

УДК 621.311.182

ВЫБОР МОЩНОСТИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОТЫ ДЛЯ ПОДОГРЕВА СЫРЬЯ В БИОГАЗОВОМ РЕАКТОРЕ

Мамонтов Артем Юрьевич

аспирант

Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина

п. Майский, Белгородская область, Россия

e-mail: ligaman999@mail.ru

Аннотация. В статье приведены результаты теоретических исследований по выбору мощности дополнительных источников теплоты для подогрева сырья в биогазовом реакторе.

Ключевые слова: мощность, источники теплоты, биогаз, биореактор, температурное поле.

Эффективность переработки органических отходов в биогаз зависит особенности конструкции оборудования, состава сырья и технологических режимы его сбраживания [1-3]. При этом выделяют психрофильный (20–25 °С), мезофильный (25–40 °С) и термофильный (свыше 40 °С) режимы сбраживания. Необходимо также выдерживать определенные требования по колебаниям температуры в течение определенного времени, которые в зависимости от рекомендуемых режимов могут составлять от $\pm 0,5$ °С/ч (при термофильном режиме) до ± 2 °С/ч (при психрофильном режиме) [2]. Диапазон изменения температуры определяется конкретной температурой при брожении. Сбраживание органического сырья осуществляется в биогазовых реакторах, простейшая конструкция которых представляет цилиндрическую емкость, оснащенную перемешивающими устройствами, а также устройствами подачи свежего сырья, отбора биогаза и выгрузки отработанного сырья.

При недостатке теплоты производимой во время химической реакции брожения для обеспечения технологического режима используют

дополнительные (сторонние) источники теплоты [4-6]. Это могут быть различные теплообменные аппараты или электрические нагреватели (ТЭНы). Проблема состоит в правильном выборе мощности дополнительных источников теплоты.

Ниже приведены результаты исследований по оценке мощности дополнительных источников теплоты при условии их равномерного распределения по объему цилиндрического биореактора. Некоторые результаты исследований по данной проблеме приведены в работе [6].

Расчет мощности дополнительных источников теплоты может быть проведен на основе решения уравнения теплопроводности Фурье в слоистых средах [7-10]. Математическая постановка задачи определяется физической моделью биореактора, которую можно представить в виде сплошного цилиндра радиусом R_1 (рабочий объем реактора) и высотой H , окруженного цилиндрической оболочкой (стенкой) с толщиной Δ . При этом наружный радиус конструкции будет равен $R_2 = R_1 + \Delta$.

На наружной поверхности стенки принимаем граничные условия третьего рода, а между внутренней поверхностью стенки и внутренним объемом биомассы внутри реактора обеспечиваем условия сопряжения температурных полей и тепловых потоков четвертого рода.

Если внутренние источники теплоты присутствуют только внутри объема реактора ($q_2 = 0$), то для установившегося температурного режима выражения температурных полей имеют вид:

$$T_1(r) = T_c + \frac{q_1}{4\lambda_1} (C_3 - r^2), 0 \leq r \leq R_1, \quad (1)$$

$$T_2(r) = T_c + \frac{q_1}{4\lambda_1} (C_1 \ln r + C_2), R_1 \leq r \leq R_2, \quad (2)$$

где T_c - температура окружающей среды; λ_1 , λ_2 - соответственно теплопроводность материала биомассы и стенок цилиндрического реактора; $q_1(r)$ - мощность внутренних (дополнительных (сторонних)) источников теплоты распределенных внутри цилиндрического реактора; C_1 , C_2 , C_3 - постоянные коэффициенты интегрирования.

Значения коэффициентов C_1 , C_2 , C_3 определяются из условий сопряжения температурных полей и тепловых потоков на внутренней стенке реактора, а также условий теплообмена на внешней поверхности стенки реактора:

$$C_1 = -2(\lambda_1/\lambda_2)R_1^2, \quad (3)$$

$$C_2 = -C_1 \ln R_2 - C_1(\lambda_2/\alpha)(1/R_2), \quad (4)$$

$$C_3 = C_1 \ln R_1 + C_2 + R_1^2, \quad (5)$$

где α – коэффициент теплоотдачи на внешней поверхности $r = R_2$.

Таким образом выражения (1)-(5) определяют распределение температурного поля в объекте.

В рекомендациях по температурным режимам сбраживания биомассы обычно указывают рекомендуемую температуру или диапазон температур, например для мезофильного температурного режима - 34 - 37°C. В этом случае технологический диапазон изменения температуры при сбраживании можно определить двумя способами: как разницу значений температурного поля между центром биореактора $T_1(0)$ и у внутренней стенки биореактора $T_1(R)$:

$$\Delta T_1 = T_1(0) - T_1(R), \quad (6)$$

или как разницу значений температурного поля между температурой на оси биореактора $T_{кр} = T_1(0)$ и температурой снаружи (окружающей среды) T_c :

$$\Delta T = T_1(0) - T_c. \quad (7)$$

Анализ выражений (1)-(6) показал, что для поддержания диапазона температур $\Delta T_1 = T_1(0) - T_1(R)$ суммарная тепловая мощность дополнительных (сторонних) источников теплоты P при их равномерном распределении всему объему реактора определяется выражением:

$$P = 4\pi\lambda_1 H \Delta T_1, \quad (8)$$

где H - высота реактора.

