

Определение структуры измерительных стендов СВЧ установки для сушки и обжига строительного кирпича

К.А. Кузьмин¹, С.М. Морозов¹, Е.В. Балмашинова², Э.И. Хобот², А.Р. Муртазин², Р.А. Казарян², Г.А. Казарян²

¹ Смоленский областной казачий институт промышленных технологий и бизнеса (филиал) МГУТУ имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), Вязьма

²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Аннотация: Рассматривается структура измерительных стендов сверхвысокочастотной установки сушки и обжига кирпича. Выявлены технические требования к СВЧ установкам и определены назначения СВЧ генератора, фидерной цепи, СВЧ камеры, транспортера, балластной нагрузки, системы вентиляции. Лабораторная установка должна иметь фидерный тракт на основе волновода 90 x 45 мм и СВЧ камеру волноводного типа с достаточно большим рабочим объемом. В лабораторной установке, описанной структуры, относительно просто произвести оценку возможной температуры нагрева текстильной ленты и керамических роликов, используемых в экспериментальной установке в качестве транспортерных систем. Коэффициент моделирования (К) необходимо выбирать из условия использования в качестве модели стандартного сечения волновода. Среда, моделирующая обрабатываемые изделия, должна иметь, так же, как и у кирпича-сырца диэлектрическую и магнитную проницаемости и увеличенную в К раз проводимость.

Ключевые слова: измерительный стенд, сверхвысокочастотная установка, кирпич, сушка, обжиг, мощность, структура, электродинамическое моделирование, экспериментальная установка.

В настоящее время в России основная ставка идет на импортозамещение, но наблюдается высокий уровень загрузки производственных мощностей и рабочей силы, следовательно, возникает потребность в развитии аграрного комплекса и всех отраслей строительного производства, модернизация существующих и строительство новых промышленных комплексов [1, 2].

Областью применения экспериментальной сверхвысокочастотной (далее СВЧ) установки является отработка промышленных технологий в производстве строительного кирпича.

СВЧ генератор предназначен для преобразования электрической энергии промышленной частоты в энергию электромагнитного поля с

частотой 915 МГц [3-5]. В установке может быть применен промышленный СВЧ генератор, имеющий следующие характеристики:

- рабочая частота - 915 МГц;
- выходная мощность - 10 -50 кВт;
- питание трехфазное 380/220 10% В, частота 50 Гц;
- потребляемая мощность - не более 75 кВт;
- расход воды на охлаждение магнетрона - 50л/мин;
- давление воды - 3 атм;
- температура воды на входе - до 30°С;
- расход воздуха на охлаждение магнетрона - 4 м³/час;
- давление воздуха - 4 атм.

Выход генератора – волноводный, сечением 220 x104 мм

Магнетронный блок соединяется с блоком питания и управления гибкими кабелями и может быть удален от них на 2 - 5 м.

Фидерная цепь предназначена для подвода СВЧ энергии от генератора к СВЧ камере. Фидерная цепь содержит прямолинейные отрезки волноводов, волноводные изломы (повороты) и т-тройники на базе волновода сечением 220 x 104 мм.

СВЧ камера предназначена для локализации СВЧ поля в рабочем объеме и осуществления равномерного нагрева изделий СВЧ энергией. СВЧ камера может представлять собой два модуля сечением 700 x 750 мм и длиной по 2 м каждый с контактными фланцами. Внутри камеры должны размещаться: центральные проводники диаметром 30мм, система крепления теплоизоляционного слоя, а также керамический рольганг. Возбуждение центральных проводников необходимо осуществить специальными волноводно-полосковыми переходами.

Транспортер предназначен для перемещения обрабатываемых изделий через рабочий объем СВЧ камеры. Вход транспортера в СВЧ камеру

осуществить через входные устройства сечением 700 x 350 мм и длиной 1,5 м. Система снижения паразитного излучения из раскрытов входных устройств обрабатывается экспериментально. Общая длина транспортера не менее 8м. Конструкция установки должна позволять производить замену рольганга на ленточный транспортер. Транспортер должен быть работоспособным при размещении на нем изделия общей массой порядка 600 кг.

Привода транспортера должны обеспечить изменение скорости перемещения обрабатываемых изделий в диапазоне 3-14 см/мин.

Теплоизоляция предназначена для уменьшения тепловых потерь с поверхностей СВЧ камеры. В режиме сушки теплоизоляция должна быть внешней на основе каолиновой ваты. В режиме обжига конструкция СВЧ камеры должна позволять размещать теплоизоляционный слой внутри рабочего объема камеры.

Балластная нагрузка предназначена для поглощения неиспользованной в камере СВЧ мощности. Она может представлять собой волноводную водяную нагрузку, подключаемую к выходам СВЧ камеры с помощью фидерной цепи, аналогичной входной фидерной цепи.

