

УДК 628.35:62-278

**Катраева И.В.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [inna@nngasu.ru](mailto:inna@nngasu.ru)

**Колпаков М.В.** – ассистент

E-mail: [lab4-5@mail.ru](mailto:lab4-5@mail.ru)

**Кузина Ю.С.** – соискатель

E-mail: [jule420@yandex.ru](mailto:jule420@yandex.ru)

**Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 603950, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65

**Мынин В.Н.** – кандидат технических наук

E-mail: [info@genos.ru](mailto:info@genos.ru)

**Научно-производственная компания «ГЕНОС»**

Адрес организации: 125047, Россия, г. Москва, ул. 1-я Миусская, д. 3

**Айнетдинов Р.М.** – кандидат технических наук

E-mail: [info@teco-nn.ru](mailto:info@teco-nn.ru)

**ООО «ТЭКО»**

Адрес организации: 603000, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Белинского, д. 38

## **Применение погружных керамических модулей для биомембранных аппаратов**

### **Аннотация**

В статье приведены результаты исследования работы трубчатого керамического мембранного модуля производства российской компании НПК «ГЕНОС» (г. Москва) в лабораторном мембранном биореакторе, дается обоснование преимуществ и перспектив использования керамических мембран для биомембранной технологии в качестве погружных модулей при очистке промышленных сточных вод.

Эксперименты проводились на сточных водах предприятий пищевой и фармацевтической промышленности.

Была доказана высокая эффективность регенерации мембран обратной продувкой воздухом.

**Ключевые слова:** мембранный биореактор (МБР), очистка сточных вод, погружной модуль, трубчатые керамические мембраны, биомембранная технология.

Опыт эксплуатации биомембранной технологии в мировой практике в последние годы подтверждает ее высокую эффективность и перспективность применения для очистки хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод. Благодаря постоянному развитию и совершенствованию технологии изготовления мембранных модулей для биореакторов снижаются энергозатраты на очистку сточных вод и повышается надежность работы биомембранных аппаратов.

На сегодняшний день для биомембранной технологии с погружными мембранными модулями чаще всего используются модули с полволоконными мембранами, их преимуществом является дешевизна и большая удельная поверхность.

Керамические мембраны, несмотря на их высокую стоимость, которая в настоящее время составляет 200÷300 Евро/м<sup>2</sup>, имеют преимущества с точки зрения надежности, долговечности и удобства в эксплуатации (таблица) [1, 2].

Таблица

**Сравнение полволоконных и керамических мембран**

Параметр	Полимерные мембраны	Керамические мембраны
<b>Стойкость к воздействию:</b>		
Абразив	«-»	«+»
Гидролиз	«-»	«+»
Радиолиз	«-»	«+»
Высокая температура (выше 80°C)	«-»	«+»
Биологическое разрушение	«-»	«+»
<b>Химическая стойкость:</b>		
Хлор	«-»	«+»
Кислоты	«-»	«+»
Щёлочи	«-»	«+»
Органические растворители	«-»	«+»
<b>Эксплуатационные параметры:</b>		
Срок службы без замены, лет	0,5-4	до 20
Возможность обратной промывки	«-»	«+»
Потребность воды на промывку, %	до 10	до 2

Разработка керамических мембран является приоритетным направлением развития многих компаний, которые являются лидерами производства мембранных модулей для МБР, данное производство высокотехнологично и требует большого научного потенциала. Например, немецкая компания ItN Nanovation на практике доказывает превосходство своих керамических модулей по приведённым затратам над полимерными мембранами.

Из российских компаний, которые успешно развиваются в последнее десятилетие и достигли больших успехов в производстве и внедрении в практику трубчатых керамических модулей, можно назвать НПК «ГЕНОС» (г. Москва). Модули, произведенные компанией, используются как для водоподготовки, так и для очистки сточных вод.

