

DOI: 10.15593/24111678/2016.04.08

УДК 676.088:628.35

Ю.М. Залевская, Е.С. Белик

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Рассматривается актуальная на сегодняшний день проблема загрязнения водных объектов сточными водами целлюлозно-бумажной промышленности. Описаны положительные и отрицательные стороны биологической очистки сточных вод. Предложен алгоритм выявления оптимальной технологии интенсификации биологической очистки. Проведен комплексный анализ технологий интенсификации биологических способов очистки сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности. Разработаны основные критерии для оценки технологии на основе экспертной оценки. Применены следующие методы экспертной оценки: метод парного сравнения и Парето-анализ. Выбор оптимальной технологии производился с учетом экономических, экологических, организационно-правовых, технологических и экономических аспектов. Экономические критерии определяют экономическую эффективность и целесообразность применения технологий интенсификации биологической очистки, включают капитальные и эксплуатационные затраты. Экологические критерии отвечают за экологическую безопасность интенсификации биологической очистки. Технологические критерии, направленные на достижение конечной цели, подразделяют на критерии, связанные с осуществлением процесса, и критерии, отражающие потребность в ресурсах. Организационно-правовые критерии служат для оценки возможности возникновения нежелательных ситуаций в результате интенсификации биологической очистки, что определяется наличием разрешительной документации на реализацию технологий. Определены итоговые коэффициенты рассмотренных технологий. Выявлены технологии, соответствующие комплексу разработанных критериев в наибольшей степени. Предложенная методика позволяет обосновать выбор лучшей технологии интенсификации биологической очистки сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий при ограниченном объеме исходной информации, сократить объем технико-экономических расчетов при определении бизнес-показателей вариантов реализации технологий, осуществить ранжирование технологий по совокупности экономических и неэкономических показателей, влияющих на различные риски при реализации технологий.

Ключевые слова: целлюлозно-бумажная промышленность, сточные воды, интенсификация, биологическая очистка, комплексный анализ, технологии, критерии, ранжирование.

Iu.M. Zalevskaia, E.S. Belik

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

CHOICE OF TECHNOLOGY FOR IMPROVED BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT PULP AND PAPER MILLS

In the raised-to-date problem of water pollution, wastewater, pulp and paper industry. The paper discusses the positive and negative components of biological wastewater treatment. An algorithm for identifying the optimal technology intensification of bioremediation. Comprehensive analysis of the ways of intensification of technologies of biological waste water treatment pulp and paper industry. Developed

basic criteria for technology assessment based on peer review. In the following methods for peer review were used: paired comparison method and Pareto analysis. Selecting the optimum technology was made taking into account the economic, environmental, organizational, legal, technological and economic aspects. Economic criteria, determine the cost-effectiveness and feasibility of biological treatment technologies of intensification include capital and operating costs. Environmental criteria are responsible for environmental safety of the intensification of bioremediation. Technological criteria to achieve the ultimate objective, divided into criteria associated with the implementation of the process and criteria that reflect the need for resources. Organizational and legal criteria are used to assess the possibility of undesirable situations as a result of the intensification of biological treatment, as determined by the presence of permissive documents for the implementation of technology. Determination of the final factors discussed technologies. Identified technology to meet complex developed criteria to the greatest extent. The proposed method allows to justify the choice of the best technologies of intensification of biological waste water treatment pulp and paper industry with a limited amount of background information, reduce the amount of technical and economic calculations in determining business metrics embodiments technologies to implement ranking technologies to aggregate economic and non-economic factors affecting the different risks associated with the implementation of technologies.

Keywords: pulp and paper industry, waste water, intensification, biological treatment, comprehensive analysis, technology, criteria, ranking.

На территории Российской Федерации действуют более 270 предприятий целлюлозно-бумажной промышленности. Производство древесной целлюлозы в РФ на 2015 г. составило 8 млн т. Данная отрасль характеризуется высоким потенциалом внутреннего рынка потребления [1].

Целлюлозно-бумажная промышленность отличается своей спецификой и, помимо положительного эффекта, оказывает серьезное негативное воздействие на окружающую среду. Для получения 1 т продукции на целлюлозно-бумажных предприятиях (ЦБП) требуется 350 м^3 воды, которая не может быть очищена до установленных нормативных требований. Удельные затраты воды на технологические нужды предприятия колеблются в широком диапазоне, так как зависят от качества и ассортимента производимой продукции. В целом ЦБП ежедневно расходует около $9,2 \text{ млн м}^3$ воды. Кроме того, целлюлозно-бумажная промышленность характеризуется большими объемами образования сточных вод. Например, на одну тонну картона и бумаги, вырабатываемых из неотбеленной целлюлозы, образуется $10\text{--}50 \text{ м}^3$ сточных вод, но объем образующихся сточных вод увеличится в 15 раз, если использовать вместо неотбеленной целлюлозы отбеленную [2].

