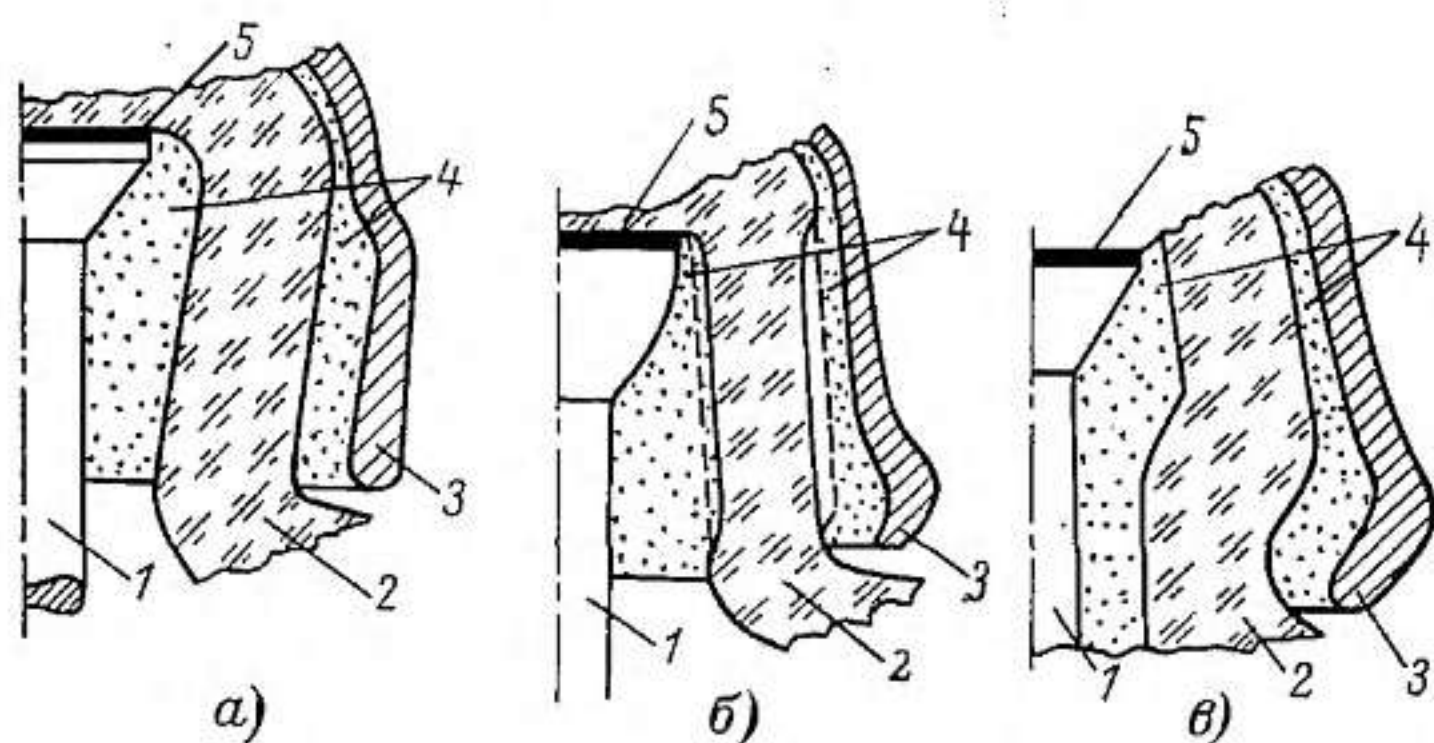


Рис. 2-10. Конструкции головок стеклянных подвесных изоляторов. а — конусная форма головки; б — цилиндрическая форма головки; в — головка с опорным выступом; 1 — стержень; 2 — диэлектрик; 3 — шапка; 4 — армировочная связка; 5 — эластичная прокладка.

Достигается это благодаря более равномерному распределению механических напряжений по внутренней поверхности диэлектрика через цементный камень при приложении нагрузки к стержню изолятора. При конической же форме головки изоляционного элемента изолятора напряжение сосредоточивается в основном на головке стержня. Изложенное подтверждается исследованиями на моделях, выполненных в ВЭИ [Л. 24].

В табл. 2-3 приведены сравнительные данные стеклянных подвесных изоляторов с конической и цилиндрической формами головки, из которой видны преимущества по массе изоляторов с цилиндрической головкой для одних и тех же классов изоляторов, в особенности это касается изоляторов среднего и тяжелого типов.

Все большее внедрение линий электропередачи на высокие и сверхвысокие напряжения (500, 750 кВ и выше)

Таблица 2-3

Электромехани- ческая прочность, тс	Форма головки (К — коническая, Ц — цилиндриче- ская)	Габаритные размеры, мм		Масса, кг
		<i>H</i>	<i>D</i>	
6	К	130	255	4,2
6	Ц	130	255	3,0
12	К	140	260	5,7
12	Ц	140	260	4,5
16	К	140	280	8,0
16	Ц	145	280	5,0
22	К	200	320	10,8
22	Ц	170	280	8,0

потребовало глубоких исследований и разработок методов борьбы с радиопомехами от короны на различных конструктивных элементах линий, в том числе и на изоляторах. Как показали исследования и опыт эксплуатации, генерирование помех на подвесных изоляторах может иметь место в воздушном зазоре между краем шапки и тарелки стеклянного элемента изолятора и между стержнем и стеклянным элементом в месте выхода стержня из армировочной связки. В целях обеспечения бесперебойного радиоприема установлены общесоюзные нормы допускаемых промышленных радиопомех [Л. 54]. Следует отметить, что разработка методов измерения уровней помех в зависимости от различных атмосферных и других факторов, а также способов борьбы с радиопомехами является весьма сложной и требующей глубоких исследований.

Измерения напряжения помех от изоляторов впервые были разработаны в США Национальной ассоциацией энергопромышленников (NEMA), а позднее несколько видоизменена и рекомендована в качестве международной — схема CISPR (Международный специальный комитет по радиопомехам — Публикация № 308, октябрь, 1960 г.). Для измерения величины радиопомех существуют специальные приборы различной конструкции [Л. 52].

В Советском Союзе разработан ГОСТ 11001-69 на измеритель помех. Следует отметить трудности, возникающие при попытке определить долю радиопомех от изоляторов от общих помех на линии электропередачи. Такие испытания проводились рядом исследователей [Л. 26, 52], в результате чего были установлены следую-

щие предельные напряжения для подвесных изоляторов в гирлянде, выше которых начинаются коронирования и интенсивные радиопомехи: 30 кВ у стеклянного изолятора ПС16, 32 кВ у изолятора ПС12. Интересно отметить, что те же исследования определили вышеуказанные показатели для идентичных фарфоровых подвесных изоляторов несколько выше, а именно: 35 и 40 кВ у изоляторов ПФ6-Б и ПФ14. Это объясняется более равномерным распределением напряжения по гирлянде фарфоровых изоляторов. Стандартом на стеклянные подвесные изоляторы (ГОСТ 14197-69) установлены следующие минимально допустимые напряжения уровня радиопомех от короны на одиночных изоляторах в сухом состоянии: 28 кВ для ПС6, 35 кВ для ПС12, 40 кВ для ПС16 и ПС22 и 45 кВ для ПС30.

Глава третья

ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ВЫБОРА СТЕКЛЯННЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

3-1. ПОРЯДОК КОНСТРУИРОВАНИЯ ИЗОЛЯТОРОВ

Для проектирования изолятора разрабатывается техническое задание, содержащее следующие сведения: тип изолятора (штыревой, подвесной тарельчатый или стержневой и т. д.), расчетные механические нагрузки в нормальном и аварийном режимах, номинальное напряжение установки, атмосферные и климатические условия, тип гирлянды для подвесных изоляторов, материал опор для штыревых изоляторов, высота расположения установки над уровнем моря и отношение l_y/H для подвесных изоляторов. Однако техническое задание может быть ограничено только некоторыми показателями, например могут быть заданы номинальное напряжение установки, данные атмосферных и климатических условий, марка провода и материал опор линии.

В этом случае предстоит установить тип изолятора, величину механических нагрузок на изолятор и другие данные, необходимые для разработки конструкции.

Порядок разработки новых конструкций изоляторов состоит в следующем.

После предварительных расчетов и разработки новой конструкции изготавливаются опытные образцы, которые

подвергаются испытаниям. На основании результатов испытаний вносятся коррективы в конструкцию для изготовления опытной партии изоляторов. Эти изоляторы направляются в различные климатические районы и устанавливаются для опытной эксплуатации. По получении результатов полных исследований в специальных лабораториях и данных эксплуатации новые конструкции и техническая документация к ним утверждаются соответствующими организациями для пуска изоляторов в серийное производство.

При разработке новых конструкций стеклянных изоляторов необходимо также учитывать особенности стекольного производства, как-то: технологичность изготовления принятой формы изолятора, возможность закалки, простоту процессов производства и их экономичность.

3-2. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ИЗОЛЯТОРОВ

Первоочередной задачей при конструировании изоляторов является определение основных размеров: конструктивной высоты, длины гирлянды подвесных изоляторов или, точнее, сухоразрядного расстояния, наибольшего диаметра, длины пути утечки и толщины диэлектрика в наиболее электрически напряженном месте.

Электрический расчет высоковольтных изоляторов в самый начальный период их создания производился на основе построения схематических электрических полей вокруг эскизных проектов изоляторов.

Основой для построения электрических полей изоляторов служит то обстоятельство, что каждый изолятор можно рассматривать как конденсатор с собственными емкостями между электродами (шапка — стержень или провод — штырь) и омическими сопротивлениями. На этом основании представляется возможным определить расчетным путем эти емкости и сопротивления, а также построить электрическое поле, т. е. найти количество и направление силовых линий вокруг изолятора. Проверка полученных расчетов может быть произведена на макете (образце) изолятора [Л. 24].

В настоящее время эти трудоемкие методы проектирования изоляторов не применяются, так как теорией и практикой изоляторостроения разработаны эмпирические

формулы и зависимости между отдельными параметрами различных типов изоляторов, которые дают возможность создания подобных по форме изоляторов с требуемыми характеристиками.

Как указывалось выше (§ 2-5), электрическая прочность высоковольтного изолятора оценивается следующими электрическими характеристиками: сухоразрядное, мокроразрядное, 50%-ное влагоразрядное напряжения промышленной частоты, сухоразрядное и мокроразрядное напряжения гирлянд при коммутационных волнах, импульсные разрядные напряжения при полной и срезанной волнах при обеих полярностях, вольт-секундные характеристики и пробивные напряжения изолятора.

Величины требуемых электрических характеристик изоляторов в зависимости от номинального напряжения указаны в стандартах, технических условиях или в специальных заданиях на проектирование изоляторов. На основе нормированных электрических характеристик устанавливаются основные габаритные размеры изоляторов и в первую очередь сухоразрядное и мокроразрядное расстояние изоляторов.

Для определения сухоразрядного и мокроразрядного расстояний изоляторов рассмотрим разрядные явления на поверхности изоляторов. С известным приближением разрядное напряжение изолятора можно рассматривать как разрядное напряжение воздушного промежутка стержень — заземленный стержень или стержень — заземленная плоскость.

Пробивные напряжения таких воздушных промежутков в различных условиях (атмосферных и др.) изучены достаточно полно и освещены во многих литературных источниках [Л. 10, 51]. На рис. 3-1 приведена кривая зависимости разрядного напряжения от длины воздушного промежутка между электродами стержень — заземленный стержень при частоте 50 гц, нормальных атмосфер-

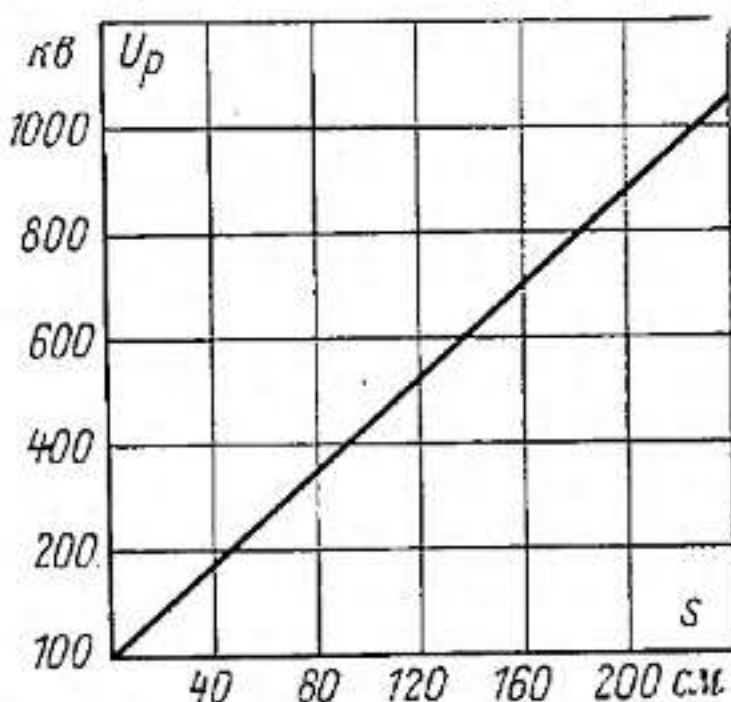


Рис. 3-1. Зависимость разрядного напряжения от длины воздушного промежутка между электродами стержень — заземленный стержень.

ных условиях 760 мм рт. ст., температуре 20°C, влажности 11 г/м³.

Зависимость импульсного 50%-ного разрядного напряжения от длины воздушного промежутка между электродами стержень — заземленный стержень при волне 1,5/40 мксек приведена на рис. 3-2.

Как видно из обоих рисунков, разрядные напряжения представляют собой линейную зависимость от длины

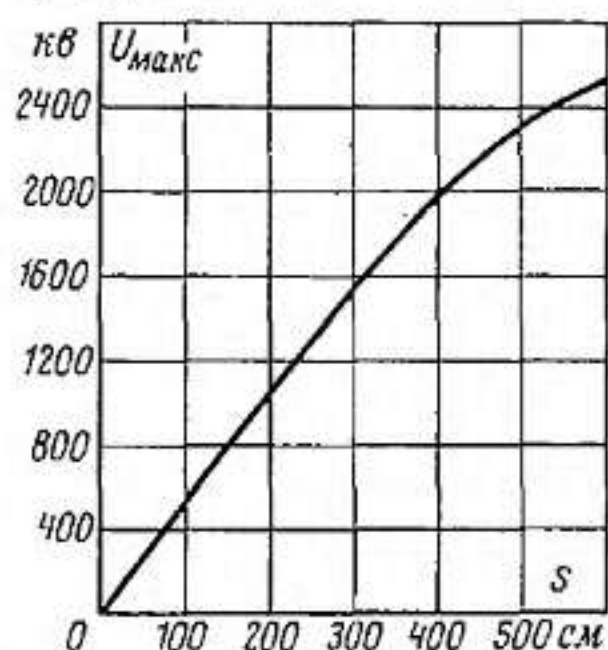


Рис. 3-2. Зависимость импульсного 50%-ного разрядного напряжения от длины воздушного промежутка между электродами стержень — заземленный стержень.

воздушных промежутков, что также в основном подтверждается и на изоляторах. Однако разрядное напряжение по поверхности изолятора отличается от пробивного напряжения между электродами в воздухе. По поверхности изолятора распределение напряженности электрического поля неравномерно. Она достигает наибольшей величины у электрода, находящегося под высоким потенциалом. В связи с этим напряжение перекрытия по поверхности изолятора ниже, чем между электродами в воздухе при таком же расстоянии. По-

этому определив приблизительно высоту изолятора по рис. 3-1 и 3-2, следует уточнить его основные размеры согласно кривым, представляющим зависимости разрядных напряжений (сухоразрядного, мокроразрядного и импульсного) однотипных изоляторов от соответствующих разрядных расстояний (см. ниже).

3.3. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ОПОРНЫХ СТЕКЛЯННЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

Опорные изоляторы для внутренних установок на 6—10 кВ

К опорным изоляторам для внутренних установок, связанным с воздушными линиями и подвергающимся коммутационным и атмосферным перенапряжениям, предъявляются требования по электрическим характери-

стикам согласно табл. 2-4, за исключением мокроразрядных напряжений. Зависимость между сухоразрядным напряжением и сухоразрядным расстоянием для опорных изоляторов на 6—10 кВ выражается следующей эмпирической формулой (по ВЭИ):

$$\left. \begin{aligned} U_{с.н} &= 20 + 3,38 L_{с.н} \\ \text{или} \quad L_{с.н} &= \frac{U_{с.н} - 20}{3,38}, \end{aligned} \right\} (3-1)$$

где $U_{с.н}$ — сухоразрядное напряжение, кВ; $L_{с.н}$ — сухоразрядное расстояние, см.

На рис. 3-3 приведена зависимость $U_{с.н} = f(L_{с.н})$. Опорные изоляторы для внутренних установок имеют обычно гладкую наружную поверхность с небольшим ребром у верхнего торца.

С целью повышения импульсного разрядного напряжения на верхнем электроде опорного изолятора на 10 кВ полезно сделать экранировку путем создания выступа. С этой точки зрения выгодно применение изоляторов с внутренней заделкой арматуры (рис. 2-7), создающей необходимую экранировку.

С целью защиты внутренней полости опорных изоляторов с наружной арматурой от увлажнения к нижнему торцу изолятора приклеивается влагонепроницаемая прокладка.

На рис. 3-4 приведена кривая зависимости импульсного напряжения опорных изоляторов от разрядного расстояния при волне 1,5/40 мксек, по которой можно проверить разрядные расстояния изолятора при перенапряжениях. Определив тип изолятора (наружная или внутренняя заделка арматуры), сухоразрядное расстояние и длину пути утечки, устанавливают остальные размеры: верхний и нижний диаметры, толщину диэлектрика со-

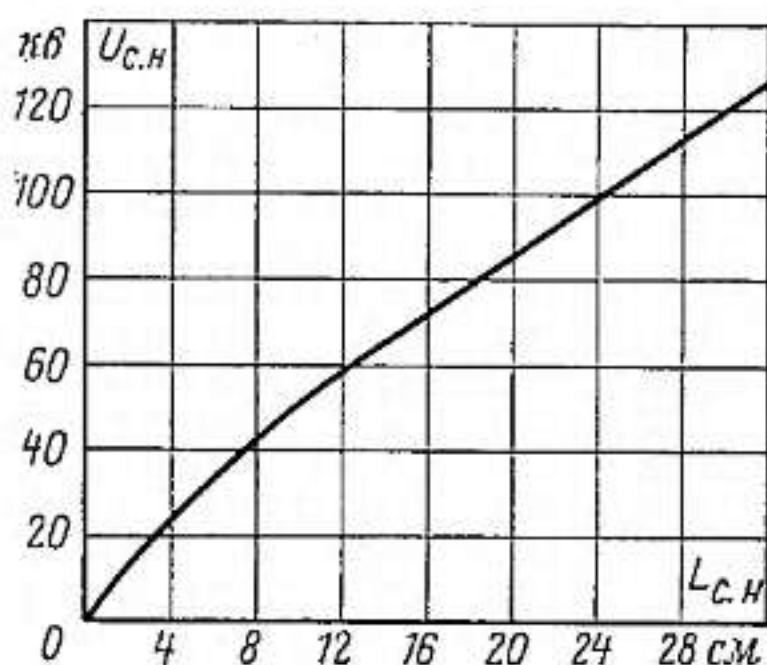


Рис. 3-3. Зависимость сухоразрядного напряжения стеклянных опорных изоляторов внутренней установки от разрядного расстояния.



Рис. 3-4. Зависимость импульсного разрядного напряжения стеклянных опорных изоляторов внутренней установки от разрядного расстояния.

10 кВ. Для более высоких напряжений этот тип изоляторов приходится изготавливать из двух или трех элементов, так же как и штыревые линейные изоляторы (рис. 2-3). Так как опорно-штыревые изоляторы предназначены для использования в наружных установках, то электрический расчет их должен исходить главным образом из требований мокроразрядных характеристик,

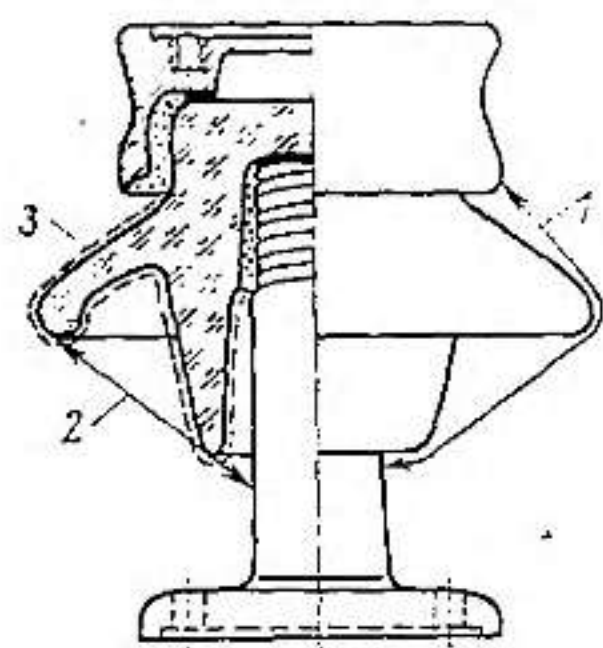


Рис. 3-5. Разрядные расстояния и путь утечки стеклянного опорно-штыревого изолятора.

1 — сухоразрядное расстояние;
2 — линия направления дождя;
3 — путь утечки по поверхности диэлектрика.

гласно механическому расчету изоляторов [Л. 24]. Кроме того, толщина диэлектрика определяется еще исходя из нормированного пробивного напряжения для изолятора и средней величины электрической прочности (табл. 1-2) для стекла данного состава.

Штыревые и опорно-штыревые изоляторы для наружных установок

Опорно-штыревые изоляторы в одном элементе (рис. 2-7,б) могут использоваться для напряжений 6 и

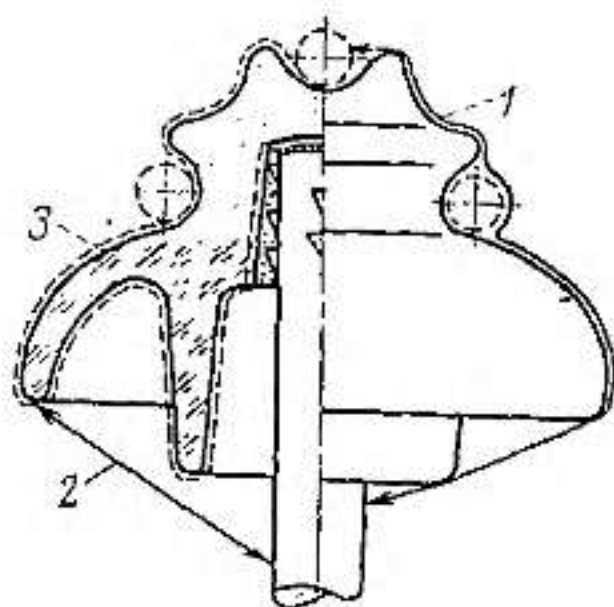


Рис. 3-6. Разрядные расстояния и путь утечки стеклянного штыревого изолятора на 10 кВ.

1 — сухоразрядное расстояние;
2 — линия направления дождя;
3 — путь утечки по поверхности диэлектрика.

устойчивости к атмосферным перенапряжениям и к загрязнениям уносами промышленных предприятий, солевыми отложениями и др.

На рис. 3-5 показаны разрядные расстояния и длина пути утечки опорно-штыревого изолятора типа ШН-10С, а на рис. 3-6 то же — штыревого линейного изолятора на 10 кВ.

Электрический расчет опорно-штыревых и штыревых линейных изоляторов идентичен и состоит прежде всего в определении разрядного расстояния по заданным (или нормированным) разрядным напряжениям на основе эмпирических зависимостей разрядных напряжений ($U_{с.н.}$, $U_{м.н.}$, $U_{имп.}$) от разрядных расстояний, которые приведены на рис. 3-7.

Эти же зависимости выражаются формулами (ВЭИ):

а) для однобочных изоляторов до 10 кВ включительно:

$$U_{с.н.} = 15 + 4L_{с.н.}, \text{ кВ}; \quad (3-2)$$

$$U_{м.н.} = 2,5L_{с.н.}, \text{ кВ}; \quad (3-3)$$

б) для двух и многобочных изоляторов:

$$U_{с.н.} = 15 + 3,95L_{с.н.}, \text{ кВ}; \quad (3-4)$$

$$U_{м.н.} = 2,5L_{с.н.}, \text{ кВ}; \quad (3-5)$$

$$U_{имп.} = 30 + 5,4L_{с.н.}, \text{ кВ}. \quad (3-6)$$

Механические и электрические характеристики выпускаемых нашей промышленностью штыревых изоляторов указаны в табл. 3-1.

Таблица 3-1

Тип изолятора	Разрушающая нагрузка, кгс	Напряжение, кВ				
		номинальное	сухоразрядное	мокроразрядное	импульсное при полной волне	при срезанной волне
ШСС-10	1 400	10	60	34	80	100
ШССЛ-10	1 400	10	60	34	80	100
ШЖБ-10с	1 400	10	90	45	90	112

При установлении наибольшего диаметра верхней юбки следует пользоваться отношением $D/H = 1,2 \div 1,3$.

Вылет юбок по отношению к расстоянию между ними принимается в пределах 0,5—0,7. Верхняя юбка выпол-

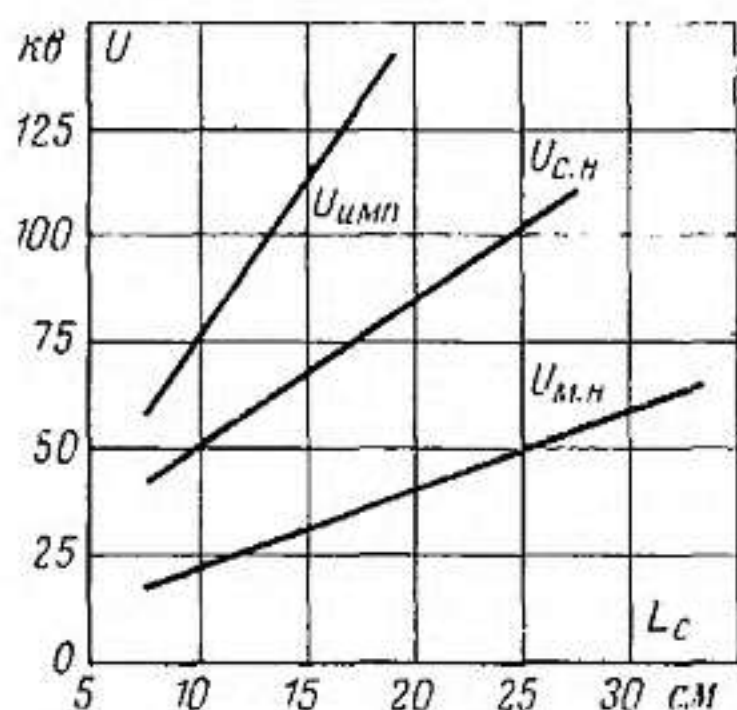


Рис. 3-7. Зависимость разрядных напряжений от сухоразрядного расстояния для штыревых и опорно-штыревых изоляторов наружной установки до 10 кВ включительно.

плечения провода или от верхней арматуры до нижнего края юбки должна также соответствовать минимально допустимому изоляционному расстоянию согласно требованию ПУЭ. Указанное изоляционное расстояние по воздуху должно быть не меньше:

Для штыревых изоляторов 6—10 кВ	15 см
То же 20 кВ	25 см
То же 35 кВ	35 см

Диаметр и глубина внутренней полости штыревого изолятора определяются в зависимости от способа крепления штыря.

Например, при креплении штыря в линейном штыревом изоляторе посредством переходной резьбовой втулки, внутренний диаметр корпуса определяется диаметром штыря, двумя зазорами для цементирующей связи и двумя толщинами втулки. При креплении же штыря на болке или пеньке внутренний диаметр полости должен быть на 4—6 мм больше диаметра штыря в зависимости от типа изолятора. При креплении штыря в опорно-штыревом изоляторе посредством армировочной связки предусматривается зазор 4—5 мм между штырем и корпусом.

Толщина стенки корпуса устанавливается в зависимости от нормируемого пробивного напряжения (см. табл.

няется большего диаметра, чем нижняя, с целью повышения мокроразрядного напряжения изолятора. Расстояние от края нижней юбки до штыря — не менее 40 мм для изоляторов 6—10 кВ и не менее $2U_{\text{ном}} + 10$ мм для изоляторов 20—35 кВ.

Отношение пути утечки к сухоразрядному расстоянию принимается 1,75—1,9 для одноэлементных изоляторов и 2,0—2,2 для двух- и многоэлементных.

Найденная по кривым рис. 3-7 или формулам (3-2) — (3-6) высота изоляционного корпуса от места кре-

1-2). Обычно толщина стенки штыревого изолятора 6 и 10 кв составляет 10—15 мм. Глубина полости должна быть не меньше размера двух диаметров штыря. Для двух- и многоэлементных изоляторов толщина стенки устанавливается следующим образом.

Пробивное напряжение штыревого изолятора должно быть не меньше $1,3U_{с.н.}$

Например, для изолятора 35 кв при $U_{с.н.}=120$ кв

$$U_{пр}=1,3 \cdot 120=156 \text{ кв.}$$

Такое пробивное напряжение может выдержать изолятор с толщиной стенки

$$\frac{U_{пр}}{E_{пр.ср.}} = \frac{156}{3} = 52 \text{ мм.}$$

Так как изготовить изолятор с такой толщиной стенки затруднительно, то приходится применить несколько элементов с толщиной каждого 10—15 мм, т. е. $52/15 \approx 3$ элемента.

При установлении толщины стенки корпуса надо также учитывать неравномерность распределения напряжения между отдельными элементами многоэлементного штыревого изолятора. Так, на верхний элемент двухэлементного штыревого изолятора падает около 60%, а на нижний элемент 40% всего напряжения.

Расчет диаметра штыря штыревого изолятора на механическую прочность производится по обычной формуле деформации изгиба:

$$d_{ш} = \sqrt[3]{\frac{Pe^4}{\sigma_{изг}\pi}}, \quad (3-7)$$

где P — минимальная разрушающая нагрузка, кгс; e — расстояние от точки приложения силы P до сечения в наиболее опасном месте, см; $\sigma_{изг}$ — напряжение на изгиб, кгс/см².

Исходя из вышеуказанных расчетов вычерчивается эскиз изолятора. При этом необходимо учитывать следующее:

1) радиусы канавок выбираются в зависимости от радиуса провода; 2) боковая канавка должна располагаться на линии ниже линии верхнего торца штыря; в этом случае диэлектрик будет работать главным образом на сжатие, временное сопротивление при котором

значительно выше, чем при растяжении или изгибе; 3) нужно предусматривать зазор 2—3 мм для заполнения армировочной связкой между головками соседних элементов; 4) следует избегать острых углов в переходах от одной плоскости к другой, радиусы закруглений должны быть не меньше 3 мм.

3-4. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ПОДВЕСНЫХ СТЕКЛЯННЫХ ИЗОЛЯТОРОВ ТАРЕЛЬЧАТОГО ТИПА

При проектировании подвесных изоляторов необходимо прежде всего определить требуемую длину гирлянды исходя из нормированных разрядных напряжений, ука-

Таблица 3-2

Класс изоляции, кВ	20	35	110	150	220	330
Мокроразрядное напряжение, кВ	57	78	215	295	430	555

занных в табл. 3-2 для классов изоляции 330 кВ включительно (по ПУЭ).

При расчетах линейной изоляции для линий электропередачи 500 кВ и выше основной характеристикой является значение разрядного напряжения при коммутационных перенапряжениях.

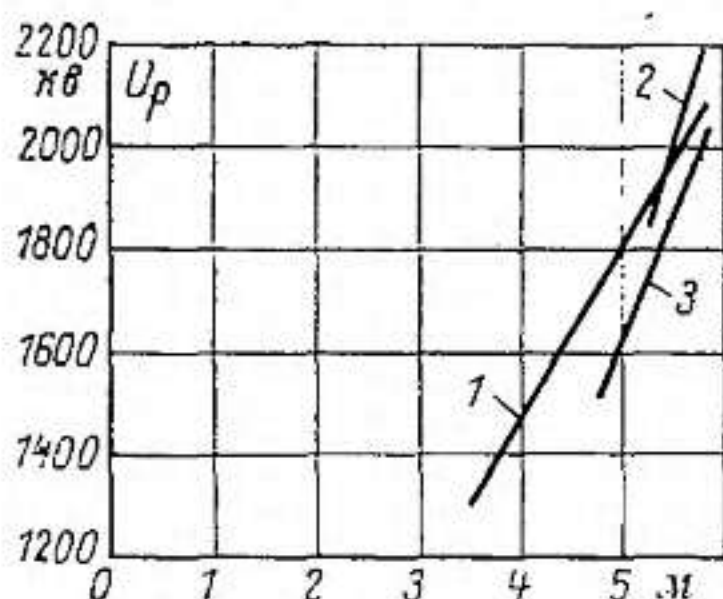


Рис. 3-8. Зависимость разрядных напряжений подвесных изоляторов типа ЛС-30 от длины гирлянд при коммутационных перенапряжениях.

1 — сухоразрядное напряжение при положительной полярности; 2 — мокроразрядное напряжение при положительной полярности; 3 — то же при отрицательной полярности.

Значения разрядных напряжений различной длины гирлянд из подвесных изоляторов, измеренные при коммутационных перенапряжениях обеих полярностей, приведены на рис. 3-8.

Те же напряжения при отрицательной полярности в 1,3 раза выше.

Длина гирлянды L_r определяется по формуле

$$L_r = U_{м.н} / g_{м.н}, \text{ см. (3-8)}$$

где $U_{м.п}$ — мокроразрядное напряжение, кВ; $g_{м.п}$ — мокроразрядный градиент изолятора, кВ/см.

Средние разрядные градиенты подвесных изоляторов составляют (кВ/см):

$g_{с.п}$	2,5—2,8
$g_{м.п}$	2,0—2,2
$g_{нмп\pm}$	5,5

Величины, приведенные во втором столбце, действительны для длинных гирлянд.

В табл. 3-3 приведены длины гирлянд, рассчитанные согласно формуле (3-8) и исходя из среднего мокроразрядного градиента 2,2; для сравнения приведены длины гирлянд, рекомендуемые ПУЭ.

Таблица 3-3

Класс изоляции	$U_{м.п}$, кВ	$L_r = \frac{U_{м.п}}{g_{м.п}}$, см	L_r по ПУЭ, см
110	215	97,7	100
150	295	134	140
220	430	195	200
330	555	251	260
500	750	341	320
750	900	410	—

ПУЭ также рекомендуются наименьшие изоляционные расстояния по воздуху между токоведущими и заземленными частями для различных изоляторов, исходя из атмосферных перенапряжений.

Указанные расстояния приведены в табл. 3-4.

Таблица 3-4

Типы изоляторов	Класс изоляции, кВ							
	10	20	35	110	150	220	330	500
Подвесные серии ПФ	20	40	45	115	150	200	260	320
Подвесные серий ПС и ПФ (малогабаритные)	20	34	40	100	140	200	260	320

Найдя длину гирлянды, устанавливаются основные размеры изоляторов.

Для подвесных изоляторов рекомендованы следующие практические соотношения отдельных размеров.

Отношение конструктивной высоты H к наибольшему диаметру тарелки D должно быть не больше 0,60 (желательно 0,55), отношение сухоразрядного расстояния l_p к конструктивной высоте H должно быть не меньше 1,25 (желательно 1,4), отношение длины пути утечки l_y к H — не меньше 2,2 и l_y/D желательно 1,1—1,2. Увеличение отношения l_p/H можно осуществить или увеличением диаметра тарелки D , или снижением конструктивной высоты H .

Увеличение диаметра тарелки вызывает технологические трудности и приводит к увеличению массы, что невыгодно экономически. Уменьшение высоты изолятора целесообразно осуществлять за счет металлических дета-

Таблица 3-5

Тип изолятора	Размеры, см							Электрические характеристики	
	H	D	d	h	a	l_p	l_y	$U_{м.н.}$ кв	$U_{м.н.}/l_p$ кв/см
ПС6-А	13,0	25,5	1,6	9,2	11,7	20,1	25,5	40	1,99
ПС12-А	14,0	26,0	1,6	10,8	12,0	20,5	33,0	50	2,43
ПС16-Б	17,0	28,0	2,0	11,3	13,0	22,3	35,0	50	2,23
ПСГ16-А	16,0	32,0	2,0	12,8	14,8	29,0	48,0	60	2,06
ПСГ16-Б	18,0	35,0	2,0	12,8	15,6	24,8	54,0	60	2,41
ПС22-А	20,0	32,0	2,0	14,2	15,0	25,5	45,0	55	2,15
ПС30-А	21,7	32,0	2,4	15,0	14,8	24,5	35,0	50	2,05
ПСГ30-А	19,0	37,0	2,4	14,7	17,2	28,5	48,0	50	1,75

Продолжение табл. 3-5

Тип изолятора	Соотношения размеров					Электрические характеристики	
	H/D	h/a	l_p/H	l_y/H	l_y/D	$U_{м.н.}$ кв	$U_{м.н.}/l_p$ кв/см
ПС6-А	0,51	0,79	1,55	1,96	1,0	40	1,99
ПС12-А	0,54	0,90	1,46	2,12	1,27	50	2,43
ПС16-Б	0,60	0,87	1,31	2,06	1,25	50	2,23
ПСГ16-А	0,50	0,86	1,81	3,0	1,50	60	2,06
ПСГ16-Б	0,56	0,82	1,38	3,0	1,54	60	2,41
ПС22-А	0,62	0,95	1,27	2,25	1,40	55	2,15
ПС30-А	0,68	1,01	1,16	1,61	1,09	50	2,05
ПСГ30-А	0,51	0,85	1,50	2,52	1,30	50	1,75

Примечание. H — конструктивная высота изолятора; D — наибольший диаметр тарелки; d — диаметр стержня; h — высота шапки; a — вылет тарелки до стержня; l_p — разрядное расстояние; l_y — длина пути утечки.

лей (шапки и стержня), являющихся паразитными вспомогательными частями в конструкции изолятора. Установлено, что подвесные изоляторы с наименьшими размерами шапок имеют и наилучшие соотношения элементов изоляторов, а следовательно, и наиболее высокие разрядные характеристики.

Стеклянные изоляторы с лучшими соотношениями конструктивных элементов имеют более высокие разрядные характеристики, что следует из табл. 3-5. Вследствие этого в гирлянде может быть принято меньшее количество изоляторов или, сохранив то же количество изоляторов в гирлянде, можно повысить разрядные характеристики.

Диаметр тарелки изолятора определяется или из формулы

$$D = H/0,55, \text{ см} \quad (3-9)$$

или через отношение l_p/H , которое желательно иметь 1,3—1,4:

$$l_p = H/1,4, \text{ см.}$$

Для определения D в этом случае следует вычертить предварительный эскиз гирлянды из нескольких элементов, исходя из найденной высоты изолятора и намечаемого диаметра тарелки; провести линию, соответствующую разрядному расстоянию гирлянды L_p , и, таким образом узнать максимальный диаметр.

При построении формы тарелки необходимо обеспечить требуемую удельную длину пути утечки.

В то же время необходимо учесть, что высота ребер на нижней поверхности тарелки должна примерно равняться расстоянию между ребрами, размер толщины ребер принимать минимальным.

Тарелка подвесных изоляторов для поддерживающих гирлянд должна иметь некоторый наклон от головки к периферии.

Толщина стенки диэлектрика зависит от электрической и механической прочности материала и находится по формуле

$$S = U_{\text{пр}}/E_{\text{пр}}, \text{ мм}, \quad (3-10)$$

где $U_{\text{пр}}$ — пробивное напряжение изолятора, кВ; $E_{\text{пр}}$ — удельная электрическая прочность диэлектрика, кВ/мм.

Практически размер толщины стенки головки изолятора не превышает 20 мм, что также обеспечивает и требования к механической прочности изолятора.

Учитывая соображения, изложенные в гл. 2 относительно электрической прочности стеклянного диэлектрика, следует считать приведенные расчеты подвесных изоляторов на пробивное напряжение ориентировочными.

Величину минимального пробивного напряжения подвесного изолятора можно определить следующим образом.

Зная фазное напряжение гирлянды U_{ϕ} и напряжение на самом нагруженном элементе гирлянды $U_{\phi 1}$, можно узнать величину требуемого пробивного напряжения изолятора по формуле

$$U_{\text{пр}} = k U_{\phi 1} \quad (3-11)$$

или

$$U_{\text{пр}} = k_1 U_{\text{с.н.}}$$

где k_1 — коэффициент запаса электрической прочности, равный 1,3—1,5.

Указанный коэффициент запаса электрической прочности изолятора необходим при электрических испытаниях, а также при возможных перенапряжениях, так как при отсутствии необходимого запаса электрической прочности на пробой может произойти пробой диэлектрика до наступления разряда по поверхности.

Шапка подвесного изолятора воспринимает на себя в нижней части всю механическую нагрузку, передаваемую через два слоя цементной связки и стеклянную деталь от стержня изолятора. В верхней части через захват (ушко) передается все усилие нагрузки на соседний изолятор гирлянды или на сцепную арматуру.

Таким образом, от правильной конструкции шапки зависит прочность подвесного изолятора, поэтому наиболее ответственным деталям шапки, в частности нижнему коническому ребру, подпирающему головку изолятора, и захвату шапки, придают достаточную жесткость. Более подробно вопросы конструирования шапок подвесных изоляторов изложены в соответствующей литературе [Л. 24].

3-5. ВЫБОР ТИПА ИЗОЛЯТОРОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Выбор изоляции и типа изоляторов является одним из разделов проектов расщредустройств и линий электропередачи и производится на основе технического задания, в котором должны быть указаны: номинальное

напряжение, принятые уровни изоляции, расчетные механические нагрузки (для ЛЭП отдельно: на поддерживающие и натяжные гирлянды), климатические и атмосферные условия, высота расположения над уровнем моря, материал опор ЛЭП.

Выбор изоляторов для электроустановок до 35 кВ

Выбор опорных, опорно-штыревых и штыревых линейных стеклянных изоляторов до 35 кВ сводится к определению (по каталогам) типа изолятора с соответствующими номинальным напряжением и механической прочностью. При выборе линейной изоляции необходимо учитывать материал опор и местонахождение линии электропередачи.

Так, для металлических и железобетонных опор нашей промышленностью выпускается специальный стеклянный штыревой изолятор на 10 кВ ШЖБ-10с.

Для напряжения выше 10 кВ нашей промышленностью еще не выпускаются стеклянные линейные и аппаратные изоляторы. При выборе линейных штыревых стеклянных изоляторов на 20—35 кВ необходимо учитывать технико-экономические соображения, так как возможны разные варианты применения изоляторов.

Например, на промежуточных опорах ЛЭП 35 кВ возможно применение стеклянных штыревых изоляторов, а на анкерных (угловых) опорах — штыревых или подвесных изоляторов в зависимости от марки провода.

Выбор изоляторов линий 110 кВ и выше

Как указывалось выше, разрядная прочность подвесного изолятора зависит от габаритных размеров, количества и формы ребер и разрядного расстояния.

Разрядная характеристика гирлянды подвесных изоляторов не представляет собой сумму разрядных характеристик отдельных элементов, так как разряд по гирлянде развивается не так, как на отдельном элементе, что видно из рис. 3-9 (см. расстояние L_p).

Что касается разрядных расстояний подвесных изоляторов, то из рис. 3-9 видно, что l_p изолятора в гирлянде также несколько отличается от l'_p одиночного подвесного изолятора.

Величина средней разрядной напряженности гирлянды $E_{\text{ср}} = U_p / H$ из тарелочных подвесных стеклянных изоляторов современной конструкции определяется отношением суммы разрядных расстояний отдельных изоляторов гирлянды Σl_p к конструктивной высоте гирлянды H , причем наибольшая $E_{\text{ср}}$ соответствует наибольшему отношению $(\Sigma l_p) / H$. Как указывалось выше, величина этого отношения для подвесных изоляторов тарелочного типа должна быть не ниже 1,3.

В табл. 3-6 приведены значения E_r в зависимости от $U_{\text{м.п.}} / L_p$, а также удельная длина пути утечки гирлянды $L_y / U_{\text{раб.макс}}$, где $L_y = \Sigma l_y$.

Как видно из табл. 3-6, наиболее высокие значения удельных показателей средней разрядной напряженности и удельной длины пути утечки имеют те изоляторы, у которых наиболее высокие отношения L_p / H (следует сравнивать гирлянды примерно одинаковой длины).

При выборе изоляции для районов с сильно загрязненной атмосферой СИГРЭ [Л. 4] рекомендуется принимать отношение $L_y / U_{\text{пом}} = 3,5$ см/кв, при более слабых загрязнениях $L_y / U_{\text{пом}} = 2,2 \div 2,5$ см/кв, в особо чистых районах 1,3—1,35 см/кв, в особо неблагоприятных районах (прибрежье морей и др.) 4—4,4 см/кв.

В Советском Союзе при выборе изоляции рекомендуется пользоваться величинами L_y , указанными в табл. 3-7.

При выборе типа подвесного изолятора и количества элементов в гирлянде необходимо учитывать то обстоятельство, что изоляторы в гирлянде электрически нагру-

жены неравномерно. Подвесной стеклянный изолятор тарельчатого типа, как и фарфоровый, представляет собой конденсатор, у которого шапка и стержень являются электродами, а стекло — диэлектриком, заключенным между

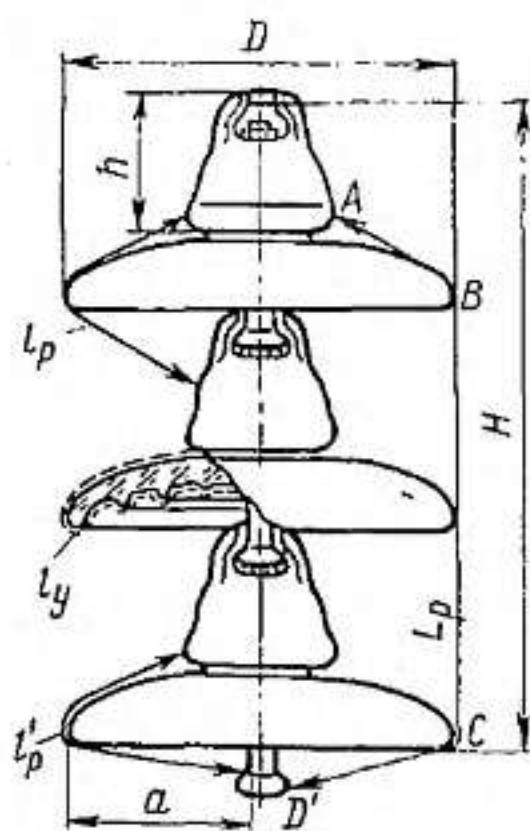


Рис. 3-9. Разрядные расстояния и путь утечки подвесных стеклянных изоляторов.

l'_p — разрядное расстояние одиночного подвесного изолятора; l_p — разрядное расстояние подвесного изолятора в гирлянде; $ABCD'$ — разрядное расстояние гирлянды подвесных изоляторов L_p ; l_y — путь утечки по поверхности подвесного изолятора; H — длина гирлянды; h — высота шапки; a — вылет тарелки; D — диаметр тарелки.

Таблица 3-6

Размеры гирлянды, см

Тип изолятора	Количество элементов в гирлянде	Длина гирлянды L_r	Разрядное расстояние гирлянды L_p	Мокроразрядное напряжение* гирлянды $U_{м.п.}$, кВ	Средняя электрическая напряженность $E_{ср}$, кВ/см	Длина пути утечки гирлянды L_y , см	Удельная длина пути утечки гирлянды $L_y/U_{раб. макс.}$ см/кВ
ПС6-А	3	39	46,5	109	2,34	76,5	1,89
	6	78	85,5	217	2,54	153	1,24
	8	104	111,5	289	2,62	204	1,62
	10	130	137,5	361	2,63	255	1,48
	12	156	163,5	432	2,67	306	1,78
	14	182	189,5	504	2,64	357	1,41
	16	208	215,5	575	2,65	408	1,39
ПС12-А	7	98	104,7	287	2,79	230	1,83
	8	112	118,7	328	2,77	264	2,10
	12	168	174,7	492	2,83	365	1,44
	16	224	244,7	656	2,92	526	1,45
ПС22-А	15	300	305,5	670	2,23	675	1,87
ПС30-А	27	585	589,5	2 030**	2,93***	945	1,21

* Величины $U_{м.п.}$ гирлянд из изоляторов ПС6-А и ПС12-А указаны по данным НИИПТ, из изоляторов ПС22-А и ПС30-А — по данным ВЭИ.

** Приведено импульсное мокроразрядное напряжение при положительной полярности.

*** Приведена средняя электрическая напряженность при импульсном мокроразрядном напряжении $U_{м.п.имп}/L_r$, кВ/см.

ними. Гирлянда из подвесных изоляторов представляет собой цепочку из конденсаторов примерно одинаковой емкости C , соединенных последовательно. Кроме собственной емкости изоляторов C имеются также емкости C_1 — между каждым изолятором и землей и емкости C_2 — между каждым изолятором и проводом.

Таблица 3-7

Номинальное напряжение, кВ	Длина пути утечки линейной изоляции, см, при удельной длине пути утечки $L_y/U_{п.}$, см/кВ			
	1,35	1,7	2,6	3,5
110	148,5	187	286	385
150	203	255	390	525
220	294	374	572	770
330	445	560	856	1 151
500	675	850	1 300	1 750
750	1 020	1 270	1 950	2 620

Емкости C изоляторов — величины постоянные для всех подвесных изоляторов данного типа по всей гирлянде и составляют 30—60 пф в зависимости от размеров шапки, свойств диэлектрика и др. [Л. 7, 12]. Емкости C_1 также примерно одинаковы и составляют 4—10 пф, т. е. значительно меньше C , емкости же по отношению к проводу $C_2 = 0,7 \div 0,9$ пф различны по длине гирлянды и зависят от места расположения изолятора в гирлянде. На рис. 3-10, а представлена емкостная схема замещения гирлянды подвесных изоляторов тарельчатого типа, из

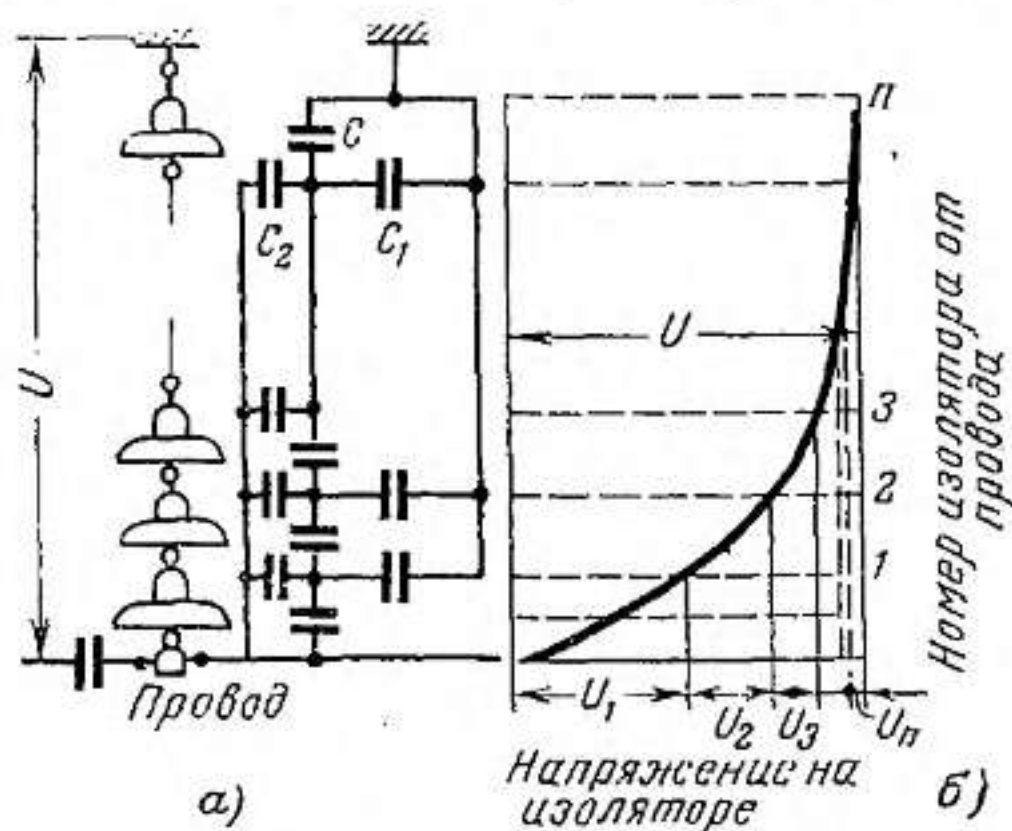


Рис. 3-10. Распределение напряжения по гирлянде из подвесных стеклянных изоляторов.

а — емкостная схема замещения гирлянды изоляторов; б — распределение напряжения по гирлянде.

которой видно, что наибольшее падение напряжения происходит на изоляторах у провода и затем постепенно уменьшается по направлению к траверсе (земле). Графически распределение напряжения по гирлянде из подвесных изоляторов изображено на рис. 3-10, б. При выборе изоляции приходится считаться с тем обстоятельством, что в гирлянде на первый и второй элементы от провода падает значительная часть фазного напряжения. Например, для 7-элементной гирлянды из стеклянных изоляторов типа ПС6-А при фазном напряжении 72,8 кВ на первый элемент от провода падает 14,2 кВ, или 19,5%, на последний 10% фазного напряжения, или 7,2 кВ. Коэффициент неравномерности K составляет в этом случае

$14,2/7,2 \approx 2$; для 12-элементной гирлянды $K=2,12$ и т. д.

На рис. 3-11 представлено перераспределение напряжения на гирлянде из семи подвесных изоляторов при пробое третьего изолятора, считая от провода: вместо нормального напряжения на соседнем четвертом изоляторе 5 кВ напряжение перераспределилось и составило 8,5 кВ.

В табл. 3-8 приведены измеренные методом шарового разрядника величины напряжений, падающих на 1-й и 2-й изоляторы гирлянд (считая от провода), для номинальных напряжений 110—220 кВ.

Учитывая то обстоятельство, что коронное напряжение изоляторов ПСБ-А составляет 21—22 кВ, можно считать, что радиопомех от коронирования на этих изоляторах при напряжении до 150 кВ включительно не будет. Что же касается напряжения выше 150 кВ, то наличие на линии электропередачи быстродействующих систем защиты (разрядники, АПВ и пр.), мгновенное снятие напряжения при перенапряжениях (сотые доли секунды) обеспечивают отсутствие короны.

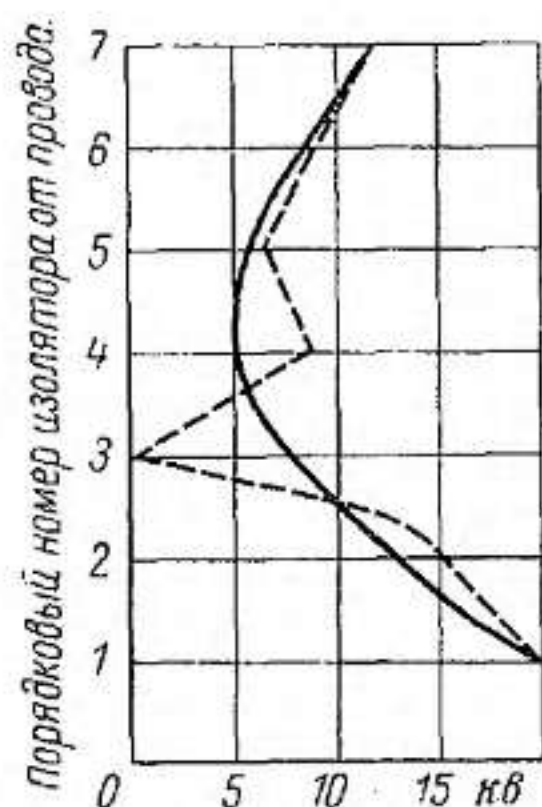


Рис. 3-11. Перераспределение напряжения на гирлянде из семи подвесных изоляторов при пробое третьего изолятора, считая от провода.

