УДК 674.047.3-047.58

**Постановка задачи Поиска оптимальной конфигурации рабочего конденсатора при ВЧ сушке деревянных опор**

### Коренков Д.А., Еремеев В.Д.

*Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»*

*Аннотация: Сушка заготовок деревянных опор, применяемых на линиях электропередач до 110 кВ, в настоящее время осуществляется атмосферным или конвективным способами, требующими много времени и энергии. В тоже время, существуют перспективные технологии сушки, позволяющие сократить длительность и повысить качество процесса при сопоставимых удельных энергозатратах. К таким технологиям можно отнести вакуумно-высокочастотную сушку. Её широкое внедрение затрудняется рядом нерешенных научно-технических задач, в том числе необходимостью обеспечения равномерности электромагнитного поля в поперечном сечении загрузки. Данная работа имеет своей целью сформулировать задачу поиска оптимальной конструкции рабочего конденсатора и формы электродов для последующего решения данной проблемы.*

*Ключевые слова: сушка заготовок деревянных опор; сушка в электромагнитном поле; сушка в вакууме; электротехнологические установки для сушки; энерго- и ресурсосберегающие технологии.*

Воздушные линии электропередач с деревянными пропитанными опорами (ДПО) являются вторыми по протяженности после линий с железобетонными опорами. Столь большая распространенность объясняется следующими достоинствами: низкой стоимостью, достаточной механической прочностью и экологичностью сырья, простотой утилизации и другими полезными свойствами. Но при этом ДПО имеют минимальный нормативный срок эксплуатации по сравнению со всеми остальными видами опор, применяемыми на текущий момент. Его увеличение позволит улучшить эксплуатационные свойства таких линий электропередач, что в целом окажет положительный энерго- и ресурсосберегающий эффект.

Поиск возможных путей решения данной задачи требует проведения анализа многоступенчатого технологического цикла производства ДПО. На первом этапе осуществляется заготовка сырья, качество которого во многом определяется местом произрастания. Лучшим сырьем для заготовок опор считается северная сосна, отличающаяся стройностью, высокой прочностью, плотным расположением годовых колец, а также оптимальной величиной заболони. Далее производится входной контроль качества, при котором образцы с различными дефектами (искривлениями, трещинами, гнилью, механическими повреждениями, сухобокостью, сучками) отбраковываются. Заготовки, прошедшие проверку, поступают на последующие окорку и оцилиндровку. На этом этапе с них снимается кора и верхний слой луба, а также придается правильная геометрическая форма, обеспечивающая устойчивость во время эксплуатации. После промежуточного контроля качества и деления на категории следуют не менее ответственные этапы сушки и пропитки.

В результате сушки из межклеточного пространства древесного вещества удаляется свободная влага, при этом освобождается пространство для введения модифицирующей жидкости на этапе пропитки. Качество процесса сушки определяется множеством параметров: конечным влагосодержанием, равномерностью влагосодержания по сечению и длине заготовки опоры, количеством образовавшихся дефектов и другими. От равномерности сушки зависит то, насколько однородно будет пропитан материал модифицирующей жидкостью. К основным видам дефектов, возникающих при сушке оцилиндрованных заготовок, следует отнести растрескивания. От количества и размера трещин зависят, с одной стороны, глубина проникновения модифицирующей жидкости, но, с другой стороны, степень подверженности внутренних слоев древесины влиянию негативных атмосферных факторов в процессе эксплуатации опор. Пропитка высушенных заготовок модифицирующими составами непосредственно способствует приданию древесному веществу защитных свойств, что существенно увеличивает срок службы.

На основе рассмотренного технологического цикла следует заключить, что дальнейшее улучшение эксплуатационных характеристик ДПО возможно за счет совершенствования технологий пропитки и пропиточных составов; применения современных технологий модификации древесины и сушки. Остановимся более подробно на вопросах совершенствования технологий сушки.

Обычно сушка заготовок опор выполняется атмосферным, либо камерным способами. Атмосферная сушка не требует затрат энергии, позволяет получить естественное растрескивание, но характеризуется сезонностью и длительностью процесса. Камерная сушка, наоборот, способствует снижению длительности за счет подведения тепловой энергии, но при этом увеличивается риск возникновения недопустимых растрескиваний. Рассмотренным способам сушки также свойственен общий недостаток, состоящий в том, что в обоих случаях теплота подводится из внешней среды, и в первую очередь нагревается поверхность заготовок. Поскольку древесина обладает низким коэффициентом теплопроводности, то центральная зона начинает нагреваться с временной задержкой, зависящей от толщины и свойств материала. При этом градиент температуры всегда ориентирован против потока влаги, что отрицательно влияет на скорость сушки. С учетом отмеченного, технологии сушки, основанные на подводе тепловой энергии извне, являются менее перспективными по сравнению с теми, в которых используется диэлектрический нагрев. Среди таких технологий особое внимание следует уделить высокочастотной сушке в вакууме.