Степень загрязнения сточных вод ЦБП зависит от вида вырабатываемой продукции, мощности предприятия, совершенства технологического процесса и схемы производства. К сожалению, целлюлозно-бумажное производство отличается высоким износом оборудования, до сих пор применяются устаревшие технологий, запущенные в 1970-е гг. За последние 15 лет модернизацию прошли лишь несколько предприятий. Несомненно, все это напрямую ведет к загрязнению стоков взве-

шенными и растворенными веществами как органического, так и неорганического происхождения. Например, в процессе получения волокнистого сырья в раствор переходит до 1708 кг органических веществ на 1 т волокна, которые при отсутствии системы очистки сточных вод попадают в водоемы.

Спуск неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности в водоемы, особенно в маловодные реки, непроточные озера и водохранилища, ведет к сильному их загрязнению.

Биологическая очистка сточных вод в аэротенках получила большое распространение и сохраняет перспективу благодаря своей эффективности и универсальности. Работа аэротенков оказывает решающее влияние на технологические показатели очищенной сточной воды. В связи с этим интенсификация работы аэротенков является актуальной задачей.

Биологическая очистка производственных сточных вод с помощью аэротенков сопровождается некоторыми трудностями, вызванными значительными колебаниями исходных концентраций загрязнений и наличием трудноокисляемых и токсичных соединений. Подобные условия эксплуатации характеризуются неустойчивой работой аэротенка, периодическим выносом значительных масс активного ила из системы, его низкой рабочей концентрацией в аэротенке и, как следствие, систематическим снижением требуемого качества очистки сточных вод [3].

Цель работы – выбрать наиболее эффективный метод интенсификации биологической очистки сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- 1) проведен комплексный анализ технологий интенсификации биологических способов очистки сточных вод ЦБП;
- 2) определены наиболее значимые критерии для оценки технологий биологических способов очистки сточных вод ЦБП;
- 3) произведено сравнение технологии с учетом значимости критериев.

Интенсификация процесса биологической очистки сточных вод может осуществляться путем использования технического кислорода, озона, воздействия электрического поля на микроорганизмы, применения биопрепаратов, а также использования иммобилизированной на твердом носителе биомассы микроорганизмов.

Одним из способов повышения эффективности биологической очистки в аэротенках является использование для аэрации вместо воздуха технического кислорода. Эффективность очистки сточных вод при этом увеличивается в 4–5 раз.

Согласно проведенным исследованиям при сравнении степени очистки воды при подаче в аэротенки воздуха и технического кислорода было установлено, что в зависимости от вида сточных вод период аэрации снижается с 6–12 до 1–3 ч. Это дает возможность увеличить производительность или уменьшить объем аэротенка в несколько раз [4].

Применение технического кислорода позволит ускорить биохимический процесс окисления органических веществ. Например, в зависимости от вида сточных вод БПК_{полн} он возрастает в 1,5–3,8 раза.

При аэрации техническим кислородом в активном иле не развиваются нитчатые формы бактерий, отрицательно влияющие на степень очистки воды, а в отстойниках ил быстрее осаждается, что позволяет использовать отстойники обычной конструкции, несмотря на увеличение концентрации активного ила.

В настоящее время ряд исследований направлен на изучение воздействия на микроорганизмы физических и химических факторов с целью интенсификации биологической очистки сточных вод (например, воздействие на микроорганизмы ультразвука, электромагнитных полей) [5].

Выявлено, что умеренное воздействие электрического поля стимулирует рост и жизнедеятельность микроорганизмов, осуществляющих биологическую очистку сточных вод, увеличивая окислительную способность органических веществ, находящихся в воде [6].

Одним из способов повысить эффективность биологической очистки сточных вод является подача озono-воздушной смеси в аэротенк. Например, при концентрации озона 1 мг/л увеличивается степень очистки по БПК с 70 до 95 %. При подаче озono-воздушной смеси в импульсном режиме (10–15 мин/ч) остаточная ХПК в 1,3 раза меньше, чем при обычной (воздушной), при одинаковом времени аэрации.

Озонирование влияет на основные характеристики активного ила (уменьшаются иловый индекс, время уплотнения активного ила, удельное сопротивление осадка). При этом снижается прирост активного ила, что приводит к уменьшению количества избыточного ила и затрат на его обработку.

