

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ХИМИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ

Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

18.03.02 «Энерго-, ресурсосберегающие процессы в химической технологии,
нефтехимии и биотехнологии»

(код и наименование направления подготовки)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: **Модернизация технологического процесса термо-вакуумной
обработки на ООО «Тольяттинский Трансформатор»**

Студент(ка)

А.С. Немов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

З.А. Шамугия

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

И.о.зав. кафедрой

«Рациональное
природопользование
и ресурсосбережение»

к.п.н., М.В.Кравцова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ г.

Тольятти 2016

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ХИМИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ

Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

УТВЕРЖДАЮ

заведующая кафедрой «РПиР»

_____ М.В.Кравцова

(подпись)

(И.О. Фамилия)

« _____ » _____ 20__ г.

ЗАДАНИЕ

на бакалаврскую работу

Студент: Немов Антон Сергеевич

1. Тема: Модернизация технологического процесса термо-вакуумной обработки на ООО «Тольяттинский Трансформатор»

2. Срок сдачи студентом законченной бакалаврской работы

3. Исходные данные к бакалаврской работе:

3.1 Положение о цехе №17. «Термо-вакуумная обработка» на предприятии ООО «Тольяттинский Трансформатор».

4. Содержание бакалаврской работы:

4.1 Анализ технологического процесса термо-вакуумной обработки «Тольяттинский Трансформатор»

4.2 Разработка технологических решений по совершенствованию процесса термо-вакуумной обработки на ООО «Тольяттинский Трансформатор».

4.3 Экономический раздел.

5. Дата выдачи задания «16» марта 2016 г.

Руководитель бакалаврской работы

(подпись)

З.А. Шамугия

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

(подпись)

А.С. Немов

(И.О. Фамилия)

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ХИМИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ
Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующая кафедрой «РПиР»
М.В.Кравцова
(подпись) (И.О. Фамилия)
« ____ » _____ 20__ г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН
бакалаврской работы

Студента: Немова Антона Сергеевича
по теме: Модернизация технологического процесса термо-вакуумной
обработки на ООО «Тольяттинский Трансформатор»

Наименование раздела работы	Плановый срок выполнения раздела	Фактический срок выполнения раздела	Отметка о выполнении	Подпись руководителя
Введение	15.03.2016			
Анализ процесса термо-вакуумной обработки «Тольяттинский Трансформатор»	28.03.2016			
Расчет термо-вакуумной установки	25.04.2016			

Разработка технологических решений по совершенствованию процесса термо- вакуумной обработки на ООО «Тольяттинский Трансформатор»	15.05.2016			
Экономический раздел	25.05.2016			
Заключение	03.06.2016			

Руководитель бакалаврской работы

(подпись)

З.А. Шамугия

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

(подпись)

А.С. Немов

(И.О. Фамилия)

АННОТАЦИЯ

Бакалаврскую работу выполнил: Немов Антон Сергеевич

Тема работы: «Модернизация технологического процесса термовакуумной обработки в парах сольвента на предприятии ООО «Тольяттинский Трансформатор».

Научный руководитель: Шамугия З.А.

Бакалаврская работа посвящена совершенствованию технологии термо- вакуумной сушки масляных силовых трансформаторов в парах сольвента.

Представленная к защите работа состоит пояснительной записки машинописного текста формата А-4 и графической части. Работа состоит из введения, где кратко излагается сущность процесса сушки изоляции силовых трансформаторов в предприятии ООО «Тольяттинский трансформатор». Показывается возможные пути повышение качество сушки и срока службы трансформаторов, что существенно повысит конкурентоспособность изделия. Следовательно, предложенная тема дипломной работы актуальна и имеет достаточно важное значение и требует положительного решения. В первой главе проведен подробный анализ применяемое на предприятии технологического процесса термо-вакуумной сушки изоляции силовых трансформаторов различной мощности конструкции, выявлены недочеты в технологии, в технологических параметрах, в процессе регулирования параметров. Предлагается пути решения и поставлены задачи на дипломную работу. Во второй главе проведены исследования влияние параметров сушки на процесс старения изоляции трансформаторов и на срок службы изделия.

В третьей главе проведено технико-экономическое обоснование дипломной работы, расчет эффективности использования предлагаемой технологии.

Бакалаврская работа содержит 20 рисунков 16 таблиц, 9 приложений, 63 страницы печатного текста.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЦЕССА СУШКИ АКТИВНЫХ ЧАСТЕЙ ТРАНСФОРМАТОРА	9
1.1 Требования к качеству изоляции масляных трансформаторов.....	9
1.2 Особенности технологии вакуумной сушки масляных силовых трансформаторов и характеристики.....	12
1.3 Исследования влияния времени и температуры нагрева на старение изоляции силового трансформатора	18
1.4 Анализ процесса сушки в парах сольвента.....	23
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ТЕРМО-ВАКУУМНОЙ СУШКИ В ПАРАХ СОЛЬВЕНТА.....	31
2.1 Разработка технологии сушки.....	31
2.2 Совершенствование технологии термо- вакуумной сушки масляных силовых трансформаторов.....	39
2.3 Предложение и обоснование методики контроля процесса ТВО с целью повышения качества сушек изоляции в парах сольвента.....	47
ГЛАВА 3. РАСЧЁТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕРМО-ВАКУУМНОЙ СУШКИ.....	61
3.1 Получение экономического эффекта от энергосбережения.....	61
3.2 Получение экономического эффекта от ресурсосбережения.....	63
3.3 Получение экономического эффекта от внедрения проекта.....	64
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	69
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	70
ПРИЛОЖЕНИЕ	

ВВЕДЕНИЕ

Постоянное стремление промышленных предприятий к повышению качества и ассортимента выпускаемой продукции является важнейшим всегда быть конкурентоспособным на рынке, который постоянно меняется. Предприятие по выпуску силовых высоковольтных трансформаторов является ООО «Тольяттинский Трансформатор». Продукция этого предприятия пользуется большим успехом, что накладывает на него и большую ответственность по качеству и безопасности в эксплуатации. Поэтому разработка технологических процессов как для производства отдельных узлов, так и окончательной сборки готового трансформатора и последующая испытательная задача ответственная и трудная. Одним из важнейшим и ответственным является процесс сушки изоляции силовых трансформаторов, поскольку состояние изоляции в процессе эксплуатации главным образом определяет срок службы силового трансформатора в целом. Основным материалом для изоляции обмоток используется целлюлоза, которая наиболее подвергается старению. Обеспечение надежности и качества изоляции – та задача, которая постоянно ставится перед производителями электрического оборудования. Решение этой задачи для нашей страны очень актуально, поскольку в большинстве развитых странах мира, срок службы электротехнического оборудования, в том числе силовых трансформаторов, составляет 45 лет и более, что гораздо больше отечественных силовых электрического оборудования. Следовательно, тема дипломной работы актуальная задача, которая требует решения.

В этом направлении работу по усовершенствованию технологического процесса сушки изоляции обмоток трансформаторов, а также по выбору оптимальных параметров сушки, обеспечивающих высокое качество при достаточно широком диапазоне, ведутся во многих соответствующих предприятиях, в том числе в ООО «Тольяттинский Трансформатор». На предприятии была приобретена и налажена работа линии для термо-

вакуумной сушки изоляции. Однако, диапазон регулирования технологических параметров данной линии не обеспечивает сушку весь ряд всех силовых агрегатов, выпускаемых на предприятии. Для расширения технологических возможностей дорогостоящей линии, на предприятия ведутся поисковые работы в данном направлении. Настоящая работа посвящена решению одной из таких задач. По повышению качества сушки.

Поэтому целью дипломной работы является: Повышение срока службы силовых трансформаторов путем совершенствования технологии термо-вакуумной сушки изоляции обмоток, что предполагает под собой энерго- и ресурсосбережение.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЦЕССА СУШКИ АКТИВНЫХ ЧАСТЕЙ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

1.1 Требования к качеству изоляции масляных трансформаторов

Целью технологической обработки изоляции трансформаторов является придание ей достаточной электрической прочности, стремление уменьшить скорость старения в течение срока службы, а также гарантировать способность обмоток противостоять динамическим воздействиям в эксплуатации.

В свою очередь, переход влаги с поверхности изоляции в окружающую среду тем интенсивнее, чем ниже давление пара в окружающей среде по сравнению с давлением на поверхности. Учитывая это свойство и то, что при пониженном давлении температура испарения влаги ниже, для более интенсивного процесса перемещения, испарения и удаления влаги из изоляции активную часть нагревают до установленной нормами температуры и создают вакуум в окружающей ее среде, т.е. подвергают ее термовакуумной обработке. Вакуумированием также удаляется воздух из пор изоляции и из промежутков между ее слоями и деталями.

Технологическая обработка обмоток состоит из процессов, назначением которых являются удаление воздуха и воды, как из твердой изоляции, так и из масла, пропитка твердой изоляции маслом и, наконец, придание обмотке механической прочности с целью сохранения ее формы в эксплуатации.

Первой целью, которая должна быть достигнута, естественно является придание изоляции достаточной электрической прочности, для того чтобы она выдержала предусмотренные испытания. К этому добавляется стремление уменьшить скорость старения изоляции во время эксплуатации, а также гарантировать способность обмоток противостоять электрическим и электродинамическим воздействиям.

Эффективность обработки активной части трансформатора следует оценивать не только с точки зрения получения достаточной электрической прочности при испытаниях, но и с точки зрения увеличения срока службы и эксплуатационной надежности. Стоимость обработки определяется ее длительностью и качеством, а также характеристиками изоляции, которые требуется получить.

В условиях эксплуатации влага и газы могут перемещаться и достигать критических значений в наиболее напряженных местах. Поочередное нагревание и охлаждение трансформатора при определенных условиях опасно для его изоляции. Например, трансформатор некоторое время работал при низкой температуре и значительное количество воды было абсорбировано твердой изоляцией. При резком повышении температуры под нагрузкой произойдет перераспределение воды, которая будет переходить из бумаги в масло. При этом могут иметь место два явления.

Если изоляция твердого типа, вода не может быстро выделиться и бумага будет в состоянии местного перенасыщения. Возникает опасность теплового пробоя при высокой температуре. Или же, за короткое время значительное количество воды перейдет в масло, которое будет иметь высокое влагосодержание. При высокой температуре это может быть не слишком опасно, если масло не насыщено водой. Но если нагрузка уменьшилась и масло быстро остыло, оно будет перенасыщено водой образуется эмульсия. Такое состояние крайне опасно, поскольку электрическая прочность резко снижается. Кроме того, в этом случае возможны местные увлажнения поверхности твердой изоляции (барьеров и др.), что также опасно [42].

Совершенствование сушки и вакуумной обработки на заводе, будет способствовать повышению его эксплуатационной надежности. Остаточное влагосодержание, которое может быть допустимо для целлюлозной изоляции трансформатора, обусловлено практически желанием избежать

слишком быстрого старения и для нового трансформатора должно быть ограничено величиной 0,5%. По другим данным, эта величина должна составлять менее 0,2% (руководство по эксплуатации оборудования MEIER), в таблице 1.1 показана величина остаточного содержания влаги.

Таблице 1.1 – Остаточное содержание влаги для различных трансформаторов

Мощность трансформатора в МВА	Ряд напряжения в КВ	Содержание влаги в %
40 – 150	32 – 110	≤0,30
151 – 300	110 – 220	≤0,30
301 – 500	220 – 380	≤0,25
501 – 1000	380 – 1000	≤0,20

Кратко можно выделить следующие моменты повышающие качество в новом технологическом процессе сушки с нагревом парами сольвента:

1. использование насыщенных паров в качестве нагревающей среды позволяет быстрее прогреть изоляцию и более полно ее удалять, особенно ее внутренние части, что позволяет избежать возможного оставление влаги в глубине изоляции.
2. так как нагрев осуществляется парами органической жидкости, не происходит окисления изоляции, к тому же обеспечивается практически полное отсутствие кислорода в процессе нагрева активной части, что в свою очередь повышает средний срок службы работы трансформатора.
3. равномерность прогрева изоляции в паровой фазе лучше, так как конденсация паров сольвента происходит на самых ее холодных частях, в связи с этим не происходит локальных перегревов или не равномерного нагрева, что помогает избежать деформации обмотки.

4. следует иметь в виду, что при этом методе можно достичь меньшего остаточного давления, а следовательно, лучшей сушки при меньшей производительности вакуумных насосов ввиду меньшего содержания водяных паров.

1.2 Особенности технологии вакуумной сушки масляных силовых трансформаторов и характеристики

Процесс сушки активных частей трансформаторов является наиболее энергоемким и составляет значительную часть общей длительности производственного цикла. Применение устаревшей технологии сушки трансформаторов в вакуумно–сушильных шкафах с циркуляцией горячего воздуха является на сегодняшний день одним из главных сдерживающих факторов увеличения объемов производства. В настоящее время способ сушки в парах сольвента является наиболее эффективным методом для обработки изоляции силовых трансформаторов. Предпочтение отдается, прежде всего, взаимосвязи давления пара, температуры и содержания остаточной влажности в бумажной изоляции.

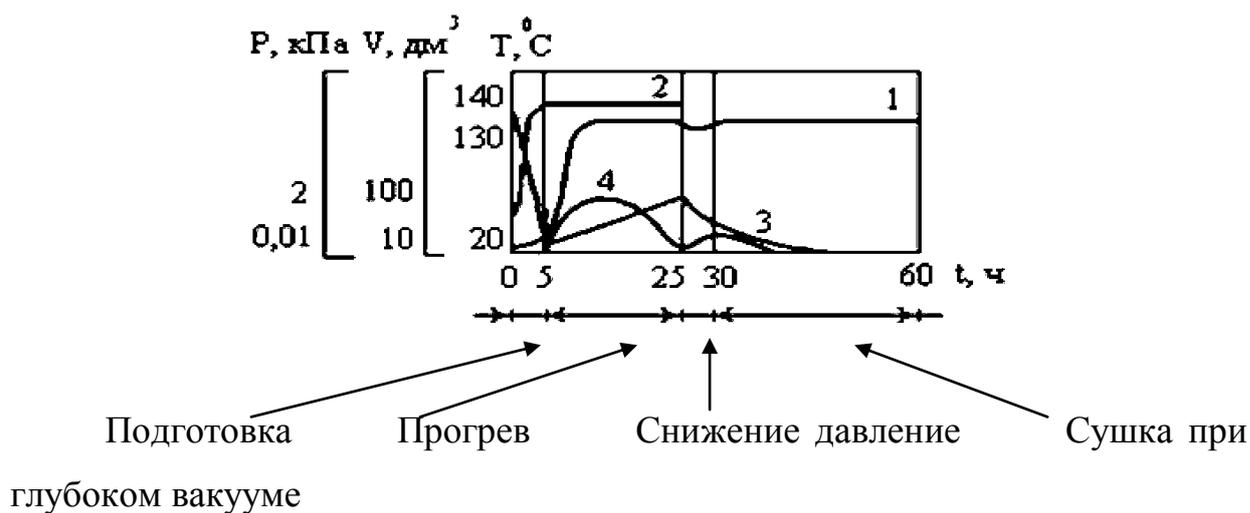
Для нагрева активной части сольвент в пластинчатом испарителе нагревается и испаряется, пары сольвента затягиваются в шкаф ВСШ к активной части. Так как в нем создается более низкое давление, пары сольвента конденсируются на самых холодных ее частях, тем самым равномерно производя нагрев, по всей площади нагревая ее, затем конденсируются и стекают на пол. В дальнейшем сольвент, пройдя очистку через группу фильтров, подается в сборник и заново используется. Между шкафом и вакуумной системой расположена конденсационная колонка. В колонке пары влаги и сольвента, выделившиеся из изоляции активной части при сушке конденсируются [49].

Вся влага, скапливающаяся при этом, подается в сепаратор, который представляет собой резервуар, где по принципу разной плотности жидкостей происходит разделение воды и сольвента: вода скапливается

снизу, а сольвент сверху резервуара. Специальный уровнемер распознает сколько в нем воды и сольвента, тем самым давая возможность откачки сольвента для дальнейшего его использования и слива грязной воды.

При сушке не происходит окисление изоляции (так как нагрев осуществляется парами органической жидкости) в среде без кислорода, поэтому температура сушки может быть повышена до 135°C без опасения порчи изоляции, постигается меньшее значение остаточного влагосодержания, при этом время сушки сокращается в 1,5 – 3, в зависимости от мощности активной части. В качестве теплоносителя используется нефтепродукт – сольвент с особыми свойствами: высокой температурой вспышки (62°C), с однородным фракционным составом, большим количеством теплоты, энергией, выделяемой при конденсации паров [42].

ВСШ оснащен различными системами для измерения и регистрации температуры в различных точках шкафа, вакуума, температуры пара сольвента, параметров состояния изоляции активной части.. Технологический процесс сушки состоит из четырех фаз: подготовка установки предварительное вакуумирование (разрежение автоклав), нагревание изоляции парами теплоносителя под вакуумом; фаза понижения давления; сушка под глубоким вакуумом, с целью удаления оставшейся влажности рисунок 1.1.

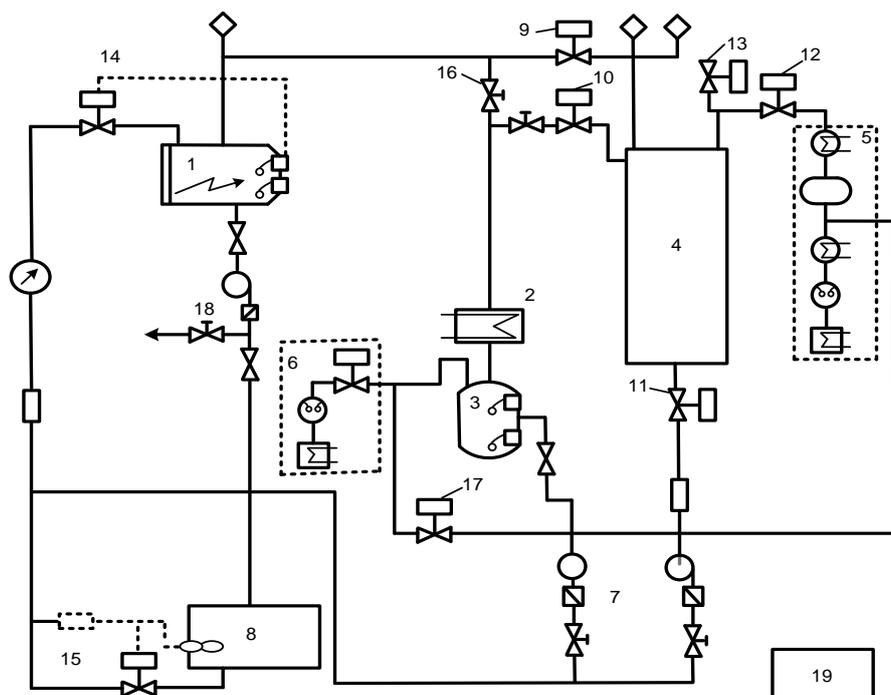


- 1 – температура обмоток трансформатора;
- 2 – температура теплоносителя;
- 3 – давление;
- 4 – объем воды.