Таблица 3-8

Класс изоляции, кВ	Количество изоляторов в гирлянде	Напряжение, кВ	
		на 1-м изоляторе от провода	на 2-м изоляторе от провода
110	7	14,2	11,9
150	9	18,8	14,35
220	12	25,8	20,7

Примечание. Таблица составлена по данным Н. А. Николаева [Л. 12].

Наибольшая неравномерность и большие значения K наблюдаются в длинных гирляндах из 20 и более элементов. При отсутствии каких-либо мер по улучшению неравномерности распределения напряжения значения K достигают 3—4 и выше в гирляндах 330, 500 и 750 кВ.

Выравнивания напряжения по гирлянде можно добиться применением подвесных изоляторов различной емкости, установкой на первых элементах от провода защитных устройств, увеличивающих емкость изоляторов, применением полупроводящих покрытий, целью которых является увеличение проводимости отдельных изоляторов.

Однако применение в гирляндах изоляторов различной емкости технологически неприемлемо и для эксплуатации представляло бы значительные трудности по сортировке изоляторов, и поэтому практически этот метод не применяется. Полупроводящие покрытия или поверхностные полупроводящие слои для стеклянных изоляторов еще не разработаны, хотя этот метод может оказаться перспективным.

По мнению Н. А. Николаева [Л. 12], распределение напряжения по гирлянде из стеклянных изоляторов типа ПС из щелочного стекла более равномерно, чем по гирлянде из фарфоровых изоляторов. Автор считает, что это происходит за счет повышенного $\lg \delta$ и нагрева изоляторов в допустимых пределах, что даже полезно для изоляторов при напряжениях 330 кВ и выше. Д. Ривьер также доказывает [Л. 7], что высокая удельная емкость стеклянных подвесных изоляторов влияет на лучшее распределение напряжения по гирлянде, а также повышает сухоразрядное напряжение.

Наиболее эффективным средством для выравнивания напряжения по гирлянде является применение защитных устройств на конце гирлянды (у провода). Такие устройства в виде различных конструкций защитной арматуры имеют целью увеличить емкость первых изоляторов от провода, вследствие чего на этот изолятор падает меньшее напряжение. Одновременно защитная арматура защищает изоляторы в длинных гирляндах от воздействия каскадирующих разрядов при атмосферных и коммутационных перенапряжениях.

Расчет и конструирование защитной арматуры являются специальным разделом при проектировании электрооборудования и линий электропередачи и в настоящей книге не рассматриваются.

Следует отметить, что в практике эксплуатации в СССР в настоящее время пришли к заключению о том, что в связи с наличием высокоэффективных способов защиты линий электропередачи от атмосферных и коммутационных перенапряжений имеется возможность

отказаться от защитной арматуры, что уже практически осуществляется и себя оправдало.

К таким способам защиты относятся вентильные и трубчатые разрядники, грозозащитные тросы, мощные реакторы, выключатели с АПВ с временем отключения линии до сотых долей секунды и др.

ПУЭ дает рекомендации по количеству подвесных изоляторов в гирлянде для всех классов изоляции. Эти данные приведены в табл. 3-9.

Таблица 3-9

Класс изоляции, кВ	Тип изолятора				
	ПС6-А	ПС12-А	ПС16-А ПС16-Б	ПС22-А	ПС30-А
35	3/4	3/4	—	—	—
110	7/8	7/7	—	—	—
150	9/10	8/8	—	8/9	—
220	13/14	12/12	—	10/10	—
330	19/19	16/16	16/16	14/14	—
500	—	23/23	23/23	19/19	19/19
750	—	—	—	—	27/27

Примечания: 1. Количество изоляторов в гирлянде указано для металлических и железобетонных опор, при деревянных опорах—можно уменьшить на один элемент.

2. В числителе дроби указано количество изоляторов для поддерживающей гирлянды, в знаменателе—для натяжной.

3. Количество изоляторов указано для районов с нормальной атмосферой.

При высоте 1 000—2 500 м над уровнем моря для линий до 150 кВ и больше, 1 000—2 000 м над уровнем моря для линий 220—500 кВ к указанному в табл. 3-9 количеству изоляторов прибавляется по одному изолятору.

Также прибавляется к гирляндам по одному изолятору на каждые 10 м высоты опоры на переходах с высотой опоры больше 40 м.

Кроме технических расчетов выбора гирлянд и типа подвесного изолятора для каждой гирлянды, необходимо также учитывать методы технико-экономических расчетов выбора изоляции в зависимости от различных факторов, как-то: надежность работы изоляции в расчетных различных режимах эксплуатации и минимум затрат при строительстве и эксплуатации [Л. 22].

Эти расчеты производятся при проектировании ВЛ и в настоящей книге не рассматриваются.

3-6. ВЫБОР ИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ РАЙОНОВ С ЗАГРЯЗНЕННОЙ АТМОСФЕРОЙ

Вопросы механизма загрязнений, характеристик различных загрязнений, процесса перекрытий загрязненных изоляторов и методики выбора изоляции для районов с усиленными загрязнениями атмосферы в последние годы стали предметом исследований многочисленных организаций. К ним относятся ряд работ ЛПИ им. М. И. Калинина [Л. 14], ВЭИ им. В. И. Ленина [Л. 23], НИИПТ, ОРГРЭС и др., а также зарубежных авторов. Такое большое внимание к работе изоляции в условиях загрязнения объясняется все возрастающей необходимостью строительства электростанций и линий электропередачи в различных районах при условии прохождения линий электропередачи большой протяженности через промышленные районы, вдоль берегов морей и др. Повреждения линий из-за перекрытия линейной изоляции достигают значительных величин, например в Англии в сетях 132 кВ за 1950—1955 гг. аварийность из-за перекрытия изоляции достигла 0,37 случаев на каждые 100 км линий в год. Такое же положение имеет место в ФРГ и во многих других странах.

В Советском Союзе из-за загрязнений имели место перекрытия линейной изоляции: 1948 г. — 3,6% из общего числа повреждений; 1949 г. — 5,5%; 1950 г. — 5,6%; 1951 г. — 8,8%; 1952 г. — 6,1%; 1967 г. — 14,2%; 1969 г. — 28,6%.

Из перечисленных повреждений наибольшее количество произошло из-за загрязнения изоляторов морской солью и химическими уносами предприятий.

Виды загрязнений весьма разнообразны и зависят от источника загрязнения; так, в промышленных районах преобладают газовые уносы заводов: металлургических, химических, коксохимических и др., уносы пылевые: топочные, цементные и др.; солевые отложения морей и солончаков. При сухих пылевых отложениях изоляторы могут самоочищаться ветром, такая же самоочистка некоторых отложений может производиться и сильным дождем. При увлажнении же отложений (например, цемента, солончаковой пыли, топочных уносов и др.) туманом, росой на изоляторе образуется проводящая пленка, плохо поддающаяся очистке, по такой пленке протекают

токи утечки, могущие вызвать перекрытие, а при деревянных опорах и возгорание опор. При приложении напряжения к такому изолятору, под действием тока утечки загрязненный и увлажненный слой подсушивается. Это вызывает рост напряжения на подсушенных участках и частичные перекрытия, могущие перейти в полное перекрытие.

Перекрытие изоляторов может произойти при рабочем напряжении. При перенапряжениях же перекрытия может и не произойти в виду того, что загрязненный слой за весьма короткий промежуток времени (доли секунды) не успеет подсохнуть и напряжение не поднимется до критического.

Перекрытие гирлянды загрязненных изоляторов происходит в случае, когда один из изоляторов, высохший раньше других, перекрывается под воздействием фазного напряжения (например, первый от провода).

Влияние степени увлажнения загрязненной поверхности влагоразрядного напряжения $U_{вр}$ приведено на рис. 3-12.

Как видно из рис. 3-12, $U_{вр}$ при увлажнении до 10 мг/см^2 резко снижается, затем даже несколько повышается при увлажнении $16\text{—}18 \text{ мг/см}^2$. Это значит, что при очень сильном увлажнении (например, дожде), загрязненный слой начинает сползать с поверхности изолятора, вследствие чего напряжение повышается.

Это положение подтверждается и второй кривой, выражающей зависимость поверхностного сопротивления загрязненного слоя R , которая также имеет ту же тенденцию, что и кривая $U_{вр}$.

При выборе изоляции линии, проходящей по загрязненным районам, необходимо знать характеристику загрязнений. Руководящими указаниями [Л. 17] рекомендуются минимальные удельные длины пути утечки изоляции для каждого района в зависимости от степени загрязнения, которые приведены в табл. 3-10.

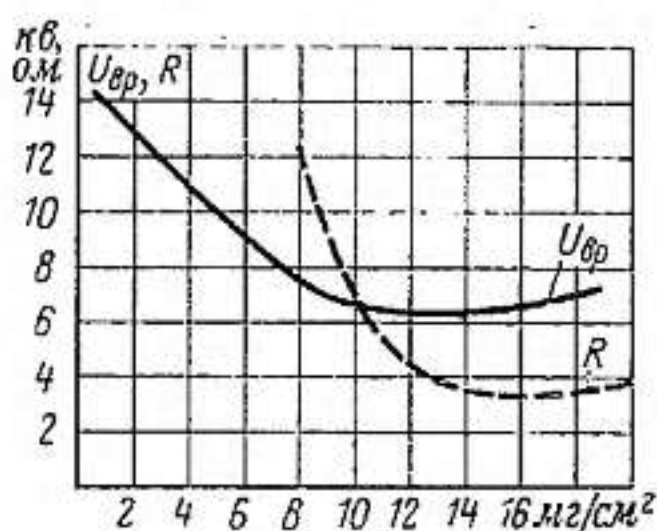


Рис. 3-12. Зависимость величины влагоразрядного напряжения и поверхностного сопротивления от степени увлажнения загрязненной поверхности изолятора.

$U_{вр}$ — влагоразрядное напряжение; R — поверхностное сопротивление.

Таблица 3-10

Степень загрязне- ния атмосферы	Характеристика местности	Категории исполнения изоляции	Минимальная удельная длина пути утечки, см/кв	
			с заземлен- ной нейт- ралью (110— 500 кв)	с изолирован- ной нейтралью (3—35 кв)
0	Особо чистые районы	О—облег- ченная изоляция	1,2	1,2
I	Населенные и промыш- ленные районы	A ₁ —нор- мальное исполнение	1,3	1,7
II	Промышленные райо- ны, не подвержен- ные вовсе или уме- ренно загрязнению соленой пылью	B—усилен- ное испол- нение	2,25	2,6
III	Районы с интенсивным загрязнением соле- ной пылью	B—вторая степень усиления	3,0	3,5

Примечание. Таблица приводится в сокращенном виде.

— Некоторые авторы классифицируют районы по другим показателям. Так, Р. Т. Левшунов и А. П. Новиков [Л. 19] предлагают определять районы в зависимости от удельных электрических сопротивлений слоя загрязнения (табл. 3-11).

Как показал эксплуатационный опыт и исследования ВЭИ [Л. 15], наиболее опасным для изоляции являются увлажненные отложения солевых уносов морей, солончаков и уносов промышленных предприятий.

Электрические характеристики таких отложений приведены в табл. 3-11.

Из табл. 3-12 видно, что наиболее низкое разрядное напряжение имеют солевые отложения. По адгезии к поверхности изоляторов различаются следующие виды загрязнений:

- а) сухие — хорошо сдуваемые ветром;
- б) липкие — цементируются на поверхности и плохо сдуваются ветром.

Промышленные уносы, химические удобрения на пашнях наносятся на поверхность изоляторов обычно сверху, уносы же солончаковые, песчаные — снизу. Однако большей частью уносы бывают комбинированные.

Таблица 3-11

Характеристика района	Поверхностное сопротивление слоя загрязнения, ком
Лесной (чистый)	300—1 000
Почвенная пыль	100—300
Металлургический комбинат	9,30
Титано-магниевый комбинат	23,0
Коксохимический, алюминиевый, стекольный заводы	8,5
Цементный, ферросплавный заводы	5,5
Солончаки, химзаводы, побережье моря	8,5
Морские солевые уносы	7,0

Борьба с загрязнениями наружной изоляции сводится к следующим мероприятиям:

1. Строительство объектов вне загрязняемых зон или применение закрытых распылителей. Это мероприятие имеет ограниченное применение и может касаться главным образом аппаратной изоляции.

2. Меры, принимаемые по очистке загрязнений в эксплуатации. Сюда относятся обмывка изоляции под напряжением или с выключением линии, обтирка изоляторов щетками и, наконец, смазка изоляторов различными пастами, например кремнийорганическими и др.

Таблица 3-12

Вид пыли	% растворимых солей	Разрядное напряжение, кв
Топочные уносы	0,7—0,9	9,6—10,1
Пыль алюминиевого комбината	2,8	10,6
Солевые отложения	17—20	6,45

Все эти мероприятия трудоемки, дорогостоящи и не дают должного эффекта.

3. Применение изоляторов специальных конструкций и усиление изоляции путем увеличения изоляционных расстояний.

Усиление изоляции путем увеличения количества изоляторов иногда применяется как вынужденное решение, так как усложняет установку и удорожает эксплуата-

цию. Наиболее эффективным является применение в районах с усиленными загрязнениями специальных изоляторов. Такие изоляторы для линий электропередачи существуют и применение их значительно упрощает эксплуатацию, так как периоды чистки изоляторов значительно удлиняются, а надежность работы линий увеличивается во много раз. Особенностью конструкций грязеустойчивых изоляторов являются высокие удельные пути утечки, т. е. отношения L_y/H , L_y/L_r , $L_y/U_{\text{раб}}$ в отдельных элементах и в гирляндах.

Таблица 3-13

Тип изолятора	Номинальное напряжение, кв	Наибольшее рабочее напряжение $U_{\text{раб. макс}}$, кв	Количество изоляторов в гирлянде	Длина гирлянды H , см	Длина пути утечки гирлянды L_y , см	$L_y/U_{\text{раб. макс}}$	L_y/H
ПСГ6-А	35	10,5	3	39	114	2,82	2,92
	110	127	7	51	259	2,04	5,07
ПСГ16-А	330	362	16	256	770	2,12	3,00
	550	525	23	369	1 105	2,10	3,05
ПСГ30-А	500	525	19	420	970	1,85	2,31
	750	787	27	475	1 300	1,65	2,74
ПС6-А	110	127	7	51	178	1,40	3,50
ПФГ5	35	40,5	3	58,4	136	3,36	3,37
	110	127	7	136,5	318	2,50	2,50
	220	253	14	259,0	635	2,50	2,5
ПФГ8	35	40,5	3	60	141	3,50	3,48
	110	127	7	140	329	2,59	2,59
	220	253	14	280	658	2,60	2,60
ПФГ6	220	253	14	301	672	2,66	2,66
	220	253	17	366	817	2,24	3,23

В табл. 3-13 приведены параметры и основные соотношения размеров гирлянд из специальных стеклянных изоляторов и для сравнения некоторых обычных и специальных фарфоровых изоляторов.

Из приведенных в табл. 3-13 данных следует, что гирлянда из семи специальных стеклянных изоляторов типа ПСГ6-А при $H=13$ см и $L_y=37$ имеет отношения: $L_y/U_{\text{раб. макс}}=2,04$; $L_y/L_r=5,07$; гирлянда из такого же количества обычных изоляторов типа ПС6-А с $H=13$ см, но с $L_y=25,5$ см имеет: $L_y/U_{\text{раб. макс}}=1,40$ и $L_y/L_r=3,50$. Гирлянды из семи фарфоровых однотипных изоляторов

ПФГ-5 имеют отношения: $L_y/U_{\text{раб.макс}}=2,50$ и $L_y/H=2,50$.

Сравнивая данные табл. 3-13 с рекомендациями Руководящих указаний, изложенными в табл. 3-10, следует отметить, что стеклянные изоляторы специальной конструкции (ПСГ) удовлетворяют требованиям для промышленных районов (группа II) с умеренными загрязнениями, кроме изолятора ПСГ30-А, могущего быть использованным и в районах группы I. Что касается стеклянных подвесных изоляторов обычного исполнения (ПС), то в загрязняемых районах можно использовать их только при соответствующем усилении гирлянд. Указанное положение вызывает необходимость продолжить конструкторские работы по стеклянным линейным изоляторам, ориентируясь на специальные конструкции с увеличенными длинами путей утечки.

Определив характеристику местности и степень загрязненности атмосферы, можно по табл. 3-10 установить минимальную длину пути утечки гирлянды и исходя из каталожных данных изоляторов определить требуемое количество изоляторов в гирлянде.

На основании установленного при испытании влагоразрядного 50%-ного напряжения линий и промышленной длины пути утечки изолятора можно проверить правильность расчетов по табл. 3-13.

Согласно рекомендациям Руководящих указаний при конструировании линейных изоляторов следует ориентироваться на эффективную длину пути утечки:

$$l_{y.\text{эфф}} = \frac{l_y}{K}, \quad (3-12)$$

где K — поправочный коэффициент, учитывающий развитость поверхности и приведенный в табл. 3-14.

Таблица 3-14

Тип изолятора	K
ПС6-А	1,0
ПС12-А	1,0
ПС30-А	1,0
ПСГ6-А	1,2
ПСГ16-А	1,25*

* K для изолятора ПСГ16-А указан авторами.

Для определения коэффициента K Руководящими указаниями предложена формула

$$K = 1 + 0,5 \left(\frac{l_y}{D} - 1 \right), \quad (3-13)$$

где l_y — длина пути утечки изолятора, см; D — наибольший диаметр изолятора, см.

Например, эффективная длина пути утечки изолятора ПСГ16-А:

$$\begin{aligned} l_{y.эфф} &= \frac{l_y}{K} = \frac{l_y}{1 + 0,5 \left(\frac{l_y}{D} - 1 \right)} = \\ &= \frac{54}{1 + 0,5 \left(\frac{54}{35} - 1 \right)} = 42,5 \text{ см.} \end{aligned}$$

Таким образом, отношение $l_y/l_{y.эфф}$ составляет $54/42,5 \approx 1,27$.

Коэффициент формы изолятора K представляет собой отношение поверхностного сопротивления R_S к удельному поверхностному сопротивлению ρ_S изолятора, может быть выражен формулой

$$K = \frac{R_S}{\rho_S} = \frac{1}{\pi} \int_0^{l_y} \frac{dl}{D(l)}, \quad (3-14)$$

где l — линейная координата вдоль пути утечки; $D(l)$ — диаметр изолятора при координате l .

Для упрощенных расчетов можно принять:

$$K = l_y / \pi D_{\text{эkv}}, \quad (3-15)$$

где l_y — длина пути утечки, см; $\pi D_{\text{эkv}}$ — усредненная длина окружности изолятора, см.

Таблица 3-15

Тип изолятора	H	D	l_y	l_y/H	H/D	$K = R_S/\rho_S$	l_y/D
ПС6-А	130	255	255	1,96	0,5	0,62	1,0
ПС12-А	140	260	390	2,36	0,52	0,61	1,0
ПСГ16-А	160	320	480	3,0	0,50	0,61	1,5
ПСГ6-А	130	255	350	2,77	0,51	0,79	1,40
ПФ6-Б	140	270	255	1,5	0,52	0,63	0,94
ПФГ-5	194	270	440	2,34	0,78	0,85	1,63

В табл. 3-15 приведены K и соотношения размеров некоторых изоляторов. Из табл. 3-15 следует, что специальные изоляторы типов ПСГ6-А, ПГС16-А и ПФГ5 для загрязненных районов отличаются от других изоляторов более высокими значениями K и l_y/D .

По поводу установленных Руководящими указаниями коэффициентов формы изоляторов K определились две основные точки зрения. Одни авторы считают, что усредненные коэффициенты K приняты Руководящими указаниями в зависимости только от L_y — правильно, что доказывается данными эксплуатации изоляторов с K , выбранным согласно Руководящими указаниями [Л. 20].

Другая точка зрения (Г. А. Лебедев и Е. И. Остапенко, Г. О. Лысаковский) предлагает пересмотреть Руководящие указания в этой части, приняв поправочный K при разработке и выборе изоляторов сложной формы для загрязненных районов в зависимости от сложности формы изолятора и условий загрязнения. Как показали исследования, проводящиеся в ВЭИ, при сложных формах изоляторов и больших загрязнениях (до 10 мг/см^2) принятые Руководящими указаниями коэффициенты не всегда соответствуют требованиям эксплуатации. Например, разрядные напряжения шестиэлементной гирлянды изоляторов (ПФ6-В) при повышенных загрязнениях ниже, чем у однотипных фарфоровых изоляторов (ПФ6-Б) [Л. 20].

Как рекомендуют авторы Руководящих указаний (С. Д. Мерхалев и др.), при выборе линейной изоляции следует уточнить принятые K после лабораторных исследований в эксплуатационных условиях.

Интересной является разработка С. Г. Соколовым в Сибирском научно-исследовательском институте энергетики нового принципа проектирования изоляторов для районов с повышенными загрязнениями и при воздействии сильных ветров, состоящего в том, что при разработке конструкции таких изоляторов учитываются аэродинамические условия, при которых изоляторы должны хорошо «продуваться». В связи с указанным изоляторам следует придавать «обтекаемую» форму, без ребер и канавок, а при необходимости устройства ребер расстояние между ними должно равняться вылету ребра или даже двум вылетам.

Несомненно, что в загрязненных районах, где господствуют сильные ветры, изоляторы должны иметь про-

стейшие формы, без излишних выступов и канавок, затрудняющих «самоочистку» изоляторов от отложений.

В районе Новосибирска по данным метеостанции ветер достигает силы 5—15 м/сек, температура —30—40°C с резкими частыми изменениями за сутки до 20°C. Исследование влияния зимних отложений на электрические характеристики изоляторов, проведенных СИБНИИЭ в этом районе, показало, что при определенных условиях (загрязненная поверхность, подтаивание снежного покрова) снижаются электрические характеристики изоляторов [Л. 6]. Учитывая тенденцию к снижению уровня линейной изоляции (например, до $2U_{\phi}$), очевидно, следует учитывать при конструировании изоляторов для линий в северных условиях изложенные в [Л. 6] соображения, т. е. повысить запас электрической прочности*.

Дальнейшие исследования «аэродинамических» свойств различных изоляторов, предназначенных для работы в особых климатических условиях, возможно внесут существенные поправки в конструкции таких изоляторов.

3-7. ВЫБОР СТЕКЛЯННЫХ ИЗОЛЯТОРОВ ПО МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ

При выборе изоляторов по механической прочности необходимо учитывать установленные ПУЭ коэффициенты запаса прочности изоляторов при разных режимах работы линий электропередачи. Коэффициентом запаса прочности изоляторов $K_{з.п}$ называется отношение минимальной разрушающей нагрузки штыревых и опорных изоляторов или гарантированной электромеханической нагрузки подвесных изоляторов P_r к наибольшей расчетной (нормативной) нагрузки изоляторов $P_{расч}$:

$$K_{з.п} = P_r / P_{расч}. \quad (3-16)$$

В табл. 3-16 приведены $K_{з.п}$ линейных изоляторов (подвесных и штыревых), штырей и крюков для штыревых изоляторов согласно ПУЭ при различных режимах работ линий.

* Аналогичные исследовательско-конструкторские работы по аэродинамическим свойствам линейных изоляторов проводятся и другими организациями (СКТБ треста Электросетьизоляция, ВНИИЭ и др.).

Таблица 3-16

Изделия	Режим работы линии			Средне-эксплуатационные условия
	нормальный	аварийный	аварийный для 500—750 кв	
Изоляторы:				
а) подвесные	2,7	1,8	2,0	5,0
б) штыревые	2,5	1,8	—	5,0
Штыри и крюки для штыревых изоляторов	2,5	1,7	—	4,5

Примечание: Нормальный режим — при целых проводах, аварийный — при полном или частичном обрыве одного или всех проводов фазы. Среднеэксплуатационные условия — среднегодовая температура без ветра и гололеда. Удельный вес гололеда 0,9 г/мм², толщина стенки гололеда для IV района 5, 10, 15, 20 мм; толщина стенки гололеда для ЛЭП 500 и 750 кв не меньше 10 мм, для остальных ЛЭП — не меньше 5 мм.

Выбор изоляторов по механической прочности для вновь проектируемой линии электропередачи производится по каталогам на основании заданных расчетных механических нагрузок на изоляторы с учетом вышеприведенных $K_{з.п.}$

Для линий 6—10 кв на деревянных опорах применяются стеклянные штыревые изоляторы типа ШСС-10 и ШССЛ-10 на 1400 кгс минимальной разрушающей нагрузки, для линий на металлических и железобетонных опорах — изолятор типа ШЖБ-10с.

Более сложным является выбор подвесных изоляторов по механической прочности, так как в этом случае могут быть приняты различные варианты, учитывая ассортимент этих изоляторов.

При отсутствии в каталогах подвесных изоляторов требуемой прочности необходимо выдать задание на конструирование изоляторов для поддерживающих и натяжных гирлянд.

В этом случае необходимо рассчитать механическую нагрузку на проектируемые изоляторы. Методы таких расчетов предлагаются ниже на основе опыта работ Электросетьпроекта.

Расчетная механическая нагрузка на поддерживающую гирлянду подсчитывается по формуле [Л. 22]

$$T_{п.г} = \sqrt{\left(2n\sigma s \sin \frac{\beta}{2} + n\rho_{ветр} l_{ветр} \cos \frac{\beta}{2}\right)^2 + \left(n\rho_{вес} l_{вес} + Q\right)^2}, \text{ кгс}, \quad (3-17)$$

где n — число проводов в фазе; s — сечение провода мм²; $l_{\text{ветр}}$ — ветровой пролет, м; $l_{\text{вес}}$ — весовой пролет, кг; $p_{\text{ветр}}$ — ветровая нагрузка на 1 м провода, кгс/м; $p_{\text{вес}}$ — весовая нагрузка на 1 м провода от массы провода с гололедом, кгс/м; σ — напряжение в проводе, кгс/см²; β — угол поворота трассы ЛЭП; Q — масса гирлянды, кг.

При отсутствии угла поворота β формула (3-17) принимает вид:

$$T_{\text{н.г}} = n \sqrt{(p_{\text{ветр}} l_{\text{ветр}})^2 + (p_{\text{вес}} l_{\text{вес}})^2}, \text{ кгс.} \quad (3-18)$$

Для аварийного режима нагрузка на оставшуюся гирлянду составит:

$$T_{\text{н.г}} = \sqrt{\left[n p_{\text{вес}} \left(\frac{l_{\text{вес}}}{2} + h \right) + Q \right]^2 + N^2}, \text{ кгс,} \quad (3-19)$$

где N — редуцированное тяжение по проводу, кгс; Q — вес гирлянды, кгс; h — длина куска провода, равная высоте опоры, м.

При отсутствии углов поворота трассы расчетная нагрузка на поддерживающую гирлянду составит:

$$T_{\text{п.г}} = l(q + p_1 + p_2) + p_{\text{г}}, \text{ кгс,} \quad (3-20)$$

где l — длина провода в пролете, км; q — вес 1 км провода, кгс/км; p_1 — вес гололеда на 1 км провода кгс/км; p_2 — давление ветра, кгс/см; $p_{\text{г}}$ — вес гирлянды с арматурой, кгс.

При этих же условиях расчетная нагрузка на натяжную гирлянду составит:

$$T_{\text{н.г}} = [l(q + p_1 + p_2) + p_{\text{г}}] + N, \text{ кгс,} \quad (3-21)$$

где N — нагрузка от тяжения по проводу, кгс.

Приведенные формулы действительны также при выборе штыревых изоляторов, но исключается вес гирлянды, т. е. формула (3-21) для изолятора на анкерной или угловой опоре принимает вид:

$$P_{\text{ш.а}} = l(q + p_1 + p_2) + N, \text{ кгс} \quad (3-22)$$

и для промежуточной опоры

$$P_{\text{ш.п}} = l(q + p_1 + p_2), \text{ кгс.} \quad (3-23)$$

ПРОИЗВОДСТВО СТЕКЛЯННЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

4-1. СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ИХ ПЕРЕРАБОТКА И ПРИГОТОВЛЕНИЕ ШИХТЫ

Сырьевые материалы, используемые для производства стеклянных изоляторов, можно условно разбить на две группы: основные и вспомогательные. Основные материалы: песок, сода, поташ, доломит, мел, глинозем — это те, посредством которых в стекло вводятся основные стеклообразующие элементы и окислы. Вспомогательные: сульфат натрия, кремнефтористый натрий, плавиковый шпат — это материалы, введение которых в состав шихты диктуется необходимостью улучшить технологические свойства стекломассы.

Главным компонентом в составе стекол, используемых для выработки стеклянных изоляторов, является песок. С песком в стекло вводится основное количество SiO_2 . Для этих целей применяются пески трех месторождений: Новоселовского, Ташлинского и Великоглебовичского. Пески поступают на заводы непосредственно с карьеров в необогащенном состоянии, поэтому одним из основных требований, предъявляемых к ним, является содержание кремнезема и постоянство химического состава. Пески указанных выше месторождений имеют состав, приведенный в табл. 4-1.

Таблица 4-1

Состав песков

Окисел	Содержание окислов, %		
	Новоселовское месторождение	Ташлинское месторождение	Великоглебовичское месторождение
SiO_2	98—99	99,25—99,77	97,2
Al_2O_3	0,1—0,6	0,09—0,38	0,61
Fe_2O_3	0,02—0,08	0,06—0,1	
CaO	—	0,06—0,28	0,98
MgO	—	Следы	0,11
TiO_2	0,004—0,008	0,02—0,04	—
П. п. п.*	0,03—0,8	0,12—0,28	0,95

* П. п. п. — потери при прокаливании.

Наличие в составе песка помимо кремнезема окислов различных металлов не играет особого значения, так как окиси кальция, магния и алюминия должны входить в состав стекла, а слабая окраска стекла за счет присутствия окиси железа и двуокиси титана заметно не влияет на свойства стеклянных изоляторов.

Окись натрия вводится в шихту в виде кальцинированной соды (Na_2CO_3) — порошкообразного гигроскопического материала белого

цвета. Сода поступает на завод в закрытой таре и должна во избежание набухания храниться в сухом закрытом складе.

Окись калия вводится вместе с поташом (K_2CO_3). Поташ так же, как сода, поступает на завод в закрытой таре и тоже должен храниться в закрытом складе.

Через глинозем в стекло вводится окись алюминия. Обычно для производства стеклянных изоляторов используется технический глинозем марки ГА8 или ГА85, который поступает на завод в обогащенном состоянии.

Окись кальция вводят в состав шихты в виде углекислого кальция $CaCO_3$, для чего используется мел или известняк. В применяемом для производства стеклянных изоляторов материале содержание $CaCO_3$ должно быть в пределах 95—98%. Кроме того, в состав мела, поставляемого на заводы непосредственно с карьеров, входят окиси железа и алюминия и в некоторых случаях углекислый магний ($MgCO_3$).

Окись магния, а также окись кальция вводятся в виде доломита $CaMg(CO_3)_2$. Для производства стекла применяются доломиты различных месторождений (Ямское, Щелковское, Никитовское), но для выработки стеклянных изоляторов применяются только доломиты Орджоникидзевского месторождения, обладающие большим содержанием основных окислов CaO и MgO и лучшим постоянством химического состава.

Сульфат натрия Na_2SO_4 — химически чистый материал, поступает на завод в джутовых мешках, должен храниться в сухом закрытом складе. Он вводится в шихту в количестве 1% для улучшения осветления стекломассы, т. е. для освобождения стекла от газовых пузырей во время варки.

Эти же цели преследуются при введении в состав малощелочного стекла 2% фтора, который применяется или в виде плавикового шпата CaF_2 , или в виде кремнефтористого натрия Na_2SiF_6 — белого порошка, изготовляемого из отходов суперфосфатного производства. Применение кремнефтористого натрия более предпочтительно, так как он в отличие от плавикового шпата является химически однородным материалом с постоянным составом. Кроме того, при его введении в состав шихты уменьшается потребность в соде. При варке стекла, особенно в пламенных печах, соединения фтора могут улетучиваться вместе с горячими газами. Это свойство фтористых соединений необходимо учитывать при расчете состава шихты.

Обязательным компонентом в составе стекломассы является возвратный стеклобой, который вводится в количестве 25—35% общего веса шихты. При этом очень важно сохранять постоянное соотношение свежей шихты и стеклобоя, а главное — применять стеклобой того же состава, что и основное стекло.

Все сырьевые материалы и возвратный стеклобой после соответствующей технологической обработки смешиваются по определенному рецепту и образуют шихту, пригодную для загрузки в стекловаренную печь.

Шихта должна иметь однородный состав. На однородность ее влияют размеры частиц, влажность, постоянного химического состава сырьевых материалов, способ и продолжительность перемешивания, транспортирование, хранение и загрузка. Все эти факторы необходимо учитывать при первичной обработке сырьевых материалов.

Установлено, что зерновой состав компонентов влияет на скорость стеклообразования, на способность шихты к расслоению, т. е.

потерю структурной однородности. Лучшими в этом отношении являются мелкозернистые или пылевидные материалы. Чем мельче зерно основного компонента — кварца, тем более плотная упаковка всех остальных частиц материалов, входящих в состав шихты, тем активнее будет взаимодействие кварца с частицами плавней (окислами щелочных и щелочноземельных металлов) и тем быстрее будут протекать процессы стеклообразования. Уменьшение величины зерна кварцевого песка с 0,28 до 0,03 мм повышает скорость стеклообразования почти в 10 раз. При подготовке сырьевых материалов необходимо соблюдать еще одно условие: чем крупнее зерно применяемого кварцевого песка, тем мельче должен дробиться мел или известняк.

Очень важным показателем как исходных сырьевых материалов, так и готовой шихты является влажность. Влага в определенных пределах благоприятно влияет на качество шихты, так как увлаж-

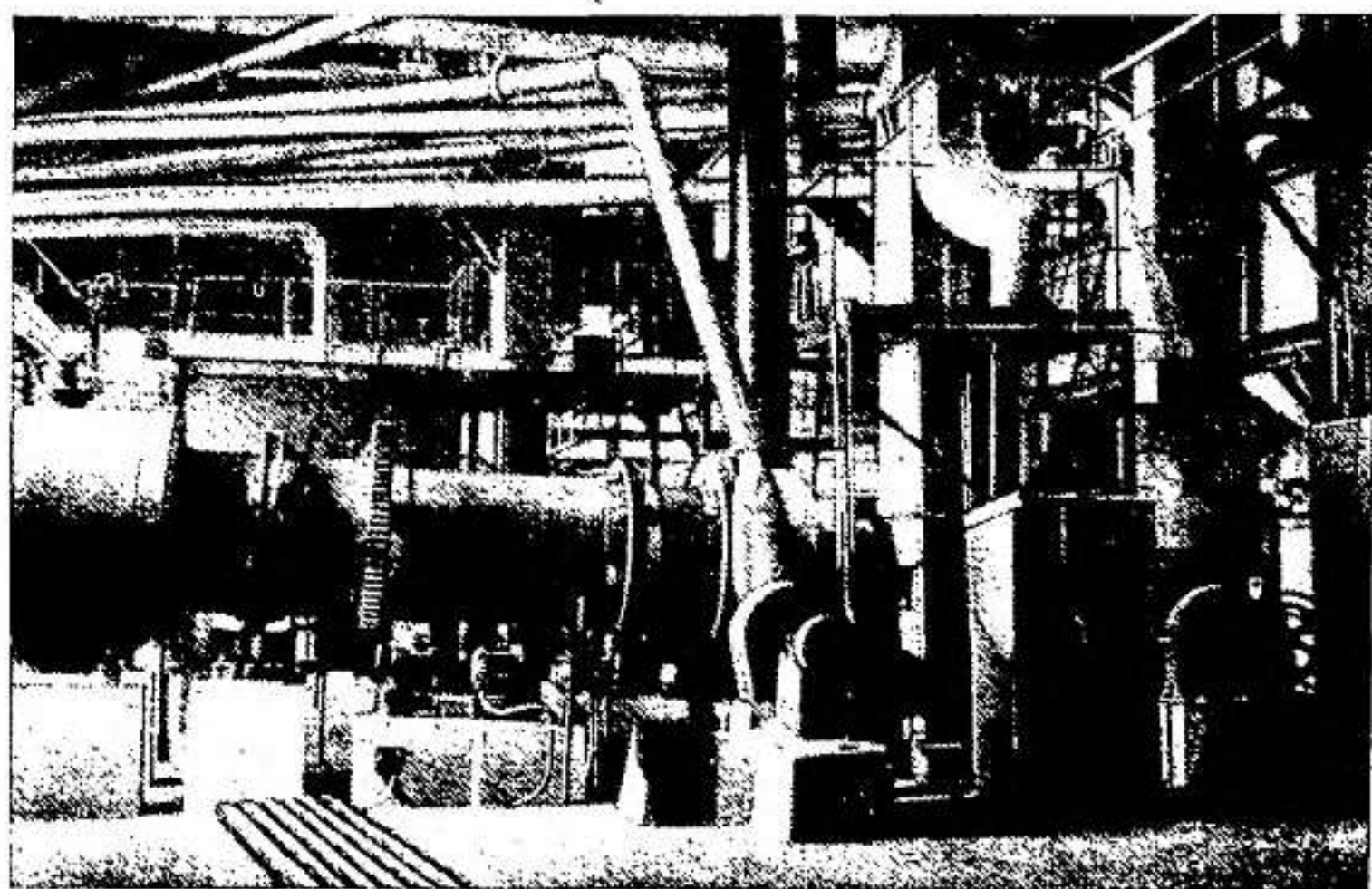


Рис. 4-1. Сушильный барабан для сушки песка.

ненное зерно кварца равномерно обволакивается другими компонентами, входящими в состав шихты. Такая композиция, состоящая из материалов с различными размерами и неодинаковыми удельными массами, не подвергается расслоению во время транспортировки и засыпки в печь.

Как указывалось выше, сырье для производства стеклянных изоляторов поступает на заводы навалом и в таре, в необогащенном состоянии и с гарантированным химическим составом. Необогащенное сырье, отгружаемое непосредственно с карьеров навалом (песок, мел, доломит), должно поступать на завод в чистых, закрытых, вагонах. Все материалы, прибывающие на завод, должны разгружаться только в определенные для этого вида сырья бункера и отсеки. Сырьевые материалы поступают в переработку после проверки ла-

бораторней соответствия их требованиям государственных стандартов и технических условий. В зависимости от вида материала, сложности его доставки на завод, времени, необходимого для контроля его качества, на заводе должны создаваться запасы, обеспечивающие бесперебойную работу всего производства.

Технологическая обработка песка на заводе сводится к сушке, просеву и контролю качества. Чрезмерно влажный песок образует комки, которые затрудняют просеивание. Сушка песка производится в сушильном барабане (рис. 4-1).

Частота вращения барабана (в зависимости от типа) 3—8 об/мин. Теплоноситель — продукт сгорания природного газа. Песок при помощи питателя равномерными порциями подается в барабан. Температура в обогреваемой зоне сушильного барабана должна поддерживаться летом в пределах 600 °С, зимой — в пределах 800 °С. В качестве дополнительного контроля может определяться температура отходящих из барабана газов, которая должна быть на уровне 120 °С. Песок после выхода из сушильного барабана должен иметь влажность не выше 0,02%. Высушенный песок для просева подается ковшовым элеватором на вибрационное или роторное сито № 08. Просеянный песок направляется в расходные бункера. Отсев, содержащий крупные фракции и посторонние примеси, направляется в отвал. Перед загрузкой песка в расходные бункера его желательно подвергнуть магнитной сепарации.

Доломит перед использованием подвергается дроблению, сушке, окончательному помолу и просеву. Дробление доломита производится в щековой дробилке до величины кусков 35—50 мм, после чего он подается на сушку. Сушка осуществляется в сушильном барабане при температуре газов в обогреваемой зоне не выше 400 °С, так как при более высокой температуре доломит начинает диссоциировать. Температура отходящих газов в этом случае будет находиться на уровне 80 °С. Высушенный доломит подается системой элеваторов и транспортеров для окончательного измельчения на бегуны, затем в шаровую или молотковую дробилку. Наиболее тонкое и равномерное измельчение достигается в шаровой мельнице, но производительность этого вида оборудования несколько ниже, чем молотковых дробилок. Наиболее прогрессивным оборудованием для измельчения сырьевых материалов, применяемых в стекольном производстве, необходимо признать аэробильные мельницы, в которых совмещены помол, сушка и сепарация материала. В такой мельнице куски материала подаются в разгонную трубу, где они подхватываются потоком горячих газов и, ударяясь о специальную плиту, измельчаются.

Измельченный материал подвергается разделению на фракции, причем грубые фракции возвращаются на домалывание.

Высушенный и измельченный доломит подвергается разделению на фракции при помощи сит № 0,9—№ 11 либо при помощи сепаратора.

Разгрузка доломита из шаровой мельницы и подача его в расходный бункер могут осуществляться с использованием пневмотранспортера (рис. 4-2). Молотый материал поступает в сопло, куда одновременно поступает воздух, засасываемый вентилятором. Образующаяся в сопле пылевоздушная смесь направляется в сепаратор, где крупные частицы материала отделяются и возвращаются в бункер, питающий шаровую мельницу. Мелкие же фракции направляются в циклон, где вследствие центробежной силы и резкого падения

скорости материал отделяется от воздуха и попадает в расходный бункер. Окончательная влажность доломита перед загрузкой его в расходный бункер не должна превышать 0,04%.

Технология обработки мела идентична технологии обработки доломита и осуществляется на том же самом оборудовании. Иногда помол крупных фракций мела производится на дезинтеграторах, которые отличаются от прочего мельящего оборудования способностью перерабатывать материалы с большей степенью влажности.

В том случае, когда технологическая линия обработки мела совмещена с линией обработки доломита, все оборудование при переходе с одного вида материала на другой должно подвергаться тщательной очистке.

Влажность мела перед загрузкой его в расходный бункер должна быть не выше 0,04%. При контрольном просеве мела через сито № 08—№ 1 не должно оставаться остатка.

Такие материалы, как сода, поташ, сульфат натрия поступают на завод в закрытой таре, поэтому никакой очистке не подвергаются. Из мешков эти материалы с помощью элеваторов или вакуум-

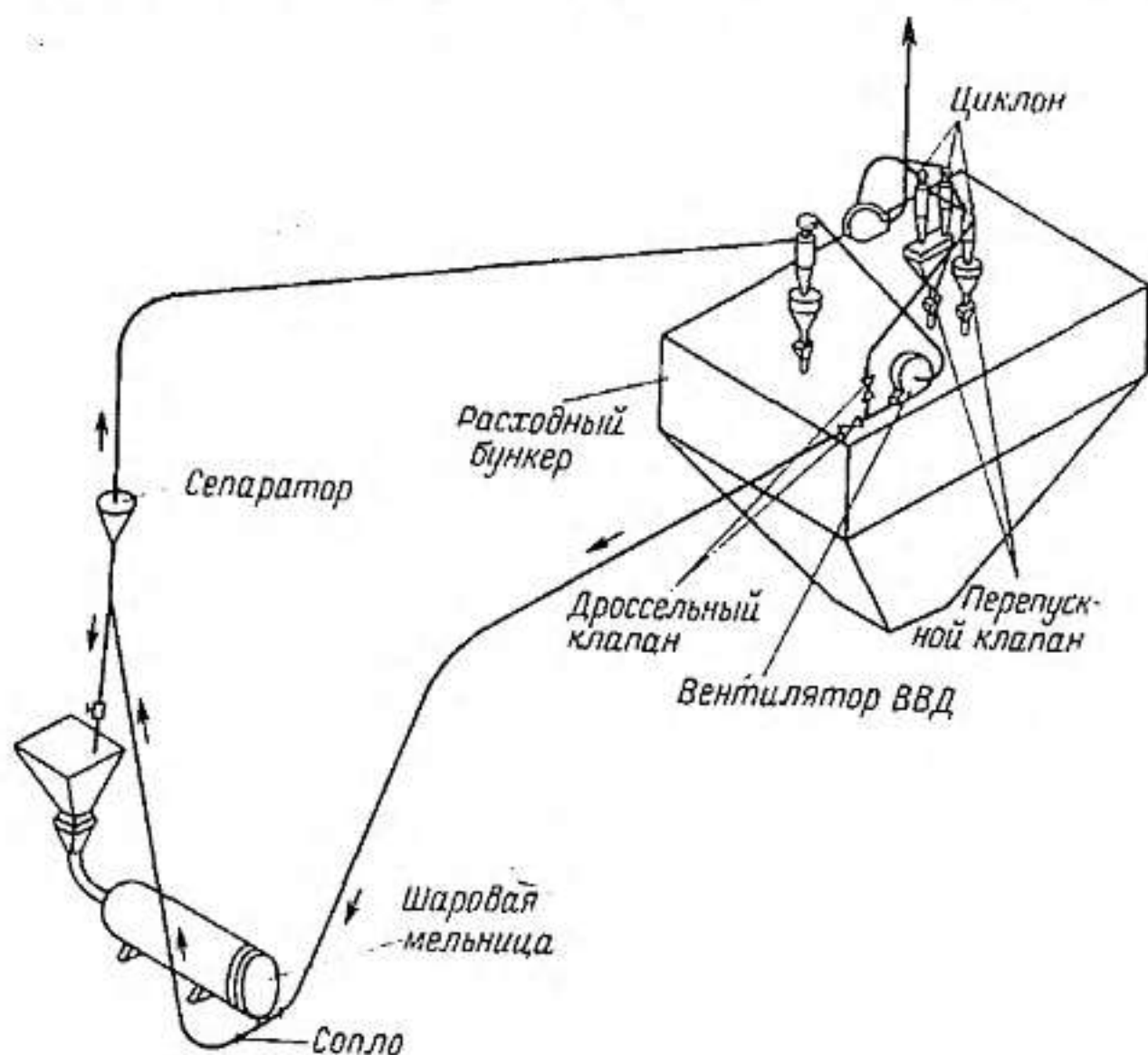


Рис. 4-2. Схема пневмоподдачи доломита и мела в расходный бункер.

ной системы подаются на сита № 08—09 и оттуда в расходный бункер. Так как эти материалы чрезвычайно гигроскопичны, то они подвержены комкованию при хранении и транспортировке. Отсеиваемые на сите комки соды или поташа направляются в дезинтеграторы, а оттуда — на повторный просев. Также не требуют никакой обработки, кроме просева, кремнефтористый натрий и технический глинозем. Первый просеивается через сито № 1, 6, а второй — через сита № 08—№ 09. Влажность кремнефтористого натрия, предназна-

ченного для производства, должна быть не более 1%, допустимая влажность глинозема 3%.

Стеклобой со склада хранения в контейнерах подается на дробильную установку. Как правило, дробление осуществляется с помощью щековой дробилки до величины кусков 35—50 мм. Применяемый для приготовления шихты стеклобой должен быть очищен от грязи и всевозможных посторонних предметов. Готовый стеклобой, пропущенный через магнитный сепаратор, хранится в расходном бункере.

Подготовленные таким образом сырьевые материалы используются для приготовления шихты.

Приготовление шихты — взвешивание и смешивание всех исходных сырьевых материалов и стеклобоя — является очень ответственной операцией, от соблюдения режимов которой зависит в значительной степени качество стекломассы и готовых стеклянных элементов изоляторов.

Как правило, все компоненты, входящие в состав шихты, взвешиваются на автоматических весах, устанавливаемых под каждым расходным бункером и отвешивающих заданные порции материалов с заданной периодичностью.

В цехах изоляторных заводов используются автоматические весы типов ДСТ-70; ДП-20; ДСМ-20-50. Автоматические весы могут быть объединены в линии взвешивания, работающие в автоматическом режиме. В зависимости от порции отвешиваемого материала в этом случае используются весы различных типов. Так, для песка устанавливаются весы типа ДВСТ-300 (единовременная навеска до 300 кг), для взвешивания доломита — весы ДВСТ-150, поташа и мела ДВСТ-40, сульфата — ДВСТ-10. Все весы снабжены циферблатными головками со стрелочными указателями. На циферблатах размещены электронные бесконтактные датчики пределов, сигналы от которых подаются на панели управления. Органы централизованного автоматического управления весами всей линии концентрируются на общем пульте, располагаемом в пультном помещении. Оператор может судить о работе отдельных весов и всей линии в целом по световым сигналам мнемосхемы. Загрузка и разгрузка материалов на линии может производиться автоматически по заданной циклограмме. Взвешенные материалы через вибропитатели поступают на транспортер и дальше — в смеситель.

На всех весах предусмотрена блокировка, исключающая возможность выгрузки на транспортер материалов в случае неправильной дозировки. В тех цехах, где количествоготавливаемой в сутки шихты не требует создания автоматических линий взвешивания, могут применяться либо стационарные весы, либо подвижные весы, устанавливаемые на тележке или монорельсе. Такие весы производят поочередное взвешивание каждого из компонентов. Естественно, что при работе на таких весах возможны ошибки, связанные с субъективными качествами обслуживающего персонала.

Отвес каждой порции материалов, подлежащих дальнейшему смешиванию, необходимо производить только в соответствии с рецептом, выданным лаборантом данной смены после проверки лабораторией всех сырьевых материалов на качество просева, влажность и содержание основного вещества.

Все исходные материалы должны подаваться в смесители в строго определенном порядке. Например, при смешивании материалов для варки щелочного стекла они подаются в смеситель в следующей

последовательности: песок, доломит, сульфат натрия, глинозем, поташ, мел, сода. Приготовление шихты малощелочного стекла осуществляется в другом порядке: песок, кремнефтористый натрий, глинозем, доломит, мел. Так как шихта должна обладать определенной влажностью (2—5%), то песок перед смешиванием с остальными компонентами подвергается увлажнению непосредственно в смесителе с помощью установленных там форсунок. При этом влага равномерно распределяется вокруг зерен песка, образуя водяную пленку. После увлажнения, которое продолжается около 3 мин, в смеситель

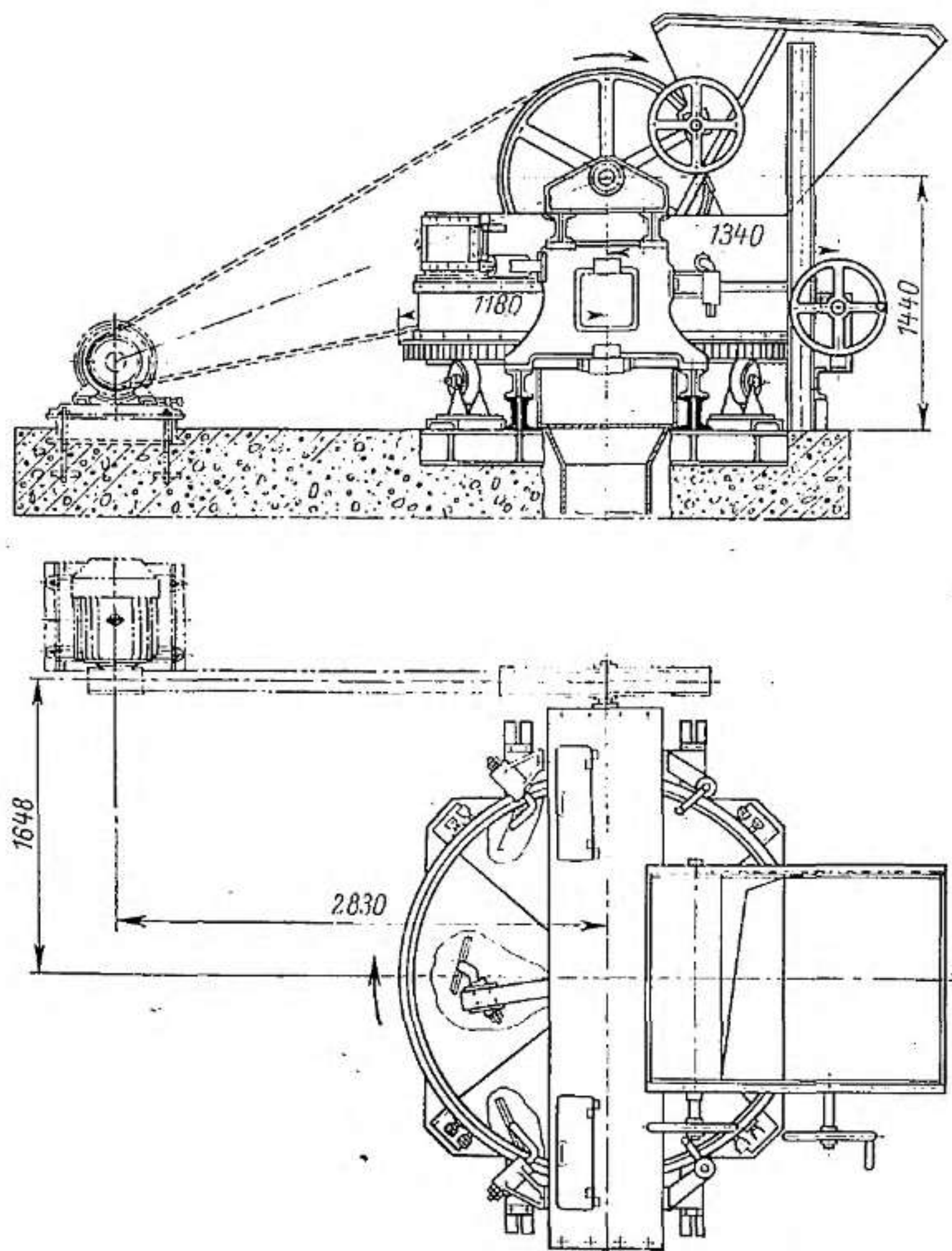


Рис. 4-3. Тарельчатый смеситель шихты.

подаются в указанной последовательности остальные материалы, обволакивающие в процессе смешивания увлажненные зерна кварца, что обеспечивает повышенную реакционную способность шихты и закрепляет взаимное расположение частиц материалов. Исключение составляет шихта, предназначенная для варки малощелочного стекла 13в в электрической печи. Исходя из специфических условий электроварки этого стекла, специальное увлажнение шихты не производится. В этом случае влажность шихты, которая не должна превышать 2%, достигается за счет естественной влажности составляющих материалов. Сырьевые материалы смешиваются в течение 5—10 мин.

В том случае, когда шихта и стеклобой загружаются в стекловаренную печь одновременно, что является наиболее предпочтительным вариантом, в смеситель после смешивания шихтовых материалов подается стеклобой и смешивание продолжается еще некоторое время.