Использование озоно-воздушной смеси в процессе очистки сточных вод не требует сложного переоборудования действующих аэротенков. Широкое применение данного метода сдерживается отсутствием технико-экономического обоснования применения озона, отсутствием практических рекомендаций по его использованию, а также оптимальных норм технологических режимов.

Для интенсификации процесса биологической очистки широко используют биосорбционный метод. Биосорбция – это способ, который совмещает процессы адсорбции и биохимического окисления. При сравнении степени деструкции органических соединений свободно плавающим активным илом и иммобилизованным определено, что последний увеличивает окисляющую способность микроорганизмов, повышая эффективность очистки и скорость деструкции органических соединений.

К основным преимуществам использования иммобилизованных клеток микроорганизмов на поверхности сорбента можно отнести [7, 8]:

1) возможность более длительной эксплуатации свойств клеток в иммобилизованном состоянии по сравнению с однократным использованием свободных культур;

2) увеличение продуктивности в результате увеличения концентрации биомассы микроорганизмов в единице рабочего объема сорбента;

3) сохранение клеток вследствие адсорбции и частичной дезактивации микроорганизмов;

4) устойчивость клеток к действию различных неблагоприятных инактивирующих внешних факторов (температура, кислотность, концентрация токсических веществ и т.д.) в результате иммобилизации иногда становится возможной еще дополнительная защита культуры от воздействия патогенной для нее микрофлоры при случайных нарушениях стерильности биотехнологической системы.

Для интенсификации процесса биологической очистки используются различные сорбционные материалы [9–11].

Большой интерес представляет использование в качестве сорбентов отходов производства и потребления, что позволит использовать ресурсный потенциал отходов, а также минимизировать их негативное воздействие на объекты окружающей среды.

В качестве носителей для микроорганизмов могут быть использованы отходы нефтеперерабатывающей, нефтедобывающей, целлюлозно-бумажной промышленности, лесоперерабатывающих и лесотехнических производств, отходы полимерных материалов и т.д.

Сорбент должен отвечать определенным требованиям, характеризующим эффективность применения и целесообразность выбора: размер пор (микропоры, мезопоры, макропоры), сорбционная емкость, способность сорбировать молекулы и бактериальные клетки разного размера и массы, насыпная и истинная плотность, прочность сорбента на истирание и дробление, стоимость и токсичность материала [12].

Немаловажным для материала, полученного из отходов и используемого в качестве носителя для микроорганизмов, является значение показателя относительной экологической опасности отхода, которая устанавливается по степени его возможного негативного воздействия на окружающую среду. Отсутствие токсичных веществ является одним из критериев для выбора сорбента, полученного из отхода.

Перечисленные выше технологии интенсификации биологической очистки имеют преимущества и недостатки. Выбор метода и технологии зависит от различных факторов. С целью комплексной оценки технологий интенсификации биологической очистки сточных вод ЦБК предложена методика, основанная на методах экспертной оценки, позволяющая учесть различные факторы, оказывающие влияние на принятие решения о выборе той или иной технологии, сравнить между собой принципиально разные методы интенсификации биологической очистки.

На рис. 1 представлен алгоритм реализации методики для оценки технологий интенсификации биологической очистки сточных вод ЦБК. В скобках указано количество критериев, которое может меняться в зависимости от конкретной ситуации.

Этап 1. Разработка критериев для оценки технологий интенсификации биологической очистки.

Разработка критериев для оценки технологий интенсификации биологической очистки должна осуществляться на основе опыта экспертной оценки технологий при разработке концепций, стратегий, программ в области охраны окружающей среды и природоохранных мероприятий различного уровня с учетом интересов заказчика.

Выбор оптимальной технологии производится с учетом экономических, экологических, организационно-правовых и технологических аспектов, поэтому все рассматриваемые критерии следует разделить на соответствующие группы.

Экономические критерии, определяющие экономическую эффективность и целесообразность применения технологий интенсификации биологической очистки, включают капитальные и эксплуатационные за-

траты. Соответственно, чем меньше финансовых вложений требуется для осуществления технологического процесса, тем выгоднее технология.

