

Введение. Метановое брожение является медленной микробиологической реакцией, тем не менее, в метантенке необходимо организовать оптимальное перемешивание, т.к. оно обеспечивает эффективное использование всего объема аппарата, исключает образование мертвых зон, предотвращает расслоение осадка и образование корки, а также выравнивает температуру. Кроме того, перемешивание должно способствовать выравниванию концентраций метаболитов, образующихся в процессе брожения и являющихся промежуточными субстратами для микроорганизмов или ингибиторами их жизнедеятельности, а также концентрации токсичных веществ, поддержанию тесного контакта между бактериальными ферментами и их субстратами и т.д. (Bello-Mendoza and Sharratt, 1998; Casey, 1986; Meynell, 1976; Parkin and Owen, 1986; Sawyer and Grumbling, 1960; Smith et al., 1996; Гюнтер, 1991).

Перемешивание также помогает в процессе высвобождения пузырьков биогаза. Дополнительными проблемами, возникающими в результате неэффективного перемешивания, являются образование пены на свободной поверхности и осадка на дне аппарата [1, 2]. Образование и высвобождение пузырьков биогаза создает некоторое перемешивание внутри аппарата. При благоприятных условиях, а именно, при высокой скорости образования биогаза, отсутствии легко всплывающих и оседающих твердых веществ, образующийся газ может обеспечить собственное достаточное перемешивание, тем самым устраняя необходимость использования внешних перемешивающих устройств. Однако, субстраты, используемые в технологии метанового брожения, являются суспензиями, поэтому не удастся предотвратить развитие донных отложений и плавающего слоя без дополнительного вмешательства. Некоторое перемешивание содержимого метантенка происходит при загрузке и выгрузке субстрата, однако оно имеет прерывистый характер и поэтому тоже недостаточно. Перемешивание предназначено для гомогенизации содержимого метантенка. Однако, существует некий предел интенсивности перемешивания, превышение которого может привести к недопустимому физическому отрыву отдельных групп бактерий друг от друга, а также от частиц субстрата, с которыми у бактерий имеется тесное сродство. Недостаточное перемешивание уменьшает эффективный рабочий объем метантенка, вследствие чего сокращается время удержания субстрата, а, следовательно, распад органического вещества и выход биогаза. Исследования промышленных аппаратов показали, что неэффективное перемешивание может привести к снижению рабочего объема метантенка на 70% (Monteith and Stephenson, 1981) [3]. Несмотря на важную роль, которую играет перемешивание в работе метантенка, в литературе встречаются противоречивые выводы о необходимости перемешивания и его интенсивности. Часть ученых считает наиболее эффективными метантенки: – с непрерывным перемешиванием (Но и Тап, очистка стоков завода по производству пальмового масла, 1985; Pierkiel и

Lanting, промышленные метантенки, 2004; Stroot P.G. и соавт., городские сточные воды, 2001) [4 - 6]; – с периодическим перемешиванием (Dague, утилизация жидких бытовых отходов, 1970) [7]; – без перемешивания (Chen и соавт, 1990; Ben-Hasson и соавт., навоз КРС, 1985; Vavilin V.A., Angelidaki I., сточные воды, 2005) [8-10]. Режим перемешивания и геометрия аппарата не показали значительного влияния на производительность метантенка. Karim K. и Hoffman R. пришли к выводу, что истинный эффект перемешивания не может быть обнаружен в лабораторных масштабах, и эксперименты по оценке производительности должны быть выполнены в промышленном масштабе [11, 12]. Новые направления развития систем гидравлического перемешивания