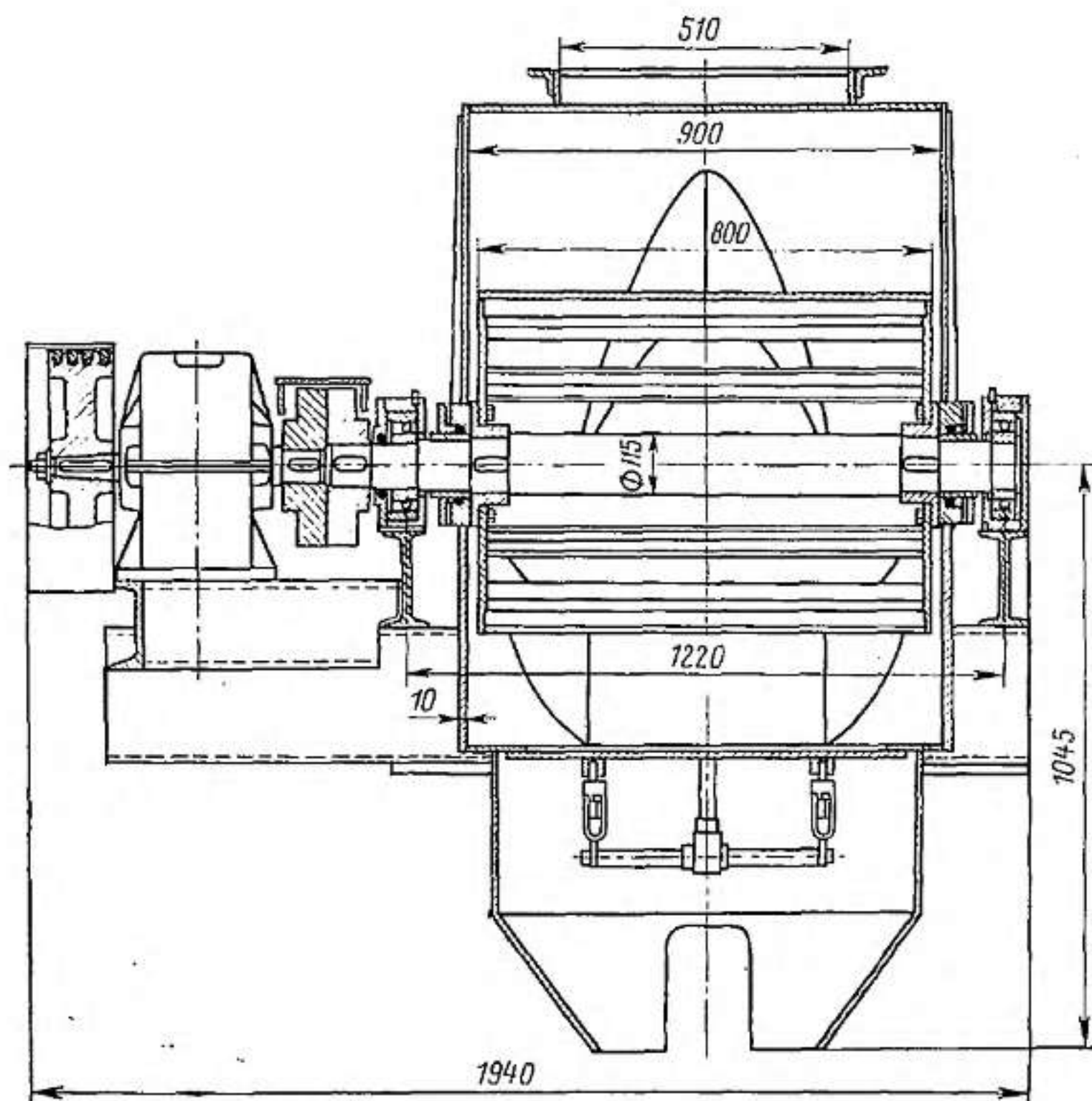


Рис. 4-4. Роторный смеситель шихты.

Для приготовления шихты на изоляторных заводах используются два типа смесителей: тарельчатый и роторный. Тарельчатый смеситель (рис. 4-3) состоит из вращающейся на роликах тарелки, на которую подаются сырьевые материалы, и механизма перемешивания, включающего в себя лопасти и катки, расположенные эксцентрично по отношению к оси тарелки и вращающиеся от самостоятельного привода.

Благодаря такому сложному движению частицы материалов совершают спиралеобразный путь, что обеспечивает тщательное перемешивание и усреднение шихты. Однако тарельчатый смеситель — это смеситель открытого типа, поэтому при засыпке и перемешивании очередных порций материалов неизбежно пыление и небольшая потеря некоторых компонентов. Этот недостаток отсутствует в смесителе роторного типа (рис. 4-4). Перемешивание материалов в роторном смесителе производится в закрытом барабане, имеющем специальные лопасти.

В готовой шихте допускаются некоторые отклонения, как по массе исходных материалов, так и по содержанию основных оксидов. Так, например, содержание песка может колебаться в пределах 1% мела, известняка, соды, сульфата натрия и доломита 0,5%. В зависимости от допустимых отклонений в содержании основных оксидов шихта делится на три сорта. Например, сортность шихты малощелочного стекла определяется следующими допустимыми отклонениями от рецептуры:

Растворимые оксиды	I сорт	II сорт	III сорт
$\text{Na}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO}$	0—0,29%	0,3—0,49%	0,5—0,6%
Нерастворимые оксиды SiO_2	0—0,49%	0,5—0,79%	0,8—1,0%

Шихта с отклонениями, превышающими указанные, бракуется и не допускается к загрузке в стекловаренную печь.

Хранение и подача готовой шихты в печь осуществляются обычно в специальных металлических контейнерах-кюбелях. Приготовление и подача шихты к загрузочному карману печи должна осуществляться небольшими порциями. Во избежание слеживания и высыхания шихта после приготовления должна храниться не более 8—10 ч. Чтобы не допустить расслоения шихты, необходимо создать такие условия ее транспортирования, которые исключают свободное падение шихты с большой высоты, встряхивание и вибрацию при перемещении кюбелей. Соблюдение всех этих требований позволяет получить шихту требуемого качества с высокой степенью однородности.

На рис. 4-5 приведена примерная схема обработки материалов и приготовления шихты малощелочного стекла.

В последнее время в стекольной промышленности используются и другие способы транспортирования шихты к печам. Пневматическая подача шихты из смесителя в загрузочное устройство печи создает благоприятные условия применения свежеприготовленной шихты и не требует изготовления многочисленного парка кюбелей. Однако этот метод не исключает полностью расслоения шихты при транспортировке. Стабильная однородность и полное отсутствие расслоения достигаются при брикетировании шихты. Брикетирование шихты помимо указанных преимуществ исключает запыление цехов

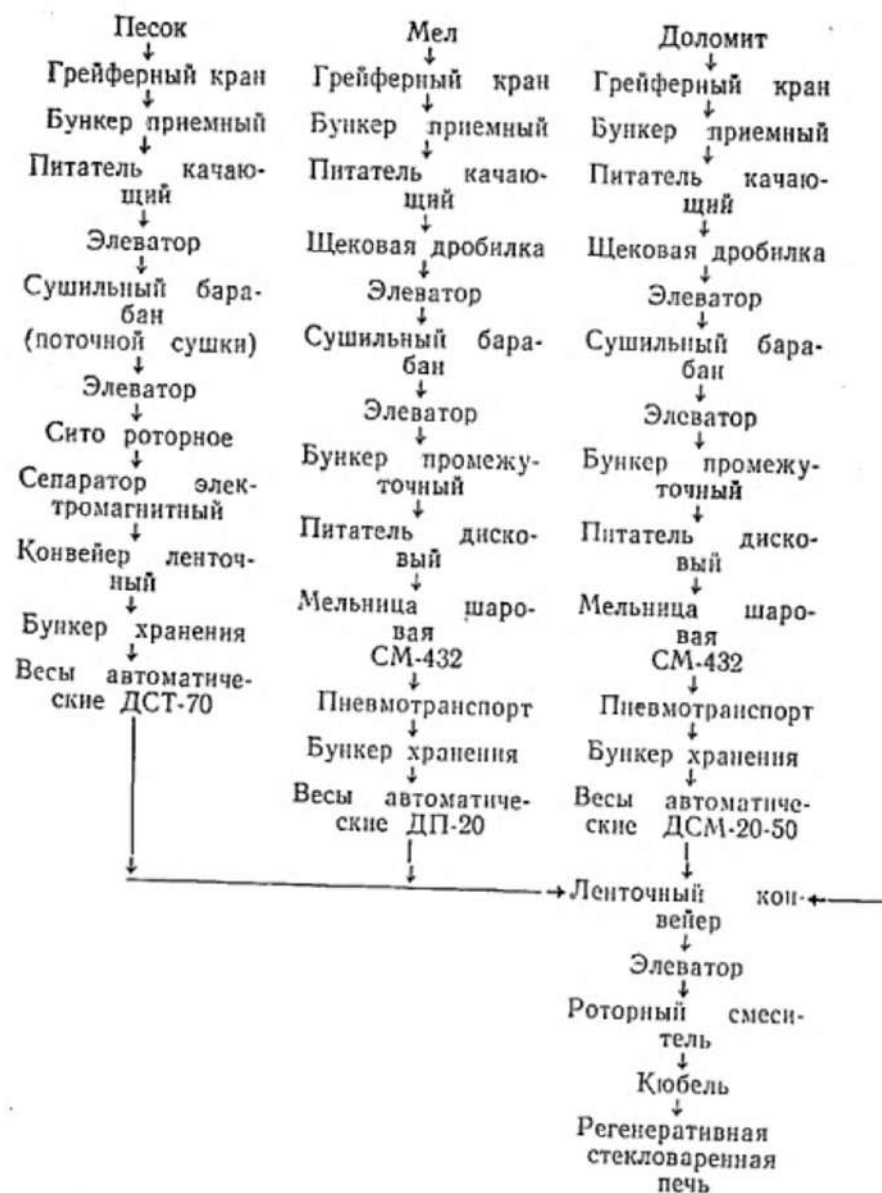
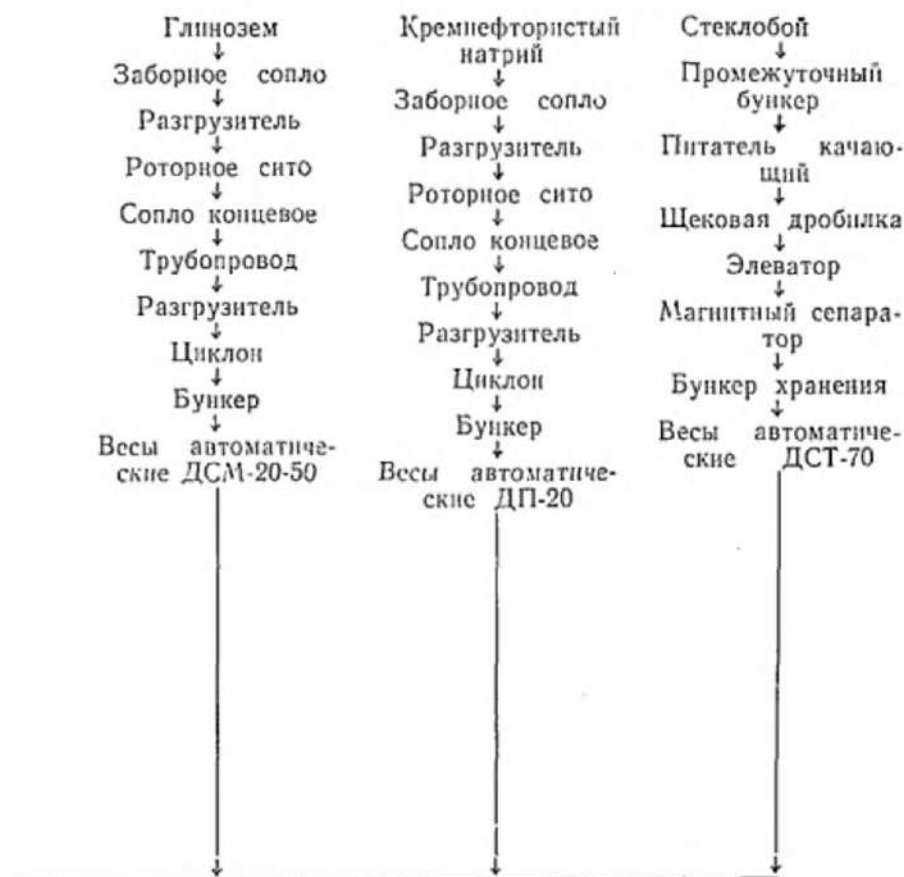


Рис. 4-5. Технологическая схема приготовления шихты.

и регенераторов печей, позволяет создать запасы шихты на несколько дней или даже недель. Брикетирование шихты осуществляется в специальных прессах на вальцах или таблет машинах. Для улучшения условий формовки брикетов в шихту добавляют в качестве свя-



зующего жидкое стекло. Готовые брикеты подвергаются сушке при температуре 200 °С. Подача брикетов к печам может осуществляться любым видом транспорта и в любой таре.

4-2. СВОЙСТВА СТЕКЛА В РАСПЛАВЛЕННОМ СОСТОЯНИИ

Свойства различных составов стекол в расплавленном состоянии в значительной степени определяют режимы стекловарения, выработки и прессования стеклодеталей. Эти свойства влияют на выбор огнеупорных материалов для кладки стекловаренных печей, металлов, используемых для изготовления пресс-формы, смазки, применяемой при прессовании стеклодеталей. Основная задача производства стеклодеталей состоит в том, чтобы из сваренной стекломассы,

обладающей определенной высокой температурой и определенной вязкостью, отформовать стеклодеталь, остудить и термообработать ее, сохранив приобретенные при формовании очертания и размеры. Поэтому для правильного построения технологического процесса производства стеклодеталей необходимо знать такие свойства стекла, как вязкость при различных температурах, способность стекла к кристаллизации и теплопередаче, а также поверхностное натяжение в расплавленном состоянии.

Вязкость. В отличие от кристаллических материалов стекло не имеет определенной температуры плавления. С повышением температуры стекло становится пластичным и остается в таком состоянии в определенном диапазоне температур.

Область температур, внутри которой стекло существует в пластическом состоянии, ограничивается точками T_g и T_f . Первая из этих точек соответствует температуре, ниже которой стекло обладает свойствами твердого материала и соответствующими механическими характеристиками. Вязкость стекла при температуре T_g равна 10^{13} нз ($1 \text{ нз} = 0,1 \text{ н} \cdot \text{сек}/\text{м}^2$). T_f — температура, выше которой стеклу присущи признаки жидкости. Этой температуре соответствует вязкость 10^9 нз. Дальнейшее повышение температуры до вязкости $\eta = 10^2$ нз создает условия для вытяжки тонких стеклянных нитей. Так как изменение температуры приводит к изменению пластичности и вязкости стекла, то от их значений в определенной степени зависит способность стекла к переработке. На основных этапах варки и выработки стекла его вязкость должна находиться в определенных пределах. Так, осветление стекломассы (см. § 4-3) должно происходить при вязкости $\eta = 10^2$ нз; выработка при $\eta = 10^3$ нз, прессование при $\eta = 10^8$ нз и т. п.

По зависимости между вязкостью и температурой различают так называемые «короткие» и «длинные» стекла. «Длинным» стеклам соответствует большой температурный диапазон между началом выработки и концом прессования. «Короткое» стекло охлаждается быстрее, и поэтому его переработка должна быть окончена за более короткий срок. На вязкость стекла влияет его химический состав. К окислам, повышающим вязкость стекла, относятся: кремнезем, окись алюминия, двуокись циркония и окись магния. Понижения вязкости можно добиться введением в стекло окислов щелочных металлов, а также окиси свинца или окиси бария. Своеобразно влияют на изменение вязкости окись кальция и борный ангидрид. Окись кальция при низких температурах повышает вязкость, при высоких понижает вязкость (при содержании 8—10%) или повышает, если содержание этого окисла больше 10%.

Борный ангидрид (B_2O_3), наоборот, при введении не более 15% повышает вязкость стекла при низких температурах. Большое количество борного ангидрида при низких температурах вызывает значительное понижение вязкости точно так же, как и при высоких температурах.

Гельгоф и Томас [Л. 41], предположив, что замена 1% SiO_2 на такое же количество другого окисла в стекле состава SiO_2 82%; Na_2O — 18% не сказывается на содержании других компонентов, получили зависимость между вязкостью, температурой и химическим составом стекломассы (табл. 4-2).

Исходя из приведенной зависимости вязкости стекла от его химического состава, нужно учитывать, что малощелочные, особенно

Изменяющиеся параметры	Вязкость, пз			
	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶
Температура, °C	1 175	995	880	795
Изменение вязкости при изменении температуры на ± 5 °C, пз	± 229	$\pm 3\,530$	$\pm 57\,500$	$\pm 552\,000$
Изменение температуры при изменении содержания 1% окислов, °C:				
Al ₂ O ₃ (0—5%)	+12,8	+10	+8	+6,6
CaO (5—10%)	—8	—7	—4,3	—1,8
MgO (0—5%)	—10,4	—11,2	—8,2	—4,3
Na ₂ O (10—15%)	—14,8	—13	—11,5	—10,2
Изменение вязкости, %, при изменении содержания окислов на 1%:				
Al ₂ O ₃	29,2	34,1	44,5	36,8
CaO	18,3	24,8	23,8	10,1
MgO	23,8	39	45,5	24,0
Na ₂ O	33,8	45	63,5	56,5

алюмомагнезиальные стекла, являются «короткими», т. е. более вязкими, а щелочные стекла — «длинными». На рис. 4-6 приведены кривые вязкости стекол 13в, состава № 7 и обычного листового оконного стекла. Данные по вязкости малощелочного и листового стекол получены экспериментальным путем [Л. 27]. Данные по стеклу состава № 7 получены расчетным путем по методике М. В. Охотина [Л. 42]. Как видно из рис. 4-6, вязкость щелочного стекла состава № 7 ниже, чем у стекла 13в, при одних и тех же температурах. Еще ниже вязкость листового оконного стекла, содержание щелочных окислов в котором выше, чем в остальных сравниваемых стеклах.

Кристаллизация. Кристаллизация стекла, если она не вызывается преднамеренно, является нежелательной, так как частично или полностью закристаллизованное стекло резко отличается по своим свойствам от исходного стекла и практически исключает возможность выработки стеклотделей на заданных режимах. Кристаллизация стекла в печи, питателе или во время прессования является про-

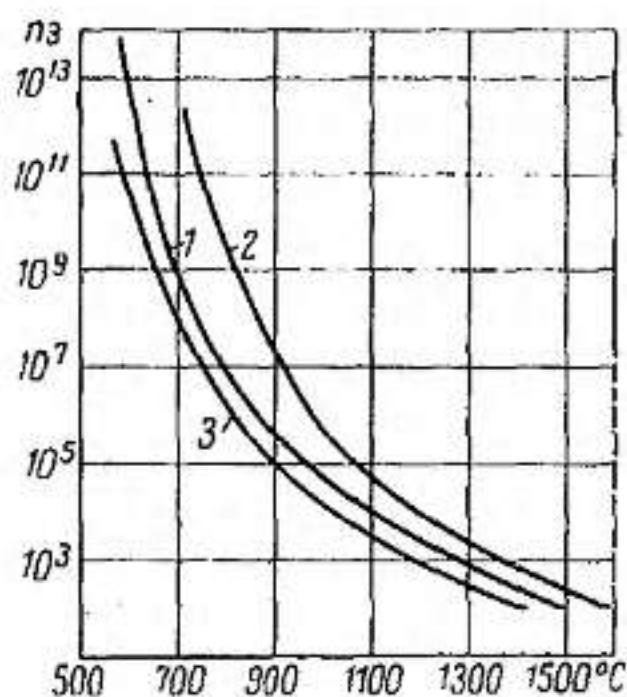


Рис. 4-6. Температурная зависимость вязкости стекла. 1 — щелочное стекло состава № 7; 2 — малощелочное стекло 13в; 3 — обычное листовое стекло (щелочное).

изводственным дефектом, поэтому кристаллизационная способность стекла, т. е. диапазон температур, в котором может произойти кристаллизация, а также скорость кристаллизации тщательно изучаются с целью выбора наиболее оптимальных режимов варки и выработки стекла. Очень важно, чтобы температура стекла, при которой происходят основные процессы варки и выработки, не совпадала с диапазоном температур, при котором возможна кристаллизация. В то же время, зная интервал кристаллизации определенного состава стекла, надо принимать меры, чтобы стекло недолго выдерживалось в этом интервале.

Таблица 4-3

Параметры	Щелочное стекло состава № 6	Малощелоч- ное стекло 13в
Температура стекла, °С:		
при варке	1 440	1 560
при выработке	1 200	1 300—1 320
при закалке	700	780
Температура, °С, начала выработки, со- ответствующая вязкости 10^3 лз	1 255	1 355
Температура, °С, конца выработки, со- ответствующая вязкости 10^7 лз	785	935
Температурный интервал выработки, °С	470	420
Верхняя температура начала кристалли- зации, °С	1 045	1 225

Частичная кристаллизация стекла будет иметь место в том случае, когда скорость роста кристаллов будет больше скорости образования кристаллизационных центров. Наоборот, когда скорость образования кристаллизационных центров будет большей, возможна полная кристаллизация стекла. Кристаллизационная способность стекла зависит от его химического состава. Наименее подвержены кристаллизации обычные натрий-кальций-силикатные составы. Благоприятно сказывается на снижении кристаллизационной способности щелочных стекол частичное замещение CaO и Na_2O на MgO . Наоборот, фтор повышает кристаллизационную способность. В табл. 4-3 приведены данные по кристаллизационной способности и вязкости основных составов стекол, применяемых для производства изоляторов.

Данные табл. 4-3 свидетельствуют о том, что стекла, применяемые для производства изоляторов, лишены недостатков с точки зрения их механизированной выработки. Эти выводы подтверждаются многолетним опытом механизированного производства изоляторов как из малощелочного, так и из щелочного стекла.

Поверхностное натяжение у стекла определяется величиной, близкой к величине поверхностного натяжения расплавленных металлов. Под воздействием поверхностного натяжения стекломасса стремится принять форму, имеющую при данных объемах наименьшие поверхности. Это свойство расплавленного стекла должно учитываться, когда речь идет о гомогенизации стекломассы на последних стадиях варки. Растворение свилей в основном стекле будет происходить быстрее, если поверхностное натяжение свили меньше

поверхностного натяжения основного стекла. При обратном соотношении свиль, наоборот, будет принимать шарообразную форму и ее растворение может быть затруднено. Поверхностное натяжение стекла особенно учитывается при свободном методе формования стеклотделей (вытяжка листа, выдувка). При формовании таких сложных изделий, как изоляторы, поверхностное натяжение стекла способствует округлению имеющихся поверхностных неровностей. С другой стороны, поверхностное натяжение препятствует образованию четко очерченных профилей стеклотделей, таких как, например, резьба штыревого изолятора. С этой технологической особенностью стекол приходится считаться при разработке конструкций стеклянных изоляторов. Наконец, поверхностное натяжение стекла может быть использовано при разработке в будущем технологического процесса огневой полировки стеклянных элементов изоляторов. Огневая полировка позволит устранить значительную часть поверхностных дефектов и тем самым можно будет достигнуть повышения механической прочности, особенно незакаленных изоляторов.

Поверхностное натяжение стекломассы зависит от ее химического состава и вязкости. Такие окислы, как K_2O ; B_2O_3 ; PbO и SiO_2 , несколько снижают поверхностное натяжение исходного натриево-силикатного стекла. Окислы же лития, натрия, кальция, бария, а также глинозем почти не оказывают влияния на изменение поверхностного натяжения исходного стекла.

Для вычисления поверхностного натяжения расплавленного стекла при температуре выше $900^\circ C$ может быть применена зависимость, выведенная Дитцелем [Л. 43]:

$$\gamma = \sum_1^n q_i f_i - (t^\circ - 900) \cdot 4 \cdot 10^{-5}, \text{ кгс/м}, \quad (4-1)$$

где γ — поверхностное натяжение; q_i — содержание компонентов, %; f_i — коэффициент, определенный для каждого компонента; t° — температура, при которой определяется поверхностное натяжение, $^\circ C$.

Значения f_i для единицы массы различных компонентов приведены ниже:

	LiO_2	Na_2O	K_2O	MgO	CaO	BaO	B_2O_3	Al_2O_3	SiO_2
Компоненты стекла f_i , %	4,6	1,5	6,6	6,6	4,8	3,7	0,8	6,2	3,4

4-3. ВАРКА СТЕКЛА

Варка стекла — процесс превращения твердых компонентов шихты и стеклобоя в гомогенную прозрачную стекломассу, обладающую достаточной степенью вязкости, протекает при высоких температурах и сопровождается сложными химическими и физическими превращениями. Весь процесс стекловарения состоит из пяти последовательных стадий.

1. *Силикатообразование* заключается в химическом взаимодействии компонентов шихты, во время которого заканчивается расщепление гидратов, диссоциация карбонатов, сульфатов и нитратов, образование силикатов. Как правило, эти реакции происходят при температуре $800-900^\circ C$ и сопровождаются выделением газов. К кон-

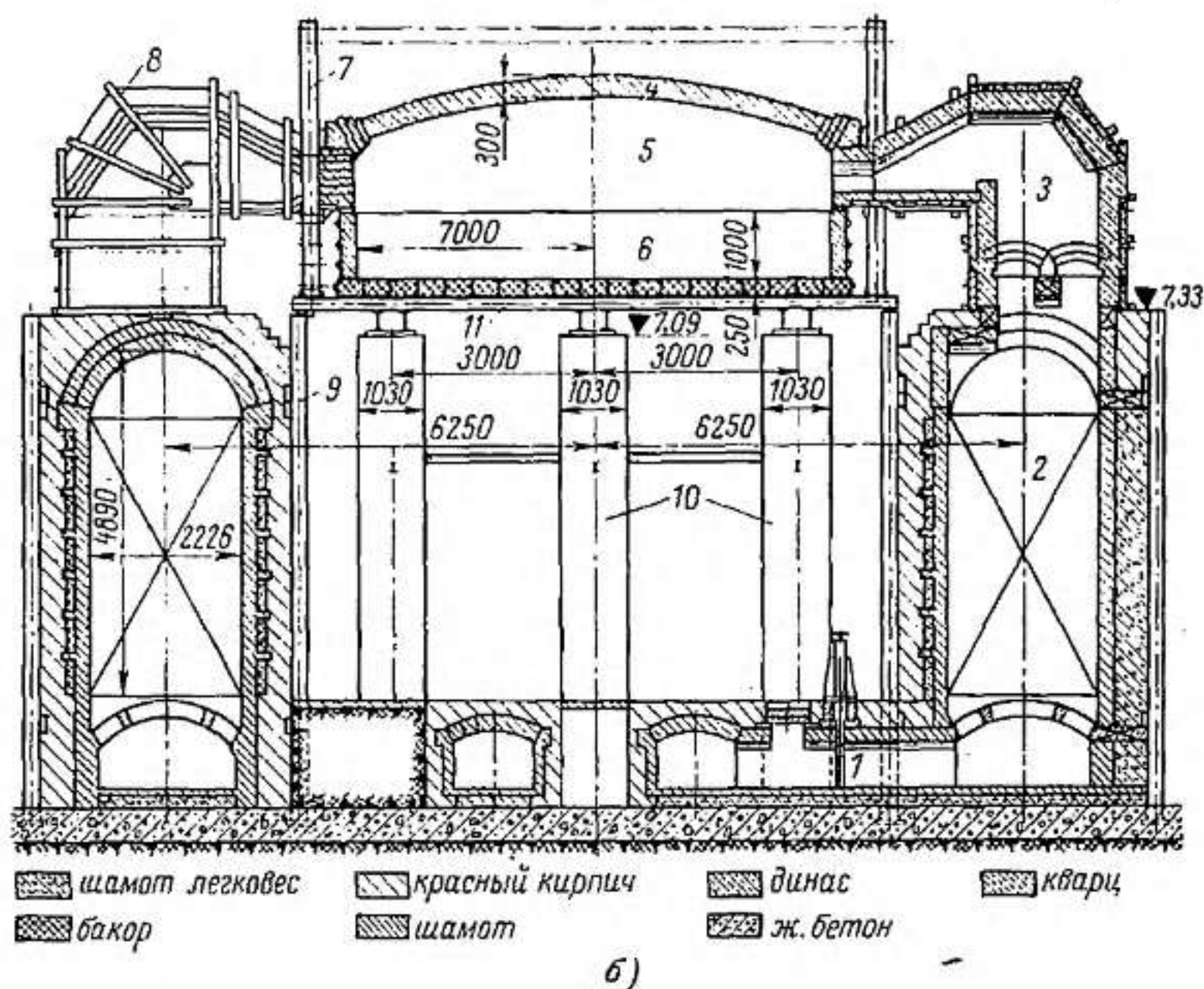
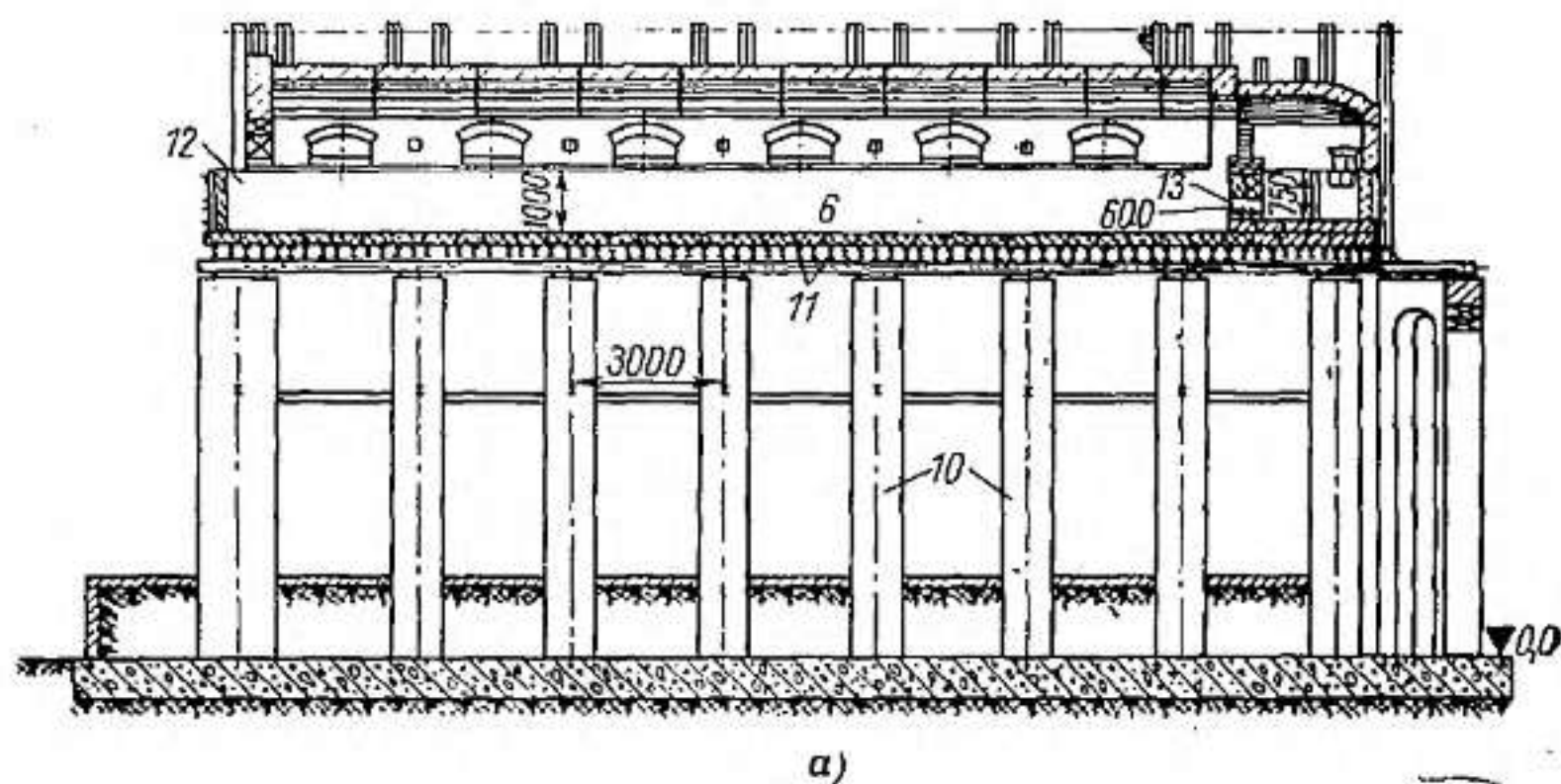


Рис. 4-7. Разрезы ванной регенеративной печи с поперечным пламенем.

1 — канал, подводящий воздух к регенератору и отводящий дымовые газы;
 2 — регенератор; 3 — горелка; 4 — свод; 5 — пламенное пространство; 6 — бассейн;
 7 — стойки обвязки; 8 — обвязка горелок; 9 — обвязка регенераторов;
 10 — опорные колонны; 11 — поддонные балки; 12 — загрузочный карман;
 13 — проток.

цу силикатообразования шихта представляет уже однородную по своему физическому состоянию смесь.

2. *Стеклообразование* протекает при дальнейшем повышении температуры до $1\,150\text{--}1\,200^\circ\text{C}$. При этом получается прозрачная стекломасса. Однако к концу этой стадии процесс гомогенизации и дегазации еще не заканчивается.

3. *Дегазация* — освобождение стекломассы от видимых газовых включений завершается при температуре $1\,400\text{--}1\,600^\circ\text{C}$. В технологии стекловарения эта стадия известна как осветление стекломассы. Скорость осветления зависит в основном от диаметра газовых пузырьков, вязкости стекломассы и конвекционных потоков, возникающих при варке стекла. Ускорение процесса осветления достигается повышением температуры в осветлительной части печи, удлинением процесса варки, добавлением в шихту специальных осветлителей, а также механическим перемешиванием стекломассы.

4. *Гомогенизация* протекает по существу одновременно с осветлением и заключается в том, что стекломасса освобождается от свилей и становится однородной. В некоторых случаях при гомогенизации возможно снижение температуры.

Дегазация и гомогенизация стекломассы — наиболее ответственные стадии всего процесса варки стекла. От их успешного завершения зависят конечные свойства стекломассы, ее пригодность для выработки стеклянных элементов изоляторов.

5. *Студка* — завершающий этап процесса варки, состоящий в незначительном снижении температуры стекломассы (на $200\text{--}300^\circ\text{C}$) для повышения ее вязкости, т. е. создания нормальных условий для выработки стекла. При студке очень важно не нарушить заданного режима снижения температуры, так как это может вызвать нарушение созданного на предыдущих этапах варки равновесия между жидкой и газовой фазами стекломассы. Нарушение же равновесного состояния, как правило, сопровождается образованием вторичных пороков стекломассы — пузырей и мошки. Чересчур быстрое понижение температуры может привести к термической неоднородности стекломассы, а длительное выдерживание стекла при температуре

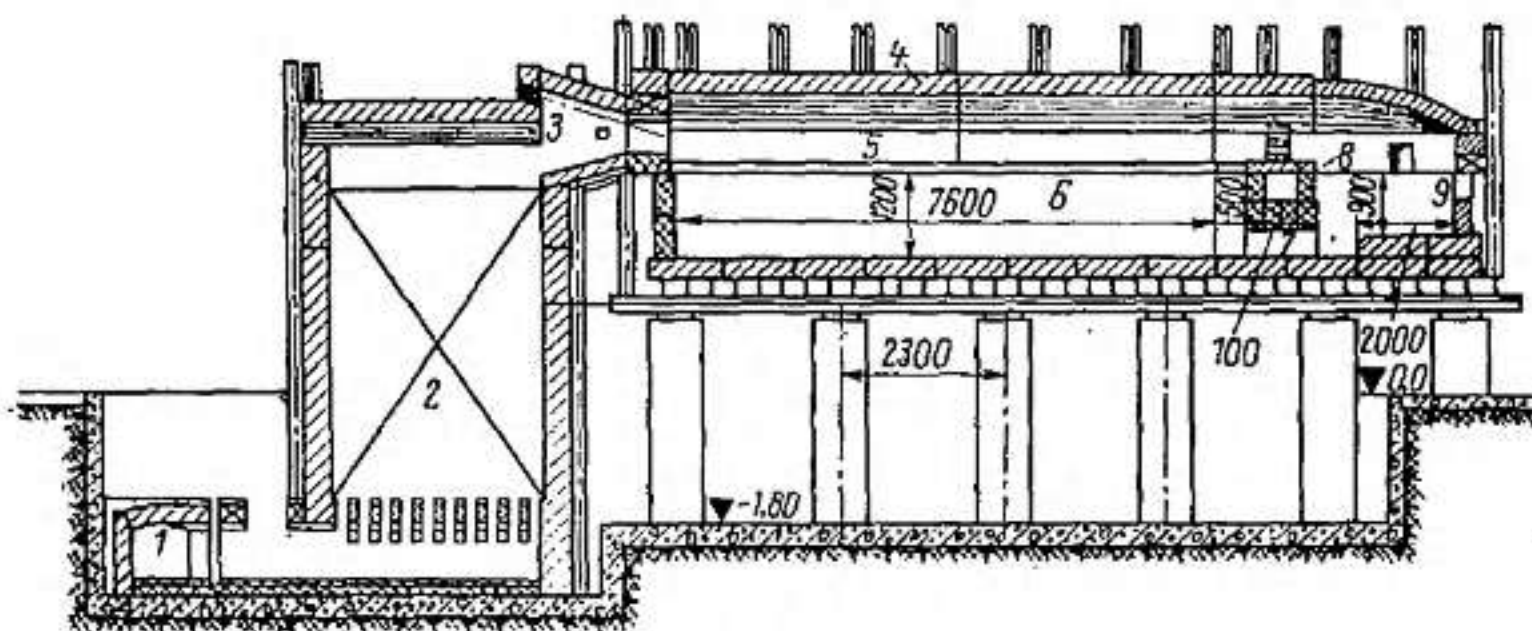


Рис. 4-8. Продольный разрез ванной печи с подковообразным пламенем.

1 — воздухоподводящий канал; 2 — регенератор; 3 — горелка; 4 — свод; 5 — пламенное пространство; 6 — бассейн; 7 — проток; 8 — экран; 9 — выработочная часть.

выработки вызывает кристаллизацию. Обычно процесс студки протекает постепенно с равномерным понижением температуры.

Варка стекла, предназначенного для последующей выработки стеклянных элементов изоляторов, производится в основном в ван-ных пламенных печах непрерывного действия. Принципиально эти печи ничем не отличаются от печей, применяемых для варки стекол, из которых вырабатываются изделия хозяйственного назначения. В конструкции таких печей различают зоны варки и осветления (варочная часть) и зоны студки и выработки. В зависимости от на-правления факелов горящих газов пламенные печи разделяются на две группы с поперечным и подковообразным пламенем (рис. 4-7 и 4-8). Для создания лучших условий теплообмена между варочной

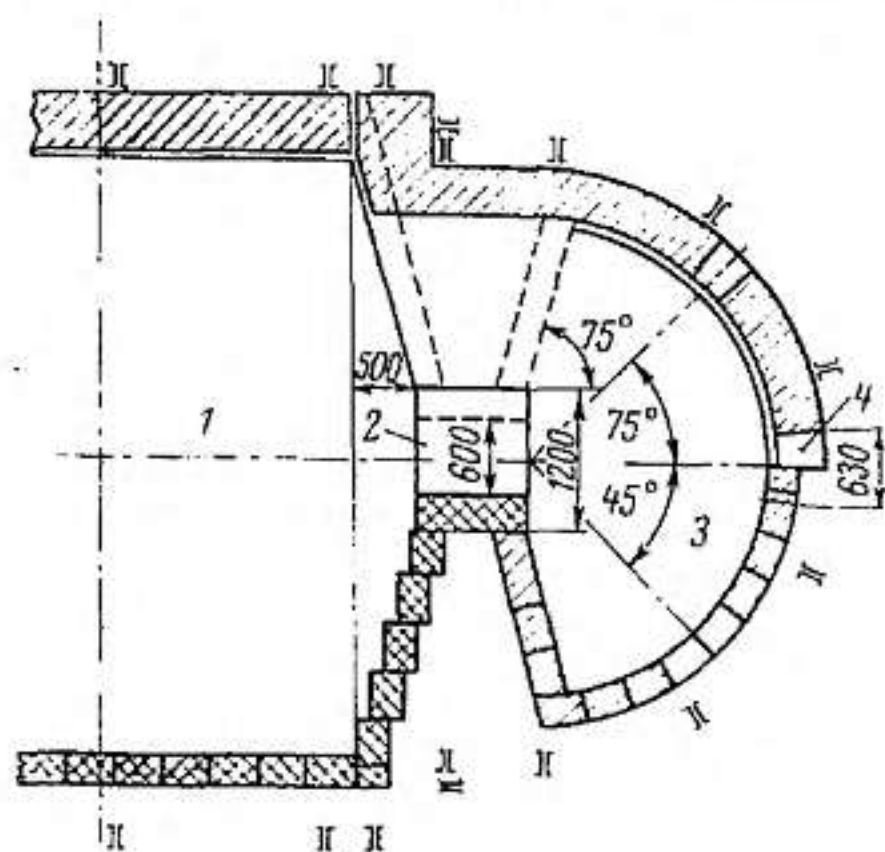


Рис. 4-9. Проток ванной печи.

1 — варочная часть; 2 — проток; 3 — выработочная часть; 4 — выработочное окно.

и выработочной частями для уменьшения между ними конвекционных потоков стекломассы, для отбора из выработочной части наиболее чистого и проваренного стекла в большинстве конструкций печей предусматриваются разделительные элементы: протоки (рис. 4-9) и экраны. Пламенная стекловаренная печь состоит из рабочей камеры, горелок, устройств для использования горячих отходящих газов (регенераторов) тяговых и дутьевых приспособлений. Современные стекловаренные печи, как правило, имеют два «этажа». На верхнем расположены рабочая камера и горелки, на нижнем — регенераторы и каналы. В связи с необходимостью двухэтажного расположения всей конструкции печи рабочая камера устанавливается на колоннах. Рабочая камера печи состоит из бассейна и пламенного пространства (рис. 4-6). Бассейн печи для варки щелочных стекол выкладывается шамотным кирпичом или бакором для варки малощелочных стекол — из кварцевого бруса. Варочная часть пламенных печей имеет в плане прямоугольную форму. Перед протоком она постепенно сужается (рис. 4-8). Выработочная часть имеет полукруглое очертание, позволяющее вести выработку стекла из нескольких точек. Пламенное пространство ограничено стенами и сводом, которые подвешиваются над бассейном раздельно на металлических стойках обвязки. Стены и свод выкладываются из ди-насовых кирпичей.

В торце рабочей камеры размещается загрузочный карман, куда производится загрузка шихты. Реже загрузка шихты производится сбоку или сверху через свод.

Варочная часть печи, а иногда и проток защищаются от быстрого износа и разрушения огнеупоров воздушным охлаждением

(рис. 4-10). В наиболее тяжелых условиях применяется охлаждение водяными холодильниками.

Стекловаренные печи на изоляторах заводах отапливаются природным газом, который сжигается в горелках. Струя газа в горелки направляется под действием струи горячего воздуха, что способствует их лучшему смешиванию. Для направления горячей струи на поверхность стекломассы своды камеры сгорания имеют небольшой уклон. Горелки выкладываются из dinasового кирпича. В качестве тепловой изоляции применяется шамотный легковесный кирпич. Подогрев воздуха производится в регенераторах, выкладываемых из шамотного кирпича. Для меньшего износа насадок регенераторов их рекомендуется выкладывать из магнезитового кирпича. Как правило, каждая горелка обслуживает свой регенератор.

В печах с поперечным пламенем горелки и регенераторы расположены попарно с обеих сторон рабочей камеры и подача горя-

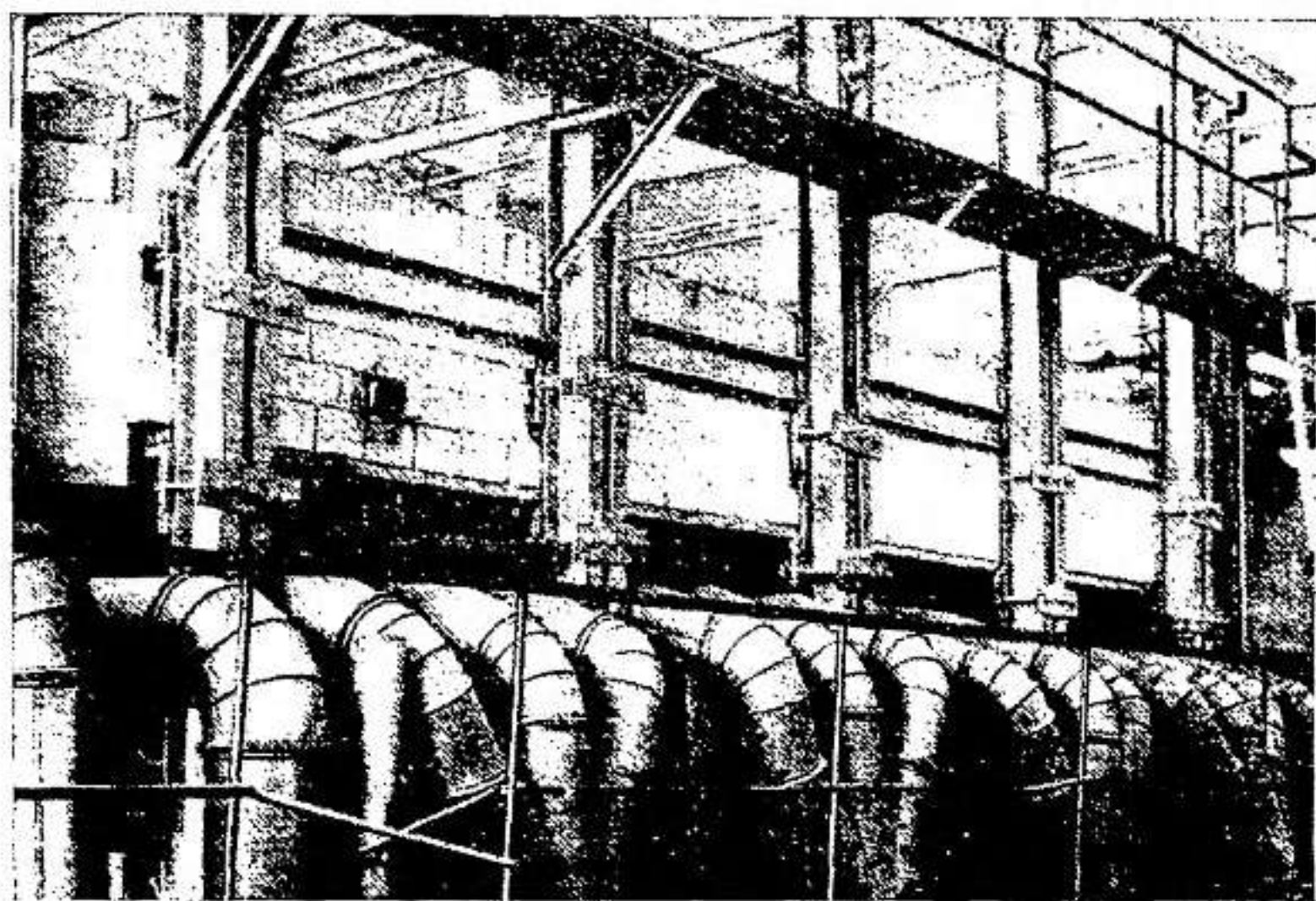


Рис. 4-10. Обдув ванной печи.

щего факела осуществляется периодически с правой и левой сторон. Когда работают горелки правой стороны, в них подается горячий воздух из регенераторов тоже правой стороны. Горячие отходящие газы в этот момент нагревают насадки регенераторов левой стороны. При переключении пламени картина соответственно меняется. Поперечное пламя применяется в печах с большой производительностью, площадь варочной части которых превышает 40 м^2 . Для печей с меньшей площадью варочной части используется подковообразное направление факела горящего газа. В этом случае горелки и регенераторы могут располагаться в торце печи. Факел из правой горелки, обогнув пламенное пространство печи, возвращается в левый реге-

нератор, а после переключения горелок из левой горелки в правый. В современных печах предусматривается автоматическое переключение направления подачи топлива и воздуха, устанавливаемое в зависимости от длительности периодов нагрева и охлаждения или от температуры подопрева воздуха в регенераторах.

Размеры варочной части пламенных печей выбираются в зависимости от производительности стеклоформующих машин, обслуживаемых печью, т. е. в зависимости от съема стекломассы с 1 м² печи. Съем стекломассы в свою очередь зависит от типа вырабатываемых изделий и марки стекла. Для изготовления подвесных изоляторов из закаленного стекла требуется стекломасса с высокой однородностью. В этом случае недопустимо интенсифицировать съем стекломассы, который для щелочных составов стекол составляет 450—500 кг с 1 м², а для малощелочных составов 250—300 кг с 1 м². При выработке штыревых изоляторов из отожденного стекла требования к однородности стекломассы несколько снижаются и съем стекломассы с 1 м² варочной части печи даже для малощелочного стекла может достигать 500—550 кг. Практикой установлено, что для выработки подвесных изоляторов из закаленного стекла нецелесообразно применять печи с площадью менее 30 м². Использование малых печей затрудняет получение стекломассы с высокой степенью однородности, что в конечном счете снижает выход годных стеклянных элементов изоляторов и ухудшает качество готовых изоляторов.

Несмотря на то, что пламенные печи до сего времени являются основным типом теплотехнических агрегатов для варки стекол различных составов, они обладают рядом недостатков, которые не свойственны электрическим стекловаренным печам. Основным недостатком пламенных печей является весьма низкий к. п. д. (около 10%) и высокая стоимость сооружения. Кроме того, пламенные печи требуют, как указывалось выше, строительства двухэтажных зданий. Там, где необходима высокая производительность печи при хорошем качестве стекла, наибольшего эффекта можно добиться с помощью электроварки. Стекло в расплавленном состоянии обладает относительно высоким удельным электрическим сопротивлением. В этих условиях при прохождении через стекло электрического тока происходит выделение тепла, достаточного, чтобы поддерживать в печи достигнутую температуру и продолжать процессы стеклообразования. При этом чем выше сопротивление стекла в расплавленном состоянии, тем эффективнее происходит электроварка. С этой точки зрения малощелочные составы лучше поддаются электроварке, чем щелочные.

В табл. 4-4 приведены значения удельного электрического сопротивления стекла 13в в диапазоне температур 1150—1570 °С.

Однако из основных преимуществ электроварки состоит в том, что основная часть выделяемого тепла расходуется непосредственно

Таблица 4-4

Температура, °С	1150	1200	1220	1300	1320	1360	1400	1420	1460	1500	1570
Удельное сопротивле- ние, ом·см	240	140	120	63	56	44	36	33	28	25	18

для обогрева стекломассы в отличие от пламенного способа, где значительная часть тепла расходуется нерационально. За счет такого рационального расхода тепла электрические стекловаренные печи обладают к. п. д., равным 40—70%. Несмотря на высокую стоимость электроэнергии по сравнению со стоимостью газа, электрический метод варки стекла обладает рядом других технико-экономических преимуществ:

- 1) высокая степень гомогенизации стекломассы;
- 2) меньшая насыщенность стекломассы растворенными газами;
- 3) возможность гибкого, автономного управления всеми зонами печи;
- 4) малые размеры электрических печей по сравнению с пламенными и соответственно меньший расход огнеупоров, металла и других строительных материалов;
- 5) удельный съем стекла с 1 м² площади в 3—4 раза выше, чем у стекловаренных печей с газовым обогревом;
- 6) лучшие санитарные условия.

Все конструкции электрических стекловаренных печей по объему использования электроэнергии в общем тепловом балансе подразделяются на печи с чистым электрическим и комбинированным пламенно-электрическим обогревом.

В печах с чисто электрическим методом обогрева все процессы стеклообразования осуществляются за счет разогрева стекломассы при прохождении через нее электрического тока.

В печах с комбинированным пламенно-электрическим обогревом варка производится пламенным обогревом, а осветление осуществляется за счет электрического обогрева, либо, наоборот, варка происходит за счет электронагрева, а осветление — в пламени газовой горелки.

На Славянском арматурно-изоляторном заводе используется электрическая стекловаренная печь для выработки штыревых высоковольтных изоляторов из малощелочного стекла 13в.

Печь (рис. 4-11) разделена протоком на две части — варочную и осветлительную. Варочная часть представляет собой ванну, длина которой 6,7 м, ширина 1,5 м. Для упорядочения скорости движения потоков, т. е. устранения возможного зарухания стекломассы и для тепловой разгрузки торцевой стены, под печи в варочной части выполнен с уклоном в 20° в сторону протока. Бассейн выложен из кварцевого бруса, под — из бакора. Отопление варочной части печи электрическое. Для этого в бассейне установлено четыре пары сдвоенных молибденовых электродов. В боковых стенах установлены форсунки, служащие для вывода печи. Загрузка шихты осуществляется через отверстия в своде печи.

В целях предупреждения преждевременного износа кварцевой футеровки (окружки) и увеличения межремонтного периода в конструкции печи предусмотрено принудительное водяное охлаждение бассейна [Л. 44].

Проток из варочной части в зону осветления выполнен из кварцевого бруса. Вместо сплошной кладки применен металлический кожух с усиленным воздушным охлаждением. Поперечное сечение протока 2400 см². Для лучшего выхода стекломассы из протока в зону осветления предусмотрен уклон пода в 150°. Обогрев протока осуществляется двумя электродами.

Осветлительная часть представляет собой бассейн длиной 2,9 и шириной 1 м. Обогрев в этой зоне печи — газовый.

Обладая незначительными размерами $12 \times 3,4$ м, печь производит ежедневно 16 т стекломассы, расходуя на варку 1 кг стекла не более 1,3 квт·ч электроэнергии. Удельный съем стекломассы с 1 м² варочной части достигает 1 770 кг, что в 4 раза превышает значение удельного съема стекломассы этого же состава в печи с пламенным обогревом при выработке аналогичных изделий. Коэффициент полезного действия печи доведен до 40%.

Несмотря на столь высокие технико-экономические показатели электрических стекловаренных печей, метод электроварки не получил широкого распространения при производстве стеклянных изоляторов.

