

Таблица 4. Коэффициент неравновесности Наримановской нефти, обработанный Антипаг различной концентрации (Т=14-16<sup>0</sup>С)

Концентрация реагента Антипаг	Скорость сдвига, с <sup>-1</sup>					
	48,6	81	145,8	243	437,4	729
Без реагента	0,271	0,234	0,222	0,179	0,123	0,119
75 г/т	0,25	0,23	0,175	0,112	0,095	0,076
100 г/т	0,228	0,16	0,09	0,055	0,036	0,02
150 г/т	0,215	0,156	0,085	0,043	0,032	0,015
200 г/т	0,235	0,19	0,155	0,1	0,086	0,058

Таблица 5. Суммарный коэффициент неравновесности Наримановской нефти, обработанной ДП Антипаг различной концентрации (Т=14-16<sup>0</sup>С)

Суммарный коэффициент неравновесности	Без реагента	75 г/т	100 г/т	150 г/т	200 г/т
	116,18	89,48	47,69	43,03	80,16

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] А.И.Алиева. Исследования реологических свойств высокопарафинистых нефтей. Известия Академии Наук Азербайджана, № 3, 2003, стр. 88-93.
- [2] Полищук Ю.М., Ященко И.Г. Физико-химические свойства нефтей: статистический анализ пространственных и временных изменений. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2004. – 109 с.
- [3] Полищук Ю.М., Ященко И.Г. Геостатистический анализ распределения нефтей по их физико-химическим свойствам // Геоинформатика. – 2004.–№ 2.–С.18-28.
- [4] А.Г.Ахмадеев, М.А.Сафин. Определение эффективности действия депрессорных присадок на высокопарафинистую нефть. Нефтяное хозяйство, 3(2002) 83.

Баймаханов Г.А., Курмангазы Ж.

#### Парафин мұнайының жіктелуі

Мұнай реологиялық қасиеттерін зерттеу арқылы берілген Бұл макала, парафин, мұнай және парафиннің жоғары үлесімен өз физикалық және химиялық қасиеттерін сипаттамаларын талқылайды.

**Кілтті сөздер:** парафин, мұнай, көмірсутегі, жіктелуі.

Baimakhanov G.A., Kurmangazy Zh.

#### Classification of paraffin oils

This article discusses the characteristics of paraffin oil and their physical and chemical properties with a high paraffin content, as given by the study of the rheological properties of oil.

**Keywords:** paraffin oil, hydrocarbon classification.

УДК 658.52.011.56:665.7

**А. М. Сагадиева, Б. А. Сулейменов, О. В. Жирнова, С. К. Абдигалиев, А. Ақбасов**  
(Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева,  
Алматы, Республика Казахстан, [aiga\\_s\\_92@mail.ru](mailto:aiga_s_92@mail.ru))

#### РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОВ СЖИГАНИЯ БИОГАЗА

**Аннотация:** Проанализированы конструкции биореакторов для переработки различных отходов сельскохозяйственного производства, построена базовая математическая модель функционирования биореактора и системы регулирования, рассмотрена структура процесса анаэробного брожения. А также рассмотрены задачи параллельного и последовательного объединения реакторов.

**Ключевые слова:** биореактор, биогаз, бактерии, регулирование, математическая модель, распределенная система, оптимальное управление, интеграция, агрегирование.

Тепло, газ, качественные удобрения являются только побочным, полезным эффектом установок для биотехнической переработки органических отходов, а главная составляющая ценности – сохранение экологической среды. Первыми реальными пользователями просто будут вынуждены быть предприятия по переработке сельхозпродукции. Существующие установки биопереработки отходов являются дорогими, слишком чувствительными к составу отходов, сложными в эксплуатации. Это делает их неконкурентными относительно альтернативных источников энергоснабжения и химических удобрений. И для того чтобы решить такого рода проблемы нужно создать комплекс имитационных моделей биореакторных систем для интенсивного поиска эффективных модульных конструкций и методов управления процессами биопереработки. Эффективный путь решения этой проблемы – совместимое согласованное проектирование технологий и конструкции установки для переработки отходов, создание компьютерных моделей для накопления опыта и статистики на виртуальной реальности. Биохимические и термодинамические процессы в реакторе существенно нелинейны, нестационарны, неопределенны. Биореактор сложнее ядерного. Использование "интеллектуальных" регуляторов без изучения биохимических процессов и процессов генетической эволюции микроорганизмов – наилучший путь к окончательной дискредитации биореакторов и интеллектуальных систем. Предлагается разработка с двухуровневым регулятором:

