

## Исследование СВЧ технологических комплексов переработки твердых и жидких сред

*С.В. Смирнов, Г.А. Морозов, О.Г. Морозов, А.Р. Насыбуллин,  
В.И. Анфиногентов, Р.В. Фархутдинов*

*Казанский национальный исследовательский технический университет  
им.А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань*

**Аннотация:** Рассматриваются возможные пути исследования и разработки сверхвысокочастотного технологического комплексов (СВЧТК) для обработки твердых и жидких сред, накопленных в хранилищах отходов на коневодческих и животноводческих фермах. Предлагается новая технология обрабатываемой среды за счет энергии СВЧ нагрева, приводится возможная структурная схема комплекса СВЧ нагрева. Приводятся результаты экспериментальных лабораторных исследований СВЧ нагрева, которые являются исходными для разработки серийных комплексов СВЧ для сушки больших объемов накопленных отходов коневодческих ферм.

**Ключевые слова:** диэлектрик, диэлектрическая проницаемость, СВЧ нагрев, влажность, отходы, физико-химический состав, математическая модель, технологический комплекс.

### Введение

Быстрое накопление отходов городской сферы, животноводческих и сельскохозяйственных предприятий требуют новых путей, методов и средств для их переработки. Принимаемые в настоящее время технологические методы и средства обеспечения экологической безопасности малоэффективно решают проблемы переработки отходов [1].

Электромагнитная безопасность, высокая скорость воздействия на материалы и среды, безинерционность, высокий коэффициент полезного действия электромагнитных полей (ЭМП) СВЧ диапазона исследуемых сред являются перспективными для построения современных СВЧТК [2]. Непрерывный контроль и учет множества параметров процесса, а также неоднородности обрабатываемых сред, приведет к улучшению подобных технологий и достижению наиболее эффективных результатов. Поэтому развитие и применение СВЧТК для управления технологическими процессами обработки отходов животноводства является актуальным.

Среди [3] многих путей решения вопроса переработки отходов животноводческих отстойников и коневодческих ферм, по мнению авторов, наиболее перспективным является СВЧ нагрев [4], так как такой способ позволяет осуществить безинерционный нагрев как жидкие, так и твердые среды, за исключением большой плотности металлических включений.

Известно [5,6], что разработка СВЧТК требует разрешения триединой многофакторной проблемы; выбор процесса переработки материальной среды, определение математического функционала качества, разработаны структурная и принципиальная схемы комплекса СВЧ нагрева.

А) Задание процесса преобразования материальной среды

Б) Выборка математического функционала качества

В) Разработки структурной и принципиальной схем СВЧ преобразования обрабатываемой среды- в частности, отходов коневодческих предприятий.

Для того, чтобы построить алгоритм решения проблемы следует обратить внимание исследователей на необходимость применения комплексов и устройств с адаптивным управлением и получения оптимальных результатов на основе СВЧ обработки среды.

В этом случае эффективность СВЧТК в целом можно оценить характеристиками требуемых и фактически реализуемых мощностей при минимальных энергозатратах и технических сложностей, т.е.:

$$\Delta P = \left\| P_{\text{зад}} - P_{\text{факт}} \right\|, \quad (3)$$

где  $P_{\text{зад}}$  – мощность генераторов СВЧ,  $P_{\text{факт}}$  – мощность преобразованная средой

Для разрабатываемых СВЧТК функционал (3) – характеризует погрешность  $\Delta P$ , определяющая эффективности разрабатываемых комплексов [7].

## **Исследование и измерение исходных показателей СВЧТК для переработки накопленных отходов коневодческих производств**

В настоящее время использование СВЧ для переработки накопленных отходов предприятий животноводства является наиболее актуальной [8].

В реальных условиях разработки требуют учета следующих параметров: влажности, массы твердых составляющих, удельную мощность СВЧ энергии, время и скорости сушки [9].

Ниже приводятся результаты экспериментальных исследований в НИИ ПРЭФЖС (февраль 2018 г.). Были определены параметры сушки конского навоза одного из казанских конезаводов.