Собственно варка стекла начинается с засыпки в печь приготовленной шихты. Способ загрузки шихты влияет на скорость провара, т. е. на производительность печи. Учитывая физико-химические процессы, которые происходят в шихте при ее плавлении, загрузка материалов в печь периодически неэффективна. Такая загрузка приво-

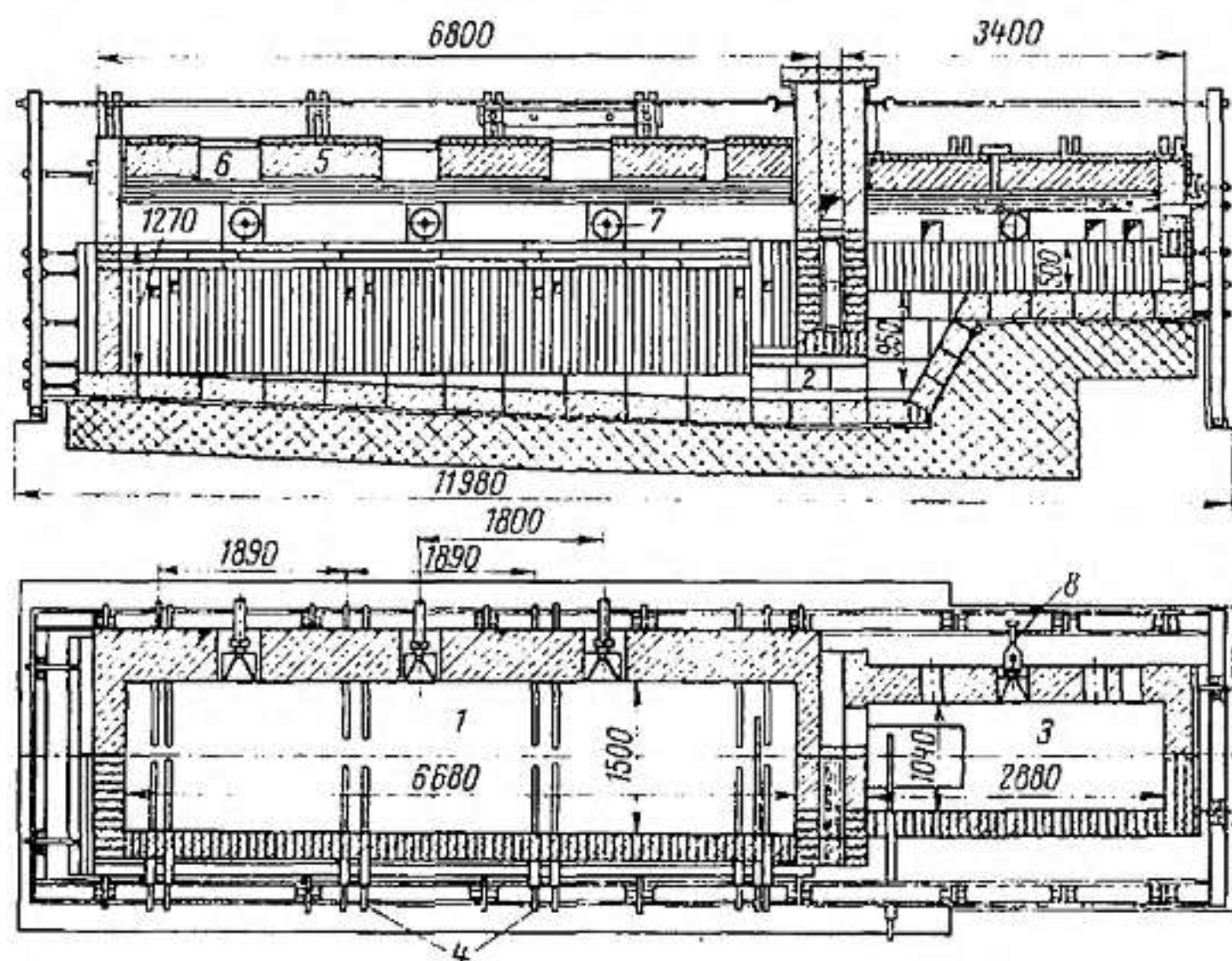


Рис. 4-11. Разрез электростекловаренной печи.

1 — варочная часть; 2 — проток; 3 — осветлительная часть; 4 — молибденовые электроды; 5 — свод; 6 — загрузочное окно; 7 — наварочные форсунки; 8 — рабочая форсунка.

дит к колебаниям уровня стекломассы, нарушению установившегося температурного режима, неравномерному протеканию процессов стеклообразования и силикатообразования во всем объеме загруженной шихты. За счет колебания уровня стекломассы в печи при загрузке шихты кучами происходит ускоренный износ огнеупоров. Такая загрузка шихты оправдывается только в случае применения электроварки стекла, когда процесс обогрева материалов происходит только снизу, а распределение плотной корки материалов — «шубы» —

по всему зеркалу варочной части препятствует холостому расходу тепла и сокращает расход летучих компонентов вследствие поглощения уносов вышележащими слоями шихты.

Равномерная тонкослойная загрузка шихты в пламенных печах обеспечивает нормальные одинаковые условия для всех частиц материалов, образующих шихту. Процессы стеклообразования в этом случае протекают за более короткие сроки. Тонкослойная варка препятствует проникновению непроваренных частиц шихты в глубокие слои.

На изоляторных заводах загрузка шихты высокопроизводительных пламенных печей производится механическими загрузчиками (рис. 4-12). Механический загрузчик имеет бункер для шихты и боя.

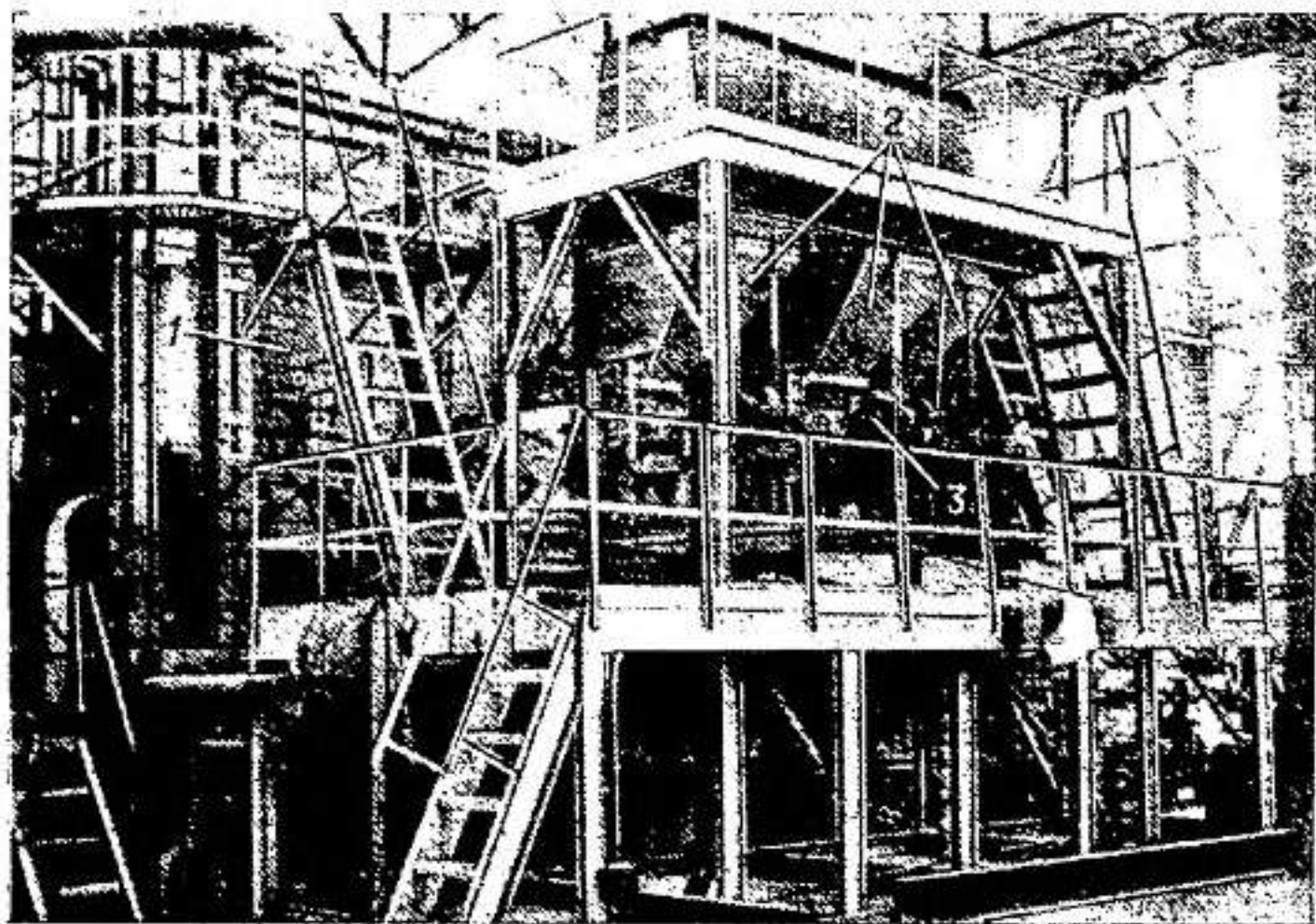


Рис. 4-12. Механизированный загрузчик.

1 — стекловаренная печь; 2 — расходные бункера; 3 — механические питатели.

Он смонтирован параллельно загрузочному карману ванной печи на раме с колесами, установленными на рельсовом пути. При движении вперед загрузчик перемещает лежащий перед ним слой шихты, который увлекает за собой слой, лежащий выше в бункере. Одновременно специальным приспособлением — козырьком — загрузчик проталкивает слой шихты по расплавленной стекломассе. За счет привода с кривошипным механизмом загрузчик совершает постоянные возвратно-поступательные движения, причем ход его может регулироваться в пределах от 180 до 280 мм. В зависимости от ширины загрузочного кармана на печи устанавливаются один или несколько загрузчиков, которые обеспечивают равномерное распределение шихты.

Варка стекла должна проходить строго в соответствии с разработанными режимами. Нарушение или частая смена режимов

варки в ваннах печей приводит, как правило, к ухудшению показателей работы печи и снижению качества вырабатываемой стекломассы. Очень точно должны соблюдаться режимы загрузки шихты и съема стекломассы, температурный и газовый режимы варки, а также режимы охлаждения самой печи.

Для варки щелочного стекла, предназначенного для выработки подвесных закаленных изоляторов, в печи с площадью варочной части 95 м² приняты следующие температурный и газовый режимы.

1. Температура, °C:

Между карманом и первой парой горелок	1 300—1 310
Между первой и второй парами горелок	1 390—1 400
Между второй и третьей парами горелок	1 410—1 420
Между третьей и четвертой парами горелок	1 430—1 440
Между четвертой и пятой парами горелок	1 410—1 420
За пятой парой горелок	1 380—1 390
В выработочной части	1 155—1 165

2. Газовая среда печи определяется анализом дымовых газов и газов пламенного пространства в нижних частях регенераторов и за третьей парой горелок:

химический состав отходящих дымовых газов

$$\text{CO}_2 \leq 12\%; \quad \text{O}_2 \leq 8\%;$$

газовый состав пламенного пространства

$$\text{CO}_2 \leq 14\%; \quad \text{O}_2 \leq 5\%,$$

CO не допускается.

3. Разрежение в борове у трубы не должно быть выше 0,003 кгс/см². Давление в печи на уровне подвески стен — не более $0,4 \cdot 10^{-4}$ — $0,6 \cdot 10^{-4}$ кгс/см², в выработочной части печи — не выше $1,4 \cdot 10^{-5}$ — $2 \cdot 10^{-5}$ кгс/см².

Непосредственно варка стекла осуществляется в районе первой-второй пар горелок и должна происходить с энергичным выделением газообразных продуктов силикатообразования в виде крупных лопающихся пузырей. На зеркале стекломассы между плавающими скоплениями шихты должно наблюдаться небольшое кольцо расплавленного сульфата (щелока). Однако следы щелока не должны проникать дальше второй пары горелок. В зоне третьей пары горелок на поверхности при нормальном ходе варки и освещения стекла должно наблюдаться выделение полос легкой рафинадной пены, особенно заметной вблизи стен бассейна. Наличие на поверхности зеркала чрезмерного выделения щелоков или пены может быть следствием нарушения газового и температурного режимов. Стекло за третьей парой горелок не должно уже содержать непроварившихся частичек шихты, однако в пробах, взятых из этой зоны, можно наблюдать равномерно распределенные крупные пузыри. За пятой парой горелок стекло должно быть совершенно чистым от включений, непровара и пузырей.

Горелки по всей длине печи должны работать на окислительном газовом составе, и пламя горелок должно быть ярко белым. В районе максимальной температуры факел должен покрывать зеркало стекломассы на ширину бассейна. Перелет пламени из горелок в противоположную горелку не допускается. Конец факела пламени

должен быть на 300—500 мм удален от противоположной стены (влета).

Варка малощелочного стекла осуществляется при более высоких температурах (°C):

Первая пара горелок	1 540
Вторая пара горелок	1 550
Третья пара горелок	1 560
Четвертая пара горелок	1 500
Пятая пара горелок	1 480

Так как для варки малощелочного стекла рекомендуется применение печей с незначительной выработочной частью или вообще без протока, то температура этого стекла при выработке мало отличается от конечных температур варки.

В процессе варки любых марок стекол необходимо следить за уровнем стекломассы. Во избежание разрушения верхнего ряда огнеупорных кирпичей бассейна печи и насыщения стекломассы включениями, которые могут способствовать образованию пузырей и свилей, не допускается колебание уровня стекломассы более ± 5 см.

4-4. ПРЕССОВАНИЕ СТЕКЛОДЕТАЛЕЙ

Подача стекломассы из печи в форму пресса для образования стеклодетали, т. е. придания стеклу окончательной конфигурации и размеров, осуществляется тремя способами. В опытном и мало-серийном производстве набор стекломассы из печи и ее передача в форму прессующих механизмов осуществляется вручную. Ручная наборка — трудоемкая операция, зависящая в значительной степени от квалификации рабочего, производится наматыванием стекломассы из выработочной части печи на металлическую трубку с шамотным наконечником — головкой. В зависимости от массы прессуемой стеклодетали ручная наборка осуществляется за один или два приема. В пресс-форму стекломасса отделяется от наборной головки ножницами. Для получения равномерно разогретой капли при ручном наборе необходимо осуществлять как вращательные, так и возвратно-поступательные движения наборником. Чтобы избежать попадания окалины с металлической трубки наборника в стекло, трубка периодически должна смазываться кусковым мелом. Максимальная масса набираемой капли при ручном способе, естественно, зависит

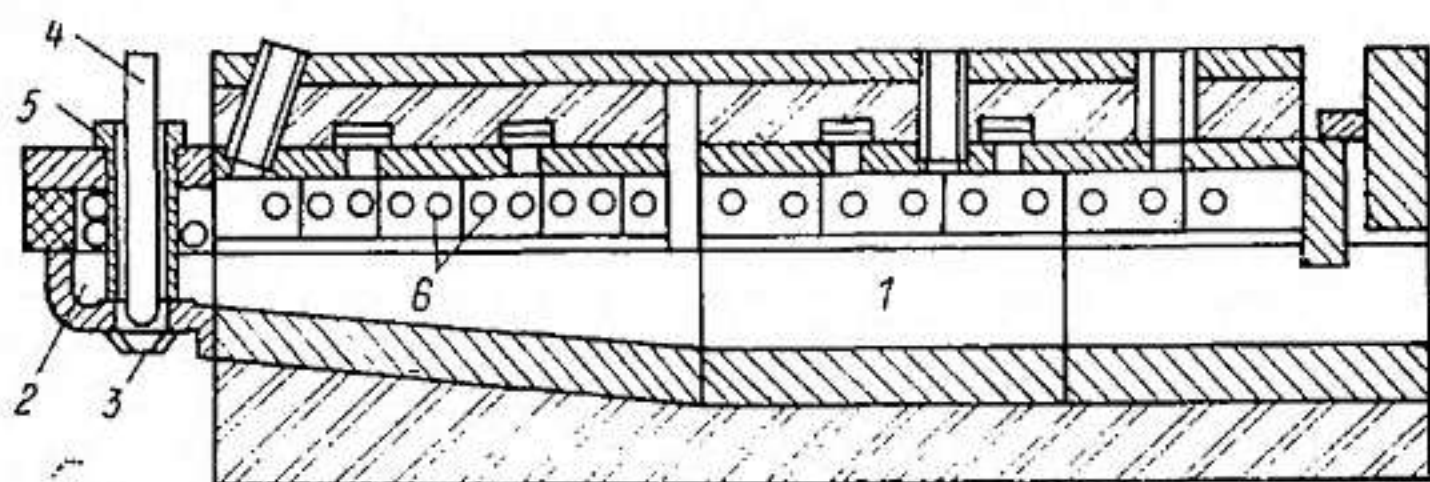


Рис. 4-13. Схема фидерного питателя.

от физических способностей наборщика. Как правило, при этом способе масса капли не превышает 6 кг.

При массовом производстве стеклянных изоляторов подача капли производится с помощью механических питателей двух типов: фидерного и вакуумного.

Фидерный питатель (рис. 4-13) состоит из следующих основных частей: 1 — канал (фидер) питателя — шамотный желоб со встроенными системами подогрева и охлаждения. Начальная часть канала, непосредственно примыкающая к выработочной зоне печи, носит название «зона охлаждения». Здесь стекломасса за счет вдувания охлаждающего воздуха доводится до температуры каплеобразования. В тех случаях, когда съем стекломассы невелик и течение в канале настолько замедленно, что может привести к остыванию стекла, необходим дополнительный разогрев стекломассы. Для этих целей в канале печи расположено несколько пар мазутных или газовых горелок 6, а в последних моделях питателей — электрические нагреватели, позволяющие поддерживать температуру стекломассы в канале с точностью до 1 °С.

Вторая часть канала носит название «зоны выравнивания». Здесь происходит выравнивание температуры по всей толще стекломассы. Эта зона также имеет систему горелок или нагревателей. Канал питателя оканчивается чашей 2. Очком 3 называется отверстие в чаше, через которое осуществляется истечение стекломассы. Очко изготавливается из огнеупорного материала и крепится к поддону чаши. Размер очка выбирается в зависимости от марки вырабатываемого стекла и массы капли, которую надо получить. Плунжер 4 изготовлен в виде шамотного стержня, совершающего в чаше ритмичные движения вверх и вниз подобно поршню насоса и выталкивающего через очко каплю стекла. Основная роль бушнга 5, т. е. сцентрированного с плунжером вращающегося шамотного цилиндра, нижний край которого расположен на определенном расстоянии от дна чаши, улучшить регулировку истечения стекломассы и выровнять температуру стекломассы в чаше питателя.

Ножницы — механизм, синхронизированный с движением плунжера и отрезающий в необходимый момент каплю, вытолкнутую через очко (на рис. 4-13 ножницы не показаны).

Для обеспечения необходимой механической устойчивости весь питатель помещен в металлический кожух, между стенками которого и основным огнеупорным материалом расположен слой термоизоляции. металлоконструкции крепятся к выработочной части ванной печи и подпираются несколькими стойками. Отдельные секции кожуха скрепляются болтами. Учитывая, что в зависимости от вы-

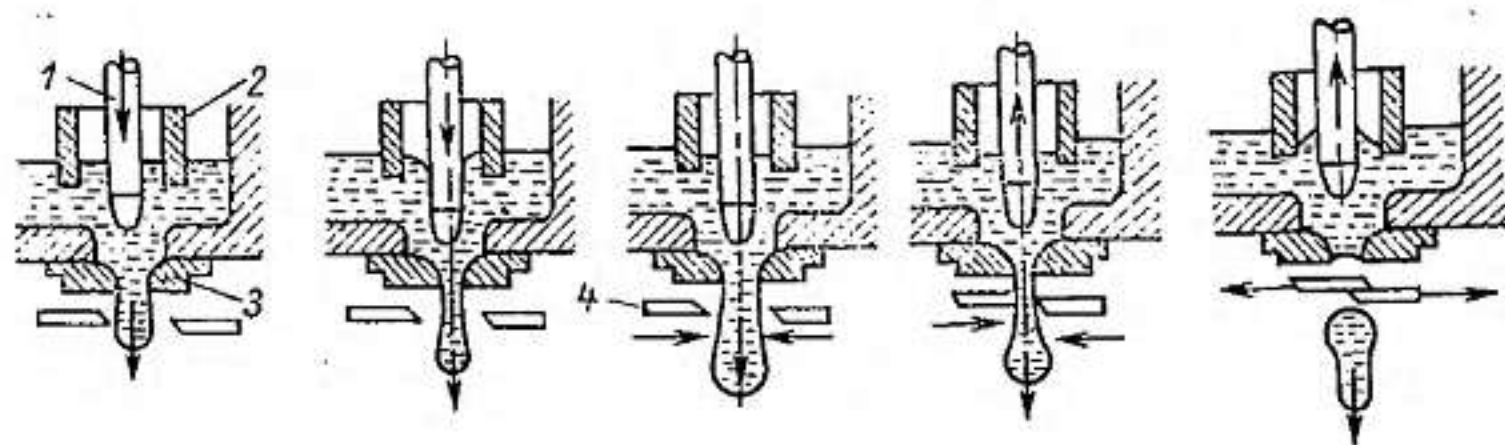


Рис. 4-14. Схема образования капли.

1 — плунжер; 2 — бушнг; 3 — очко; 4 — ножницы.

рабочих свойств стекла длина канала должна изменяться (для щелочных стекол — более длинный, для малощелочных — укороченный), деление канала на секции позволяет легко выбирать необходимую длину за счет исключения или добавления лишних секций.

Последовательность образования капли на разных стадиях работы питателя изображена на рис. 4-14. Стекломасса может вытекать через око непрерывной струей. Однако, когда работает плунжер, он при движении вниз принудительно проталкивает стекломассу через око, образуя утолщение струи. При движении вверх он всасывает стекломассу обратно в око, создавая в струе стекла пережим между двумя смежными утолщениями — будущими каплями. Непосредственно под око ножницы срезают струю по месту пережима и образуют каплю. Ножницы делают отрез в момент, когда плунжер, вытолкнув каплю, начинает снова подниматься вверх.

Для того чтобы улучшить температурную и структурную гомогенизацию стекломассы в чаше, у некоторых типов питателей плунжер во время движения вращается вокруг своей оси. С этой же целью вращательное движение передается бушингу. С помощью придания плунжеру необходимой формы и размеров, синхронизации движения плунжера и ножниц, а также выбора требуемого око форма и масса капли стекла, вырабатываемой питателем, могут регулироваться в достаточно широких пределах. Форма капли зависит также от характера работы плунжера во времени и расстояния лезвий ножниц до око питателя. Быстрый ход плунжера вниз и медленный ход вверх с небольшой остановкой сверху, совмещение моментов толкания плунжера и отрезка капли, а также близкое расположение к око ножниц округляет и укорачивает каплю. Этого же можно добиться, опуская плунжер с соответственным уменьшением длины его хода.

Форма и температура капли в значительной степени определяют качество прессуемой стеклодетали. У слишком длинной капли нижний конец получается более холодным, чем верхний, что приводит к термической неоднородности стекломассы в форме. Удлинение капли способствует ее зависанию в направляющей воронке и образованию большого количества складок при падении в форму, которые в свою очередь, как правило, вызывают образование

Таблица 4-5

Диаметр капли, мм	Длина капли, мм, при массе капли, г								
	1 077	1 134	1 191	1 217	1 304	1 361	1 417	1 474	1 531
60	175	183	191	198	208	216	224	231	239
63	160	168	175	183	188	198	206	213	221
67	150	155	163	168	175	183	188	196	201
70	140	145	152	157	163	170	175	183	188
73	132	135	140	147	152	157	163	168	173
76	122	127	132	137	142	147	152	157	163
79	117	122	124	130	135	140	145	150	155
83	112	114	119	124	127	132	137	142	145
86	107	109	112	117	122	124	130	132	137
89	102	104	109	112	117	119	124	127	132
92	97	102	104	107	112	114	119	122	124

воздушных пузырей. Чересчур короткая и кривая капля неправильно ложится в форму, что препятствует получению стеклодеталей с требуемыми допусками по толщине.

Диаметр очка, как указывалось выше, выбирается в зависимости от массы капли и формы прессуемого изделия. В табл. 4-5 приведена примерная зависимость диаметра и длины капли от ее массы в диапазоне 1,0—1,5 кг, определенная при изготовлении штыревых изоляторов ШСС-10 из малощелочного стекла.

В зависимости от типа серийно выпускаемые фидерные питатели могут выдавать каплю массой от 0,01 до 10—12 кг, при этом их производительность колеблется в пределах 65—4 капель в 1 мин.

Вакуумные питатели (рис. 4-15) в отличие от фидерных работают на принципе набора порции стекломассы в наборную головку за счет создания в ней необходимой степени разрежения.

Набор стекломассы производится непосредственно из выработочной части печи через специальное окно. При выходе наборной головки 2 из печи специальный нож отрезает возникающие при этом жгуты стекломассы. Подача стекломассы в пресс-форму прессующего механизма осуществляется после раскрытия крышки наборной головки за счет силы тяжести капли при создании в полости формирующей головки нормального или избыточного давления. Вакуумные питатели в зависимости от конструкции монтируются либо на спе-

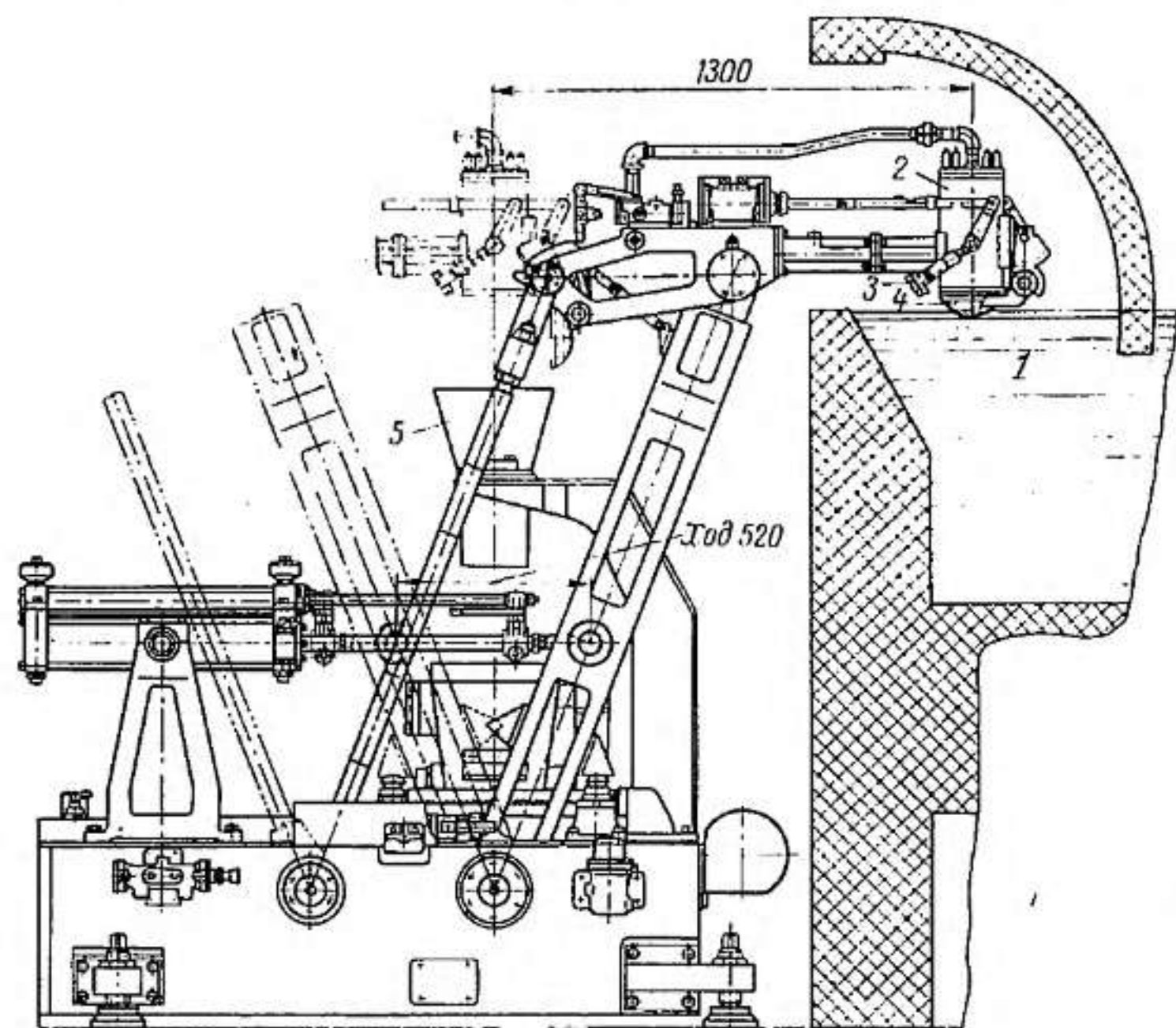


Рис. 4-15. Вакуумный питатель.

1 — стекломасса; 2 — наборная головка; 3 — нож; 4 — крышка; 5 — воронка для сброса капли.

циальных площадках, расположенных над прессами и примыкающих к печи, либо на одном уровне с прессом.

По сравнению с фидерными вакуумные питатели обладают несомненным преимуществом, заключающимся в том, что во время остановки формующей машины вакуумный питатель тоже не работает, а стекломасса в этот момент не расходуется. Фидерные пи-

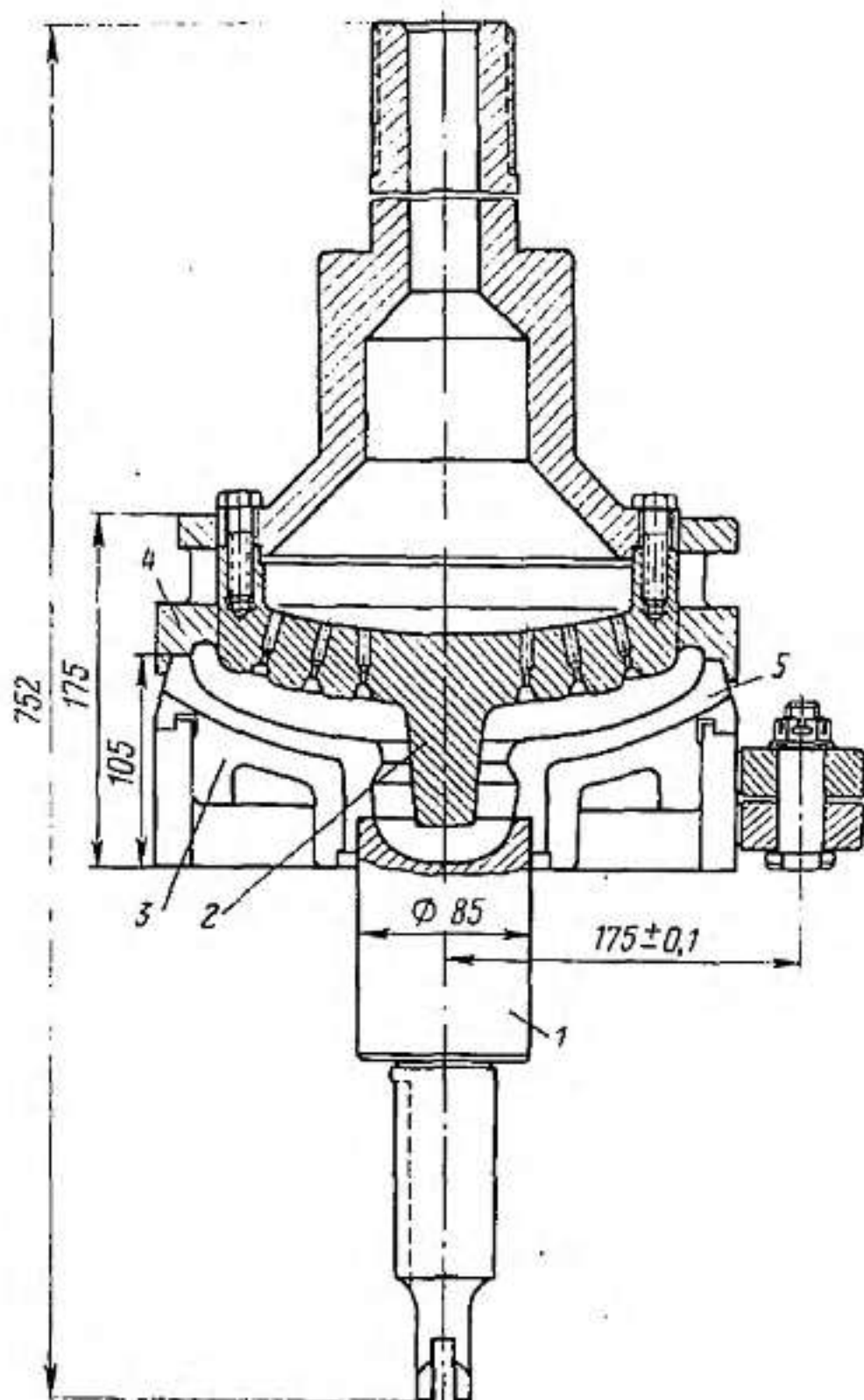


Рис. 4-16. Пресс-форма для прессования изолятора ПСБ-А.

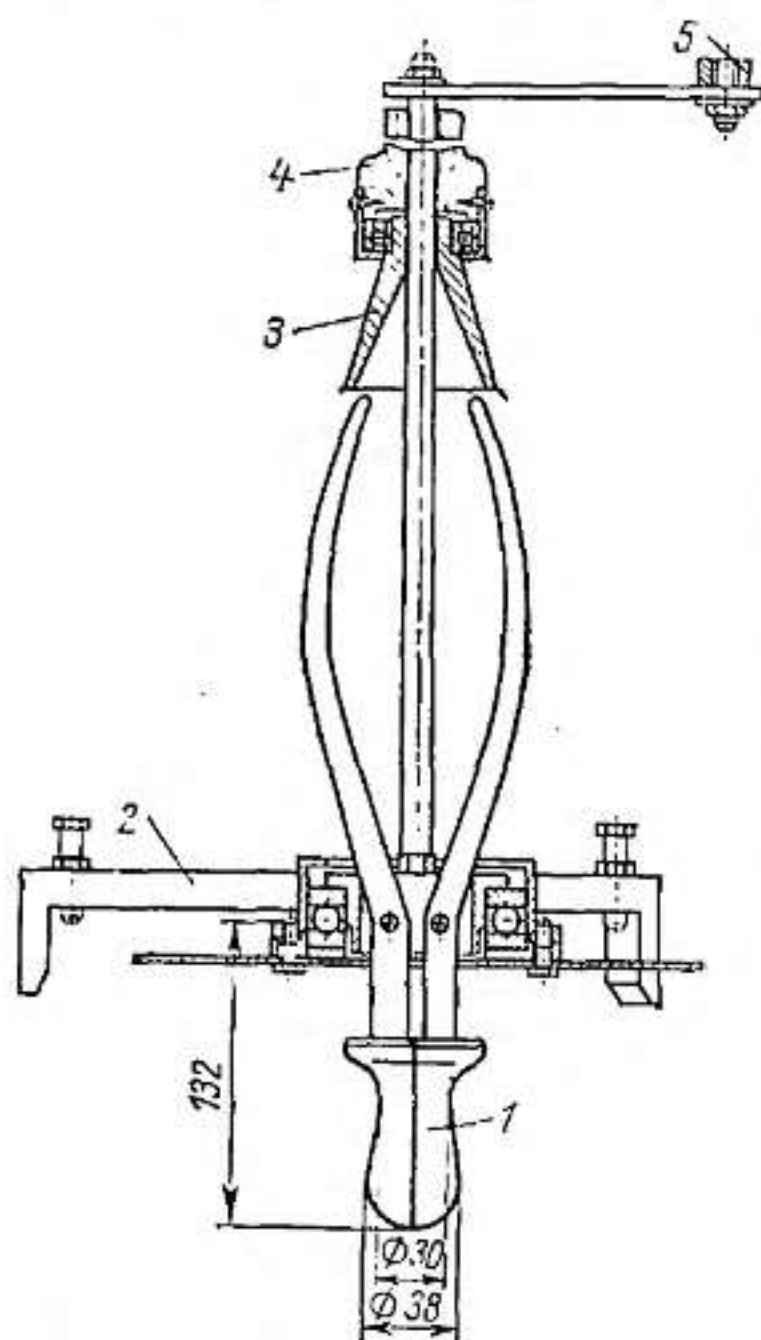
1 — поддон; 2 — kern; 3 — левая створка (полу-форма); 4 — кольцо; 5 — стальной вкладыш.

татели вне зависимости от работы формующих машин во избежание остывания стекломассы в канале должны постоянно расходовать стекло в виде капли или непрерывной струи. В то же время фидерные питатели позволяют почти идеально (при электрическом обогреве) регулировать температуру капли и сохранять ее тепловую однородность по всему сечению, тогда как при вакуумном наборе почти всегда наблюдается перепад температуры капли от центра

к периферии за счет соприкосновения стекломассы с металлом наборной головки.

Существенным недостатком вакуумных литейных установок является возможность засорения стекломассы в печи окислами металла, смазкой и нагаром при систематическом погружении наборной головки в стекло. Однако несмотря на это вакуумные литейные установки используются при изготовлении высоковольтных изоляторов.

Пресс-формы для изготовления стеклянных изоляторов по своей конструкции принципиально ничем не отличаются от пресс-форм, применяемых для изготовления других прессуемых стеклодеталей. Формовой комплект состоит из следующих частей (рис. 4-16):



1 — поддон с выталкивателем, являющийся основанием для выпрессовывания нижней части головки изолятора (стеклянные элементы изолятора, как правило, прессуются головкой вниз); 2 — керн, выпрессовывающий нижнюю ребристую поверхность стеклянного элемента изолятора; 3 — разъемные створки для выпрессовывания боковых поверхностей изолятора; во время прессования створки плотно соединяются и запираются специальными замками; для выемки отпрессованной стеклодетали створки открываются; 4 — кольцо для соединения створок и удержания стекломассы в форме при прессовании.

Так как форма внутренней полости большинства типов стеклянных изоляторов не позволяет производить формовку свободно выходящим из отформованной стеклодетали керном, то для образования конической полости головки подвесных изоляторов или резьбы у штыревых изоляторов применяются керны особых конструкций.

Резьба во внутренней полости штыревых изоляторов формируется двумя способами.

Первый способ заключается в формировании прямым керном цилиндрического гнезда и последующего вворачивания метчика в еще не застывшую стекломассу. Этот способ требует очень точного соблюдения всех режимов выработки и формования, так как малей-

шее повышение вязкости, больше допустимой, делает невозможным ввинчивание метчика в цилиндрическое гнездо изолятора.

Более совершенным является способ, при котором керн-метчик запрессовывается в горячую стекломассу во время формования всего

Рис. 4-17. Ручная развертка для подвесных изоляторов.

1 — колодка цанговая (наконечник); 2 — корпус (трехлапчатый); 3 — прижимной конус; 4 — рукоятка центральная; 5 — рукоятка для вращения.

изолятора, а затем после повышения вязкости стекла вывинчивается из готового изолятора, оставляя четкую неоплывающую резьбу.

Формовка внутренней полости головки подвесных изоляторов осуществляется путем развертки гнезда цилиндрической формы, отпрессованного керном с цилиндрическим наконечником. Вторая операция — развертка — производится специальным приспособлением.

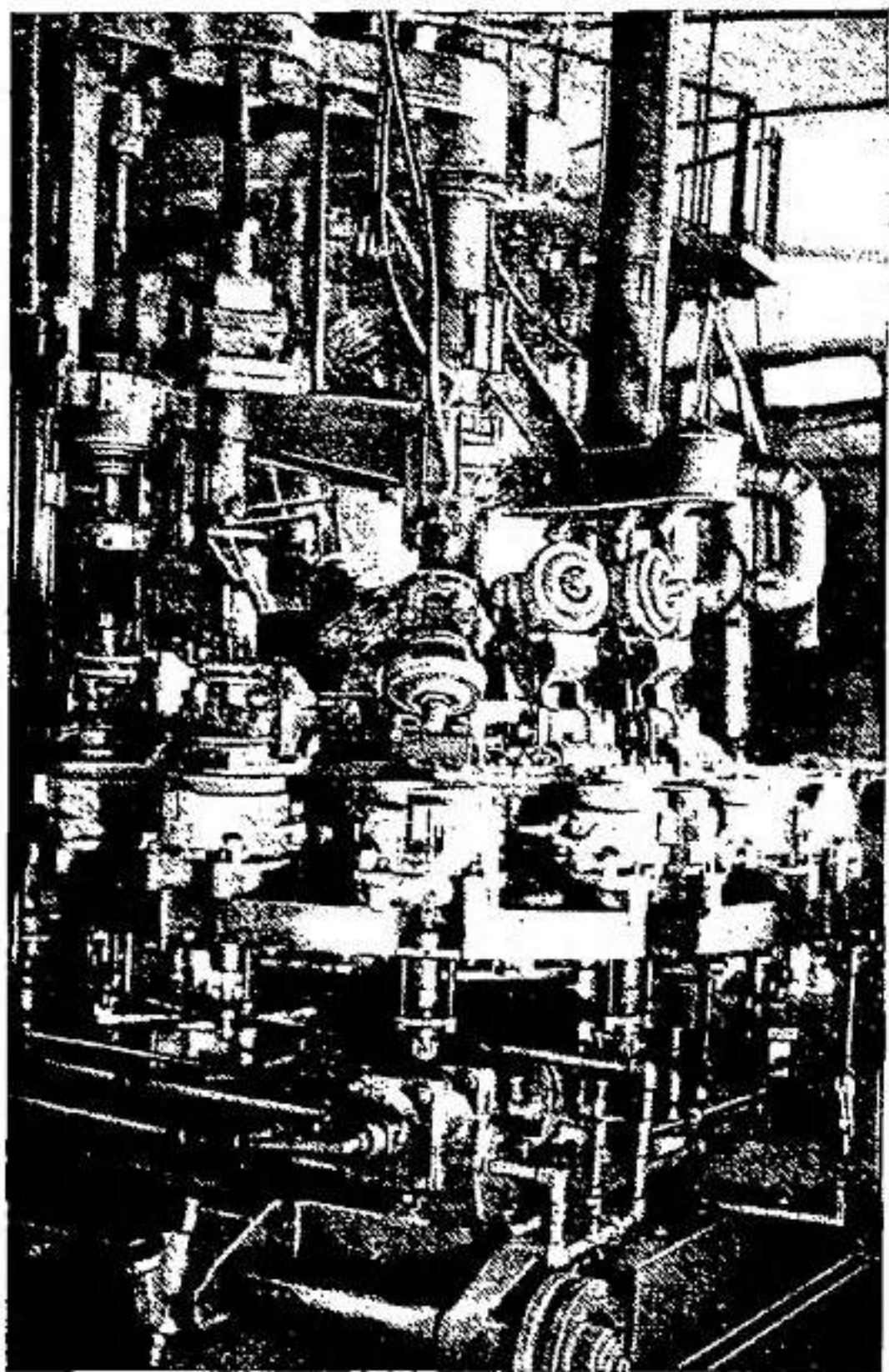


Рис. 4-18. Автоматический пресс ПВИ-12 для выработки стеклянных изоляторов.

На рис. 4-17 показана развертка, применяемая при ручном производстве подвесных изоляторов. Она представляет собой цанговый механизм, нижняя часть которого с фасонным наконечником опускается в цилиндрическое гнездо изолятора и приводится во вращение с одновременным разведением в стороны двух половинок формирующего наконечника за счет опускания вниз рукоятки разверт-

ки. Операция развертки производится до приобретения стеклом высокой вязкости.

При механизированном способе производства развертка внутренней полости головки подвесных изоляторов осуществляется механизмами различных конструкций, однако принцип двухстадийного оформления полости сохраняется. При этом возможно использование как единой развертки для всех пресс-форм, расположенных на прессе, так и индивидуальных разверток, количество которых соответствует количеству пресс-форм.

При прессовании стеклодеталей изолятора применяются, как правило, специальные многопозиционные прессы, в конструкции которых предусмотрены механизмы раскрывания форм и развертки. Серийно выпускаемые стеклоформующие машины, предназначенные в основном для формования хозяйственных изделий, не имеют указанных механизмов и поэтому не могут без доработки использоваться в изоляторном производстве. При малосерийном или опытном производстве для прессования стеклодеталей изоляторов применяются однопозиционные прессы пневматического или рычажного типа.

Полностью автоматизированные прессы имеют поворотные столы, снабженные несколькими пресс-формами. Число форм, устанавливаемых на столе, зависит от массы и размеров прессуемых элементов изоляторов, марки стекла и соответствующего ей режима прессования. Во всех случаях формы устанавливаются на столе на равном расстоянии друг от друга. Стол вращается периодически так, что каждая форма занимает последовательную позицию и остается на ней определенное время, достаточное для осуществления всех технологических процессов прессования. Для поворота стола чаще всего используется пневматический привод, в редких случаях — механический. Характерным представителем пневматических стеклоформующих машин, предназначенных для изготовления стеклянных изоляторов, является пресс ПВИ-12 (рис. 4-18). Пресс предназначен для выработки высоковольтных и низковольтных штыревых изоляторов с массой от 0,5 до 1,5 кг. При небольшой модернизации пресс может быть использован для прессования штыревых и подвесных изоляторов с массой до 3,5 кг.

Основные характеристики прессы приведены ниже.

Диаметр стола, мм	1 700
Число форм	12
Вид привода	Пневматический
Рабочее давление воздуха, кгс/м ²	34 · 10 ³
Наибольший диаметр изделия, мм	150
Наибольшая высота изделия, мм	110
Прессующее усилие при цилиндре Ø 200 мм, кгс	715
Размеры, мм:	
длина	2 250
ширина	1 800
высота	3 250
Масса прессы, кг	6 000

Над каждой из 12 пресс-форм прессы ПВИ-12 размещена опрокидывающаяся формующая головка с керном-метчиком, автоматически поднимающаяся и опускающаяся по заданной циклограмме. Синхронность работы прессы и механического фидерного питателя осуществляется золотником, установленным на редукторе привода бушинга и ножиц фидера.

Прессование штыревых изоляторов на прессе ПВИ-12 происходит в следующей последовательности.

Падение капли в пресс-форму происходит на позиции № 1. Формующая головка поднята, керн-метчик выдвинут из нее до отказа. После принятия формой капли стекломассы стол поворачивается дальше на одну позицию так, что положение формы соответствует позиции № 2. Здесь происходит процесс формования: формующая головка опускается и закрывает форму, керн-метчик запрессовывается в тело изолятора при опускании всего механизма прессования (под действием сжатого воздуха).

На позиции № 3 происходит выдержка изолятора в форме. На позиции № 4 керн-метчик вывинчивается из внутренней полости головки изолятора. Подъем керн-метчика продолжается на позиции № 5. После этого стол перемещается на позицию № 6, где формующая головка поднимается, а керн-метчик выталкивается из нее для быстрого охлаждения. На позициях № 6 и 7 происходит отвердева-

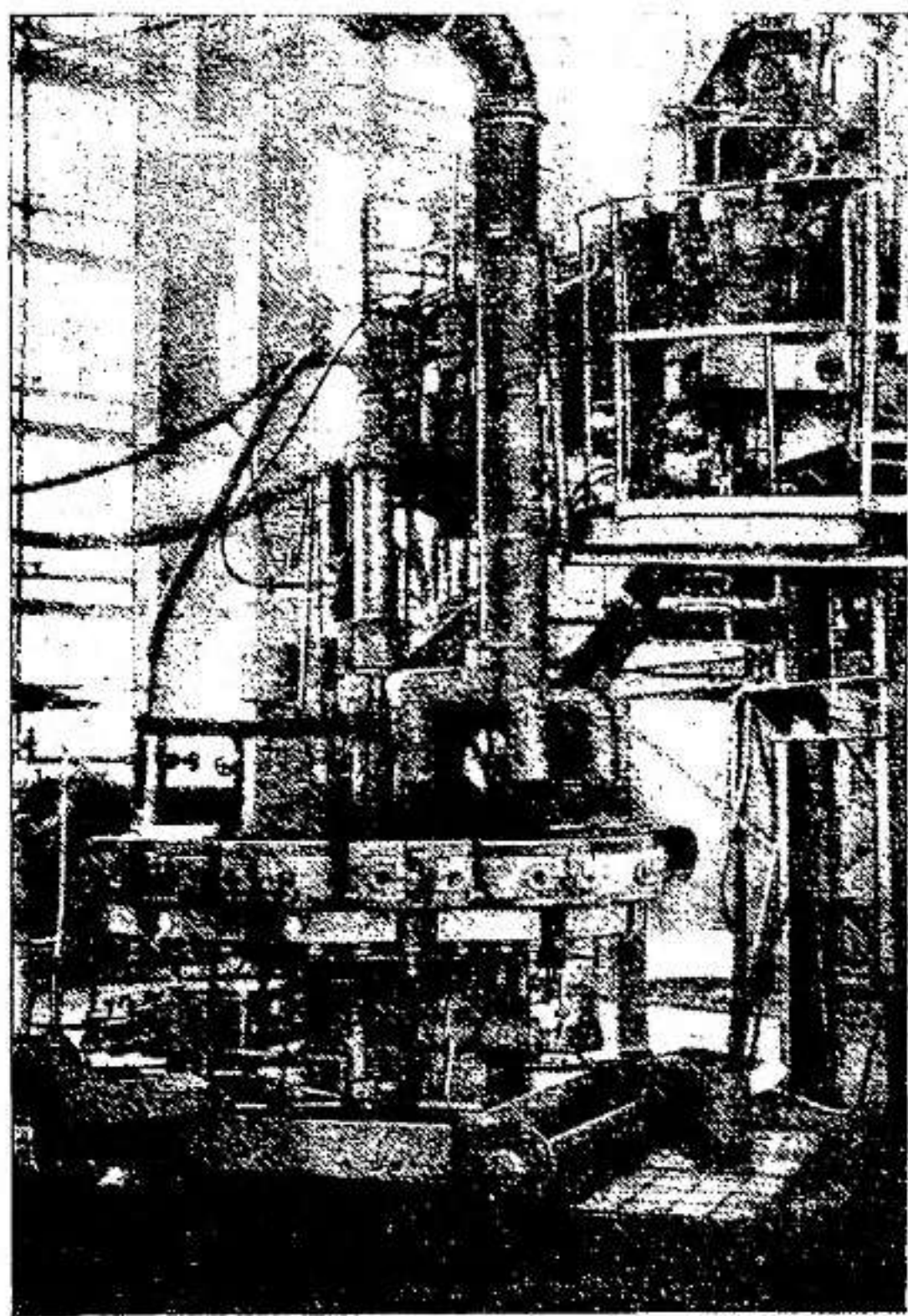


Рис. 4-19. Автоматический пресс ППИ-12М для выработки стеклянных изоляторов.

ные изделия, которое охлаждается сжатым воздухом. На позиции № 8 формы раскрываются и отформованные стеклодетали снимаются с пресса. На позициях № 9, 10 и 11 завершается охлаждение пресс-формы и формующей головки. На последней позиции № 12 форма окончательно закрывается и цикл прессования стеклодеталей повторяется.

Аналогичный принцип работы заложен в конструкцию автоматического 12-позиционного пресса ППИ-12М, применяемого для выпуска стеклянных элементов подвесных изоляторов (рис. 4-19). Пресс предназначен для изготовления стеклодеталей с массой до 4 кг с размерами: высота — 120 мм, диаметр — 270 мм. Вместо кернов-метчиков, предусмотренных на прессе ПВИ-12 для нарезки резьбы штыревых изоляторов, на прессе ППИ-12М имеется 12 развальцо-

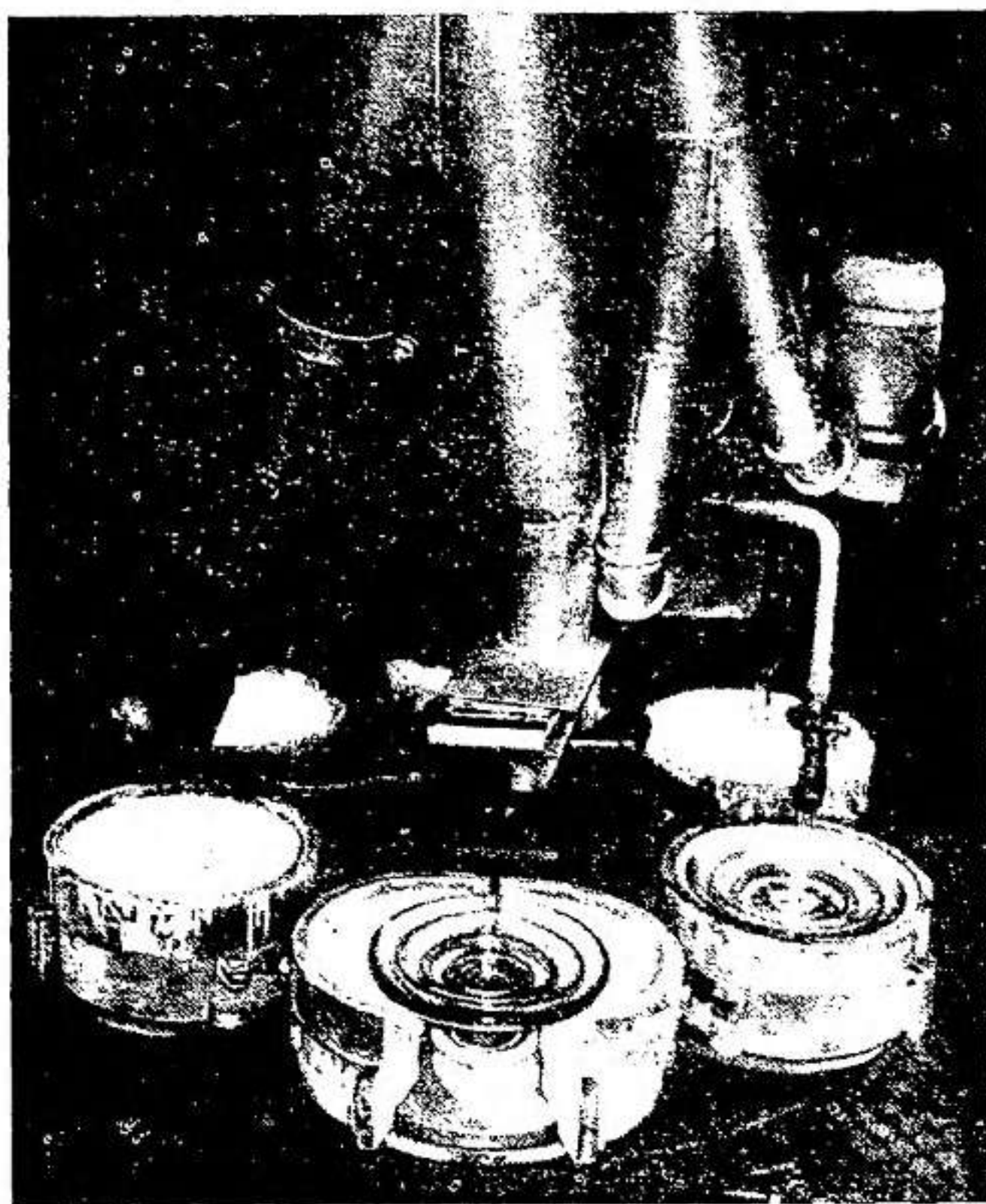


Рис. 4-20. Стол пресса РВМ на переднем плане (справа налево): обдув отпрессованной стеклодетали; раскрытие пресс-формы с готовой стеклодеталью; закрытая пресс-форма, готовая для приема очередной капли.

вочных головок (разверток), работающих поочередно на одной из позиций. Они отформировывают внутреннюю коническую полость в стеклянных элементах подвесных изоляторов. Формование стеклодеталей изоляторов может осуществляться и на прессах типа РВМ, оборудованных дополнительным механизмом раскрытия пресс-форм, и механизмом развертки. На столе такого пресса (рис. 4-20) размещаются шесть форм, один пуансон и одна развертка.

На первой позиции в форму из питателя падает капля. На второй — форма со стеклом подводится под прессующий механизм. При этом положение стола закрепляется стопором, пуансон опускается и происходит прессование. При этом форма предохраняется от раскрытия механизмом запирания. На третьей позиции опускается механизм развертки и производится развальцовка внутренней полости головки стеклянного элемента изолятора.

На следующей позиции стеклодеталь обдувается в форме сжатым воздухом. На пятой позиции происходит дополнительное охлаждение стеклодетали воздухом. Затем пресс-форма раскрывается и стеклодеталь снимается с пресса. На последней — шестой позиции завершается охлаждение пресс-формы и запирание ее для начала нового технологического цикла.

Все описанные конструкции стеклоформирующих прессов работают от пневматического привода, что позволяет очень плавно регулировать режимы прессования. В конструкции пресса, разработанного для выпуска стеклодеталей подвесных изоляторов ПС6-А Львовским ПКТИ (рис. 4-21), привод машины механический, усилие прессования создается за счет специальных пружин, режимы работы пресса и его циклограмма задаются жесткими нерегулируемыми вертикальными и горизонтальными копиями.