Рисунок 1.1 – Технологический процесс сушки в парах сольвента

Нагрев в паровой фазе позволяет более быстро прогреть изоляцию до заданной температуры, выделение влаги из изоляции происходит непрерывно – начиная уже с прогрева рисунок 1.4. Сушку в парах сольвента производят в вакуум–сушильных шкафах показан в приложение Б, специальная установка принципиальная схема которой, показано на рисунок 1.2.

Главная вакуумная установка монтируется в непосредственной близости ВСШ (возле или на ВСШ). Бесперебойная подача насосами конденсата в испарительную установку требует установки конденсатора и испарительной установки в одном месте, при этом точка всасывания насоса должна находиться на глубине 1,5–2 м над самой низкой точкой ВСШ. Шкаф управления паровой установкой 19 устанавливается в центре участка сушки. Так как при сушке трансформаторов испарительная и конденсационная установки находятся в работе только лишь половину времени общей продолжительности сушки, то они могут применяться для двух или трех ВСШ [36].



1 – испаритель; 2 – конденсатор; 3 – сборник конденсата; 4 – ВСШ; 5 – главная вакуумная установка; 6 – дренажный вакуумный насос; 7 – конденсатный насос; 8 – резервный бак; 9 – вентиль подвода пара; 10 – вентиль отвода пара; 11 – вентиль конденсата; 12 – вакуумный вентиль; 13 – вентиль для впуска воздуха; 14 – вентиль наполнения; 15 – вентиль обратного наполнения; 16 – паровой вентиль; 17 – обходной вентиль; 18 – насос для перекачки керосина; 19 – шкаф управления сольвентовой установкой.

Рисунок 1.2 – Принципиальная схема установки для сушки в паровой фазе

Порядок действий при сушке следующий, с начала происходит загрузка активной части в ВСШ. При этом температура в ВСШ должна быть не более 65°C , иначе на магнитопроводе будет обильное выпадение росы и как следствие его коррозия [1].

Процесс ТВО начинается с первой фазы подготовки, которая заключается в том, что бы произвести разрежение автоклав (понижение давления в шкафу ВСШ до 7 Мбар, в контуре сольвента до 18 МБар). Во второй фазе начинается прогрев активной части, он происходит в два этапа, в первом плавно не более (10°C – 15°C в час) поднимают температуру в ВСШ парами сольвента, при достижении 50°C магнитопровода запускается нагрев стенок шкафа иначе на магнитопроводе будет обильное выпадение росы и как следствие его коррозия, при этом согласно технологического процесса после достижения температуры паров сольвента 120°C , это значении

необходимо поддерживать в течении 7 часов. После чего происходит переход на второй этап нагрева на нем достигается значение паров сольвента 133°C это значении необходимо поддерживать в течении 3,5 часов.

Во время нагрева происходит насыщение атмосферы внутри шкафа парами сольвента, во время нагрева в ВСШ находится до 1000 литров испаренного и сконденсировавшегося сольвента, при этом обмотка, также пропитывается им, это позволяет быстрее прогревать активную часть трансформатора. Так как коэффициент теплопередачи в парах сольвента в 10 раз больше, чем при сушке горячим воздухом.

Во время этого происходит повышение давление в шкафу ВСШ, что бы избежать слишком высокого значения давления применяется насос откачки натекания он откачивает атмосферу из шкафа ВСШ, так как значение давления и температуры паров сольвента два зависимых параметра, которые характеризуются кривой упругости пара, плавный подъем давления позволяет плавно производить нагрев активной части. Другими словами чем выше давление тем выше будет температура пара сольвента. Благодаря насосу откачки натекания также происходит удаление выделившейся воды, газа и сольвента из изоляции активной части [50].

Нагрев продолжается до тех пор пока температура магнитопровода достигнет 115°C с выдержкой этого значения в течении 2 часов и температуры внутри обмотки 120°C без выдержки по времени. Для определения этих значений используются термодпары которые помещаются на активной части перед сушкой.

Следующим этапом сушки является понижение давления и так как, это должно производиться плавно, дабы избежать повреждения изоляцию, то понижение давление проводится в несколько этапах. В первом, в ВСШ давление в пределах 130 –140 МБар прекращается подача сольвента в испаритель, закрывается линия подачи паров сольвента в камеру, открывается линия подачи паров сольвента через главный конденсатор

(теплообменник), при этом плавно открывается задвижка на линии откачки из ВСШ, она регулирует откачку паров из ВСШ во время сушки и плавно открывается до 50 %, до тех пор пока насос откачки натекания не начинает замедлять откачку газов и пасов из шкафа. На втором этапе запускается дополнительный насос предназначенный для глубоковакуумной сушки, давление в нутрии камеры понижается до 20 МБар, задвижка линии откачки натекания открывается до 80 %.

На третьем этапе начинается глубоковакуумная сушка начиная от 20 МБар, запускается еще один насос для глубоковакуумной сушки, линии откачки натекания открывается до 100 %, при достижении 15 МБар отключается насос откачки натекания и запускается нагнетатель Рутса (роторная воздуходувка). Доле в ВСШ достигается значении вакуума менее 0,1 МБар, при достижении этого значения происходит запуск отсчета времени выдержки в течении 4 часов.

Для установления окончания процесса сушки и дегазации обмоток и изоляционных конструкций в технологическом процессе сушки используют комбинацию двух или более методов. Как критерий окончания сушки, приводится отсутствие выделения влаги в течение 3 ч или выделение 0,25 л. в течение суток. Остаточное давление, полученное в сушильном шкафу также используется в качестве показателя степени сушки. По общему мнению, давление водяных паров не может быть больше остаточного давления, исходя из которого можно определить увлажненность изоляции. Изменение сопротивления изоляции во времени также является полезным показателем [36].

Во время изготовления, сборки и испытаний активной части трансформатора определяет сухость изоляции по установленным в обмотке специальным образцам бумаги и картона (макет изоляции). Эти образцы извлекаются из обмотки, и влагосодержание в них определяется методом Фишера. Было доказано, что эти образцы дают очень точную оценку степени увлажнения обмоток и изоляции. Метод определения влажности

путем измерения точки росы весьма чувствителен и надежен. Считается, что опасность недопустимого увлажнения существует, если точка росы выше 5°C. Точка росы есть температура, при которой начинается конденсация водяных паров. Относительная влажность есть отношение количества водяных паров в данном газе к их насыщающему значению при той же температуре.

1.3 Исследования влияния времени и температуры нагрева на старение изоляции силового трансформатора

От надежности и качества изоляции трансформатора зависит срок его службы, так как она должна без повреждений выдерживать электрические, тепловые, механические и другие воздействия, которым она подвержена в процессе эксплуатации.

Трансформатор постоянно находится в процессе эксплуатации во включенном состоянии, и на его изоляцию длительно воздействует электрическое поле, соответствующее номинальному рабочему напряжению. Это воздействие изоляция должна выдерживать неограниченно длительное время.

Одним из основных факторов старения изоляции, разрушения волокнистых цепочек целлюлозы является воздействие температуры, но до сих пор этому уделялось недостаточно внимания, в виду того, что ранее это считалось неизбежным процессом, в частности во время процесса сушки активной части. Воздействие высокой температуры способствует термокинетическому разложению целлюлозы и ускоряет процесс старения материала. Но на данный момент уже существуют технологии способные значительно снизить отрицательное воздействие во время сушки и в частности во время нагрева изоляции. Одной из таких технологий является сушка в парах сольвента, она производится в среде без кислорода теплоносителем органического происхождения, что не окисляет изоляцию,

при этом время воздействия высокой температуры сокращено в результате более эффективного нагревания в 2 – 3 раза.

Следует отметить, что сушка твердой изоляции связана с воздействием повышенных температур, а вакуумирование, кроме того, с макромеханическим воздействием на целлюлозу при удалении влаги. В результате этого процесса ТВО наблюдается ускоренное старение бумажной изоляции и, как следствие, снижение ее степени полимеризации (на 50–250 ед.). Другими словами если сократить пагубное воздействия на изоляцию во время процесса ТВО это может увеличить степень полимеризации от 5 % до 25 %, что придаст запас механической прочности и увеличения срока службы трансформатора по параметру теплового износа.

На рисунке 1.3 показана, зависимость приращения температуры, обуславливающей удвоение скорости старения бумаги, обуславливающей удвоение скорости старения бумаги, в зависимости от достигаемой при этом степени старения, оцениваемой по относительной степени полимеризации СП/1300 [36].

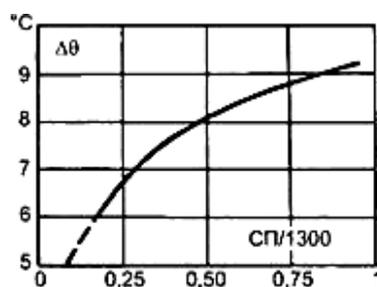


Рисунок 1.3 – Зависимость приращения температуры, обуславливающей удвоение скорости старения бумаги

Ниже в таблице 1.1 показана продолжительность термического старения (в вакууме) бумаги, необходимой для снижения степени полимеризации до СП 400 когда она теряет свои свойства и становится ненадежной.

Таблице 1.1 – Продолжительность термического старения (в вакууме) бумаги

емпература, °С	115	110	105	100	95
Продолжительность, лет до СП 150	14	26	50	95	180
Продолжительность, лет до СП 360	3.5	5	10	20	30
Продолжительность, лет до СП 400	3	4	7	12	18

Другими словами, приращение температуры, при котором время, необходимое для достижения одной и той же степени полимеризации, снижается вдвое, зависит от относительной величины полимеризации таблица 1.2.

Связь между сроком службы изоляции и рабочей температурой имеет логарифмический характер, и если по одной оси откладывать температуру в линейном масштабе, а по другой – срок службы в логарифмическом масштабе, то зависимость представляется прямой рисунок 1.4.

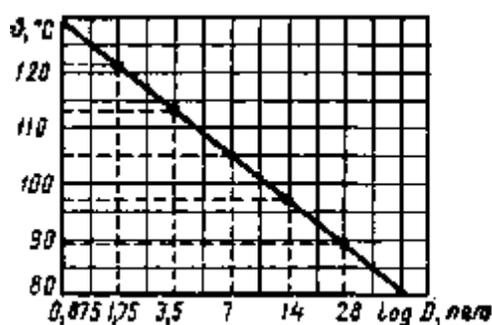


Рисунок 1.4 – Зависимость срока службы изоляции от температуры

Из практики использования трансформаторов номинальный срок службы трансформатора составляет около 180000 ч. Для расчета скорости термического старения k , выраженной как расход времени всего срока

службы за час времени работы при температуре T , °С, в формуле (2.1) параметр 180000 ч использован как заданная величина, относительная скорость термического старения выраженная в процентах [20].

$$k = 180000 \cdot a^{-1} \cdot \exp\left(\frac{-b}{T}\right), \quad (2.1)$$

где значения параметров a и b взяты из таблицы 2.4;

T – постоянная термодинамической температуры наиболее нагретой точки обмотки, °С, и имеет вид:

$$T = 273 + \theta_a + \Delta\theta_{HSn}, \quad (2.2)$$

где θ_a – температура окружающей среды, °С;

$\Delta\theta_{HSn}$ – разница температур наиболее нагретой точки обмотки и температуры окружающей среды для заданной нагрузки, °С.

Если температура наиболее нагретой точки ниже номинального параметра, т.е. менее 6°С, то номинальный срок службы трансформатора сокращается в половину. Фактический срок службы трансформаторов составляет, как правило, около 20 лет. Таким образом, для таблицы 1.2 постоянные a и b были рассчитаны путем деления пополам 180000 ч на постоянную времени 6 К [42].

Таблица 1.2 – Постоянные для уравнения расчета срока службы трансформатора

Температура изоляционной системы (класс изоляции), °С	Постоянные уравнения		Номинальная температура наиболее нагретой точки обмотки $\theta_{HS,r}$, °С
	a , час	b , К	
105 (класс А)	$3,10 \cdot 10^{-14}$	15900	95
120 (класс Е)	$5,48 \cdot 10^{-15}$	17212	110

130 (класс В)	$1,72 \cdot 10^{-15}$	18115	120
---------------	-----------------------	-------	-----

Рассчитаем скорости термического старения k , при постоянной температуре.

Исходные данные:

- температура наиболее нагретой точки изоляции – 110°C;
- температура окружающей среды – 120°C;
- температура системы изоляции – 130°C (класс В).

Термодинамическая температура наиболее нагретой точки K , определяется по уравнению (2.2):

$$273+110+120=503 \text{ К}$$

Коэффициенты a и b возьмем из таблицы 2.4:

$$a = 1,72 \cdot 10^{-15} \text{ ч}, \quad b = 18115 \text{ К}$$

По формуле (2.1) определяют скорость термического старения. Так как температура наиболее нагретой точки ниже 6°C в два раза номинального параметра, то номинальный срок службы трансформатора сокращается в два раза и равен:

$$K = 45000 \cdot (5,48 \cdot 10^{-15})^{-1} \cdot \exp\left(-\frac{17212}{503}\right) = \frac{8,212 \cdot 10^{18}}{48,52 \cdot 1,498 \cdot 10^{13}} = \frac{8,212}{72,73} \cdot 10^5 = 0,11 \cdot 10^5 = 11 \cdot 10^3$$

$11 \cdot 10^3$ ч – расход срока службы в час.

Тогда за каждый час при температуре наиболее нагретой точки изоляции 110°C и окружающей среды 120°C он составит в эквиваленте сравнения с нормальными температурным режимом работы от срока службы трансформатора:

$$100 \frac{11000}{180000} = 6,1\%$$

Другими словами каждый час в зависимости от того увеличивается время воздействия или уменьшается, будет уменьшать или прибавлять к

ресурсу теплового старения изоляции трансформатора 6,1 % при сушке в данных условиях.

1.4 Анализ процесса сушки в парах сольвента

Предприятие ООО «Тольяттинский Трансформатор» приобрело в 2011 году вакуумную установку сушки в парах сольвента активных частей трансформаторов мощностью до 1000 МВА, произведенную компанией Meier. Работы по монтажу данной установки завершились в 2013 году. Основной целью модернизации являлось повышение качества производимой продукции, сокращения времени и затрачиваемых ресурсов на производство. Внедрение новой технологии сушки направлено на повышение таких показателей, как электрическая и механическая прочность, степень поляризации изоляции, а так же на сокращение остаточного влагосодержания [49].

Участок сушки изоляции в парах сольвента является новым участком, целью организации которого является замена устаревшей технологии сушки продувкой горячим воздухом. Схема организационной структуры узла сушки представлена на рисунке 1.5.



Рисунок 1.5 – Схема узла организационной структуры сушки

Сушка в паровой фазе (сочетанием тепла от паров сольвента с вакуумом) изначально многими работниками предприятия ООО «Тольяттинский Трансформатор» считается эффективной уже потому, что в

ней процесс сушки в 2–3 раза меньше по продолжительности, чем по старой технологии сушки (продувкой горячим воздухом). Помимо зависимости от фактической затраты времени тепла и в конечном счете электроэнергии, качество сушек с не отлаженным режимом нагрева, также оставляет желать лучшего. Понятия скорость сушки и ее качество, в данном случае можно объединить, так как чем быстрее удаляется влага, тем полнее ее можно будет удалять в дальнейшем и соответственно повысить показатели характеризующее качество сушки. Фактически от наладки режимов сушки зависит не только общая продолжительность процесса ТВО, но и качество, а также затраченные ресурсы. Более того надежность и долговечность работы силового трансформатора, может снижаться из-за разрушения изоляции при чрезмерно долгом нагреве (старение изоляции) [47].

Зарубежные производители трансформаторов уже несколько десятилетий наблюдали и исследовали данный технологический процесс и потому имеют огромный опыт, который ООО «Тольяттинский Трансформатор» нарабатывает еще не скоро. Соответственно есть необходимость провести сравнения их результатов с фактическими значениями полученных предприятием ООО «Тольяттинский Трансформатор» на установке сушки MEIER.

В книге С.Д. Лизунова «Сушка и дегазация трансформаторов высокого напряжения» были приведены следующие данные результата работы установки сушки в парах сольвента на за рубежных предприятиях таблица 1.4. По мнению автора книги, глубокий вакуум – это фиксированное время дегазации [41].

Таблица 1.4 – Значения, достигаемые при сушке в парах сольвента

Вес изоляции в кг	Максимальная температура обмотки, °С	Время прогрева парами сольвента, ч	Время выдержки под вакуумом, ч	Остаточное давление мм рт. ст.
5500	110	55	16	0,8
4125	112	32	16	0,65
2300	115	24	16	0,6
550	110	12	16	0,55

Для сравнения будет полезно посмотреть на фактические значения рассматриваемого предприятия таблица 1.5. По ним видно, каковы условия сушки и как протекает процесс на ООО «Тольяттинский Трансформатор».

Таблица 1.5 – Фактические значения по сушкам на предприятии ООО «Тольяттинский трансформатор»

Вес изоляции в кг	Минимальная температура обмотки, °С	Время прогрева парами сольвента, в ч	Фактические средние значения времени прогрева, в ч	Выдержки под вакуумом, ч	Остаточное давление МБар
5500	120	Не регламентировано	67	4	0,1
4125	120	регламентировано	57	4	0,1
2300	120	инструкциям	44	4	0,1
550	120	инструкциям	24	4	0,1

Кроме того, с учетом опыта наблюдений за процессом сушки на ООО «Тольяттинский Трансформатор» автором бакалаврской работы было замечено следующее. Этапом, сильно отражающимся на продолжительности сушки, является набор температуры изоляции, при которой влага способна выделяться из изоляции, а это не менее 100°С. Соответственно, есть возможность сократить общее время сушки за счет более быстрого достижения этого значения. Также на всем протяжении графика сушки, скорость нагрева неодинакова и является сдерживающим фактором, так как

от температуры изоляции зависит начало выделения влаги и конец нагревания изоляции [36].

На рисунке 1.6 показана диаграмма сравнения времени затрачиваемого на прогрев парами сольвента изоляции до 100°C с группировкой по весу изоляции, на основании данных протоколов сушек за 2015 год, в часах которые показаны в приложение Д.