Вакуумно-высокочастотная сушка применяется для различных капиллярно-пористых коллоидных материалов, и может быть рекомендована для древесины в случае плотных пород или больших сечений. Последний фактор обуславливает предрасположенность этой технологии для сушки заготовок опор, диаметр которых варьируется в диапазоне от 160 до 260 мм по нижней части.

Процесс сушки осуществляется в герметичной камере, в которой расположены электроды. После размещения высушиваемых заготовок между электродами образуется рабочий конденсатор, к которому подводится напряжение высокой частоты. В камере при этом создается пониженное давление около 10 кПа. В результате релаксационно-поляризационных явлений в материале образуются внутренние источники теплоты, под действием которых запускаются механизмы, приводящие в итоге к движению парогазовой смеси по капиллярам к поверхности материала. Благодаря низкому давлению в камере парообразование наступает при более низкой температуре, что обуславливает дополнительные преимущества данной технологии. Однако из-за ряда нерешенных научно-технических задач, ее применение в промышленных масштабах не отлажено. В работах [1, 2] показано, что причиной этому является отсутствие компактных технических решений, направленных на уменьшение влияния стоячих электромагнитных волн вдоль рабочего конденсатора, а также режимных параметров процесса сушки заготовок толщиной более 100 мм. Стоячие волны приводят к неравномерности распределения внутренних источников теплоты по длине рабочего конденсатора, но равномерность также должна обеспечиваться и в его поперечном сечении, что также требует научно-технического исследования данной проблемы.

Целью такого исследования должен стать ответ на вопрос, каким образом с технико-экономической точки зрения должны укладываться заготовки опор в рабочем конденсаторе. В первом приближении предлагаются следующие варианты. Каждая заготовка может быть высушена по отдельности в рабочем конденсаторе, образованном двумя электродами, имеющими форму вогнутой пластины, повторяющей очертания поверхности заготовки. В этом случае ориентация вектора напряженности электрического поля будет совпадать с радиальным направлением годовых колец, при котором диэлектрические свойства древесины относительно стабильны. При этом достижима высокая равномерность распределения параметров электромагнитного поля в поперечном сечении загрузки, но существенно снижается производительность процесса в целом, так как становится затруднительной одновременная сушка партии заготовок. С другой стороны, заготовки можно уложить в штабель между вертикальными электродами, так как это обычно делается при сушке пиломатериалов прямоугольного сечения. Тогда производительность процесса многократно возрастает, но высокой равномерности электромагнитного поля ожидать не приходится из-за наличия в рабочем конденсаторе воздушных промежутков, а также из-за переменной ориентации вектора напряженности электрического поля относительно годовых слоев древесины (радиальное и тангенциальное направления).

Таким образом, возникает задача поиска оптимальной конфигурации рабочего конденсатора и формы электродов, обеспечивающих достаточную равномерность распределения параметров электромагнитного поля в загрузке при незначительном снижении производительности процесса сушки с учетом затрат времени на укладку заготовок опор. Решение данной задачи возможно методами математического моделирования электромагнитных полей, описание которых основано на системе уравнений Максвелла. С учетом допущений о синусоидальности напряжения ВЧ генератора и о квазистационарности электромагнитного поля в загрузке [3] математическая постановка задачи формулируется следующим образом:

 (1)

, (2)

, (3)

, (4)

, (5)

, (6)

где (1) – теорема Гаусса для напряженности электрического поля; (2) – условие потенциальности переменного электрического поля, следующее из допущения о квазистационарности; (3) и (4) – граничные условия для сред с разными диэлектрическими свойствами; (5) и (6) – граничные условия Дирихле на поверхностях электродов и заземленных элементах конструкции рабочего конденсатора; – комплекс вектора напряженности электрического поля, В/м; – комплексная проводимость среды, См;  – скалярный электрический потенциал, В; *τ* и *n* – обозначения тангенциальной и нормальной составляющих вектора  в точках границы раздела сред; ,  и – комплексные значения потенциалов высокопотенциального, низкопотенциального электродов и заземленных элементах конструкции рабочего конденсатора, В;  – комплекс напряжения ВЧ генератора, В.

