

# Новые технические решения для защиты окружающей среды на биотехнологических предприятиях

**Б.С. Ксенофонтов**, профессор, д-р техн. наук

**А.С. Козодаев**, доцент, канд. техн. наук

**Р.А. Таранов**, старший преподаватель

**Е.В. Сенник**, аспирант

**М.С. Виноградов**, аспирант

**А.А. Воропаева**, инженер

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

e-mail: borisflot@mail.ru

## Ключевые слова:

биотехнологические предприятия, биомасса кормовых дрожжей, гидролизные кормовые дрожжи, избыточный активный ил, парафины нефти.

*В работе рассмотрены вопросы защиты окружающей среды на биотехнологических производствах. Представлены принципиальные схемы получения биомассы кормовых дрожжей на парафинах нефти и получения гидролизных кормовых дрожжей. Показаны возможные пути оптимизации стадии сгущения активного ила, в том числе посредством использования различных сепараторов. Представлены результаты промышленных испытаний различных сепараторов. В процессе проведения опытно-промышленных испытаний установлено, что для предприятий биотехнологической промышленности наиболее приемлемые способы сгущения избыточного активного ила – его предварительная флотация и дальнейшее центрифугирование. Определены пути утилизации активного ила, в частности обработка его в режиме кислотного гидролиза с последующим использованием в качестве дополнительного субстрата при выращивании кормовых дрожжей. Представлена зависимость выхода биомассы дрожжей от количества поданного на ферментацию гидролизата избыточного активного ила. Подчеркивается важность качества используемого избыточного активного ила, в частности по содержанию зольных элементов. Рассмотрены и другие способы обработки и утилизации или ликвидации избыточного активного ила.*

## 1. Введение

Наибольший и устойчивый эффект очистки достигается при создании оптимальных условий культивирования аборигенной микрофлоры и фауны в очищаемых средах, в частности в загрязненной воде и почве [1–9]. Интенсифицировать указанные процессы очистки можно также одновременным применением физико-химических методов, в частности с использованием флотации. Необходимое сочетание биотехнологических и физико-химических методов

определяется для конкретных условий очищаемых сред. Нами в условиях производства показана целесообразность использования предварительно обработанных отходов в биотехнологических процессах, в частности использование гидролизата активного ила в качестве дополнительного субстрата при выращивании кормовых дрожжей. В этих случаях достигается не только интенсификация биотехнологического процесса, но и утилизация образующихся отходов.

## 2. Внедрение новых технических решений на биотехнологических производствах

На отдельных биотехнологических производствах ряда предприятий нами внедрены новые технические решения для улучшения окружающей среды. На рис. 1 и 2 представлены принципиальные схемы получения биомассы кормовых дрожжей на парафинах нефти и получения гидролизных кормовых дрожжей.

На подобных предприятиях главной стадией производства является выращивание микроорганизмов (ферментация). С учетом использования специально обработанных отходов биотехнологических производств можно улучшить работу на этой стадии производства. Рассмотрим это на примере утилизации избыточного активного ила.

Наиболее перспективные способы сгущения избыточного активного ила — флотация и центрифугирование. Использование флотационного способа в этих целях подтверждено длительными испытаниями на заводах белково-витаминного концентрата (БВК). В процессе флотирования иловой суспензии удается получить степень сгущения 4–6 и более. Однако унос микробной биомассы с осветленной жидкостью при этом еще значительный и достигает 20–30% количества биомассы в исходной суспензии.

Применение centrifуг и сепараторов позволяет автоматизировать технологический процесс, сократить его продолжительность, уменьшить объем сооружений для обезвоживания активного ила, снизить затраты на его обработку. Высокая степень сгущения твердой фазы может быть достигнута на тарельчатых сепараторах. Натурные испытания сепараторов по сгущению активного ила были проведены рядом разработчиков в течение длительного времени [1].

Сепараторы испытывали на опытно-промышленной установке, работающей следующим образом. Активный ил из вторичных отстойников перед подачей на сепаратор фильтровали на барабанной сетке, задерживающей крупные случайные частицы. Фугат и осадок сбрасывали в приемный бак, откуда их перекачивали в иловый канал. Испытания проходили в два этапа: на первом этапе работали сепараторы НВ-600 и ДСГ-35, а на втором — НВ-600М и СДС-631К. На каждом этапе сепараторы испытывали в одинаковых условиях. Концентрация твердой фазы в исходном активном иле на первом и втором этапах составляла соответственно 6,5 и 3–5 кг/м<sup>3</sup>. Результаты опытно-промышленных испытаний [1] представлены в табл. 1.