Выражение (8) в точности совпадает с зависимостью приведенной в работе [6], из которого следует, что мощность равномерно распределенных дополнительных (сторонних) источников теплоты, необходимая для поддержания разницы температур ΔT_1 между стенкой и центром реактора

зависит от высоты реактора H и теплопроводности биомассы λ_1 и не зависит от его внутреннего радиуса R_1 .

Следующим важным моментом является поддержание оптимальных температур внутри реактора в зависимости от температуры снаружи (окружающей среды) T_c , от теплофизических свойств стенки λ_2 , толщины стенки $\Delta = R_2 - R_1$ и интенсивности теплообмена α .

Если принять нормируемой (критической) температурой температуру на оси реактора $T_{кр} = T_1(0)$, то требуется оценить мощность дополнительных источников теплоты для поддержания разницы температур $\Delta T = T_1(0) - T_c$.

Анализ показывает, что в этом случае мощность дополнительных источников теплоты будет определяться согласно выражения:

$$P = 4\pi\lambda_1 H \Delta T F(R_1, \Delta, \lambda_2, \alpha), \quad (9)$$

где $F(R_1, \Delta, \lambda_2, \alpha)$ – безразмерная функция учитывающая свойства стенки и условий теплообмена:

$$F(R_1, \Delta, \lambda_2, \alpha) = 1/[1 + 2\lambda_1/(\alpha(R_1 + \Delta)) - 2(\lambda_1/\lambda_2)\ln(R_1/(R_1 + \Delta))], \quad (10)$$

где Δ - толщина стенки; R_1 - внутренний радиус реактора; α - коэффициент теплоотдачи на внешней поверхности; λ_1 - коэффициент теплопроводности биогазовой среды; λ_2 - коэффициент теплопроводности стенки реактора.

Коэффициент теплоотдачи на внешней поверхности α можно определить по формуле

$$\alpha = \lambda_c N_u / (2R_2), \quad (11)$$

где λ_c - коэффициент теплопроводности внешней среды; N_u – безразмерный критерий Нусельта для условий теплообмена.

Тогда функция $F(R_1, \Delta, \lambda_2, N_u)$ определяется согласно следующего выражения

$$F(R_1, \Delta, \lambda_2, \alpha) = 1/[1 + 4\lambda_1/(N_u \lambda_c) - 2(\lambda_1/\lambda_2)\ln(R_1/(R_1 + \Delta))], \quad (12)$$

где Δ - толщина стенки; R_1 - внутренний радиус реактора; λ_c - коэффициент теплопроводности внешней среды; λ_1 - коэффициент теплопроводности

биогазовой среды; λ_2 - коэффициент теплопроводности стенки реактора; N_u – безразмерный критерий Нусельта для условий теплообмена.

На рисунке 1 приведены результаты расчетов по выражениям (9) – (12) мощности, равномерно распределенных внутри рабочего объема биореактора, дополнительных (сторонних) источников теплоты в зависимости от толщины кирпичной стенки Δ и наружной температуры воздуха T_c .

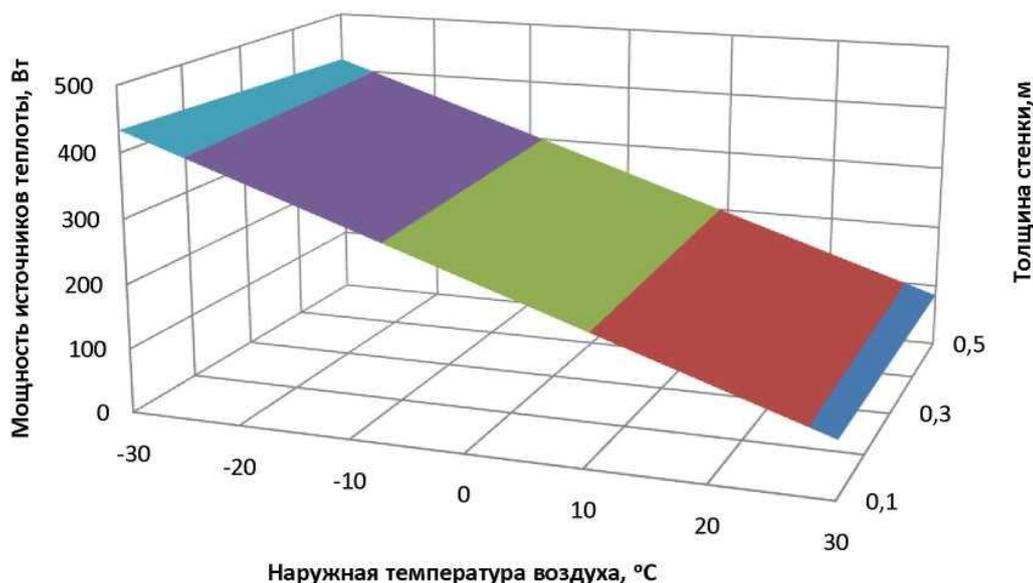


Рисунок 1 - Мощность дополнительных (сторонних) источников теплоты при изменении толщины кирпичной стенки Δ и наружной температуры воздуха T_c .