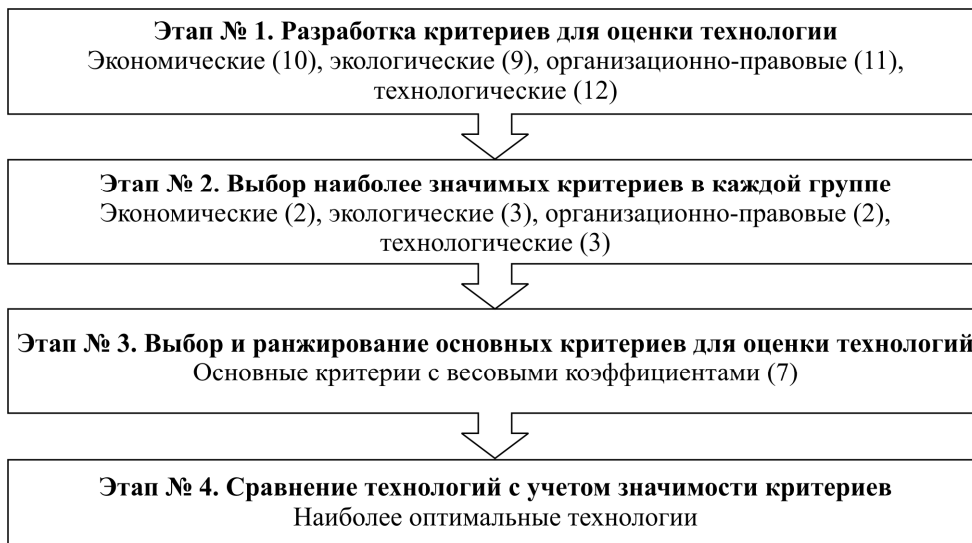


Рис. 1. Алгоритм реализации методики выбора лучшей технологии

В группу экологических критериев, отвечающих за экологическую безопасность интенсификации биологической очистки, входят критерии, позволяющие оценить воздействие технологии при штатной работе, а также критерии оценки вероятности возникновения аварийных ситуаций и воздействия на окружающую среду при аварийной ситуации. Предпочтение отдается технологиям, которые характеризуются наименьшим воздействием и низкой вероятностью возникновения аварийных ситуаций [13, 14].

Технологические критерии, направленные на достижение конечной цели – интенсификацию биологической очистки, – можно подразделить на критерии, связанные с осуществлением процесса, и критерии, отражающие потребность в ресурсах.

К критериям, связанным с осуществлением технологического процесса, относятся следующие: продолжительность подготовительного периода для реализации технологии; необходимость предварительной подготовки стоков; надежность технологического оборудования, применяемого для реализации технологии; сложность аппаратурного оформления технологического процесса; простота эксплуатации и обслуживания технологического оборудования.

Наиболее привлекательной технологией будет та, которая не требует длительного подготовительного периода, основана на применении оборудования с высокой степенью надежности, безопасного для персонала, который с ним работает, и окружающей среды, с простотой монтажа и эксплуатации установок.

Критериями, отражающими потребность в ресурсах, являются потребность в земельных, энергетических, водных, топливных, кадровых ресурсах, потребность в реагентах для реализации технологии, их доступность и необходимость создания специальных условий хранения.

Преимуществом обладают технологии с наименьшим потреблением ресурсов, не требующие особых условий хранения, не связанные со сложностями и высокими затратами на доставку реагентов.

Организационно-правовые критерии служат для оценки возможности возникновения нежелательных ситуаций в результате интенсификации биологической очистки, что определяется наличием разрешительной документации на реализацию технологий (сертификаты на применяемое оборудование, используемые реагенты и продукты технологии, утвержденные регламенты, технические условия, типовые проекты, патенты), а также опытом применения технологий (мировой, российский, отраслевой, на уровне предприятия).

Приоритетными являются технологии, имеющие вышеперечисленные сертификаты и разрешения, а также отличающиеся положительным опытом применения на различных уровнях.

После составления полного перечня критериев, который может изменяться или дополняться в зависимости от конкретных особенностей, переходят ко второму этапу выбора технологий.

Этап 2. Определение наиболее значимых критериев для оценки технологий интенсификации биологической очистки.

С целью определения наиболее значимых критериев для оценки технологий осуществляется ранжирование критериев по степени важности в каждой из четырех групп методом парного сравнения с участием экспертов [15].

По результатам ранжирования каждому критерию присваивается весовой коэффициент, отражающий степень важности критерия, и выполняется анализ Парето, в основе которого лежит закон Парето 80/20, который заключается в том, что большая часть последствий вызвана малым количеством причин.

Этап 3. Выбор и ранжирование основных критериев для оценки технологий.

В результате Парето-анализа в каждой из четырех групп критериев выбираются наиболее значимые (попавшие в область 80 %), которые подвергаются повторному ранжированию, заключающемуся в сравнении между собой критериев из разных групп методом парного сравнения с участием экспертов, с присвоением каждому критерию нового весового коэффициента, отражающего степень важности критерия.

