

УДК 628.315

Р. Г. Шаяхметов, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова
В. Г. Исаков, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова
С. М. Ефремов, кандидат технических наук, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS WORKBENCH ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В МЕТАНТЕНКАХ

Одной из наиболее актуальных технологий сбережения энергии является применение альтернативных источников энергии, в частности биогаза, образующегося в результате анаэробной переработки в метантенках. Интенсивность и стабильность производимого биогаза увеличиваются при рациональной организации однородного распределения в биореакторе. Данная статья описывает создание математической модели процесса перемешивания в метантенках для дальнейшего ее применения в программном комплексе ANSYS.

Ключевые слова: метантенк, математическое моделирование, перемешивание, ANSYS.

Одним из факторов, влияющих на эффективность работы биореакторов, является интенсивность процесса перемешивания. Перемешивание способствует выравниванию концентраций метаболитов, образующихся в процессе брожения и являющихся промежуточными субстратами для микроорганизмов или ингибиторами их жизнедеятельности, а также концентрации токсичных веществ, содержащихся в загружаемом осадке, поддержанию тесного контакта между бактериальными ферментами и их субстратами и т. д. [1].

При плохом перемешивании снижается эффективный объем метантенка и сокращается время пребывания в нем осадка, а следовательно, распад органического вещества и выход биогаза. При внедрении в конструктив новых устройств необходимо следить за эффективным объемом биореактора, полученным после установки нового приспособления. Известны случаи сокращения полезного объема метантенка на 70 %.

Наиболее значимо влияние неэффективного перемешивания в сочетании с понижением температуры или при коротком времени пребывания осадка в метантенке. Снижение эффективного объема метантенка на 50 % за счет плохого перемешивания при $t = 35^\circ\text{C}$ уменьшает эффективность сбраживания при большом времени пребывания (более 30 суток) на 5 %, а при $t = 30^\circ\text{C}$ – на 16 %.

Таким образом, для определения наиболее эффективных конструкций необходимо выделить следующие критерии оценки эффективности.

1. Объем метантенка, занимаемый циркуляционной трубой.
2. Равномерность, однородность поля температур.
3. Процент максимальных температур в объеме метантенка.
4. Процент застойных холодных зон в объеме метантенка.

Одним из методов изыскания конструкций с эффективным перемешиванием является математиче-

ское моделирование в программном комплексе *Ansys Workbench*, позволяющем производить моделирование процессов гидрогазодинамики. Он сопрягается с большинством *CAD*-пакетов и позволяет моделировать физические процессы с использованием построенных в конструкторских программах трехмерных моделей, снимая необходимость передачи модели из одной программы в другую.

В качестве экспериментальных конструкций испытаны существующие запатентованные конструкции метантенков с различными вариантами циркуляционных устройств. На сегодняшний день рассмотрено более тридцати конструкций метантенков, отличающихся между собой формой резервуара и типами циркуляционных устройств: метантенк с цилиндрической циркуляционной трубой различного диаметра, метантенк с цилиндрической трубой в форме усеченного конуса расширяющейся частью вверх и вниз, ромбообразными, трапециевидными и другими конструкциями [2].

Геометрическая модель метантенка построена в *ANSYS DesignModeler* и состоит из метантенка с различными конструкциями циркуляционных труб. Первоначально на одной из плоскостей строится чертеж, соответствующий профилю изображения половины плоскости метантенка. С помощью инструмента *Revolve* образуется 3D-модель половины метантенка, с которой и будет производиться дальнейшая работа. Далее модель была импортирована в программную среду *ANSYS Mesh*, в которой производится построение сетки (рис. 1). Различные функции данной подпрограммы позволяют создавать сетку с различными размерами ячейки, определяя этим точность выполняемых вычислений. Кроме построения сетки в данной подпрограмме проводится назначение расчетных зон.

Далее построенная модель с сеткой экспортируется в программную среду *Fluent*, являющуюся основной в процессе моделирования. Здесь выполняется задание материалов, расчетной модели, начальных условий,

граничных условий, настройка решателя, сохранение проекта для его дальнейшего неоднократного использования, запуск расчета и получение результатов

в наглядном виде с помощью цветной легенды. После проведенных экспериментов получены поля температур (рис. 2, а-е) и скоростей (рис. 3, а-е):