– первый уровень – это разработка биотехнической системы с саморегулированием;

– второй уровень – разработка регуляторов, которые будут сервисными для биотехнической системы. Аналогом может быть обычный аквариум, где большинство процессов регулируются экосистемой аквариума, а регуляторы обеспечивают нужные температуру, насыщение кислородом и освещение. Проблемы биореакторов не являются новыми, существует достаточно источников с достаточно полным анализом процессов и конструкций биореакторов. Центром анализа и проектирования биореакторов являются естественные процессы переработки отходов соответствующими видами и штаммами бактерий. Решающий фактор эффективности биореакторов – эффективность и адаптивность культур бактерий. Сегодня идут интенсивные поиски таких культур в природе и выполняются дорогостоящие разработки новых штаммов с нужными свойствами, методами "генетического программирования". На рис. 1 представлена упрощенная схема процессов анаэробного брожения. Главная особенность процессов брожения – наличие двух классов бактерий и соответственно – двух типов биохимических процессов. Эта особенность задает направление поиска эффективных структур биореактора, а именно, двухступенчатого с разделением процесса брожения. В этом случае возможно оптимизировать температуру и состав биомассы под конкретный тип бактерий.

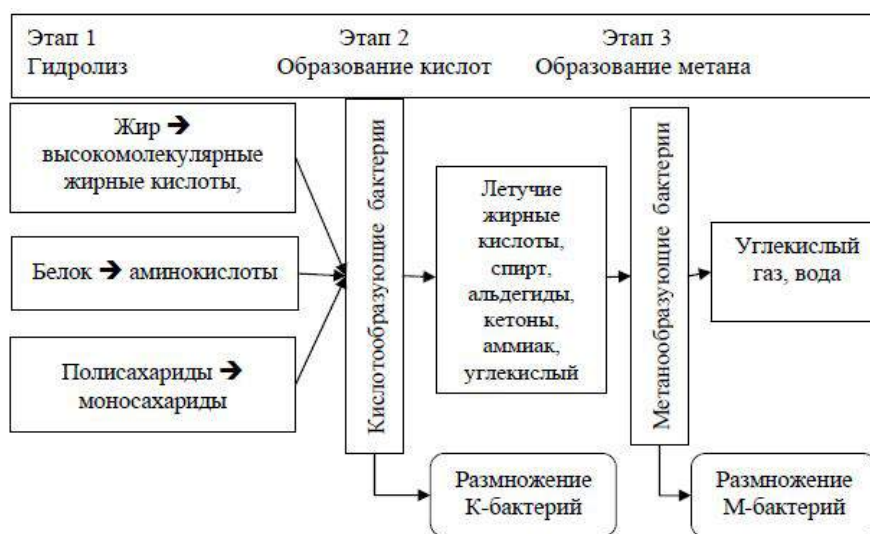
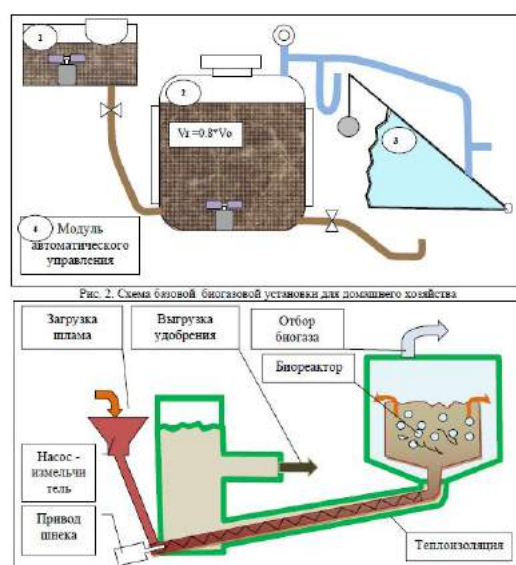