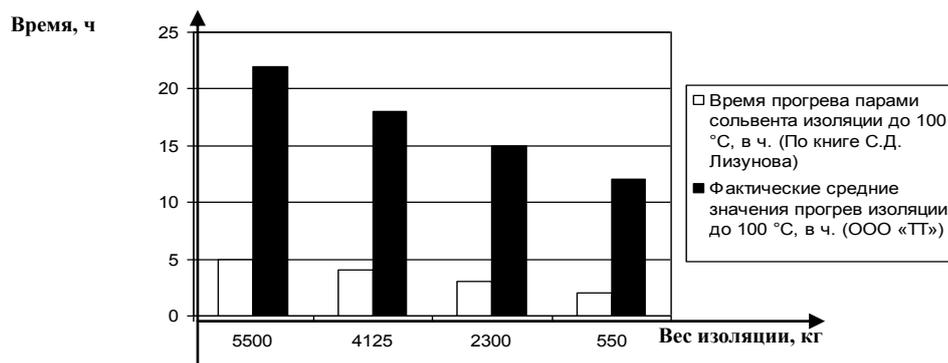


Рисунок 1.6 – Диаграмма сравнения времени, затрачиваемого на прогрев парами сольвента изоляции до 100°C, с группировкой по весу изоляции

В книге С.Д. Лизунова имеется значительное время выдержки при заданной по технологии температуры изоляции, а в случае сушек на ООО «Тольяттинский Трансформатор» продолжительность сушка ограничена только требуемым временем на прогрев до 120°C изоляции (датчик внутри). Как мы видим на представленном рисунке 2.8, скорость нагрева до 100°C быстрее в 4–5 раз, а более быстрое нагревание до заданной температуры дает еще одно преимущество – большую, чем на ООО «Тольяттинский Трансформатор», скорость сушки (высушивания) рисунок1 7 [42].

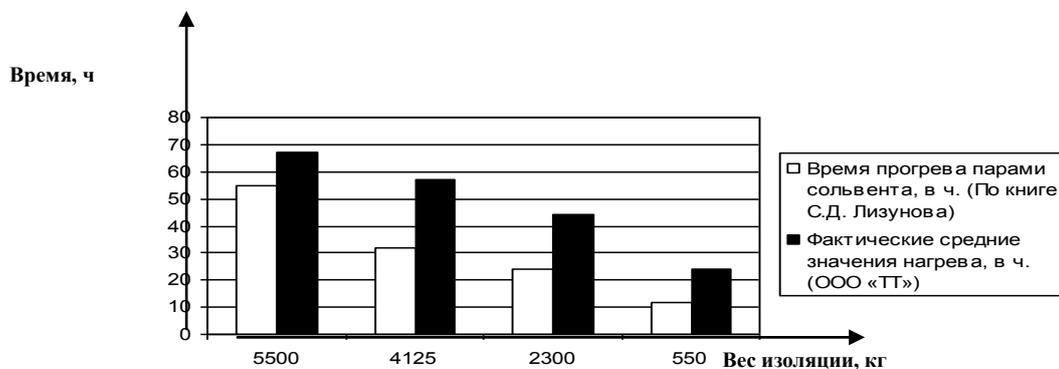


Рисунок 1.7 – Диаграмма сравнения общего времени, затрачиваемого на прогрев парами сольвента, с группировкой по весу изоляции

Если рассматривать достигаемые параметры процессов сушек, которые представлены выше, то явно видны различия, по времени, температуре и давлению. Технологи предприятия ООО «Тольяттинский Трансформатор» считают, что понижение температуры увеличит продолжительность сушки, но как мы видим продолжительность сушки с более высокими температурами не только не короче, но и значительно продолжительнее. Это объясняется тем, что в варианте описанным в книге С.Д. Лизунова значительно быстрее достигается нагрев изоляции до 100°C. Естественно раньше начинается выделение влаги, к тому же нагрев до требуемой температуры достигается быстрее и соответственно быстрее прогревается изоляция внутри, так как при повышении температуры увеличивается скорость всех протекающих процессов [50].

В начале сушки целлюлозная изоляция трансформатора содержит количество воды, которое зависит от предыдущих условий, и это количество может отличаться даже для одинаковых элементов в зависимости от их расстояния до поверхности. Под действием вакуума и тепла влага на внешней поверхности быстро испаряется. Во внутренних слоях в какой-то точке имеющих пустот, окруженной волокнами целлюлозы, вода, абсорбированная стенками, частично испаряется, пока в этой точке не установится равновесное давление при данной температуре и содержании влаги.

Следовательно, образуется разность давлений во внутренних и наружных слоях, вызывающая движение водяных паров. При высокой влажности этот поток преодолевает только сопротивление каналов вдоль волокон, соединяющих пустоты. При низкой влажности абсорбционные явления на стенках каналов будут иметь преобладающее влияние. По мере уменьшения влагосодержания, поток паров становится меньше.

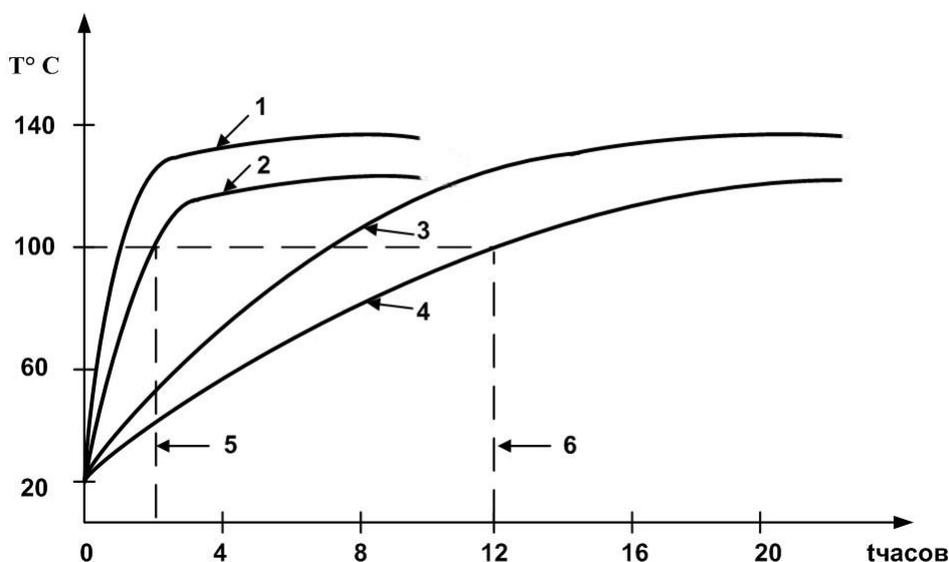
Для того, чтобы избежать возможного сохранения влаги внутри изоляции, в технологии сушки предусмотрены контрольные этапы и критерии окончания сушки таблица 1.6. При нагреве это – температура изоляции и выдержка при заданной температуре определенное время. При глубоковакуумной сушке есть набор критериев окончания сушки, которые так же свидетельствуют о качестве сушки и завершении процесса ТВО [41].

Таблица 1.6 – Критерии окончания сушки

Критерий	По книге С.Д. Лизунова	ООО «ТТ»
Время сушки	9–10 суток для 220 кв., 11–12 суток– для 500 кв	Не регламентировано
Температура изоляции	110–115°С	120°С
Сопротивление изоляции	Равенство в двух последних замерах	–
Остаточное давление	Отсутствие колебания давления (0,8–0,55 мм рт. ст.)	Менее 0.1 МБар.
Выделение воды	Отсутствие воды в конденсаторе.	Менее 10 г./т. изоляции
Точка росы	–	Менее минус 45°С

Фактически медленный нагрев – это медленное выделение воды, сначала влага испаряется с поверхности изоляции, но только после нагрева до 100°С, и только потом прогреются внутренние слои изоляции и из них,

также начнет выделяться влага. Все это показывает важность контроля изменения температуры изоляции, так как от нее зависит, как быстро из изоляции выделится влага и завершится процесс сушки. На рисунке 1.8 показано как зависит продолжительность сушки от скорости нагрева на примере сушки изоляции трансформатора 20 МВА по книге С.Д. Лизунова и изоляции трансформатора 20 МВА по данным ООО «Тольяттинский Трансформатор» [42].



- 1 – кривая подъема температуры пара растворителя (по книге С.Д. Лизунова);
- 2 – кривая нагрева изоляции трансформатора 20 МВА (по книге С.Д. Лизунова);
- 3 – кривая подъема температуры пара растворителя (данные ООО «Тольяттинский Трансформатор»);
- 4 – кривая нагрева изоляции трансформатора 20 МВА (данные ООО «ТТ»);
- 5 – достижение температуры начала испарения влаги из изоляции 100°С (данные ООО «ТТ»);
- 6 – достижение температуры начала испарения влаги из изоляции 100°С (данные ООО «ТТ»).

Рисунок 1.8 – Сопоставление скорости нагрева в паровой фазе

Термограмма нагрева изоляции при сушке трансформатора на 20 МВА (по книге С.Д. Лизунова) и на 20 МВА (по данным ООО «Тольяттинский Трансформатор»). Так же на нем отменены точки начала выделения влаги из изоляции, по которым видно, что влага раньше начинает выделяться в справочном варианте сушки и раньше заканчивает в виду более высокой температуры протекания процесса, что увеличивает кинетику сушки.

Из проведенного анализа следует вывод о том, что способ сушки используемый на ООО «Тольяттинский Трансформатор имеет большую продолжительность, при том что основная потеря времени происходит в связи с тем, что нагрев изоляции происходит значительно медленнее, чем это возможно для сушки в парах теплоносителя.

На основе анализа применяемой технологии и в результате опытной проверки, проведенной на предприятии, в работе на разработку поставлены следующие задачи:

1. Усовершенствовать технологический процесс термо- вакуумной сушки парам сольвента с учетом результатов анализа данных и исследований
2. Внести изменение систему управления параметрами технологического процесса, расширив диапазон значений путем плавного регулирования
3. Разработать мероприятия по обеспечению безопасности техпроцесса, экологическая безопасность
4. Техничко-экономическое обоснование работы, расчет эффективности предлагаемой технологии

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ, МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ ТЕРМО-ВАКУУМНОЙ СУШКИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В ПАРАХ СОЛЬВЕНТА.

2.1 Разработка технологии сушки

При выборе режима сушки необходимо исходить из рационального сочетания следующих факторов: требуемого качества высушиваемого материала, определяемого нормами требований к качеству сушки; категории режимов сушки, обеспечивающей необходимое качество сушки при заданной продолжительности процесса, и конструкции камеры, способной высушивать материал по определенной категории качества, не превышая

режимную продолжительность. Помимо технологических особенностей использования того или иного режима следует учитывать и экономические аспекты – рентабельность применения режимов разной интенсивности.

Зачастую настраивать наиболее приемлемые режимы сушки приходится опытным путем посредством выбора индивидуальных режимов по различным классам изоляции, которые приходится подбирать исходя из имеющихся на данном оборудовании его технических возможностей и мощностей оборудования. Здесь много переменных, требующих оценки и доработки с учетом корректировки на мощности нагревателя и вакуумной установки. Немаловажен и вопрос автоматизации процесса, так как она управляет последовательностью включения любого узла на установке сушке Meier предприятия ООО «Тольяттинский Трансформатор», от автоматической системы управления (АСУ) также зависят скорость нагрева и качество сушки, которые в свою очередь зависят от множества факторов, главные из них – температура теплоносителя и давление в камере.

При наладке режимов стараются подобрать оптимальный режим сушки, под которым понимается такой, при котором обеспечивается наилучшее качество высушиваемой изоляции трансформатора при минимальных затратах тепла, времени и электроэнергии. Температурный режим сушки зависит от свойств высушиваемого материала и условий технологического процесса на производстве. Чтобы процесс сушки был интенсивным и экономичным, начальную температуру агента сушки принимают максимальной в пределах, допускаемых свойствами материала [41].

Для подбора оптимального режима сушки, мы будем пользоваться методом анализа термограмм, который позволяет определить режимы сушки, обеспечивающие получение материала нужного качества (сушки, дегидратации и т.д.). По термограммам можно также найти допускаемые или необходимые температуры материала и по ним определить оптимальное количество зон сушки и принцип работы сушильной установки. Следует

отметить, что при сушке кинетика дегидратации и химических превращений в основном определяется температурой материала, т.е. длительностью его нагрева. Зная эти особенности процесса для каждого интервала температур, можно применять индивидуальный, наиболее подходящий процесс сушки.

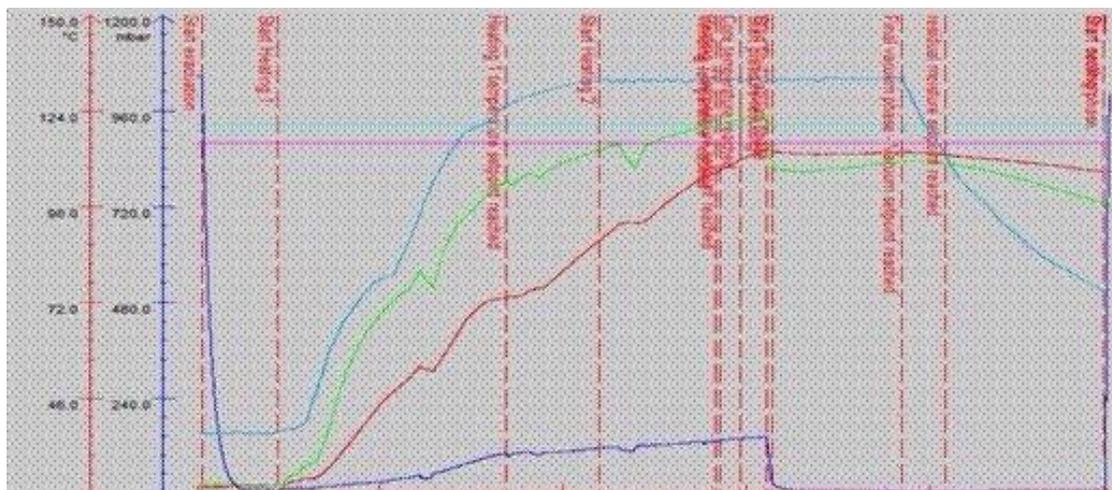


Рисунок 2.1 – График сушки изоляции силового трансформатора

Например, на рисунке 2.1 показано, как отображается график сушки изоляции силового трансформатора на 225000/220 КВА. На данный момент, службы сопровождения производства ООО «Тольяттинский Трансформатор» (СТСП) не определили набор критериев для контроля прохождения процесса ТВО. К тому же информация, которая отображается на графике в конце процесса сушки, не полностью отражает протекающие процессы при сушке изоляции. Фактически контроля прохождения процесса сушки на предприятии нет ввиду отсутствия разработанной методики и набора критериев для оценки эффективности и качественного определения прохождения процесса сушки. Имеется лишь окончательный контроль макета изоляции, установленного на активной части трансформатора в конце сушки, и запись в протокол сушки достигнутых в конце процесса ТВО окончательных параметров (температуры, давления, общего количества воды и набора критериев, свидетельствующих об окончании сушки).

На данный момент, службы сопровождения производства ООО «Тольяттинский Трансформатор» (СТСП) не определили набор критериев для контроля прохождения процесса ТВО. К тому же информация, которая отображается на графике в конце процесса сушки, не полностью отражает протекающие процессы при сушке изоляции. Фактически контроля прохождения процесса сушки на предприятии нет ввиду отсутствия разработанной методики и набора критериев для оценки эффективности и качественного определения прохождения процесса сушки. Имеется лишь окончательный контроль макета изоляции, установленного на активной части трансформатора в конце сушки, и запись в протокол сушки достигнутых в конце процесса ТВО окончательных параметров (температуры, давления, общего количества воды и набора критериев, свидетельствующих об окончании сушки).

Целью данного предложения по совершенствованию является определение требуемых критериев для контроля и создание требуемых условий, ускоряющих влагоудаление из твердой изоляции трансформаторов, с целью сокращения времени ее сушки и повышения качества твердой изоляции, то есть отсутствия трещин и деформации. Длительность сушки изоляции, как уже говорилось выше на основе изучения специальной литературы, можно достаточно точно установить только опытным путем. Общую продолжительность процесса определяют расчетом и анализом как сумму длительности сушки в период постоянной скорости и длительности ее в период падающей скорости, принимая, что падение скорости сушки во втором периоде происходит прямолинейно.

Для определения оптимальных режимов в качестве критерия оптимизации был принят минимум затрат времени и максимум выделения влаги из изоляции. Для этого была проведена серия сушек с целью нахождения оптимального способа высушивания. Экспериментальные исследования процесса сушки изоляции в парах сольвента свидетельствуют о том, что технологический процесс имеет возможности по

совершенствованию данной технологии с целью экономии не только времени и ресурсов, но и с целью повышения качества, что обусловлено более полным удалением влаги и снижением теплового износа изоляции [42].

Анализ термограмм показал, что время сушки изоляции от начальной влажности 6,5% до конечной влажности 0,1% достигается гораздо медленнее, чем это возможно. Примеры этого были рассмотрены в аналитической главе. На примере изучения других предприятий, использующих сушку в парах теплоносителя, можно сделать вывод о том, что есть возможность качественно лучше высушивать изоляцию за счет более полного удаления влаги. Этого можно добиться использованием набора определенных методик, разработанных при экспериментальных сушках, которые далее будут рассмотрены.

Одной из актуальных проблем, которую важно решить является то, что половину процесса сушки (до разогрева изоляции до температуры в 100°C) из изоляции не выделяется влага. Также заданная температура в 120°C, которая требуется для завершения фазы нагрева, достигается гораздо позже. В свою очередь недостаточность нагрева замедляет протекающие процессы при сушке, что снижает ее интенсивность и делает менее эффективной.

В ходе экспериментальных сушек было установлено, что проблема медленного нагрева связана с недостаточной температурой паров сольвента. На начальных этапах опыта предполагалось, что их можно разогреть при помощи более высоких температур в испарителе сольвента. Но фактически по результатам экспериментальных сушек оказалось, что сольвент испаряется еще до того, как успевает разогреться. Поэтому единственный способ разогреть пары сольвента – использовать более высокое давление. В таком случае сольвент испаряется при более высокой температуре, успевая прогреться и имея при этом более высокую температуру. Соответственно теплопередача при более высокой температуре увеличивается. Получается,

чтобы разогреть пары сольвента необходимо быстрее поднимать давление в камере ВСШ. На рисунке 3.2 показана зависимость температуры кипения некоторых жидкостей в зависимости от давления, так называемые «кривые упругости пара»: выше линии жидкая форма, ниже пар для ацетона, воды, сольвента и трансформаторного масла.