На основании результатов повторного ранжирования выполняется анализ Парето, позволяющий выделить наиболее значимые из разработанных критериев, на соответствие которым будут проверяться рассматриваемые технологии интенсификации биологической очистки сточных вод ЦБК. Выделенным критериям были присвоены весовые коэффициенты, отражающие значимость каждого критерия.

Результаты Парето-анализа основных критериев для оценки технологий интенсификации биологической очистки сточных вод ЦБК представлены на рис. 2.

В результате парного сравнения и Парето-анализа, проводимых на третьем этапе, выявлены семь основных критериев для оценки технологий.

Этап 4. Сравнение технологий интенсификации биологической очистки с учетом значимости критериев.

Сравнение технологий интенсификации между собой с учетом значимости критериев осуществляется методом парного сравнения с участием группы экспертов.

Результаты парного сравнения технологий с учетом значимости критериев приведены в табл. 1, 2.

Результаты Парето-анализа сравнения технологий с учетом значимости критериев представлены на рис. 2, 3.

В результате парного сравнения каждой технологии был присвоен весовой коэффициент по каждому критерию, полученный в результате суммирования полученных баллов для каждой технологии по всем критериям. Итоговые весовые коэффициенты, определенные для каждой технологии, в результате проведенной экспертной оценки позволяют выявить технологии, соответствующие комплексу разработанных критериев в наибольшей степени.

Таблица 1

Результаты парного сравнения наиболее значимых критериев
для оценки технологий интенсификации биологической
очистки сточных вод ЦБК

Критерии	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		1	1	0	1	1	1	1	0	1
2	1		1	0	1	1	1	1	0	1
3	1	1		0	1	1	1	1	0	1
4	2	2	2		2	2	2	2	1	2
5	1	1	1	0		1	1	1	1	1
6	1	1	0	1	1		1	1	1	1
7	1	1	1	0	0	1		1	1	0
8	1	1	1	0	0	1	2		1	0
9	2	0	0	1	0	2	2	2		1
10	1	1	1	0	0	1	2	2	1	
Балл (86)	11	9	8	2	6	11	13	12	6	8
Ранг	3	4	5	7	6	3	1	2	6	5
%	13	10,4	9,3	2	7	13	15	14	7	9,3
Весовой коэффициент	0,0013	0,00104	0,00093	0,0002	0,0007	0,0013	0,0015	0,0014	0,0007	0,00093

Примечание: 0 – объект из левой колонки предпочтительнее объекта из верхней колонки; 1 – установлено равенство объектов; 2 – объект из верхней строки предпочтительнее объекта из левой.

Условные обозначения: 1 – воздействие технологии на этапе эксплуатации на окружающую среду; 2 – вероятность возникновения аварийной ситуации; 3 – эффективность применяемой технологии; 4 – простота эксплуатации и обслуживания технологического оборудования; 5 – наличие сертификатов на оборудование, используемое для реализации технологии; 6 – наличие утвержденного технического регламента для реализации технологии; 7 – эксплуатационные затраты для реализации технологии; 8 – капитальные затраты для реализации технологии; 9 – потребность в энергоресурсах для реализации технологии; 10 – потребность в реагентах.

Таблица 2

Результаты парного сравнения технологий с учетом значимости критериев

Показатели	Обработка сточных вод озонном	Воздействие электрического поля на микроорганизмы	Использование 90%-го технического кислорода в аэротенке вместо воздуха	Применение биопрепаратов	Использование иммобилизированной микрофлоры на твердом субстрате
Вероятность возникновения аварийной ситуации	1	2	2	7	7
Воздействие технологии на этапе эксплуатации на окружающую среду	2	2	2	7	7
Капитальные затраты для реализации технологии	3	2	6	2	7
Эксплуатационные затраты для реализации технологии	2	3	2	2	7
Наличие утвержденного тех регламента для реализации технологии	4	4	4	4	4
Потребность в реагентах	3	3	3	3	8
Эффективность технологии	2	2	2	7	8
Сумма (136)	17	18	21	32	48
Весовой коэффициент	0,00125	0,00132	0,00154	0,00235	0,00325

По итогам парного сравнения и Парето-анализа, проводимых на заключительном этапе, определены три лучшие технологии интенсификации биологической очистки сточных вод ЦБП, из которых больше всего баллов набрало применение иммобилизированной микрофлоры на твердом субстрате.

Предложенная методика позволяет обосновать выбор лучшей технологии интенсификации биологической очистки сточных вод ЦБП при ограниченном объеме исходной информации, сократить объем технико-экономических расчетов при определении бизнес-показателей вариантов реализации технологий, осуществить ранжирование технологий по совокупности экономических и неэкономических показателей, влияющих на различные риски при реализации технологий.