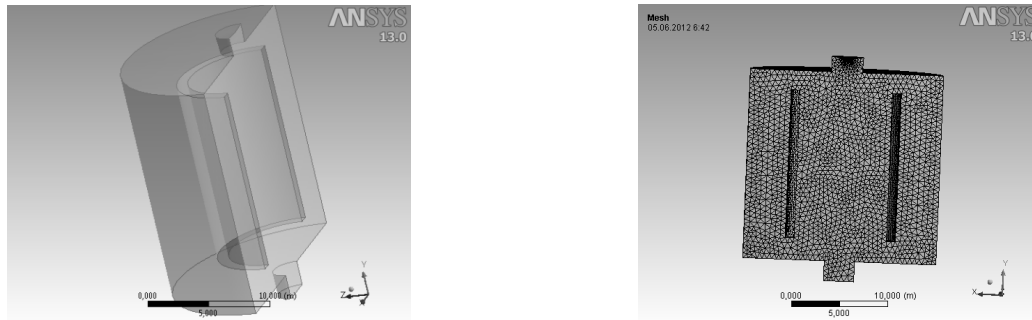


Рис. 1. Примеры построения конструкций и сетки в Ansys Workbench

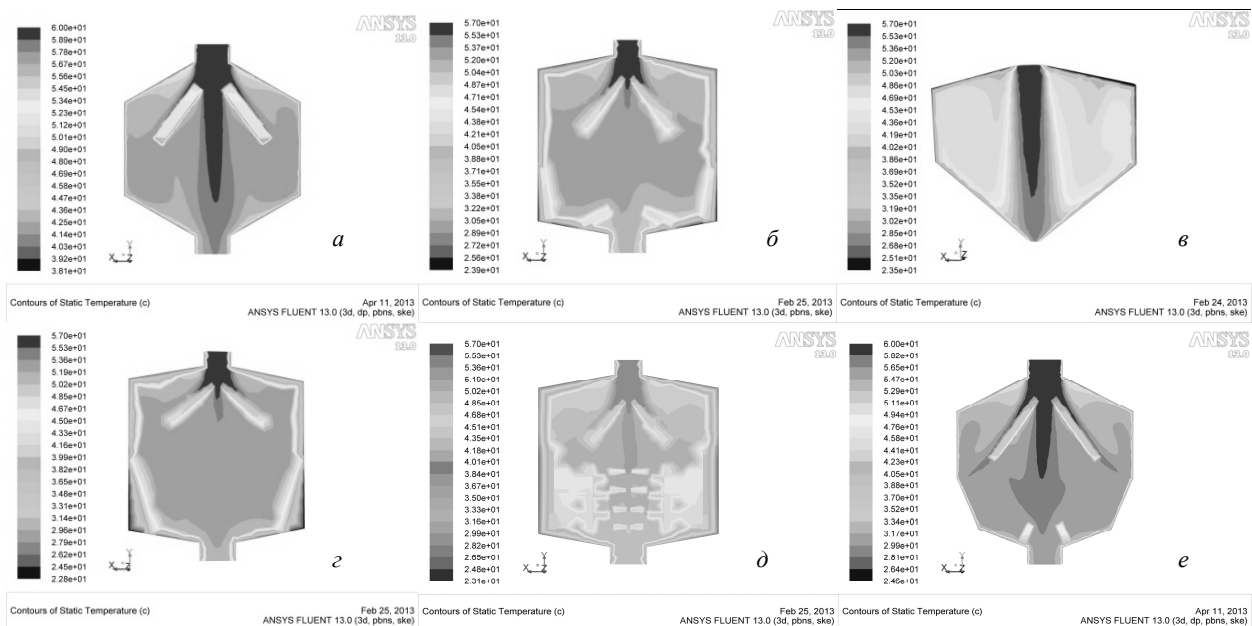


Рис. 2. Поля температур метантенков различных конструкций

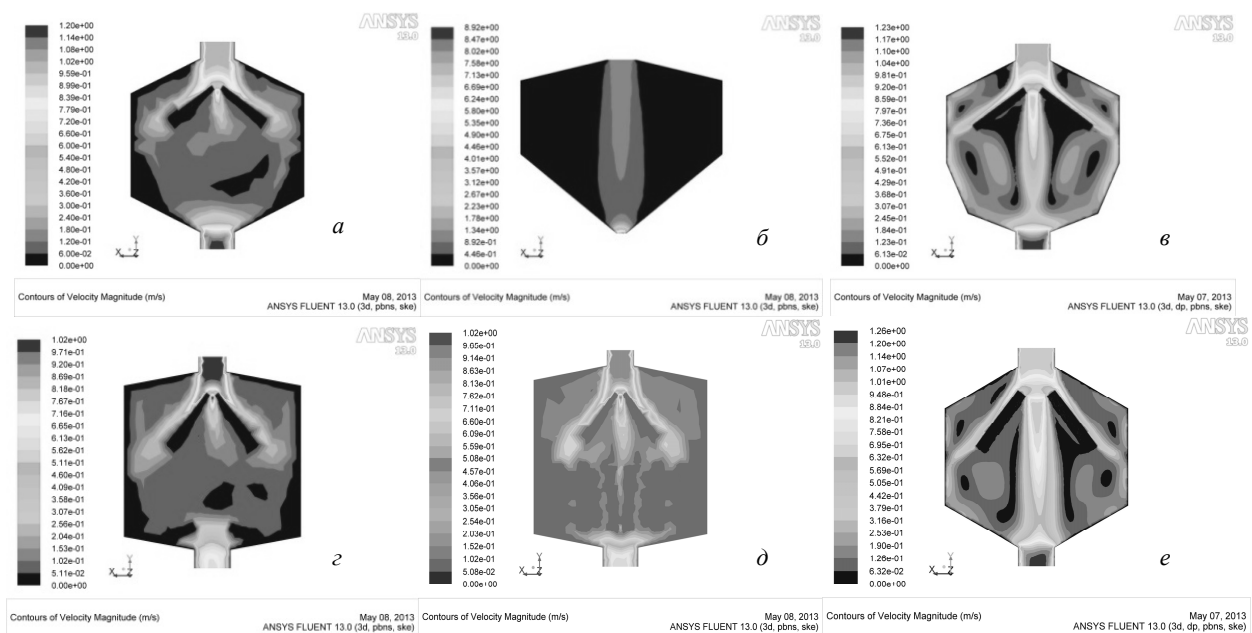


Рис. 3. Поля скоростей метантенков различных конструкций

В таблице 1 указаны данные моделирования процесса перемешивания нескольких конструкций метантенков. Среди рассматриваемых конструкций основным принципом являлись параметры циркуляционной трубы, ее размеры, количество и угол наклона. Полученные поля оценивались по признаку однородности (соблюдения единого температурного режима во всем объеме), объема области с соблюдением необходимого для анаэробного сбраживания температурного режима. Среди основных критериев определения эффективности конструкций необходимо учитывать процент застойных (холодных) зон, сокращающих эффективный рабочий объем метантенка. В расчете принят термофильный режим сбраживания, так как при нем наблюдается повышенная скорость разложения сырья и, следовательно, более высокий выход биогаза.

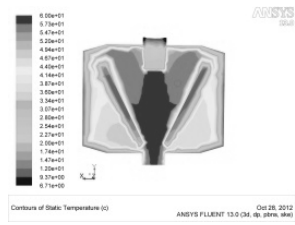
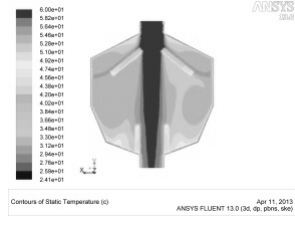
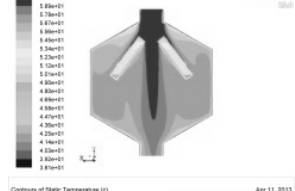