Рис. 1. Схема процесса анаэробного брожения

На базе анализа десятков известных биогазовых установок отобраны две базовых модели биореакторов: малой мощности для малых хозяйств (рис. 2), и большой мощности для средних и больших предприятий (рис. 3). Первый реактор (рис. 2) – дешевый, пластиковый, устойчивый к химически агрессивной среде, простой, пригодный для масштабирования и образования систем. Дополнительные преимущества – возможность переноса на другое место, возможность образования структур из базовых модулей. Второй реактор (рис. 3) – большой единичной мощности, с максимальной энергоэффективностью и биопроизводительностью, однако, более дорогой, с большими постоянными расходами на единицу измерения конечных продуктов. Реактор имеет непрерывный цикл и противоточный теплообменник. Главное преимущество выбранной конструктивной схемы биореактора – непрерывность и стационарность процессов, возможность модификаций базовой схемы реактора, естественность механизмов регуляции. Структура и алгоритмы регулятора зависят от конструкции объекта управления, измеряемых параметров. Общее направление в системном проектировании регуляторов – проектирование объекта, который нуждается в минимальных расходах энергии и "интеллекта" для управления. Эффективный путь решения проблемы – совместимое согласованное проектирование технологий и конструкции установки для переработки отходов, создания компьютерных моделей для накопления опыта и статистики на виртуальной реальности. Биохимические и термодинамические процессы в реакторе существенно нелинейны, нестационарны, неопределенны.



**Рис. 2.** Схема базовой установки для агробизнеса

На первом этапе исследований проанализированы варианты количества, расположения, типов измерителей и исполнительных элементов. Собрана библиотека моделей регуляторов температуры и подачи шлама: импульсных с амплитудной и фазовой модуляцией, релейных, экстремальных. Выбрано проектное решение – разработать систему с прецизионной стабилизацией температуры и подачи отходов. Прототипами таких подсистем являются водонагреватели, кондиционеры, теплообменники. Идеальная система управления такая, которая не содержит электронику, механические и термические элементы управления. Автоматическая система аварийного отключения реактора не имеет ни одного выключателя, электродвигателя, транзистора. При остановке насосов охлаждения, падает давление и "тяжелая вода" с барьером вытесняет обычную воду и гасит реакцию. Аналогом может быть также обычный аквариум, где большинство процессов регулируются экосистемой аквариума, а регуляторы обеспечивают необходимые температуру, насыщение кислородом и освещение.

Первый этап в разработке системы биореакторов – тщательное изучение свойств поведения объекта управления (биохимических процессов) и выявления термодинамических и биохимических механизмов, которые порождают свойства. На этой основе формируется биотехническая система саморегулирования и сервисные системы. Параллельно с первыми образцами биореактора создается имитационная модель. Второй этап – разработка систем биореакторов. На этом этапе используется

## • Технические науки

информация об источниках ресурсов для переработки отходов, о потребностях и возможностях потенциальных клиентов. Определяются параметры базовой линейки биореакторов и разрабатываются модели систем биореакторов с последовательным и параллельным соединением модулей. Эффективные математические модели позволяют значительную часть проектирования и испытаний провести в режиме компьютерной имитации.

Последовательное соединение реакторов позволяет разделить фазы брожения и в итоге повысить качество и экологическую безопасность удобрений. Модули загрузки, накопления газа и автоматика могут быть общими для всех последовательно включенных реакторов при незначительной модификации программных и технических средств. Параллельное соединение реакторов позволяет изменять пропускную способность системы в неограниченном диапазоне, повышает надежность и отказоустойчивость системы – при наличии трех и больше реакторов не вызывает проблем остановка одного из них для планового или аварийного ремонта. Параллельная структура позволяет специализировать каждый биореактор по виду ресурса. Образование систем биореакторов порождает комплекс задач оптимального распределения обобщенных ресурсов между элементами последовательных и параллельных сочетаний элементов.

Сырьем для биореактора могут быть: животные отходы, птичий помет, разнотравье, отходы мясной промышленности, силос. При многолетней эксплуатации биореакторов собраны статистические данные относительно их характеристик как технологических преобразователей. Следует, однако, учитывать влияние современных технологий в растениеводстве и животноводстве на эффективность переработки отходов, так как инъекции антибиотиков могут сделать непригодными для переработки отходы птицефабрики. Поэтому приведенные в таблице 1, 2 усредненные данные могут иметь существенный разброс.