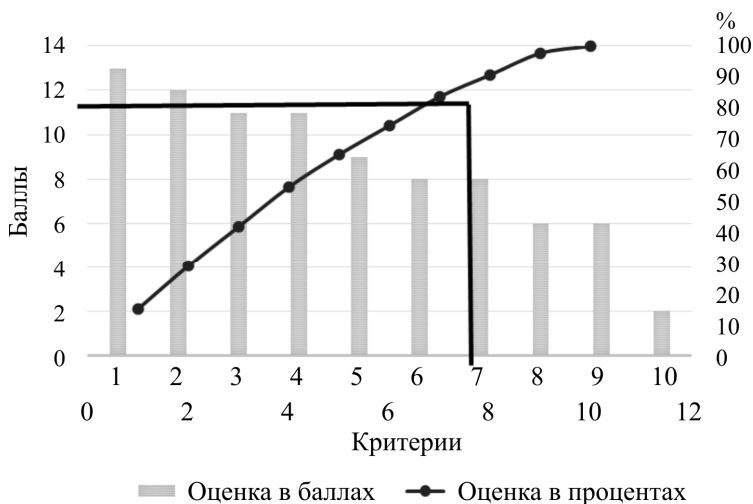


Рис. 2. Результаты Парето-анализа основных критериев для оценки технологий интенсификации биологической очистки сточных вод ЦБК: 1 – капитальные затраты для реализации технологии; 2 – эксплуатационные затраты для реализации технологии; 3 – наличие утвержденного технического регламента для реализации технологии; 4 – воздействие технологии на этапе эксплуатации на окружающую среду; 5 – вероятность возникновения аварийной ситуации; 6 – эффективность применяемой технологии; 7 – потребность в реагентах; 8 – наличие сертификатов на оборудование, используемое для реализации технологии; 9 – потребность в энергоресурсах для реализации технологии; 10 – простота эксплуатации и обслуживания технологического оборудования

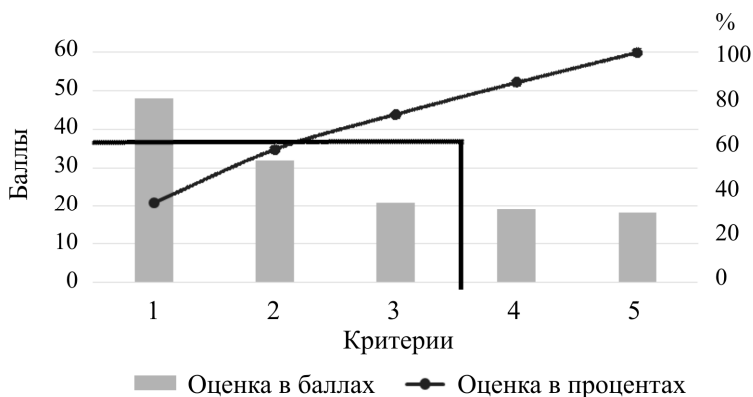


Рис. 3. Результаты Парето-анализа сравнения технологий с учетом значимости критериев: 1 – использование иммобилизированной микрофлоры на твердом субстрате; 2 – применение биопрепаратов; 3 – использование 90%-го технического кислорода в аэротенке вместо воздуха

Список литература

1. Панина М.Н., Фрог Д.Б., Харламова М.Д. Совершенствование экологического нормирования в области водоснабжения и водоотведения ЦБК // Вестник Рос. ун-та дружбы народов. Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2010. – № 2. – С. 75–80.
2. Применение технологического нормирования для оценки сброса биологически очищенных сточных вод в ОАО «Архангельский ЦБК» / Т.Ф. Личутина, М.А. Гусакова, А.П. Вишнякова, В.И. Белоглазов, Т.В. Соболева // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2008. – № 7. – С. 64–69.
3. Зайцева Т.А., Рудакова Л.В., Белик Е.С. Биохимические методы переработки техногенных отходов: учеб. пособие: в 2 ч. Ч. 1. Биологическая очистка сточных вод в аэротенках. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015. – 226 с.
4. Понамарев В.Г., Иокимис Э.Г., Монгайт И.Л. Очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов. – М.: Химия, 1985. – 256 с.
5. Магнитные носители для иммобилизации микроорганизмов активного ила: поиск оптимальных условий иммобилизации / Л.В. Потапова, И.В. Владимцева, О.В. Колотова, И.С. Тюменцева, И.В. Жарникова, А.Б. Чернов // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2008. – № 5. – С. 50–52.
6. Яковлев С.В., Краснобородько И.Г., Рогов В.М. Технология электрохимической очистки воды. – Л.: Стройиздат, 1987. – 312 с.
7. Иммобилизованные клетки микроорганизмов / А.П. Сеницын, Е.И. Райнина, В.И. Лозинский, С.Д. Спасов. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – 288 с.
8. Shuguang Deng. Sorbent technology // Encyclopedia of Chemical Processing. – 2006. – P. 2825–2845. DOI: 10.1081/E-ECHP-120007963
9. Белик Е.С., Рудакова Л.В. Исследование физической иммобилизации углеводородокисляющих микроорганизмов на пористой поверхности карбонизата // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2012. – № 7. – С. 10–14.
10. Биотехнология очистки сточных вод с иммобилизацией активного ила и удалением азота / М.Г. Зубов, С.Ф. Бояренев, Г.М. Зубов, Н.И. Куликов, Ю.М. Шрамов, Ю.В. Литти, В.К. Некрасова, А.Н. Ножевикова // Водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – № 8. – С. 72–75.
11. Гойкалова О.Ю., Кузнецов В.А. Оценка эффективности процесса иммобилизации бактериальных клеток на полимерных носителях //