Контрольно-измерительная система предназначена для осуществления измерения температуры обрабатываемых изделий, контроля над паразитным фоном на рабочих местах, уровне подводимой и прошедшей СВЧ мощности. Измерение температуры допустимо осуществлять с помощью термопар, вводимых внутрь СВЧ камеры сразу после выключения СВЧ генератора. Контроль за уровнем подводимой СВЧ мощности можно осуществлять по анодному току магнетрона. Контроль за уровнями прошедшей СВЧ мощности можно осуществить в канале балластной нагрузки с помощью прокалиброванного зондового ответвителя. Контроль за

паразитным фоном на рабочих местах, но осуществлять с помощью измерителя плотности потока энергии ПЗ-20.

Система вентиляции предназначена для удаления испарившейся влаги из рабочего объема СВЧ камеры, и обдува поверхности кирпичей горячим воздухом. Она должна быть приточно-вытяжной, иметь производительность на уровне 3000 м³/час и содержать калорифер, осуществляющий нагрев продуваемого воздуха до 130°С.

Пульт управления предназначен для оперативного управления работой установки. На пульте управления должны быть основные органы управления СВЧ генератором, транспортером, системой вентиляции и отображены основные измеряемые и контролируемые параметры.

Для экспериментальной СВЧ установки должен быть создан стенд, позволяющий производить измерение характеристик согласования волноводных элементов фидерной цепи, узлов ввода энергии в СВЧ камеру, а также стенд по контролю, уровня паразитного излучения на рабочей частоте 915 МГц [6-8]. Для измерения характеристик согласования наилучшим образом подходит измерительный стенд на основе автоматического измерителя коэффициента стоячей волны (далее КСВН) и ослаблений Р2-73. Измерительный стенд, описанной структуры позволяет произвести контроль характеристик согласования всех волноводных элементов фидерной цепи, регулировку волноводных тройников, а также отработку и настройку узлов ввода энергии в СВЧ камеру экспериментальной установки.

Стенд по контролю паразитного излучения можно создать на основе измерителя плотности потока энергии ПЗ-9 или ПЗ-19. В состав стенда целесообразно включить зондовый измеритель мощности, позволяющий проводить измерение паразитного фона на средних уровнях мощности (порядка десятков ватт), что необходимо для обеспечения безопасности

персонала, обслуживающего стенд на этапе настройки системы защиты экспериментальной установки [8-10].

Лабораторная установка должна иметь фидерный тракт на основе волновода 90 x 45 мм и СВЧ камеру волноводного типа с достаточно большим рабочим объемом. В лабораторной установке, описанной структуры, относительно просто произвести, например, оценку возможной температуры нагрева текстильной ленты и керамических роликов, используемых в экспериментальной установке в качестве транспортерных систем.

При выборе конструкции элементов защиты необходимо ориентироваться на возможность достижения с их помощью необходимого ослабления. При мощности установки 100 кВт, площади выходного отверстия $S=350 \times 670 \text{ мм}^2 = 2345 \text{ см}^2$ и плотности потока мощности 2 мкВт/см^2 ($< 10 \text{ мкВт/см}^2$) в отверстии необходимое переходное ослабление составляет -73дБ ($2 \cdot 10^7$ раз). При этом, измеренные на модели величины ослабления равны величинам ослабления в реальной установке [11-13].

Коэффициент моделирования (K) необходимо выбирать из условия использования в качестве модели стандартного сечения волновода.

Среда, моделирующая обрабатываемые изделия, должна иметь, так же, как и у кирпича-сырца диэлектрическую и магнитную проницаемости и увеличенную в K раз проводимость.

Кирпич-сырец состоит в основном из глины с добавлением песка и имеет влажность 14-20% на входе установки и влажность 2-4% на выходе. Для глинистой почвы с влажностью 10% в диапазоне частот 915 МГц – 2,83 ГГц диэлектрическая проницаемость остается, практически постоянной эквивалентная проводимость растет от 1 см/м до 0,3 см/м [3, 5].

Таким образом требуемое увеличение проводимости в $K=3,09$ раз обеспечивается свойствами самого обрабатываемого материала. Поэтому

слой кирпича-сырца реальной установки моделируется слоем материала с меньшей в 3,09 раз толщиной, вырезанным из исходного кирпича-сырца. Для расположения этого слоя в модели на высоте, соответствующей высоте транспортера, необходимо использовать прокладку из пенопласта, электрические параметры которого близки к электрическим параметрам воздуха.