Сравнение основных параметров работы сепараторов НВ-600М и СДС-631К показало одинаковую

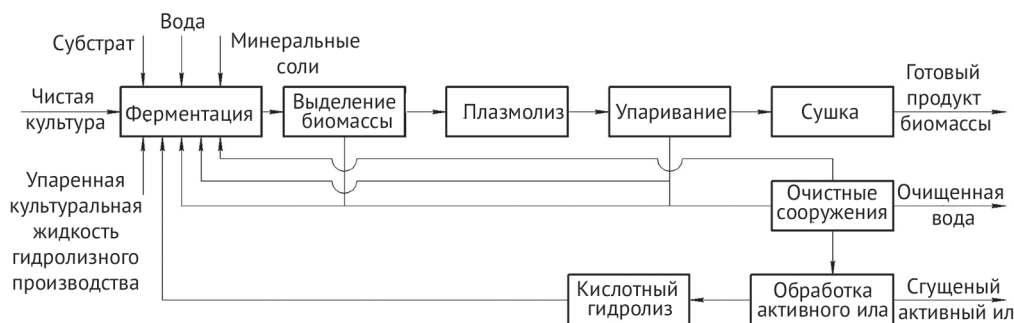


Рис. 1 Принципиальная схема получения биомассы кормовых дрожжей на парафинах нефти

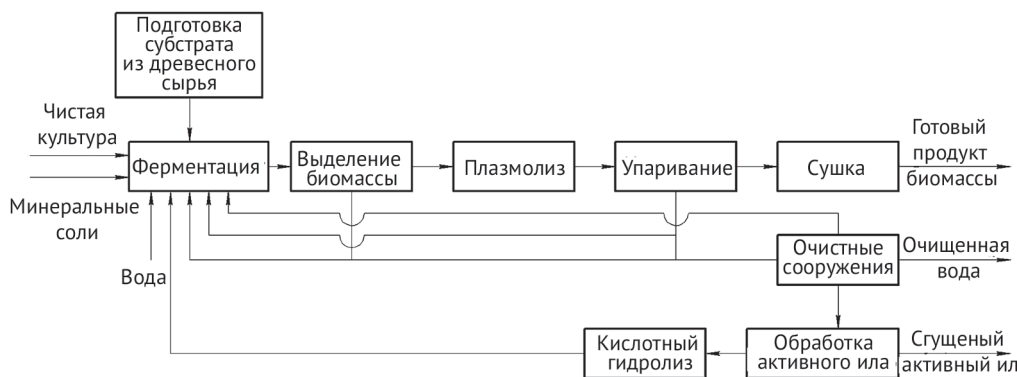


Рис. 2 Принципиальная схема получения гидролизных кормовых дрожжей

Результаты испытаний сопловых сепараторов

Этап	Сепаратор	Диаметр сопла, мм	Производительность сепаратора, м <sup>3</sup> /ч	Концентрация в твердой фазе, кг/м <sup>3</sup>			Объемный расход рециркулянта, м <sup>3</sup> /ч
				в исходном активном иле	в фугате	в осадке	
I	НВ-600	2,6–3,0	24–28	6,5	0,3–0,5	56–65	–
	ДСГ-35	1,8	9,6	6,5	0,3–0,5	35–40	–
II	НВ-600М	2,2	26–28	3–5	0,3–0,5	60–72	–
	СДС-631К	1,8	25–28	3–5	0,3–0,5	25–40	5–10

максимальную производительность по исходному активному илу—28 м<sup>3</sup>/ч. Сепаратор НВ-600М превосходил СДС-631К по эффективности сгущения: концентрация твердой фазы в осадке у НВ-600М 60–70 кг/м<sup>3</sup>, у СДС-631К-40. Сепаратор НВ-600М обеспечивал бесперебойную выгрузку осадка.

