

ОТЗЫВ

официального оппонента Сергеева Александра Ивановича
на диссертационную работу Самохвалова Олега Владимировича
«Автоматизация технологического процесса обжига при производстве
керамзита заданной прочности»,

представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по
специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами (технические системы)

Актуальность темы

Использование конструкционных бетонов с заполнителем из прочного керамзита позволяет снизить массу строений на десятки тысяч тонн. Существенные различия процессов получения легкого и высокопрочного керамзита, а также высокие требования к прочности и стабильности прочности делают проблему исследования актуальной. Диссертация Самохвалова О.В. посвящена разрешению противоречия – стабильного производства керамзита заданной прочности в условиях снижения энергозатрат.

Соискатель проанализировал современное состояние методов и средств автоматизации обжига керамзита. Он показал, что основным препятствием в достижении поставленной цели являются недостаточное количество управляющих воздействий на печь и недостаточная разработка математической модели печи как объекта управления прочностью производимого керамзита.

Автор предлагает оснастить печь системой автоматического управления, позволяющей изменять форму кривой обжига керамзита, поскольку именно эта кривая является определяющей для получения необходимой прочности керамзита. Диссертант показывает, что для практической реализации этого предложения необходимо в объекте управления, кроме ранее используемых управляющих воздействий (объёмная тепловая мощность горелки и расход загружаемого сырца) применить ещё и скорость вращения печи.

Автоматическое согласованное управление скоростью вращения печи, загрузкой сырца керамзита и объёмной тепловой мощностью горелки позволит управлять значением ожидаемой прочности керамзита. Выполненное математическое моделирование и разработанная автором методика инженерного проектирования многомерной системы автоматического управления технологическим процессом обжига керамзита создают предпосылки для внедрения данной системы на заводах керамзитовой промышленности.

Основные научные результаты и их значимость для науки и производства

Тема диссертационной работы Самохвалова О.В. отражает основное научное направление выпускающей кафедры, где выполнено исследование.

Новыми являются следующие научные результаты, полученные в диссертации.

1 Математическая модель технологического процесса обжига керамзита

во вращающейся печи как многомерного объекта управления с распределёнными параметрами, отличающаяся от известных тем, что состояние кривой обжига керамзита оценивается значением температуры в трёх сечениях (F, A и C) по длине печи, а вектор управляющих воздействий включает в себя три составляющих – объёмная тепловая мощность горелки, загрузка сырца и скорость вращения печи.

Адекватность разработанной модели соискатель оценивает путём сравнения теоретических результатов с результатами, полученными на промышленной установке. В частности, расхождение этих результатов в статическом и динамическом режимах не превышает 5 %.

2 Структура трёхмерной системы автоматического управления технологическим процессом обжига керамзита, вектор выходных координат которой включает в себя значения температуры в сечениях F, A и C, отличающаяся новым способом определения координат вектора задающих воздействий. Он базируется на использовании разработанной автором температурно-прочностной характеристики, которая рассматривается в трёхмерном пространстве OT_{FTATC} управляемых координат. Важно, что выбор рабочей точки на этой кривой обеспечивает производство керамзита заданной прочности в условиях минимально-достижимых энергозатрат. Показано, что такой подход позволяет снизить энергозатраты на обжиг керамзита на 8 %.

3 Методика постановки и проведения численного моделирования объекта и системы управления, отличающаяся от известных определением параметров межканальных связей в многомерном объекте на модели печи, созданной в программной среде SolidWorks при изменении скорости вращения печи, загрузки сырца и объёмной тепловой мощности горелки. Данная методика также учитывает особенности слабовспучивающихся глин, за счёт использования в модели зависимостей теплоёмкости и теплопроводности глины от температуры и влажности. Вычислительная модель многомерной системы управления позволяет производить настройку регуляторов, а также проводить моделирование режима по управлению технологическим переходом с обжига одной марки по прочности на другую и отработку возмущения, в виде изменения влажности, путём изменения температурного поля, в режиме стабилизации.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Разработка задач автоматизации технологического процесса обжига при производстве керамзита заданной прочности базируется на глубоком анализе технологического процесса обжига керамзита во вращающейся печи как объекта управления, введении обоснованных допущений, которые позволили сформировать расчётную схему объекта и разработать математическую модель в форме объекта управления с распределёнными параметрами, где динамика дымовых газов описывается уравнениями Навье-Стокса, а изменения температуры между слоями уравнениями теплопроводности.