При этом использовались следующие численные значения параметров: $\lambda_1 = 0,6$ Вт/(м·К); $\lambda_2 = 0,4$ Вт/(м·К); $\lambda_c = 0,022$ Вт/(м·К); $H = 5$ м; $R_1 = 5$ м; $T_{кр} = 45$ °C; $N_u = 2$. Характер представленной поверхности указывает на то, что необходимая мощность практически не зависит от толщины стенки реактора Δ , но существенно зависит от температуры наружной среды вне реактора T_c .

Дополнительный анализ изменения температуры от центра к стенке реактора проведенный при $\lambda_1 = 0,6$ Вт/(м·К), $\lambda_2 = 0,4$ Вт/(м·К), $\lambda_c = 0,022$ Вт/(м·К), $H = 5$ м, $R_1 = 5$ м, $T_{кр} = 45$ °C, $N_u = 2$, $T_c = 0$ °C, $P = 30$ Вт показал, что перепад температур между центром и внутренней стенкой реактора практически зависит от толщины стенки биореактора Δ . Разница температур составляет $\Delta T = 0,796$ °C. Однако с увеличением толщины стенки биореактора

Δ абсолютная температура внутри него, хотя и несущественно, но повышается и составляет: $T_1(0) = 44,27$ °С при $\Delta = 0,1$; $T_1(5) = 44,45$ °С при $\Delta = 0,5$.

Список литературы

1. Зазуля, А.Н. Основные направления использования биогаза в мире [Текст] / А.Н. Зазуля, Н.А. Хребтов // «Наука в центральной России» Научно-производственный периодический журнал – 2008. – №2 – С. 31-35.

2. Трахунова, И.А. Эффективность процесса анаэробного сбраживания при различных режимах гидравлического перемешивания [Текст] / И.А. Трахунова, Г.Р. Халитова, Караева Ю.В.// Альтернативная энергетика и экология. -2011.-№ 10. - С. 90-94.

3. Линднер, И.Ф. Увеличение метановой продуктивности богатой лигноцеллюлозой биомассы путем механической и энзимной подготовки при ее повторной переработке в биогаз [Текст] / И.Ф. Линднер, А. Леммер, И.В. Мирошниченко // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2015.-№ 2 (6). - С. 111 – 117.

4. Вендин, С.В. Электрооборудование биогазового реактора [Текст]/ С.В. Вендин, А.Ю. Мамонтов // Сельский механизатор. –2017.- №5. - С. 26-27.

5. Вендин, С.В., Мамонтов А.Ю., Каплин А.В. Программа расчета геометрических и конструкционных параметров биогазового реактора [Текст] / С.В. Вендин, А.Ю. Мамонтов, А.В. Каплин // Промышленная энергетика. – 2017.-№3. - С. 51-55.

6. Вендин, С.В. Расчет мощности дополнительных источников теплоты для подогрева биомассы в биогазовом реакторе [Текст] / С.В. Вендин, А.Ю. Мамонтов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им.В.Г. Шухова.- 2017.-№7.- С.97-99.

7. Вендин, С.В. К расчету нестационарной теплопроводности в многослойных объектах при граничных условиях третьего рода [Текст] / С.В. Вендин // ИФЖ.- 1993.- Т.65, №8.- С.249-251.

8. Vendin, S.V. Calculation of nonstationary heat conduction in multilayer

objects with boundary conditions of the third kind [Текст] / S.V. Vendin // Journal of Engineering Physics and Thermophysics.- 1993.-Т. 65. № 2.- С. 823.

9. Вендин, С.В. К решению задач нестационарной теплопроводности в слоистых средах [Текст] / С.В. Вендин, И.А. Щербинин // Вестник Белгородского государственного технологического университета им.В.Г. Шухова.- 2016.-№3.- С.96-99.

10. Vendin, S.V. On the Solution of Problems of Transient Heat Conduction in Layered Media [Текст] / S.V. Vendin // International Journal of Environmental and Science Education. – 2016.-Т. 11. № 18. -С. 12253-12258.

POWER SELECTION OF ADDITIONAL HEAT SOURCES FOR HEATING RAW MATERIALS IN A BIOGAS REACTOR

Mamontov Artem Yuryevich

graduate student

Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorina

Maysky village, Belgorod region, Russia

e-mail: ligaman999@mail.ru

Annotation: The article presents the results of theoretical studies on the selection of power of additional heat sources for heating raw materials in a biogas reactor.

Key words: power, heat sources, biogas, bioreactor, temperature field.