Таблица 1. Влияние современных технологий в растениеводстве и животноводстве на эффективность переработки отходов

Необходимый объем реактора в зависимости от количества животных и птиц

Объем реактора, м <sup>3</sup>	Количество животных и птиц		
	КРС, голов	Свины, голов	Куры, 100 голов
3	10	40	16
10	40	150	24
25	100	400	160
50	200	800	320
100	400	1600	640
150	600	2300	960
200	800	3000	1280

Таблица 2

Характеристики органического удобрения

Исходное сырье	N общ. %	N аммоний %	P фосфор %	K калий %	Влажность %	pH
Птичий помет	0,2 – 0,8	0,1 – 0,5	0,87 – 1,7	0,4 – 0,8	80 – 90	8
Свиной навоз	0,2 – 1,2		0,1 – 0,4		80 – 90	6,3 – 8,1
Навоз КРС	0,4	0,25	0,2	0,45	80 – 90	

Затрата таких удобрений в среднем составляет 500 литров на гектар на весь период вегетации. Следует отметить, что формальное сравнение органического удобрения с комплексными минеральными удобрениями не является корректным. Органическое удобрение, кроме азота, фосфора, калия, имеет в своем составе незаменимые микроэлементы, сложные активные соединения.

Поэтому сравнение эффективности удобрений следует проводить в одинаковых условиях, как прирост урожая на единицу стоимости, а не вес удобрений. Однако приращение урожая тоже не полностью характеризует эффект органического удобрения. С учетом экологических потерь, современное, высокопродуктивное агропроизводство является существенно убыточным. Поэтому главная составляющая эффекта биореакторов не биогаз, удобрения, а именно минимизация экологических потерь и угроз.

Модель динамики процесса брожения относится к классу нелинейных обобщенных моделей "роста с ограничением". В процессах брожения принимают участие два класса бактерий, поэтому следует динамику описывать как сумму процессов с переменными соотношениями этих процессов. Записываем базовое дифференциальное уравнение процесса роста с ограничением:

$$\frac{dx}{dt} = k1 \cdot x - k2 \cdot x^{a1} \quad (1)$$

где  $k1, k2, a1$  – параметры модели.

Регуляторы системы управления импульсные, поэтому получим эквивалентную разностную математическую модель. Заменяем производную разностью первого порядка:

$$\frac{dx}{dt} x[(n+1) \cdot T] = \frac{x[(n+1) \cdot T] - x[n \cdot T]}{T} \quad (2)$$

где  $n$  – номер шага квантования,  $T$  – шаг квантования.

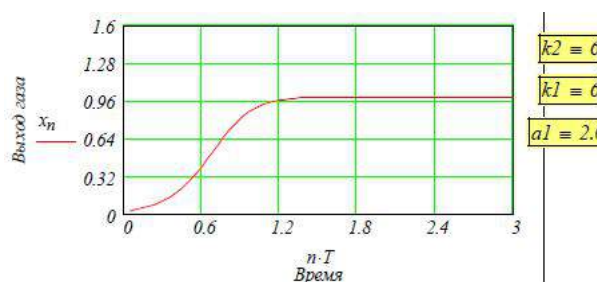


Рис. 3. Процесс брожения при малом начальном количестве бактерий

Сформируем зависимости процесса брожения от температуры на основе идентифицированных параметров для процессов при 20, 30, 50 градусах Цельсия. Построим графики процессов с учетом разбросов, которые могут быть большими (рис. 4)