Материалы ЛШ отчет. науч. конф. преподавателей и науч. сотрудников ВГУИТ за 2014 г., посвящ. 85-летию ВГУИТ, Воронеж, 24–26 марта 2015 г. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та инженер. технологий, 2015. – 255 с.

12. Абуова Г.Б, Давыдова К.В. Общая характеристика сорбентов, используемых для улучшения работы очистных сооружений // Перспективы развития строительного комплекса: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф., Астрахань, 27–29 октября 2015 г. / под общ. ред. В.А. Гутмана, Д.П. Ануфриева / Астрахан. инженер.-строит. ин-т. – Астрахань, 2015. – 399 с.

13. Жилинская Я.А., Вайсман Я.И., Коротаев В.Н. Оценка экологической безопасности продуктов механо-биологической переработки твердых нефтесодержащих отходов // Вестник Пермского государственного технического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – 2011. – № 1. – С. 5–10.

14. Ахмадиев М.В., Слюсарь Н.Н. Выбор и обоснование оптимального варианта конструкции верхнего рекультивационного покрытия полигона ТБО методом проектных сценариев // Вестник Пермского государственного технического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – 2011. – № 1. – С. 15–20.

15. Коротаев В.Н, Жилинская Я.А., Слюсарь Н.Н. Методика ранжирования и выбора наилучших технологий обращения с отходами // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2012. – № 7. – С. 21–25.

References

1. Panina M.N., Frog D.B., Kharlamova M.D. Sovershenstvovanie ekologicheskogo normirovaniia v oblasti vodosnabzheniia i vodootvedeniia tselliulozno-bumazhnogo kombinata [Improvement of environmental regulation in the field of water supply and drainage mill]. *Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Ekologiiia i bezopasnost' zhiznedeiatel'nosti*, 2010, no. 2, pp. 75-80.

2. Lichutina T.F., Gusakova M.A., Vishniakova A.P., Beloglazov V.I., Soboleva T.V. Primenenie tekhnologicheskogo normirovaniia dlia otsenki sbrosa biologicheski ochishchennykh stochnykh vod v OAO “Arkhangel'skii tselliulozno-bumazhnyi kombinat” [The use of technological standards to assess relief of biologically treated wastewater in OAO “Arkhan-

gelsk Pulp and Paper Mill”]. *Tseliuloza. Bumaga. Karton*, 2008, no. 7, pp. 64-69.

3. Zaitseva T.A., Rudakova L.V., Belik E.S. Biokhimicheskie metody pererabotki tekhnogennykh otkhodov. Chast' 1. Biologicheskaiia ochistka stochnykh vod v aerotenkakh [Microbiology and biotechnology fundamentals. Biochemical purification of waste water in aeration tanks]. Perm': Perm'skii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2015. 226 p.

4. Ponamarev V.G., Iokimis E.G., Mongait I.L. Ochistka stochnykh vod neftepererabatyvaiushchikh zavodov [Waste water treatment of oil refineries]. Moscow: Khimiia, 1985. 256 p.

5. Potapova L.V., Vladimtseva I.V., Kolotova O.V., Tiumentseva I.S., Zharnikova I.V., Chernov A.B. Magnitnye nositeli dlia immobilizatsii mikroorganizmov aktivnogo ila: poisk optimal'nykh uslovii immobilizatsii [Magnetic media for immobilizing activated sludge microorganisms: the search for optimal conditions of immobilization]. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie*, 2008, no. 5, pp. 50-52.