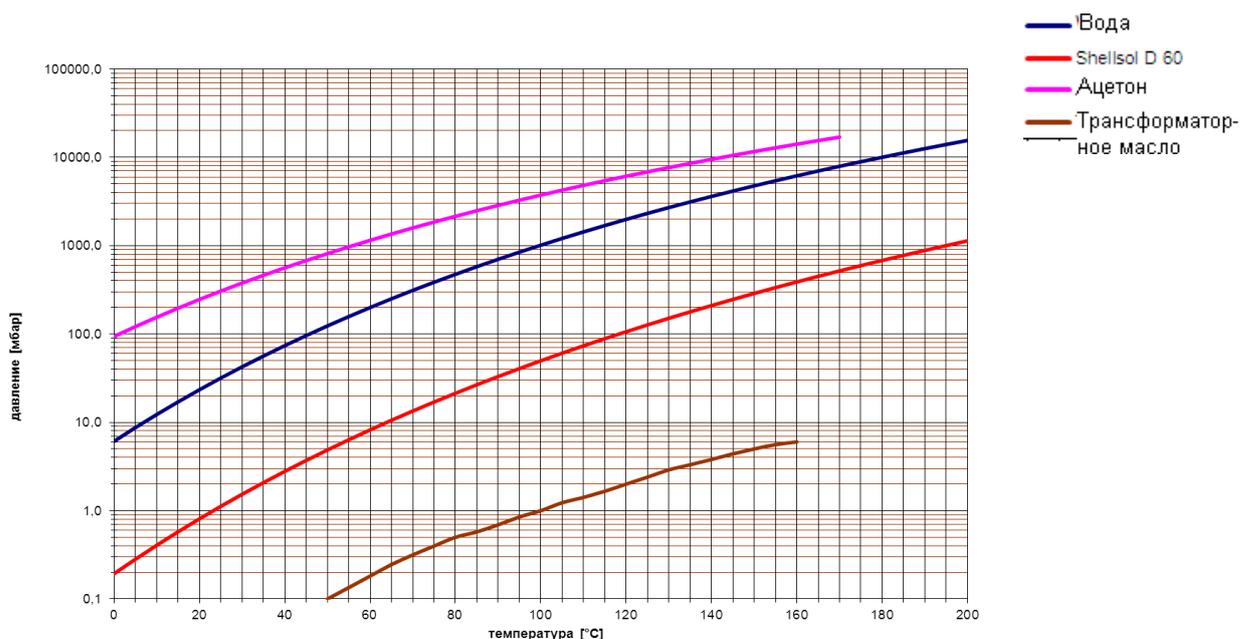
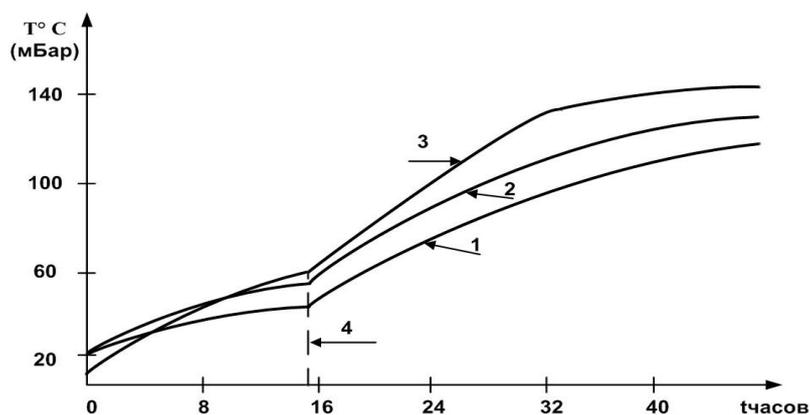


Рисунок 2.2 – Кривые упругости пара

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что при прогреве активной части для ускорения сушки будет полезно производить ускоренное повышение давления в камере, так как это способствует не только ускоренной теплопередаче, но и увеличению температуры теплоносителя (сольвента), что в свою очередь ускоряет прогрев активной части трансформатора до заданной температуры. На рисунке 3.3 показано, как изменение давления влияет на нагрев паров теплоносителя, которые в свою очередь нагревают изоляцию активной части трансформатора.



- 1 – кривая нагрева изоляции трансформатора
- 2 – кривая подъема температуры пара растворителя
- 3 – кривая подъема давления
- 4 – отмечен участок, где была увеличена скорость подъема вакуума

Рисунок 2.3 – Зависимость от изменения давления скорости нагрева изоляции

Для ускоренного повышения давления следует прикрывать задвижку насоса откачки избыточных паров. Более быстрое поднятие давления прекратится, когда скорость откачки будет равна скорости подачи паров в камеру. Фактически данная технология была опробована при экспериментальных сушках и является безопасной. Конечное максимально возможное давление в камере – 140 МБар, так как дальше испарения растворителя незначительны и не способствуют росту давления в камере, в виду того, что скорость откачки избыточных паров выше подачи растворителя в камеру [49].

При применении растворителя, который по своим характеристикам относится к легковоспламеняющимся жидкостям, теоретически существует возможность взрыва. При рабочих температурах и давлении смесь растворителя с воздухом взорваться не может даже при инициировании искрой. По этому поводу проводились специальные исследования в лабораторных условиях [42]. На рисунке 3.4 показана зависимость того влияния изменения давления на температуру теплоносителя и на границы взрываемости смеси растворителя и кислорода. Область, в которой возможен взрыв – заштрихована.

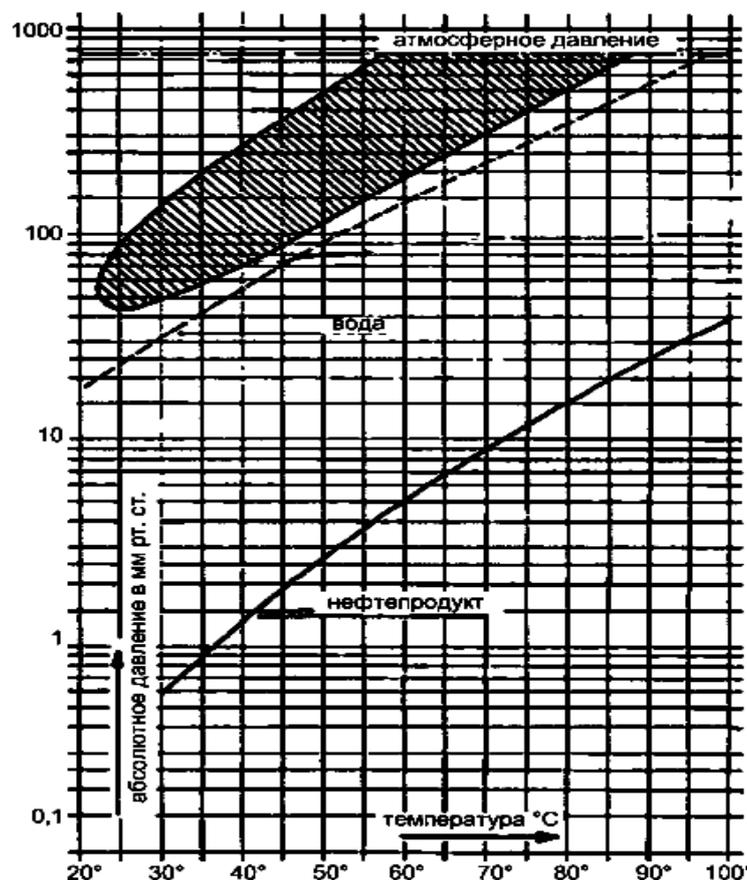


Рисунок 2.4 – Границы взрываемости смеси теплоносителя (нефтепродукта) Shellsol (солювент) с воздухом

Как видно на рисунке 2.4, если парциальное давление паров нефтепродукта больше 25 мм рт. ст. давление пара (при температуре 90°C), то в этом случае при любом суммарном давлении (в том числе атмосферном) исключается возможность взрыва, даже при иницировании его искрой. Поэтому наиболее опасным является начало сушки. Для исключения ситуации, когда воздушная среда в шкафу была бы в заштрихованной области, первоначально снижают давление в шкафу до нескольких мм рт. ст., а затем подают пары нефтепродукта в шкаф. Кроме того, в принципе невозможно даже принудительно создать требуемые условия для входа в взрывоопасную зону, так как сольвент перестанет испаряться при таком повышении давления, что в свою очередь за счет работы насоса откачки избыточных паров, вернет технологический процесс опять в рабочую зону, где снова начнет испаряться сольвент. Таким

образом, фактически приближение к взрывоопасной зоне при исправной работе установки невозможен.

Особо хотелось бы отметить, что при проведении экспериментальных сушек, было установлено, что нахождение в зоне потенциально опасной для взрыва при более быстром подъеме давления сокращается до двух раз. Другими словами, использование методики более быстрого подъема давления более безопасна с точки зрения взрывобезопасности, так как время нахождения в потенциально возможной взрывоопасной зоне сокращается.

Вакуум нужен в начале сушки для того, чтобы обеспечить взрывобезопасность за счет отсутствия кислорода. Низкое давление в начале сушки предотвращает выпадение росы на магнитопроводе, плавный подъем давления – это плавный прогрев изоляции. После прогрева обмотки, вакуум, который создает разность давлений между внутренними и наружными слоями изоляции, способствует выходу влаги на поверхность.

Каждый режим сушки делится на два основных этапа: прогрев обмотки, когда обмотка нагревается до необходимой температуры и создаются условия, благоприятные для выхода влаги, и собственно сушка, когда из обмоток удаляется большая часть влаги. Остаточное давление в шкафу стремятся понизить до минимально возможного менее 0,1 МБар., то есть создают глубокий вакуум. Кроме того, наличие вакуума понижает температуру парообразования, т.е. переход влаги в газообразное состояние. Это позволяет значительно сократить время сушки и, главное, при сравнительно невысокой температуре лучше высушить изоляцию (до десятых долей процента влажности). Чем меньше остаточное давление в шкафу, тем лучше показатели сушки [41].

2.2 Совершенствование технологии термо- вакуумной сушки масляных силовых трансформаторов

Как уже говорилось выше, в способе сушки, который сейчас используется на ООО «Тольяттинский Трансформатор», характерно медленное, нединамичное прохождение процесса сушки с медленным подъемом давления и вследствие этого долгим прогревом изоляции. Сушка с медленным подъемом давления в камере не экономична из-за больших потерь тепловой энергии с нагретыми парами теплоносителя, затягиваемыми насосами в вакуумную систему, где они охлаждаются, после чего попадают в сепаратор. Как описывалось при анализе теплового воздействия на изоляцию, длительное по продолжительности нагревание способствует более значительному разрушению целлюлозной изоляции, что в свою очередь сокращает сроки эксплуатации.

При более детальном анализе было определено, что прогрев изоляции происходит очень медленно, примерно в 2 раза дольше, чем на это требуется времени по данным в книге С.Д. Лизунова «Сушка и дегазация трансформаторов высокого напряжения». Учитывая то, что влага из изоляции начинает выделяться только после достижения значения температуры изоляции (по датчику установленному в изоляции) 100°C . Фактически выходит, что все время до достижения этого значения температуры требуемой для выделения влаги из изоляции обмотки скорость сушки столь мала, что ей можно пренебречь и считать равной нулю [41].

Кроме этого, есть определенные участки на термограмме сушке, где скорость нагрева очень мала (1°C в час и менее). Объясняется это тем, что количество тепловой энергии передаваемой изоляции недостаточно для требуемого нагрева ($10 - 15^{\circ}\text{C}$ в час). А если учитывать, что подогрев камеры должен осуществляться в такой степени, чтобы была хорошая циркуляция паров в камере, то можно предположить, что она недостаточна и ее можно добиться посредством большего нагрева термического масла, и соответственно можно предложить увеличение температуры термического масла для увеличения скорости нагрева. Кроме того, как предлагалось в разделе 3.1 данной дипломной работы, была сокращена скорость откачки

избыточных паров из ВСШ путем призакрытия задвижки с уровня открытия 20% до 18%, что требовалось сделать по результату анализа, проведенного во второй главе. Выполнение предлагаемой проектной методики позволяет повысить температуру паров испарения сольвента, что увеличило коэффициент теплопередачи и, как следствие, увеличилась скорость нагрева изоляции.

В ходе наблюдения за экспериментальными процессами сушки была установлена явная польза использования более высокой температуры нагревательного масла испарителя/циклона рисунок 2.5 и по согласованию с технологами ее увеличили. В таблице 2.1 приведены данные об изменениях температуры термического масла.

Параметры испарителя / циклон	Ном. время	Факт. время	Ном. значение	Факт. значение
Уровень наполнения испарителя перед фазой нагрева I (5.1.5)	70	%	0	%
Уровень наполнения испарителя во время фаз нагрева I и II (5.1.5)	62	%	0	%
Макс. уровень испаритель (5.1.5)	90	%	0	%
Мин. подача сольвента к испарителю (5.1.2)	0	л/ч	0	л/ч
Макс. разница между ном.и факт.значением 3-ходового клапана сольвента (2.3.14)	50	%	50,00	%
Температура испарителя в фазе нагрева I (5.1.3)	130	°C	27,9	°C
Температура испарителя в фазе нагрева II (5.1.3)	140	°C	27,9	°C
Температура циклона в фазе нагрева I (5.2.4)	130	°C	26,7	°C
Температура циклона в фазе нагрева II (5.2.4)	150	°C	26,7	°C
Перегрев испарителя (5.1.3)	155	°C	27,9	°C
Перегрев циклона (5.2.4)	170	°C	26,7	°C
Превышение температуры в линии подачи пара в камеру (5.2.9)	150	°C	23,1	°C

Рисунок 2.5 – Температуры нагревательного масла испарителя/циклона

Таблица 2.1 – Максимально допустимые температуры термического масла

Фаза нагрева	Как было в °C	Как стало в °C
Нагрев 1 испаритель	130	155
Нагрев 2 испаритель	140	160
Максимальная допустимая температура испарителя	160	165
Нагрев 1 циклон	130	155
Нагрев 2 циклон	150	165

Максимально допустимая температура циклона	160	170
--	-----	-----

Изменение температуры термического масла позволило увеличить подачу сольвента в испаритель примерно на 1000 литров в час, что соответственно повлияло на концентрацию паров и скорость нагрева изоляции. Фактически изменение температуры термического масла и сокращение скорости откачки избыточных паров из ВСШ позволило сократить общую продолжительность нагрева и в итоге всей сушки на 20% .

Основным отличием новой технологии от традиционной является применение специальных методик, ускоряющих сушку изоляции, а также использование индивидуальной технологической программы процесса ТВО для каждого класса изоляции. Эффективность новой технологии подтверждена результатами сушек изоляции различных трансформаторов и результатами анализа в электротехнической лаборатории на макетах изоляции. Сравнение результатов исследования макетов изоляции после сушки изоляции трансформаторов разной мощности показало, что по результатам анализа в лаборатории остаточное влагосодержание влаги макета изоляции всегда одни и те же – 0,1% влагосодержания. Это объясняется тем, что в конце сушки автоматика отслеживает показатели изоляции, не предлагая завершить процесс сушки до достижения требуемой степени высушивания, которая определяется точкой росы, давлением менее 0,1 МБар и остаточным влаговыделением [49].

Для дальнейшего совершенствования процесса сушки рассмотрим термограммы сушки, по ним можно выделить основные этапы процесса ТВО. Это позволяет более точно найти причины недостаточно быстрого нагревания изоляции и как следствие недостаточного влаговыделения.

Таблица 2.2 – Разработанная таблица термограммы процесса сушки

200/220 МВА	Подгото вка насосов	Нагрев						Пониже ние давлени я	Вакуу мная сушка	Все го
		1	2	3	4	5	6			
Этап	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Обмотка °С	20	20	65	100	106	118	121	107	105	121
Магнит °С	20	20	50	80	95	114	116	115	111	116
Стенки °С	20	20	67	110	115	120	122	120	100	122
Давлен МБар	140	7	23	85	85	126	135	10	1	135
Пары °С	20	70	85	120	120	133	132	97	26	133
Время сушки в ч	0	3	9	11	7	18	4	1	19	72
Кол воды в лит.	0	0	39	68	124	190	196	249	284	284

В таблице 2.2 показана форма разработанной термограммы процесса сушки. Данная методика отображения данных показывает основные этапы, которые достигаются во время сушки в парах сольвента, а именно:

- 1) подготовку вакуумных насосов (начало процесса сушки)
- 2) начало нагрева 1
- 3) завершение нагревания магнитопровода до 50°С (включение нагрева стенок)
- 4) начало 1 выдержки в течении 7 часов при температуре пара сольвента 120°С
- 5) начало нагрева 2
- 6) начало 2 выдержки 3,5 часов пар сольвента достиг 133°С
- 7) конец выдержки 2 (завершение процесса нагрева)
- 8) понижение давление

9) завершение вакуумной сушки (завершение процесса ТВО)

По разработанной таблице 3.6 термограммы процесса сушки построим графическую термограмму процесса сушки рисунок 1.

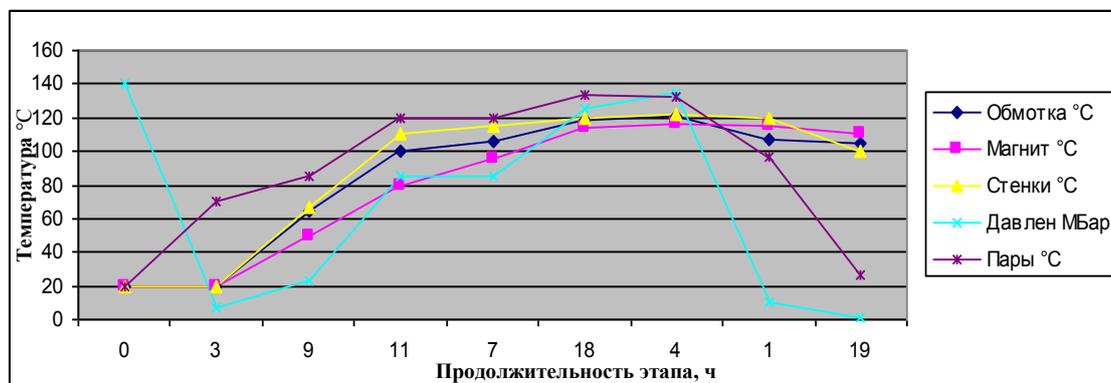


Рисунок 2.6 –Термограмма процесса сушки

Далее по разработанной термограмме изучим те участки, где нагрев происходит крайне медленно и требует более детального рассмотрения, с целью создания требуемых условий для нагрева и сушки изоляции. Во время прогрева, как мы видим есть участки, где нагрев очень медленный. Это начало нагрева, где происходит нагревание магнитопровода до 50°С, выдержки 1 и 2, и конец нагрева.

В начале сушки медленный нагрев связан с низкой температурой стенок шкафа. Как показали наблюдения, в начале нагрев ведется только парами теплоносителя, поскольку существует ограничение в том, чтобы производить нагрев стенок сушильного шкафа только после достижения температуры магнитопровода 50°С. Это необходимо для того, чтобы предотвратить обильную конденсацию паров воды на магнитопровод, что может привести к ржавчине. Так как раствор нагревает не только активную часть трансформатора, но и весь сушильный шкаф, нагрев в начале протекает довольно медленно. Однако, как показал опыт эксплуатации, вероятность возникновения ржавчины невелика: за год наблюдений не было отмечено ни одного случая выпадения росы [41].