Каждая из 12 позиций пресса оснащена индивидуальным прессующим механизмом и разверткой, которые на соответствующих позициях под действием роликовых катков, скользящих по вертикальным копиям, производят прессование и развальцовку внутреннего конуса. Горизонтальные копии управляют механизмами открытия и закрытия пресс-форм, перемещением их из-под формирующего пуансона под развертку.

Для переналадки режима работы такого пресса или изменения номенклатуры выпускаемых изоляторов необходимо не только заменить формокомплекты, но и копии и прессуемые пружины, что по существу связано с реконструкцией всего пресса. Роторные механические прессы оправдывают себя только в условиях крупносерийного производства при длительном выпуске изделий одной и той же конструкции. В производстве стеклянных изоляторов прессы такого типа пока не нашли широкого применения.

Режимы прессования во многом зависят от типа прессуемого изолятора, а также выработочных свойств состава стекла, которое используется для производства. Чем короче стекло, тем быстрее должен протекать процесс формования, тем выше должна поддерживаться температура в выработочной части печи и питателе. С этой точки зрения короткие стекла, такие как, например, 13в, диктуют более интенсивный ритм работы стеклоформирующих машин, чем длинные стекла. В свою очередь длинные стекла не вызывают чрезмерного перегрева стеклоформирующего комплекта и его быстрого износа.

Большое значение для процесса прессования имеет правильное распределение усилия прессования по величине и продолжительности действия. Пуансон должен вдавливать стекломассу до полного за-

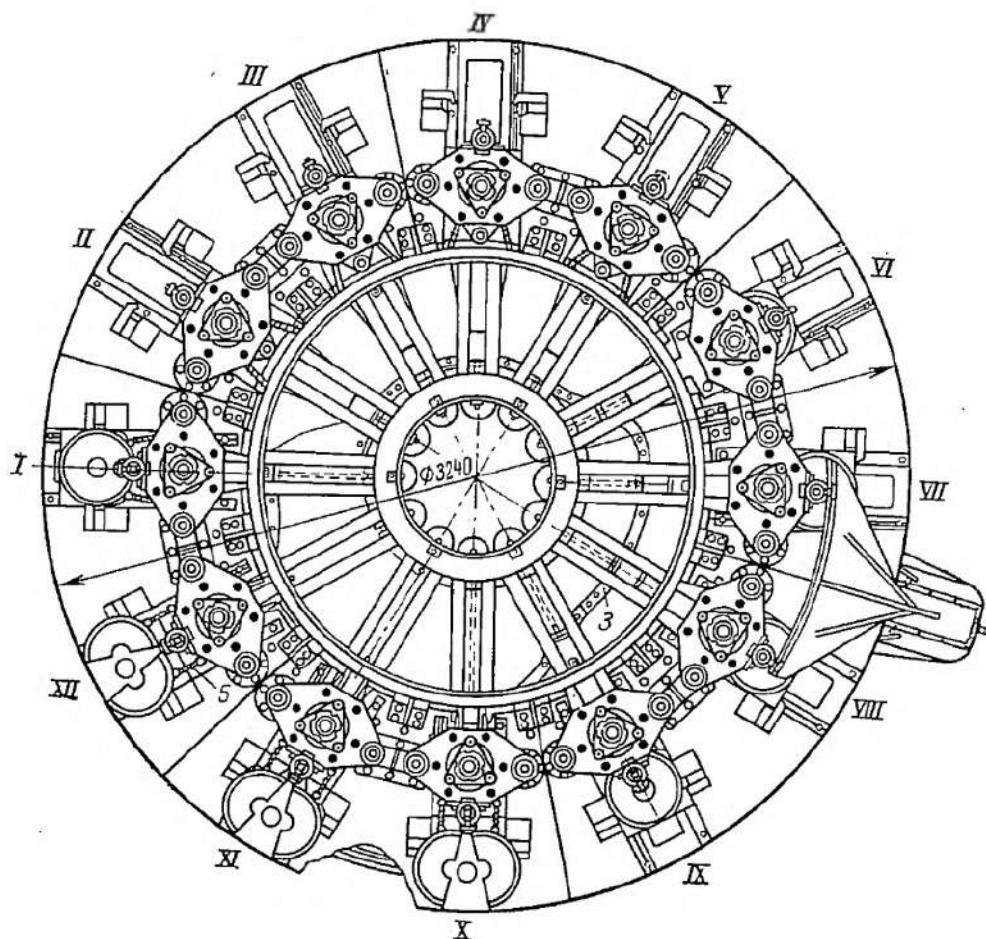
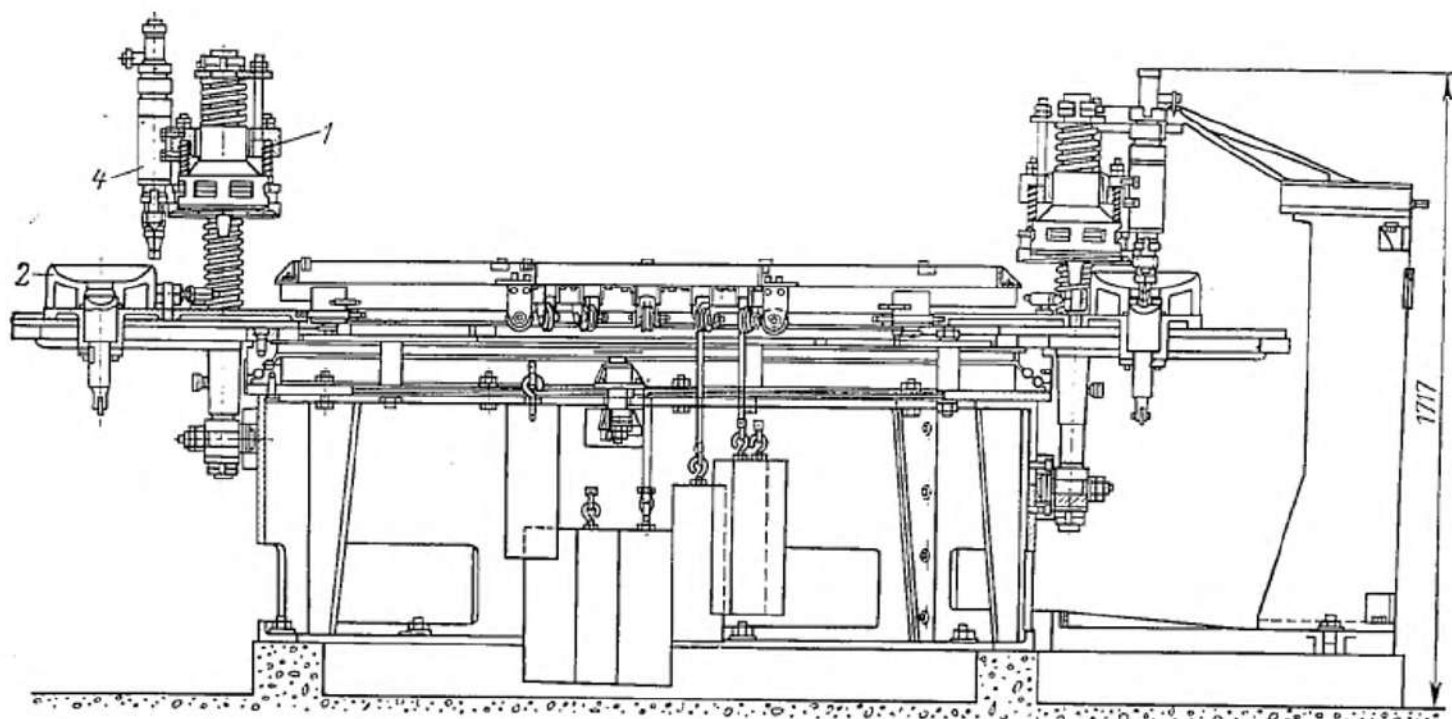


Рис. 4-21. Роторный пресс для прессования стеклянных изоляторов.

1 — механизм прессования; 2 — пресс-форма; 3 — горизонтальный копир; 4 — механизм развертки.



полнения ею формы. Выводиться же из формы он должен плавно, чтобы не погнуть за собой стекло. Режимы прессования стеклянных элементов изоляторов при ручном и особенно при автоматическом способах выбираются и регулируются так, чтобы были выдержаны оптимальные значения времени прессования и температуры стекла данного состава.

Например, при ручной выработке стеклодетали изолятора ПС30 из стекла 13в (масса капли 5,6—6 кг) и прессовании ее на пневматическом однопозиционном прессе выдерживаются следующие параметры:

температура в рабочей части печи поддерживается в пределах 1 300—1 310 °С;

общий цикл прессования стеклодеталей 2 мин. Из них время пребывания стекла в форме (от момента подачи капли до выемки готового изделия из формы) колеблется от 1 мин до 1 мин 10 сек;

развальцовка внутренней конической полости изолятора производится в течение 10—15 сек. За это время мастер делает около 20 оборотов разверткой;

обдувание центральной части стеклодетали сжатым воздухом производится в течение 15—25 сек;

охлаждение стеклодетали в естественных условиях цеха на асбестовой плите 25—40 сек.

В табл. 4-6 приведены сравнительные циклограммы ручного прессования стеклодеталей подвесного изолятора ПС16 из щелочного и малощелочного стекол.

Таблица 4-6

Наименование операции	Продолжительность, сек	
	щелочное стекло	малощелочное стекло
Прессование (опускание керна, выдержка и отрыв пуансона) . .	20	8
Развальцовка	12—15	15—20
Охлаждение центральной части сжатым воздухом	35—40	18—24
Охлаждение в естественных условиях	20—25	25—35
Полный цикл изготовления стеклодетали	122	105

По циклограмме ручного прессования подбираются и регулируются режимы прессования на автоматических прессах. При этом делается корректировка по времени, учитывающая сокращение цикла таких операций, как подача капли в стеклоформу, опускание керна, вывинчивание керна, развертка и т. д.

В табл. 4-7 приведены сравнительные данные по продолжительности одних и тех же операций при ручном и механизированном прессовании штыревых изоляторов ШСС-10 из малощелочного стекла.

Еще больший выигрыш по времени достигается при переходе с ручного на механизированный метод прессования, когда речь

Таблица 4-7

Наименование операций	Продолжительность, сек	
	при ручном методе	при механизированном методе
Время от отреза капли до начала опускания керна	7,0	4,3
Время опускания керна	3,0	1,2
Время нахождения резьбового керна в стекле	17,0	15,8
Время вывинчивания резьбового керна	1,0	1,2
Время от конца вывинчивания керна до выемки изолятора из формы	33,0	28,1
Время нахождения прессующей головки в стекле	28	29,1
Длительность всего цикла от отреза одной капли до отреза другой	98,0	88,4

идет о подвесных изоляторах. Так, если при ручном прессовании стеклянного элемента изолятора ПСБ-А из щелочного стекла продолжительность всего цикла составляет более 100 сек, то выработка этого изолятора на роторном прессе позволяет сократить время до 86,3 сек. При работе на пневматических прессах это время сокращается еще больше.

Ритм работы автоматических прессов и связанных с ними питающих устройств при выработке стеклянных элементов изоляторов зависит, как уже указывалось выше, от формы и массы элемента изолятора, а также состава используемого стекла. Для самых легких штыревых низковольтных изоляторов из малощелочного стекла ритм работы пресса колеблется в пределах 10—14 капель в 1 мин. При выпуске более сложных изделий (ШСС-10) ритм сокращается до 8,3 капли в 1 мин, а выработка стеклодеталей подвесных изоляторов из любых марок стекла осуществляется с ритмом 6,4—4 капли в 1 мин. Температура капли стекломассы, подаваемая в пресс-форму в основном зависит только от состава (марки) стекла. При выработке стеклянных элементов изоляторов из малощелочного стекла температура капли не должна быть ниже 1170—1200 °С, выработка стеклодеталей из щелочного стекла осуществляется при температуре капли 1050—1100 °С.

При таких высоких рабочих температурах особые требования предъявляются к пресс-формам и в первую очередь к материалам, из которых они изготовлены. Перед началом прессования все формокомплекты должны быть введены в режим, т. е. разогреты до определенной температуры, соответствующей заданным параметрам прессования (400—500 °С). На изоляторных заводах эта операция осуществляется путем разогрева форм стекломассой. В течение нескольких циклов стекломасса подается в формы без получения годных изделий. Известен и другой, более экономичный способ предварительного разогрева стеклоформ — в специальных печах с последующей установкой их на пресс. В процессе производства температура пресс-форм должна быть по возможности постоянной и не отклоняться от заданной.

Это достигается путем быстрого отвода значительного количества тепла, вводимого в форму стекломассой. Как правило, охлаждение всех частей формокомплекта осуществляется за счет обдувания воздухом. В конструкции пресса ППИ-12М предусмотрено водяное охлаждение кернов.

Материал, используемый для изготовления формового комплекта, с точки зрения долговечности и обеспечения требуемого качества стеклянных элементов изоляторов должен отвечать следующим требованиям:

устойчивость к тепловому и механическому удару, а также к коррозии; хороший отвод тепла; хорошая восприимчивость к механической обработке и способность к отделке поверхности.

Для изготовления формового комплекта при производстве стеклянных изоляторов обычно применяется жаропрочный чугун следующего химического состава (в %): Si—1,7—2,3; Mn—0,5—0,7; S—0,05—0,08; P до 0,2; Cr—0,6—0,8; Ni—0,2—0,4; C—3,2—3,6; Fe — остальное.

В некоторых случаях для повышения устойчивости пресс-форм их изготавливают из чугуна марки ЖЧХ-0,8 с добавлением 0,3—1,0% молибдена и увеличенным до 0,7% содержанием никеля.

Керн-метчики и развертки изготавливаются из специальных жаропрочных сталей.

Жароупорная сталь используется также для изготовления вкладышей в пресс-формы, которые увеличивают срок службы формовых комплектов и качественно отпрессованных стеклодеталей.

В основном приведенные выше составы жаропрочных чугунов не отличаются от состава чугуна в применяемых для изготовления стеклоформирующих комплектов за рубежом.

Так, бельгийской фирмой ОМСО рекомендуется чугун следующего состава (%): Si—1,9—2,10; Mn—0,6—0,7; S до 0,1; P до 0,25; Cr—0,2—0,3; Ni—0,6—0,7; C—3,5—3,65, Fe — остальное.

Для улучшения полировочных свойств чугуна фирма вводит в его состав около 0,3% титана. Повышение антикоррозионности и экстрагирования тепла достигается никелированием пресс-форм, осуществляемым по особой технологии.

Другим типом материала, применяемого для изготовления стеклоформ (особенно при высоких температурах выработки), являются сплавы на медной основе, нержавеющей стали и специальные никелевые сплавы. В этих материалах содержание никеля колеблется от 13 до 97%.

Для изготовления толстостенных прессованных стеклодеталей изоляторов многие зарубежные фирмы применяют пресс-формы из ферритной мартенситной стали, содержащей около 17% хрома и 2% никеля, или аустенитной стали, содержащей около 25% хрома и 20% никеля.

Все перечисленные материалы очень дороги, но их долговечность и высокое качество отпрессованных стеклодеталей, по-видимому, оправдывают первоначальные затраты.

В процессе работы формокомплекты вследствие их периодического нагрева и охлаждения подвергаются износу, на их поверхности образуются дефекты: раковины, оксидные включения, микротрещины, которые затрудняют текучесть стекломассы, вызывают ее прилипание и разрыв. Поэтому оснастка стеклоформирующих машин требует тщательного ухода. Пресс-формы должны быть хорошо обработаны, их рабочая поверхность должна быть зеркальной. Во избежание прили-

пания стекла к пресс-форме последние периодически подвергаются смазке либо коллоидно-графитным препаратом МС в смеси с графитовой смазкой и органическими маслами, либо препаратом МС без примеси. При этом применение чистого препарата МС повышает на 50—60 °С температуру прилипания стекла к пресс-формам. Смазка кернов, керн-метчиков и разверток производится жидкими смазками различных составов либо непосредственно по металлу, либо впрыскиванием смазки в гнездо изолятора перед введением туда развертки и керн-метчика. Вместо жидких смазок иногда используются древесные опилки, которые вводятся в гнездо изолятора перед погружением развертки. Длительное применение смазки приводит к образованию на поверхности пресс-форм налета, затрудняющего формование стеклодеталей изоляторов. Поэтому рабочая поверхность пресс-форм подлежит периодической чистке и полировке. Значительно больший эффект по сравнению со смазкой дает графитизация пресс-форм. Перед установкой на пресс пресс-формы графитизируют, т. е. покрывают графитом по специальной технологии. В процессе работы графитную пленку периодически восстанавливают, в результате чего получают стеклодетали с блестящей гладкой поверхностью. Предварительная графитизация препятствует прилипанию стекла, уменьшает разрушение металла и увеличивает срок службы пресс-форм.

Формование толстостенных и сложных по конфигурации стеклянных элементов изоляторов является сложным технологическим процессом, успех которого зависит от многих факторов. Сложность состоит в правильном выборе температурных режимов формования, регулировании работы прессового оборудования, тщательном изготовлении пресс-форм и поддержании их рабочего состояния. Выше было приведено только краткое описание основных конструкций оборудования и технологических режимов, используемых при производстве стеклодеталей изоляторов.

4-5. ТЕРМООБРАБОТКА СТЕКЛОДЕТАЛЕЙ

Все опрессованные стеклодетали, в том числе и изолирующие детали стеклянных изоляторов, после окончания процесса формования (прессования) должны быть подвергнуты термообработке: отжигу или закалке. Отжиг необходим для снятия внутренних напряжений в стекле, образовавшихся при прессовании изделий, вследствие неравномерного и быстрого охлаждения. Отожженные стеклоизделия приобретают упорядоченную структуру и благодаря этому обладают максимально допустимым для данного состава стекла электрическими свойствами. В то же время механическая прочность и термическая устойчивость отожженного стекла невысоки. Это обстоятельство позволяет выпускать из отожженного стекла только те изоляторы, требования к механической прочности которых не превышают 1500—2000 кгс. Это прежде всего низковольтные штыревые изоляторы, а также большинство высоковольтных штыревых, опорных и опорно-штыревых изоляторов. К подвесным высоковольтным изоляторам предъявляются более высокие требования, поэтому эти изоляторы подвергаются закалке. Как указывалось выше (гл. 1), закалка значительно увеличивает механическую и термостойкость стеклянных изделий путем создания в стекле равномерно распределенных напряжений.

Существует несколько способов закалки стекла, однако наиболее распространенным и наиболее изученным является метод воздушной закалки. Этот метод, применяемый и для закалки стеклодеталей изоляторов, заключается в резком охлаждении струями холодного воздуха предварительно нагретой стеклодетали изолятора.

Картина качественных изменений напряжений, происходящих в стекле во время закалки, была рассмотрена ранее. Можно ли хотя бы приблизительно рассчитать количественное значение напряжений закалки в стекле в зависимости от параметров технологического процесса и состава стекла?

Г. М. Бартенев [Л. 45] определяет степень закалки стекла формулой

$$\Delta = B \cdot 10^7 \frac{\alpha E}{1 - \sigma} T_g \varphi(\delta), \quad (4-2)$$

где Δ — степень закалки; B — оптическая постоянная напряжений, $\text{см}^2/\text{кгс}$; α — температурный коэффициент линейного расширения, $^{\circ}\text{C}^{-1}$; E — модуль Юнга, $\text{кгс}/\text{мм}^2$; σ — коэффициент Пуассона; T_g — температура стеклования за вычетом температуры охлаждающей среды, $^{\circ}\text{C}$; φ — постоянная, зависящая от параметров охлаждения; δ — параметр, характеризующий интенсивность закалки стекла.

Преобразуя это выражение, можно записать:

$$\Delta = B \cdot 10^{-7} k \varphi(\delta), \quad (4-3)$$

где k — коэффициент, зависящий от состава стекла.

Принимая условно, что параметры охлаждения для любых составов стекол будут одинаковыми, можно определить способность тех или иных составов стекол к закалке. Так, для стекол, используемых при производстве изоляторов, коэффициент k равен: щелочное стекло (состава 6) — $42,2 \text{ кгс}/\text{мм}^2$; малощелочное стекло (состав 13в) — $28,7 \text{ кгс}/\text{мм}^2$ [Л. 46].

Ривер [Л. 7], используя примерно такое же выражение, показывает, что напряжение закалки пластинки стекла, размеры которой в двух других направлениях бесконечны, будет в основном зависеть от факторов, характеризующих само стекло. Им рассчитан коэффициент $k = \alpha E T_g / (1 - \sigma)$ для трех составов стекол: щелочного (натриевого), щелочного (кальевого) и боросиликатного. Данные этих расчетов приведены в табл. 4-8.

Таблица 4-8

Характеристика стекла	Щелочное (натриевое) стекло	Щелочное (кальевоe) стекло	Боросиликат- ное стекло
$\alpha, ^{\circ}\text{C}^{-1}$	$8,69 \cdot 10^{-6}$	$8,50 \cdot 10^{-6}$	$3,20 \cdot 10^{-6}$
$E, \text{кгс}/\text{см}^2$	750 000	742 000	620 000
σ	0,23	0,23	0,20
$T_g, ^{\circ}\text{C}$	528	523	540
$\frac{\alpha E}{1 - \sigma} T_g, \text{кгс}/\text{см}^2$	4 470	4 280	1 340

Анализируя выражение (4-2), можно заметить, что все входящие в его состав величины, кроме температурного коэффициента линейного расширения α , мало зависят от состава стекла. Поэтому

способность стекла к закалке можно упрощенно считать прямой функцией его температурного коэффициента линейного расширения. Так как у щелочных стекол α больше, чем у малощелочных или боросиликатных стекол в 1,7—2,7 раза, то теоретически можно предполагать, что при одних и тех же условиях у изоляторов из щелочных стекол будет получена большая степень закалки, а механическая прочность у этих изоляторов будет выше, чем у изоляторов из других составов стекол, обладающих теми же размерами. В то же время практические данные свидетельствуют о том, что механическая прочность стеклянных подвесных изоляторов одного и того же типа, но изготовленных из разных составов, сопоставима с большой степенью точности. Более того, проведенными исследованиями [Л. 47], которые ставили своей целью выбор объективного критерия степени закалки, было доказано, что изоляторы, изготовленные из малощелочного стекла, имеют $\Delta\rho$ (изменение плотности в зависимости от параметров охлаждения) того же порядка, как изоляторы из щелочного стекла. Эти же исследования показали, что толщина закаленного слоя по отношению ко всему сечению стеклодетали изолятора идентична как для щелочного, так и для малощелочного стекла. Поэтому на практике, для того чтобы добиться высокого качества закалки стеклянных элементов изоляторов, а следовательно, обеспечить требуемую механическую прочность и термостойкость, необходимо прежде всего самым тщательным образом отработать технологический процесс закалки.

Одним из необходимых условий, гарантирующим успешную закалку любого стеклоизделия, в том числе и стеклянного изолятора, является высокое качество стекломассы, ее химическая и механическая гомогенность. Любые, даже самые незначительные отклонения от механической однородности, например крупинки шихтного или сводового камня, металлическая окалина, частицы закристаллизованного стекла, как правило, приводят к разрушению стеклодеталей во время закалки или после нее. Таким же образом влияет химическая неоднородность стекломассы, проявляемая в виде свилей, т. е. участков стекломассы, обладающих другим по сравнению с основным стеклом химическим составом, а следовательно, и иным температурным коэффициентом линейного расширения. Наличие в одной стеклодетали такой композиции нарушает равномерность распределения закалочных напряжений и вызывает разрушение стеклянного изолятора.

Вторым обязательным условием является равномерность прогрева стеклодетали перед закалкой. После прессования стеклянные элементы изоляторов обладают различной температурой в различных точках их поверхности. Это объясняется неравномерным отводом тепла с наружной поверхности тарелки, которая дольше соприкасается с металлом пресс-формы и не подвергается обдуву холодным воздухом, а также с внутренней (ребристой) поверхности изолятора, где характер теплоотдачи отличается за счет конфигурации стеклянного элемента и дополнительного обдува его воздухом. Головка изолятора после окончания процесса прессования будет иметь температуру, отличную от температуры тарелки, а наружные слои всей стеклодетали изолятора будут менее нагреты, чем внутренние. В таких условиях невозможно говорить о получении равномерной закалки по всей поверхности изолятора, а следовательно, невозможно добиться равномерного распределения закалочных напряжений. Поэтому необходимым требованием является достижение таких усло-

вий, при которых температурный градиент по толщине всего типа стеклодетали был бы близок нулю.

Третье условие — равномерность отбора тепла по всей поверхности стеклодетали при обдуве ее холодным воздухом во время самого процесса закалки. Условия охлаждения гладкой поверхности тарелки изолятора более благоприятны, чем ребристой, а кроме того, нижняя часть тарелки изолятора имеет глубокое гнездо — внутреннюю полость головки, эвакуация тепла откуда затруднена. Неравномерное охлаждение разогретой стеклодетали также может привести к неравномерному распределению закалочных напряжений.

Чтобы избежать этого и добиться симметричного расположения внутреннего растянутого слоя относительно поверхности стеклодетали изолятора, необходимо дифференцировать отбор тепла в различных частях поверхности и, наоборот, обеспечить эквивалентный отбор тепла для всех точек, расположенных на одинаковом расстоянии от оси стеклянной детали.

Необходимость равномерного прогрева детали диктует еще одно требование, чрезвычайно важное в условиях массового производства, — идентичность массы и размеров всех изоляторов.

Выполнение всех этих условий, когда речь идет о таком сложном по конфигурации и разноглубинном изделии, каким является изолирующая деталь стеклянного изолятора, является трудной технологической задачей, которая на практике решается только опытным путем за счет подбора режимов нагрева и охлаждения стеклодетали.

Весь процесс закалки стеклодеталей изоляторов может быть разбит на два этапа: нагрев стеклодетали и охлаждение ее холодным воздухом.

Отпрессованные стеклянные детали с пресса передаются в печь выравнивания температуры. В печи стеклодеталь должна быть нагрета до температуры, соответствующей полному и быстрому исчезновению напряжений в стекле по всему объему. Температура и время выравнивания зависят от состава стекла и массы прогреваемой стеклодетали, т. е. от типа изолятора. Так, для изоляторов из щелочного стекла массой до 3,5 кг температура в печах выравнивания выдерживается в пределах 680—715 °С. Время прогрева таких изоляторов — в пределах 3—8 мин. Для изоляторов из малощелочного стекла, T_g которого выше, температура в печи выравнивания поддерживается в пределах 780 °С. Время нахождения стеклодеталей из малощелочного стекла в печи 5—10 мин.

Для выравнивания температуры могут применяться печи различной конструкции: однопозиционные стационарные муфели (рис. 4-22), карусельные муфельные машины, проходные туннельные печи с подвижным подом-сеткой (типа Лер), специальные туннельные печи (типа Найт), сечение которых для лучшего прогрева всей стеклодетали изолятора приближается к сечению изолятора (рис. 4-23). В печах последнего типа транспортирующим устройством является цепь с установленными на ней вилообразными стойками, вращающимися во время движения цепи в зоне обогрева. Стеклянные элементы изоляторов устанавливаются на вилообразных стойках головкой вниз. В печах других типов стеклодетали могут устанавливаться как головкой вниз (муфели), так и головкой вверх (лер), однако первое положение предпочтительно, так как оно исключает вторичную деформацию стеклодеталей во время разогрева

их до температуры, близкой к началу размягчения. Обогрев во всех печах, используемых для выравнивания температуры в стеклодеталях изоляторов, осуществляется электрическими нагревателями. Процесс выравнивания температуры должен исключать создание в теле стеклянного изолятора каких-либо напряжений, которые в дальнейшем могут привести к его разрушению. Поэтому конструкции всех печей предусматривают всевозможные заграждения и уплотнения, препятствующие подсосу холодного воздуха в зону нагрева. С этой целью в проходных печах на входе и выходе устанавливаются газовые тепловые завесы и асбестовые шторы. Там, где это возможно, транспортирующие устройства помещают в зону печи или изолируют их специальными заградительными экранами.



Рис. 4-22. Однопозиционный муфель для выравнивания температуры стеклодеталей изоляторов.

Во избежание посечки все элементы транспортирующих устройств печи до установки на них изоляторов должны быть прогреты до температуры 200—300 °С (в зависимости от типа изолятора и марки стекла).

Если транспортировка стеклодеталей от пресса к печи выравнивания и от нее — к закалочным механизмам осуществляется вручную, то применяемые для этой цели вилы должны быть тщательно изолированы асбестовым шнуром.

После прогрева и выравнивания температуры по всему объему стеклодетали, она подается на закалочную машину, где происходит собственно процесс закалки. Закалка может производиться на многопозиционных стендах (рис. 4-24), многопозиционных карусельных машинах (рис. 4-25), где установка и съём стеклодеталей осуществляются, как правило, вручную, а также на многопозиционных закалочных автоматах, где предусматриваются механизированная установка и съём стеклодеталей. Все эти машины могут отличаться кинематической схемой, размерами, производительностью, способом

подачи и распределения воздуха, наконец, положением стеклодеталей изолятора во время закалки (головкой вверх или головкой вниз).

Незыблемым остается основной принцип конструкции обдувочных сопел и их расположение относительно изолятора. Как указывалось выше, при закалке необходимо очень быстро и равномерно произвести охлаждение всей поверхности стеклодетали. С этой целью очертание сопел, применяемых для закалки стеклянных изоляторов, должно почти точно воспроизводить очертания нижней (ребристой) и верхней (гладкой) поверхностей изолятора (рис. 4-26). Сопло представляет собой сварной короб с отверстиями, просверленными нормально к его образующей поверхности. Размещение и размер от-

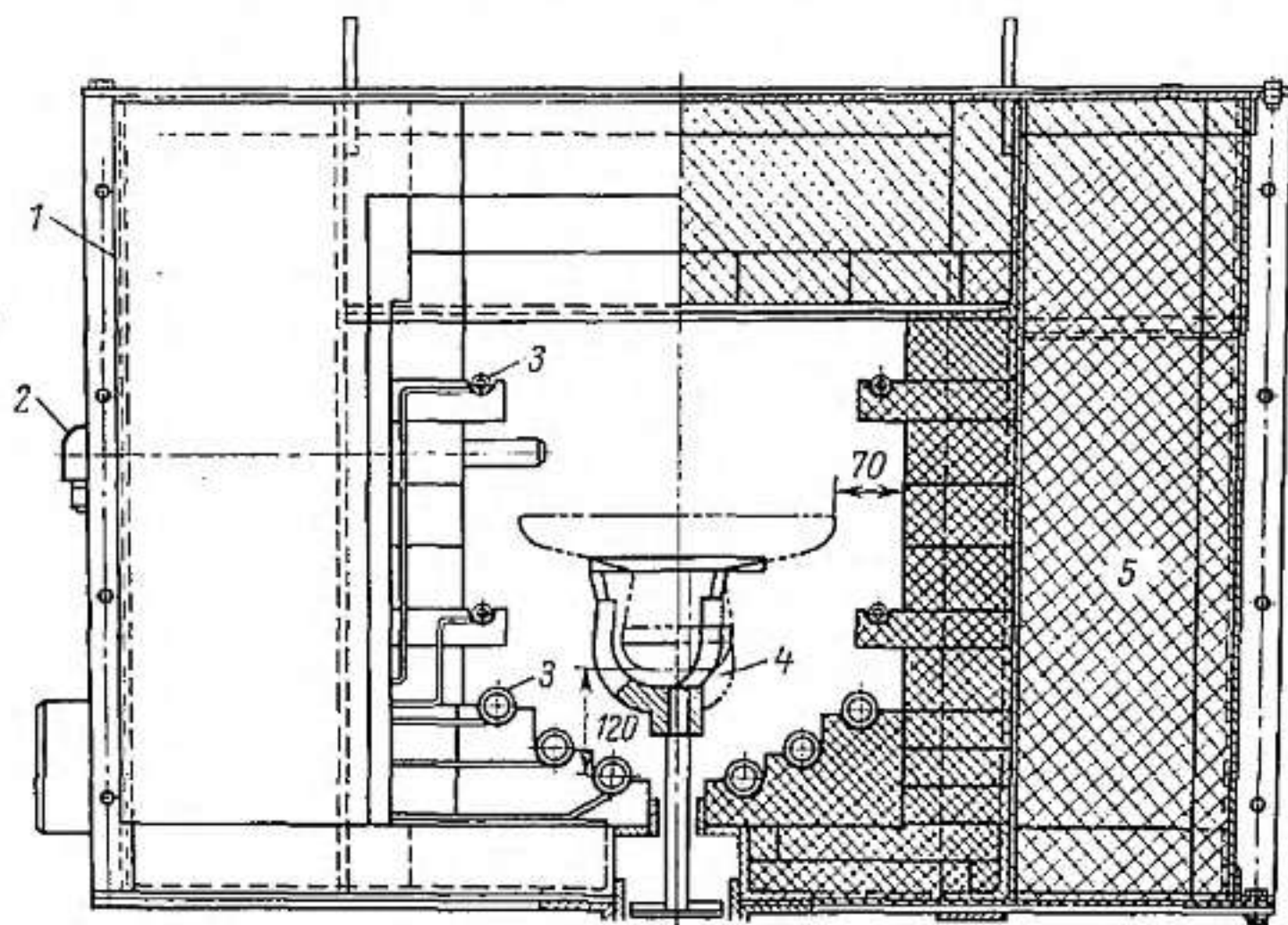


Рис. 4-23. Поперечный разрез печи типа Найт для выравнивания температуры стеклодеталей изоляторов.

1 — кожух печи; 2 — термопара; 3 — нагревательные элементы; 4 — стойка; 5 — теплоизоляция.

верстий в верхнем и нижнем соплах для каждого типа изолятора подбираются экспериментальным путем. Так как верхние и нижние сопла устанавливаются на машинах в одной плоскости по диаметру стеклодетали, то последние для равномерного охлаждения должны вращаться вокруг своей оси с постоянной скоростью в течение всего процесса закалки. Как правило, скорость вращения стеклодеталей составляет 50—70 об/мин. Равномерный отвод тепла с гладкой и ребристой поверхностей изолятора обеспечивается дифференцированной подачей воздуха в единицу времени на отдельные части стеклодетали. Экспериментальным путем было установлено, что давление воздуха, подаваемого на ребристую поверхность, должно быть примерно в 2 раза выше, чем давление в сопле для гладкой поверхности. При этом увеличение давления, т. е. интенсивности охлаждения, повышает не только степень закалки, но и вероятность раз-

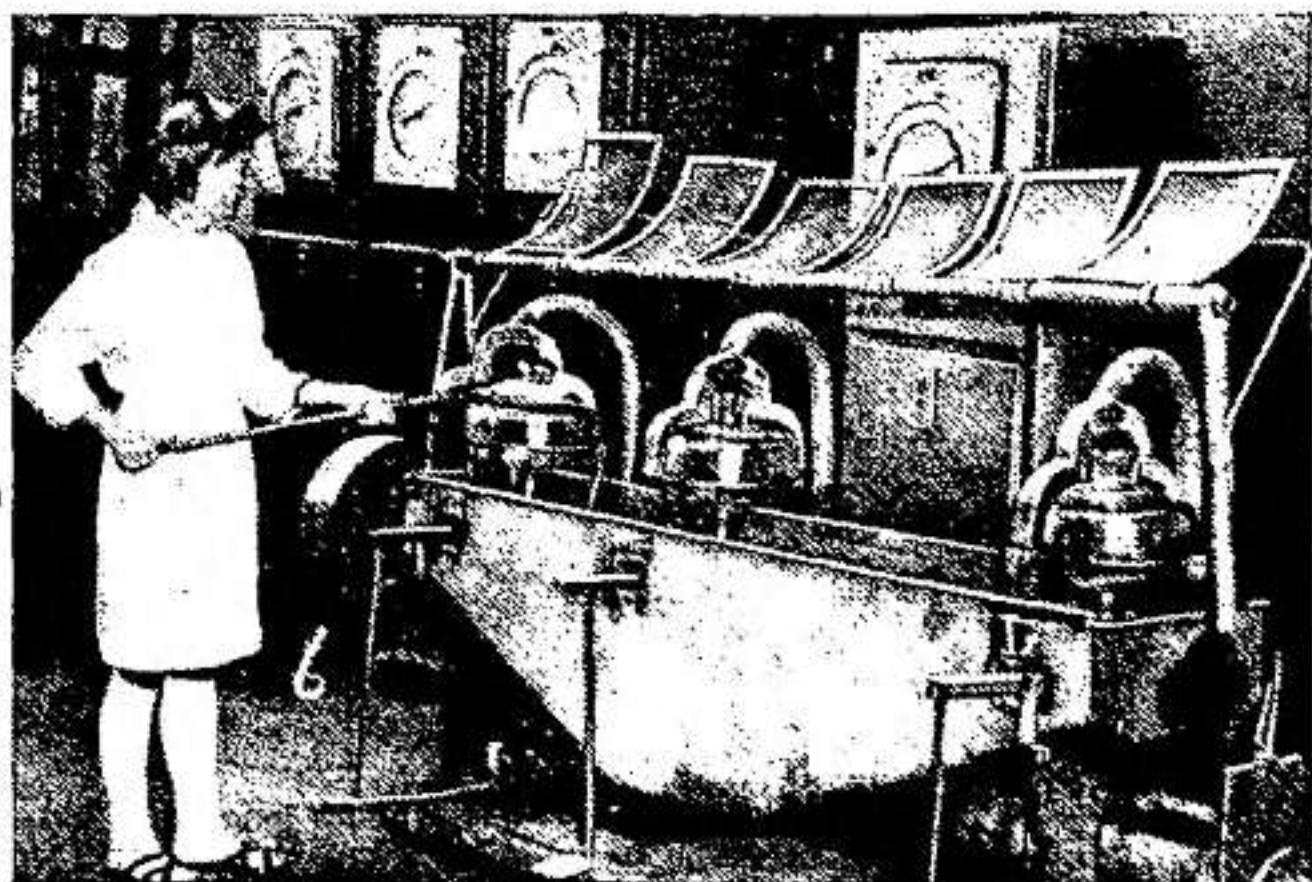


Рис. 4-24. Многопозиционный закалочный стенд.

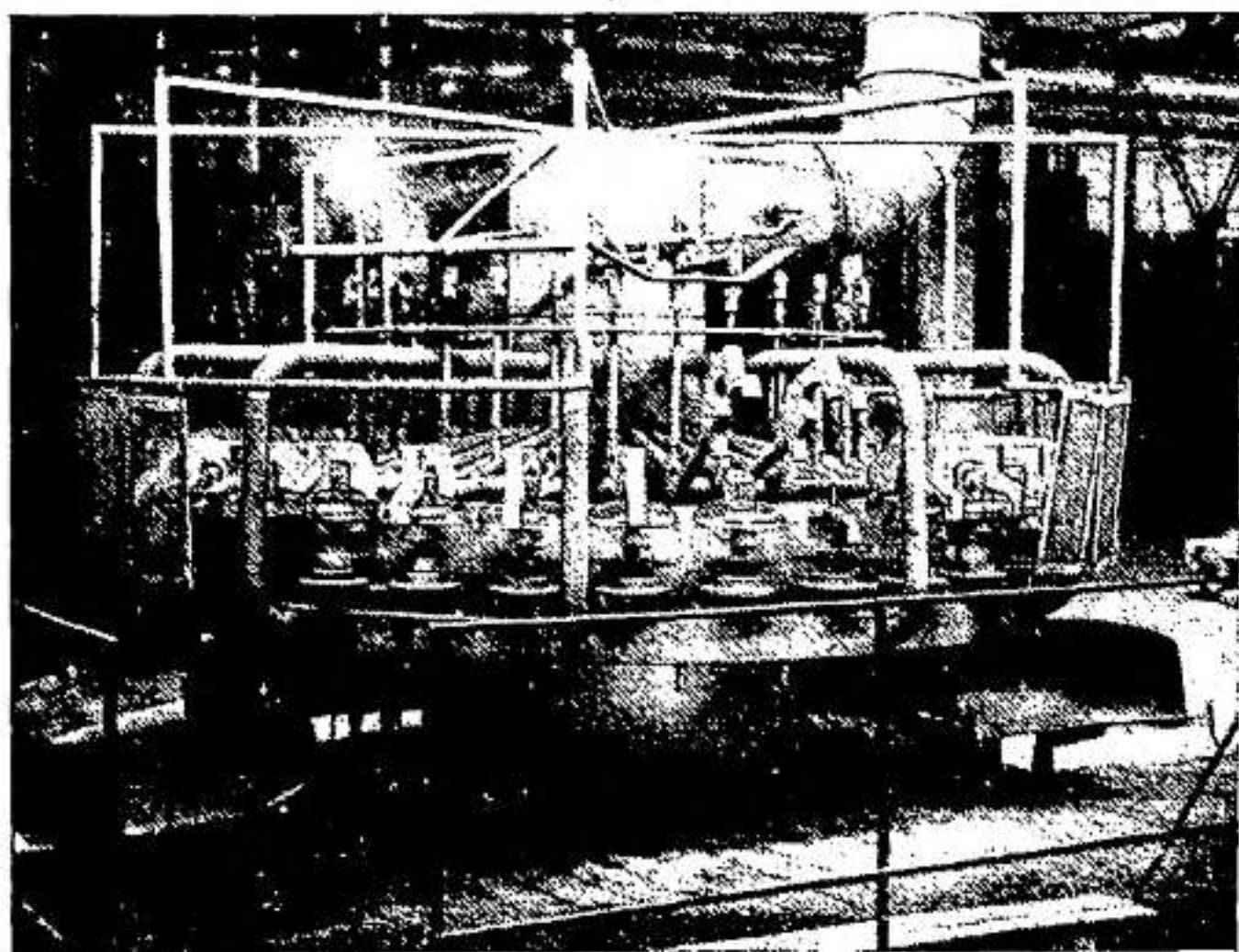


Рис. 4-25. Многопозиционный закалочный автомат.

рушения тех стеклотеталей, которые имеют неоднородные включения, увеличивая тем самым надежность годных изоляторов. Для различных типов изоляторов давление на сопле гладкой стороны колеблется в пределах 11 000—20 000 кгс/см², на сопле ребристой стороны — 27 000—40 000 кгс/см².

Давление воздуха в верхнем и нижнем соплах должно регулироваться раздельно с помощью шиберов или редукторов. Для обес-

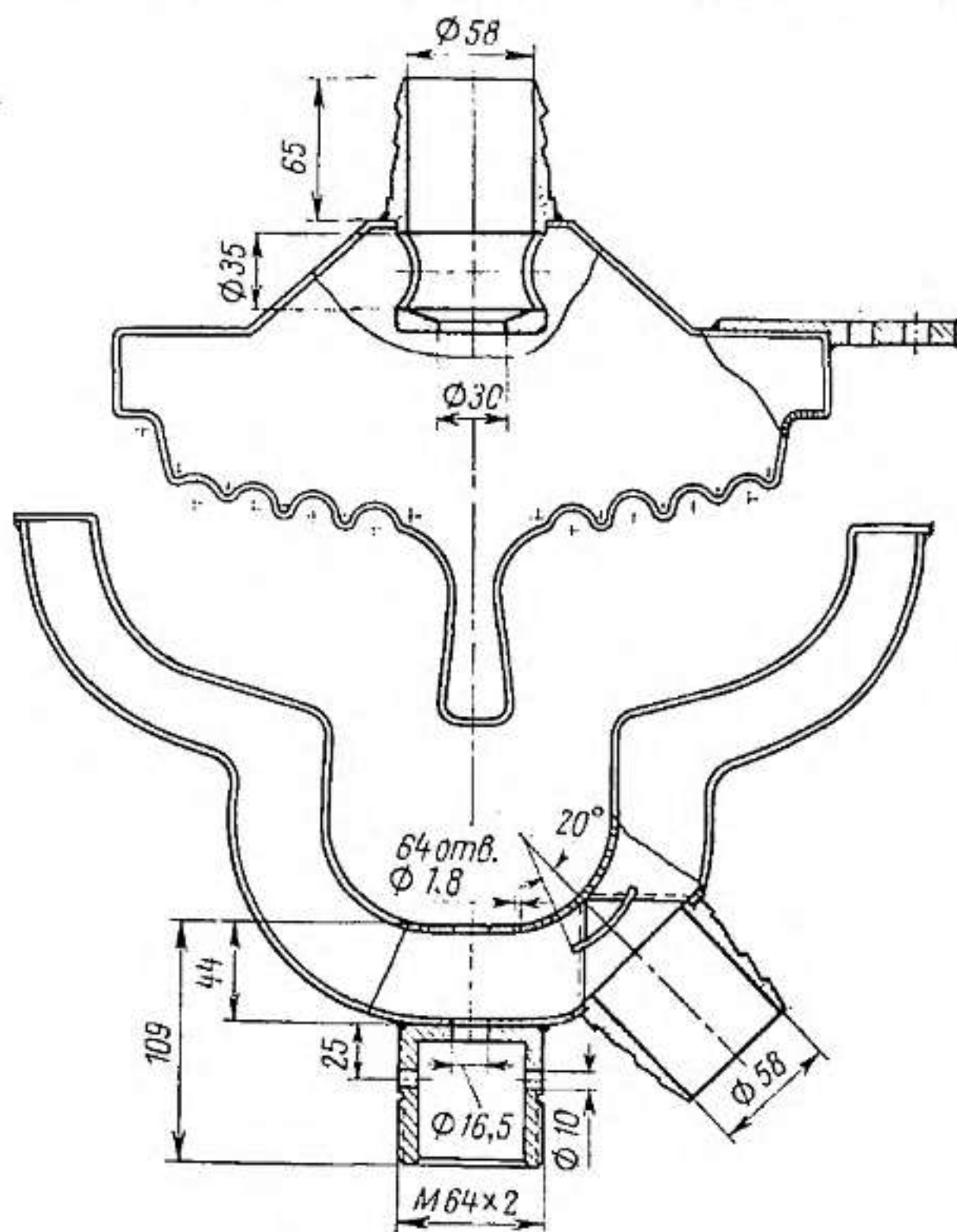


Рис. 4-26. Сопло для закалки стеклянного элемента подвесного изолятора.

печения постоянства прочностных характеристик изоляторов давление охлаждающего воздуха при закалке должно подвергаться регулированию в зависимости от его температуры. Так, для стеклотетали, масса которой равна 3—3,5 кг, может быть рекомендован режим, приведенный в табл. 4-9.

Однако на практике допускается более грубое регулирование давления охлаждающего воздуха в зависимости от его температуры. В этом случае регулировка давления производится дважды в году на весенне-летний и осенне-зимний периоды. Время, в течение которого стеклотеталь изолятора должна подвергаться охлаждению,

Таблица 4-9

Температура охлаждающего воздуха, °С		Давление воздуха, кгс/см ²	
		Гладкое сопло	Рёбристое сопло
От +30	до +26	20 000	36 000
От +25	до +16	19 000	34 000
От +15	до +6	18 000	32 000
От +5	до —4	17 000	30 000
От —5	до —14	16 000	28 000
От —15	до —20	15 000	27 000

обратно пропорционально давлению воздуха в соплах. Экспериментальным путем было доказано [Л. 48], что время закалки такого изолятора, как ПС6-А, сокращается с 20 до 11 мин, когда давление на соплах растет с 10/5 до 100/50 кгс/см².

При существующих температурах и давлениях охлаждающего воздуха время закалки стеклодеталей различных типов изоляторов колеблется в пределах 5—7 мин. При вращении стеклодетали необходимо сохранять постоянное расстояние между закаливаемым изолятором и соплами, которое для большинства типов изоляторов составляет 15—25 мм.

Стеклодетали, прошедшие закалку, поступают в печи термоконтроля. Как правило, для этой цели используются печи типа Лер с электрическим и газовым обогревом либо специальные проходные печи. В начальной зоне такой печи температура в зависимости от типа изолятора колеблется в пределах 150—250 °С, а в конце составляет уже 260—320 °С для изоляторов из щелочного стекла и около 430 °С — для изоляторов из малощелочного стекла. При такой термообработке напряженное состояние стеклодеталей усиливается, что способствует разрушению тех деталей, которые имели инородные включения. Кроме того, в первой зоне происходит частичный отпуск и нормализация закалочных напряжений сжатия во внешних слоях стеклодетали, возникающих при закалке. Релаксация (ослабление напряжений) зависит от времени релаксации, первоначальной величины напряжения и температуры релаксации.

В следующей зоне стеклодетали подвергаются естественному охлаждению. Здесь в течение определенного времени в условиях естественной конвекции их температура снижается до 140—120 °С для щелочного стекла и 200—250 °С — для малощелочного стекла. Такое снижение температуры вызывается необходимостью выдерживать нормируемый интервал отрицательного термоудара на последующей операции. Для изоляторов из щелочного стекла такой интервал составляет 120 °С, для малощелочного стекла 150—200 °С. Так как отрицательный термоудар производится путем окунания разогретой стеклодетали в ванну с водой, температура которой в зависимости от времени года находится в пределах 20—30 °С, то изолятор, разогретый в первой зоне до высоких температур, в последующих зонах печи должен быть охлажден до температур, величина которых превышает температуру охлаждающей воды на абсолютное значение задаваемого термоудара.

В третьей зоне стеклодеталь, охлажденная до конечной температуры второй зоны, выдерживается в течение времени, достаточного для равномерного распределения этой температуры по всему объему стеклодетали. Только после этого она мгновенно погружается в холодную воду, где остается до полного охлаждения.

Для различных типов изоляторов режимы термической обработки и время, необходимое для их осуществления, отличаются друг от друга. Разнохарактерность таких режимов усиливается разнотипностью применяемого для этих целей оборудования. Поэтому было бы неправильным рекомендовать абсолютно для всех типов оборудования единое время прохождения термообработки стеклодеталей даже одного и того же изолятора. Однако в качестве примера можно привести циклограмму тепловой обработки стеклодетали изолятора, масса капли которой равна 3,5 кг. Выравнивание температуры перед закалкой в данном случае осуществляется на печи типа Найт, закалка на многопозиционной карусельной машине термоконтроль — в печи типа Лер, а все передаточные операции — вручную.

Передача стеклодетали от пресса к печи типа Найт	4 сек
Выравнивание температуры	7 мин 18 сек
Подача стеклодетали на закалочную машину	4 сек
Закалка	5 мин
Передача в печь типа Лер	2 сек
Положительный термоудар (I зона печи типа Лер)	35 мин
Охлаждение стеклодетали (II зона печи)	10 мин
Время прохождения через термостат (III зона печи)	10 мин
Передача стеклодетали от термостата к ванне отрицательного термоудара	2 сек
Время нахождения стеклодетали в ванне термоудара	2 мин 30 сек
Всего	1 ч 10 мин

Отрицательным термоударом завершаются операции закалки стеклодеталей и весь технологический процесс изготовления стеклянного элемента изолятора. После прохождения сортировки и контроля работниками ОТК завода стеклянные элементы изоляторов направляются на последующие операции: армировку и испытания.

Рассматривая процесс закалки, необходимо остановиться на таком распространенном, но еще недостаточно изученном явлении, как самопроизвольное разрушение закаленных изоляторов. Казалось бы, что в стеклодеталях, подвергшихся во время закалки и тепловой обработки неоднократным термоударам, не должны оставаться напряжения, способные вызвать разрушение изоляторов. Тем не менее во время армировки, упаковки, транспортировки, хранения на складе и эксплуатации наблюдаются случаи самопроизвольного разрушения изоляторов. Характер разрушения закаленных изоляторов, так же как и других закаленных стеклянных изделий, всегда один и тот же. Разрушение начинается в точке, носящей название центра разрушения. От этого центра мгновенно расходятся радиальные трещины, пересекающиеся одновременно поперечными. Стеклодеталь покрывается сеткой трещин, которые вызывают последующее ее расчленение на отдельные прямоугольные или трапецевидные ячейки (с величиной сторон 3—5 и 10—12 мм) (рис. 4-27). Как показали исследования, центром разрушения являются либо инородные вклю-

чения, либо свили. Крупные включения вызывают разрушение уже во время закалки или теплообработки. Камни, окалны, неразварившиеся зерна песка, размер которых иногда составляет сотые доли миллиметра, могут вызвать разрушение изоляторов после окончания всех операций, предусмотренных технологией. При этом разрушение возникает почти всегда, если инородные включения расположены во внутреннем растянутом слое. Если же они располагаются в наружном сжатом слое, разрушение может либо вообще не произойти, либо произойти через некоторое время.

Таким образом, самопроизвольное разрушение не является в полном смысле слова «самопроизвольным». Оно является частным случаем общей картины разрушения закаленных стеклянных изделий



Рис. 4-27. Разрушение закаленной стекло-детали изолятора.

и обусловливается нарушением технологии стекловарения, выработки и закалки стеклянных деталей.

При достижении определенной однородности стекломассы, применении огнеупоров высокого качества, соблюдении всех температурных режимов варки, выработки и закалки стекла можно исключить случаи разрушения стеклодеталей.

Только таким путем можно избежать и самопроизвольного разрушения изоляторов. Однако учитывая реальные условия массового производства, где не всегда удается добиться высокой культуры на всех технологических переделах, рекомендуется предусматривать

обязательное вылеживание на заводе либо стеклянных элементов изоляторов, либо готовых изоляторов в течение 1—3 мес. Предполагается, что за этот срок должно произойти самопроизвольное разрушение основной массы тех стеклодеталей, у которых имеются инородные включения, не обнаруженные при термоконтроле и сортировке. Практика показывает, что в контрольных партиях, подвергшихся вылеживанию на заводе-изготовителе, в первый месяц отбраковывается до 1% стеклодеталей. В последующем это количество резко уменьшается. Поэтому в ГОСТ 14197-69 предусматривается вылеживание стеклодеталей или готовых изоляторов на заводе-изготовителе в течение месяца до отправки их потребителю. Итальянские и английские фирмы, выпускающие стеклянные изоляторы, предусматривают трехмесячное вылеживание готовых изоляторов.

Те стеклянные изоляторы, которые в силу указанных ранее обстоятельств, не должны подвергаться закалке, проходят операцию отжига. Хороший отжиг стеклянных изоляторов достигается в условиях строго регламентированного температурного режима, который предусматривает три стадии тепловой обработки.

Первая стадия — выдержка изделий при высшей температуре отжига, близкой к температуре размягчения стекла. На этом этапе снимаются внутренние напряжения по всему сечению изолятора.

Вторая стадия — медленное охлаждение в опасном интервале температур, соответствующем вязкости стекла 10^7 — 10^{13} лз, является наиболее ответственной из всего процесса отжига. Форсированное охлаждение изделий в этом интервале приводит к возникновению разрушающих остаточных напряжений, которые не устраняются в процессе дальнейшего охлаждения.

Третья стадия — ускоренное охлаждение уже затвердевшего стекла производится быстро, иногда даже вне печей отжига.

Режим отжига зависит от химического состава стекла, размеров и формы изделий. При большой вязкости стекла и большой толщине отжигаемого изделия требуется производить более длительный отжиг при сравнительно высоких температурах. В связи с этим в каждом отдельном случае должен быть установлен определенный режим отжига, обеспечивающий высокое качество готовой продукции при минимальных технологических потерях.

Отжиг стеклянных изоляторов может производиться либо в печах периодического действия типа Лер, либо в проходных печах непрерывного действия. Опечки — устаревший малопродуктивный вид оборудования, применяются в основном лишь в тех случаях, когда надо провести отжиг небольшой опытной партии изоляторов с целью отработки режима для серийного производства.