Во время испытаний сепаратора СДС-631К требовалась ежесменная разборка и промывка ротора для удаления остатка осадка [1]. Для предотвращения частой забивки сопел рекомендовано выделять из активного ила частицы более 0,2–0,3 мм. Сепаратор НВ-600М в отличие от СДС-631К не требует разборки ротора, так как может промываться на ходу. Кроме того, благодаря системе транспортировки осадка он позволяет без забивки сопел перерабатывать активный ил, содержащий частицы до 0,8 мм. Возможность применения сопловых сепараторов СОС 501 Т-2 была показана нами при сгущении избыточного активного ила на Киришском биохимическом заводе [2]. Нами также были проведены испытания отечественных центрифуг на стадии сгущения активного как после вторичных отстойников, так и после флотаторов. При этом степень сгущения составила примерно от 6 до 10 раз. При использовании флокулянтов в процессе центрифугирования степень сгущения увеличивалась до 12–15 раз. Таким образом, сгущение избыточного активного ила по схеме флотация–центрифугирование мы считаем наиболее перспективным и реализуемым на предприятиях биотехнологической промышленности.

Важнейшей задачей является также утилизация микробной биомассы активного ила. Известно доста-

точно много примеров ее успешного использования [3]. Однако до сих пор применение такой биомассы ограничено из-за сильно меняющегося в зависимости от условий культивирования ее состава. Одним из способов утилизации избыточного активного ила биотехнологических предприятий является его обработка в режиме кислотного гидролиза (рис. 3).

Обработанный по данной схеме активный ил направляется на стадию ферментации (см. рис. 1, 2), где он используется в качестве дополнительного субстрата и источника витаминов. В результате такой подачи улучшается один из основных показателей процесса получения биомассы дрожжей — выход биомассы, т.е. экономический коэффициент (рис. 4).

В связи с этим необходимо разрабатывать методы обезвреживания биомассы, например сжигания в случае неудовлетворительного качества (высокой зольности, большого содержания тяжелых металлов и т.д.).

Перспективен, на наш взгляд, и способ использования избыточного активного ила для получения биогаза. По данным фирмы Schwarting (ФРГ) [4], при сбраживании сточных вод из 1 кг сухого вещества (СВ) получают 1,0 м<sup>3</sup> биогаза.

В ФРГ разработан способ пиролиза активного ила с получением заменителей нефти и каменного



Рис. 3. Принципиальная схема обработки избыточного активного ила в режиме кислотного гидролиза

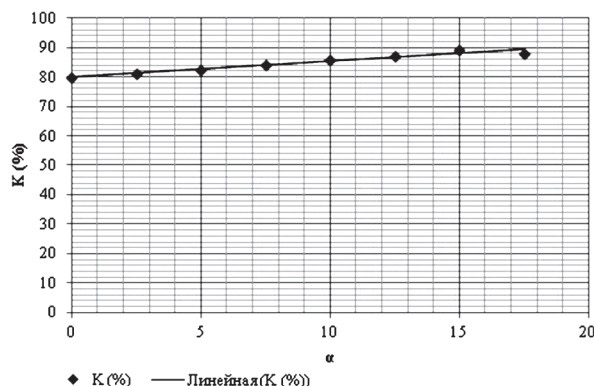


Рис. 4. Зависимость выхода биомассы дрожжей от количества поданного на ферментацию гидролизата: К — выход биомассы дрожжей (%), α — относительное количество активного ила от величины субстрата

угля. Согласно [5] 350 тыс. т ила можно превратить в топливо, эквивалентное 700 тыс. баррелей нефти (1 баррель — 159 л) или 175 тыс. т угля.

Технология периодических и непрерывных пиролизных процессов заключается в следующем [5]. Сначала избыточный активный ил высушивают, в результате чего содержание СВ возрастает до 90–95%. Затем его нагревают без кислорода в течение 30 мин при давлении 1000 Па, превращая биомассу в заменители нефти (25–30%), угля (50–60%) и неконденсируемые газы. При этом из 1 кг ила можно получить 7–10 МДж энергии, что почти в 2 раза превышает выход энергии при сжигании метана, образуемого из 1 кг ила.