Кроме того, проводилось наблюдение за тем, что при неисправности датчика включения нагрева шкафа, нагрев его стенок включался и раньше

температуры 50°C. При этом не было замечено ржавчины и, следовательно, не было конденсации росы. Была проведена серия экспериментальных сушек для того, чтобы оценить вероятность возникновения конденсации росы на магнитопроводе. Исследование показало, что это невозможно по физическим причинам, а именно из-за низкого давления в камере, в связи с чем влага не может перейти в жидкую форму и сконденсироваться. Об этом свидетельствуют данные, приведенные на рисунке 2.7.

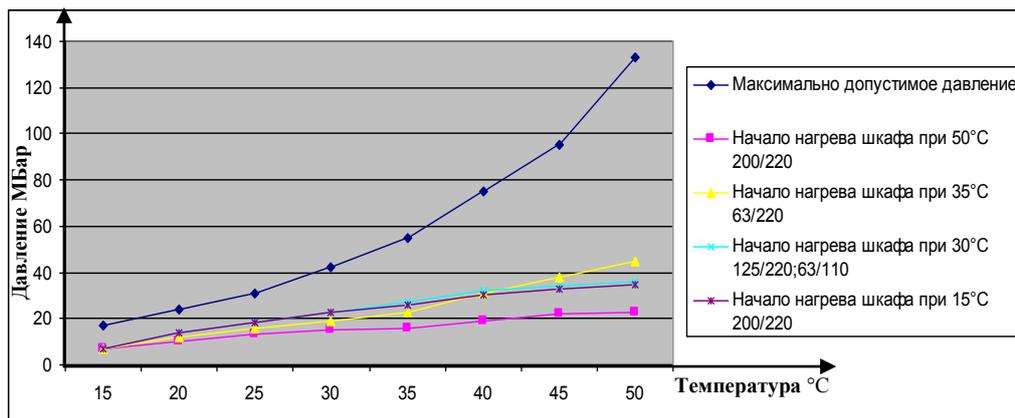


Рисунок 2.7 – График изменения давления, требуемого для конденсации росы в зависимости от температуры магнитопровода

На рисунке 2.7 представлены значения давления и температуры, при которой будет конденсироваться роса на магнитопровод (верхняя линия). Как следует из представленных кривых нагрева магнитопровода, в какой бы момент ни включился нагрев стенок шкафа, роста давления будет недостаточно для выпадения росы ввиду низкого давления в камере.

В конце сушки медленный нагрев связан с тем, что шкаф не прогрелся выше 120°C, поскольку неравномерно настроен нагрев стенок камеры. Согласно датчику температуры двери, температура в ВСШ равняется 130°C, при фактической 120°C и нагрев стенок прекращается не достигнув заданной температуры. Это разумеется сказывается на общей динамике нагрева. Сольвент начинает нагревать не только активную часть трансформатора, но и стенки шкафа из-за чего нагрев значительно затягивается. Например, при наблюдении была замечена скорость нагрева менее 1°C в 4 часа. Также были случаи того, что по согласованию с

технологами получалось не достигать последнего градуса нагрева, поскольку сушка уже фактически завершилась, влаговыделение прекратилось, но заданная температура так не была достигнута [49].

Что касается выдержек 1 и 2, то нагрев 1 проводился до $120\pm 1^\circ\text{C}$ температуры пара сольвента после чего начинается первая выдержка в течение 7 часов. Именно от того, как будет проводиться эта выдержка в целом, во многом зависит общее количество влаги, выпаренной из изоляции и время протекания процесса сушки для нагрева до заданной температуры изоляции.

Во время выдержки также целесообразно применение пониженного давления, поскольку есть участки процесса сушки, где не должна расти температура. К примеру, автоматика при условии того, что начинает расти температура пара во время выдержек при определенной температуре теплоносителя, понижает температуру нагревательного масла в испарителе, выравнивая температуру с требуемой по условию в 120°C .

Для того, чтобы во время выдержки не происходило замедление нагрева и скорости сушки (выделение влаги/время), целесообразно приоткрывать задвижку насоса откачки натекания настолько, чтобы вакуум не поднимался выше 95–100 МБар. После завершения выдержки задвижка насоса возвращается в исходное положение, где опять же для ускорения нагревания изоляции можно использовать более быстрое повышение давления. В этот момент можно выполнять также многоцикличное вакуумирование до 20 МБар, или увеличение скорости откачки натекания из ВСШ. Все эти действия направлены на то, чтобы не допустить рост давления и, как следствие, температуры пара сольвента, которые потом будут достигаться отключением нагрева термического масла, после чего нагрев замедляется. Обеспечение постоянного давления в камере все те же 7 часов выдержки, а следовательно и постоянной температуры пара, сохраняет скорость нагрева и увеличивает количество выделившейся влаги,

которые обусловлены более высокой температурой и активной откачкой избыточных паров влаги из камеры ВСШ.

Для сушки изоляции в парах сольвента после нагрева активной части до установившейся температуры обмотки до 120°C целесообразно для ускорения сушки быстро снизить температуру внешних слоев изоляции отключением нагрева испарителя и понизив давление в камере (применить так называемую термодиффузию). При быстром охлаждении внешних слоев изоляции внутренние слои изоляции не успеют сильно остыть и их температура будет выше температуры внешних слоев. Таким образом, понижение температуры по слоям будет совпадать с направлением удаления влаги, что значительно ускорит процесс сушки. Температуру внутренних слоев можно приблизительно считать равной температуре магнитопровода. После окончания цикла термодиффузии активная часть прогревается до прежней температуры и производится сравнение значений влаговыделения до и после термодиффузии. В зависимости от полученных результатов принимается решение о втором цикле термодиффузии или об окончании сушки [41].

По достижении заданной температуры изоляции 120°C насос откачки натекания включается на понижение давления и осуществляется переход на глубоковакуумную сушку. Сушка продолжается с пониженным давлением до момента, когда влаговыделение не будет замедляться, что указывает на близкое окончание сушки. После вакуум поднимается до предельно допустимого – до 0.1 МБар.

2.3 Предложение и обоснование методики контроля процесса ТВО с целью повышения качества сушек изоляции в парах сольвента

При организации любого производственного процесса возникает задача установки предельных технологических характеристик качественного и количественного анализа, в рамках которых произведенная продукция удовлетворяет всем требуемым характеристикам. Контроль

качества от начального этапа производства (поступления сырья) до конечного этапа (отгрузки готовых трансформаторов) проводится на основе предписаний нормативной документации (НД) [8].

При контроле качества процесса сушки в производстве принято определять и отслеживать технологические параметры, с помощью которых можно осуществлять и проводить контроль за ходом самого процесса и отслеживать состояние высушивания изоляции активной части трансформатора.

В процессе сушки изоляции постоянно возникает необходимость технического контроля над своевременностью и правильностью проведения каждой из операций сушки. Существует ряд методов и приемов определения завершения того или иного этапа процесса сушки, основанных на определении характерных показателей физических свойств изоляции, таких как степень нагретости и прогретости изоляции и, как следствие, ее влаговыделение, которое отслеживается по выделению влаги [12].

Грамотное использование методики контроля позволяет определить в различные моменты сушки влажность изоляции еще до завершения технологического процесса сушки, при этом не требуется отбор лабораторных проб. Данная методика имеет особую актуальность, ведь отбор проб в принципе невозможен до завершения процесса сушки, а значит есть угроза неполного высушивания, если не отслеживать влажность изоляции. Возможность контроля процесса сушки является насущной проблемой, для ее решения можно предложить использование скорости и степени влаговыделения, что позволяет проводить изучение всего хода сушки в динамике по критерию влажности. Что также позволяет сделать вывод об оставшемся количестве воды для высушивания в изоляции и принимать решение о целесообразности применения методики для увеличения влаговыделения из изоляции (промежуточные понижения давления, процесс термодиффузии) [37].

В таблице 2.3 показаны предлагаемые нормативные показатели процента выделения влаги из изоляции при процессе ТВО для контроля по предложенной методике контроля остаточной влажности в конце стадии нагрева изоляции и перед завершением процесса ТВО (в конце глубоковакуумной сушки) по результатам наблюдения за значениями выделения влаги из изоляции.

Таблица 2.3 – Предлагаемые нормативные показатели процента выделения влаги из изоляции при процессе ТВО

Вес изоляции в кг (максимально возможное содержание влаги 6,5% от веса изоляции)	В конце нагрева изоляции выделение влаги не менее в л (3% влаги от веса изоляции)	В конце глубоковакуумной сушки выделение влаги не менее в л (0,7% влаги от веса изоляции)
1	2	3
5500	165	200
4125	124	150
2300	69	80
550	17	20

По опыту эксплуатации установки сушки можно сделать вывод, что в среднем из изоляции выделяется примерно одинаковое количество воды (3,7 % от веса изоляции активной части). Таким образом, предлагается в конце нагрева контролировать влаговыведение, которое должно быть не менее 3% от веса изоляции. Оставшееся количество воды 0,7 % можно высушивать при переходе на глубоковакуумную сушку.

С целью контроля процесса сушки изоляции требуется проводить отслеживание параметров нагревательной среды, которыми являются теплоноситель (сольвент), температуры по всей установке и изоляции, а также давление в камере и во всех емкостях, а также отслеживание выделения влаги из изоляции в ходе процесса сушки на всех ее этапах,

описанных в технологических инструкциях. При необходимости следует предпринимать соответствующие меры, чтобы вернуть ход прохождения процесса сушки, так как это предусмотрено технологией сушки [49].

Поскольку следить за сотней параметров и значений для человека невозможно, используется автоматическая система управления (АСУ). За правильностью работы всей установки и АСУ следит оператор поста управления. Настройка параметров температуры сушильного агента, скорость его подачи и давление регулируются в процессе отладки системы нагрева, вакуумной системы, системы охлаждения, за которыми осуществляется контроль посредством задвижек с пневматическим приводом. Также шкаф оснащен системой контроля процесса сушки.

Для контроля правильности прохождения технического процесса сушки на все время сушки у пульта управления устанавливается непрерывное дежурство. Дежурный производит контроль сушки с записью в журнал, где производит через каждый час запись показаний электроизмерительных приборов, температур обмоток и остова (через каждые 1 – 2 часа). Дежурный отмечает также время подачи и снятия напряжения от источника питания, время загрузки и выгрузки активной части, работы оборудования и замечания по сушке изоляции. В протокол сушки, кроме того, должны быть занесены технические данные машины и данные, характеризующие процесс сушки (достигнутые температуры и остаточное давление, количество выделившейся воды, точка росы, остаточное влаговыделение) [8].

Особое внимание следует уделять температурному режиму сушки. Минимальный и максимально допустимый температурные режимы при сушке не должны нарушаться:

- для обмоток с бумажной изоляцией класса предельно допустимой температурой нагревающей среды считается 135°C;
- ограничение по скорости нагрева для активной части с переключающим устройством не более 15°C в час;

Кроме того, на отдельных этапах сушки следует следить за переходом на этапы процесса сушки такие, как время включения нагрева стенок шкафа, переход с этапов нагрева 1 или 2 на выдержку. Также важно контролировать скорость нагрева изоляции до 100°C и правильно определить тот момент когда переходить на глубоковакуумную сушку. На данный момент этот выбор зачастую приходится делать оператору бессистемно, основываясь лишь на своем опыте работы.

Измерение температуры активной стали магнитопровода и изоляции обмоток производится по термопарам, установленным на активной части, для чего они перед сушкой должны быть установлены в имеющиеся пазы для охлаждения с целью контроля.

Контролируемые показатели, такие как температура и давление в камере, определяют по показаниям приборов сушильной камеры. Количество выделившейся влаги в процессе сушки можно определить по уровню воды собранной в сепараторе, где откаченные из камеры пары охлаждаются и собираются, а потом в виду разных плотностей воды и сольвента происходит их разделение. По количеству выделения влажности можно отслеживать с большой точностью общее количество выделяющейся воды в течение всего времени сушки. В процессе сушки изоляции активной части трансформатора необходим периодический или непрерывный контроль за влажностью изоляции и температурой и скоростью движения теплоносителя (сольвента) сушки. Его определяют по расходомеру и уровнемеру [41].

Автоматика сушильной камеры выполняет функции системы контроля, но с возможностью управления системами циркуляции, нагрева, узлами и вакуумной системы в соответствии с заданной технологией сушки изоляции. При использовании автоматики управление обеспечивают клапана с пневматическим приводом на протяжении всего процесса сушки без участия оператора. Автоматика гарантирует соблюдение необходимых режимов сушки круглосуточно. Однако она действует только согласно

прописанной программе и неспособна анализировать происходящую ситуацию, в случае сбоев, а также возникающих неполадок. В связи с этим возникает техническая сбой в работе, который делает невозможным завершение работы установки и выполнение технологического процесса.

Управление сушильной камерой заключается в поддержании заданной по режиму температуры, степени нагретости и потока подачи сушильного агента, а также своевременное изменение этих параметров в зависимости от сложившейся ситуации с целью более качественного удаления влаги из изоляции и оптимизации процесса сушки [42].

Температуру сушильного агента в камерах с жидким теплоносителем регулируют открытием задвижек с пневматическим приводом системы нагрева с целью нагревания сольвента в испарителе. Для соответствующей циркуляции потока паров теплоносителя и выпаренной воды, термическое масло нагревает испаритель и камеру до требуемой температуры, после чего задвижки перекрывают подачу термического масла до тех пор, пока температура не понизится и их снова не потребуется открыть задвижку для лучшей циркуляции паров теплоносителя. Во время работы установки данные задвижки большую часть времени находятся в открытом состоянии и только при превышении максимально допустимых температур для текущего этапа процесса нагрева эти задвижки перекрываются автоматикой. По такому же принципу работают задвижки управления давлением в камере, где скорость откачки регулируется степенью открытия задвижек вакуумной системы.

Перед процессом сушки на активной части трансформатора устанавливаются три макета изоляции для контроля влажности сразу после завершения процесса ТВО. Макет изоляции проходит проверку на влагосодержание в электро-технологической лаборатории. Приемлемым считается влагосодержание менее 0,5% [1].

Сушка должна производиться при температурах, близких к максимально допустимым, во всяком случае не ниже 105 °С. Из-за большой

массы активной стали и ее корпуса повышение их температуры происходит сравнительно медленно – за 16-24 часа и больше. Медленный прогрев машины может создать ложное впечатление, что при выбранном режиме не будет достигнута нужная температура, к тому же при большой продолжительности процесса сушки при низкой температуре изоляции из-за медленного нагрева изоляции появляется уверенность в высушивании изоляции, даже не смотря на то, что выделилось сравнительно мало воды из изоляции

Во время нагрева поддержание температуры осуществляется двумя ступенями нагрева, работающими в автоматическом режиме с целью обеспечения более глубокого прогрева изоляции:

- первая ступень – при температуре паров нефтепродукта (сольвента) 120°С с выдержкой в течение 7 ч;

- вторая ступень – при температуре паров нефтепродукта (сольвента) 133°С с выдержкой в течение 3,5 ч, при этом должны быть достигнута температура остова – 115°С с выдержкой в течение 2 ч и температура обмотки – 120°С без выдержки по времени.

Фактически сушка продолжается до тех пор, пока оператор не убедится в том, что все требуемые критерии, свидетельствующие о высушивании, достигнуты. После этого оператор имеет право завершить процесс сушки или перейти в режим хранения до тех пор, пока бригада сборки не будет готова принять активную часть для дальнейшей сборки.

Критериями окончания глубоковакуумной сушки служат:

- остаточное давление внутри камеры ВСШ не более 0,1 мбар (0,01 кПа);

- минимальная продолжительность глубоковакуумной сушки – 4 часа (при давлении внутри камеры ВСШ не более 0,1 МБар (0,01 кПа);

- температура по датчику точки росы (позиция 3.2.3) менее минус 45°С;

— интенсивность образования конденсата воды, контролируемая по градуированной колбе поз. 3.9.3 менее 10 грамм на тонну изоляции.

Правильность действий оператора проверяется работником группы контроля СТСП. По окончании процесса ТВО необходимо заполнить технологический паспорт, форма которого приведена в **приложение 3**. Далее макет изоляции отправляется в электро-технологическую лабораторию для оценки влагосодержания (форма заказа представлена в **приложении И**) [49].

При ТВО в ВСШ (одинарный или двойной процесс) оператор должен следить за следующими параметрами, с записью их в журнале протоколов:

- температура в ВСШ и давление в нагревательной системе – каждый час;
- величина давления в ВСШ, количество конденсата – каждые 2 ч;
- величина остаточного давления в ВСШ при сушке;
- время выгрузки и температуру в ВСШ при выгрузке;
- осмотр активной части после ТВО на предмет механических повреждений.

В таблице 2.4 представлены предлагаемые нормативные показатели времени нагрева для различных трансформаторов. Значения времени процесса ТВО сгруппированы согласно предлагаемой проектной методике на основе теоретически отобранных данных по подготовке, времени нагрева, понижению давления и глубоковакуумной сушке. Так же в данной таблице произведен расчет средней скорости нагрева обмотки (внутренней) с 20°C до 120°C за общее время разогрева обмотки.

Таблица 2.4 – Предлагаемые нормативные показатели времени нагрева для различных трансформаторов

Мощность в МВА	Напряжение в КВ	Общее время сушки в ч	Из этого времени на:					Скорость нагрева обмотка °C/ч
			Подготовка в ч	Разогрев обмотки	Общее время на нагрев не менее в ч	Понижение давления в ч	Сушка глубоковакуумная ч	

				в ч				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
5 – 39	35	35	3	4	16	5	11	25
5 – 39	110	40	3	8	20	6	11	13
40– 150	110	48	3	12	24	7	14	8
151– 250	110	60	3	16	28	8	21	6
25– 200	220	74	3	20	32	9	30	5
250– 500	220	88	3	24	36	10	39	4

В таблице 2.4 представлены значения для контроля прохождения процесса сушки, которые были разработаны на основе общепринятых значений, получаемых при сушке изоляции в парах сольвента, рассмотренных в справочных вариантах и в руководстве по эксплуатации. Их отличие заключается в прогреве изоляции за 12 часов до завершения нагрева изоляции, что позволяет более полно удалять влагу из нее. При этом в виду того, что нагрев происходит быстрее, появляется возможность сокращения общей продолжительности сушки. Кроме того, есть больше возможностей для использования промежуточных понижений давления и способов сушки с применением термодиффузии. В таблице 3.5 для сравнения представлено фактическое, среднее по группе, время нагрева для различных трансформаторов (базовый вариант).

Таблица 2.5 – Фактическое время нагрева для различных трансформаторов среднее по группе

Мощность в МВА	Напряжение в КВ	Общее время сушки в ч	Из общего времени на:				Скорость нагрева обмотки °С/ч
			Подготовка в ч	Время на разогрев обмоток и общее время нагрева в ч	Понижение давления в ч	Сушка глубоководная в ч	
1	2	3	4	5	6	7	8
5 – 39	35	34	3	24	1	6	4.2
5 – 39	110	50	3	38	1	8	2.6
40–150	110	62	3	44	1	14	2.2
151–250	110	73	3	57	1	12	1.7
25–200	220	72	3	54	1	14	1.9
250–500	220	89	3	67	1	18	1.5

По таблицам 2.4 и 2.5 отобразим информацию по нагреву в виде рисунка 2.8.

