

Исследование процесса регенерации силикагеля методом его сушки в сверхвысокочастотном электромагнитном поле

Шевченко О.А., д.т.н. проф. Сурис А.Л., д.т.н. проф. Шаталов А.Л.

Университет машиностроения
8(903)500-96-82, schev_olga@mail.ru

Аннотация. В настоящей работе проведено экспериментальное исследование кинетики сушки силикагеля при различной начальной влажности, а также исследовано изменение температуры материала в процессе сушки. На основании экспериментальных данных выявлены параметры процесса сушки при СВЧ энергоподводе, время высушивания до равновесной влажности ($\leq 0,5\%$), предельное время обработки, не нарушающее свойств силикагеля, а также температура адсорбента в конце процесса сушки.

Ключевые слова: сушка, силикагель, СВЧ электромагнитное поле.

Регенерация сорбентов (удаление влаги и восстановление их сорбционной способности) может осуществляться разными методами.

Одним из возможных способов регенерации силикагеля является сушка в сверхвысокочастотном (0,4 -10 ГГц) электромагнитном поле (СВЧ – сушка).

Нагреву в СВЧ поле могут быть подвержены, в том числе, полярные диэлектрики, типичным представителем которых является вода. Как показано на рисунке 1, полярная молекула в электрическом поле стремится ориентироваться таким образом, чтобы вектор диполя был противоположен вектору внешнего поля. Поскольку направление внешнего поля меняется с очень высокой частотой, полярная молекула совершает огромное количество поворотов за короткое время. При этом она постоянно сталкивается с соседними колеблющимися молекулами, в результате чего кинетическая энергия движения молекул в диэлектрике, а, соответственно, и его температура возрастают. На неполярные диэлектрики электромагнитное поле действует слабо, причем это воздействие, как правило, обусловлено наличием примеси.

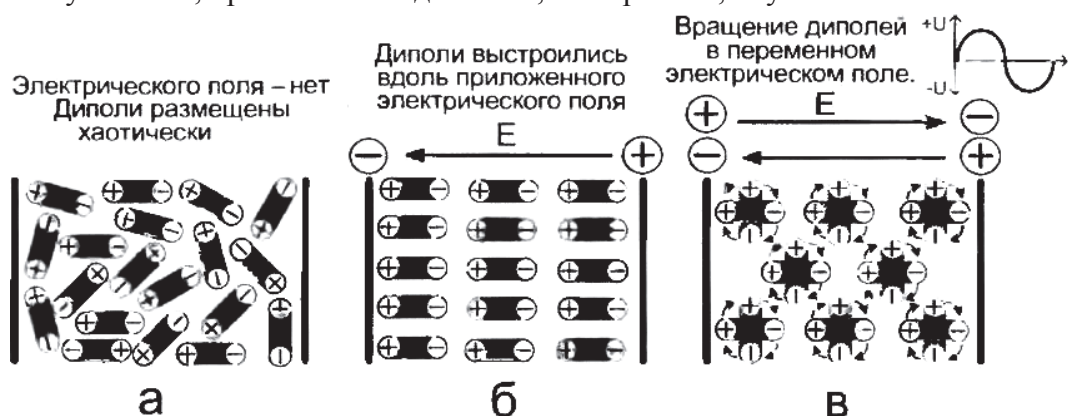


Рисунок 1. Поведение полярной молекулы в переменном электрическом поле

СВЧ-сушка более эффективна по сравнению с традиционными способами сушки (кондуктивной и конвективной). Во-первых, передача тепла на испарение влаги осуществляется непосредственно от источника энергии (магнетронного генератора) к воде без нагрева промежуточного теплоносителя (как при конвекционной сушке), а также не осуществляется за счёт передачи тепла через стенку за счёт теплопроводности. С учётом КПД магнетронного генератора (около 85 %) доля расходуемой энергии, затрачиваемой непосредственно на испарение влаги, составляет около 80 %. Причём энергию, теряемую в магнетронах, можно использовать для нагрева газа, который также может подаваться в зону сушки, что повышает эффективность процесса. Во-вторых, так как образование пара происходит во всём объёме материала, повышенное давление внутри пор адсорбента способствует удалению влаги.