В ННГАСУ в течение четырех лет проводились лабораторные исследования, в которых мембранные модули НПК «ГЕНОС» использовались в качестве погружных модулей для биомембранного аппарата. Для экспериментов были использованы модули с трубчатыми керамическими мембранами с внешним рабочим слоем, имеющие площадь поверхности фильтрования 0,1 м<sup>2</sup> и средний размер пор активной поверхности 200 нм (рис. 1). Исследования проводились на сточных водах предприятий пищевой (птицефабрики, предприятия рыбо и мясопереработки) и фармацевтической промышленности, которые отличались высоким содержанием органических загрязнений, концентрация по ХПК составляла от 800 до 5000 мг/л.



Рис. 1. Внешний вид лабораторного МБР аппарата с погружным керамическим модулем НПК «ГЕНОС»

Лабораторный аппарат работал круглосуточно в автоматическом режиме под управлением контроллера, с его принципиальной схемой и результатами работы можно ознакомиться в ряде предыдущих публикаций [3, 4]. Длительность эксперимента по очистке сточных вод для каждого из исследуемых предприятий составляла около трех месяцев, для сточных вод фармацевтического предприятия исследования продолжались в течение полугода.

В ходе эксперимента изучались особенности работы МБР аппарата в среде с активным илом с целью определения оптимальных технологических режимов, а также повышения надежности и эффективности его работы.

Работа мембранного модуля оценивалась по величине удельного потока фильтрата  $J$  (л/ч м<sup>2</sup>) и величине нормализованного потока фильтрата  $J_n$  (л/ч м<sup>2</sup> бар), доза активного ила в системе составляла 2,5-9,5 г/л, регулирование работой установки осуществляли по давлению, давление разрежения при фильтровании изменяли от 0,1 до 0,3 бара, объемная нагрузка на МБР аппарат составляла 1-2 кг ХПК/м<sup>3</sup>сут.

Лабораторный аппарат работал в циклическом режиме, каждый цикл состоял из следующих фаз: подача исходной сточной воды, окисление сточной воды с регенерацией мембран за счет обратной продувки воздухом, сброс давления-разрежения, фильтрование, сброс избыточного давления, откачка избыточного активного ила (рис. 2).

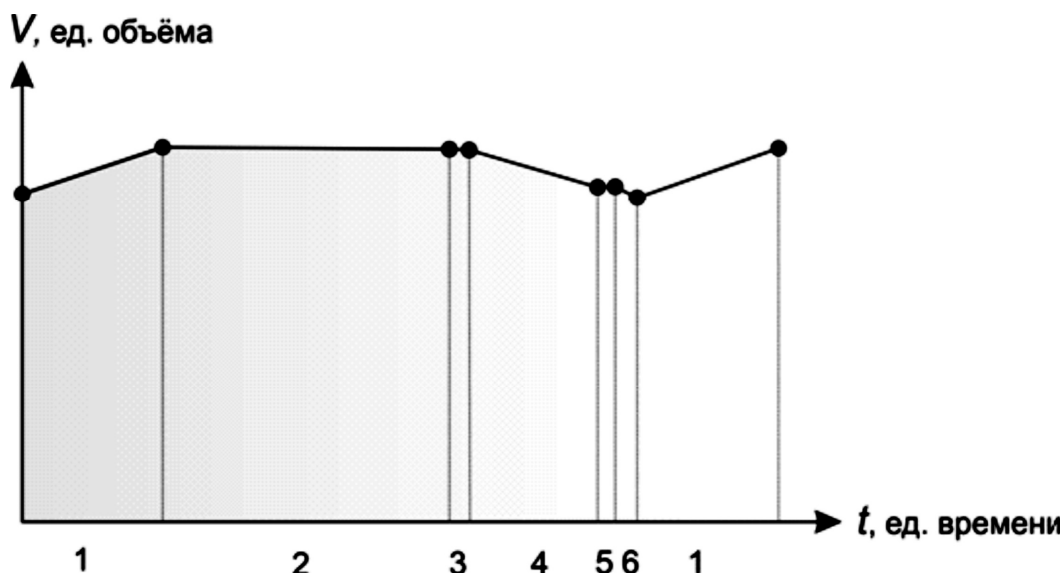


Рис. 2. Циклическая работа лабораторного МБР:

- 1 – подача исходной сточной воды, 2 – фаза окисления сточной воды с одновременной регенерацией мембранного модуля обратной продувкой воздухом,
- 3 – сброс давления воздуха, 4 – фаза фильтрования при давлении разрежения,
- 5 – сброс давления разрежения, 6 – откачка избыточного ила

При существующем режиме эксплуатации механическая очистка мембранного модуля снаружи за счет промывки водой под давлением требовалась через каждые 1,5-2 недели, так как  $J$  за это время снижался на 25 %, после промывки величина удельного потока восстанавливалась и имела исходное значение.

В ходе проведенных экспериментов было доказано, что эффективность обратной продувки воздухом керамических мембран выше, чем обратной промывки фильтратом (рис. 3, 4), в ходе проведения данного эксперимента давление при регенерации обратной продувкой и промывкой было одинаковым и составляло 1 бар. Исследования показали, что достаточно одной минуты, чтобы за счет регенерации обратной продувкой восстановить способность мембранных модулей к фильтрованию и получить первоначальную величину удельного потока. Увеличение продолжительности регенерации обратной продувкой не сказывалось на величине удельного потока (рис. 5).

Было установлено, что величина удельного потока зависит от трансмембранного давления (ТМД) и дозы активного ила, что представлено на рис. 6.

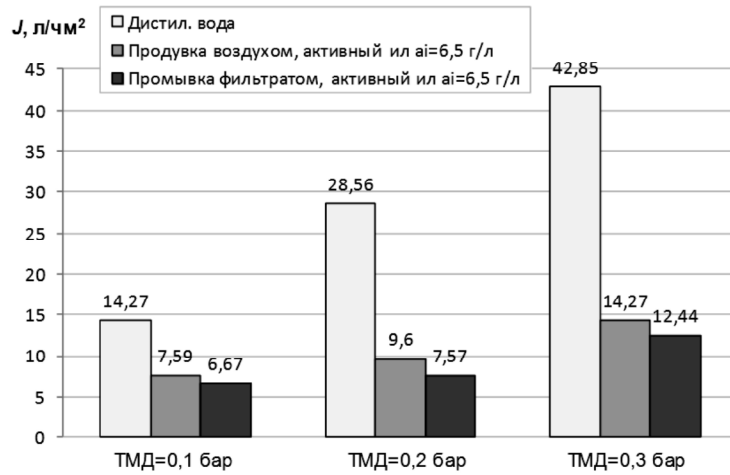


Рис. 3. Величина удельного потока фильтра через 20 циклов работы установки при работе в дистиллированной воде, в реакторе с активным илом после обратной продувки воздухом и обратной промывки фильтратом

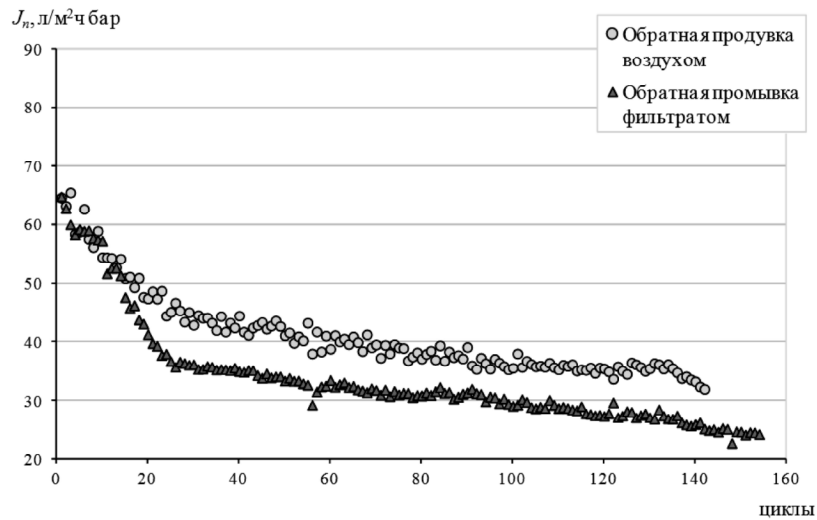


Рис. 4. Изменение нормализованного потока фильтра во времени при обратной продувке модуля воздухом и промывке фильтратом