Как можно заметить, во всех конструкциях максимальные температуры и скорости наблюдаются в центральной зоне – зоне циркуляционной трубы непосредственно от входа до выхода. Следовательно, основным критерием оценки будут параметры температур и скоростей в других зонах биореактора. Наименьшие температуры наблюдаются на краях конструкций в связи с принятой температурой наружного воздуха. Максимальная температура посту-

пающего субстрата максимальна на входе и в верхних зонах на входе, в нижних зонах температура незначительно снижается. В некоторых областях температуры менее 53 °С, то есть в данных зонах не соблюдается термофильный режим сбраживания и процесс не эффективен.

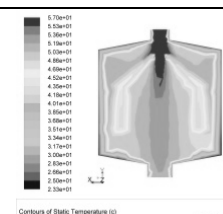
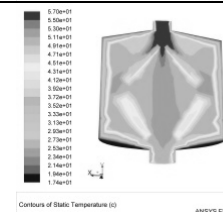
Высокую однородность температуры имеют конструкции, включающие в себя по 2 конусообразные циркуляционные трубы (в верхней и нижней зонах). За счет грамотного размещения данных механизмов происходит перемешивание во всех зонах метантенка, наблюдается равномерность температуры во всем объеме.

Рассматривая поля скоростей, необходимо обратить внимание на различие результатов между стандартными конструкциями и метантенками с циркуляционными коническими трубами. Благодаря установке трубы, содержимое метантенка перемешивается более эффективно не только в центральной зоне, но и в большей части своего объема. Среди конструкций с циркуляционными трубами на основании полей скоростей выбрать наиболее эффективную достаточно сложно, так как все модели показали близкие скорости, отличаясь при этом наличием таких скоростей в разных зонах.