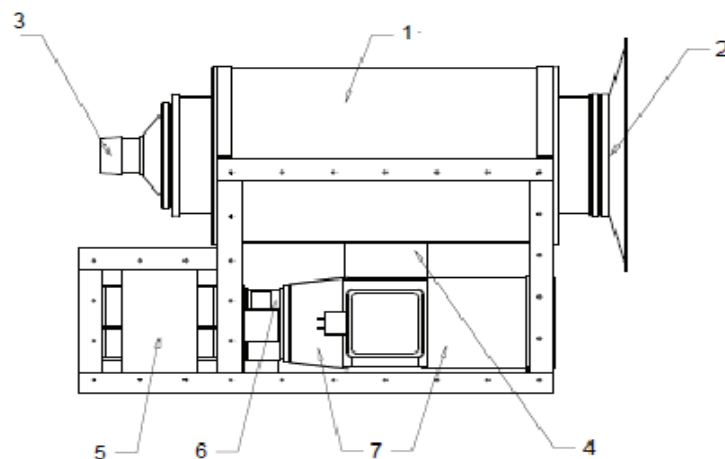


Рисунок 2. Конструктивная схема аппарата для СВЧ-сушки:

1 – Резонатор, заполненный силикагелем; 2 – Раструб выхода пара; 3 – Штуцер подачи влажного газа; 4 – Волновод; 5 – Трансформатор высоковольтный; 6 – Вентилятор; 7 – Магнетрон

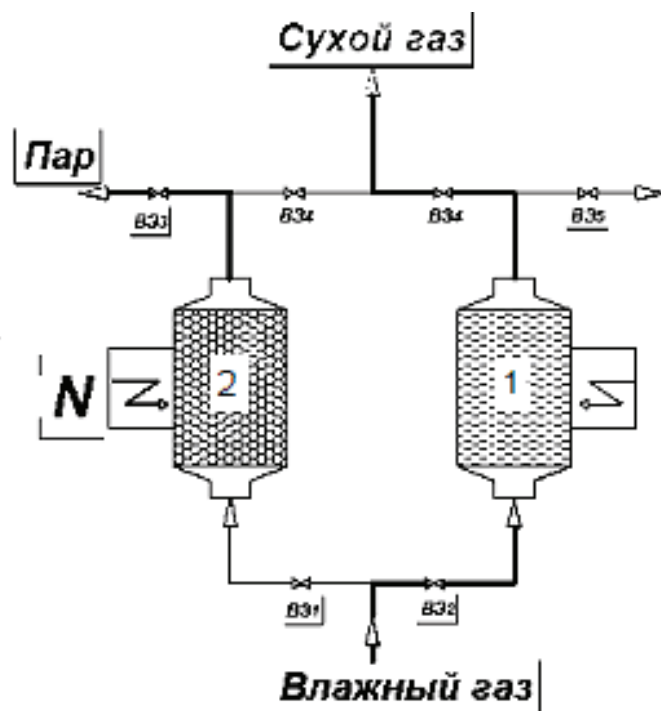


Рисунок 3. Схема процесса адсорбции водяных паров и регенерации силикагеля

Достоинство метода заключается в объемности нагрева материала. Тепло проникает в материал не с поверхности, а генерируется сразу во всем объеме. Кроме того, поскольку поверхность материала подвержена охлаждению, за счет испарения, температура внутри материала всегда несколько выше, чем на поверхности. Это приводит к тому, что влага стремится выйти из внутренних областей на поверхность. Этому способствует и давление пара внутри материала.

На рисунке 2 представлена конструктивная схема аппарата для СВЧ-сушки влажных материалов. Регенерация силикагеля осуществляется в металлической камере-резонаторе (1), куда волноводом (4) передается СВЧ-энергия, генерируемая магнетроном (7). В резонаторе

концентрируется высокочастотное излучение, 2450 МГц. Энергия электромагнитного поля, поглощаясь материалом, превращается в тепловую энергию. Корпус аппарата выполнен из металла, а во входные и выходные штуцера вставлены перфорированные металлические решетки с диаметром отверстий, не способных пропускать наружу волны сверхвысокой частоты длиной $\lambda=100$ мм.