6. Iakovlev S.V., Krasnoborod'ko I.G., Rogov V.M. Tekhnologiya elektrokhimicheskoi ochistki vody [Electrochemical water treatment technology]. Saint Petersburg: Stroizdat, 1987. 312 p.

7. Sinitsyn A.P., Rainina E.I., Lozinskii V.I., Spasov S.D. Immobilizovannye kletki mikroorganizmov [Immobilized microbial cells]. Moscow: Moskovskii gosudarstvennyi universitet, 1994. 288 p.

8. Shuguang Deng. Sorbent technology. *Encyclopedia of Chemical Processing*, 2006, pp. 2825-2845. DOI: 10.1081/E-ECHP-120007963

9. Belik E.S., Rudakova L.V. Issledovanie fizicheskoi immobilizatsii uglevodorodokisliaiushchikh mikroorganizmov na poristoï poverkhnosti karbonizata [Investigation of physical immobilization of hydrocarbon oxidizing microorganisms on the surface of the porous carbonizate]. *Zashchita okruzhaiushchei sredy v neftegazovom komplekse*, 2012, no. 7, pp. 10-14.

10. Zubov M.G., Boiarenev S.F., Zubov G.M., Kulikov N.I., Shramov Iu.M., Litti Iu.V., Nekrasova V.K., Nozhevnikova A.N. Biotekhnologiya ochistki stochnykh vod s immobilizatsiei aktivnogo ila i udaleniem azota [Biotechnology wastewater with activated sludge immobilization and removal of nitrogen]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaia tekhnika*, 2013, no. 8, pp. 72-75.

11. Goikalova O.Iu., Kuznetsov V.A. Otsenka effektivnosti protsessa immobilizatsii bakterial'nykh kletok na polimernykh nositeliakh [Evaluating the effectiveness of the process of immobilization of the bacterial cells on

polymeric supports]. *Materialy LIII otchetnoi nauchnoi konferentsii prepodavatelei i nauchnykh sotrudnikov VGUIT za 2014 god, posviashchennoi 85-letiiu VGUIT, Voronezh, 24-26 marta 2015*. Voronezh: Voronezhskii gosudarstvennyi universitet inzhenernykh tekhnologii, 2015. 255 p.

12. Abuova G.B, Davydova K.V. Obshchaia kharakteristika sorbentov, ispol'zuemykh dlia uluchsheniia raboty ochistnykh sooruzhenii [General characteristics of the sorbents used to improve sewage treatment plants]. *Materialy IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Perspektivy razvitiia stroitel'nogo kompleksa", Astrakhan', 27-29 octiabria 2015*. Astrakhan': Astrakhansrii inzhenerno-stoitel'nyi institut, 2015. 399 p.

13. Zhilinskaia Ia.A., Vaisman Ia.I., Korotaev V.N. Otsenka ekologicheskoi bezopasnosti produktov mekhano-biologicheskoi pererabotki tverdykh neftesoderzhashchikh otkhodov [General characteristics of the sorbents used to improve sewage treatment plants]. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Okhrana okruzhaiushchei sredy, transport, bezopasnost' zhiznedeiatel'nosti*, 2011, no. 1, pp. 5-10.

14. Akhmadiev M.V., Sliusar' N.N. Vybor i obosnovanie optimal'nogo varianta konstruktsii verkhnego rekul'tivatsionnogo pokrytiia poligona tverdykh bytovykh otkhodov metodom proektnykh stsenariiev [Selection and justification of the best embodiment of the upper cover landfill recultivation method of design scenarios]. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Okhrana okruzhaiushchei sredy, transport, bezopasnost' zhiznedeiatel'nosti*, 2011, no. 1, pp. 15-20.

15. Korotaev V.N, Zhilinskaia Ia.A., Sliusar' N.N. Metodika ranzhirovaniia i vybora nailuchshikh tekhnologii obrashcheniia s otkhodami [The methodology of ranking and selection of the best waste management techniques]. *Zashchita okruzhaiushchei sredy v neftegazovom komplekse*, 2012, no. 7, pp. 21-25.

Получено 16.11.2016

Об авторах

Залевская Юлия Михайловна (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: ylia_15@list.ru).

Белик Екатерина Сергеевна (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: zhdanova-08@mail.ru).

About the authors

Iuliia M. Zalevskaia (Perm, Russian Federation) – Master Student, Environmental Protection Department, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: ylia_15@list.ru).

Ekaterina S. Belik (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Environmental Protection Department, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: zhdanova-08@mail.ru).