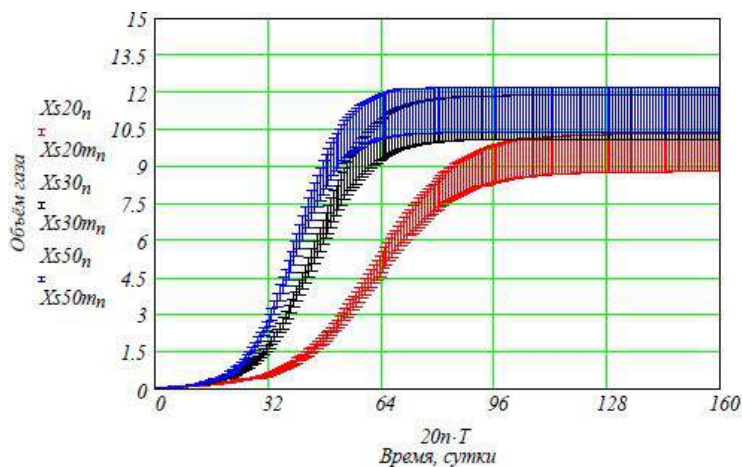


Рис. 4. Процессы образования газа при температурах 20, 30, 50С°



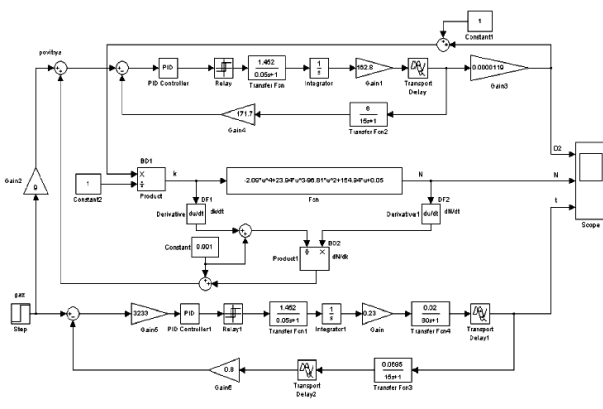
При создании систем биореакторов из определенных модулей возникают задачи верхнего уровня:

- задачи оптимизации технологического процесса брожения в системе с последовательно соединенными реакторами, что можно также назвать задачами специализации модулей по фазам процесса;
- задачи специализации параллельно соединенных реакторов по видам сырья (отходы птицеводства, животноводства и др.);
- задачи стратегического управления развитием системы биореакторов в составе определенного агропредприятия.

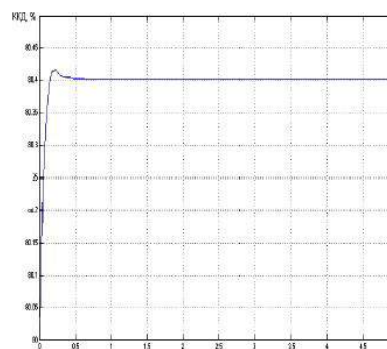
Выбрана система базовых конструкций биореакторов, разработана система математических моделей, ориентированных на исследование и построение ультранадёжной адаптивной системы управления. Разработанные имитационные модели функционирования биореакторов позволяют оценивать локальные и глобальные преимущества.

Математическая модель на основании уравнений вида (1) - (2) для газообразного топлива позволяет определить количественный состав его условной формулы, энтальпию топлива, состав продуктов сгорания при использовании в качестве исходных данных величин замеренных технологических параметров (расходов компонентов топлива, соответствующих им температур в камере сгорания), известного элементного (качественного) состава топлива ([C], [H], [O]).

Математическая точность модели позволяет использовать полученные на ее основе данные для оценки чувствительности результатов расчетов с учетом погрешностей измерительных каналов: температуры продуктов сгорания и расходов горючего и окислителя.



**Рис. 5.** Структурная САП в программе MatLAB



**Рис. 6.** Переходной процесс системы при экстремальном регулировании КПД

Результаты моделирования системы автоматического регулирования работы агрегата подтвердили работоспособность разработанной модели. Полученная модель экстремального регулирования процесса горения в топке позволяет улучшить энергетические показатели работы путем поддержания оптимального значения КПД. Доказано работоспособность разработанной имитационной модели экстремального регулирования при изменении сигнала задания, то есть поддержание КПД котла на одном уровне с заданной точностью.

Современная технология очистки городских сточных вод связана с потреблением значительных количеств электрической и тепловой энергии. В условиях острого энергетического кризиса проблема снижения указанных энергозатрат за счет использования нетрадиционных источников энергии, имеющихся на самих очистных сооружениях и постоянно возобновляющихся, является остро актуальной.