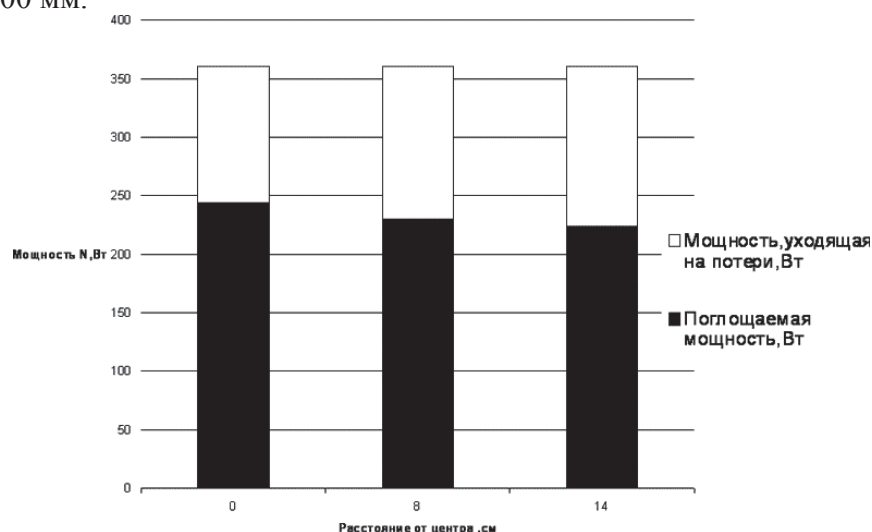


Рисунок 4. Влияние расположения нагреваемого объекта в печи

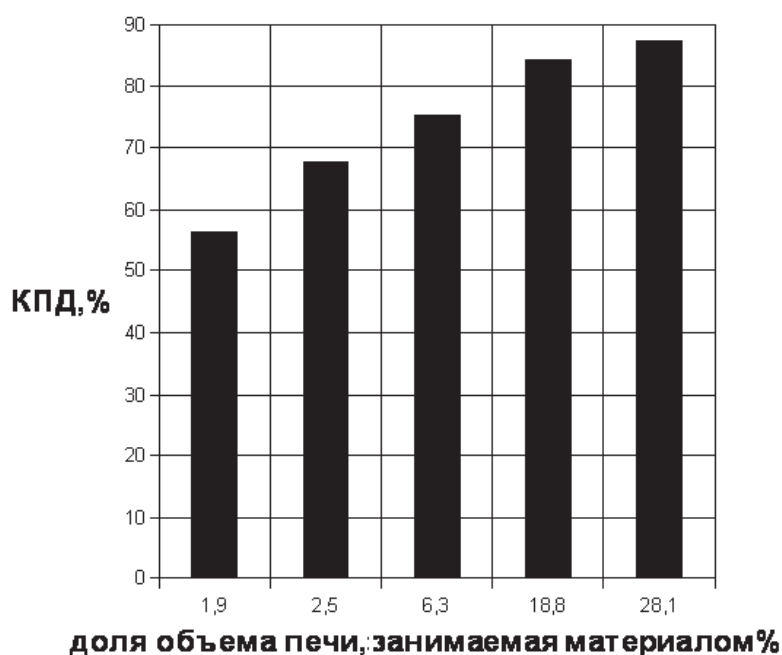


Рисунок 5. Зависимость эффективности нагрева от занимаемого телом объёма

Схема непрерывного адсорбционного процесса осушки газа представлена на рисунке 3. Водяные пары, проходя через аппарат (1), адсорбируются силикагелем. В это время в аппарате (2) происходит десорбция влаги из силикагеля под действием электромагнитных волн. После насыщения влагой силикагеля в аппарате (1) и сушки силикагеля до равновесной влажности в аппарате (2) режим работы установки меняется.