Литература

1. Кузьмина Т.К. О некоторых проблемах инвестиционного климата в области строительства // Научное обозрение. 2016. №21. С. 192-195.
2. Kuzmina T., Cherednichenko N. Systematization of the major stages of the client in certain branches of construction production // MATEC Web of Conferences 5. Ser. "5th International Scientific Conference "Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education", IPICSE 2016" 2016. pp. 05012.
3. Григорьев А.Д. Электродинамика и техника СВЧ. М.: Лань, 2004. 704 с.
4. Кузьмин К.А., Кучерова Е.Н. Оценка инфокоммуникационных факторов в рамках концепции устойчивого развития предприятия // Экономика и предпринимательство. 2016. №6(71). С. 387-394.
5. Григорьев А.Д., Иванов В.А., Молоковский С.И. Электродинамика и микроволновая техника. М.: Лань, 2016. 497 с.
6. Морозов Г.А., Морозов О.Г., Седельников Ю.Е., Стахова Н.Е., Степанов В.В Низкоинтенсивные СВЧ-технологии (проблемы и реализации). М.: Библиотека журнала «Антенны», 2003. 112 с.
7. Кузьмин К.А., Максаков С.А. Имитационное моделирование автоматизированной системы охлаждения испытательного стенда // Научное и образовательное пространство: перспективы развития Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции. 2017. С. 238-243.

8. Морозов Г.А. Микроволновые технологии – новое направление энергосбережения // Научно-технический и общественно-информационный журнал «Энергосбережение в Республике Татарстан». 2002. №3-4 (8-9). С. 52-54.

9. Веденькин Д.А., Фаизов И.И. Исследование процессов переработки плотного битумизированного нефтешлама с использованием СВЧ-энергии // Инженерный вестник Дона, 2016, №2 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2016/3636/.

10. Морозов Г.А., Анфиногентов В.И., Гараев Т.К. Оптимизация процесса микроволнового нагрева диэлектрика // 12-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (КРЫМИКО): Севастополь: Вебер, 2002. №3-4 (9-10). С. 138-140.

11. Шушкевич Т. В. Программный расчет неопределенности результатов измерений // Инженерный вестник Дона, 2016, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3806/.

12. Morozov G.A., Chetverikov A.P., Yakunin A.N., Yavchunovsky V.V. Mathematical modeling of the uhf heating of water oil emulsions // 5th International conference on antenna theory and techniques, Kiev. 2005. pp. 99-104.

13. Morozov G.A., Anfinogentov V.I., Galimov M.R., Morozov O.G. The modeling of electrodynamics and thermodynamics processes while electromagnetic field and dielectric interaction // 5th International conference on antenna theory and techniques, Kiev. 2005. pp. 491-493.

References

1. Kuz'mina T.K. Nauchnoe obozrenie. 2016. №21. pp. 192-195.
2. Kuzmina T., Cherednichenko N. MATEC Web of Conferences 5. Ser. "5th International Scientific Conference "Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education", IPICSE 2016" 2016. P. 05012.

3. Grigor'ev A.D. Elektrodinamika i tekhnika SVCH [Electrodynamics and microwave technology. M.: Lan, 2004. 704 p]. M.: Lan', 2004. 704 p.
 4. Kuz'min K.A., Kucherova E.N. Jekonomika i predprinimatel'stvo. 2016. №6 (71). pp. 387-394.
 5. Grigor'ev A.D., Ivanov V.A., Molokovskij S.I. Elektrodinamika i mikrovolnovaya tekhnika. [Electrodynamics and microwave technology]. M.: Lan', 2016. 497 p.
 6. Morozov G.A., Morozov O.G., Sedel'nikov Ju.E., Stahova N.E., Stepanov V.V. Nizkointensivnye SVCH-tehnologii (problemy i realizacii). M.: Biblioteka zhurnala «Antenny», 2003. 112 p. [Low-intensity microwave technologies (problems and implementations)].
 7. Kuz'min K.A., Maksakov S.A. Nauchnoe i obrazovatel'noe prostranstvo: perspektivy razvitija Sbornik materialov VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. 2017. pp. 238-243.
 8. Morozov G.A. Nauchno-tehnicheskij i obshhestvenno-informacionnyj zhurnal «Jenergoberezhenie v Respublike Tatarstan». 2002. №3-4 (8-9). pp. 52-54.
 9. Veden'kin D.A., Faizov I.I. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2016/3636/.
 10. Morozov G.A., Anfinogentov V.I., Garaev T.K. 12 ja Mezhdunarodnaja Krymskaja konferencija «SVCh-tehnika i telekommunikacionnye tehnologii (KRyMiKo): Sevastopol': Veber, 2002. pp. 138-140.
 11. Shushkevich T. V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3806/.
 12. Morozov G.A., Chetverikov A.P., Yakunin A.N., Yavchunovsky V.V. 5th International conference on antenna theory and techniques, Kiev. 2005. pp. 99-104.
-



13. Morozov G.A., Anfinogentov V.I., Galimov M.R., Morozov O.G. 5th International conference on antenna theory and techniques, Kiev. 2005. pp. 491-493.