Комплексная проводимость среды может быть вычислена как:

, (7)

где  – электропроводность материала, См; – частота ВЧ генератора, Гц;  – относительная диэлектрическая проницаемость материала;

, (8)

где - угол диэлектрических потерь материала.

Уравнения (1) – (8) полностью описывают электромагнитное поле в поперечном сечении рабочего конденсатора, изменяющееся по гармоническому закону. С учетом сложности геометрической модели задачи аналитическое ее решение не возможно, поэтому для проведения намеченных исследований рационально выбрать численные методы и использовать пакеты прикладных программ для проведения соответствующих вычислений (Maxwell, Ansys multiphysics, Elcut и другие).

Список литературы

1. Коренков Д.А. Проблемы вакуумно-высокочастотной сушки деревянных опор и способы их преодоления // Международная научно-практическая конференция «Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты» матер. конф. (Казань 7 апреля 2021 г.). - Казань: Казан гос. энерг. ун-т, 2021. - С. 13-19.
2. Качанов А.Н. Моделирование процессов высокочастотной сушки деревянных опор в вакуумной камере / А.Н. Качанов, Д.А. Коренков, А.А. Ревков, В.В. Максимов, О.В. Воркунов // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ, 2020. - Т. 22. - № 6. - С. 130-142.
3. Качанов А.Н. Исследование распределения электромагнитного поля при высокочастотной сушке древесины / А.Н. Качанов, Д.А. Коренков // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2017. – № 1(47). – С. 16-26.

**Коренков Дмитрий Андреевич**, к.т.н., доцент кафедры электрооборудования и энергосбережения» ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»; 302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, д. 95; e-mail: dimas.corenkov@yandex.ru.

**Еремеев Владислав Дмитриевич**, магистрант, ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»; 302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, д. 95.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**SETTING OF TASK FOR SEARCH OF OPTIMAL CONFIGURATION OF WORKING CAPACITOR DURING HF DRYING OF WOODEN SUPPORTS**

**Korenkov D.A., Eremeev V.D.**

*Russia, Oryol, the Orel state University named after I.S. Turgenev*

*Drying of wooden tangent tower blanks used on power lines up to 110 kV is currently carried out by atmospheric or convective methods requiring a lot of time and energy. At the same time, there are promising drying technologies that reduce the duration and improve the quality of the process at comparable specific energy costs. Such technologies include high frequency vacuum drying. Its wide implementation is hampered by a number of unresolved scientific and technical problems, including the need to ensure the uniformity of the electromagnetic field in the cross section of the load. This work aims to formulate the task of finding the optimal design of the working capacitor and the shape of the electrodes for the subsequent solution of this problem.*

*Keywords: drying of wooden tangent tower blanks; drying in electromagnetic field; vacuum drying; electrotechnical installations for drying; energy and resource-saving technologies.*

Bibliography

1. Korenkov D.A. Problems of vacuum-high-frequency drying of wooden supports and ways to overcome them // International Scientific and Practical Conference "Electrical Networks: Reliability, Safety, Energy Conservation and Economic Aspects" mater. сonf. (Kazan 7 April 2021 g.). - Kazan: Kazan gos. energ. un-t, 2021. - pp. 13-19.

2. Kachanov A.N. Modeling of processes of high-frequency drying of wooden tangent towers in vacuum chamber / A.N. Kachanov, D.A. Korenkov, A.A. Revkov, V.V. Maksimov, O.V. Vorkunov // Energy problems, 2020. - T. 22. - № 6. - pp. 130-142.

3. Kachanov A.N. Electromagnetic Field Distribution Study for High Frequency Wood Drying / A.N. Kachanov, D.A. Korenkov // Vesti vysshih uchebnyh zavedenij CHernozem'ya. – 2017. – № 1(47). – pp. 16-26.

**Korenkov Dmitry Andreevich**, Candidate of sciences in technology, docent of Electric equipment and energy saving department, Oryol state university of I.S. Turgenev, 302026, g. Oryol, ul. Komsomolskaya, d. 95, e-mail: dimas.corenkov@yandex.ru.

**Eremeev Vladislav Dmitrievich**, undergraduate, Oryol state university of I.S. Turgenev, 302026, g. Oryol, ul. Komsomolskaya, d. 95.