Развитие систем гидравлического перемешивания, применяемых в технологии метанового брожения, можно разделить на два основных направления. Jet Mixing System. Преимуществом являются низкие капитальные затраты. При этом существенными недостатками данной системы являются: частое засорение сопел, необходимость дополнительного измельчения субстрата перед сбраживанием, она не может быть в резерве, высокое энергопотребление. External Draft Tube Mixers. Это проверенная технология, имеющая следующие преимущества: низкие затраты энергии на подогрев метантенка, простота технического обслуживания, связанная с наличием доступа к внешней части метантенка; возможность изменения направления циркуляции субстрата; может быть в резерве. Недостатки: привлечение сложной техники (например, подъемного крана) для ремонтных работ; высокий уровень капитальных затрат; верхний напорный трубопровод расположен близко к плавающей крышке метантенка. Разработанная система гидравлического перемешивания в метантенке биогазовой установки На рис. 1 показана установка метанового брожения, где применяется разработанная система гидравлического перемешивания (External Draft Tube Mixers) [13]. Рис. 1 – Установка метанового брожения: 1 - емкость для приема сырья, 2 - емкость для измельчения, 3 - емкость для перемешивания; 4 - теплообменник; 5 - система подачи сырья; 6, 7 - подводящие патрубки; 8 - метантенк; 9 аксиально-лопаточный закручиватель, 10 - система удаления биогаза с вакуум-насосом, 11 - система удаления шлама, 12 - патрубков для выгрузки шлама Исходный субстрат загружают в приемную емкость 1 системы подготовки исходного сырья, далее его с помощью соответствующих устройств измельчают в емкости 2, смешивают с эффлюентом в 3 и подогревают с помощью теплообменника 4 до температуры режима сбраживания. Подготовленную биомассу подают с помощью насосов системы 5 через два подводящих патрубка 6 и 7 в метантенк 8, причем один расположен в нижней части корпуса метантенка, а второй – в верхней крышке корпуса аппарата. Биомасса под давлением подается через подводящий патрубок 6 в придонную область, препятствуя образованию осадка, и через подводящий патрубок 7 - на уровень зеркала жидкости, при этом наличие аксиально-

лопаточного закручивателя 9 препятствует формированию корки на свободной поверхности в резервуаре. Аксиально-лопаточный закручиватель, выполнен в виде лопаток, расположенных радиально с зазором друг к другу под наклоном к оси патрубка (рисунок 2). Рис. 2 – Аксиально-лопаточный закручиватель

В течение всего процесса биомасса непрерывно циркулирует и перемешивается внутри метантенка. С помощью системы с вакуум-насосом 10 биогаз удаляется через патрубок в верхней крышке корпуса реактора, а через патрубок в верхней части стенки реактора жидкое органическое удобрение сливается самотеком в емкость для готового продукта систему удаления шлама 11. В нижней части реактора смонтирован патрубок для выгрузки шлама 12 для опорожнения метантенка на период профилактического ремонта. Таким образом, обеспечивается непрерывный цикл процесса метанового брожения. Обоснование предложенного способа гидравлического перемешивания

Проведено исследование процессов гидродинамики и теплообмена в метантенке с разработанной системой гидравлического перемешивания. Оно основано на применении математической модели, учитывающей ламинарный характер движения органического субстрата и изменение концентрации в каждой точке аппарата. Результаты численных исследований различных систем гидравлического перемешивания субстрата в метантенке согласуются с экспериментальными данными, полученными (Knadle B.) при изучении аппаратов метанового брожения, работающих на заводе водопроводки города Су - Фолз (Южная Дакота, США) [14]. Результаты численных и экспериментальных исследований подтверждают, что метантенки с рециркуляцией субстрата, осуществляемой через верхнюю часть резервуара, имеют больший эффективный объем, чем те, у которых загрузка осуществляется только с боковой стороны корпуса. При оценке эффективности предложенной системы перемешивания применялось несколько критериев: 1. Разработанный критерий оценки качества перемешивания, основанный на кинетической модели Чена – Хашимото (Караева Ю.В., Халитова Г.Р., Трахунова И.А., КазНЦ РАН) [15]. 2. Статистический критерий однородности (Terashima M., Goel R., Noike T., Nihon University, Tokyo, Japan) [16]. 3. Объемная доля «мертвых зон» (Mendoza A.M., Martinez T.M., Montanana V.F., Universitat Politècnica de València, Spain) [17]. Полученные результаты согласуются между собой и подтверждают, что предложенная система перемешивания обеспечивает достаточную однородность и малый объем «мертвых зон» в метантенке. Заключение Преимуществом разработки является то, что перемешивание в метантенке осуществляется рециркуляцией субстрата, подаваемого не только через подводящий патрубок, расположенный в верхней крышке корпуса резервуара, но и через патрубок в нижней части корпуса аппарата. Кроме того, в верхнем подающем патрубке расположен аксиально-лопаточный закручиватель, что позволяет получить дополнительный рабочий объем. Таким образом, поток субстрата, подаваемый под давлением в

придонную область метантенка, препятствует образованию осадка, а субстрат, подаваемый на уровень зеркала жидкости, препятствует формированию корки на свободной поверхности.