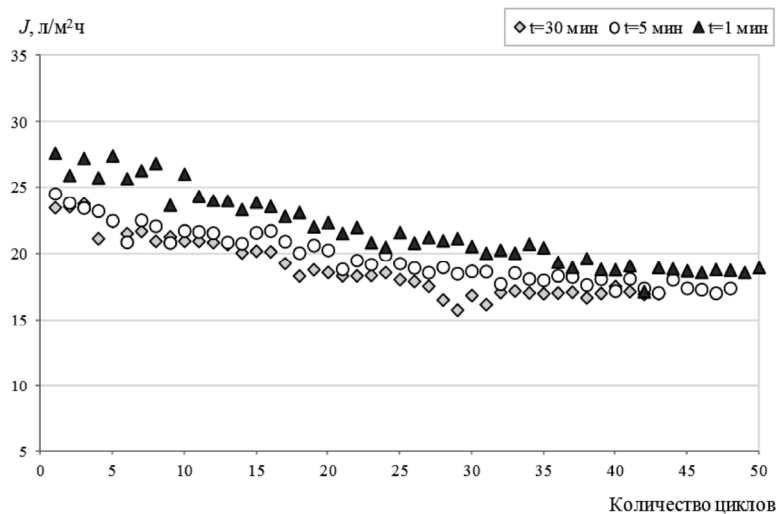


Рис. 5. Влияние продолжительности обратной продувки на величину удельного потока фильтра

Было определено, что величина удельного потока зависит от ТМД и дозы активного ила, что представлено на рис. 6.

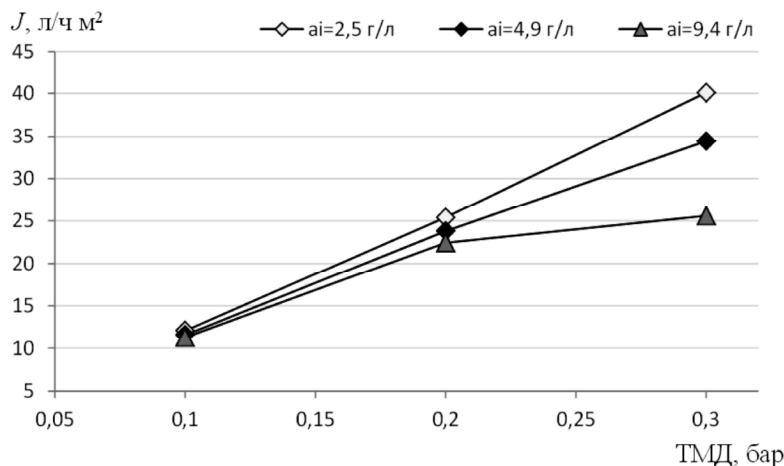


Рис. 6. Зависимость величины удельного потока от трансмембранного давления и дозы активного ила в МБР аппарате

**Выводы:** На примере трубчатого керамического мембранного модуля российской компании НПК «ГЕНОС» доказана перспективность использования погружных керамических модулей в МБР аппаратах для очистки промышленных сточных вод, а также их высокая надежность при длительной эксплуатации в среде с активным илом. Также была доказана высокая эффективность регенерации мембран обратной продувкой воздухом, по сравнению с обратной промывкой фильтратом.