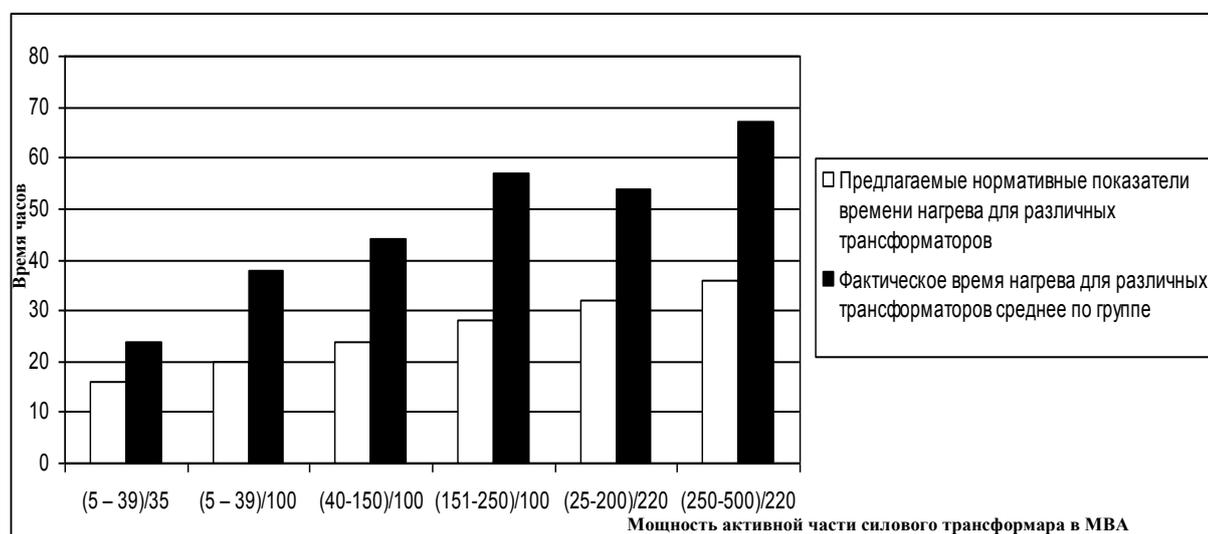
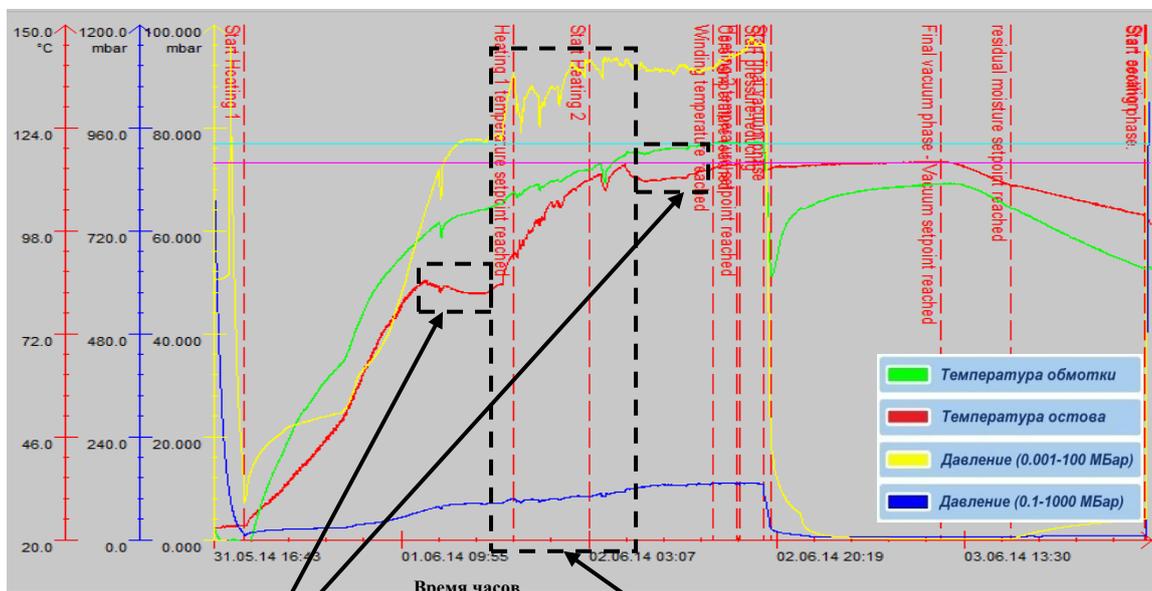


Рисунок 2.8 – Общее время на нагрев согласно предлагаемой проектной методики, для различных трансформаторов, в сравнение с имеющейся (базовой)

Чтобы подтвердить правильность предложений по совершенствованию процесса ТВО или их опровергнуть, были проведены

экспериментальные сушки изоляции. На рисунке 2.9 рассмотрено применение разработанного метода оптимизации режимов сушки изоляции в течение 12 часов, что имеет подтверждение в протоколе сушки. На рисунке 2.9 показано:

- 1) Использование предлагаемых настроек автоматики (АСУ) – температуры термического масла по нагревательным контурам.
- 2) Использование методики регулирования давления – поэтапное увеличение скорости откачки путем открытия регулируемой заслонки с 18% до 22%, как и предложено во время выдержки, когда должна поддерживаться постоянная температура паров теплоносителя.



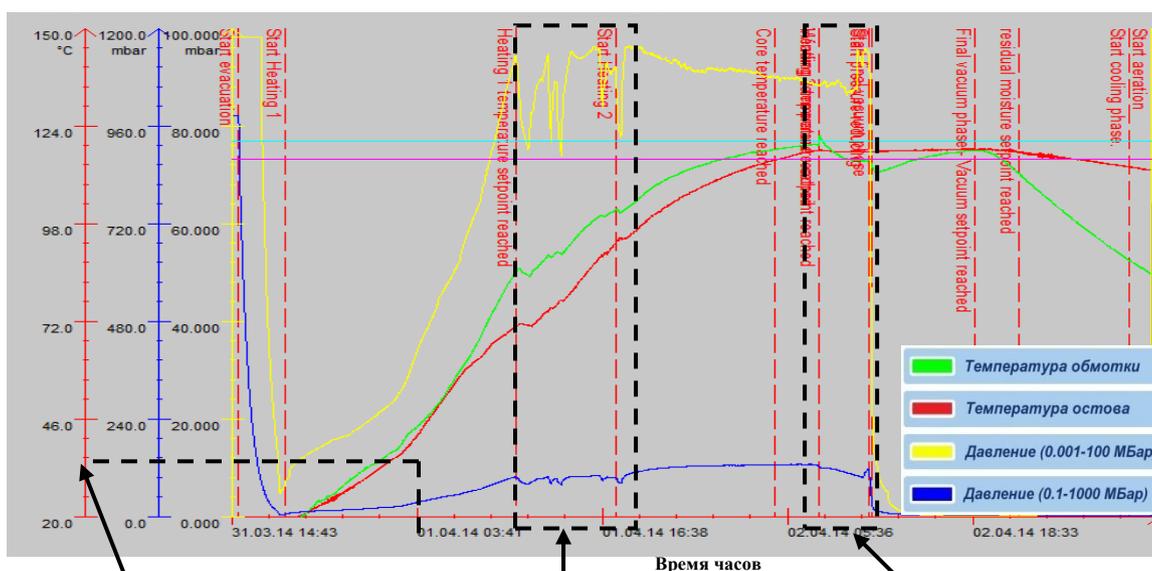
Участки нагрева с исходными настройками (как видно, нагрев изоляции не контролируется (АСУ) маслом

Регулирование давления – путем открытия регулируемой заслонки с 18% до 22% и автоматики по температуре термического

Рисунок 2.9 – Применение разработанного метода оптимизации режимов сушки изоляции в течение 12 часов

На рисунке 2.10, показано применение разработанного метода оптимизации режимов сушки изоляции в течение всей сушки, что имеет подтверждение в протоколе сушки. На рисунке 2.10, показано:

- 1) Использование предлагаемых настроек автоматики (АСУ) – температуры термического масла, по нагревательным контурам.
- 2) Включение нагрева шкафа не при 50°C, а уже при 35°C.
- 3) Использование методики регулирования давления и использование промежуточных понижений давления.
- 4) Использование термодиффузии.
- 5) Использование методики контроля по предлагаемым нормативным показателям.



Начало нагрева стенок испарителя шкафа уже при 35 С
 Промежуточные понижения давления для термодиффузии
 Отключение нагрева

Рисунок 2.10 – Применение разработанного метода оптимизации режимов сушки изоляции

Все вышеописанные способы совершенствования процесса ТВО показали повышение производительности ВСШ, снижение удельной себестоимости, уменьшение отклонения конечной влажности изоляции, а также увеличение выделения влаги и повышение качества сушки.

Можно сделать вывод, что от того, как пройдут выдержки зависит, сколько удастся выпарить влаги из изоляции и как быстро удастся разогреть изоляцию. На рисунке 2.10 было рассмотрено применение разработанного метода оптимизации режимов сушки изоляции в течение 12 часов, что

сократило продолжительность сушки на 14 часов и увеличило выделение влаги с 3,7% (средние значения) до 4.6%.

В ходе экспериментальных сушек было установлено, что при использовании промежуточного понижения давления при первой выдержке и термодиффузии при второй выдержке, увеличили выделение влаги из изоляции активной части со средних показателей 3,7% до 5,1%.

Следовательно остаточное влагосодержание сократилось на 1,4 %, кроме того на 14 часов сократилась продолжительность сушки

Проведенные экспериментальные процессы сушки изоляции различными способами (с разной температурой и давлением) позволили сделать следующие выводы и предложения.

Среди способов сушки наибольшее значение имеют технологии, в которых сочетаются различные формы нагрева и понижения давления при сушке изоляции. Разработанный режим нагрева позволяет сократить время сушки по сравнению базовым способом сушки на 14 часов.

На основе полученных данных был подобран и определен оптимальный режим сушки, была разработана проектная методика сушки. Разработанный новый режим сушки который позволяет повысить не только скорость высушивания, но и повысить качество сушек посредством многоступенчатого режима сушки и путем создания требуемых условий для выделения влаги из изоляции.

По разработанным термограммам подобраны настройки автоматики процесса сушки по нагреву испарителя сольвента и давление в камере для различных периодов сушки, таких как прогрев, постоянная и падающая скорости сушки. Подобраны наиболее подходящие температуры при сушке с учетом специфики проведения процесса сушки в парах теплоносителя.

Предлагаемые практические рекомендации в технологическом процессе ТВО в производстве трансформаторов приводят к снижению затрат времени и электроэнергии с одновременным повышением качества высушивания по выделению влаги и сокращению степени старения

изоляции. Тем самым увеличивается срок эксплуатации трансформатора, что соответствует требованиям потребителей производимой продукции.

Сравнение полученных результатов и существующих на производстве режимов сушки при одинаковых условиях проведения испытания представлены в таблице 2.6

Таблица 2.6 – Полученные результаты и существующие на производстве режимы сушки при одинаковых условиях

Показатели	Ед. изм.	Режим сушки		Отклонение (+/-)
		Базовый	Предлагаемый	
Количество выделившейся влаги из изоляции	%	3,7	5,1	38
Производительность установки сушки изоляции.	ч/сушку	83	69	14
Увеличение сроков эксплуатации	Лет	25	39	14
Снижение себестоимости	руб.	87 240	64 610	– 22 630
Время нахождения в потенциально взрывоопасной зоне	Ч	10	5	– 5

Применение разработанного метода оптимизации режимов сушки изоляции показало повышение производительности установки сушки, снижение себестоимости, увеличение выделения влаги и повышение скорости нагрева, принятой за оценку степени взрывобезопасности, так как при достижении 90°С взрыв невозможен даже при разбитом смотровом окне и инициации открытым огнем, что говорит и о безопасности предлагаемой методики совершенствования процесса ТВО. При этом сокращается время нахождения в среде с высокими температурами. Это позволяет обеспечить производимую продукцию большим остаточным ресурсом по параметру теплового износа изоляции, по которому также производится расчет

остаточного ресурса срока службы силового трансформатора. При этом сокращаются выбросы в окружающую среду отработанных газов и количество утилизируемого сольвента.

ГЛАВА 3. РАСЧЁТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ, ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕРМО-ВАКУУМНОЙ

3.1 Получение экономического эффекта от энергосбережения

Основные экономические эффекты от внедрения проектных мероприятий по совершенствованию процесса сушки изоляции: экономия времени на производство, повышение качества выпускаемой продукции, сокращение затрат ресурсов. Это в конечном итоге снижает себестоимость изготовления, и может обеспечить более успешное участие в тендере и получение заказа .

По итогам работы в 2015 г. были зафиксированы затраты на ресурсы и расходным материалам. Наименование и номинальная мощность узлов оборудования представлены в таблице 3.1

Таблице 3.1 – Наименование и номинальная мощность узлов оборудования

Оборудование	Мощность кВт
Испаритель сольвента	470
Узел подогревания паров (Циклон)	30
Нагрев стенок шкафа	50
Компрессор	5.5
Генератор азота	0,3
Насосы оборотной воды 2 шт.	2*9,2
Вакуумные насосы 2 шт.	2*15
Вакуумный насос откачки натекания	2,5
Роторная воздуходувка (нагнетатель Рутса)	30

Чиллеры охлаждения 3 шт.	3*57
Насосы подачи сольвента 2 шт.	2*2.0
Насосы перекачки сольвента из емкостей	4*0.55
Насосы откачки воды из технологической емкости 2 шт.	2*0.75
Насосы термического масла	11*3
Производственный кондиционер (Приточка воздуха)	42.64
Вытяжка воздуха	10
Освещение участка	0.8
Шкаф управления	0,024 кВт
Производственный компьютер	0,4
Принтер	0,04
Блок бесперебойного питания компьютера	0,04
Итого	900

Общее энергопотребление составляет 900 кВт. Учитывая, что среднее энергопотребление ниже вследствие неодновременной работы узлов оборудования и составляет примерно 1/3 от общего времени работы оборудования, получим 300 кВт [49]. Далее мы рассчитаем расходы связанные с энергопотреблением, они представлены в таблице 3.2

Таблица 3.2 – Расходы связанные с энергопотреблением и эффект от внедряемых проектных методик сушки

№ п/ п	Показатель	На один цикл сушки		Отклонение (+/-)	Годовой эффект экономии (24 цикла сушки)
		Базовый показатель	Плановый показатель		
1	2	3	4	5	6
1	Энергопотребление, кВт/ч	300	300	–	–

2	Продолжительность нагрева, в ч	46	32	14	336
3	Энергопотребление всего (1*2), кВт	13 800	9600	4 200	100 800
4	Цена 1 кВт электроэнергии, руб.	3,7	3,7	–	–
5	Затраты на электроэнергию (3*4), в руб.	51 060	35 520	15 540	372 960

3.2 Получение экономического эффекта от ресурсосбережения.

Рассчитаем общее потребление сольвента, которое может составлять более 400 л на сушку. Будем так же учитывать то, что среднее потребление сольвента ниже вследствие профессионализма оператора, который зная, что расход сольвента никем не учитывается, будет дорожить каждым литром и экономно его использовать. Расчет будем производить исходя из объема испарителя 200 л и наполнения его на 80%, следовательно, в испарителе может быть примерно 160 л загрязненного сольвента и примерно столько же в циклоне. В итоге, мы получаем значение грязного сольвента на один слив в емкость для грязного масла. Всего может потребоваться до трех сливов, что зависит от концентрации замасленного сольвента. Необходимость слива возникает из-за зашлаковывания испарителя продуктами распада лакоткани, масла и сольвента, которые повышают температуру испарения сольвента настолько, что имеющейся температуры нагревателя не хватает для испарения теплоносителя. Постоянное потребление сольвента вследствие его испарения, обеспечивается подачей насосами сольвента по замкнутому контуру и составляет до 6 000 л/час. Исходя из вышесказанного, и того, что оператор будет разумно его использовать, получаем примерно 40 л на один цикл сушки. Далее подсчитаем расходы, связанные с приобретением и утилизацией сольвента таблица 3.3

Таблица 3.3 – Расходы связанные с потреблением растворителя и эффект от внедряемых проектных методик сушки

№ п/ п	Показатель	На один цикл сушки		Отклонение (+/-)	Годовой эффект экономии (24 цикла сушки)
		Базовый показатель	Плановый показатель		
1	2	3	4	5	6
1	Расход растворителя на сушку, в л.	40	20	20	480
2	Цена литра растворителя, в руб.	72	72	–	–
3	Цена утилизации веществ 4 класса опасности, в руб./л.	2,5	2.5	–	–
4	Затраты на утилизацию растворителя (1*3), в руб.	100	50	50	1 200
5	Затраты на приобретение растворителя (1*2), в руб.	2 880	1 440	1 440	34 560

3.3 Получение экономического эффекта от внедрения проекта

В результате внедрения в процесс сушки изоляции проектных методик, направленных на оптимальный способ высушивания изоляции трансформатора (с минимальными затратами), суммарный прямой годовой эффект за счет повышения производительности и рационального использования ресурсов составит:

$$Э_{пр} = 372\,960 + 1\,200 + 34\,560 + 134\,400 = 543\,120 \text{ руб.}$$

Структура прямого годового экономического эффекта производственного процесса термо–вакуумной сушки на ООО «Тольяттинский Трансформатор» представлена в виде диаграммы на рисунке 3.1

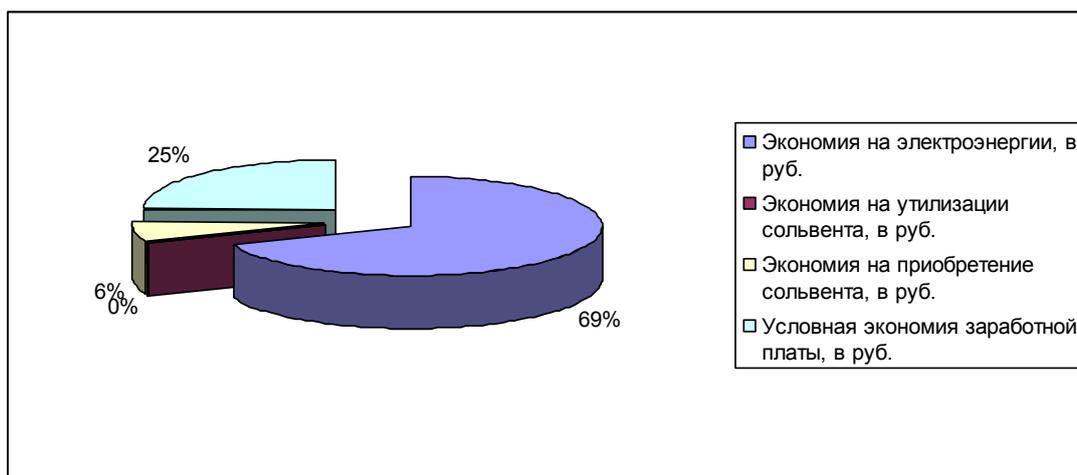


Рисунок 3.1 – Структура прямого годового экономического эффекта

Планируемый дополнительный объем выпуска трансформаторов, который сможет выполнять ООО «Тольяттинский Трансформатор», рассчитаем из увеличения производительности установки сушки в парах сольвента из данных таблицы 3.1.