Аналитические данные проведенных экспериментов

| Форма метантенка | Форма метантенка, параметры циркуляционной трубы | Общая характеристика поля температур. Равномерность поля температур | Процент заполненности температурами |
|---|---|---|---|
|  | Цилиндрический метантенк. Конусообразная, расширением вверх труба | Неравномерное поле температур. Основной нагрев в центральной зоне. В нижних зонах температура поднимается незначительно | 60 °С – 15 % 57 °С – 10 % 54 °С – 3 % 49 °С – 7 % 46 °С – 10 % 6 °С – 7 % Холодная зона |
| | Цилиндрический метантенк с конусообразными верхней и нижней частью 15°. Конусообразная труба 30° | Поле температур неравномерно, основной нагрев в средней зоне от входа до выхода. Незначительные вихри. Максимальная температура – равномерно в центре | 57 °С – 30 % 52 °С – 15 % 41..43° – 35 % Холодная зона – 3 % |
|  | Бочкообразный метантенк с усеченными под углом 30° стенками. 2 трубы 30° и 90° у выхода | Зоны, ближние к стенкам достаточно равномерны, наблюдаются незначительные вихри. Максимальная температура равномерно распределена в центральной зоне от входа до выхода | 57 °С – 30 % 55 °С – 30 % 51 °С – 20 % Холодная зона – 2 % |
| | Бочкообразный метантенк с усеченными под углом 30° стенками. 2 конусообразные трубы расширением вниз 45 и 30° | Основной нагрев в средней зоне от входа до выхода. В остальном температура термофильного режима соблюдается на 65 % площади. Высокая равномерность температурного поля | 58 °С – 10 % 56 °С – 23 % 54 °С – 60 % Холодная зона – 2 % |
|  | Бочкообразный метантенк с усеченными под углом 30° стенками. Конусообразная труба 45° | Основной нагрев в средней зоне от входа до выхода. В остальном температура термофильного режима соблюдается на 75 % площади. Высокая равномерность поля температур | 58° – 10 % 56° – 20 % 54° – 60 % Холодная зона – 3 % |

Окончание табл. 1

| Форма метантенка | Форма метантенка, параметры циркуляционной трубы | Общая характеристика поля температур Равномерность поля температур | Процент заполненности температурами |
|---|--|--|---|
| | Бочкообразный метантенк с усеченными под углом 30° стенками. Конусообразная труба 30° | Поле температур неравномерно, основной нагрев в средней зоне от входа до выхода. Незначительные вихри. Максимальная температура – равномерно в центре. По краям равномерные вихри | 57 °С – 20 % 55 °С – 25 % 51 °С – 20 % 42 °С – 20 % Холодная зона – 2 % |
| | Цилиндрический метантенк с конусообразными верхней и нижней частью 30°. Конусообразная труба 45° | Неравномерное поле температур. Основной нагрев в центральной зоне. В нижних зонах температура поднимается незначительно. Максимальная температура в центре, температуры термофильного режима расположены равномерно несимметрично по бокам нижней и средней части | 58 °С – 10 % 56 °С – 15 % 54 °С – 35 % 52 °С – 25 % Холодная зона – 1 % |
| | Бочкообразный метантенк с усеченными под углом 30° стенками. Конусообразная труба 60° | Основной нагрев в средней зоне от входа до выхода. В остальном температура термофильного режима соблюдается на 60 % площади. Высокая равномерность поля температур | 58 °С – 15 % 56 °С – 60 % 54 °С – 15 % Холодная зона – 2 % |
| | Цилиндрический метантенк с конусообразными верхней и нижней частью 15°. Конусообразная труба 45° | Максимальная равномерность нагрева. Распределение максимальной температуры по 80 % площади, соблюдение термофильного режима. Четко показаны теплотери через стенки | 54 °С – 80 % Холодная зона – 3 % |
|  | Цилиндрический метантенк, с конусообразными верхней и нижней частью 15°. Трапециевидная труба | Максимальные температуры в центре и в верхней части равномерны | 54 °С – 35 % 52 °С – 15 % 50 °С – 15 % Холодная зона – 4 % |
|  | Цилиндрический метантенк, с конусообразными верхней и нижней частью 15°. 2 конусообразные трубы расширения вверх и вниз | Неравномерное поле температур, максимальные температуры по центру | 55 °С – 5 % 53 °С – 20 % 51 °С – 25 % Холодная зона – 5 % |

Основываясь на полученных полях температур и скоростей можно сделать вывод, что при конструкции метантенка со скошенными углами в нижней части метантенка образуется меньшее число застойных зон, чем при стандартной конструкции. Полученные результаты проведенных экспериментов показали эффективность внедрения перемешивающего устройства в виде циркуляционной трубы в конструкцию метантенка благодаря максимальному исключению застойных зон и поддержанию термофильного режима в его объеме. Данный тип конструкции можно рекомендовать для практического

использования, в результате чего будет производиться максимальный выход биогаза.