В настоящей работе проведено экспериментальное исследование влияния различных параметров на процесс нагрева и сушки материалов в СВЧ-поле.

На рисунке 4 представлена зависимость поглощенной материалом мощности на разных расстояниях ёмкости с материалом от центра печи, где расположен волновод при прочих

равных условиях. Видно, что чем ближе нагреваемый объект находится к стенкам аппарата, тем он поглощает меньшую мощность. Это обусловлено тем, что электрическое поле в объеме резонатора распределено неравномерно. Плотность энергии электромагнитного поля вблизи волновода больше.

На рисунках 5, 6 показана зависимость эффективности СВЧ-нагрева от доли объема, занимаемого телом в печи. Из диаграммы видно, что чем больше объема печи занято нагреваемым телом, тем эффективнее становится нагрев. Это характеризуется тем, что энергия поля в максимальной степени поглощается в обрабатываемой среде.

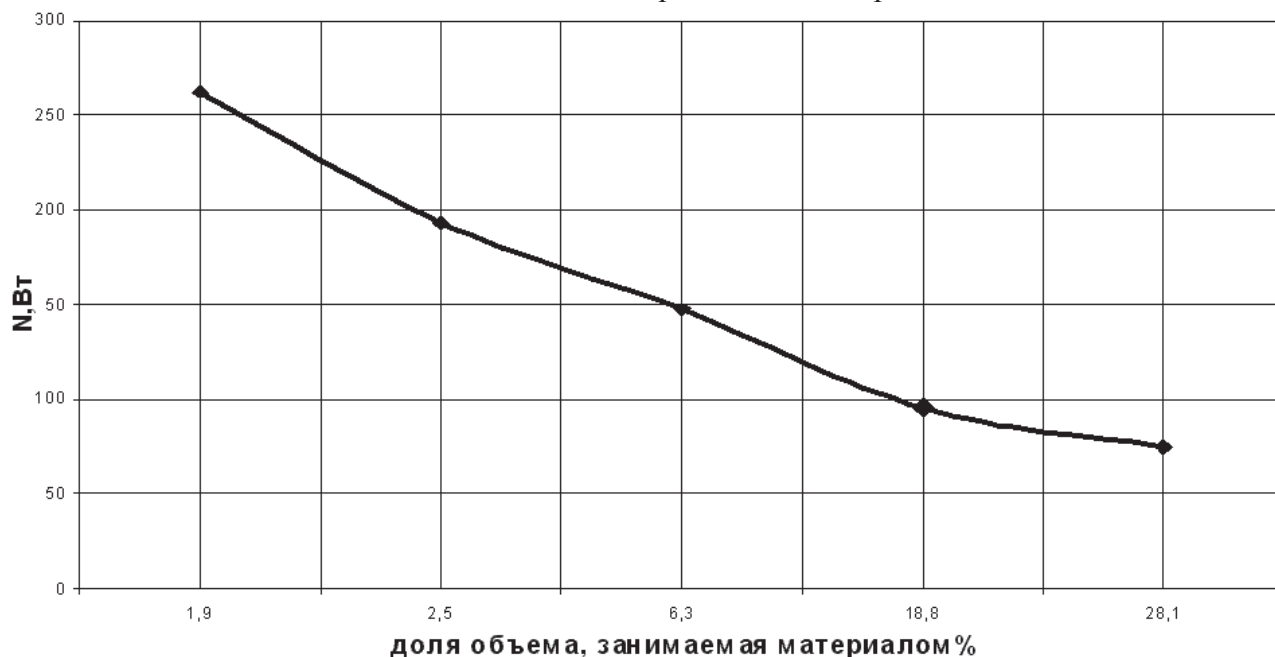


Рисунок 6. Зависимость потерь мощности от занимаемого нагреваемым телом объема печи

Экспериментальное исследование кинетики сушки силикагеля (рисунки 7, 8) показало, что зависимости имеют классический вид для сушки капиллярно пористых тел. Т.е. отчетливо прослеживаются период прогрева силикагеля до температуры испарения влаги (от 20 °С до 100 °С), период постоянной скорости сушки (так называемый «первый период сушки») и период снижения скорости сушки до нуля в конце процесса («второй период сушки» или «период падающей скорости»).