Экспериментальная реакторная система непрерывного действия представляет собой емкость из нержавеющей стали длиной 100 см и внутренним диаметром 5 см с вмонтированными конвейерными системами для активного ила и твердого продукта пиролиза. Специальные наклонные перегородки делают реактор на три зоны: для летучих веществ, контакта твердой фракции с газообразной, нагревания активного ила. Производительность установки — 1 кг/ч сухого ила. Время удержания твердых веществ в реакторе контролируется путем изменения скорости подачи ила или специальными приспособлениями. Ил подается в реактор винтовым конвейером. Летучие органические вещества, образуемые в первой зоне, контактируют во второй с твердым продуктом пиролиза. Образующийся конденсат собирается в специальной ловушке.

Одно из преимуществ метода, описанного в [5], — удобное хранение полученного топлива. В случае сжигания ила энергия идет на производство пара, который необходимо немедленно использовать, а при

переработке ила в метан требуются дополнительные капитальные затраты на его хранение. Показано в [5], что более эффективно процесс пиролиза идет с илом, загрязненным тяжелыми металлами, 90–95% которых концентрируются в твердой фазе пиролиза. Вероятно, тяжелые металлы играют роль катализаторов.

Еще более экономичный способ превращения избыточного активного ила в топливо разработан лабораторией Battelle Pacific Northwest (США). По этому способу активный ил сначала центрифугируют, получая массу с 20% АСВ [5]. Затем осадок смешивают со щелочью и нагревают до 275 °С в 45-литровом реакторе непрерывного действия под давлением 800–1000 Па. При этих условиях 100% органических веществ превращаются в горячую жидкость.

Более полное использование избыточного активного ила возможно при комплексном решении проблемы [6–8], что необходимо заранее предусматривать разработчикам. Интенсификация технологических процессов получения биомассы кормовых дрожжей за счет более полного использования отходов производства имеет большое значение для развития микробиологической промышленности.

Очень важно применять биостимуляторы, особенно полученные из отходов производства. Особенно значительную роль играет механизм действия биостимуляторов, а также влияние на его эффективность различных белковых веществ, присутствующих в питательной среде. По-видимому, с углублением знаний о механизме действия биостимуляторов и ингибиторов на процесс получения кормовых дрожжей станет возможным более широкое использование отходов микробиологических производств, подвергнутых специальной предварительной обработке.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сушкова В.И., Воробьева Г.И. Безотходная конверсия растительного сырья в биологически активные вещества. Киров, 2006.
2. Соловьев В.Н., Ксенофонтов Б.С. Новые технологические приемы, используемые на Киришском биохимическом заводе. Обзор. М., 1985. С. 5–12.
3. Коротченко Н.И., Воробьева Г.И., Чепиго С.В., Самохина О.В. Об утилизации активного ила // Биотехнология. 1985. №1. С. 110–115.
4. Кузнецов А.Е., Градова Н.Б. Научные основы экобиотехнологии. Учебное пособие. М.: Мир, 2006.

## REFERENCES

1. Sushkova V.I., Vorob'jova G.I. *Bezothodnaja konversija rastitel'nogo syr'ja v biologicheski aktivnye veshchestva* [Waste-free conversion of plant materials in biologically active substances]. Kirov, 2006, 291 p.

5. Davey S. Revolutionary experiments turn sludge into fuel // *Water Pollution Control*, 1984, V. 122, №6, pp. 10–12.
6. Ксенофонтов Б.С. Флотационная очистка сточных вод. М.: Новые технологии, 2003.
7. Ксенофонтов Б.С. Очистка воды и почвы флотацией. М.: Новые технологии, 2004.
8. Ксенофонтов Б.С. Флотационная обработка воды, отходов и почвы. М.: Новые технологии, 2010.
9. Ксенофонтов Б.С. Основы микробиологии и экологической биотехнологии. М.: Форум Инфра-М, 2015.

2. Solov'ev V.N., Ksenofontov B.S. *Novye tehnologicheskie priemy, ispol'zuemye na Kirishskom biohimicheskom zavode. Obzor* [New technological methods