Связь между уравнениями представлена граничными условиями, выбор

которых основывался на движении вязкого газа в цилиндре и особенностях теплопередачи в конструкции вращающейся печи, а также технологией обжига в ней керамзита. Показано, что параметры исследуемого объекта управления с распределёнными параметрами нелинейны и нестационарны, а уравнения Навье-Стокса не нашли аналитического решения в общем виде, поэтому автором было принято решение о моделировании этого технологического процесса численным методом в программной среде SolidWorks.

Большое внимание диссертант уделяет вопросам практического применения разработанной модели. С этой целью в работе выполнен корректный переход от объекта с распределёнными параметрами к многомерному объекту с сосредоточенными параметрами. На основе выполненных исследований разработана методика инженерного проектирования и вариант технической реализации системы автоматического управления обжигом керамзита. Проведённый автором технико-экономический расчёт, показал, что срок окупаемости составит 1,87 года и экономию топлива 8 %.

Достоверность основных результатов определяется корректностью применения современного математического аппарата для исследования САУ технологическим процессом обжига керамзита во вращающейся печи; совпадением результатов, полученных автором, с результатами натурных исследований процесса обжига при вариации скорости вращения печи, полученных Онацким С.П. с погрешностью менее 5 %; подтверждается внедрением результатов исследований в практику инженерного проектирования на ООО «Керамуз» (г. Самара).

При написании диссертации для подтверждения изложенных положений автор использует результаты известных научных исследований.

Материалы исследований докладывались и обсуждались на международных и Всероссийских научно-технических конференциях. По материалам диссертации соискатель опубликовал 26 работ, 5 из которых входят в перечень ВАК, 4 работы входят в международные базы данных Web of Science и Scopus, получен патент на изобретение.

Оценка структуры и содержания работы

Представленная к защите диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, библиографического списка из 146 наименований и 4 приложений. Основной текст изложен на 174 страницах, диссертация содержит: 118 рисунков, 34 таблицы, библиографический список на 14 страницах, приложения на 25 страницах. На все научные печатные работы в диссертации имеются ссылки. При заимствовании материалов и результатов других авторов в диссертации приведены ссылки на автора и источник их получения. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Автор рассмотрел особенности технологического процесса обжига керамзита и существующие виды сырья, конструкцию обжиговых печей. Выявил связь между температурным полем во вращающейся печи с прочностью получаемого керамзита.

Показано, что вращающаяся печь типоразмера 2,5×40 м наиболее часто используется в технологическом процессе обжига керамзита на промышленных предприятиях по его производству. В настоящее время управление технологическим процессом обжига керамзита выполняется человеком, что приводит к существенному разбросу прочности и трудности получения высокопрочного керамзита, а также к существенным затратам на топливо.

Автор провёл анализ известных публикаций по обжигу керамзита во вращающихся печах и автоматизации технологического процесса обжига керамзита. Показал, что многие предприятия оборудованы средствами автоматики, но лишь для облегчения работы оператора, информирования его об аварийных ситуациях, о температуре в сушильном барабане, давлении в пылеосадительной камере, состоянии футеровки. При этом управление объёмной тепловой мощностью горелки и загрузкой сырца осуществляется человеком, а управление скоростью вращения печи не производится. Тогда, как для получения высокопрочного керамзита необходимо одновременно управлять, как минимум тремя воздействиями с высокой точностью, что не под силу человеку, поскольку оператор контролирует процесс визуально по движению керамзита, а 2/3 печи при этом не просматриваются. Высокоточное управление, возможно, осуществить только с помощью системы автоматизации.

Разработанная Самохваловым О.В. математическая модель вращающейся печи в виде объекта управления с распределёнными параметрами с учётом принятых допущений была описана системой дифференциальных уравнений в частных производных, и системами начальных и граничных условий, которые были рассчитаны численным методом с использованием программного продукта SolidWorks. Это объясняется сложностью полученной модели и невозможностью аналитического решения. На основе результатов численного моделирования объекта с распределёнными параметрами, с учётом технологических требований и ограничений, автором была синтезирована многомерная структура объекта со сосредоточенными параметрами, в которой предложено использовать три управляющих воздействия: скорость вращения печи, объем загрузки сырца и объёмную тепловую мощность горелки. Приводится обоснование выбора опорных сечений F, A и C. Собственные операторы каналов и межканальных связей были аппроксимированы передаточными функциями на основе результатов численного моделирования в SolidWorks, применительно к малым отклонениям в технологическом процессе обжига глины бескудниковского месторождения для печи типоразмера 2,5×40 м.