Получим увеличение производительности установки сушки в парах сольвента в год на:

$$336 / 69 = 5 \text{ цикла сушки,}$$

Рыночная цена силовых трансформаторов, которые сушатся в данной установке составляет от 40 000 000 до 160 000 000 рублей. Будем исходить из наихудших прогнозов используя минимальную цену и увеличение не на 5, а на 1 цикл сушки с учетом предполагаемой не полной загруженности установки. Получим увеличение объемов выручки на:

$$40\,000\,000 \text{ руб.}$$

В 2015 году чистая прибыль предприятия ООО «Тольяттинский Трансформатор» к товарообороту предприятия по данным Росстата составила 6,3 %. Таким образом, предположив получение такого же уровня чистой прибыли, получим дополнительно чистую прибыль вследствие увеличения производительности установки при не полной загруженности:

$$40\,000\,000 * 6,3 / 100 = 2\,520\,000 \text{ руб.}$$

Суммарный годовой эффект подсчитаем по формуле 5.8, он составит:

$$\mathcal{E}_r = 543\,120 + 2\,520\,000 = 3\,063\,120 \text{ руб.}$$

Эффективность внедренных предложений непосредственно определяется их конкретной способностью сберегать соответствующее количество труда, времени, ресурсов и денег в расчете на единицу всех предполагаемых полезных эффектов. Результаты расчетов позволяют сделать вывод о получаемом экономическом эффекте.

Показатель экономической эффективности затрат на внедрение проектных мероприятий (\mathcal{E}) рассчитывается по формуле 5.8.

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{пр}} - E_n * Z_{\text{проект}}, \quad (5.8)$$

где $\mathcal{E}_{\text{пр}}$ – прямой экономический эффект;

E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

$Z_{\text{проект}}$ – общая сумма затрат на создание проекта;

E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений

$$E_n = 0.33;$$

$$E_n = 1/T_{\text{норк}};$$

$T_{\text{норк}}$ – нормативный срок окупаемости капитальных вложений. $T_{\text{норк}}$ равен 3 года.

Рассчитаем показатель экономической эффективности затрат на внедрение проектных мероприятий по формуле 5.8.

$$\mathcal{E} = 543\,120 - 0,33 * 304\,847 = 442\,520 \text{ руб.}$$

Таким образом, показатель экономической эффективности затрат на внедрение проектных мероприятий составляет 442 520 рубль.

Рассчитаем коэффициент окупаемости затрат на внедрение проектных мероприятий:

$$E_p = \mathcal{E}_{\text{пр}} / Z_{\text{проект}}, \quad (5.9)$$

$$E_p = 543\,120 / 304\,847 = 1,8$$

Должно выполняться условие $E_p > E_n$

Условие эффективности проекта выполняется, т.к. $1,8 > 0,3$

Рассчитаем коэффициент окупаемости затрат ($T_{\text{окуп}}$) на внедрение проектных мероприятий по формуле 5.10.

$$T_{\text{окуп}} = Z_{\text{проект}} / \mathcal{E}_{\text{пр}}, \quad (5.10)$$

$$T_{\text{окуп}} = 304\,847 / 543\,120 = 0,56 \text{ года} = 7 \text{ месяцев}$$

Результаты обоснования экономической эффективности разработанных мероприятий занесем в таблицу 3.4

Таблица 3.4 – Результаты оценки экономической эффективности работы

№	Показатель	Значение показателя
1	Затраты на теоретическое исследование ($Z_{\text{иссл}}$), руб	10 725
2	Затраты на разработку проекта ($Z_{\text{разр}}$), руб.	12 762
3	Затраты на внедрение проекта ($Z_{\text{внедр}}$), руб.	282 032
4	Совокупные затраты на создание проекта ($Z_{\text{проект}}$), руб.	304 847
5	Годовой прямой экономический эффект ($\mathcal{E}_{\text{пр}}$), руб.	543 120
6	Срок окупаемости затрат ($T_{\text{ок}}$), месяц	7

Таким образом, проект имеет экономическую и социальную значимость.

Результаты расчетов позволяют сделать вывод об экономической эффективности и высокой окупаемости проектных затрат. Данная бакалаврская работа является экономически целесообразной и рекомендуется к внедрению в ООО «Тольяттинский Трансформатор», а также в других предприятиях сферы производства трансформаторов с использованием данной технологии сушки изоляции в парах сольвента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный в работе анализ требования к качеству электрических силовых установок типа высоковольтных трансформаторов и состояние качества и, производительность в линии термо- вакуумной сушки изоляции обмоток силовых трансформаторов предприятия позволили сформулировать цель по повышению качества сушки обмоток. На основе подробного анализа технологического процесса сушки и влияния на качество технологических параметров, были поставлены задачи на дипломную работу. В результате исследования влияния параметров термо-вакуумной сушки на процесс старения изоляции, в частности продолжительность нагрева и температура, предложена усовершенствованная технология сушки обмоток, которая позволяет выбирать более широкий диапазон значения параметров, что подбирать оптимальные режимы сушки. Это позволит повысить качество сушки и срок службы изделия в целом.

Результаты исследования параметров также позволили внести изменения в процесс управления технологическими параметрами, расширив диапазон их регулирования путем конструктивного решения пульта управления процессом.

Проведенный в работе технико-экономическое обоснование предполагает эффективность предлагаемой технологии. Следовательно, цель поставленная в работе, достигнута.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алякритский И.П., Мандрыкин С.А Сушка электрических машин и трансформаторов [Текст]. М., Энергия, 1974. – 72с.
2. Аристов О. В. Управление качеством [Текст]: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 240с.
3. Баканов М.И., Мельник М.В., Шеремет А.Д. Теория экономического анализа [Текст]: Учебник. – М.: Финансы и статистика, 2009. – 360 с.
4. Басовский Л.Е. Протасьев В.Б Управление качеством [Текст]: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2011. – 212 с.
5. Беклешов В.К. Техничко–экономическое обоснование дипломных проектов[Текст]: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2010. – 248 с.
6. Белов С.В. Девясилов В.А. Безопасность жизнедеятельности [Текст]: Учебник – М: Высшая школа. НМЦ СПО, 2011. – 341 с.
7. Бернстайн Л.А. Анализ финансовой отчетности [Текст]. – М.: Финансы и статистика, 2007.
8. Бородкина Н.П. Контроль производственного процесса. Серия «Все о качестве. Зарубежный опыт». [Электронный ресурс] / Обзор. – М.: НТК «Трек», 2010. – 14 с.
9. Бороненко С.А., Маслова Л.И., Крылов С.И. Финансовый анализ предприятий [Текст]. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 340 с.
10. Брагин В.В. Оценка риска и последствий отказов комплексной системы, конструкций, процессов [Текст]: учебное пособие. – М.: Кнорус, 2012. – 241 с.
11. Варакута С. А. Управление качеством продукции [Текст]: Учебное пособие. – М.: ИНФРА – М, 2006. – 311 с.
12. Вожаров М.В., Ильин В.Ю., Носов И.К. Система управления качеством. Российский опыт: Учеб. пособие [Текст] – М.: МИФИ, 2009. – 132 с.

13. Волиев К.Л., Тарасов М.В. Управление качеством производства: Учеб. пособие [Текст] / – М.: МИФИ, 2009. – 137–138 с.
14. Волчок Н.В., А.А. Рогова, Шмотько К.Н. Эффективность. Анализ и оценка: Учеб. пособие [Текст] – М.: МИФИ, 2010. – 66 с.
15. Гейц И.В. Охрана труда [Текст]: Учебно–практическое пособие. – М.: Издательство «Дело и Сервис», 2004. – 560 с.
16. Гличев А.В. Основы управления качеством продукции [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 2011. – 360 с.
17. Глудкин О.П. Всеобщее управление качеством [Текст]: Учебник. – М.: Радио и связь, 2010. – 156 с.
18. Горелик О.М. Техничко–экономический анализ и его инструментальные средства [Текст]: Учебное пособие. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 240 с.
19. ГОСТ 11677 – 85 Трансформаторы силовые. Общие технические условия. – М.: ИПК Изд–во стандартов. 1985. – 39 с.
20. ГОСТ Р 54419-2011 Трансформаторы силовые. Руководство по нагрузке трансформатора – М.: ИПК Изд–во стандартов. 2011. – 22 с.
21. ГОСТ 12.0.003–74 «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». ИПК Изд–во стандартов, 1974. – 23 с.
22. ГОСТ 27.310 – 95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. – М.: ИПК Изд–во стандартов. 1995.– 36 с.
23. ГОСТ Р 51814.2 – 2001. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов. – М.: ИПК Изд–во стандартов. 2001. – 26 с.
24. ГОСТ Р 51901.12–2007 Менеджмент риска Метод анализа видов и последствий отказов. – М.: ИПК Изд–во стандартов. 2007. – 42 с.
25. ГОСТ Р ИСО 9001–2011. Системы менеджмента качества. Требования. – М.: ИПК Изд–во стандартов, 2011. – 36 с.
26. ГОСТ Р ИСО 9004–2010. Системы менеджмента качества: Рекомендации по улучшению деятельности. – М.: ИПК Изд–во стандартов, 2010. – 47 с.

27. Губин В.Е., Губина О.В. Анализ финансово–хозяйственной деятельности [Текст]: Учебник. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА–М, 2008. – 336 с.
28. Дементьев С.А. Экономическая эффективность в сфере услуг [Текст]: Учебник. – М.: ИНФА–М, 2013. – 634 с.
29. Ефимова О.В. Финансовый анализ [Текст]. – М.: Бухгалтерский учет, 2007. – 245 с.
30. Ефремова О.С. Охрана труда от А до Я [Текст] : Учебное пособие. – М.: Издательство «Альфа–Пресс», 2010. – 576 с.
31. Задорожный А.К. Охрана труда и безопасность на производстве: Учеб. пособие [Текст] – М.: МИФИ, 2009. – 203 с.
32. Ильенкова С.Д., Ильенкова Н. Д., Ягудин С. Ю. Управление качеством [Текст]: Учебник – 3–е изд., перераб. и доп. – М.: Юнити–ДАНА, 2009. – 352 с.
33. Ильенкова С.Д. Управление качеством [Текст]: Учебник для ВУЗов, – 2–ое изд.– М.: ЮНИТИ–ДАНА, 2007. – 334 с.
34. Капина А.А., Воронин Г.А., Другов В.Н. Охрана труда на производстве: Учеб. пособие [Текст] – М.: МИФИ, 2010. – 133 с.
35. Киреев А.Н. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда [Текст]: Учебник. – М.: Высшая школа, 2012. – 167 с.
36. Киш Л.В. Нагрев и охлаждение трансформаторов [Текст]. – М.: Энергия, 1980 – 181 с.
37. Крылов Г.Д. Зарубежный опыт управления качеством [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 2007. – 140 с.
38. Крючков П.В. Качественное производство [Текст]. Документация СМК. 2009 – №8 – С. 19–20.
39. Кузнецов И.Н. Охрана труда [Текст]: Учебное пособие. – Мн., 2010. – 124 с.
40. Кукин П.П. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда. [Текст]: Учебник – М.: Высшая школа, 2002. – 194 с.

41. Лизунов С.Д. Сушка и дегазация трансформаторов высокого напряжения [Текст]. М., Энергия, 1971. – 237 с.
42. Лизунова С.Д., Лоханина А.К. Силовые трансформаторы. Справочная книга [Текст]. – М.: Энергоиздат, 2004 – 616 с.
43. П 482.087–2013 Положение об отделе управления качеством (ОУК) – 13 с.
44. Пономарёв С.В. Мищенко С.В. Управление качеством продукции. Введение в СМК [Текст]: Учебное пособие – М.: РИА «Стандарты и качество», 2011. – 248 с.
45. Раздорожный А.А. Охрана труда и производственная безопасность: Учеб. пособие [Текст] – М.: МИФИ, 2009. – 183–184 с.
46. РК 4.2–020–2012 Система менеджмента качества. Руководство по качеству. – 55 с.
47. Сайт ООО «Тольяттинский Трансформатор» – [Электронный ресурс] - <http://transformator.com.ru> (дата обращения 11.03.2014).
48. СТО 5.6–001–2008 Система менеджмента качества. Анализ со стороны руководства. Порядок проведения анализа системы менеджмента качества. – 20 с.
49. ТИ 25289.00128 2013 Технологическая инструкция. Термо–вакуумная обработка активных частей силовых масляных трансформаторов, автотрансформаторов класса напряжения 35-500 кВ. – 45с.
50. Троицкая Т.Б. Трансформаторостроение. Сборник статей по материалам научно-технологического совещания [Текст]. М., Цинтиэлектропром, 1961. – 251 с.
51. Файоль А.В. Общее и промышленное управление [Текст]: Учебник – М.: Контроллинг, 2010. – 158 с.
52. Шестопап Ю.Т., Дорофеев В.Д., Шестопап И.Ю. Управление качеством [Текст]: Учебное пособие. – М.: ИНФРА–М, 2011. – 331 с.

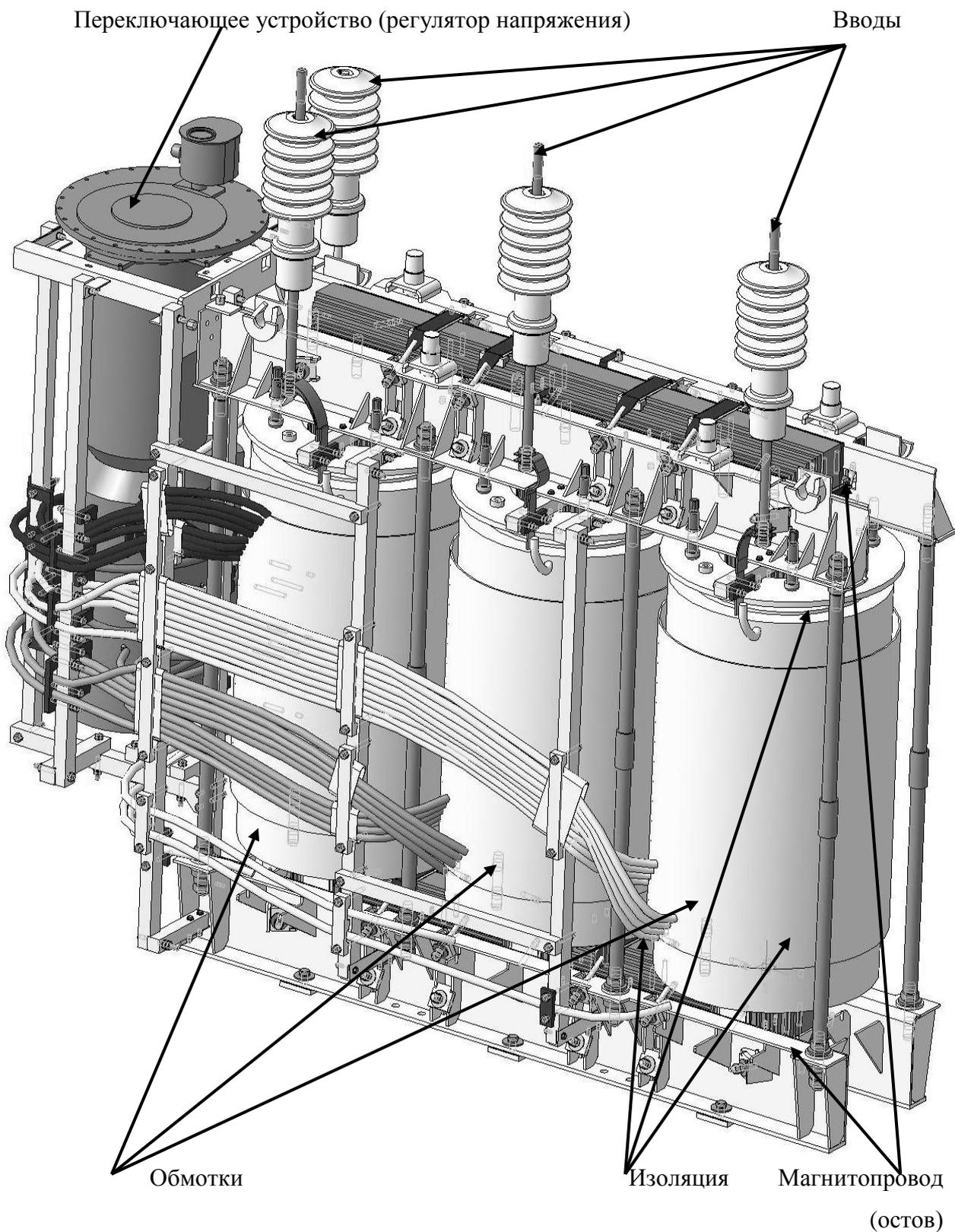
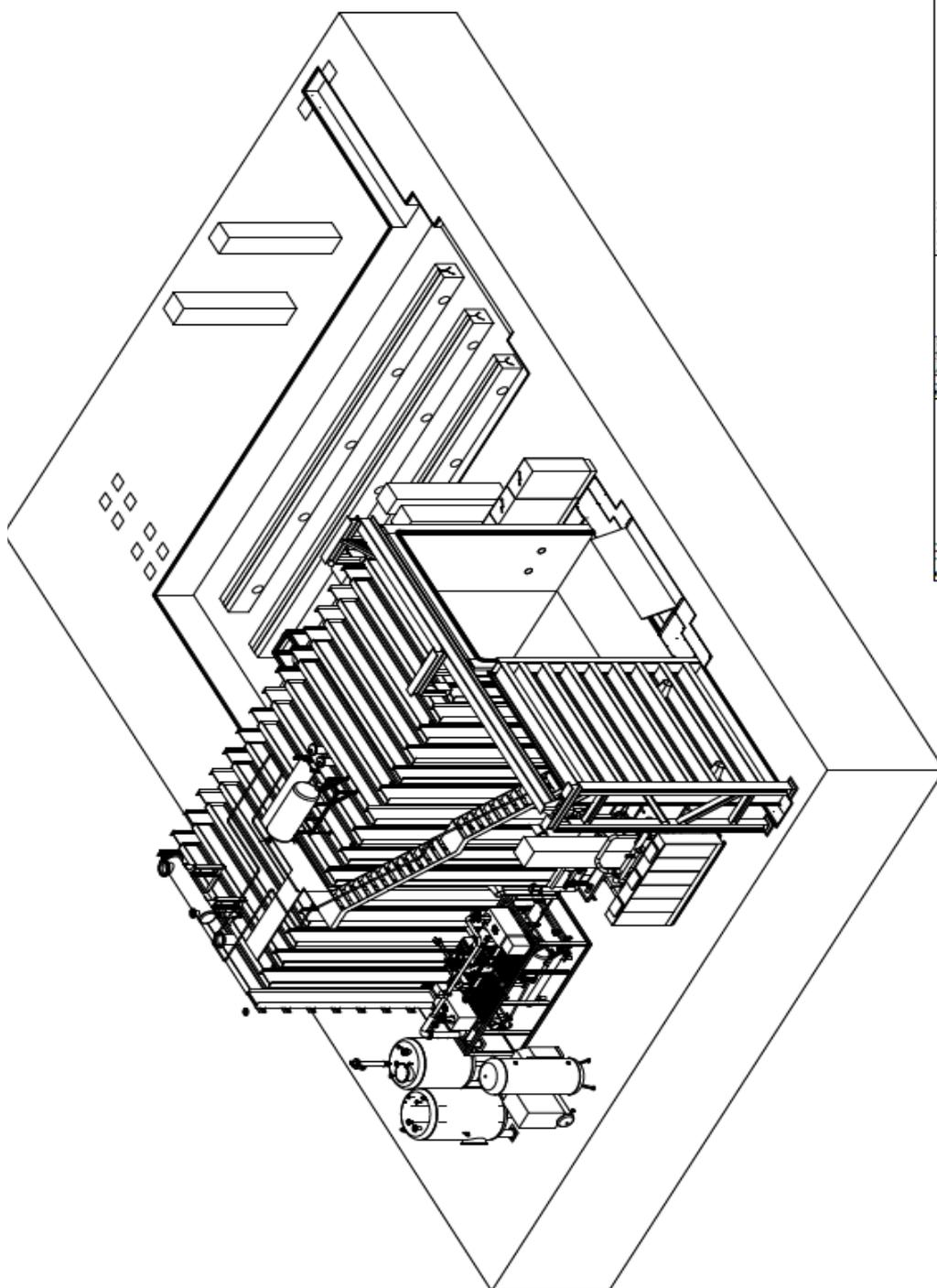