Библиографические ссылки

1. Шаяхметов Р. Г., Исаков В. Г. Численное моделирование процесса циркуляционного перемешивания осадков сточных вод в метантенках // Сб. матер. междунар. конф. «Актуальные проблемы современного строительства, энергосберегающие технологии». – Пенза : Изд-во ПГУАС, 2011. – С. 166–173.
2. Шаяхметов Р. Г. Разработка математической модели процесса перемешивания в метантенках с помощью программного комплекса Ansys / в печати.

R. G. Shayakhmetov, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University
V. G. Isakov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University
S. M. Efremov, PhD in Engineering, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Experience of Software ANSYS WORKBENCH Application for Simulation of Mixing Processes in Digesters

One of the most relevant techniques in energy conservation is the use of alternative energy sources, in particular biogas formed as a result of anaerobic digestion in the digesters. The intensity and stability of the biogas yield increases with the rational organization of a homogeneous distribution within the bioreactor. This article describes how to create a mathematical model of the mixing process in the digester for further implementation within the software ANSYS.

Key words: digester, mathematical modeling, mixing, ANSYS.

УДК 004.891.2

Э. И. Закирова, Чайковский филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета
Т. Н. Иванова, кандидат технических наук, Чайковский филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ КАК СРЕДСТВО ОТБОРА НА МАГИСТЕРСКИЕ ПРОГРАММЫ

Рассматриваются вопросы введения в образовательный процесс единой технологии отбора студентов в магистратуру на примере создания информационно-аналитической системы поддержки принятия решений (СППР). Проектируемая СППР решает три задачи: классификацию выпускников-бакалавров для определения оптимального профиля магистерской программы, оценку уровня их мотивации и индивидуальных результатов подготовки, а также распределение по группам. Приводится архитектура СППР.

Ключевые слова: многоуровневая образовательная система, компетентностный подход, отбор студентов, система поддержки принятия решений.

В рамках реализации многоуровневой модели образования актуальной задачей является эффективное управление процессом отбора студентов при переходе с одного образовательного уровня на другой. При этом сформированные на предыдущем образовательном уровне компетенции могут существенно влиять на систему отбора, что обуславливает необходимость их учета при формировании контингента вузов. Как показывает российская образовательная практика, менее всего проработана проблема конкурсного отбора при поступлении в магистратуру с учетом индивидуальных результатов обучения в бакалавриате и мотивации к дальнейшему образованию.

В связи с этим актуальной задачей является построение автоматизированной системы поддержки принятия решений (СППР) для реализации эффективных процедур отбора выпускников-бакалавров на магистерские программы с применением интеллектуальных технологий.

Проектируемая СППР является элементом системы университетского управления, обеспечивающим автоматизированную связь между бакалавриатом и магистратурой. Она осуществляет информационно-аналитическую поддержку процедуры приема в магистратуру. На основании этого в целях систематизации и оптимизации процесса отбора студентов на магистерские программы предлагается организовать

в крупных российских вузах специальные отделы управления магистратурой [1] с соответствующей информационной поддержкой, реализуемой посредством СППР.

Модель управления процессом отбора студентов в магистратуру предполагает выполнение СППР трех основных функций (рис. 1).

Поскольку направления магистратуры и бакалавриата могут иметь несколько профилей, первая функция СППР состоит в эффективном отборе выпускников бакалавриата для обучения по конкретным профилям магистратуры, наилучшим образом соответствующим их возможностям. Поэтому выходными данными являются показатели, характеризующие профили магистратуры с позиций возможности их освоения выпускниками-бакалаврами.

Второй функцией проектируемой СППР является оценка индивидуальных результатов подготовки выпускников бакалавриата и мотивации к дальнейшему обучению в магистратуре. Входные данные для оценки качества освоения программы бакалавриата включают: оценки по дисциплинам, практикам, ВКР и аттестации при поступлении в магистратуру.

Достижение уровня исследователя-магистра возможно лишь при условии непрерывного всестороннего развития исследовательской компетенции на протяжении всего многоуровневого процесса обуче-