Условия эксперимента заключались в следующем:

- нагрев осуществляется в СВЧ боксе с объемом камеры  $V = 21824 \text{ см}^3$ ;
- нагреваемый материал - навоз  $V = 1800 \text{ см}^3$ ;
- масса исходного материала  $m=0,8 \text{ кг}$ ;
- толщина слоя нагреваемого равномерно распределенного материала в СВЧ боксе 80 мм;
- начальная исходная температура материала  $t=18^\circ\text{C}$ .

Заданная порция предварительно измельченного исходного материала погружали в рабочую камеру СВЧ. Внутри камеры под воздействием СВЧ ЭМП происходил нагрев сырья при заданной мощности  $P = \text{const}$ . Выходная мощность магнетрона составляла 700 Вт. Уже в течении первых 2 минут температура материала увеличилась с  $18^\circ\text{C}$  до  $100^\circ\text{C}$ . В дальнейшем мощность уменьшали. Высвобожденная влага в виде пара выводилась принудительно через вентиляционные отверстия. Каждые 5 минут производилось перемешивание обрабатываемого материала при отключении питания СВЧ камеры и производили измерение массы исследуемого вещества. На 28 минуте влага полностью испарилась (при визуальном наблюдении возникали области возгорания), что являлось контрольным

---

моментом отключения питания СВЧ камеры и прекращения текущей фазы эксперимента.

Следующим этапом являлось измерение диэлектрических характеристик конской биомассы с помощью анализатора спектра фирмы Agilent E5071C методом коаксиального пробника.

Результаты экспериментов:

1. Предельная температура нагрева пробного объема материальных сред показала в течение первых 2 минут нагрева увеличение с 18°C до 100°C.

2. В результате измерений значения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь исследуемого продукта составили  $\epsilon = 50$  и  $\text{tg } \delta = 0.24$ .

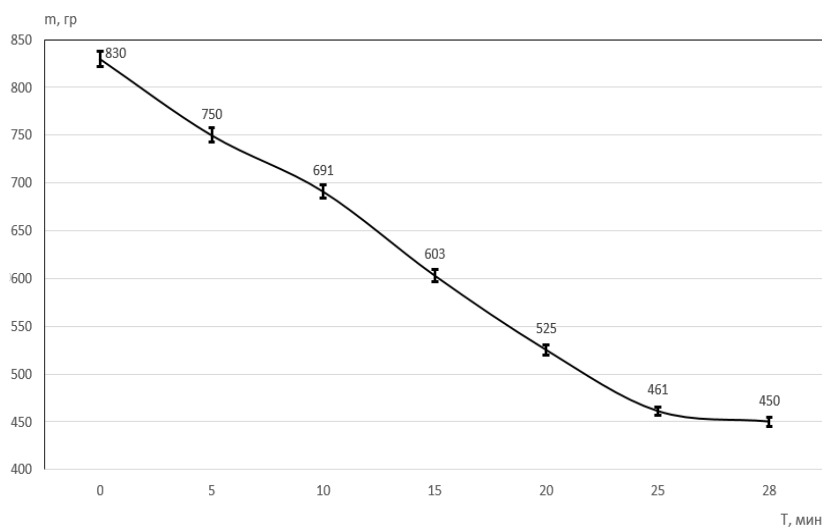


Рис.1 – Изменение массы обрабатываемого материала при СВЧ нагреве

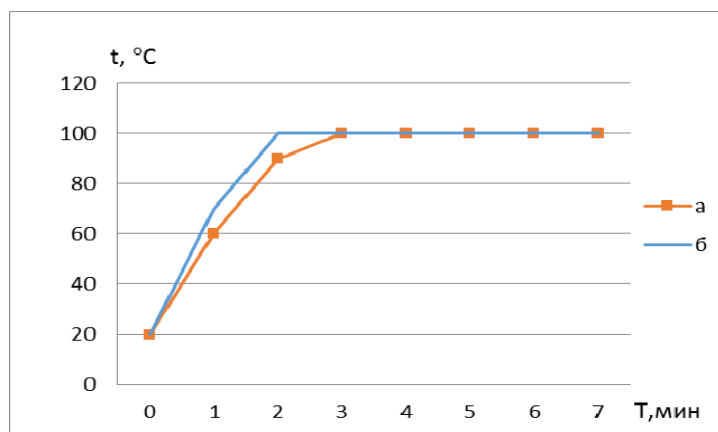


Рис.2 – СВЧ нагрев материала при  $P=\text{const}$ :