### Список литературы

1. <http://www.genos.ru> (дата обращения: 15.06.2012).
2. Розенвинкель К.-Х., Борхман А., Губанов Л.Н., Катраева И.В., Колпаков М.В., Кузина Ю.С. Керамические мембраны в качестве погружных модулей в мембранных биореакторах // Водоснабжение и сан. техника, 2011, № 12. – С. 44-49.
3. Губанов Л.Н., Розенвинкель К.-Х., Катраева И.В., Борхман А., Кулемина С.В. Глубокая очистка сточных вод с применением биохимических и мембранных методов // Приволжский научный журнал, 2008, № 4. – С. 37-44.
4. Губанов Л.Н., Катраева И.В., Колпаков М.В., Кулемина С.В., Кузина Ю.С. Очистка сточных вод птицефабрик с применением биомембранных технологий // Приволжский научный журнал, 2010, № 4. – С. 194-201.

**Katraeva I.V.** – candidate of technical sciences

E-mail: [inna@nngasu.ru](mailto:inna@nngasu.ru)

**Kolpakov M.V.** – assistant

E-mail: [lab4-5@mail.ru](mailto:lab4-5@mail.ru)

**Kuzina Y.S.** – post-graduate student

E-mail: [jule420@yandex.ru](mailto:jule420@yandex.ru)

**Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering**

The organization address: 603950, Russia, Nizhny Novgorod, Piyinskaya st., 65

**Mynin V.N.** – candidate of technical sciences, technical director

E-mail: [info@genos.ru](mailto:info@genos.ru)

**JSC «GENOS»**

The organization address: 125047, Russia, Moscow, 1-ya Miuskaya st., 3

**Ainetdinov R.M.** – candidate of technical sciences

E-mail: [info@teco-nn.ru](mailto:info@teco-nn.ru)

**JSC «TECO»**

The organization address: 603000, Russia, Nizhny Novgorod, Belinskogo st., 38

## Submerged ceramic modules in biomembrane installation

### Resume

The article presents the results of a study of a tubular ceramic membrane installation produced by the Russian company JSC «Genos» (Moscow) as a submerged module for a laboratory membrane bioreactor; benefits and prospects of ceramic membranes application for the MBR technology as a submersible modules for industrial wastewater treatment are substantiated.

The experiments were performed on waste waters of food and pharmaceutical industries characterized by a high content of organic impurities and COD ranging from 800 to 5 000 mg/l.

The membrane module performance was assessed by the flux  $J$  (l/h m<sup>2</sup>) and permeability  $J_n$  (l/h m<sup>2</sup> bar) values, MLSS in the installation constituted 2,5 to 9,5 g/l; the installation operation was controlled by the pressure, which was changed from 0,1 to 0,3 bar, organic loading rate was kept within the limits of 1 to 2 kg COD/m<sup>3</sup> day.

The laboratory apparatus was working in a cycle mode; each cycle consisted of the following phases: feeding of waste water, waste water oxidation with membrane regeneration by air purging, pressure release, filtration, pressure release, excess sludge removal.

The experiments proved high efficiency of air purging as compared with back-washing for the membrane regeneration.

**Keywords:** membrane bioreactor (MBR), wastewater treatment, submerged module, tubular ceramic membrane, biomembrane technology.

### References

1. <http://www.genos.ru> (reference date: 15.06.2012).
2. Rosenwinkel K.-H., Borchmann A., Gubanov L.N., Katraeva I.V., Kolpakov M.V., Kuzina Yu.S. The use of ceramic membrane submersible modules in membrane bioreactors // *Vodosnabzheniye i sanitarnaya tekhnika*, 2011, № 12. – P. 44-49.
3. Gubanov L.N., Rosenwinkel K.-H., Katraeva I.V., Borchmann A., Kulemina S.V. Integrated waste water treatment by biochemical and membrane technologies // *Privolzhskiy nauchny zhurnal*, 2008, № 4. – P. 37-44.
4. Gubanov L.N., Katraeva I.V., Kolpakov M.V., Kulemina S.V., Kuzina Yu.S. Treatment of waste water of poultry plants with the use of biomembrane technologies // *Privolzhskiy nauchny zhurnal*, 2010, № 4. – P. 194-201.