

УДК 629.54

DOI: 10.34046/aumsuomt93/11

## РЕКОНСТРУКЦИЯ СУДОВОГО ВОДОЗАЩИТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*И.Г. Берёза, доктор технических наук, профессор*

*Е.Н. Сюсюка, кандидат технических наук,*

*Т.Н. Брюшкова, аспирант*

Разработана технология биологической очистки судовых сточных вод в режиме предшествующей денитрификации. Показана возможность реализации данной технологии в существующем судовом оборудовании биологической очистки – аэротенках, путем незначительных конструктивных изменений. Предлагаемая реконструкция действующих установок биологической очистки судовых сточных вод приведет не только к снижению антропогенного эвтрофирования водоемов, но также позволит сократить количество подаваемого на установку воздуха за счет использования кислорода нитратов в зоне денитрификации и, как следствие, к улучшению энергетической эффективности эксплуатации судна.

**Ключевые слова:** предотвращение загрязнения морской среды, судовые сточные воды, нитри-денитрификация

A technology has been developed for the biological treatment of ship wastewater in the previous denitrification mode. The possibility of implementing this technology in the existing marine biological treatment equipment - aeration tanks, by minor structural changes is shown. The proposed reconstruction of existing biological wastewater treatment plants for ship wastewater will not only reduce the anthropogenic eutrophication of water bodies, but will also reduce the amount of air supplied to the installation by using oxygen nitrates in the denitrification zone and, as a result, improve the energy efficiency of the operation of the vessel.

**Key words:** prevention of marine pollution, ship wastewater, nitri-denitrification

В качестве оборудования для очистки судовых сточных вод в настоящее время применяются установки биологической очистки со взвешенной активной биомассой – аэротенки.

Аэробный биологический метод очистки основан на способности аэробных бактерий деструктурировать органические соединения, используя их в качестве источника питания. Для нормальной жизнедеятельности микроорганизмов-гетеротрофов, а также для эффективного перемешивания иловой смеси в установку необходимо постоянно подавать сжатый воздух, что связано со значительными энергетическими затратами. Кроме того, негативным последствием классического метода биологической очистки является образование в очищенной воде значительного количества биогенных элементов – нитратных соединений.

Применение технологии нитри-денитрификации в судовых установках биологической очистки сточных вод приведет как к повышению степени очистки стоков, так, и к экономии энергии и, вследствие этого, к улучшению энергетической эффективности эксплуатации судна [1], [2].

Для реконструкции действующего оборудования биологической очистки на судах наиболее применима технологическая схема нитри-денитрификации с предшествующей денитрификацией. Следует пояснить, что в технологии предшествующей денитрификации в качестве источника питания используются органические вещества, содержащиеся в исходной сточной воде, а в

качестве акцептора электронов используются нитратные формы азота, что приводит к значительной экономии растворенного кислорода

Одним из основных условий эффективного течения биохимических процессов в зоне денитрификации является обеспечение оптимальных соотношений углеродной органики и неорганического (нитратного) азота в сточной воде, что, в первую очередь, зависит от величины рециркуляции нитратсодержащей иловой смеси из зоны нитрификации в зону денитрификации. Увеличение или уменьшение кратности рециркуляции иловой смеси приводит либо к нехватке нитратов – акцептора электронов, либо к повышенному содержанию нитратов в очищенной воде [3], [4].

В процессе экспериментальных исследований величина кратности рециркуляции потока иловой жидкости устанавливалась исходя из материального баланса соединений азота в системе нитри-денитрификации.

$$C_{ex}^{нитр} - C_D^{нитр} = \frac{C_{en}^{ам} - C_{ex}^{ам} - f_N \cdot (L_{en} - L_{ex})}{1 + R_N}, \quad (1)$$

где  $C_{en}^{ам}$ ,  $C_{ex}^{ам}$  – азот аммонийный в исходной и очищенной сточной воде соответственно, мг/л;  $C_{ex}^{нитр}$ ,  $C_D^{нитр}$  – азот нитратный в очищенной сточной воде и в зоне денитрификации соответственно, мг/л;  $L_{en}$ ,  $L_{ex}$  – ХПК в исходной и очищенной сточной воде соответственно, мг/л;  $R_N$  – кратность рециркуляции нитратсодержащей иловой жидкости;  $f_N$  – коэффициент, учитывающий

количество азота, пошедшего на образование клеточной массы активного ила.

Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице 1 (усредненные показатели). Расчет параметра  $R_N$  проводился при

условии некоторого допущения – полной денитрификации сточных вод. Содержание азота аммонийного и азота нитратного в очищенной сточной воде устанавливалось в соответствии с требуемыми нормативами;  $f_N$  была принята равной 0,03 в соответствии с рекомендациями [5], [6].

Таблица 1 – Определение кратности рециркуляции иловой смеси

№	R	N (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), мг/л		N (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), мг/л			ХПК, мг/л	
		исходн..	очищ.	исходн..	очищ	зона денитрификации.	исходн..	очищ.
1	2,5	21,0	0,4	0,2	13,0	2,5	520	65,0
2	2,3	19,1	0,38	0,1	12,9	2,1	500	59,3
3	2,2	17,7	0,39	0,3	10,7	1,9	490	56,3
4	2,0	19,0	0,3	0,2	9,9	0,6	500	56,0
5	1,6	20,0	0,38	0,1	9,2	0,2	520	46,3
6	1,4	19,1	0,31	0,3	9,4	0,25	480	47,0
7	1,3	19,4	0,32	0,1	9,0	0,2	500	47,8
8	1,2	18,0	0,43	0,2	9,0	0,3	490	49,2
9	1,1	20,8	0,35	0,2	9,2	0,35	520	59,0

Как следует из полученного экспериментального материала (таблица 1), оптимальные значения кратности рециркуляции иловой смеси в биореакторе находятся в интервале 1,3 – 1,6. Уменьшение кратности рециркуляции иловой жидкости приводит к ухудшению качества очищенной воды (по ХПК), что, по-видимому, связано с повышенным соотношением органических веществ к нитратному азоту (ХПК/N) в иловой смеси зоны денитрификации. Возрастание кратности рециркуляции иловой смеси влечет за собой проскок азота нитратов. Последнее можно объяснить тем, что с возросшим потоком воды из зоны нитрификации в зону денитрификации поступает увеличенное количество растворенного кислорода и, как следствие – гетеротрофам-денитрификаторам для дыхания энергетически выгоднее использовать растворенный кислород иловой смеси [7].

При кратности рециркуляции иловой жидкости из зоны нитрификации в зону денитрификации в интервале 1,3 – 1,6 на один грамм восстановленного азота приходится 21 грамм органических веществ по БПК<sub>5</sub>, – соотношение, рекомендуемое в ряде литературных источниках [4], [5].

При выборе оптимального значения кратности рециркуляции нитратсодержащей иловой смеси в зону денитрификации кратность рециркуляции активного ила из вторичного отстойника в аэротенк была принята равной  $R_{а.и.} = 0,3$ ; тогда, сходя из уравнения (2) общая кратность рециркуляции R будет составлять величину – 1,6.

$$R = R_N + R_{а.и.} \quad (2)$$

где  $R_N$  – кратность рециркуляции нитратсодержащей иловой жидкости;

$R_{а.и.}$  – кратность рециркуляции активного ила.

Результаты экспериментальных исследований были использованы для предполагаемой реконструкции судовой установки биологической очистки «Юнтекс-Био» (рис. 1) введением дополнительной секцией денитрификации (рис. 2).

С целью реконструкции судового аэротенка необходимо выполнить следующие работы:

- для создания в аэротенке аноксидной зоны – зоны денитрификации произвести частичную заглушку воздухоподводящей перфорированной трубы (на третью часть длины);
- для поддержания активного ила во взвешенном состоянии в зоне денитрификации должна быть установлена погружная мешалка с небольшим количеством оборотов;
- необходимо выделить в биореакторе зону денитрификации путем устройства вертикальной перегородки

Реконструкция аэротенка должна производиться с учетом возможности регулирования рециркуляции иловой смеси из зоны нитрификации в зону денитрификации.

Переоборудованная установка биологической очистки будет работать следующим образом (рис. 2). Судовые сточные воды поступают в приемный отсек 7, через перфорированную трубу подается воздух и начинается первичное биологическое разложение загрязнений. Новая порция поступающей воды вытесняет воду из предыдущей секции.