- а) без измельчения и без перемешивания во время нагрева;
- б) предварительно измельченный материал с перемешиванием

### Заключение

В настоящей работе рассмотрены:

- схема исследований;
- основные положения постановки задачи по разработке экологически чистого СВЧ комплекса переработки твердых и жидких сред и их смесей;
- приводятся результаты СВЧ обработки отходов реального конезавода;
- результаты показывают, что доказана возможность создания СВЧ комплекса непрерывной переработки значительных объемов сырья в потоке [10].

### Литература

1. Московский М.Н. и др. Совершенствование методологии определения многокомпонентной среды отходов продукции животноводства // Инженерный вестник Дона, 2012, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/836](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/836)



2. Морозов Г.А и др. Микроволновые технологии. Результаты и новые задачи // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2006, Т. 9, № 3. С. 82-91.

3. Морозов Г.А и др. Адаптивные микроволновые технологические комплексы для обработки жидких смесей // Вопросы электротехнологии. 2015, № 3 (8), С. 23-30.

4. Морозов Г.А и др. Эффекты СВЧ воздействия // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2017, Т. 20. № 3-2 С. 26-30.

5. Морозов Г.А и др. Согласование нагрузок с переменным импедансом // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2006, Т. 9, № 2 С. 41-46.

6. Морозов Г.А. и др. Современные подходы к построению адаптивных СВЧ технологических комплексов обработки высоковязких водонефтяных смесей // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2012, Т. 15, № 4 С. 59-66

7. Anfinogentov V. I., et. al. Optimization of microwave heating of dielectrics taking into account errors in amplitudes of the excitation electromagnetic field emitters // 2017 XI International Conference on Antenna Theory and Techniques Kyiv, pp. 435-438

8. Morozov G., et. al. Modeling and optimization of microwave heating in cylindrical volumes // 2017 XI International Conference on Antenna Theory and Techniques, Kyiv, pp. 68-73

9. Веденькин Д.А. и др. Модель конвейерного способа переработки веществ при помощи СВЧ-нагрева // Инженерный вестник Дона, 2018, №2 URL:ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\_207\_Veden\_kin\_Khalikov\_Khabibullin.pdf\_aeffefa9ce.pdf

10. Колосова М.М. и др. Электромагнитная обработка отходов животноводства для получения экологически безопасных органических

---



удобрений // Достижения науки и техники АПК, 2017, №5 URL:  
cyberleninka.ru

### References

1. Moskovskij M.N., et. al. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/836
2. Morozov G.A et. al. Fizika volnovyh processov i radiotekhnicheskie sistemy. 2006, T. 9, № 3. p.p. 82-91
3. Morozov G.A. et. al. Voprosy jelektrotehnologii. 2015, № 3(8), p.p.23-30.
4. Morozov G.A et. al. Fizika volnovyh processov i radiotekhnicheskie sistemy. 2017, V. 20, № 3-2, p.p. 26-30.
5. Morozov G.A et. al. Fizika volnovyh processov i radiotekhnicheskie sistemy. 2006, T. 9, № 2. p.p. 41-46
6. Morozov G.A., et. al. Fizika volnovyh processov i radiotekhnicheskie sistemy, V. 15, № 4, 2012. p.p.59-66
7. Anfinogentov V. I., et. al. ICATT 2017, pp. 435-438
8. Morozov G., et. al. ICATT 2017, pp. 68-73
9. Veden'kin D.A. et. al. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №2. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\_207\_Veden\_kin\_Khalikov\_Khabibullin.pdf\_aeffefa9ce.pdf
10. Kolosova M.M., et. al. Dostizhenija nauki i tehniky APK, 2017, №5. URL: cyberleninka.ru