На температурной кривой также можно выделить несколько характерных этапов, связанных с этапами на кривой изменения влажности. В начале процесса СВЧ нагрева температура силикагеля растет почти линейно с высокой скоростью. Далее следует этап, когда скорость роста температуры резко снижается и устанавливается почти постоянная температура. Очевидно, что это этап фазового превращения воды в пар. На этом этапе скорость сушки принимает постоянное и наиболее высокое значение. На последнем этапе наблюдается довольно резкое замедление роста температуры и его полное прекращение. В это же время скорость сушки резко замедляется и влажность достигает минимального значения, не превышающего $u = 0,3 \%$. Т.е. процесс десорбции закончен, несмотря на то, что СВЧ энергоподвод продолжается.

Объемный энергоподвод создает дополнительный поток влаги из влажных слоев силикагеля к поверхностным. Благодаря этому большую часть времени процесса скорость удаления влаги имеет максимально возможную величину для заданного уровня энергоподвода.

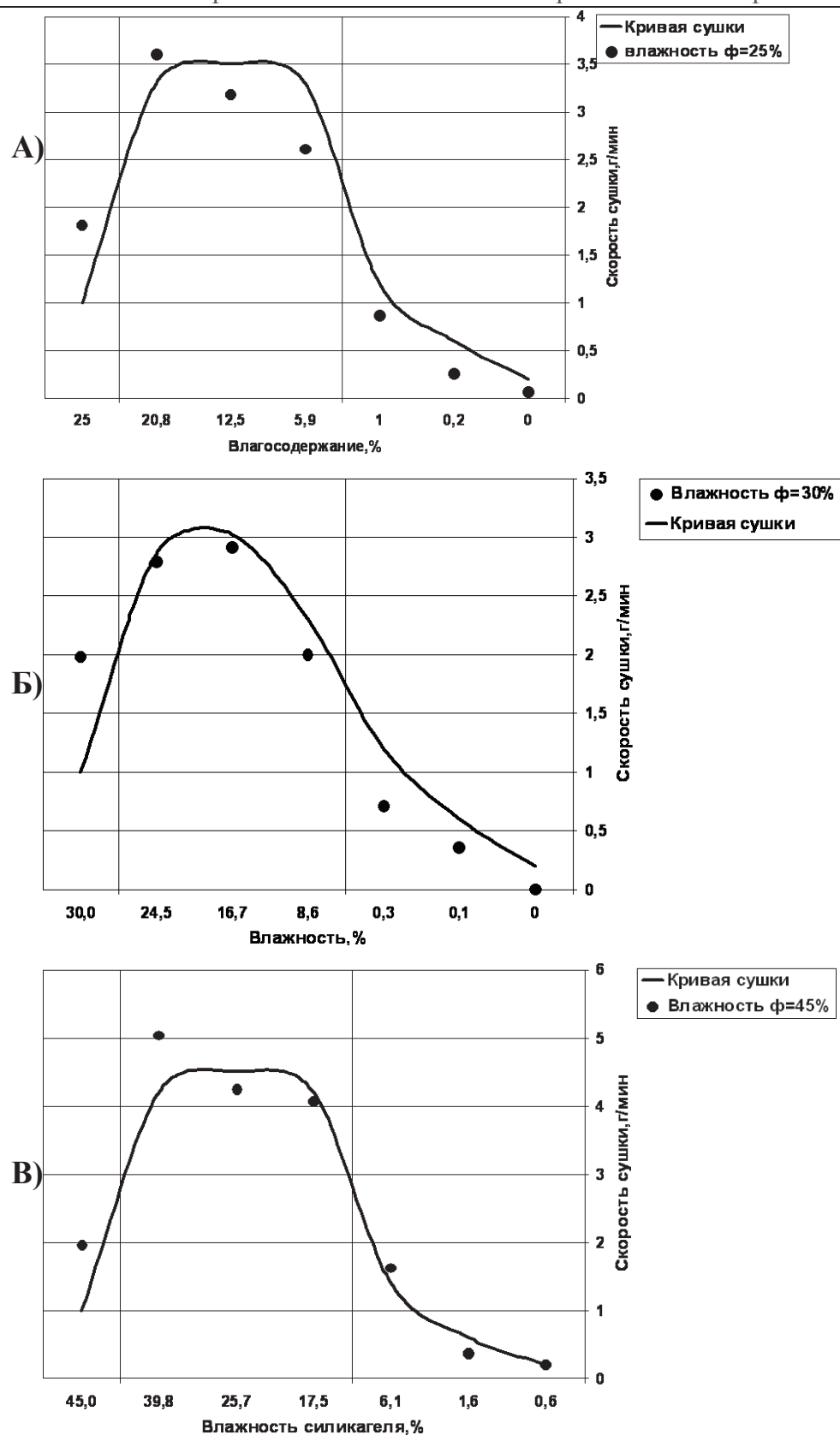
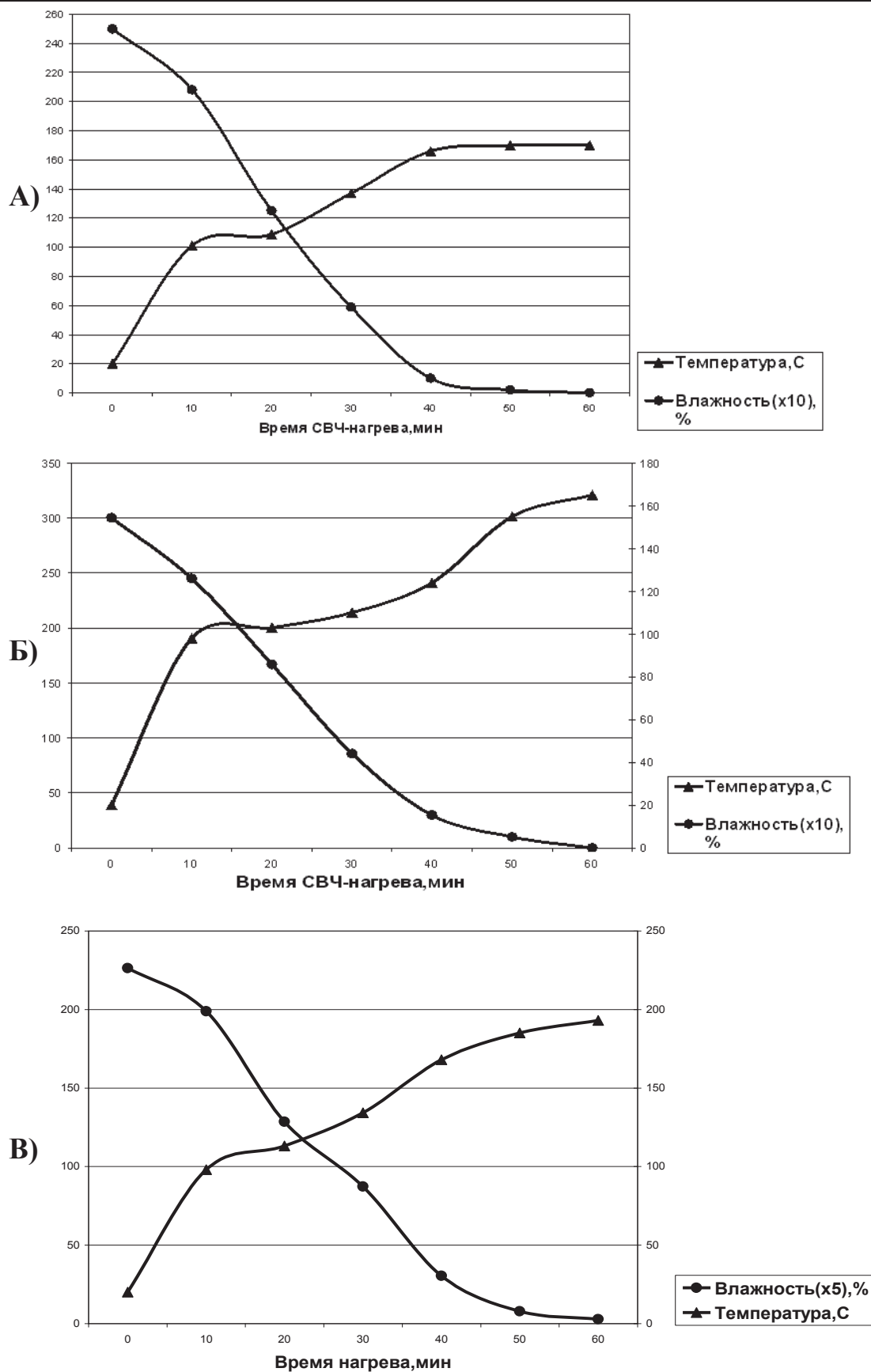