За редким исключением на всех изоляторных заводах отжиг высоковольтных и низковольтных изоляторов производится в печах непрерывного действия типа ПКЭ-1800. Отпрессованные изоляторы на пластинчатом транспортере подаются к печи отжига. Автоматическим переставителем или вручную они устанавливаются на металлическую сетку, подающую изделия с загрузочной площадки в горячие секции и далее в секции быстрого охлаждения. Загрузочная площадка должна быть закрыта со всех сторон во избежание охлаждения отжигаемых изделий. Горячие секции печи ПКЭ-1800 представляют собой туннель, состоящий из наружного и внутреннего каркасов. Пространство между каркасами заполнено теплоизоляцией. В горячих секциях нагревание воздуха производится электрическими нагревателями. Циркуляция горячего воздуха — конвекция

осуществляется четырьмя специальными вентиляторами, из которых два вентилятора вмонтированы в свод, а два — в под (на каждой секции). Процесс отжига стеклянных изоляторов производится за счет отдачи тепла разогретым воздухом и радиационным излучением от нагревателя.

Равномерность распределения потока горячего воздуха по внутреннему объему секции обеспечивается уравнительными решетками. Охлаждение изделий в секциях быстрого охлаждения осуществляется воздухом, который подается от вентиляторов в четыре раструба пола каждой секции. Интенсивность охлаждения регулируется путем изменения подачи и отбора воздуха посредством шиберов.

Конвективный способ отжига стеклоизделий — наиболее эффективный. Он обеспечивает проход воздуха с большой скоростью вдоль всего туннеля и ускоренный теплообмен с изделиями, подвергаемыми отжигу. При этом имеет место равномерное распределение темпера-



Рис. 4-28. Кривая отжига стеклянных штыревых изоляторов ШСС-10 из малощелочного стекла.

туры в каждой секции лера. Применение конвекционных печей типа Лер для отжига стеклянных изоляторов вместо муфельного газового типа Лер позволяет почти вдвое сократить время, необходимое для снятия всех термических напряжений.

Режим отжига стеклянных изоляторов различных типов рассчитывается и затем уточняется практическим путем. Высшая температура отжига изделий, при которой в течение нескольких минут устраняется около 95% внутренних напряжений, выбирается близкой к температуре размягчения данного состава стекла по кривой его вязкости. Она может быть рассчитана и по химическому составу стекла, если известно значение высшей температуры отжига для другого стекла, близкого по составу. Тогда, пользуясь константами Гельгофа и Томаса (см. § 4-2) и зная разницу содержания основных окислов в составах обоих стекол можно определить температуру искомого состава, соответствующую вязкости 10^7 — 10^6 пз, т. е. температуру отжига.

В СССР для изготовления штыревых и опорных изоляторов применяется малощелочное стекло 13з. Для этого стекла высшая температура отжига равняется 680°C . В зависимости от толщины отжигаемых изоляторов время отжига колеблется в пределах 5—35 ч. На рис. 4-28 приведен график отжига штыревых высоковольтных изоляторов типа ШСС-10.

В секциях I и II печи типа Лер температура почти не изменяется. При нормируемой скорости движения сетки 8,1 м/ч изоляторы будут выдерживаться при температуре 680°C в течение 22,2 мин.

В остальных секциях (III—XII) — зоне плавного снижения температуры изоляторы находятся в течение 1 ч 50 мин. И наконец, в закрытой зоне быстрого охлаждения (XIII—XVIII) изоляторы охлаждаются в течение 55,5 мин. Открытую часть печи типа Лер, где изоляторы охлаждаются окончательно, они проходят за 33 мин. Таким образом, общий цикл отжига стеклянного изолятора ШСС-10 из малощелочного стекла 13в составляет 3 ч 41 мин.

Отжиг низковольтных стеклянных изоляторов типа НС-16 и НС-18 может быть проведен по такому же режиму. Для изоляторов типа ШЖБ-10с или опорных стеклянных изоляторов время отжига должно быть увеличено.

Так как отжиг стекла в отличие от закалки не оставляет в теле изолятора никаких напряжений, то для отжигаемых изоляторов неоднородность стекломассы и ее внутренние пороки не играют такой существенной роли, как для закаленных изоляторов. Это не значит, однако, что для изготовления изоляторов от отоженного стекла может применяться любая стекломасса с любым количеством пороков. Эти пороки, хотя и не вызывают самопроизвольного разрушения стекла, могут привести к уменьшению механической или термостойкости изолятора и тем самым снизить его эксплуатационную надежность.

Как указывалось выше, механическая прочность отоженных изоляторов значительно ниже, чем закаленных. Это не означает, что повышение механической прочности отоженных изоляторов может быть достигнуто только путем увеличения опасных сечений, т. е. увеличением габаритов изоляторов. В практике производства стеклоизделий хозяйственного назначения часто применяется метод поверхностного термического упрочнения стекла. После прогрева изделий на первых фазах отжига температура резко в течение нескольких минут снижается на 150—180 °С. Дальнейшее снижение температуры производится плавно в соответствии с обычным графиком отжига стекла. В результате такой обработки в поверхностных слоях изделий возникают частичные напряжения сжатия, которые иногда называют полужакалочными. Прошедшие полужакалку изделия приобретают повышенную механическую прочность и не разрушаются при повреждении наружного напряженного слоя. Режим полужакалки может быть рекомендован для повышения механической прочности штыревых изоляторов. Такой режим обязательно необходим, когда речь идет о производстве стержневых стеклянных изоляторов.

Особое место при рассмотрении режимов термообработки стеклоизделий занимает режим термообработки ситаллов и шлакоситаллов, т. е. режим их кристаллизации. Механизм образования центров кристаллизации в зависимости от состава исходного стекла и типа кристаллизатора может быть различен. При нагревании кристаллизаторы могут сами выделяться в виде микрокристаллических частиц (порядка 10 нм) или вызвать разделение стекла на фазы различной структуры. В обоих случаях создание поверхности раздела фаз снижает энергию образования зародышей основной кристаллической фазы и вызывает равномерное ее выделение по всему объему стекла.

При дальнейшем повышении температуры термообработки процесс кристаллизации стекла продолжает развиваться как в направлении роста кристаллов и повышения содержания данной кристаллической фазы, так и в направлении выделения новых кристаллических фаз. При этом, как правило, происходит перекристаллизация одних кристаллических фаз в другие. Таким образом, фазовый со-

став и структура ситаллов в зависимости от условий термообработки могут изменяться, обуславливая те или иные свойства материалов. В соответствии с указанными закономерностями процесса кристаллизации при получении изделий из шлакоситалла оптимальным является двухступенчатый режим термообработки, каждая ступень которого отражает определенную стадию процесса (рис. 4-29). На первой стадии термообработки в области более низких температур происходит образование центров кристаллизации, на второй — выделение основных кристаллических фаз и создание тонкокристаллической структуры материала. Термообработка отформованных изоляторов из шлакоситалла производится в специальных печах кристаллизаторах периодического или непрерывного действия.



Рис. 4-29. Ход температурной кривой при термообработке ситаллов.

4-6. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТЕКЛОДЕТАЛЕЙ ИЗОЛЯТОРОВ

Все технологические операции по производству стеклянных элементов изоляторов, как указывалось выше, осуществляются с помощью механизмов и тепловых агрегатов стандартного типа, таких как, например, фидерные питатели, прессы, печи или специальных: закалочные машины и печи выравнивания температур.

На изоляторных заводах СССР установлены автоматические линии по производству стеклодеталей изоляторов. Линии разработаны и изготовлены на отечественных заводах. Автоматические линии выполняют все технологические операции по производству стеклодеталей изоляторов, начиная от подачи капли через питающее устройство и кончая технологией термоконтроля готовой детали. При этом все транспортирующие операции и передача стеклодеталей с агрегата на агрегат осуществляется механическими переставителями, работающими в автоматическом режиме.

Производительность таких линий 1—3,5 млн. штук одностипных стеклодеталей в год. Обслуживание линий осуществляется персоналом в количестве 2—4 человек в смену.

Для производства штыревых высоковольтных и низковольтных изоляторов используется автоматическая линия ЛВИ-2. Общий вид линии приведен на рис. 4-30. В состав линии входят механический питатель — для капельного питания автоматического пресса стекломассой, автоматический пресс карусельного типа — для формования изоляторов, имеющих внутреннюю резьбу, отставитель — для съема готовых изделий с пресса и установки их на ленту пластинчатого конвейера, пластинчатый конвейер — для перемещения изделий от пресса к отжигательной печи, переставитель автоматический — для съема изоляторов с пластинчатого конвейера и установки их на сетку лера рядами, конвекционная отжигательная печь (Лер) — непрерывного действия. Производительность линии по изготовлению штыревых высоковольтных изоляторов ШСС-10 из малощелочного

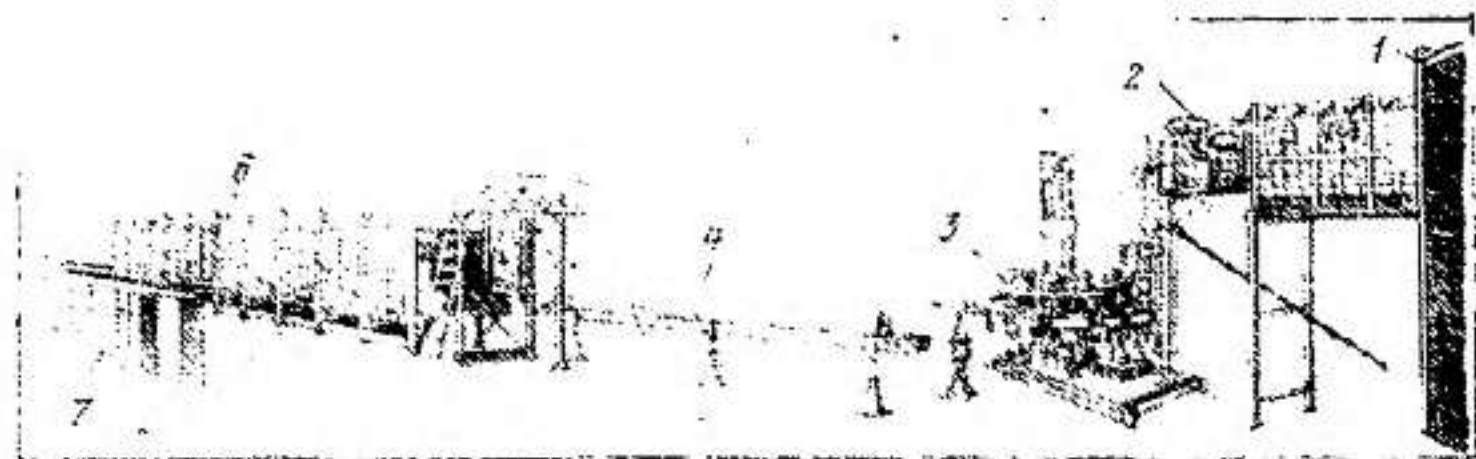


Рис. 4-30. Линия ЛВИ-2.

1 — стекловаренная печь; 2 — механический питатель; 3 — автоматический пресс с отставителем; 4 — конвейер пластинчатый; 5 — автоматический переставитель; 6 — печь отжига изоляторов; 7 — щиты управления печью.

стекла 13в составляет 3,5 млн. изоляторов в год. Выход годной продукции по отношению к отпрессованной 75%. Ритм работы линии в зависимости от веса стеклодеталей и сложности ее формы колеблется в пределах 7—14 капель в минуту.

Привод механизмов линии (пресса, отставителя и переставителя) осуществляется от сети компрессорного воздуха давлением 2,8—3 кгс/см², а электропривод механизмов фидера, автоматического переставителя и отжигательной печи — от сети переменного тока напряжением 220/380 в. Расход компрессорного воздуха около 6 м³/мин, расходы воды на охлаждение вентиляторов — около 8 м³/ч. Установленная мощность электрооборудования — 452 кВт.

Производство штыревых изоляторов на линии ЛВИ-2 осуществляется по следующей схеме. Стекломасса, поступающая из вапной печи, с помощью фидера (МП-4, ПМ-312) подается в виде капли определенной формы и массы на пресс ПВИ-12А. Отпрессованное изделие с помощью автоматического отставителя ОИ-1 переставляется на пластинчатый конвейер 5КП-130 и перемещается к отжигательной печи. Переставитель ПИ-180А снимает изоляторы с конвейера и устанавливает их на непрерывно движущуюся сетку конвекционной отжигательной печи ПКЭ-1800м. После окончания отжига изоляторы сразу попадают на стол разбраковки, где подвергаются визуальному контролю. Общий цикл изготовления таких изоляторов, как ШСС-10, начиная от подачи капли и кончая визуальным контролем, составляет около 3 ч 50 мин. Закаленные стеклянные элементы подвесных изоляторов могут изготавливаться на автоматической линии ЛВИ-3А. Эта линия рассчитана на выпуск стеклодеталей массой от 2 до 4 кг. Проектная производительность линии 1,8 млн. годных изоляторов в год (при работе в три смены) с учетом коэффициента выхода годной продукции 0,7. Переход с выработки одного типа изолятора на другой осуществляется так же, как на линии ЛВИ-2, путем смены формовых комплектов и соответствующей регулировкой фидера, печей, переставителей. В состав линии входит следующее оборудование:

механический питатель 2ПМ-515;

автоматический 12-позиционный пресс карусельного типа модели ППИ-12м в комплекте с автоматическим отставителем для съема готовых изделий с пресса и установки их на ленту пластинчатого конвейера;

электрическая печь выравнивания температуры ПВЭ-350 конвекционного типа;

загрузчик закалочных автоматов ЗА-1 для съема изоляторов с сетки печи выравнивания температуры и передачи их на закалку;

автомат закалки 14-позиционный марки АЗН-28м;

загрузчик ЗПТ-2 для установки закаленных изоляторов в печь термических испытаний;

электрическая печь термических испытаний конвекционного типа модели ПТЭ-1100м.

Принцип работы и регулировки линии ЛВИ-ЗА аналогичен с принципом работы линии ЛВИ-2. Регулировка всех исполнительных механизмов плавная с помощью сжатого воздуха. Установленная

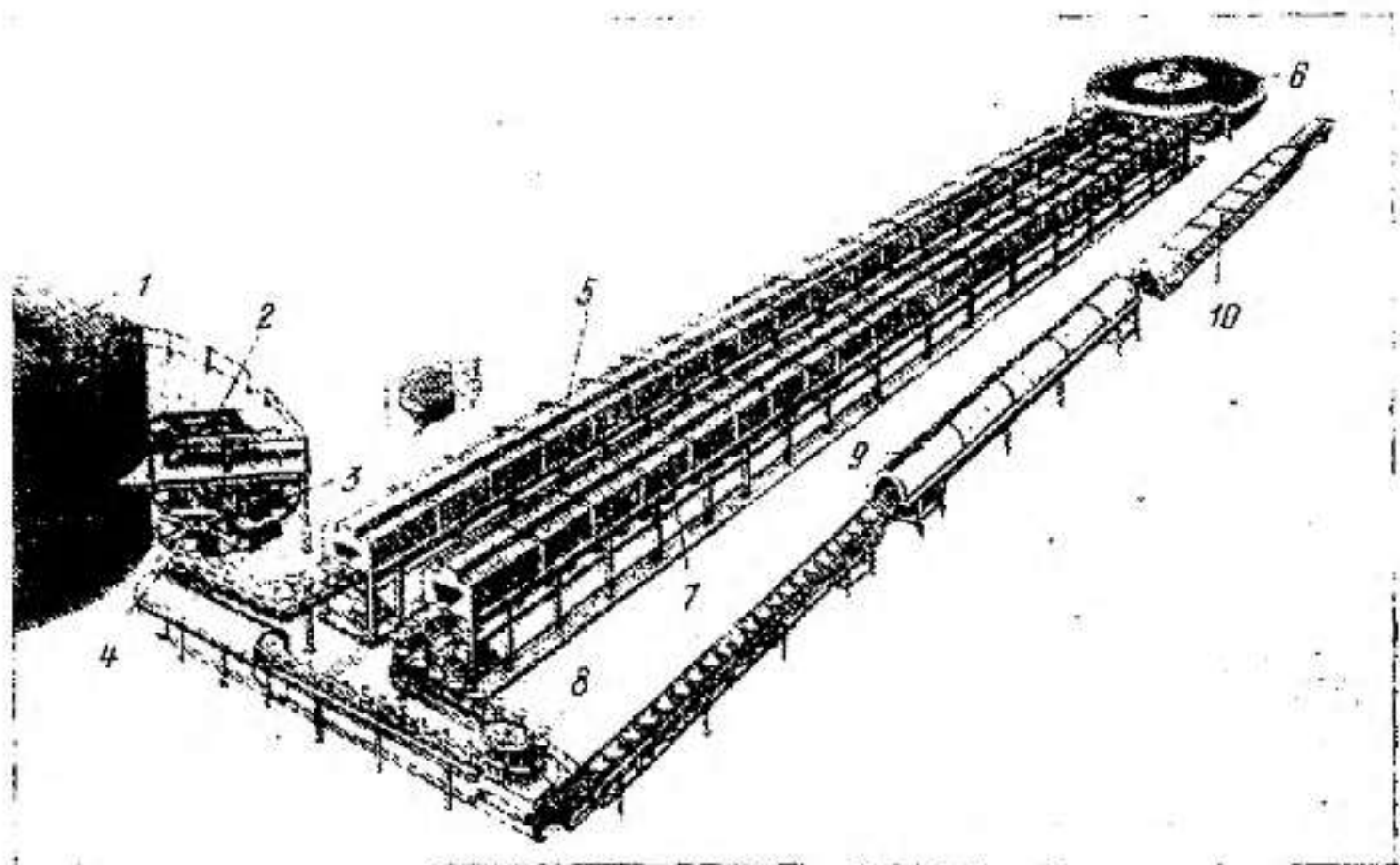


Рис. 4-31. Роторная линия для изготовления стеклодеталей подвесных изоляторов.

1 — стекловаренная печь; 2 — вакуумный питатель (наборник); 3 — ротор прессования; 4 — переставитель; 5 — печь выравнивания температуры; 6 — ротор закалки; 7 — печь термического испытания положительным ударом; 8 — сбрасыватель; 9 — печь-термостат; 10 — ванна отрицательного термоудара.

мощность электрооборудования 700 квт, расход компрессорного воздуха 6 м³/мин, расход воздуха для закалки изоляторов — 70 м³/мин.

Принципиально отличается от линий серии ЛВИ автоматическая роторная линия для изготовления стеклодеталей изоляторов ПСб-А.

Общий вид роторной линии изображен на рис. 4-31. Линия состоит из вакуумного питателя, установленного на специальной площадке над прессом; многопозиционного ротора прессования; ротора-переставителя, предназначенного для снятия готовых стеклодеталей с пресса и передачи их на последующие операции; электрической печи выравнивания температуры; ротора закалки; электрической печи для частичной нормализации закалочных напряжений и испытаний на положительный термоудар; ротора сбрасывателя, предна-

значенного для снятия стеклодетали с цепного конвейера и передачи на последнюю операцию отрицательного термоудара печи термостата, и ванны термоудара. В отличие от ранее описанных установок роторной линии с целью создания единого технологического процесса транспортирующее устройство выполнено цепным, каждое его звено снабжено вилкой для удержания стеклодеталей, укрепленной на стойке, вращающейся от звездочки, которая перемещается по неподвижной технологической цепи (рис. 4-32). Эта цепь (из 386 стоек) длиной 96 м, связывающая все агрегаты в единую линию и вращающая роторы закалки и сбрасывания, приводится в движение при помощи приводной и натяжной станций. Смонтированные на каждом звене цепи наклонные металлические отражатели

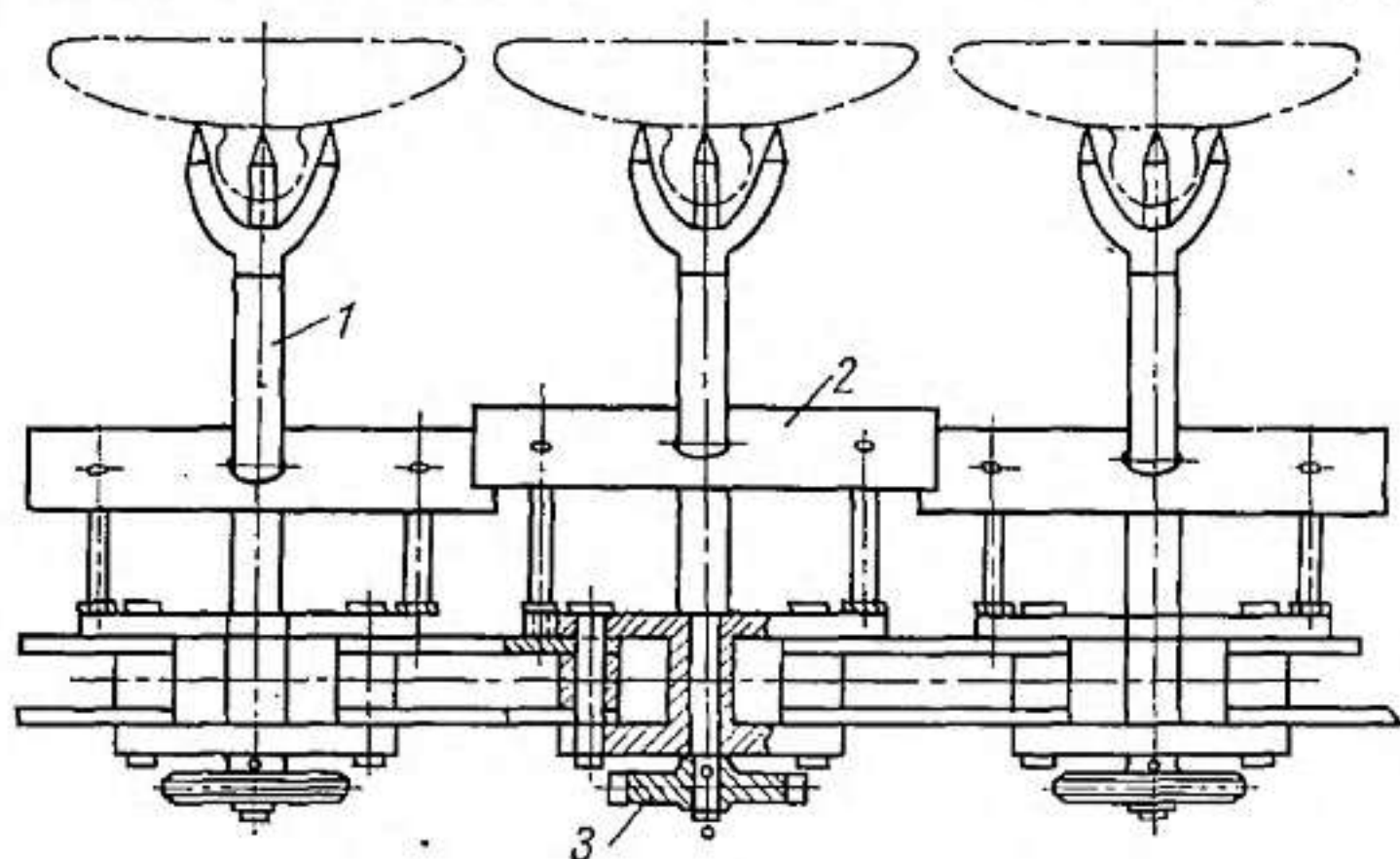


Рис. 4-32. Цепь роторной линии.

1 — стойка; 2 — отражатель; 3 — звездочка.

выполняют различные функции в зависимости от тех операций, на которых в данный момент находится стеклодеталь. В печах выравнивания температуры отражатели являются непрерывно движущейся заслонкой, закрывающей нижнюю щель и препятствующей подосу холодного воздуха. В роторе закалки и печи положительного удара, где возможно разрушение стеклодетали, отражатели выполняют свою прямую роль — отражают частицы стеклобоя на специальные транспортеры или лотки.

Автоматическая линия работает следующим образом. Вакуумный питатель, установленный на площадке перед стекловаренной печью, набирает порцию стекломассы и посылает ее в пресс-форму непрерывно вращающегося ротора прессования, где производится формирование стеклодетали. При подходе пресс-формы на позицию выгрузки ротор-переставитель снимает стеклодеталь, получившую уже требуемую конфигурацию, и устанавливает ее на вилку, непрерывно движущуюся по направляющим технологической цепи. Уложенная на вилку движущейся цепи стеклодеталь перемещается в печь выравнивания температуры и далее в 56-позиционный ротор закалки.

После закалки и прохождения печи положительного термоудара цепь заводит стеклодеталь на ротор сбрасывания, где съемник, под-

нимаясь вверх, снимает ее с вилки, а толкатель сбрасывает на транспортер установки отрицательного термоудара. Освобожденные вилки вместе с цепью возвращаются к ротору-переставителю, и цикл повторяется сначала.

Другой отличительной особенностью описываемой роторной линии по сравнению с линиями типа ЛВИ является механический принцип формирования. Если в линиях ЛВИ давление на пуансон передается от пневматического цилиндра и может регулироваться в зависимости от типа прессуемого изолятора, то в роторной линии прессующее усилие на пуансон передается от подобранных пружин. Кроме того, как указывалось выше, в прессах, работающих на принципе механического прессования, циклограмма устанавливается горизонтальными и вертикальными копиями, и поэтому ее оперативная и плавная регулировка невозможна. В силу этих обстоятельств роторная линия (в первую очередь ротор прессования) проектируется для выпуска определенного типа изолятора. Роторная линия, описание которой приведено выше, спроектирована для выпуска стеклянных элементов изоляторов ПСб-А. Проектная производительность ротора прессования, а следовательно, и всей линии 432 изолятора в час. Общий цикл производства стеклянного элемента изолятора, начиная от подачи капли в прессформу ротора прессования и кончая испытанием отрицательным термоударом, составляет 36 мин.

4-7. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ, ДЕФЕКТЫ СТЕКЛОДЕТАЛЕЙ И МЕТОДЫ ИХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ

Высокое качество стеклянных элементов изоляторов определяется значительным количеством факторов, начиная от тщательно рассчитанного рецепта стекла, получения кондиционированного сырья, состояния оборудования и оснастки, соблюдения режимов варки и выработки стекла, термообработки отформованных деталей осуществлением системы контроля, позволяющей на всех переделах проверять стабильность характеристик стеклодеталей.

Концентрация производства стеклодеталей только в двух цехах: составном и машинно-ванном, непрерывность технологического процесса изготовления, а также высокая степень механизации и автоматизации всех операций позволяют значительно легче, чем в производстве фарфоровых изоляторов, сохранить постоянство режимов технологического процесса и тем самым обеспечить высокое качество изоляторов. Особенность стекла — его прозрачность, облегчает осуществление контроля внутренних и поверхностных дефектов стеклодеталей, а технологический процесс, построенный на неоднократных колебаниях температуры от высокой к низкой и наобо-

рот, позволяет помимо выявления сугубо механических дефектов организовать контроль качества термической обработки стеклодетали, т. е. проверить качество ее закалки или отжига, а также ее термостойкость.

На рис. 4-33 изображена схема [Л. 7] контроля, осуществляемого на различных переделах производства стеклодеталей изоляторов.

Вначале (позиция № 2) осуществляется физический и химический контроль исходных сырьевых материалов и приготовления шихты. Все поступающие на завод материалы проверяются заводской лабораторией на содержание основных веществ и отсутствие посторонних механических и химических включений, загрязняющих основной материал. Содержание основных веществ в каждом материале должно быть не менее количества, определенного технологической инструкцией, а отклонения химического состава сырьевых материалов должны укладываться в следующие допуски:

Кварцевый песок	SiO_2	$\geq 97,3\%$
	Fe_2O_3	$\leq 0,1-0,2\%$
Мел	CaO	$\geq 50,0\%$
	MgO	$\leq 2\%$
Доломит	CaO	$\leq 32\%$
	MgO	$\geq 20\%$
Кремнефтористый натрий	Na_2SiF_6	$\geq 98,94\%$
Глинозем	Al_2O_3	$\geq 98,72\%$
Сода	Na_2CO_3	$\geq 99,36\%$
Поташ	K_2CO_3	$\geq 97,8\%$

Готовая шихта подвергается контролю на однородность, влажность, отсутствие посторонних механических примесей. Химический состав шихты должен соответствовать химическому составу стекла за исключением тех компонентов, которые в процессе варки стекла подвергаются улетучиванию (например, фтор). В табл. 4-10 приведены допускаемые отклонения по химическому со-

Таблица 4-10

Марка стекла	Допустимые пределы отклонений, %						
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	F
13в	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$	$+0,5;$ $-0,2$	—	$+0,5;$ $-0,2$
7	$\pm 0,5$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,2$	—
6	$\pm 0,5$	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$	$\pm 0,2$	—

ставу шихты малощелочного и щелочного стекол, используемых для производства стеклянных изоляторов.

В процессе варки стекла (позиция № 2) в печах постоянному контролю подвергаются температурный и газовый режимы варки. Контроль осуществляется по зонам: варка, осветление, рабочая часть. В газозлектрических печах дополнительно контролируются электрические нагрузки, которые являются объективным показателем температурных режимов печи. В зоне варки газозлектрической печи максимальные токовые нагрузки на фазах не должны превышать 1500 а. Ток на электродах — не более 100 а, допустимая рабочая мощность — не более 990 квт. Контролируемым параметром работы печей является уровень стекломассы, постоянство которого поддерживается либо автоматическим уровнем, связанным с загрузчиками шихты, либо вручную. Для определения качества сваренной стекломассы она периодически, не реже 1 раза в смену подвергается контролю цеховыми или заводскими лабораториями. В газовых печах иногда подвергается контролю степень провара стекломассы перед каждой засыпкой новой порции шихты. Наиболее важным с точки зрения качества сваренной стекломассы является контроль ее однородности. Однородность стекла

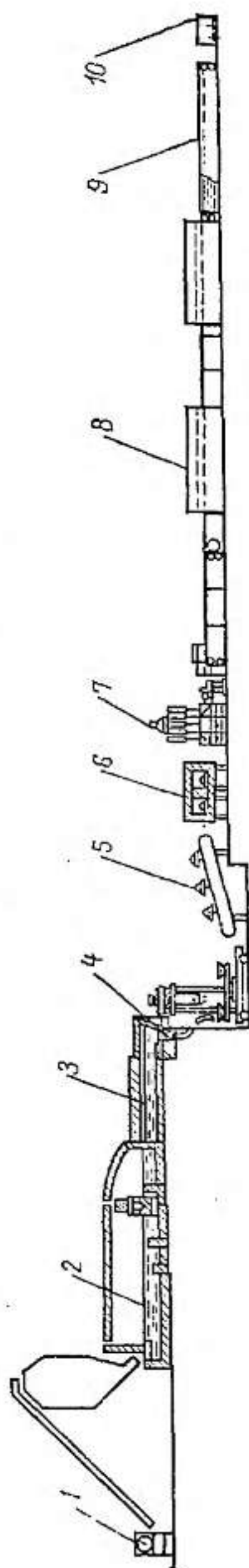


Рис. 4-33. Схема технологического контроля при производстве стеклянных элементов изоляторов.

1 — контроль шихты; 2 — контроль режима варки; 3 — контроль работы фидерного устройства; 4 — контроль физико-технических свойств готового стекла (на образцах); 5 — контроль отпрессованных стеклодеталей; 6 — контроль работы печей выравнивания; 7 — контроль работы закалочных машин; 8 — контроль положительным термодуларом; 9 — контроль отрицательным термодуларом; 10 — контроль-сортировка готовых стеклодеталей.

при неизменяемом составе исходного сырья и неизменных режимах работы печей, питателей и прессов определяется не реже 1 раза в месяц. При изменении одного из параметров режима варки или выработки стекла периодичность контроля должна быть увеличена таким образом, чтобы гарантировать сохранение требуемого уровня однородности стекла.

Существует несколько методов определения однородности стекла, однако наиболее точные данные получаются при использовании метода центрифугирования, разработанного Государственным институтом стекла.

Этот метод основан на способности стеклянного порошка расслаиваться по плотностям в смеси органических жидкостей. Плотность такой смеси подбирается близкой к плотности стекла. Однако в отличие от последней плотность жидкости значительно и закономерно изменяется с температурой.

Химическая неоднородность стекла проявляется в виде прослоек различного химического состава или инородных включений, растворенных в основной массе стекла. Поэтому порошок, получаемый при измельчении стекла, состоит из зерен, имеющих различную плотность. Всплытие и оседание инородных частиц происходят быстрее или медленнее, чем частиц основного стекла. Изменяя температуру рабочей жидкости, можно установить температурный интервал плотности, в пределах которого произойдет разделение всего стекла — от самых легких до самых тяжелых частиц. Для того, чтобы ускорить процесс разделения порошка, используется действие центробежных сил.

Для сепарирования порошка используется смесь тетрабромэтана и изопропилового эфира салициловой кислоты. Плотность жидкости подбирается таким образом, чтобы кусочек проверяемого стекла находился все время во взвешенном состоянии. При повышении температуры на 1°C плотность такой жидкости уменьшается на 2 кг/м^3 . Образцы стекла, отобранные для исследования, должны быть тщательно промыты, высушены и отожжены. Измельчение стекла производится до фракции, свободно проходящей через сито № 6 или № 8. Для предотвращения флотационного процесса во время центрифугирования порошок предварительно должен быть дегазован. Степень однородности стекла характеризуется величиной температурного интервала расслоения порош-

ка в указанной выше жидкости при изменении ее температуры и одновременном центрифугировании. Чем меньше температурный интеграл плотностей, тем однороднее стекло. Так, для производства стеклянных изоляторов нормальным считается интервал $1,5-2^{\circ}\text{C}$. Этот метод позволяет выявить также, какие окислы вызывают нарушение состава стекла.

Работа фидера (позиция № 3) контролируется путем проверки постоянства заданных температурных режимов, массы и формы выдаваемой капли. Периодичность этого контроля также зависит от стабильности работы печи, питателя и остального оборудования машинно-ванного цеха. При наладке питателя или при освоении нового вида изделия проверка массы и формы капли осуществляется часто (по нескольку раз в смену). При отлаженной работе всего оборудования масса капли может проверяться по готовому отпрессованному изделию не реже 1 раза в смену. Кроме того, критерием правильно подобранных массы капли и ее температуры может служить нормальная работа пресса, отсутствие таких дефектов, как недопрессовка, посечка. При ручной наборке стекломассы масса каждой капли (набора) проверяется путем взвешивания отпрессованного изделия. Контроль температуры стекломассы, соответствующей определенной вязкости, обеспечивающей нормальную работу прессового оборудования, в этом случае определяется в рабочей части печи по показаниям оптического пирометра.

Из фидера (позиция № 4) должны отбираться пробы для изготовления стандартных образцов и определения всех механических и электрофизических характеристик стекла, применяемого для изготовления стеклянных элементов изоляторов. Форма и размеры стандартных образцов, а также методы определения электрических характеристик должны соответствовать требованиям ГОСТ 6433-65. Так как в практике производства стеклянных изоляторов не существует норм, регламентирующих периодичность подобных контрольных проверок, то можно рекомендовать определение всех физико-технических характеристик стекла производить не реже 1 раза в квартал при неизменных исходном сырье и технологическом процессе. В случае изменения указанных параметров проверка всех характеристик стекла должна осуществляться каждый раз, когда изменение технологии может

привести к изменению свойств стекла и, следовательно, стеклянного изолятора.

После прессования стеклодеталей изоляторов на позиции № 5 визуальной контролю подвергается 100% отпрессованных изделий. Изделия с видимыми дефектами (недопрессовка, неправильная форма, мошка и т. д.) бракуются и не направляются на дальнейшие операции.

В процессе выравнивания температуры стеклодеталей перед их закалкой на позиции № 6 (рис. 4-32) контролю подвергаются температуры на всех позициях проходной печи, а в том случае, когда выравнивание производится в одноместных муфелях, контролируется температура каждого муфеля. Процесс закалки стеклодетали является одним из наиболее ответственных этапов производства стеклянных изоляторов. Поэтому параметры этого процесса: температура, давление охлаждающего воздуха и время закалки должны подвергаться систематическому контролю в течение всего рабочего дня (позиция № 7). На многопозиционных автоматизированных закалочных машинах давление охлаждающего воздуха измеряется и фиксируется на каждой позиции. Время закалки на таких машинах выдерживается автоматически. Давление воздуха в обдувочных соплах измеряется U-образным манометром. Сам по себе процесс закалки является одновременно контрольным процессом, при котором отбраковываются изделия, в теле которых имеются инородные включения, обладающие иным по сравнению со стеклом температурным коэффициентом расширения. Эти частицы создают во время охлаждения стекла такие напряжения, которые могут вызвать разрушение стеклянного изолятора через неопределенное время после его выпуска. Закалка — это первый из трех термоударов, предусмотренных технологией производства закаленных стеклянных изоляторов. Поэтому во время закалки будут отсеиваться и те стеклодетали, которые на предыдущих операциях были изготовлены с нарушением технологического режима: плохое выравнивание температуры, недостаточная однородность стекломассы или плохо отрегулированное оборудование (механическая посечка).

На позиции № 8 все стеклодетали подвергаются контролю вторым термоударом. Здесь во время технологической операции, которая так и называется «положительный термоудар», предварительно охлажденные в процессе закалки детали подвергаются скачкообразному

нагреванию, которое порождает дополнительные внутренние напряжения в теле стеклянного элемента изолятора. При этом возникающее напряжение имеет такое же значение, как и напряжение закалки (см. рис. 1-2). Такой контроль производится с целью отсева тех деталей, которые по тем или иным причинам не были отбракованы во время закалки, хотя они имеют в теле инородные включения. Новый тепловой скачок, резко увеличивая за короткий промежуток времени вредные напряжения, должен привести к мгновенному разрушению стеклодеталей, содержащих такие включения или имеющих неравномерную закалку. Естественно, что на позиции № 8 контролируется основной технологический параметр — температура в печи положительного термоудара.

На следующей контрольной позиции № 9 стеклодетали подвергаются резкому охлаждению, т. е. отрицательному термоудару, который создает внутренние напряжения, противоположные по своему знаку предварительным напряжениям закалки. Значение этого термоудара подбирается таким образом, что все детали, которые были недостаточно закалены, разрушаются под действием наружных растягивающих напряжений, вызываемых резким охлаждением. Технологическими параметрами, которые подвергаются контролю на этом этапе, являются: температура охлаждающей воды и температура самой стеклодетали. Температура воды контролируется постоянно термометром или термопарой, а температура стеклодетали изолятора проверяется периодически (примерно 1 раз в сутки) калориметрическим методом.

При производстве изоляторов из отожденного стекла технологический контроль несколько упрощается. Если до операции прессования (включительно) контроль ничем не отличается от контроля закаленных стеклодеталей, то после этой операции, т. е. во время отжига изоляторов, проверке подвергаются только температуры в различных зонах печи Лера, обеспечивающая заданный режим термообработки стеклянных изоляторов.

Проверка качества термообработки стеклодеталей может производиться несколькими способами. Закалка, помимо методов, предусмотренных технологическим процессом, т. е. положительного и отрицательного термоударов, еще проверяется определением размеров ячеек закаленной и разрушенной стеклодетали. Чем меньше раз-

мер ячеек, тем выше степень закалки (рис. 4-34). Более объективным является метод определения прокаливаемости, т. е. соотношения толщины закаленного и отожженного слоев стеклodeтали.

Термообработка может контролироваться с помощью полярископа. При этом для проверки качества отжига этот метод является основным и по существу единственным. Контроль отожженных стеклodeталей под полярископом входит в число обязательных испытаний, которым подвергаются отбираемые от каждой выпущенной



Рис. 4-34. Разрушение плохо закаленной стеклodeтали.

партии 0,5% изоляторов. Принцип действия полярископа основан на наблюдении двойного лучепреломления в прозрачных деталях, возникающего при прохождении через них плоскополяризованного луча света в результате внутренних напряжений и механических воздействий. Наблюдатель следит за интерференционной картиной, характерной для того или иного напряжения. Яркость и цвет интерференционной картины зависят от напряжения. Следовательно, по этой картине можно качественно судить о напряжении в стеклodeтали.

По окончании технологического процесса изготовления стеклodeталей они все проходят визуальную контроль-сортировку, во время которой определяется их пригодность для дальнейшей обработки, а также выявляются и отбраковываются дефектные изоляторы (позиция № 10). Тогда же проверяются основные норми-

руемые размеры стеклодеталей. Частота контроля размеров зависит от налаженности технологического процесса: чем он стабильнее, тем реже должна производиться проверка размеров.

Вполне понятно, что все дефекты стеклодеталей изоляторов являются следствием либо плохого качества стекломассы, либо недостаточно отработанного технологического процесса их формования и термообработки.

Плохое качество стекломассы вызывается нарушением ее химической и физической однородности, образуемой во время приготовления шихты и варки ее в печах. Недостаточная однородность стекломассы является причиной следующих видимых дефектов стеклянных изоляторов:

- газовые включения (пузыри, мошка);
- инородные включения.

Газовые включения, встречающиеся в стекле, могут иметь различный химический состав, форму и различное происхождение. Как правило, пузыри являются следствием плохого осветления стекломассы, когда газы, выделяющиеся во время процессов стеклообразования, не полностью удаляются и растворяются в стекле. Газы — в основном частицы воздуха, заносятся в печь во время засыпки шихты, при погружении в стекломассу различных предметов, таких как отборники проб стекла или электроды (при электроварке). Газовые пузыри могут образовываться в стекломассе при взаимодействии ее с огнеупорами печи за счет разложения некоторых материалов, входящих в состав огнеупоров, сгорания свободного углерода, образовавшегося на стенках огнеупоров во время их обжига, или выделения воздушных скоплений, образовавшихся в мельчайших порах огнеупорных материалов. Помимо этих, так называемых первичных пузырей, в стекломассе могут иметь место вторичные пузыри, образовавшиеся уже после осветления и в выработочной части печи или в питающих устройствах.

Образование вторичных пузырей может быть вызвано завышением температуры стекломассы в фидерном питателе и зоне осветления, плохо отрегулированным режимом сгорания топлива в питателе, наличием в его канале инородных тел, низким уровнем стекломассы, плохим прилеганием головки вакуумного питателя набора к зеркалу стекла.

Газовые включения по своему размеру подразделяются на пузыри (диаметр более 0,8 мм) (рис. 4-35) и мошку (диаметр менее 0,8 мм).

При небольших концентрациях и размерах газовые включения не ухудшают электромеханических свойств стеклянных изоляторов. Однако большие пузыри, особен-

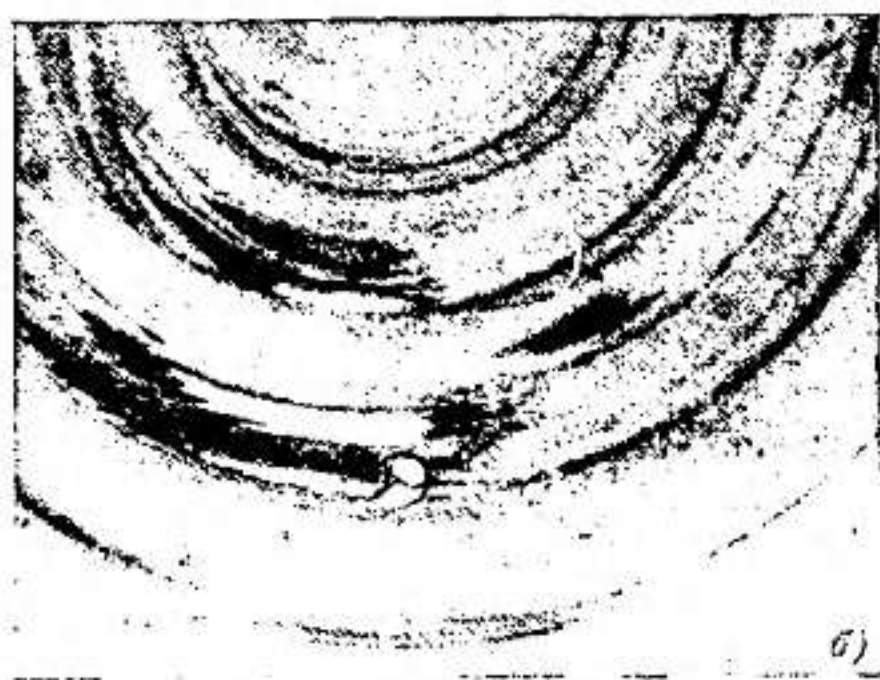
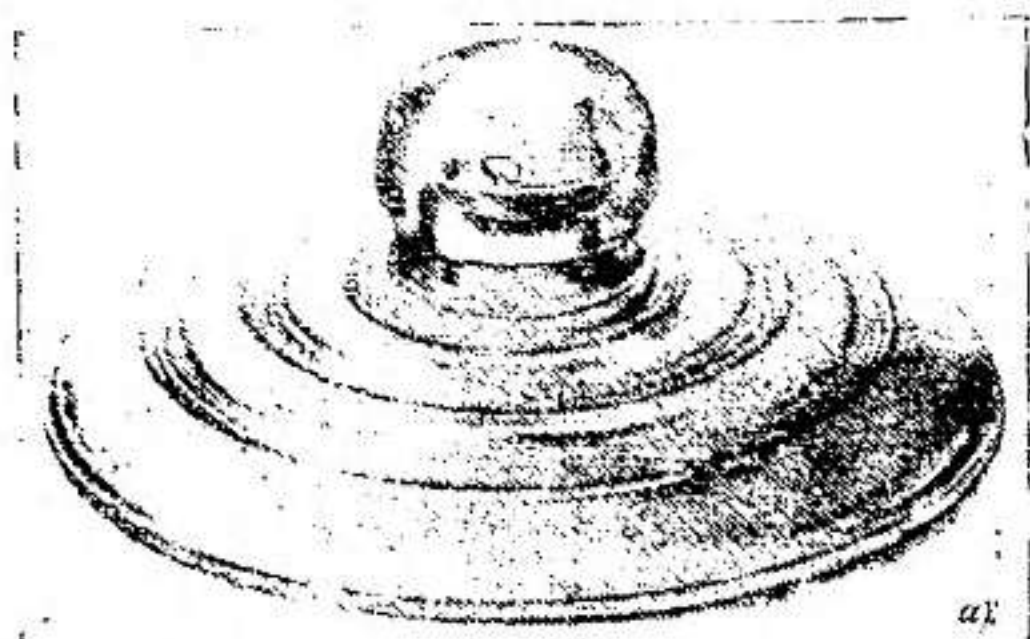


Рис. 4-35. Пузырь.

а — в головке изолятора; б — в тарелке изолятора.

но в таких ответственных местах, как головка подвесных или шейка штыревых изоляторов не должны пропускаться контролерами ОТК.

Образование пузырей и мошки в стекле может быть предотвращено тщательным соблюдением газового и температурного режима варки, осветления и выработки стекла, правильной подготовкой и смешиванием сырьевых материалов, а также соблюдением оптимального

соотношения шихты и стеклобоя. Для футеровки печей и каналов фидеров должны применяться высококачественные, желательно плавленные огнеупорные материалы. Перед наваркой печей бассейны должны быть тщательно очищены. Погружаемые в готовую стекломассу предметы (плунжеры, бушинги, головки вакуумнаборников и т. д.) должны изготавливаться из жароупорного материала.

Свили — стекловидные включения в стекле, отличающиеся от него своими свойствами, а иногда и составом, хорошо просматриваются в готовых изоляторах (рис. 4-36).

Свили образуются в стекле в результате неравномерного провара шихты, нарушения режимов силикатообразования и стеклообразования. Плохо перемешанная и неувлажненная шихта способствует более быстрому растворению легковесных материалов без предварительной реакции их с кремнеземом и образованию в последующем участков стекломассы с различной плотностью и вязкостью. Такое же явление наблюдается при неравномерной загрузке шихты, нарушении режимов варки стекломассы и чрезмерно больших съемах стекла с 1 м^2 варочной части печи.

Образованию свилей способствует разъедание огнеупорных материалов самой стекломассой, летучими материалами и газами, выделяющимися в процессе варки стекла.

Так как свили отличаются от основного стекла своими свойствами, особенно плотностью, их наличие в стекле резко снижает показатель однородности, что в свою очередь приводит к снижению нагревостойкости стеклянных изоляторов. Образование грубых свилей делает вообще невозможной закалку стеклодеталей.

Предотвращение свилей сводится к тщательной подготовке и смешиванию шихтовых материалов, равномерной и тонкослойной загрузке шихты, соблюдению заданных режимов варки, правильному подбору количества стекломассы, снимаемой с 1 м^2 печи (в зависимости от марки стекла, метода варки и т. д.), и применению доброкачественных материалов.

Необходимо добиться, чтобы растворение свилей в основном стекле происходило до попадания стекломассы в рабочую часть печи, где уже невозможно повысить температуру и достичь высокой однородности стекла.

Инородные включения — наиболее часто встречающийся порок стекломассы, вызывающий, как правило, либо разрушение стеклодеталей во время термообработки, либо резкое снижение механической прочности и нагревостойкости. Природа образования инородных включений в стекле чрезвычайно разнообразна. Это — продукты разрушения огнеупоров бассейна и свода печи, непроварившиеся частицы песка и глинозема (рис. 4-37) или неразложившиеся частицы окалины и кристаллические образования в самом стекле.

Разрушение огнеупоров и попадание в стекло этих включений связано с применением недоброкачественных



Рис. 4-36. Свилли.

огнеупорных материалов, завышением температуры варки или превышением скоростей движения стекломассы в печи. Непровар шихты (шихтовые камни) образуется в результате недостаточной однородности шихты, неправильной загрузки шихты или неправильного выбора температурного режима варки, затрудняющего полное растворение в расплаве всех компонентов.

Инородные включения могут быть занесены в стекло после холодного ремонта печей, или когда бассейн перед выводкой недостаточно очищен. Инородным включением, засоряющим стекло, могут быть обгоревшие куски электродов при электроварке стекла или металлические части питающих машин.

Все инородные включения, как и свили, значительно затрудняют процессы термической обработки стеклодеталей изоляторов и почти исключают возможность их закалки. Защита стекла от засорения инородными включениями заключается в тщательной подготовке и смешивании сырьевых материалов, разработке режимов варки, обеспечивающей полное растворение всех шихтовых материалов и применение высококачественных огнеупоров. Однако в некоторых случаях, когда при выполнении всех указанных требований однородность стекла не удается

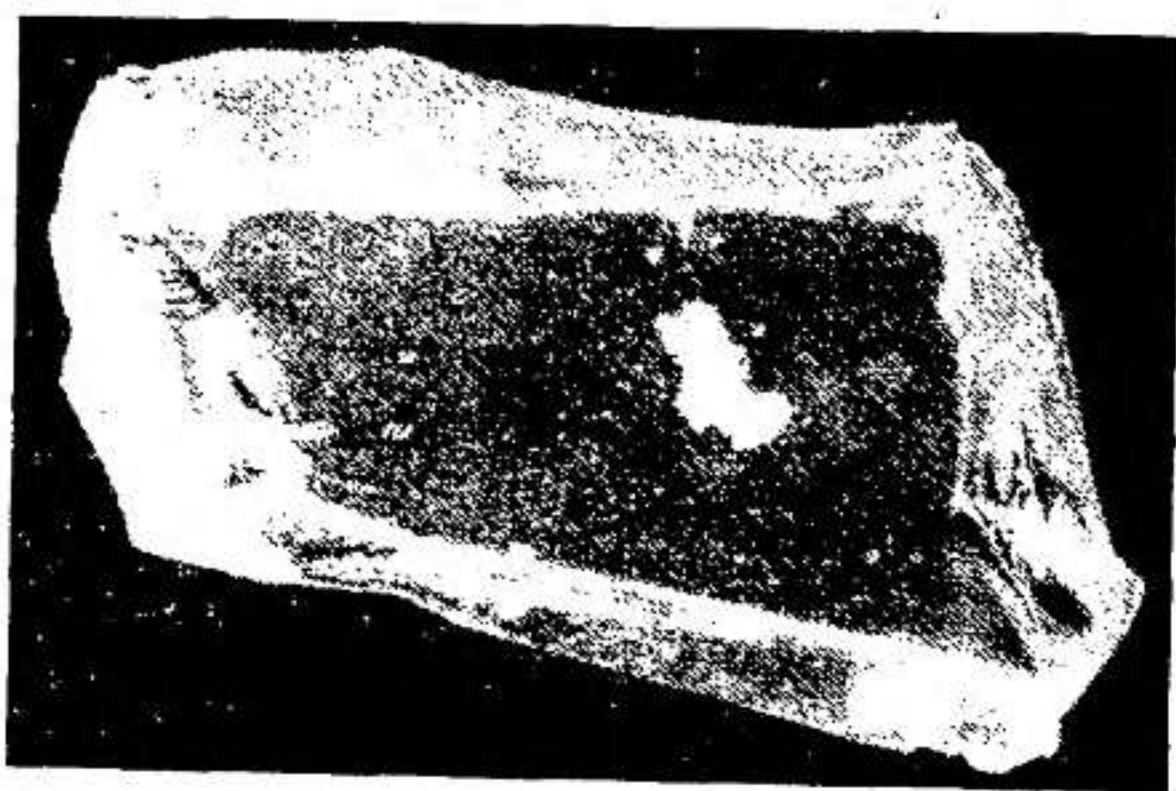


Рис. 4-37. Шихтный камень (нерастворившиеся частицы глинозема).

повысить, возникает необходимость в корректировке шихты или некотором изменении состава стекла. Ряд пороков стеклянных изоляторов является следствием неудовлетворительной работы технологического оборудования. При этом плохая работа различных механизмов или машин может быть причиной одного и того же вида брака.

Посечка является наиболее распространенным пороком стеклоизделий, изготавливаемых машинным способом, в том числе стеклянных изоляторов. Она возникает от различных причин в различных местах изделия и имеет разнообразную форму. Посечка — это небольшая трещина в стекле, размеры которой колеблются от еле видимой точки до 2—3 см (рис. 4-38). По глубине она может быть поверхностной (в виде тонкой серебристой нити),

глубинной и сквозной. Чаще всего посечка встречается на шейке и ребрах изоляторов, хотя практически она может быть на поверхности юбки, на головке и на резьбе.

Посечка возникает на поверхности изолятора, как результат нарушения целостности поверхностного отвердевшего слоя стекла, когда технологический процесс прессования еще не окончен.

В зависимости от причин возникновения различают посечку от стекла, посечку термическую и посечку меха-



Рис. 4-38. Посечка.

ническую. Посечка от стекла является результатом его физико-механических свойств. Большое количество посечек дает стекло с повышенной хрупкостью — «короткое», которое может ломаться при высокой температуре красного каления в результате нарушения технологии стекловарения. Массовая посечка может быть следствием термической неоднородности стекла и возникает в результате нарушения теплового режима ванной печи или питающего механизма.

Термическая посечка образуется в результате прикосновения поверхностной застывшей корки стекла к холодному или мокрому предмету.

Механическая посечка — самая крупная и распространенная группа посечки. Это — поломка части изделия, происшедшая в результате удара, чрезмерного давления,

изгиба. Причиной механической посечки является прежде всего формовой комплект, непосредственно соприкасающийся со стеклом, причем посечка возникает либо в результате неисправности формового комплекта, либо в результате усилий, производимых на комплект другими частями машины. Появление механических посечек указывает на неисправности, возникшие при изготовлении деталей, монтаже или регулировке машины. Посечка рано или поздно обязательно приводит к разрушению стеклодетали и поэтому является окончательным видом брака, не подлежащим исправлению. Все изделия с посечкой должны быть отбракованы. Передача таких изделий на дальнейшие операции не допускается. Иногда посечку путают с микроскладками, образуемыми на поверхности стеклодеталей. Такой дефект не является браком. Различить их можно либо погружением изделий в ванну с иммерсионной жидкостью, либо нанесением на подозреваемые участки изолятора специальной проникающей краски. Первый метод позволяет обнаружить посечку по разности показателей преломления, образуемых на границе трещины, второй метод — за счет проникновения в трещины проникающей краски.