На основе полученного объекта управления проведён синтез многомерной системы автоматического управления технологическим процессом обжига керамзита. Структура системы состоит из трёх каналов, в которых обратная связь замкнута по температурам T_F , T_A , T_C для регулирования скорости вращения печи, загрузки сырца и объёмной тепловой мощности соответственно. С целью корректировки меняющихся в широких пределах параметров объекта управления, каждый из каналов синтезирован в виде

многоконтурной системы с одной изменяемой координатой, а регуляторы настроены по крайним значениям вариаций для охвата всего диапазона изменений.

Для минимизации расхода газа автор разработал температурно-прочностную характеристику, на основе которой формируется вектор задающих сигналов для получения необходимой марки керамзита по ГОСТу при нижней границе допустимого диапазона, что даёт экономию в 8 %. В разработанном алгоритме задающего устройства возможна корректировка и накопление значений температур для разных типов схожих глин.

Замечания по работе

1 В математическом описании не приведены уравнения, описывающие зависимость влажности w сырца от физико-химических свойств глины.

2 На стр. 23 диссертации автор утверждает, что за счет исключения слипания зерен в конгломераты можно увеличить коэффициент загрузки печи в 2-3 раза, но не поясняет почему именно в 2-3 раза, а не, например, в 4 раза.

3 При описании параметров уравнения 2.3 перепутаны коэффициент теплопроводности и температура.

4 Вызывает сомнение предложение автора рассматривать печь для обжига керамзита как трехслойный цилиндр (рисунок 2.3), так как обжигаемый материал располагается в нижней части печи, а температура будет выше вверху цилиндра, как показано на рисунке 2.21. Из диссертации не понятно учитывается ли автором распределение температуры по высоте цилиндра.

5 Помимо газа для эффективного горения необходим воздух. Информация, приведенная автором на странице 58, подтверждает это утверждение, однако, в работе нигде не сказано, каким образом регулируется подача воздуха при изменении подачи газа.

6 Не вполне ясно, каким образом получены зависимости, приведенные на рисунках 2.15, 2.16.

7 Непонятна логика условия, приведенного в блоке 8 в алгоритме цифрового задающего устройства на рисунке 3.4.

8 На рисунке 3.33 обозначения шага дискретизации $T_K=0,1$ с и $T_K=1$ с ссылаются на одну и ту же кривую.

9 На страницах 121 и 132 приводится повторное описание изложенного ранее материала.

Заключение

Содержание диссертационной работы соответствует ее названию. Перечисленные замечания не снижают общего положительного впечатления от проделанной автором работы и полученных результатов. Автор последовательно решает все поставленные задачи с использованием методов теории систем автоматического управления, теории электрического привода, математического моделирования объектов и систем управления, численного моделирования.

Основные положения диссертации представлены в рецензируемых научных изданиях, в том числе, в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ. Автореферат содержит основные положения и выводы диссертации.

Диссертация Самохвалова О.В. представляет законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения, имеющие существенное значение для развития систем автоматизации технологических процессов обжига керамзита, что позволяет повысить качество и эффективность его производства.

Диссертационная работа соответствует критериям п.п. 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г., № 842, а её автор, Самохвалов Олег Владимирович, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические системы).

Согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и дальнейшую их обработку.

Официальный оппонент,
профессор кафедры «Системы
автоматизации производства»
ФГБОУ ВО «Оренбургский
государственный университет»,
доктор технических наук, доцент



Александр Иванович
Сергеев

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,
460018, Оренбургская область, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13;
тел. (3532) 37-25-12; e-mail: kafsap@mail.osu.ru, alexandr_sergeew@mail.ru

Подпись А. И. Сергеева заверяю:
Главный учёный секретарь –
начальник отдела
диссертационных советов
ФГБОУ ВО «Оренбургский
государственный университет»
доктор технических наук,
профессор



Андрей Петрович
Фот

С отзывом ознакомил Самохвалов О.В. 13.11.2018 