Рисунок 7. Изменение скорости сушки от влагосодержания материала: Начальная влажность материала: А-25%; Б-35%; В-45%



**Рисунок 8. Зависимость температуры и влажности от времени сушки.
Начальная влажность материала: А-25%; Б-35%; В-45%**

Выводы

- 1) В исследованном диапазоне параметров время высушивания материала составило
 - 45 минут при начальной влажности силикагеля 25 %;
 - 55 минут при начальной влажности силикагеля 30 %;
 - 57 минут при начальной влажности силикагеля 45 %.
- 2) Десорбция влаги прекращается, когда температура достигает 170 °С.
- 3) Результаты проведённых исследований могут быть использованы для расчета аппаратов для сушки силикагеля в СВЧ электромагнитном поле.

Литература

1. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. 472с.
2. СВЧ энергетика /Под ред. Окресса Э. –М.: Мир. 1971. – Т. 2; -272 с
3. Шаталов А.Л. Интенсификация тепло массообменных процессов электромагнитным полем сверхвысокой частоты. Дис... на соискание д.т.н. - М.: МГУИЭ, 1999. – 260 с.

Моделирование процесса культивирования фототрофных микроорганизмов в многосекционном фотобиореакторе

к.т.н. доц. Зубов Д.В., Строков С.С.
Университет машиностроения
zubov@msuie.ru

Аннотация. Рассмотрена задача моделирования процесса культивирования фототрофных микроорганизмов в фотобиореакторе камерного типа. Сравнение полученных по модели режимов с наблюдаемыми в эксперименте позволит провести параметрическую идентификацию процесса и в дальнейшем использовать её для поиска оптимальных режимов и конструктивных параметров установки.

Ключевые слова: математическое моделирование технологических процессов, оптимизация, культивирование фототрофов, LabVIEW

В последние годы в связи с быстрым прогрессом в области осветительных технологий стала актуальной задача культивирования фототрофных микроорганизмов. Появились принципиально новые конструкции фотобиореакторов и новые возможности управления процессом. В частности, в научно-техническом центре Промышленной биотехнологии Университета машиностроения разработана конструкция многосекционного фотобиореактора, отличающегося циркуляцией гранул люминофора внутри экспозиционных ячеек, что позволяет добиться более равномерного профиля освещённости культуральной среды по толщине ячейки. Для повышения эффективности процессов культивирования фотозависимых микроорганизмов проводится их изучение и математическое моделирование [1-3].

В качестве критерия оптимизации процесса культивирования принято повышение продуктивности фотобиореактора при фиксированных эксплуатационных расходах и при фиксированной концентрации биомассы при сливе (что обусловлено требованиями нижележащих стадий получения биотоплива).

Переменными оптимизации на стадии проектирования являются:

- концентрация гранул люминофора в экспозиционных камерах,
- геометрические размеры камер, гранул люминофора;
- состав люминофора (его спектральные характеристики);
- спектральные характеристики светоизлучающих элементов.