Избежать посечки можно только при тщательном соблюдении технологических режимов производства. Температура капли, подаваемой в формовой комплект, должна строго соответствовать расчетной. Стекло должно соприкасаться только с нагретым металлом. Нужно, чтобы пуансон, формирующее кольцо, форма с поддоном, развертки и метчики, а также хватки отставителей были достаточно горячими, а лента конвейеров — нагретой. Нельзя допускать переохлаждения всех частей машин, соприкасающихся с разогретым стеклом. Необходимо следить за тем, чтобы на горячие стеклодетали не попадали капли воды или масла. Изделие должно прессоваться лишь при минимально необходимом давлении и в течение определенного времени, которые для каждого изделия рассчитываются отдельно.

С термической посечкой можно бороться, создавая между стеклом и металлом пресс-форм защитный слой, за счет покрытия их специальными смазками (§ 4-4). В табл. 4-11 приведены некоторые конкретные причины возникновения посечки при изготовлении штыревых и подвесных изоляторов, а также рекомендуемые методы ее устранения.

Месторасположение посечки	Причины образования	Методы устранения
На ребрах подвесных изоляторов	Сильное охлаждение керна, забиты отверстия в кerne при отрезе капли, след отреза ложится на ребро	Уменьшить охлаждение керна, очистить отверстие в кerne, добиться правильной укладки капли
На краю тарелки или юбки	Неодинаковая температура формы и кольца, велико давление прессования, большое скопление нагара и грязи на форме и кольце, сильное сотрясение пресса при повороте стола	Не допускать переохлаждения форм и формующих головок, отрегулировать давление прессования, очистить от нагара и грязи формовой комплект, отрегулировать плавность хода стола
Головка (снаружи)	Слишком холодная форма, неодинаковые температуры формы и вкладыша поддона, половинки формы неплотно соединяются при закрытии	Уменьшить охлаждение пресс-форм; при слишком толстых стенках форм сделать в корпусе формы отверстия, канавки; очистить от нагара и грязи плоскости соединения форм; отрегулировать охлаждение двух половинок форм
Головка (внутри) или резьба	Нагар на кerne, заусенец, на метчике или развертке, чрезмерное охлаждение метчика или развертки, керна-метчик находится долго в стекломассе	Очистить керн, устранить заусенцы на развертке или метчике, ослабить охлаждение метчиков или разверток, производить их периодическое смазывание, сократить до минимума пребывание керна-метчика в стекломассе

Следующая группа дефектов, встречающихся при изготовлении стеклянных изоляторов, относится к нарушению формы изолятора и контролируемых размеров.

а) *Недопрессовка изолятора* (рис. 4-39), низкая гильза, юбка или ребро. Этот вид брака является окончательным и вызывается недостаточной температурой стекломассы, малой массой капли, недостаточным давлением при прессовании или чересчур плотной посадкой кольца формующей головки в форму.

Для устранения необходимо поднять температуру стекломассы, увеличить массу капли, увеличить давле-

ние прессования, половинки формы должны быть пришабрены так, чтобы только ее края прилегали вплотную; кольцо формующей головки должно иметь при посадке в форму зазор не более 0,1 мм.

б) *Подпрессовка изоляторов, заусенцы и толстые швы* возникают при большом зазоре между частями пресс-формы, пуансон не подогнан к размерам формы, много накопилось нагара между половинками формы;

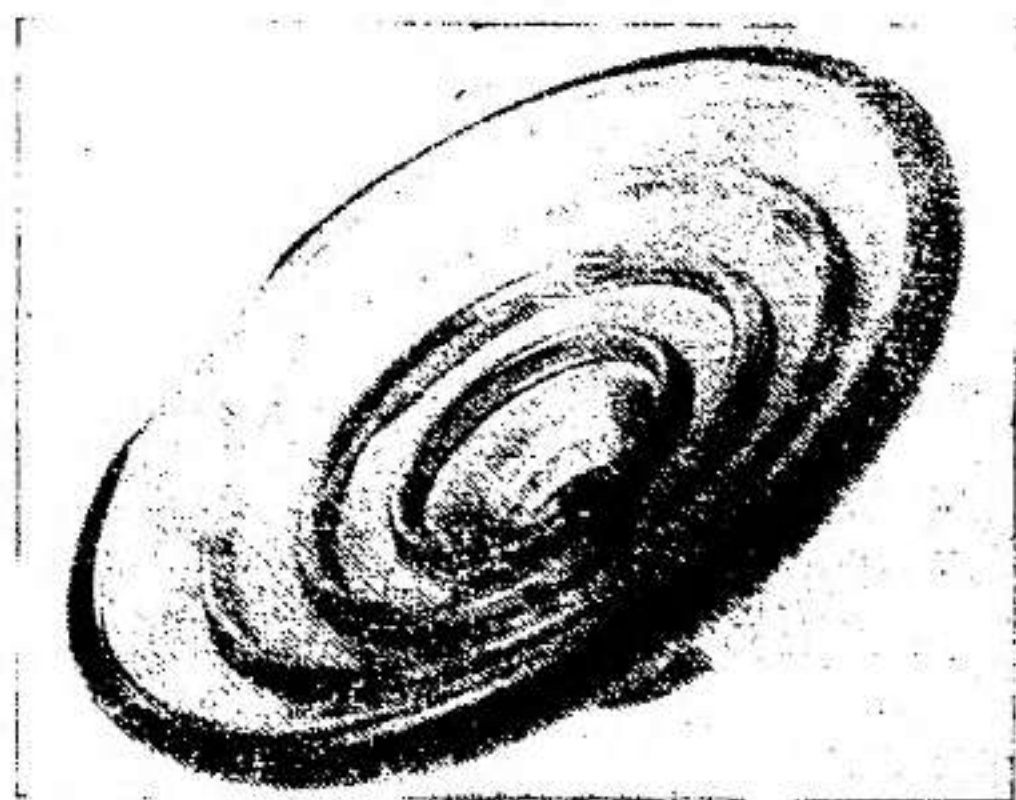


Рис. 4-39. Недопрессовка крайнего ребра стеклодетали изолятора.

слабые пружины на пуансоне, велико давление прессования; завышены температура и масса капли.

Надо лучше пригнать плоскости разъема форм, очистить их от нагара, усилить замыкание створок форм, отрегулировать давление прессования, температуру и массу капли.

в) *Тонкое или толстое дно в головке изолятора, нарушение конфигурация внутренней полости.* Возникают из-за неправильно подобранной температуры стекломассы, биения развертки или керна-метчика, плохой подгонкой формующей оснастки.

Предупреждаются регулировкой температуры стекломассы до оптимальной, устранением биения развертки, подгонкой формующей оснастки. Там, где формовка осуществляется индивидуальными кернами-метчиками или развертками, их размеры и установка должны быть проверены по шаблону.

г) *Смещение гильзы в изоляторе, неправильная форма.* Этот дефект свойствен штыревым изоляторам, изготовляемым на линиях ЛВИ. Вызывается тем, что формирующая головка при подъеме вместо вертикального движения совершает боковое движение к центру стола или от центра стола наружу.

Необходимо при смещении гильзы к центру стола отрегулировать держатель формирующей головки подкладками так, чтобы салазки держателя опирались на ось раскрывания форм; при смещении гильзы от центра стола наружу отрегулировать упорный винт в держателе головки так, чтобы подъем держателя происходил после достаточного подъема формирующей головки.

Помимо дефектов, описанных выше, при прессовании стеклянных изоляторов могут появляться и такие, которые, не ухудшая заметно качества изолятора, не относятся к браковочному признаку, но тем не менее ухудшают товарный вид и могут приводить к саморазрушению стекла. К таким дефектам относятся:

а) *след от отрезания стекломассы ножницами* образуется, если недостаточно разогрета стекломасса, не отрегулированы или затуплены ножи ножниц; на ножницы подается много охлаждающей смазки, лезвия ножей покрыты толстым слоем нагара, слишком сработался кулачок, управляющий механизмом ножниц.

Для устранения необходимо повысить температуру стекломассы, отрегулировать натяжение ножниц, уменьшить зазор между лезвиями, заточить лезвия и отрегулировать положение ножниц в вертикальной и горизонтальной плоскостях, уменьшить охлаждение и очистить лезвия от нагара, заменить кулачки с целью ускорения реза;

б) *морищинистая поверхность изолятора и складка* образуются, когда капля стекломассы горячая и длинная; капля падает неточно в центр формы, полость воронки или формы слишком запряжены, неотрегулирована температура формы, стекло находится в форме долго до начала прессования.

Устраняется снижением температуры и регулированием формы капли и падением капли в центр формы, а также систематической очисткой воронки и форм от нагара и сокращением до минимума времени между падением капли и началом прессования;

в) кованая, шероховатая поверхность изоляторов. Стекломасса холодная, форма недостаточно разогрета, поверхность форм загрязнена нагаром или прилепившимся затвердевшим дробленным стеклом; слишком обильна смазка формы; капля стекломассы загрязнилась еще до падения в форму, растрескались рабочие поверхности форм.

Для устранения дефекта необходимо повысить температуру стекломассы, уменьшить охлаждение формы и очистить ее рабочие поверхности от нагара и раздробленного стекла; уменьшить смазку формового комплекта, ножниц, лотка, периодически полировать рабочие поверхности формы;

г) «дутик» (углубление на поверхности изолятора или в резьбе) образуется при слишком обильном смазывании формы, керна или развертки коллоидно-графитовой смазкой, сгорающей с образованием продуктов в теле изолятора.

Чтобы избежать «дутиков», необходимо не допускать обильного смазывания формы или керна.

Ряд дефектов стеклодеталей изоляторов возникает на дальнейших операциях, особенно при термообработке.

Сужение сетки печи типа Лер приводит к неравномерному распределению изоляторов по ширине печи, нарушению температурного режима и вызывает образование термического треска. Чтобы не допускать этого вида треска, необходимо строго выдерживать заданный режим работы печи, производить своевременную смену сетки и ни в коем случае не допускать возникновения где-либо подсосов холодного воздуха. Интенсивный подсос холодного воздуха может вызвать термический треск и в печах выравнивания температура перед закалкой изоляторов.

Нельзя допускать чрезмерного неконтролируемого переохлаждения изоляторов после прессования перед попаданием их в печь или в печь выравнивания температуры и после этой печи — перед установкой стеклодетали на закалочную машину. Надо следить за тем, чтобы температура транспортирующих устройств, сетки печи и других соприкасающихся с горячим изолятором узлов механизмов соответствовала заданной. Нарушение всех этих требований может вызвать массовый брак — термический треск стеклодеталей.

Наоборот, при чрезмерном прогреве как самих стеклодеталей, так и соприкасающихся с ними механизмов и приспособлений может произойти вторичная деформация отформованных изоляторов, что также нежелательно.

Сильное сотрясение формующих машин, неотрегулированная работа отставителей, переставителей и транспортирующих устройств могут привести к образованию сколов на поверхности стеклодеталей (рис. 4-40).

Все перечисленные выше дефекты могут быть условно разбиты на две группы: допустимые и недопустимые:

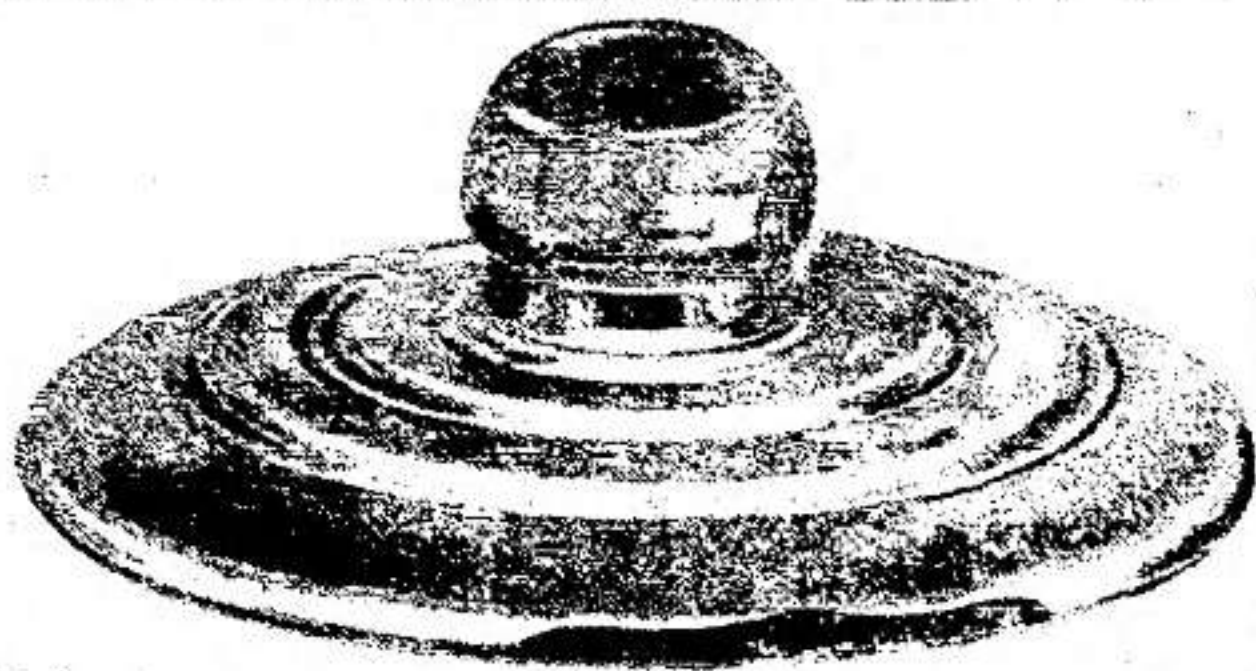


Рис. 4-40. Скол по крайнему ребру стеклодетали изолятора; кованая поверхность.

т. е. те, наличие которых в определенных количествах не сказывается на электромеханических и термических характеристиках стеклянных изоляторов, и те, которые приводят сразу или со временем к снижению основных параметров изоляторов. Действующими ГОСТ и техническими условиями определены возможные дефекты стеклодеталей изоляторов, которые должны в обязательном порядке проверяться на каждом изоляторе, а также величина и количество пороков, допускаемых для основных типов изоляторов.

В табл. 4-12 приведен перечень дефектов и их допустимые нормы для подвесных и штыревых изоляторов.

Вполне понятно, что здесь не могут быть подробно описаны все причины дефектов, возникающие на стеклянных изоляторах, и методы их предупреждения.

Вид дефекта	Допустимые нормы			Отожженные низковольтные штыревые изоляторы
	Закаленные подвесные изоляторы	Отожженные высоковольтные штыревые и опорные изоляторы		
Трещины, посечки, открытые пузыри	Не допускаются	Не допускаются	Не допускаются	Не допускаются
Морщины, складки, наteki	Не допускаются	Глубиной не более 0,5 мм	Глубиной не более 0,5 мм	Не допускаются
Кованая поверхность	Глубиной не более 0,5 мм	Глубиной не более 0,5 мм	Глубиной не более 0,5 мм	Не нормируется
Шов от разъема формы	Высотой не более 1,5 мм в оплавленном виде	Не нормируется	Не нормируется	Высотой не более 1 мм в оплавленном виде
След отреза стекломассы ножницами	Допускается	Допускается	Допускается	Допускается
Сколы	На ребрах и кромке тарелки не допускаются	На кромке юбки и гильзы, а также по резьбе не допускаются	На кромке юбки и гильзы, а также по резьбе не допускаются	На шейке и головке, а также по резьбе не допускаются. На остальной поверхности изолатора — не допускаются при общей длине более 10 мм и глубине 1 мм
Заусенцы от формующего кольца	Высотой не более 1 мм в оплавленном виде	Не допускаются	Не допускаются	Не нормируются
Острые края и зазубрины по резьбе	Не нормируются	Не допускаются	Не допускаются	Не допускаются
Инородные включения	Не допускаются	Не допускаются	Не допускаются	Частицы огнеупорных материалов — не допускаются; непроваренные частицы шихты и закристаллизованное стекло не допускаются более 1 шт. с диаметром более 1 мм на изолатор

Вид дефект	Допустимые нормы		
	Закаленные подвесные изоляторы	Отожженные высоковольтные штыревые и опорные изоляторы	Отожженные низковольтные штыревые изоляторы
Свилы Пузыри	Не допускаются В головке — не более 3 шт. диаметром до 2 мм включительно и не более 2 шт. диаметром до 3 мм включительно В тарелке — не более 5 шт. диаметром до 3 мм включительно, не более 3 шт. диаметром до 5 мм для изоляторов класса ниже 30 или не более 5 шт. диаметром до 5 мм для изоляторов класса 30 и выше. Расстояние между пузырями не менее 15 мм	Не нормируется Не более 5 шт. диаметром до 3 мм включительно. Расстояние между пузырями не менее 5 мм На шейке — не допускается	Не нормируется Не более 5 шт. диаметром от 0,8 до 2 мм включительно расстояние между пузырями не менее 5 мм На шейке — не допускаются
Мошка	В шейке — не допускаются Не допускается в сосредоточенном виде	Не допускается в сосредоточенном виде —	Не нормируется —
Деформация тарелки изолирующей детали	Не более 2 мм для изоляторов диаметром до 280 мм; 3 мм — для изоляторов диаметром 280—320 мм; 4 мм — для изоляторов диаметром свыше 320 мм	—	—
Недопрессовка	Не допускается	Не допускается	По наружной юбке не допускается более 3 мм на длине более 25 мм

Поэтому, для того чтобы получить стеклянные изоляторы в массовом количестве отличного качества, необходимо обеспечить тщательное соблюдение заданных режимов технологии по всем переделам производства, нормальную работу оборудования, а также соблюдать сроки и объем контрольных испытаний стеклянных элементов и изоляторов.

Глава пятая

АРМИРОВАНИЕ СТЕКЛЯННЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

5-1. СВЯЗКИ, КОМПЕНСИРУЮЩИЕ ПРОКЛАДКИ И ПРОМАЗКИ

Армирование изоляторов является завершающей операцией технологического процесса их изготовления. Армированию подвергаются все типы высоковольтных подвесных изоляторов, опорные и опорно-штыревые изоляторы, а также некоторые типы штыревых линейных изоляторов. Во время армирования производится соединение стеклянного элемента с его металлической арматурой. В результате этого создается изолятор — электроизоляционная конструкция, пригодная для эксплуатации на линиях электропередачи, подстанциях и в других электротехнических устройствах.

Правильно рассчитанные и подобранные конструкции электроизолирующего стеклянного элемента, металлической арматуры и способ их соединения существенно влияют на механическую и электрическую прочность изолятора. Арматура, передавая внешние усилия на стеклянный элемент, обуславливает распределение в нем механических напряжений. Соединение арматуры с стеклянным элементом изолятора осуществляется с помощью раствора портландцемента марки не ниже 500 (по ГОСТ 9835-66). Чистый цементный раствор обладает склонностью к растрескиванию и большой усадке. Эти недостатки устраняются добавлением к цементу отошающих инертных добавок: кварцевого песка или реже — фарфоровой крошки.

За рубежом, например во Франции, Италии, для армирования стеклянных изоляторов используются как портландцемент, так и алюминатный (глиноземистый) цемент, обладающий высокой прочностью и коротким временем схватывания. Цементно-песчаный состав при

армировании изоляторов должен равномерно, без раковин и воздушных прослоек заполнять все промежуточное пространство между стеклянным элементом и арматурой и плотно прилегать к ним.

При последующем твердении цемента его механическая прочность со временем возрастает и достигает величины, достаточной, чтобы длительно выдерживать механические нагрузки, нормируемые для данной конструкции изолятора.

Как указывалось ранее, температурный коэффициент линейного расширения стекол, применяемых для изготовления изоляторов, лежит в пределах $(5 \div 8) \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, температурные коэффициенты линейного расширения стали равен $11 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, а цемента $14 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Таким образом, расширение состава при изменении рабочих температур всегда больше, чем металлической арматуры и стеклянного элемента. Это несоответствие может привести к возникновению дополнительных напряжений в стекле и в самом цементном камне, что может вызвать разрушение и выход изолятора из строя. Для компенсации таких напряжений отдельные участки поверхности арматуры и стеклянного элемента должны покрываться эластичными промазками.

В СССР для этих целей используется раствор битума марки БН-V или клей ИКФ-130. За рубежом, например в Италии, применяются синтетические составы. Сибирским научно-исследовательским институтом энергетики предлагается компенсирующая графитно-битумная промазка [Л. 49]. Все промазки имеют целью, во-первых, скомпенсировать разность ТК различных материалов, входящих в конструкцию изолятора, а во-вторых, снизить коэффициент трения между соприкасающимися поверхностями и дать возможность относительного небольшого перемещения стеклянного элемента, а также арматуры и слоя цементно-песчаного состава в изоляторе.

Для этих же целей применяются в изоляторах эластичные прокладки между арматурой, стеклом и цементом. Прокладки изготавливаются из кирзы, толя-кожи и пробки. Последняя обладает наилучшими компенсирующими свойствами, не подвергается набуханию во время армирования и не стареет со временем.

При армировании изоляторов желательно избежать нарушения соосности всех элементов, входящих в кон-



Рис. 5-1. Схема приготовления цементно-песчаной смеси и армирующей связки.

струкцию изолятора, так как при заделке стержня в подвесном изоляторе несимметричность его посадки и наклонное положение по отношению к оси изолятора могут вызвать изгибающие усилия, чрезвычайно вредные для стеклянного элемента изолятора. Механическая прочность изоляторов во многом также зависит от того, насколько благоприятны условия схватывания и твердения цементно-песчаного состава.

5-2. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНОГО АРМИРОВОЧНОГО СОСТАВА

Для приготовления армировочного состава желательно применять цемент Белгородского завода и песок с окатанными крошками. Использование крупнозернистого песка с неокатанными гранями может привести к повреждению поверхностного закаленного слоя стеклянного элемента и разрушению всего изолятора как во время армирования, так и во время эксплуатации. Подготовка цемента и песка, получение цементно-песчаного состава производится по схеме, представленной на рис. 5-1. Песок подвергается просеву через сито с ячейкой 4—6 мм и пропускается через сушильный барабан с повторным про-

севом. Цемент во избежание комкования и слеживания должен пропускаться через вибросито с 400 отв/см^2 . Подготовленные материалы, хранящиеся в расходных бункерах, подаются через дозатор в смесительный барабан и дальше в расходные ящики готовой сухой цементно-песчаной смеси. Сухая цементно-песчаная смесь состоит из трех весовых частей цемента и одной весовой части песка. Для получения хорошо усредненной смеси необходимо, чтобы смешивание материалов в барабане продолжалось не менее 7—10 мин.

Цементно-песчаный состав, состоящий из цементно-песчаной смеси и воды, готовится в лопастных смесителях. Доза сухой смеси подается в мешалку, заполненную водой при вращении лопастей винта. Размешивание смеси производится не менее 5 мин до получения однородного цементного раствора с влажностью 17—18% (от веса сухой смеси). Это соответствует водоцементному числу 0,27—0,3. Цементно-песчаный состав должен готовиться в таких количествах, чтобы весь объем приготовленного состава (связки) был бы использован в течение 15—20 мин. Состав цементно-песчаной смеси и влажность цементного раствора должны периодически подвергаться контролю. Необходимо следить, чтобы в цементно-песчаный состав при его изготовлении и использовании не попадали частицы уже схватившегося или затвердевшего цемента.

5-3. ПРИГОТОВЛЕНИЕ КОМПЕНСИРУЮЩИХ ПРОМАЗОК

Битум, поступающий на заводы в твердом состоянии, измельчается на куски размером не более 40 мм. Измельченный и взвешенный битум засыпается в бак с лопастной мешалкой, в которую предварительно заливается неэтелированный бензин. Соотношение битума и бензина по массе должно составлять 1:2. Приготовление раствора продолжается в течение 3—4 ч. В готовом виде плотность раствора битума в бензине должна соответствовать (по ареометру) $0,88 \text{ г/см}^3$. При загустевании раствора к нему добавляют бензин до восстановления плотности $0,88 \text{ г/см}^3$.

Клей ИКФ-130 поступает на изоляторные заводы в жидком состоянии в бидонах или бочках. В этом виде клей пригоден для использования без дополнительной обработки.

5-4. ПОДГОТОВКА АРМАТУРЫ И ИЗОЛЯЦИОННЫХ СТЕКЛЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ К АРМИРОВАНИЮ

На стальной стержень подвесного изолятора в местах соприкосновения его с цементно-песчаным составом наносится слой компенсирующей промазки. Покрытие стержней компенсирующей промазкой производится на специальных карусельных станках, в течение 1 мин до образования на поверхности стержней компенсирующего слоя толщиной 1—2 мм. Прозмазка на стержнях должна подсохнуть до прекращения ее прилипания к рукам. После этого на торец конической головки стержня наклеивается (на растворе битума или клея ИКФ) компенсирующая прокладка из пробкового листа, кирзы или других материалов.

Арматура опорных или опорно-штыревых изоляторов в местах соприкосновения с цементно-песчаной связкой также покрывается слоем битумного или другого лака.

На тарелку каждого стеклянного элемента подвесного изолятора надевается через головку резиновое кольцо толщиной 2—4 мм (в зависимости от типа изолятора). Кольца должны обеспечить необходимый зазор между тарелкой и шапкой изолятора. Затем на наружную поверхность головки изолятора наносится слой компенсирующей промазки до границ, указанных в чертеже. Толщина компенсирующего слоя должна составлять 1—1,5 мм. В тех случаях, когда это оговорено чертежом, на торцевую часть головки изолятора наклеивается компенсирующая прокладка.

Шапки подвесных изоляторов должны быть перед армированием высушены и очищены от грязи.

5-5. АРМИРОВАНИЕ ПОДВЕСНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ ТАРЕЛЬЧАТОГО ТИПА

Армирование подвесных изоляторов производится одновременным или раздельным способом. Технология армирования одновременным способом приведена на схеме рис. 5-2.

К рабочему месту подаются подготовленные для армирования стеклянные элементы, арматура и металлические вкладыши для центрирования стержней. Сюда же доставляется свежеприготовленный цементно-песчаный состав.

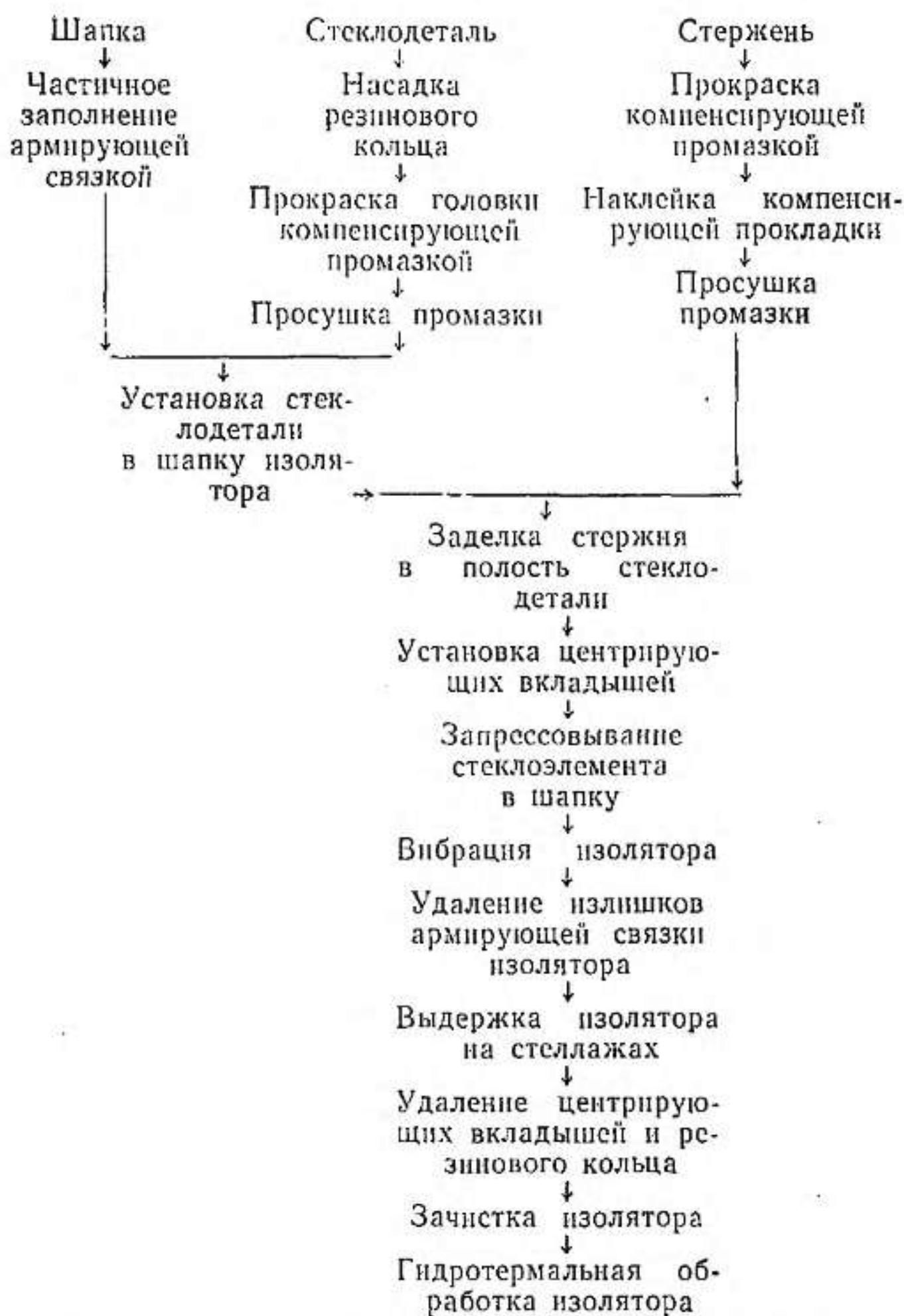


Рис. 5-2. Схема армирования подвесных изоляторов (одновременный способ).

В шапку изолятора вкладывается металлической лопаткой определенная порция цементно-песчаного состава ($1/3$ внутреннего объема шапки), который по возможности распределяют равномерно по дну и бортам шапки. Шапку с цементно-песчаным составом устанавливают головкой вниз в кольцо поворотного механизма армировочного станка (рис. 5-3).

Стеклянный элемент устанавливают в гнездо рабочего стола. Во внутреннюю полость головки стеклянного элемента вкладывают также определенную порцию цементного раствора, туда же вставляют стержень конусной головки вниз и вдавливают в цемент. Вокруг стержня устанавливают центрирующие его вкладыши.

Стеклянный элемент вместе со стержнем вставляют в шапку, находящуюся в кольце поворотного механизма армировочного станка.

Собранный из деталей изолятор подводится поворотным механизмом к патрону станка, и нажимом пуансона

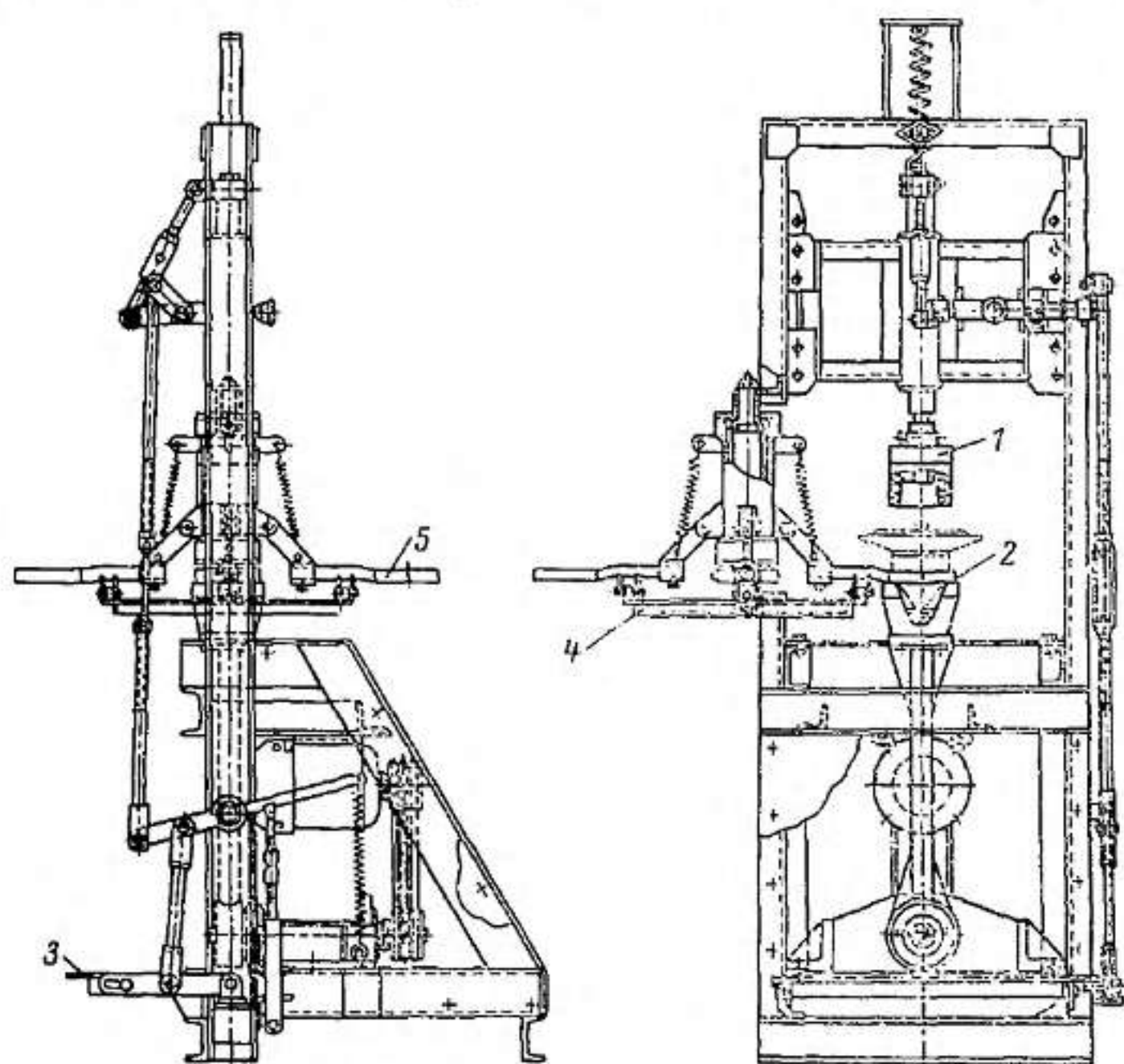


Рис. 5-3. Вибрационный станок для одновременного армирования подвесных изоляторов.

1 — пуансон; 2 — патрон; 3 — педаль, включающая вибратор и прижимающая пуансон; 4 — вращающийся стол; 5 — кольцо для установки изоляторов.

стеклянный элемент запрессовывается в шапку изолятора. При этом стержень с центрирующими вкладышами входит в выемку в пуансоне. Для лучшего заполнения цементно-песчаным раствором промежуточного простран-

ства между арматурой и стеклянным элементом изолятор подвергают на армировочном станке вибрации с одновременным прижатием стеклянного элемента пуансоном. Длительность вибрации составляет 6—8 сек при амплитуде колебаний вибратора 0,6—0,8 мм и частоте 2 500—3 000 колебаний в минуту — для изоляторов типа ПС30 и 1 500—2 000 колебаний в минуту — для изоляторов типа ПС6 и др.

После окончания вибрации с поверхности изолятора удаляют излишки армировочной связки. Затем изолятор шапкой вниз устанавливается на стеллажах до окончания схватывания цементной связки. Выдержка на стеллажах должна производиться при температуре 20—25 °С в течение 5—8 ч в зависимости от типа изоляторов. После выдержки вынимаются центрирующие вкладыши, удаляется резиновая прокладка и производится зачистка зазора между стеклянным элементом и шапкой.

Раздельный способ армирования отличается от одновременного тем, что на подготовленный ранее стеклянный элемент насаживается шапка с цементным раствором. Насадка производится на армировочном станке нажимом пуансона без вибрации. Изоляторы с насаженными шапками выдерживаются на стеллажах для схватывания цементного раствора в течение 4—5 ч. Дальнейшие операции закрепления стержня в изоляторе на армировочном станке, вибрация, выдерживание изолятора, очистка его от излишков цемента производятся так же, как и при одновременном армировании.

Раздельное армирование по сравнению с одновременным имеет ряд недостатков. Дополнительная выдержка изоляторов после насадки шапки на стеклянный элемент удлиняет технологический цикл и требует дополнительных производственных площадей.

Но процесс раздельного армирования позволяет добиться лучшей соосности всех элементов изолятора и лучшего товарного вида.

5-6. ГИДРОТЕРМАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА АРМИРОВАННЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

Для ускорения процесса твердения цементно-песчаного состава и придания изоляторам необходимой прочности после армирования их пропаривают в камерах при температуре 70 °С при 100%-ной влажности в течение

20 ч или выдерживают в течение 12—15 ч в ваннах с горячей водой при температуре 75 °С.

Заданные режимы гидротермальной обработки изоляторов регулируются автоматически.

Необходимо отметить, что время гидротермальной обработки армированных изоляторов выбирается таким образом, чтобы обеспечить достижение прочности цементно-песчаной связки, равное ее прочности при выдержке на открытом воздухе при температуре 20—25 °С в течение семи суток. Поэтому возможно выдерживание армированных изоляторов в условиях цеха без гидротермальной обработки или изменение ее режимов в зависимости от температуры и влажности окружающей среды. Так, итальянская фирма Fidenza Vetraria выдерживает армированные изоляторы на открытом воздухе в течение восьми суток. Изоляторы, армированные алюминатным цементом в специальной камере (влажная обработка), выдерживаются в течение двух суток. Охлажденные после гидротермальной обработки и прошедшие массовые электрические и механические испытания подвесные изоляторы подвергаются операции защиты цементно-песчаного состава у стержня гидрофобным покрытием (битумный лак, клей БФ и др.).

5-7. АРМИРОВАНИЕ ОПОРНЫХ И ОПОРНО-ШТЫРЕВЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

Опорные и опорно-штыревые изоляторы армируются колпаками, штырями и фланцами одновременным способом без вибрации на стационарных устройствах (кондукторах), обеспечивающих строгую соосность всех деталей изолятора и параллельность опорных плоскостей. При армировании этих типов изоляторов, так же как у подвесных, применяются компенсирующие прокладки и промазки. Достижение необходимой прочности цементно-песчаной связки у опорных и опорно-штыревых изоляторов производится без гидротермальной обработки в атмосфере цеха или на открытом воздухе.

5-8. МЕХАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА АРМИРОВАНИЯ

Описанная выше технология армирования не может считаться совершенной. Она содержит значительное число трудоемких ручных операций, производится на мало-

производительном оборудовании и не обеспечивает получение однородных по своим характеристикам изоляторов.

Поэтому в последнее время были разработаны и внедрены механизированные линии армирования, позволяющие в значительной степени устранить недостатки, свойственные описанной технологии.

В составе механизированных линий лежит обычный метод виброармирования. Однако преимущество таких линий заключается в создании единого технологического

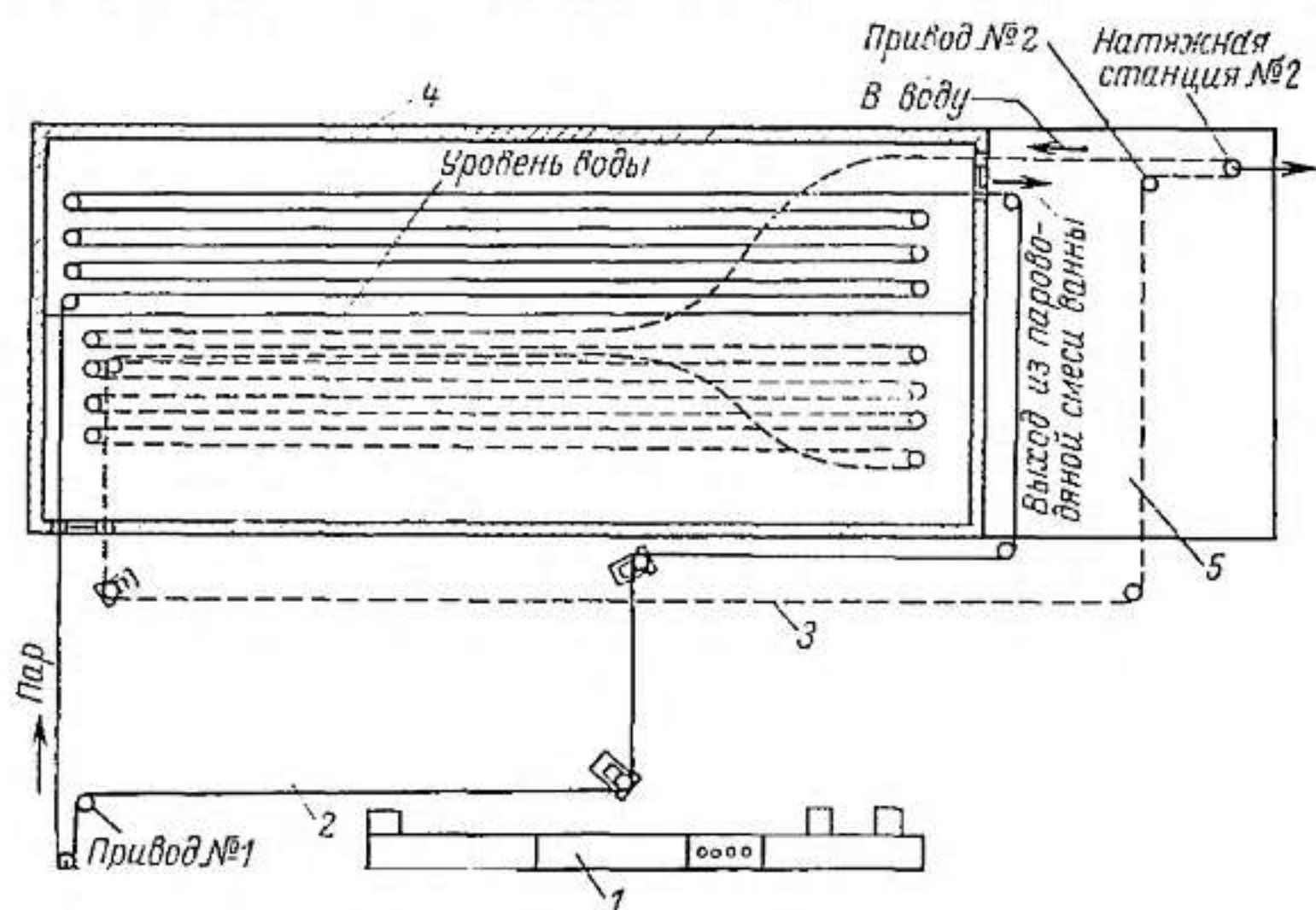


Рис. 5-4. Схема механизированной линии гидротермальной обработки подвесных изоляторов.

1 — линия армирования; 2 — конвейер паровой обработки; 3 — конвейер водной обработки; 4 — ванна гидротермальной обработки; 5 — площадка перестановки изоляторов с одного конвейера на другой (одновременный съем резинового кольца).

потока с заданным ритмом, обеспечивающим автоматизацию выдержки изоляторов во время вибрации, стабилизацию усилий на прижимном пуансоне и возможность включения в технологическую схему установки для промывки поверхности изолятора с целью удаления излишков армировочной связки.

На Львовском заводе стеклянных изоляторов работает установка для термообработки заармированных изо-

ляторов (рис. 5-4). Установка представляет собой двух-этажную камеру, у которой нижняя часть — ванна, заполненная водой с температурой 70°C , а верхняя часть заполнена паровоздушной смесью. Внутри камеры смонтирован подвесной конвейер, верхний ярус которого проходит по второму этажу камеры, а нижний — по первому.

Армированный изолятор, очищенный от остатков армировочной связки, вместе с центрирующими приспособлениями устанавливается в гнездо подвески движущегося конвейера. Конвейер последовательно, проходит через воздушную среду, паровоздушную смесь (предварительное схватывание связки), опускается в воду, а оттуда через паровоздушную смесь — на разгрузочную площадку. Предварительное схватывание продолжается около 2,5 ч, выдержка в горячей воде около 8 ч. Конвейерная установка для гидротермальной обработки позволяет резко сократить производственные площадки, необходимые для организации технологического процесса термообработки заармированных изоляторов и объединить операции предварительного и окончательного твердения армирующей связки.

Хотя механизированные линии значительно улучшили качество армирования, но их конструкция не решила до конца таких проблем, как автоматическую дозировку цементно-песчаной смеси в шалку и в полость изолятора, сборку всех узлов изолятора и механизированную подачу изоляторов с операции на операцию.

5-9. ДЕФЕКТЫ АРМИРОВАНИЯ

К наиболее часто встречающимся дефектам армирования можно отнести следующие:

а) плохое заполнение полости шапки цементно-песчаным составом; раковины и пустоты в цементном камне. Этот дефект может быть вызван изменением рецепта цементно-песчаной смеси, несоблюдением водоцементного числа, а главное, нарушением режима вибрации. Наличие этого вида дефектов приводит, как правило, к снижению механической прочности изолятора и его повреждению при заводских испытаниях или во время эксплуатации.

Этот дефект в готовом изоляторе плохо поддается контролю, поэтому для его устранения необходимо строго соблюдать заданные режимы приготовления армирующей связки и процесса армирования;

б) отсутствие соосности элементов изолятора; стержня; стеклянного элемента, шапки. Этот вид дефектов вызывается слабым прижимом пуансона во время вибрации изолятора, неаккуратным снятием изолятора с армировочного станка и установкой его на стеллаж для предварительного схватывания связки, а также износом центрирующих вкладышей. Дефекты вызывают дополнительные изгибающие усилия в стеклянном элементе изолятора, которые со временем могут привести к преждевременному разрушению изолятора.

Описанные виды дефектов предотвращаются соблюдением рабочей инструкции армирования и своевременным контролем, а также заменой износившейся оснастки (центрирующие вкладыши, стеллажи);

в) нарушение уровня заделки стержня приводит к неравномерному распределению нагрузок на стеклянный элемент изолятора и его преждевременному повреждению. Этот вид дефектов предотвращается строгой дозировкой армировочного состава в полость изолятора или другим способом, обеспечивающим уровень заделки стержня в соответствии с чертежом;

г) растрескивание армировочной связки. Вызывается нарушением режимов гидротермальной обработки (пропарки), когда влажность паровоздушной среды ниже 80% и сокращено время пропарки. Этот дефект резко снижает механическую прочность цементно-песчаной связки и может привести к разрушению изолятора при пониженных механических нагрузках;

д) незначительное проворачивание стержня вместе с цементно-песчаной связкой. Можно предположить, что этот дефект вызывается применением усадочных цементов. Особого изменения механической прочности изоляторов, обладающих подобным недостатком, установить не удалось.

К прочим дефектам армирования относятся: плохое нанесение компенсирующих промазок и неправильная установка компенсирующих прокладок, недостаточная очистка поверхности изолятора от потоков армирующей связки.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СТЕКЛЯННЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

6-1. НАЗНАЧЕНИЕ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗОЛЯТОРОВ

Виды и методы контроля качества стеклянных изоляторов в основном те же, что и фарфоровых изоляторов, так как назначение и требования к тем и другим идентичны, за исключением некоторых испытаний, являющихся специфичными для стеклянных изоляторов.

Виды контроля качества и методы испытаний стеклянных подвесных линейных изоляторов изложены в ГОСТ 14197-69 и соответствуют рекомендациям МЭК (публикация МЭК № 274 «Испытания изоляторов из керамического материала или стекла, предназначенных для линий с номинальным напряжением выше 1 000 в»). Виды и методы испытаний опорных и штыревых изоляторов изложены в технических условиях на эти изоляторы.

Контроль качества стеклянных изоляторов производится перед выпуском готовых изоляторов с производства. При разработке новых или при необходимости полной проверки действующих конструкций изоляторы обычно подвергают типовым испытаниям.

К типовым испытаниям относятся:

а) определение пробивного напряжения, т. е. напряжения на изоляторе, при котором происходит полное или местное разрушение изоляции;

б) определение сухоразрядного напряжения промышленной частоты, при которых происходит искровое перекрытие изолятора по его сухой поверхности;

в) определение мокроразрядного напряжения промышленной частоты, при котором происходит искровое перекрытие изолятора, находящегося под дождем определенной силы;

д) определение 50%-ного импульсного разрядного напряжения положительной или отрицательной полярности, т. е. импульсного напряжения, которое вызывает перекрытие изолятора при стандартной полной или срезанной волне, при половине всего числа приложенных импульсов; стандартная волна при испытаниях импульсным напряжением — волна, близкая к импульсам грозových

перенапряжений, имеет длину 40 мксек и длину фронта 1,5 мксек ($\pm 1,5/40$);

е) определение электромеханической разрушающей нагрузки, т. е. механической нагрузки, прилагаемой к подвесному изолятору одновременно с напряжением, которая вызывает пробой или разрушение изолятора;

ж) определение влагоразрядного 50%-ного напряжения загрязненного изолятора, т. е. напряжения при 50 гц, подаваемого плавно или толчками на загрязненный и увлажненный изолятор, при котором происходит его перекрытие;

з) определение вольт-секундной характеристики изолятора, т. е. зависимости амплитуды разрядного напряжения от времени разряда;

и) напряжения уровня радиопомех для стеклянных подвесных изоляторов, получаемого при приложении к испытуемому изолятору, напряжения, соответствующего возникновению тока помех 15 ± 5 мка (при испытательной схеме по ГОСТ 14197-60);

к) определение механической прочности остатка стекла в шапке после разрушения тарелки подвесного изолятора, т. е. механической испытательной нагрузки, которая вызывает полное разрушение остатка стекла в шапке изолятора.

6-2. ВИДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗОЛЯТОРОВ

Стеклянные изоляторы подвергаются при выпуске из производства приемо-сдаточным испытаниям, включающим в себе сплошной и выборочный контроль.

К сплошному контролю стеклянных изоляторов относятся: проверка размеров, качества поверхности и внутренних дефектов в стекле и в арматуре, испытание каждого изолятора одномоментной испытательной нагрузкой и испытание воздействием на изолятор непрерывного потока искр.

Выборочный контроль состоит в том, что из партии изоляторов, изготовленных в одних и тех же технологических условиях отбирается определенное количество образцов (не менее 0,5%), которые и подвергаются различным видам испытаний.

К выборочному контролю подвесных изоляторов относятся: проверка размеров, приложение одночасовой механической нагрузки, определение величины разрушающей механической нагрузки, величины пробивного на-

пряжения, механической прочности остатка стекла в шапке после разрушения тарелки изолятора, а также проверка термостойкости, качества армирования и оцинковки арматуры изоляторов. Кроме приемочного контроля стеклянные изоляторы подвергаются периодическим и типовым испытаниям.

Периодические испытания должны производиться периодически, согласно установленным стандартами и техническими условиями — срокам.

Задачей типовых испытаний является всестороннее исследование всех характеристик отобранных из данной партии изоляторов. Типовые испытания проводят при изменении основных конструктивных элементов, применяемых материалов, сырья или технологических процессов.

При разработке новых конструкций стеклянных изоляторов проводятся исследовательские испытания, включающие в себя все виды типовых испытаний, а также необходимые дополнительные исследования.

6-3. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ СТЕКЛЯННЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

Проверка размеров и внешнего вида

Форма и размеры изоляторов проверяются шаблонами, калибрами, масштабными линейками и другим мерительным инструментом.

Внешний вид, наличие поверхностных дефектов, инородных включений проверяется осмотром.

Прозрачность стекла проверяется осмотром невооруженным глазом, а качество термообработки отожженных изоляторов — полярископом.

Механические испытания

Для производства механических испытаний подвесных изоляторов применяется горизонтальная разрывная машина, схематически изображенная на рис. 6-1, на которой возможно одновременно испытывать несколько десятков изоляторов.

Подвесные изоляторы обычно собираются в гирлянды, которые укрепляются в каретке 6 и держателе 7.

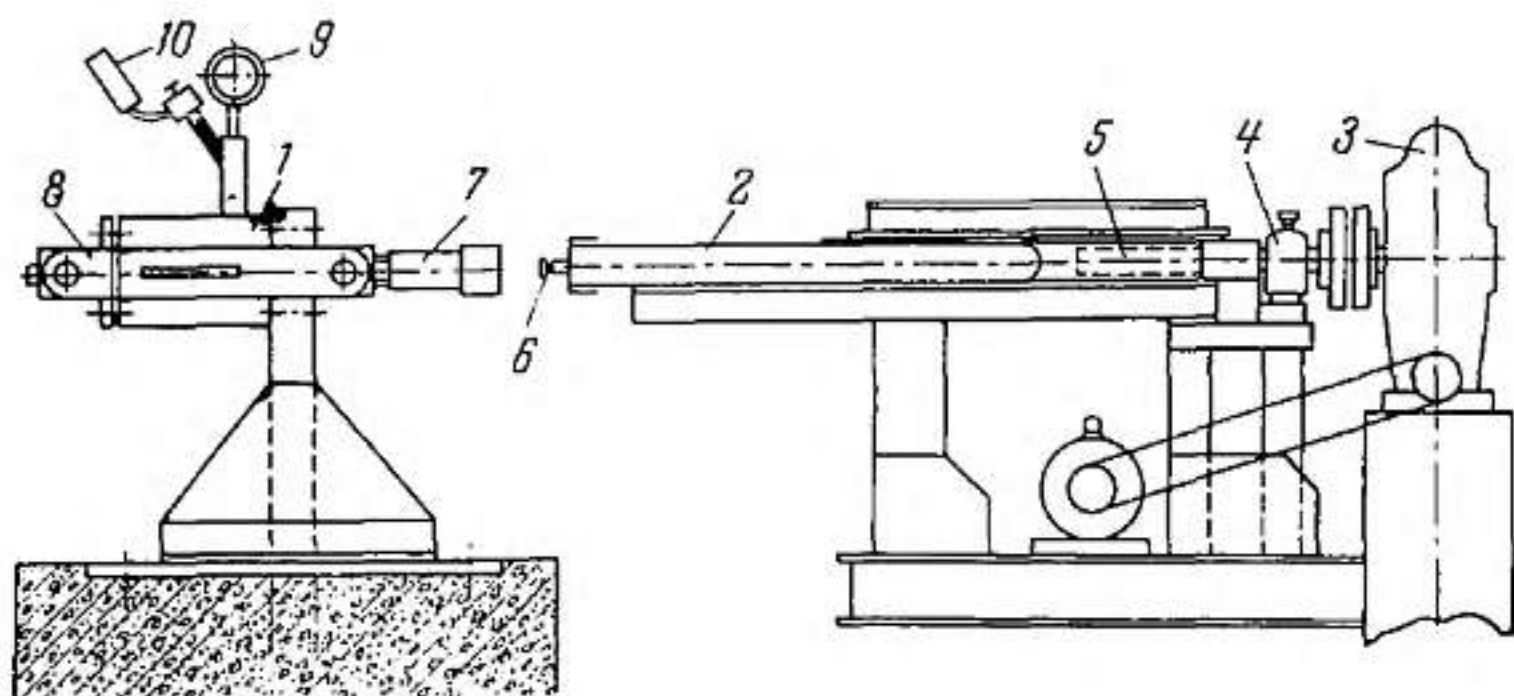


Рис. 6-1. Горизонтальная разрывная машина.