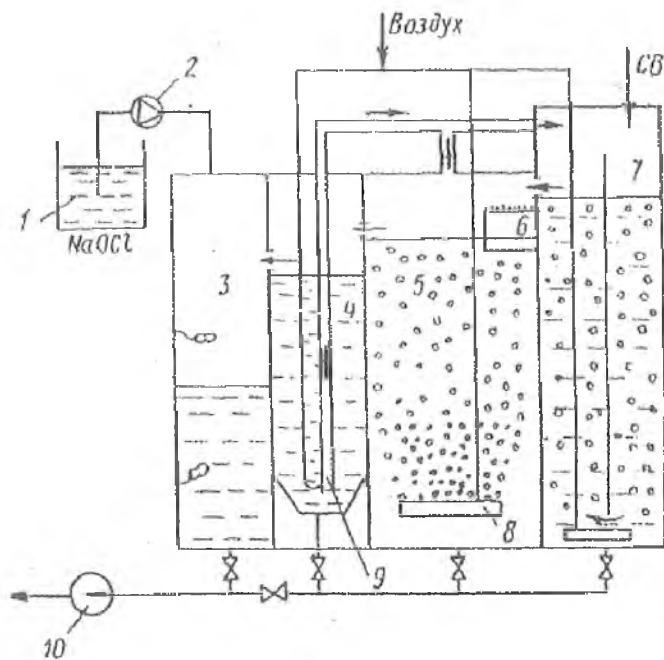


Рисунок 1 – Установка биологической очистки «Юнтекс-Био»

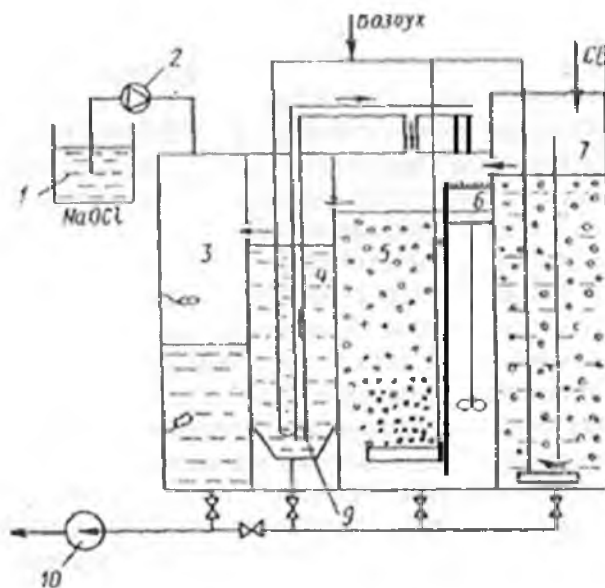


Рисунок 2 – Установка биологической очистки «Юнтекс-Био» с дополнительной секцией денитрификации

Далее, вода поступает в зону денитрификации 6, в которой содержание растворенного кислорода минимально (0-0,5 мг/л). В денитрификаторе микроорганизмы - гетеротрофы испытывают кислородное голодание и забирают кислород из нитратного азота, восстанавливая его до свободного азота. Для перемешивания сточных вод с активным илом в данной зоне предусмотрена установка лопастной мешалки.

Иловая смесь из зоны денитрификации поступает в зону аэрации (содержание растворенного кислорода >2 мг/л), где вначале происходит доокисление оставшихся органических веществ, а затем процесс нитрификации – аммонийный азот

под воздействием автотрофов превращается в нитриты ( $\text{NO}_2^-$ ) и нитраты ( $\text{NO}_3^-$ ).

Разделение иловой смеси на очищенную воду и активный ил происходит во вторичном отстойнике 4. Осевший на дно отстойника активный ил, направляется с помощью специального устройства – эрлифта 9, в зону денитрификации, а очищенная вода вытесняется в отсек обеззараживания 3 новыми порциями сточных вод. В отсеке обеззараживания в очищенную воду насосом – дозатором 2, из специальной емкости 1, подается 10%-ный раствор гипохлорита натрия. Необходимая для надежного обеззараживания 30-минутная выдержка обеспечивается определенным

объемом отсека и расчетным расходом сточных вод. При достижении обработанной водой определенного уровня срабатывает поплавковый датчик, который включает насос 10. На этом процесс обработки сточных вод в установке заканчивается. Очищенная и обеззараженная вода сливается за борт.