- used at the Kirov biochemical plant. Overview]. Moscow, 1985, pp. 5–12.
  3. Korotchenko N.I., Vorob'eva G.I., Chepigo S.V., Samohina O.V. On disposal of the activated sludge. *Biotehnologija* [Biotechnology], 1985, I. 1, pp. 110–115. (in Russian)
  4. Kuznecov A.E., Gradova N.B. *Nauchnye osnovy jekobiotehnologii. Uchebnoe posobie* [Scientific basis of environmental biotechnology. Tutorial]. Moscow, Mir, 2006, 504 p.
  5. Davey S. Revolutionary experiments turn sludge into fuel. *Water Pollution Control*, 1984, V. 122, №6, pp. 10–12.
  6. Ksenofontov B.S. *Flotacionnaja ochistka stochnyh vod* [Flotation treatment of wastewater]. Moscow, Novye tekhnologii Publ., 2003, 164 p.
  7. Ksenofontov B.S. *Ochistka vody i pochvy flotatsiej* [Treatment of water and soil by flotation]. Moscow, Novye tekhnologii Publ., 2004, 224 p.
  8. Ksenofontov B.S. *Flotatsionnaya obrabotka vody, otkhodov i pochvy* [Flotation treatment of water, waste and soil]. Moscow, Novye tekhnologii Publ., 2010, 272 p.
  9. Ksenofontov B.S. *Osnovy mikrobiologii i jekologicheskoy biotehnologii* [Fundamentals of Microbiology and Environmental Biotechnology]. Moscow, Forum, Infra-M Publ., 2015, 221 p.
- 

## Introduction of New Technical Solutions for Improving Environmental Protection for Biotech Companies

**B.S. Ksenofontov**, Professor, Doctor of Technical Sciences, Bauman Moscow State Technical University  
**A.S. Kozodaev**, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Bauman Moscow State Technical University  
**R.A. Taranov**, Senior Lecturer, Bauman Moscow State Technical University  
**E.V. Senik**, Post-graduate Student, Bauman Moscow State Technical University  
**M.S. Vinogradov**, Post-graduate Student, Bauman Moscow State Technical University  
**A.A. Voropaeva**, Engineer, Bauman Moscow State Technical University

*The paper discusses the environmental issues of biotech industries. It presents a schematic diagram of yeast biomass feed on paraffin oil and producing fodder yeast hydrolysis. Possible ways of optimizing the thickening stage activated sludge, including through the use of various separators are described. Results of industrial tests of various separators are presented. In the process of carrying out pilot tests we found that for biotech companies the most appropriate way of thickening activated sludge is its pre-flotation and further centrifugation. We define the ways of recycling activated sludge, in particular in its processing operation, followed by acid hydrolysis using an additional substrate when growing feed yeast. The dependence of yeast biomass yield on the amount applied to the fermentation of the hydrolysate activated sludge is offered. The importance of quality used activated sludge, in particular on the content of mineral elements is emphasized. Other ways of handling and recycling or disposal of excess sludge are also considered.*

**Keywords:** biotech companies, biomass feed yeast, feed yeast hydrolysis, excess activated sludge, paraffin oil..

### К 2030 году в Европейском Союзе предполагается перерабатывать 70 % муниципальных отходов и 80 % упаковочного мусора

В Европейском парламенте в настоящее время обсуждаются новые законодательные предложения в сфере защиты окружающей среды и управления отходами, которые на обсуждение в Европейском парламенте представили члены Еврокомиссии Франс Тиммерманс и Юрки Катайнен.

Комиссия также предлагает сократить долю неутилизированных отходов, которые будут попадать на специализированные мусорные полигоны, до 10 % к 2030 году. Остальное должно быть либо переработано должным образом, либо сожжено на биогазовых заводах, либо повторно использовано.

Комитет по защите окружающей среды Европарламента будет обсуждать предложения Еврокомиссии в ближайшее время.

Вопросы переработки отходов, в частности бытовых отходов и мусора, их сбора и транспортировки поднима-

лись в статьях на страницах журнала. Однако столь важной проблеме пока уделяется мало внимания. Обращаемся к нашим читателям с предложением активизировать научные публикации по этой проблематике.

Раздельный сбор бытовых отходов и мусора — важнейший этап их переработки. Однако периодически возникающая деятельность в этом направлении постепенно затихает.

Например, эксперимент по раздельному сбору отходов начался в Москве в 2013 году по поручению мэра Сергея Собянина. В результате объем вывозимых на полигоны твердых бытовых отходов уменьшился, по данным мэрии, на 30 %. По данным компании, занимающейся установкой и обслуживанием пунктов сбора мусора — на 50 %. Тем не менее, в июне этого года окружная комиссия по пресечению самовольного строительства решила демонтировать контейнеры.