1 — гидравлический цилиндр; 2 — каретка; 3 — червячный редуктор; 4 — подшипник; 5 — тяговый винт; 6 — стержень каретки; 7 — держатель; 8 — поршень; 9 — манометр; 10 — горловина.

Растягивающее усилие передается к гирлянде посредством мотора с червячным редуктором 3 через тяговый винт 5.

Нагрузка прикладывается при плавном подъеме до испытательной, после чего эта нагрузка выдерживается 1 мин.

Изоляторы отбраковываются или по полному видимому разрушению, или при заметных смещениях деталей.

Испытание подвесных изоляторов на указанной машине недостаточно производительно, так как установка и разборка гирлянды представляют собой трудоемкие операции. ЮУАИЗ разработано поворотное устройство, связанное с механизмом разрывной машины, благодаря которому значительно повысилась производительность труда на этой операции.

Испытание одиночных подвесных и стержневых фиксаторных изоляторов на разрыв может производиться на обычной вертикальной испытательной машине.

Испытания потоком искр

После механических испытаний выдержавшие эти испытания подвесные изоляторы поступают на электрические испытания. При этом к каждому изолятору прикладывается напряжение, при котором поверхность изолятора перекрывается потоком искр.

Испытания потоком искр, не переходящих в дугу, производятся при приложении к изоляторам в течение 4 мин напряжения частотой 50 гц.

Напряжение подводится к стержню и шапке подвесного изолятора.

Электрические испытания подвесных и штыревых изоляторов в основном производятся на конвейерных установках. Испытательная конвейерная установка (рис. 6-2)

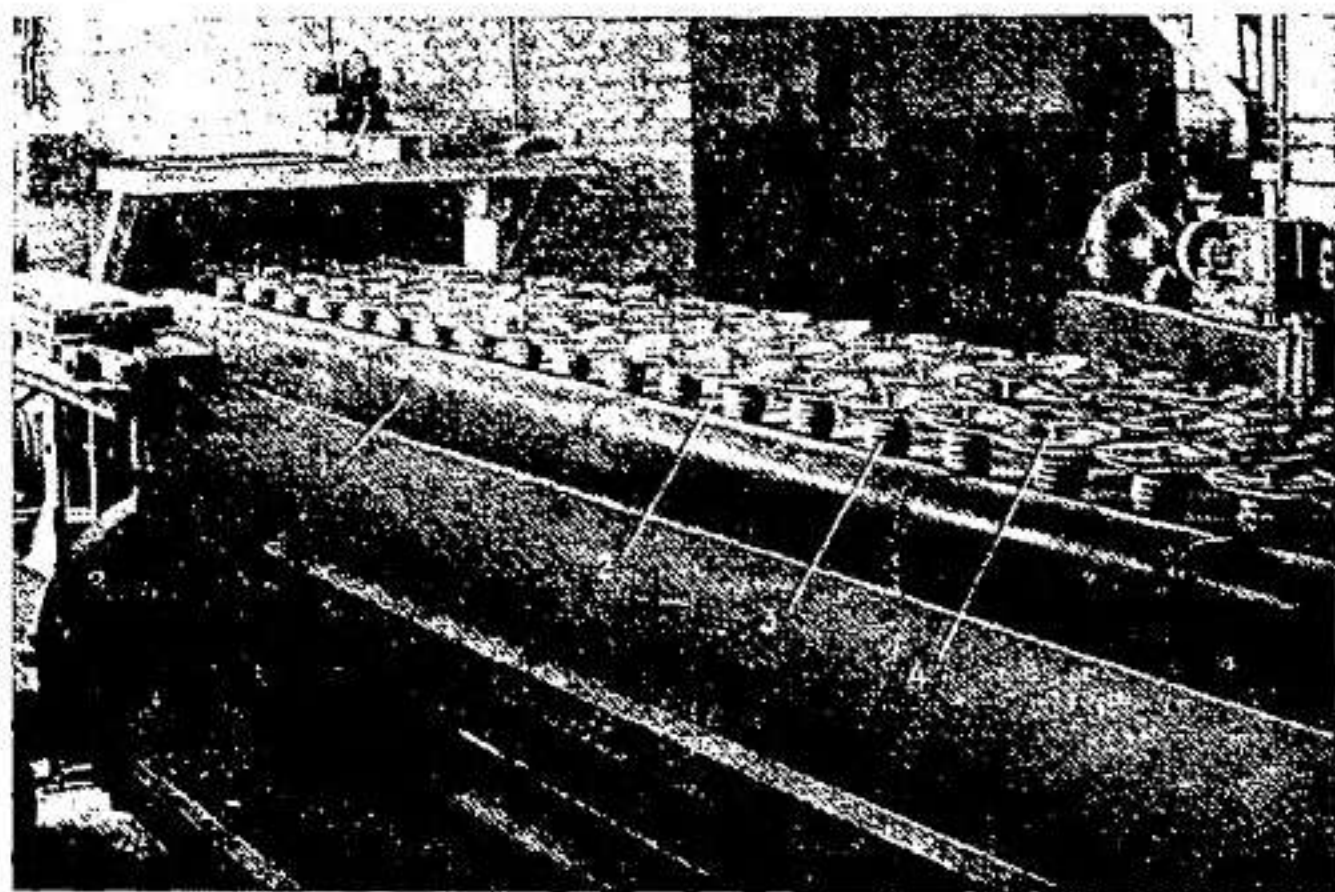


Рис. 6-2. Общий вид конвейера массовых электрических испытаний подвесных изоляторов.

1 — цепь галля; 2 — стальные планки; 3 — гнезда; 4 — изоляторы.

для подвесных изоляторов представляет собой непрерывную ленту из двух параллельно расположенных многозвенных цепей, между которыми расположены металлические планки, на которых установлены металлические подставки гнезда.

Эти подставки и все металлические части конвейера соединяются с заземленным выводом испытательного трансформатора. Высокий потенциал подводится от второго вывода трансформатора к электроду — круглому стержню, подвешенному над изоляторами.

От этого электрода к каждому изолятору подводится гибкий металлический проводник. Последний присоединяется к изолятору через воздушный искровой промежуток l длиной 10—12 мм. Электрическая схема установки для электрических испытаний изображена на рис. 6-3.

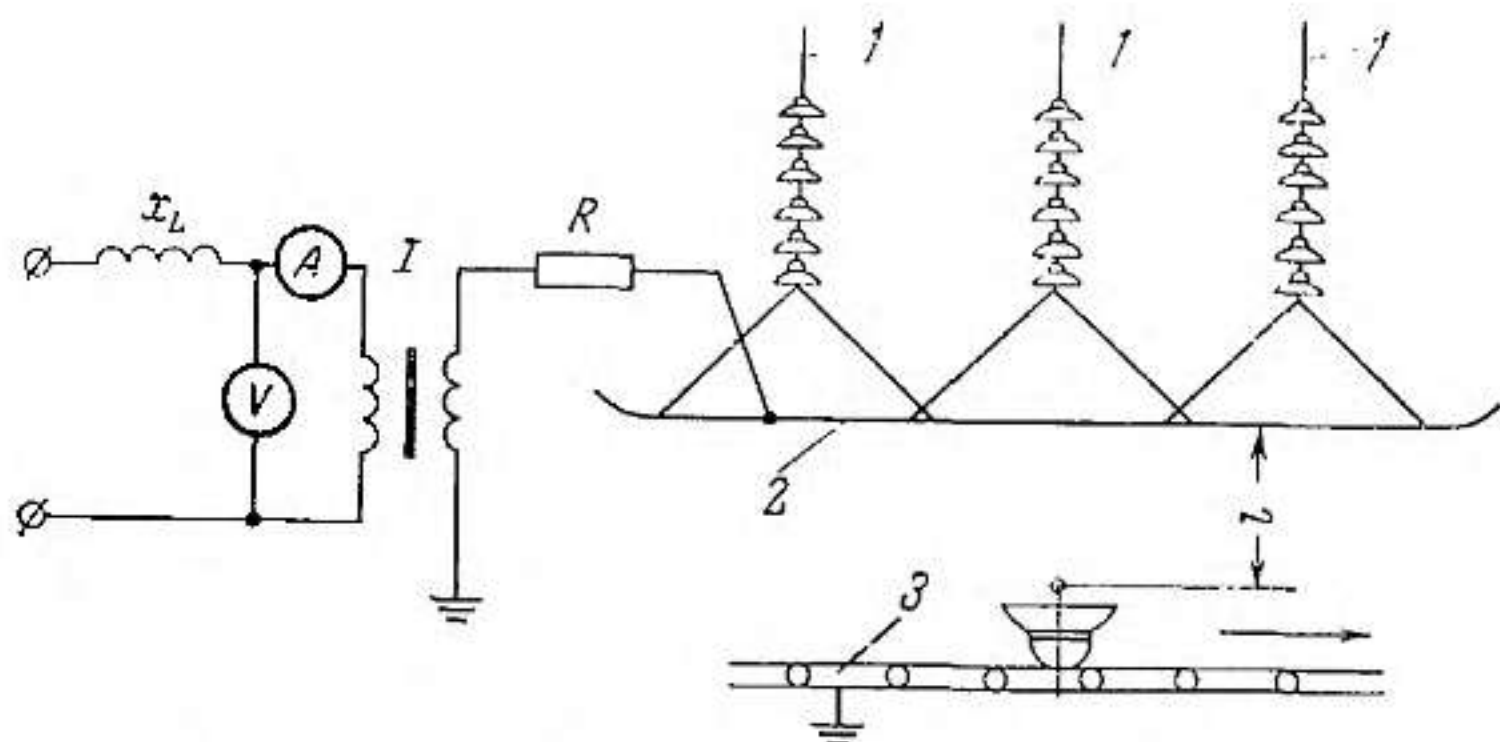


Рис. 6-3. Электрическая схема испытаний подвесных изоляторов потоком искр.

1 — натяжные тросы; 2 — электрод; 3 — конвейер.

Для электрических испытаний изоляторов конвейер передвигается в закрытое, изолированное помещение, где к изоляторам подается высокое напряжение до появления потока искр по поверхности изоляторов.

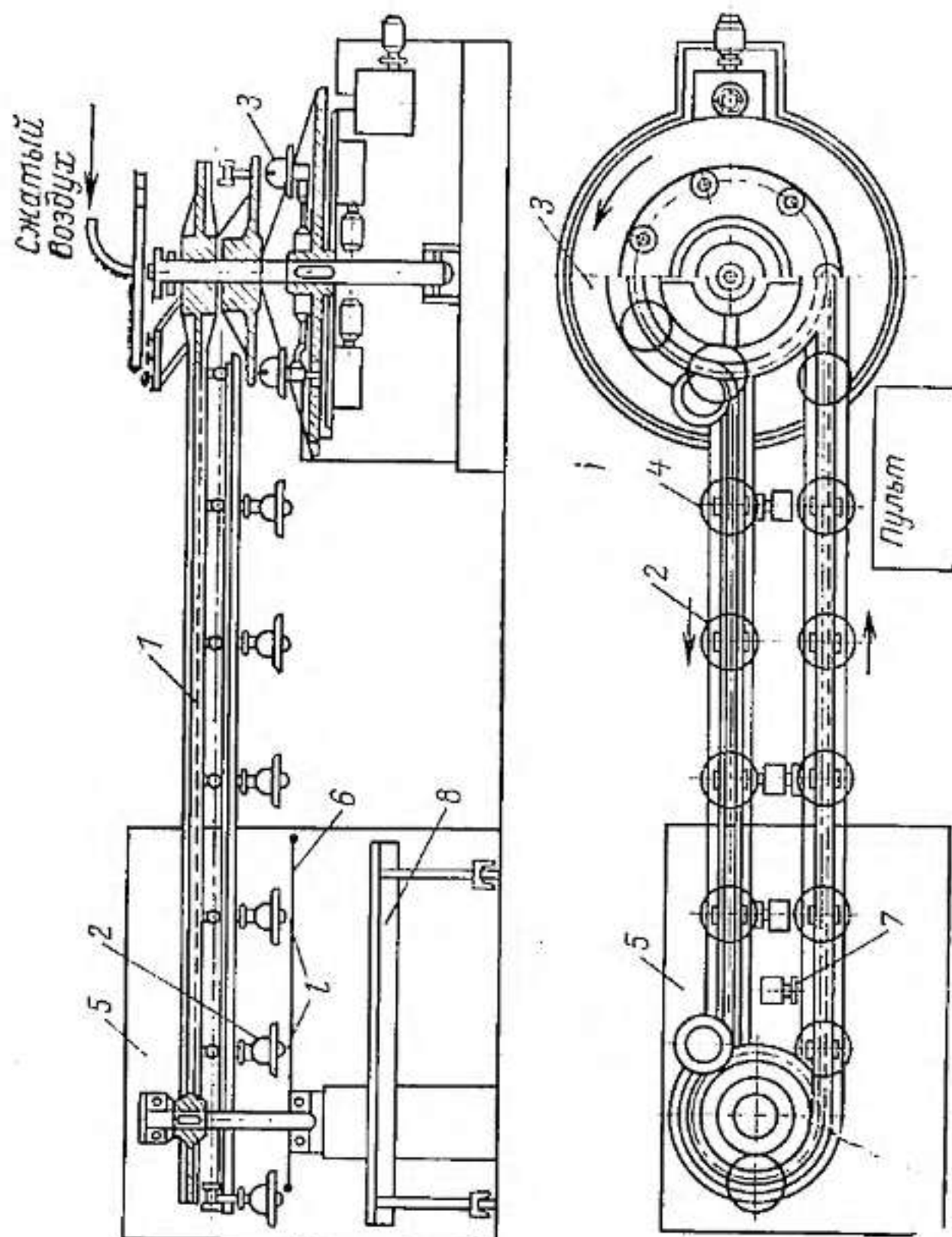
Применение конвейера для электрических испытаний изоляторов значительно увеличивает производительность труда на этих испытаниях. Однако операции по перестановке подвесных изоляторов с машины для механических испытаний на конвейер и по удалению пробитых изоляторов из испытательной камеры являются достаточно трудоемкими.

В целях автоматизации этих операций разработана автоматическая установка для массовых электрических и механических испытаний подвесных изоляторов до 6 000 кгс механической нагрузки*. Схема установки для непрерывных массовых испытаний подвесных изоляторов представлена на рис. 6-4. Она представляет собой бесконечный цепной конвейер, несущий подвесные изоляторы к роторному устройству для механических испытаний на разрыв, а затем изоляторы передаются в камеру для электрических испытаний. Изоляторы, не выдержавшие испытания, удаляются автоматически, также автоматиче-

* «Установка для испытания подвесных изоляторов» А. С. № 231189 (СССР) от 2/IX 1968 (Н. Н. Шерлаимов, Б. И. Гайдаш, В. Н. Глущенко, Г. А. Трушкин, П. К. Купливацкий, Б. А. Телеус). Оpubл. в бюлл. «Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки», 1968, № 35.

Рис. 6-4. Установка для непрерывных массовых механических и электрических испытаний подвесных изоляторов.

1 — цепной конвейер; 2 — подвески с изоляторами; 3 — устройство для механических испытаний; 4 — пневматический стеллаж поврежденных изоляторов; 5 — камера для электрических испытаний; 6 — токоведущая шина; 7 — воздушный искровой промежуток; 8 — емкость для пробитых изоляторов; 9 — емкость для приема годных изоляторов.



ски происходит и сталкивание в специальную емкость годных изоляторов.

Для испытания штыревых (неармированных) стеклянных изоляторов воздействием непрерывного потока искр изоляторы устанавливаются свободно на стальной штырь, укрепленный на испытательном стенде или на конвейере.

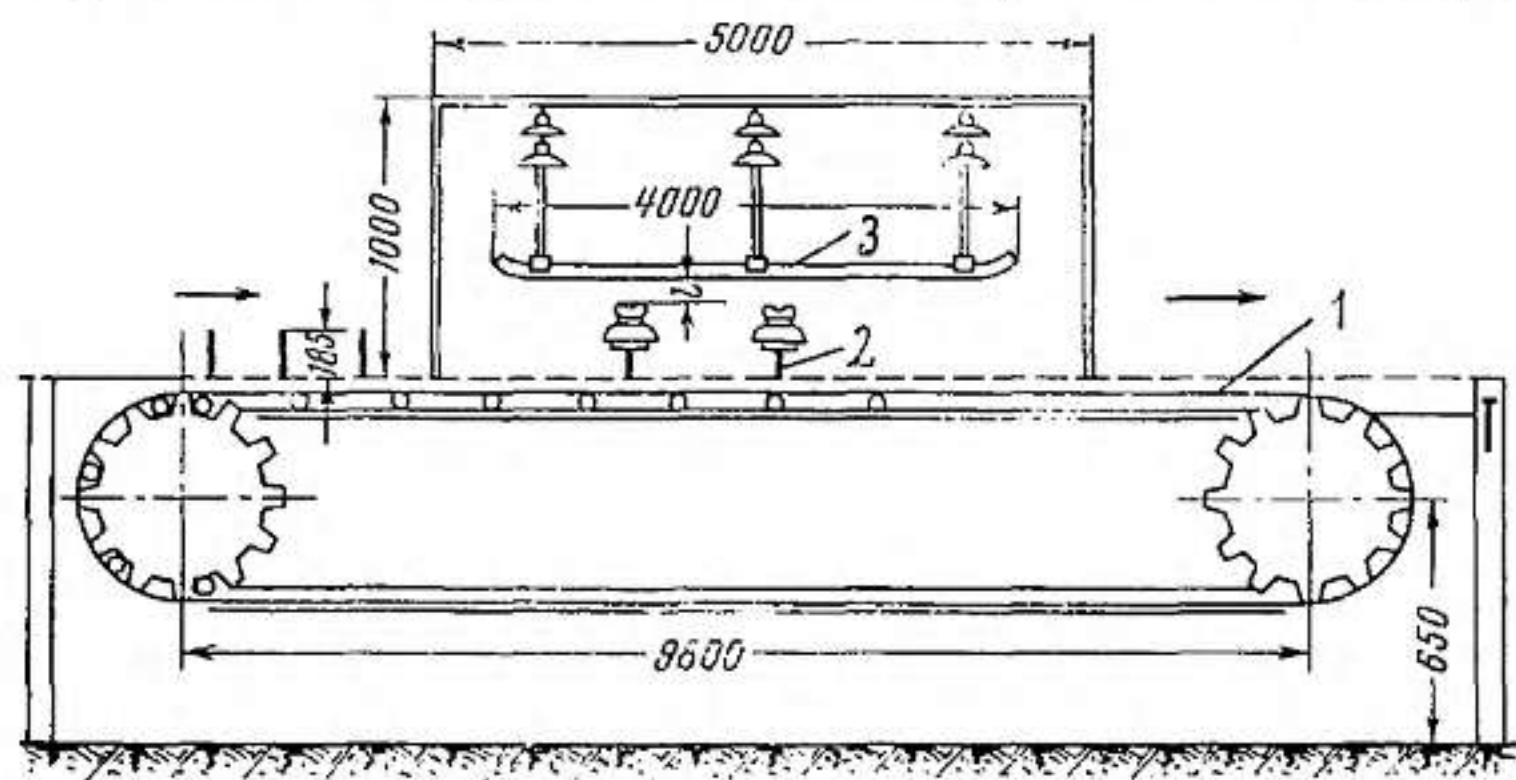


Рис. 6-5. Конвейер для электрических испытаний штыревых изоляторов на напряжение 6—10 кВ.

1 — конвейерная лента; 2 — штыри с изоляторами; 3 — электрод; / — воздушный промежуток.

Опорно-штыревые армированные изоляторы устанавливаются штырем на испытательный стенд или конвейер, напряжение подается через воздушный (искровой) промежуток к шейке изолятора (рис. 6-5). Испытательная установка должна обеспечивать искровую, а не дуговую форму разряда.

Испытания на термостойкость

Испытание на термостойкость, являющейся одной из важных характеристик стеклянных изоляторов, производится в разных странах по различной методике.

По методике, принятой в Англии, подвесной изолятор испытывается на термостойкость при перепаде 70°C согласно рекомендации МЭК 87.

В Советском Союзе изоляторы подвергаются пятикратному нагреванию и охлаждению при перепаде температуры в 70°C . Длительность выдержки при нагреве и охлаждении $\tau = 15 - 0,7 P$, мин (P — масса изолятора, кг).

Испытания на термомеханическую прочность

Изоляторы помещаются в специальной камере (рис. 6-6), в которой может создаваться температура -60°C (например, при помощи сухого льда или жидкого азота), а затем температура $+50^{\circ}\text{C}$ (например, электрическим подогревателем). Изменение температуры должно быть плавное.

Гирлянда подвесных изоляторов и стержневые изоляторы находятся в камере в натянутом состоянии, а ка-

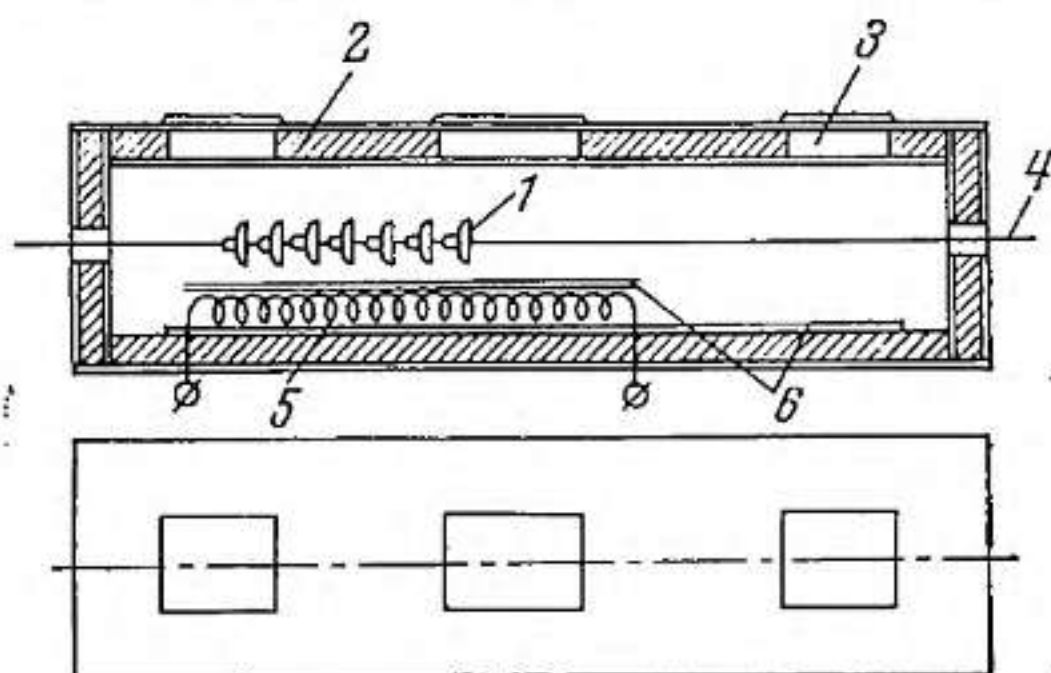


Рис. 6-6. Камера для термомеханических испытаний подвесных стеклянных изоляторов.

1 — гирлянда изоляторов; 2 — тепловая изоляция; 3 — люк; 4 — штанга; 5 — нагревательная спираль; 6 — асбестовая прокладка.

мера устанавливается на разрывной машине таким образом, чтобы изоляторы были во все время испытаний под растягивающей нагрузкой, равной 50% электромеханической нагрузки. Штыревые и опорно-штыревые изоляторы крепятся к машине штырями, а нагрузка прикладывается к головке изолятора.

Всего проводится три цикла испытаний. После каждого цикла к изоляторам прилагается переменное напряжение 60—70 кв.

После трех циклов испытаний определяются величина электромеханической разрушающей нагрузки подвесных и стержневых изоляторов и минимальная разрушающая нагрузка штыревых и опорно-штыревых изоляторов.

Испытания подвесных изоляторов на одно- и 24-часовые механические нагрузки

Для проведения испытаний на одночасовую и 24-часовую механическую нагрузку подвесные изоляторы собираются в гирлянды. Испытательная машина (рис. 6-7)

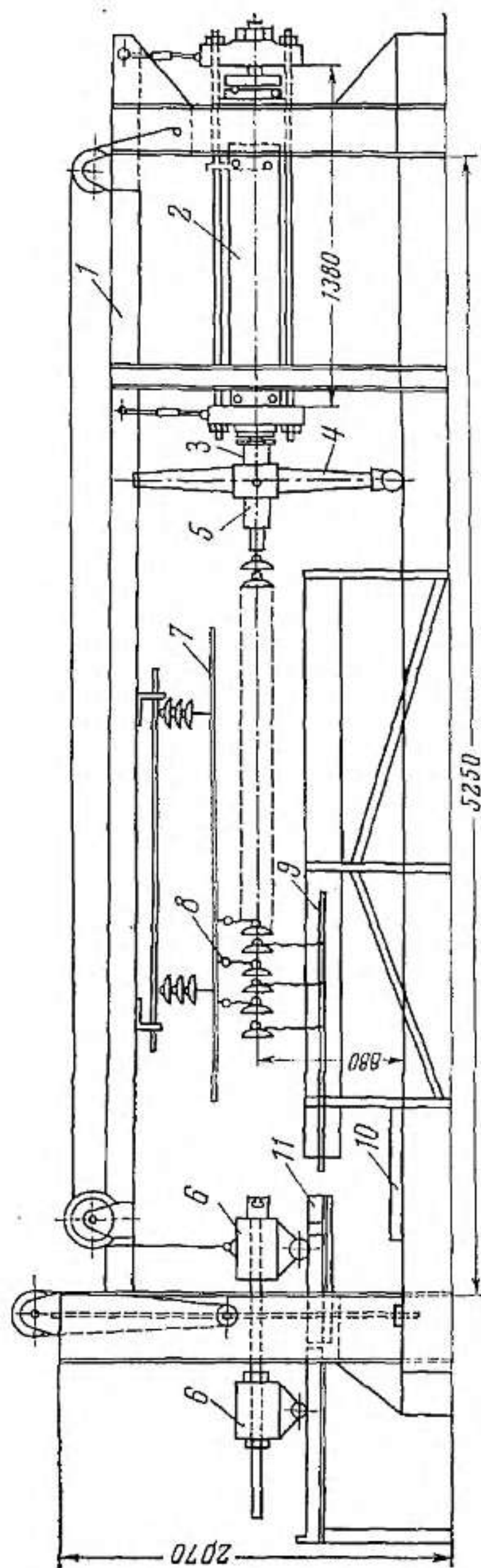


Рис. 6-7. Машина для электромеханических испытаний подвесных изоляторов.

1 — рама; 2 — цилиндр; 3 — шток; 4 — ползун; 5 — ползун; 6 — хобот; 7 — электрод; 8 — искровой промежуток; 9 — шина; 10 — плита; 11 — стол.

для механических испытаний представляет собой обычную машину горизонтального типа для испытания на разрыв длинных стержней. Целью одночасовых механических испытаний является проверка механической прочности при кратковременной нагрузке.

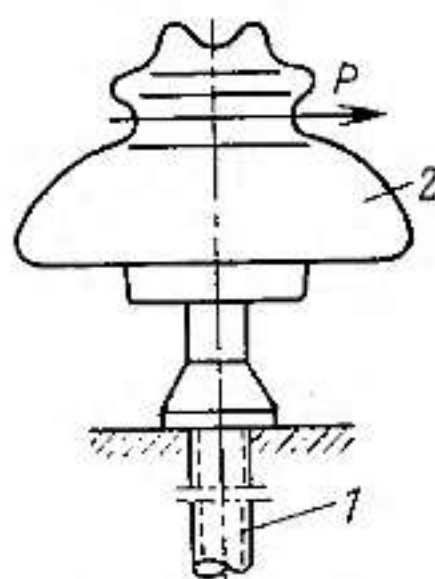
Целью же испытаний подвесных изоляторов 24-часовой механической нагрузкой является проверка механической прочности изоляторов при длительной механической нагрузке величиной, составляющей 80% одночасовой электромеханической и 60% электромеханической разрушающей нагрузки.

Определение разрушающей нагрузки стеклянных изоляторов

Штыревые, опорно-штыревые, стеклянные и стержневые опорные стеклофарфоровые изоляторы испытываются на изгиб. Для этого штыревой изолятор крепят на стальном штыре, размеры которого зависят от типа изолятора и указываются в стандартах и технических условиях (рис. 6-8). Опорные изоляторы крепятся фланцами к плите машины. Нагрузка прикладывается к головке изолятора или к верхнему фланцу опорного изолятора перпендикулярно к его оси и плавно повышается до разрушения изолятора. Диаметр троса, применяемого для приложения нагрузки к штыревому изолятору, должен соответствовать наибольшему диаметру провода, для которого предназначен изолятор.

Рис. 6-8. Крепление штыревых стеклянных изоляторов типа ШСС-10 при механических испытаниях.

1 — оправка; 2 — изолятор;
P — прилагаемая нагрузка.



Для определения величины минимальной разрушающей нагрузки подвесные изоляторы устанавливаются так же, как и при механических одночасовых испытаниях (в горизонтальном положении), но нагрузка доводится до разрушения.

Подъем нагрузки производится плавно до нормируемой величины для изолятора данного класса. После этого нагрузку выдерживают 1 мин, а затем повышают до полного разрушения остатка стекла в шапке изолятора.

Определение пробивного напряжения изоляторов

Для определения пробивного напряжения армированные изоляторы погружаются в фарфоровый сосуд с трансформаторным маслом, имеющим электрическую прочность не ниже 20 кВ/2,54 мм в стандартном разряднике (рис. 6-9).

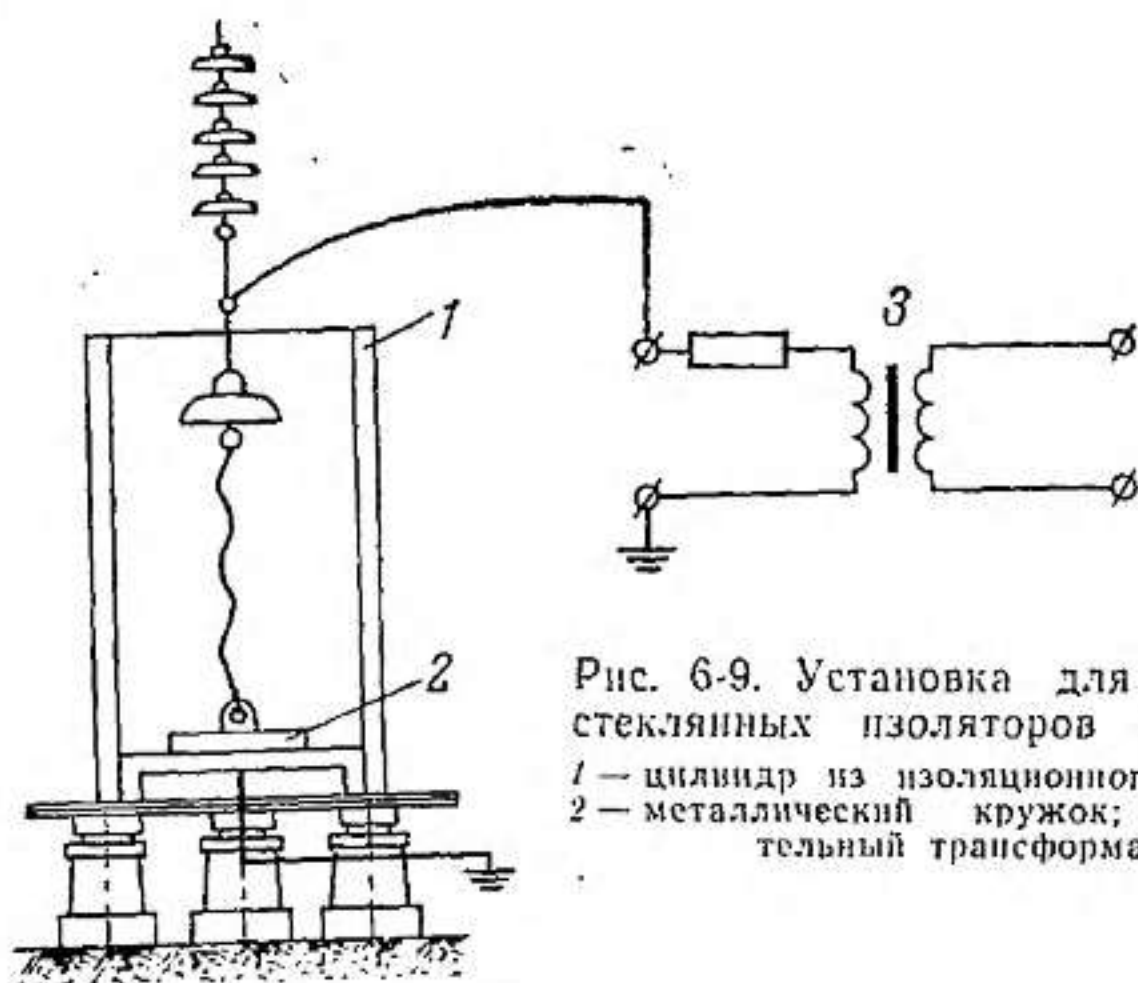


Рис. 6-9. Установка для испытания стеклянных изоляторов на пробой.
1 — цилиндр из изоляционного материала;
2 — металлический кружок; 3 — испытательный трансформатор.

При испытании изоляторов на пробой подвесные изоляторы погружают в сосуд стержнем вниз, а штыревые — головкой вверх, и надетыми на металлические штыри. Последние служат одним из электродов штыревого изолятора. Другим электродом служит голый провод, закрепленный на головке штыревого изолятора.

Определение выдерживаемого напряжения в сухом состоянии

Определение величины выдерживаемого напряжения подвесных изоляторов в сухом состоянии производится на гирляндах этих изоляторов.

Перед испытанием изоляторы должны быть насухо вытерты, поверхность их очищена от грязи, пыли и т. п.

Гирлянда подвешивается вертикально, при этом расстояние от стен должно быть не меньше 2 м, провод, к которому подводится напряжение, укрепляется посредством соответствующей арматуры к нижнему изолятору и должен отстоять от пола потолка и от заземленных предметов на расстоянии, не меньше двойной длины гирлянды, но не менее 3 м.

Кривая подаваемого для испытания напряжения должна иметь синусоидальную форму, допускается искажение не более 5%. Измерение подаваемого напряжения производится по вольтметру цепи низкого напряжения трансформатора.

Получаемые результаты испытаний должны быть приведены к нормальным атмосферным условиям (барометрическое давление 760 мм рт. ст., температура воздуха +20°C, абсолютная влажность воздуха 11 г/м³).

Формула для приведения к нормальным атмосферным условиям

$$U_{с.н} = U_{с.н. исп} \frac{1 + 0,01k}{\delta}, \text{ кв}, \quad (6-1)$$

где $U_{с.н. исп}$ — сухоразрядное напряжение, измеренное во время испытаний, кв; k — поправочный коэффициент на влажность воздуха согласно ГОСТ 6490-67; δ — относительная плотность воздуха во время испытаний и вычисленная по формуле

$$\delta = \frac{p(273 + 20)}{760(273 + t)}; \quad (6-2)$$

p — атмосферное давление, мм рт. ст.; t — температура окружающего воздуха, °C.

Определение выдерживаемого напряжения под дождем

Для определения величины выдерживаемого напряжения подвесных изоляторов под дождем гирлянда должна устанавливаться в таких же условиях, как и для испытаний в сухом состоянии.

Дождь капельной структуры направляется на гирлянду под углом 45° из специальной дождевальной установки.

Сила дождя — 3 мм в 1 мин, измеряется с помощью специального сосуда. Высота установки определяется длиной гирлянды.

Формула для измерения силы дождя

$$F = \frac{V \cdot 10}{S \tau}, \quad (6-3)$$

где F — сила дождя, мм/мин; V — объем воды в сосуде за время τ мин, см³; S — площадь отверстия сосуда, см².

Вода для испытаний применяется с удельным объемным сопротивлением 9 500—10 500 ом·см при $\pm 20^\circ\text{C}$.

При изменении температуры вносится поправка по кривой согласно ГОСТ 1516-68.

До начала испытаний гирлянда должна смачиваться дождем в течение 5 мин и находиться под напряжением, равным половине мокроразрядного напряжения.

Для приведения к нормальным атмосферным условиям пользуются формулой

$$U_{\text{м.н}} = \frac{U_{\text{м.н.исп}}}{0.5 \left(1 + \frac{p_{\text{в}}}{760} \right)}, \quad \text{кв}, \quad (6-4)$$

где $U_{\text{м.н.исп}}$ — мокроразрядное напряжение (кв), измеренное при испытании (при давлении $p_{\text{в}}$, мм рт. ст.).

Для определения среднего значения выдерживаемых разрядных напряжений производят шесть испытаний.

Сопротивление всей цепи при испытаниях под дождем должно быть не более 2 ом на 1 в предполагаемого мокроразрядного напряжения.

Испытания подвесных стеклянных изоляторов 20 разрядами при 50 гц и импульсами

Для проведения электрических испытаний 20 разрядами при промышленной частоте и импульсами подвесные изоляторы собираются в гирлянду такой длины, которая может применяться в эксплуатации для данного класса изоляторов. Для этих испытаний изоляторы подготавливаются так же, как и для определения сухоразрядного и мокроразрядного напряжения. Условия испытаний также соответствуют указанным выше при определении выдерживаемого напряжения в сухом состоянии и под дождем. Согласно ГОСТ 14197-69 изоляторы должны выдержать без пробоя по 20 разрядов промышленной частоты в сухом состоянии и под дождем, а также воздействие импульсных разрядов при предразрядном времени не более 2 мксек. Указанные испытания явля-

ются специфичными для стеклянных подвесных изоляторов, введены впервые в стандарт на стеклянные подвесные изоляторы в СССР и имеют целью выявление стойкости стеклянного диэлектрика к многократному воздействию напряжения, превышающего максимальное рабочее напряжение.

Импульсные 50%-ные разрядные испытания

Импульсные испытания стеклянных изоляторов производятся при стандартной волне обеих полярностей.

Измеренные при испытаниях напряжения приводятся к нормальным атмосферным условиям.

Перекрытие изоляторов определяется визуально при воздействии напряжения при полной волне или, когда отсутствует перекрытие — на срезающем промежутке, при срезанной волне.

Измерение амплитуды импульсов производится 50%-ным методом, при котором учитывается перекрытие изоляторов при половине всего количества приложенных импульсов.

Определение 50%-ного влагоразрядного напряжения загрязненных стеклянных подвесных изоляторов проводится при типовых испытаниях и является обязательным (ГОСТ 14197-69) для всех типов изоляторов. Более сложные лабораторные исследования проводятся над изоляторами специальных конструкций для районов с особо интенсивными загрязнениями. В этих случаях определяются характеристики загрязнений, проводятся полевые и лабораторные исследования загрязненных изоляторов. В Советском Союзе применяется для загрязнения изоляторов портландцемент, который напыляется на изолятор с учетом рассеянного материала и общей площади изолятора в целях определения удельной степени загрязнения (мг/см^2). При загрязнении кремнеземом и подобными ему веществами возможно обрызгивать изоляторы раствором этих веществ в воде с добавкой поваренной соли и декстринового клея.

Увлажнение загрязненных изоляторов производится паром или водой до насыщения загрязняющего слоя. Применяется метод увлажнения туманом, насыщенным солью (Англия).

Согласно ГОСТ 10390-71 «Методы сравнительных испытаний на электрическую прочность внешней изоля-

ции в условиях загрязнения» установлены три метода испытаний электрической прочности изоляции: а) при плавном подъеме напряжения и предварительном увлажнении поверхности изолятора; б) при приложении напряжения толчками; в) при длительном приложении напряжения к изолятору, находящемуся во влажной атмосфере.

Третий метод рекомендуется применять при испытании изоляторов класса не выше 110 кВ.

По первому методу на загрязненный и увлажненный изолятор подается напряжение при плавном подъеме и производятся измерения разрядного напряжения до высыхания увлажненного слоя, после чего вновь производится увлажнение и повторяется подача напряжения. Измерения напряжения производятся в течение 5 циклов. За величину разрядного напряжения изолятора принимается среднее значение из пяти серий измерений.

Скорость подъема напряжения около 2% ожидаемой величины разрядного напряжения в 1 сек. По третьему методу загрязненный изолятор помещается в камеру, в которой поддерживается влажность около 100%. При приложении напряжения к испытуемым изоляторам определяются 50%-ное разрядное напряжение или выдерживаемое напряжение. Число изоляторов должно быть не менее шести. За величину выдерживаемого напряжения принимают наибольшую величину напряжения, при котором ни на одном изоляторе не произошло перекрытия.

Недостатком этого метода следует считать значительную длительность испытаний и отсутствие регламентированной интенсивности увлажнения.

В Ленинградском политехническом институте им. Калинина разработана ускоренная методика испытаний загрязненных изоляторов (второй метод), состоящая в следующем: подготовка изоляторов производится согласно методике ГОСТ 10390-71, но напряжение подается на изоляторы толчками [Л. 15].

После высыхания поверхности или перекрытия изолятора опыт повторяется до 6—8 раз.

Определение напряжения по уровню радиопомех

Напряжение по уровню радиопомех от короны определяется на подвесном стеклянном изоляторе согласно методике ГОСТ 14197-69.

На рис. 6-10 представлена принципиальная электри-

ческая схема испытаний подвесных изоляторов на радиопомехи.

Высокий потенциал подается через дроссель к шапке подвесного изолятора, собранного с заземленной шапкой такого же изолятора. К изолятору параллельно подключается конденсатор связи емкостью не менее 4 000 пф. Высокочастотные токи радиопомех в цепи измеряются прибором ИП-12-2М. Радиочастотный кабель РК-50-3-11, замкнутый на сопротивление нагрузки 150 ом, служит для подсоединения измерительного прибора. Параллельно сопротивлению подключаются индуктивность в 1 мкн

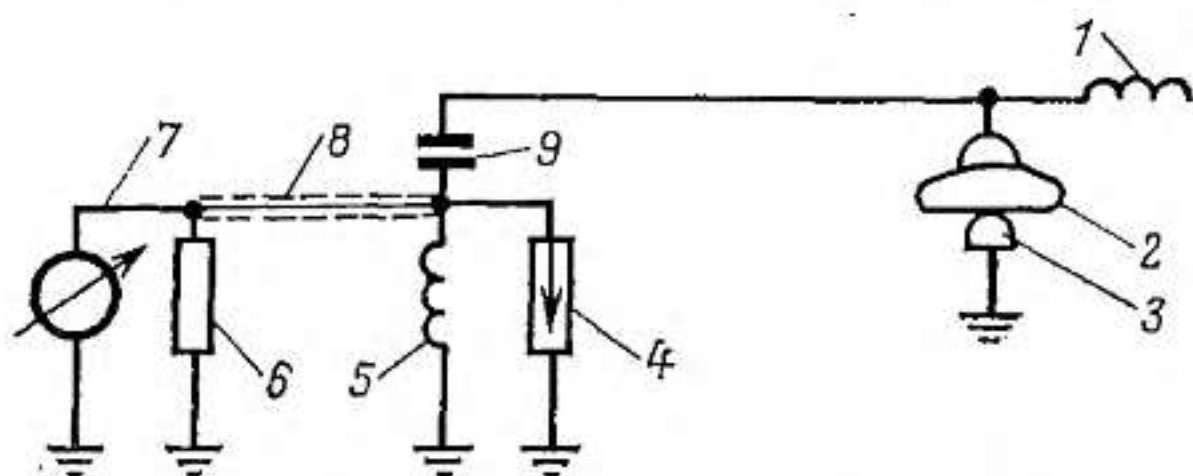


Рис. 6-10. Принципиальная электрическая схема испытаний подвесных стеклянных изоляторов на радиопомехи.

1 — дроссель индуктивностью 10 мкн; 2 — испытываемый изолятор; 3 — испытательная арматура; 4 — разрядник; 5 — индуктивное сопротивление 1 мкн; 6 — сопротивление нагрузки 150 см; 7 — измерительный прибор ИП-12-2М; 8 — радиочастотный кабель РК-50-3-11; 9 — конденсатор связи емкостью не менее 4 000 пф.

и разрядник. После выдержки изолятора под нормированным напряжением в течение 30 мин изолятор подвергается радиочастотным измерениям напряжения по уровню радиопомех. Оно состоит в плавном изменении напряжения до величины, соответствующей току помех 15 ± 5 мка, измеренному со стороны нижней обкладки конденсатора связи при частоте 1 мГц.

Изолятор считается выдержавшим испытание, если полученное напряжение будет ниже норм, указанных ранее (гл. 2, § 2-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кастанович М. М., Крылов С. В., Цимберов А. И. Изоляторы и арматура для воздушных линий электропередачи. М., «Энергия», 1965.
2. Изоляторы подвесные высоковольтные «Информстандарт-электро», каталог № 20.02.03-68.
3. Стекланные и стеклофарфоровые изоляторы «Информстандарт-электро», каталог № 20.07.01-67.
4. Бургсдорф В. В. Исследования изоляции и перенапряжений в электрических сетях. Энергетика за рубежом. М., «Энергия», 1965.
5. Красноголовый Н. К. Качество и надежность подвесных линейных изоляторов. «Информстандарт-электро», 1967.
6. Соколов С. Г. Электрические и аэродинамические характеристики высоковольтных изоляторов. Новосибирск «Наука», Сибирское отделение, 1968.
7. Riviere D. Le verre trempé et son utilisation pour l'isolement des lignes aériennes a haute tension. — «Revue generale de l'electricite», 1966, Mai.
8. Hopwood W. Characteristics of toughened glass overhead line insulators and some particular aspects of insulator performance in service. — «South African Inst. Elec. Engrs—Trans.», 1961, v. 58, № 9, p. 189—210.
9. Перенапряжения и изоляция электрических сетей. — «Доклады международной конференции по большим электрическим сетям». «Энергетика за рубежом», М., «Энергия», 1965.
10. Техника высоких напряжений, под общей ред. Л. И. Сиротинского, ч. 2. М.—Л., Госэнергоиздат, 1953.
11. Николаев Н. А., Попель А. М. О распределении напряжения по изоляторам из закаленного стекла. — «Электрические станции», 1964, № 11.
12. Николаев Н. А., Попель А. М. Некоторые итоги эксплуатации стекланных изоляторов. — «Электрические станции», 1962, № 12.
13. Николаев Н. А. Разработка и исследование линейных подвесных малогабаритных изоляторов из закаленного целочного силикатного стекла, по составу близкого к обычному промышленному. Автореферат диссертации. Ленинградский политехнический институт им. М. И. Калинина, 1966.
14. Александров Г. Н., Иванов В. Л., Кизеветтер В. Е. Электрическая прочность наружной высоковольтной изоляции. Л., «Энергия», 1969.

15. Ефимов А. В., Кожухов В. К., Алмазов А. В. Изоляторы. М.—Л., Госэнергоиздат, 1941.

16. Соломоник Е. А., Исследование и расчет разрядных характеристик загрязненных изоляторов. Изв. НИИПТ, сб. 11, 1965, с. 19.

17. Руководящие указания по проектированию и эксплуатации линий электропередачи и распределительных устройств переменного тока 3—500 кВ в районах с загрязненной атмосферой. — «Электрические станции», 1966, № 7, с. 31.

18. Цимберов А. И. Стекланные изоляторы. — «Электротехническая промышленность», ЦИНТИЭлектропром. М., 1959, вып. 1.

19. Левшунов Р. Т., Новиков А. П. Разрядные напряжения загрязненных высоковольтных изоляторов. — В кн.: Надежность работы и вопросы загрязнения высоковольтных изоляторов. Новосибирск, СибНИИЭнергетики, 1968.

20. Лебедев Г. А., Остапенко Е. И. Дискуссия по вопросу о коэффициенте формы подвесных изоляторов для загрязненных изоляторов. — «Электрические станции», 1969, № 12.

21. Якобсон И. А. Эксплуатация стекланных изоляторов. — «Электрические станции», 1961, № 10.

22. Мельников Н. А., Рокотян С. С., Шеренцис А. Н. Проектирование электрической части воздушных линий электропередачи 350—500 кВ. М.—Л., Госэнергоиздат, 1963.

23. Кожухов В. К., Лебедев Г. А. Вопросы испытания изоляторов, предназначенных для работы в условиях загрязнения. Информационный сборник, вып. 5 (134). М., Цинтиэлектропром, 1958.

24. Снявский В. Н. Расчет, конструирование и испытания изоляторов высокого напряжения. М., «Энергия», 1965.

25. Гайдаш Б. И., Бондарев К. Т. Новые стержневые изоляторы из стеклокристаллических материалов. — «Энергетика и электротехническая промышленность», 1964, № 1.

26. Тейлор Е. Р. и др. Исследования линейных изоляторов в отношении радиопомех. Материалы CIGRE, «Энергия», 1960.

27. Бунеева Л. И. и др. Применение стекла для производства изоляторов. М., ЦБТИ электропромышленности, 1958.

28. Николаев Н. А. и др. Линейные подвесные стекланные изоляторы. — «Электричество», 1960, № 2.

29. Порай-Кошиц Е. А. Стеклообразное состояние. М., Изд-во АН СССР, 1960.

30. Мазурин О. В. Электрические свойства стекла. — «Труды Ленинградского технологического института им. Ленсовета». Л., 1962.

31. Дукаревич Н. Я., Плашинский Н. Т. Тезисы докладов 3-й межвузовской конференции по современной технике диэлектриков и полупроводников. Л., 1960.

32. Справочник по производству стекла. Т. 1. М., Госстройиздат, 1963.

33. Стевелс Дж. Электрические свойства стекла. М., Изд-во иностр. лит., 1961.

34. Мазурин О. В., Борисовский Е. С. Исследование нейтрализационного эффекта уменьшения электропроводности силикатных стекол. — «ЖТФ», 1957, № 27, с. 275.

35. Кузнецов А. Я. Электропроводность стекол системы $\text{LiO}-\text{SiO}_2$. — «ЖФХ», 1959, № 33, с. 1492.
36. Сканиан Г. И. Нейтрализационный эффект в силикатных стеклах. — «ЖТФ», 1958, № 4, 748.
37. Богородицкий Н. П., Пасынков В. В., Гареев Б. М. Электротехнические материалы. Л.—М., Госэнергоиздат, 1955.
38. Schmidt O. H. Soll man Glasisolatoren für Starkstromfreifungen verwenden? — «Institut für Energetik Mitteilungen», 1961, № 36.
39. Stookey S. D. u. Schuler F. W. Wirkungen von UV- und Röntgenstrahlung auf lichtempfindliche Specialgläser. — «Glastechnische Berichte», 1959, № 32, January.
40. Китайгородская И. И. Теоретические основы синтеза силикатов из шлаков. — «Журнал всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева», том VIII, 2, 1963, т. 8, № 2.
41. Gehlhoff G., Thomas M. Die physikalischen Eigenschaften von Gläsern in Abhängigkeit von der Zusammensetzung. III. Die Viskosität der Gläser. — «Z. f. techn. Phys.», 1926, № 7, S. 260—278.
42. Охотин М. В. Приближенное вычисление вязкости стекол по заданному составу. — «Стекольная и керамическая промышленность», 1947, № 3.
43. Гигерих В., Гриф В. Стекольные машины. М., «Машиностроение», 1968.
44. Жданюк М. П., Ткаченко З. И., Калита В. С. Продление межремонтного периода электростекловаренной печи. — «Стекло и керамика», 1969, № 8.
45. Бартеньев Г. М. Механические свойства и тепловая обработка стекла. М., Госстройиздат, 1960.
46. Николаев Н. А. и др. О составе стекла для высоковольтных линейных подвесных изоляторов. — «Электрические станции», 1970, № 9.
47. Андрияшина Т. А. Исследование характера закалки подвесных высоковольтных изоляторов. — «Стекло и керамика», 1968, № 7.
48. Андрияшина Т. А., Дякивский С. И., Николаев Н. А. Закалка стеклянных изоляторов. — «Стекло и керамика», 1960, № 6.
49. Киндяков В. С., Левшунъ Р. Т., Тюрин Э. А. К вопросу об эксплуатационной надежности высоковольтных изоляторов. — В кн.: Надежность работы и вопросы загрязнения высоковольтных изоляторов. Новосибирск, СибНИИ Энергетики, 1968.
50. Воскресенский В. Ф. Электрическая изоляция в районах с загрязненной атмосферой. М., «Энергия», 1971.
51. Бачурин Н. И. и Залесский А. М. Изоляция аппаратов высокого напряжения. М.—Л., Госэнергоиздат, 1961.
52. Журавлев Э. И. Радиопомехи от коронирующих линий электропередачи. М., «Энергия», 1971.
53. Александров Г. И. и др. Изолирующая подвеска проводов линий сверхвысокого напряжения. — «Электрические станции», 1969.
54. Общесоюзные нормы допускаемых промышленных радиопомех. Межведомственная комиссия по радиочастотам при Министерстве связи СССР. Связьиздат, 1963.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
<i>Глава первая</i>	
Стекло как диэлектрик	
1-1. Общие сведения о стеклах, используемых для производства стеклянных изоляторов	7
1-2. Физико-технические свойства стекол	12
1-3. Диэлектрические свойства стекол	16
1-4. Стеклокристаллические материалы и их свойства	31
<i>Глава вторая</i>	
Конструкции стеклянных изоляторов	
2-1. Назначение и классификация стеклянных изоляторов	34
2-2. Конструкции стеклянных изоляторов	34
Линейные изоляторы	34
Аппаратные изоляторы	42
2-3. Материалы, применяемые в конструкциях стеклянных изоляторов	43
2-4. Условия работы стеклянных изоляторов и надежность их в эксплуатации	45
2-5. Технические требования к стеклянным изоляторам	47
<i>Глава третья</i>	
Основы конструирования и выбора стеклянных изоляторов	
3-1. Порядок конструирования изоляторов	55
3-2. Основы электрического расчета изоляторов	56
3-3. Основы электрического расчета опорных стеклянных изоляторов	58
Опорные изоляторы для внутренних установок на 6—10 кВ	58
Штыревые и опорно-штыревые изоляторы для наружных установок	60
3-4. Основы электрического расчета подвесных стеклянных изоляторов тарельчатого типа	64
3-5. Выбор типа изоляторов при проектировании электроустановок	68
3-6. Выбор изоляции для районов с загрязненной атмосферой	76
3-7. Выбор стеклянных изоляторов по механической прочности	84

Глава четвертая

Производство стеклянных изоляторов

4-1. Сырьевые материалы, их переработка и приготовление шихты	87
4-2. Свойства стекла в расплавленном состоянии	97
4-3. Варка стекла	101
4-4. Прессование стеклодеталей	111
4-5. Термообработка стеклодеталей	127
4-6. Автоматические линии для производства стеклодеталей изоляторов	141
4-7. Технологический контроль, дефекты стеклодеталей и методы их предупреждения	145

Глава пятая

Армирование стеклянных изоляторов

5-1. Связки, компенсирующие прокладки и промазки	167
5-2. Приготовление цементно-песчаного армировочного состава	169
5-3. Приготовление компенсирующих промазок	170
5-4. Подготовка арматуры и изоляционных стеклянных элементов к армированию	171
5-5. Армирование подвесных изоляторов тарельчатого типа	171
5-6. Гидротермальная обработка армированных изоляторов	174
5-7. Армирование опорных и опорно-штыревых изоляторов	175
5-8. Механизация процесса армирования	175
5-9. Дефекты армирования	177

Глава шестая

Контроль качества стеклянных изоляторов

6-1. Назначение контроля качества изоляторов	179
6-2. Виды контроля качества изоляторов	180
6-3. Методы испытаний стеклянных изоляторов	181
Список литературы	196