Рисунок А - Активная часть трансформатора ТДНС-10000/35



Projekt: | für: | Werkstoff:

Рисунок Б - Вакуумно-сушильная печь

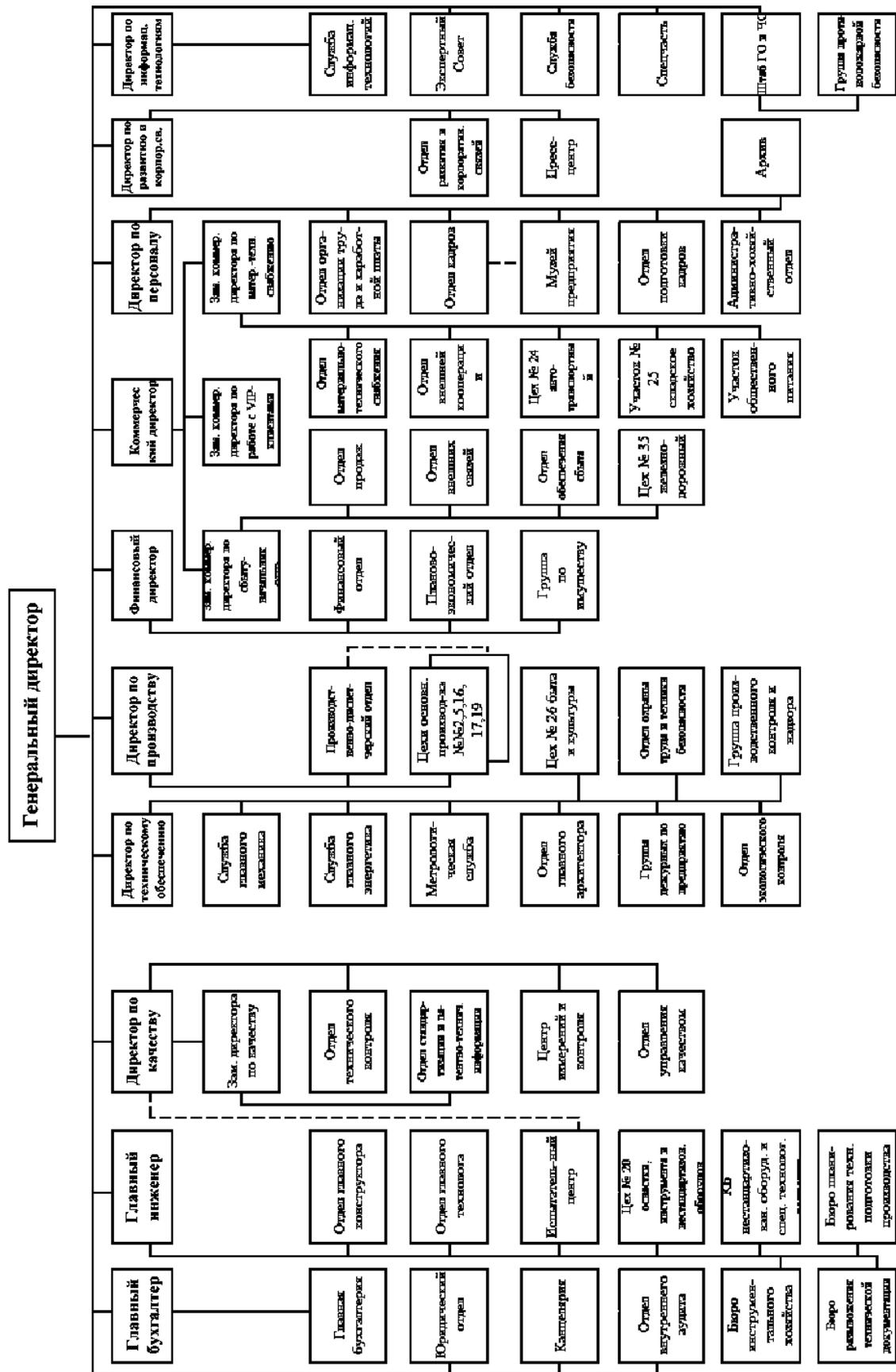


Рисунок В - Организационная структура управления ООО «Гольяттинский»

ПОЛИТИКА
в области качества
ООО «Тольяттинский Трансформатор»

1 ООО «Тольяттинский Трансформатор» стремится к лидерству в области производства трансформаторов посредством:

- постоянного улучшения качества продукции;
- осуществления производства на высоком организационном и техническом уровне;
- разработки новых и модернизации существующих типов трансформаторов;
- увеличения объемов производства;
- завоевания новых сегментов рынка сбыта.

Тем самым мы намерены вносить свой вклад в развитие электроэнергетики страны, а также удовлетворять потребности и ожидания непосредственных потребителей нашей продукции, акционеров и персонала организации.

Мы – организация, ориентированная на потребителя.

2 Мы стремимся улучшать качество трансформаторов, применяя для этого:

- современные методы проектирования продукции и разработки технологических процессов;
- передовые технологии производства и современное технологическое оборудование;
- систему менеджмента качества, построенную на основе требований ГОСТ Р ИСО 9001–2008.

3 Мы стремимся совершенствовать деятельность по производству трансформаторов посредством улучшения составляющих её процессов и системы их взаимодействия.

4 Главная ценность организации – наши работники. Непрерывное обучение, во–влечение в работу по улучшению качества, постоянное внимание к условиям труда, признание и стимулирование достижений и творческой активности каждого работника – факторы, позволяющие наиболее полно использовать потенциал коллектива.

5 Отношения с поставщиками мы строим на основе сотрудничества и взаимовы–годных подходов.

6 Руководство ООО «Тольяттинский Трансформатор» принимает на себя ответственность за обеспечение реализации положений настоящей Политики, постоянное улучшение действующей системы менеджмента качества и призывает коллектив организации объединить усилия для осуществления поставленных задач.

Приложение Д

Таблица Д – Данные протоколов сушек за 2015 год, в ч

# п/п	Разрежение автоклава	Нагрев 1	пар сольвента 120 С	Нагрев 2	пар сольвента 133 С	Сердечник 115 С	Обмотка 120 С	Понижение давления	Вакуум 0.1 МБар	Выделение воды 10 мг/г	Общее время		
											Нагрева	Сушки	
1	6,3/100	0	2:46	12:56	19:56	25:04	21:09	27:21	29:24	33:18	35:03	26:38	38:18
2	10/35	0	2:44	14:02	21:02	23:35	21:54	23:34	27:20	29:57	31:53	24:34	33:57
3	25/100	0	2:47	18:05	25:05	30:22	27:50	28:35	33:52	38:17	40:12	31:05	42:17
4	25/100	0	2:51	15:38	22:38	26:06	38:36	42:14	45:51	50:40	52:42	43:00	54:40
5	25/100	0	3	25	32	43:34	40:11	43:15	47:27	53:45	55:43	44:27	57:49
6	25/100	0	3	16:36	23:36	43:34	33:38	37:16	47:22	52:21	54:03	44:22	56:21
7	25/100 10/35	0	3:29	20:16	27:16	39:48	35:48	39:47	43:08	49:43	51:58	39:39	53:43
8	40/100	0	3	20:43	27:43	33:44	70:12	71:56	72:26	88:18	93:06	69:26	93:06
9	40/100	0	3:21	17:14	24:14	35:13	33:14	36:39	38:43	45:05	48:25	35:22	49:05
10	40/100 40/100	0	3:19	16:56	23:56	43:01	52:00	56:51	60:08	68:45	71:50	56:49	72:45
11	40/100 63/100	0	3	15:47	22:47	37:53	38:38	39:34	41:25	53:03	57:01	38:25	57:03
12	40/100 63/100	0	3:18	15:26	22:26	37:49	40:40	40:00	42:40	54:18	57:10	39:22	58:18
13	80/100	0	2:47	19:34	26:34	32:51	31:38	34:22	36:27	43:39	46:40	33:40	47:39
14	80/100	0	3	19:52	26:52	36:44	35:11	35:51	40:14	49:23	48:13	37:14	53:23
15	125/100 16/110	0	3:16	10:16	25:16	47:06	34:37	46:37	47:28	53:50	66:09	44:12	66:09
16	225/100	0	2:44	23:16	30:16	35:40	40:49	57:50	59:45	69:20	71:49	57:01	73:20
17	25/220	0	2:46	18:08	25:08	29:25	39:28	60:21	61:28	76:46	81:00	58:42	81:00
18	50/220	0	2:58	19:21	26:21	32:54	45:00	46:23	48:18	63:19	64:25	45:20	67:19
19	80/220	0	2:44	18:42	25:42	27:52	25:20	28:10	31:22	39:29	42:39	28:38	43:29
20	80/220 16/110	0	2:44	21:00	28:00	32:54	80:40	84:42	86:28	98:03	102:27	84:44	102:27
21	80/220 10/110	0	3	31:00	38:00	47:14	49:44	47:06	51:44	67:52	63:27	48:44	71:52
22	63/220	0	3:06	15:44	22:44	43:34	38:17	45:56	47:04	57:07	60:10	43:58	61:07
23	125/220	0	3	20:59	27:59	43:24	43:18	36:55	46:54	56:10	60:22	43:54	60:22
24	125/220	0	2:43	21:45	28:45	54:56	50:07	56:01	58:26	61:24	65:24	55:43	65:24
25	200/220		2:52	17:39	24:39	43:22	44:41	42:55	43:52	60:02	62:01	41:00	64:02
26	200/220		3	17:05	24:05	35:36	34:45	33:44	39:06	47:50	50:26	36:06	51:50
27	225/220	0	2:38	28:32	35:32	45:45	120:45	120:04	120:45	126:00	131:03	118:07	131:03
28	225/220	0	5:40	22:34	29:34	38:29	40:00	38:10	42:00	51:59	55:14	36:20	55:59
29	250/220	0	3	16:13	23:13	26:41	62:31	65:34	67:14	79:24	82:13	64:14	83:24
30	250/220	0	3	16:23	23:23	43:58	51:54	42:42	53:54	68:32	72:50	50:54	72:50
31	300/220	0	2:57	24:47	31:47	65:05	61:10	66:43	70:15	84:25	88:44	67:18	88:44

Таблица Е.1 – Форма протокола несоответствий Системы Трансформатор ТДЦ – 125000/110

Изделие Трансформатор типа ТДЦ – 125000/110 Подготовил Немов А.С.

Система/ Функция	Потенциаль ный дефект	Влияние дефект	Балл S	Потенциальные причины	Балл O	Меры контроля	Балл D	П Ч Р	Рекомендуемое изменение	Результаты работы				
										Предпринятые действия	Пересчет			Итого
											S	O	D	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Транс форма тор типа ТДЦ – 125000 /110	Повреждени е ввода	КЗ, низкие показатели по сопротивлени ю изоляции	9	Дефект изготовителя. Повреждение при сборки, перевозки и монтажа	4	Пооперационный контроль, приемо– сдаточные испытания. Входной контроль	1	36	Ничего	–	–	–	–	–
	Повреждени е ПБВ (переключа ющее устройство)	КЗ, отсутствие возможности переключить ответвления обмоток	8	Дефект изготовителя. Повреждение при сборке, перевозке, монтаже, сушке	5	Пооперационный контроль, приемо– сдаточные испытания. Входной контроль	3	120	Усиление контроля. Снижение теплового воздействия при сушке	Усилен входной контроль, проведена работа с поставщиками. Доработана технология сушки	8	2	2	32
	Заводской дефект обмоток	КЗ, низкие показатели при испытаниях и работе изоляции	8	Заводской дефект, повреждение обмоток	4	Пооперационный контроль, приемо– сдаточные испытания	4	128	Повышение качества обмоток, доработка технологии изготовления	Закуплено и внедрено новое оборудование по производственной цепочке	8	2	3	48
	Навесное оборудован ие	КЗ, перегрев, срабатывание релейной защиты	6	Дефект изготовителя. Повреждение при сборке, перевозке, монтаже	6	Пооперационный контроль, приемо– сдаточные испытания. Входной контроль	7	180	Усиление входного контроля. Провести работу поставщиками	Усилен входной контроль, проведена работа с поставщиками	6	3	3	54
	Естественно е старение изоляции	КЗ, сокращение эксплуатационн ого срока работы трансформатора	6	Тепловой износ изоляции, КЗ в сети, климатические условия, высокое влажностное содержание	7	Пооперационный контроль, приемо– сдаточные испытания	10	420	Доработать технологии сушки. Сократить влажностное содержание, снижение теплового износа при сушке	Внесены изменения в технологию изготовления. Доработать технологии сушки	6	2	5	60
Риски до внесения изменений									Риски после внесения изменений					

Таблица 1 – Форма несоответствий процесса ТВО

Процесс ТВО Изделие Активная часть трансформатора Подготовил Немов А.С.

Процесс/ Функция	Потенциальный дефект	Влияние дефект	Балл S	Потенциальные причины	Балл O	Меры контроля	Балл D	П р р	Рекомендуемое изменение	Результаты работы				
										Предпринятые действия	Пересчет			
											S	O	D	ПЧР
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Не отвернута сливная пробка масла	Перегрев переключающего устройства	3	Не внимательность сборщика и оператора	5	Визуальный контроль	5	75	Ничего	–	–	–	–	–
Процесс ТВО активной части трансформатора	Высокое влагосодержание	Возможен пробой изоляции	9	Медленный подъем температура, низкая температура изоляции менее 100°С долгое время	4	Макет изоляции. Критерии окончания сушки.	3	118	Разработка методики сушки с улучшением качества продукции. Промежуточные понижения давления	Изменены настройки АСУ. Нормативные параметры выделения влаги	9	2	2	36
	Сокращение СП	Хрупкость изоляции. Сокращение срока эксплуатации изоляции	3	Тепловой износ. Нагрев не регламентирован временем и слишком большой. Медленный подъем температура	9	Визуальный контроль процесса нагрева	5	135	Завести журнал контроля нагрева. Определить сроки ТВО. Разработать методику сушки с меньшим тепловым разрушением	Сокращено по времени воздействие высокой температуры. Изменены настройки АСУ	3	2	3	18
	Повреждение активной части высокой температурой.	Хрупкость изоляции. Окисление меди. Отслоение краски. Вздутие лакоткани.	3	Слишком высокие температуры магнитопровода, изоляции, паров сольвента, стенок шкафа	9	Визуальный контроль процесса нагрева	5	135	Завести журнал для контроля нагрева. Разработать методику сушки с меньшим тепловым разрушением	Усиление контроля. Сокращено по времени воздействие температуры	3	3	3	27
	Скорость нагрева превышает 15°С/ч	Возможный отказ переключающего устройства.	8	Неисправность датчика включения нагрева шкафа	7	Визуальный контроль нагрева	7	441	Завести журнал контроля нагрева. Усиления контроля	Усилен контроль за нагревом изоляции	8	2	2	32
До внесения изменений									После внесения изменений					

Форма 1038.1

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Номер заводской	Номер заказа
ООО "Тольяттинский Трансформатор"		ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ Термовакuumная обработка				
Листа	№ участка	№ операции	НАИМЕНОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ		Дата и подпись	Контролера ОТК (триф)
			Табельный номер исполнителя	Дата и подпись руководителя участка		
17	14	1	Загрузка активной части в ВСШ (дата, время)			
		2	Начало процесса ТВО (дата, время):			
		3	Стадия прогрева:			
		3.1	Начало прогрева (дата, время)			
		3.2	Прогрев магнитопровода до заданной температуры: Температура, °C маг. = _____ °C			
		3.3	Длительность, в час.			
		3.3	Прогрев обмотки до заданной температуры: Температура, °C обм. = _____ °C			
		3.4	Длительность, в час.			
		3.4	Общее время прогрева, в час.			
		4	Стадия глубоковакuumной сушки:			
		4.1	Начало глубоковакuumной сушки (дата, время)			
		4.2	Длительность глубоковакuumной сушки, в час.			
		4.3	Достигнутое значение остаточного давления в камере ВСШ: _____, мм.рт.ст. _____, мбар.			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист
					Разраб.	Лист
					Н. контр.	Листов

Рисунок 3 - Технологический паспорт термо-вакуумная обработка

№ цеха	Заказ № _____ в Центр измерений и контроля			Дата « ____ » ____ 201 г.
Прошу провести испытания прилагаемых проб масла				
Тип, мощность (кВА), напряжение (кВ) трансформатора	Заводской № трансформатора	Марка масла	Защита масла (плёночная, азотная, без защиты)	Причина испытания (к - контроль, отп - отправка)

Мастер цеха _____ подпись _____
расшифровка подписи _____

Заказ принят _____ подпись _____
расшифровка подписи _____

Рисунок И - Форма заказа на анализ в электро-технологическую лабораторию макета