Предлагаемый к использованию метод биологической очистки судовых сточных вод в режиме предшествующей денитрификации позволит:

- уменьшить время пребывания сточных вод в биореакторе;
- экономить часть электроэнергии, затрачиваемой на аэрацию иловой смеси;
- практически полностью предотвратить сброс биогенных веществ с очищенными судовыми сточными водами в морскую среду.

#### Литература

1. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973, измененная и дополненная, протоколом к ней 1978 г., или, сокращенно, МАРПОЛ 73/78: в 2 т. - М.: Изд-во ЦНИИМФ, 2012. - 762 с.
2. Руководство 2016 года по разработке Плана управления энергоэффективностью судна (ПУЭС) – МЕРС.282(70): ИМО – 2018
3. Алексеев, М.И. Биологическая очистка сточных вод рыбообработывающих производств в режиме нитри-денитрификации / М.И. Алексеев, И.Г. Береза // Водоснабжение и санитарная техника. – 2004. - № 12. – С. 18 – 20.

4. Мишуков Б.Г. Перспективные схемы биологической очистки сточных вод от азота и фосфора // Вода и экология. № 1, 2009. – С. 36 – 39.
5. Очистка сточных вод / М.Хенце, П. Армоэс, Й. Ля-Кур-Янсен, Э Арван. – М.: Мир, 2008. – 480 с.
6. Яковлев С.В., Карюхина Т.А. Биохимические процессы в очистке сточных вод / С.В. Яковлев, Т.А. Карюхина. – М.: Стройиздат, 2000, – 200 с.
7. Береза И.Г. Разработка технологии биологической нитри-денитрификации для очистки судовых сточных вод // И.Г. Берёза, Т.С. Брюшковская // Транспортное дело России. – 2018. – № 6 (139) – С. 333-334

#### References

- 1 International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, MARPOL 73/78. 2 t. (2012). СНИМФ, 762.
- 2 Ship Energy Efficiency Management Plan (2018), МЕРС.282(70), ИМО.
- 3 Alekseev, M.I., Beryoza I.G. (2004). Biologicheskaya ochistka stochnykh vod ryboobrabatyvayushchikh proizvodstv v rezhime nitri-denitifikatsii. Vodospabzhenie I sanitamaya tekhnika, 12, 18 – 20.
- 4 Mishukov, B.G. (2009). Perspektivnye skhemy biologicheskoi ochistki stochnykh vod ot azota I phosphora. Voda I ekologiya, 1, 36 – 39.
- 5 Khentse, M. Armoes, P., Lya-Kur-Yansen, Y., Arvan, E. (2008). Ochistka stochnykh vod. Mir, 480.
- 6 Yakovlev, S. V., Karyukhina, T.A. (2000). Biokhimicheskie protsessy v ochistke stochnykh vod. Stroyizdat, 200.
- 7 Beryoza I.G., Bryushkovskaya T.S. (2018). Razrabotka tehnologii biologicheskoi nitri-denitifikatsii dlya ochistki sudovykh stochnykh vod. Transportnoe delo Rossii, 6, 333-334.

УДК 539.432

DOI: 10.34046/aumsuomt93/12

## ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРА НАГРУЖЕНИЯ НА КИНЕТИКУ ТРЕЩИН. ЧАСТЬ II. КЛАССИФИКАЦИЯ НЕРЕГУЛЯРНЫХ НАГРУЗОК

*А.В. Файвисович, доктор технических наук, профессор*

Актуальность вопроса прочности и долговечности конструкций с каждым годом только возрастает, что обусловлено, как повышением их нагруженности, так и использованием новых конструктивных материалов. По мере развития механики разрушения, проблема эксплуатации конструктивных элементов с трещинами рассматривается с новых позиций, позволяющих в ряде случаев сознательно продолжать эксплуатацию объекта. Это становится возможным вследствие глубокого понимания природы и механизмов усталостного разрушения. В данной работе рассматривается кинетика макротрещины при нерегулярном нагружении в зависимости от различных факторов на основе классификации, предложенной Skogrupa. Приведены результаты многочисленных исследований для образцов различных конструктивных материалов при их испытании, как разовыми, так и блочными перегрузками разных знаков. Установлены основные закономерности кинетики макротрещины при нерегулярном характере нагружения, отмечено различие в поведении трещины после перегрузки растяжением и сжатием. Приведены экспериментальные данные о влиянии величины коэффициентов асимметрии циклов нагружения и размаха