В статье как объект управления рассматривалась установка по совместному сжиганию биогаза и природного газа. Предложены математическая модель и метод, позволяющие в процессе сжигания такого топлива определить его состав и обеспечить оптимальные параметры процесса горения. Разработаны математические модели процесса адсорбции биогаза и природного газа.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ławicki T., Zhirnova O. Application of curvelet transform for denoising of CT images //XXXVI Symposium on Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments (Wilga 2015). – International Society for Optics and Photonics, 2015. – С. 966226-966226-6.
- [2] Moskvina, S. M., Yukhymchuk, M. S., Zhirnova, O., & Gromaszek, K. (2015, December). Evaluation of the impact of uncontrolled parametric perturbations on stability of automatic systems with logical control units. In 16th Conference on Optical Fibers and Their Applications (pp. 98161X-98161X). International Society for Optics and Photonics.
- [3] Kvyetnyy, R. N., Sofina, O. Y., Lozun, A. V., Smolarz, A., & Zhirnova, O. (2015, December). Modification of fractal coding algorithm by a combination of modern technologies and parallel computations. In 16th Conference on Optical Fibers and Their Applications (pp. 98161R-98161R). International Society for Optics and Photonics.
- [4] Bolshakov NY Process optimization in the aeration tank - septic tank to minimize the discharge of organic and nutrient: Author. Dis. Ph.D. - SPb., 2005
- [5] Nikolaev AN Bolshakov NY, Fetyulina IA Investigation of the effect of age on the efficacy of activated sludge biological defosfotatsii in the aeration tank - secondary settling tank. Water and Environment: Challenges and resheniya.- №2 / 2002.

Sagadiev A.M., Suleimenov B.A., Zhirnova O.V., Abdigaliev S.K., Akbasov A.

**Development of optimal control processes biogas combustion system**

**Abstract:** We analyzed the design of bioreactors for processing of various agricultural waste, built a mathematical model of the basic functioning of the bioreactor and control systems, consider the structure of the process of anaerobic fermentation, and also consider the problem of parallel and serial combination of reactors.

**Keywords:** bioreactor, biogas, bacteria, regulation, mathematical model, distributed system, optimal control, integration, aggregation.

Сагадиева А.М., Сулейменов Б.А., Жирнова О.В., Абдигалиев С.К., Акбасов А.

**Биогаз жану процестерін оңтайлы басқару жүйесін құрастыру**

**Андатпа:** Ауылшаруашылық өндірісінің қалдықтарын өңдеуге арналған биореакторлардың құрылымы қарастырылды, басқару жүйесі мен биореактор жұмысының негізгі математикалық моделі қарастырылған, анаэробты ферменттеу процесінің құрылымы қарастырылды. Сонымен қатар реакторлардың параллель және тізбектей жалғануының есептері қарастырылды.

**Түйінді сөздер.** Биореактор, биогаз, бактериялар, басқару, математикалық модель, таратылған жүйелер, оңтайлы басқару, интеграция, біріктіру.

УДК 658.52.011.56:665.7

**О. В. Жирнова, Е. А. Кулакова, Б. Т. Иманбек, Н. Соммер**

(Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Республика Казахстан, e-mail: [oxana\\_fedoseyeva@mail.ru](mailto:oxana_fedoseyeva@mail.ru))

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СЖИГАНИЯ БИОГАЗА**

**Аннотация.** Описана математическая модель, которая включает в себя зависимости описывающие теплообмен между факелом и теплопринимающей поверхностью топки, между факелом и промежуточным излучателем, а также между промежуточным выпрямителем и экранными поверхностями топки.

**Ключевые слова.** Биореактор, биогаз, бактерии, регулирование, математическая модель, распределенная система, оптимальное управление, интеграция, агрегирование.

В настоящее время все большее значение в Казахстане приобретают вопросы экономии материалов и топливно-энергетических ресурсов, охраны окружающей среды. В этих условиях развитие коммунального хозяйства немислимо без освоения нетрадиционных возобновляемых источников энергии (НВИЭ). Преимущества их в том, что они неисчерпаемы и экологически чистые. Осадки, образующиеся в процессе очистки сточных вод и продукты их переработки, в первую очередь биогаз,