

Zhuldyz Adambekova Algatbekkyzy – MSc, vice-dean of Higher School of Economics and Management of Caspian University, Almaty, The Republic of Kazakhstan, e-mail: ssccu9@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9325-5181>

Agata Filipowska – PhD, Poznań University of Economics and Business, Poznan, Republic of Poland, e-mail: agata.filipowska@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8425-1872>*

MPHTI 70.27.13

JEL Classification: Q53

DOI: <https://doi.org/10.52821/2789-4401-2023-2-117-128>

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕМБРАННОГО МЕТОДА ПОДГОТОВКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

А. Азимов^{1*}, А. Камшыбаев¹, Н. Н. Исабаев¹

¹Южно-Казахстанский университет имени М. Ауезова, Шымкент, Республика Казахстан

АННОТАЦИЯ

Мембранные методы – обратный осмос и нанофильтрация – привлекают все большее внимание в контексте обеспечения населения качественной питьевой водой. Казахстан придает высокий приоритет этому вопросу, осознавая растущий дефицит водных ресурсов.

Цель исследования заключается в проведении анализа экономической эффективности применения мембранного метода для подготовки питьевой воды.

Методы исследования. Для достижения этой цели использовалась методология, основанная на оценке предлагаемых технологических решений с использованием показателей чистого дисконтированного дохода (ЧДД), индекса доходности (ИД) и внутренней нормы доходности (ВНД).

Оригинальность / ценность исследования. Исследование фокусируется на экономической эффективности мембранного метода подготовки питьевой воды. В настоящее время обеспечение населения качественной питьевой водой является одним из главных приоритетов многих стран, включая Казахстан, из-за растущего дефицита водных ресурсов. В данном исследовании предлагается методика оценки экономической эффективности мембранных методов, таких как обратный осмос и нанофильтрация, с использованием таких показателей, как ЧДД, ИД и ВНД. Это позволяет принять информированные решения о выборе наиболее выгодных инновационных проектов в области подготовки питьевой воды. Исследование представляет значимую ценность, поскольку оно предоставляет практические рекомендации и руководство для принятия решений в области подготовки питьевой воды, способствуя обеспечению населения качественной питьевой водой и оптимизации экономических затрат в Казахстане.

Результаты исследования. В работе рассмотрен комплекс вопросов, связанных с экономической оценкой и выбором инновационных проектов подготовки питьевой воды методами обратного осмоса и нанофильтрации посредством расчета чистого дисконтированного дохода (ЧДД), индекса доходности (ИД) и внутренней нормы доходности (ВНД). В исследовании произведен расчет окупаемости инвестиций с применением нанофильтрации для станций производительностью 300,6 тыс. м³/год. Авторами выявлено, что с учетом дисконтирования срок окупаемости проектов по предлагаемому методу составляет 5 лет.

Ключевые слова: питьевая вода, мембранная технология, обратный осмос, нанофильтрация, дисконтированный доход, индекс доходности, внутренняя норма доходности, срок окупаемости.

Благодарности: Данное исследование проведено за счет программно-целевого финансирования проекта № BR18574143 «Разработка и внедрение технологии очистки подземных вод и обеспечение населения и животных аграрного предприятия питьевой водой» по Заказу Комитета науки МНВО РК.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Одним из ключевых глобальных вызовов современности является дефицит водных ресурсов. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения и Детского фонда ООН (ЮНИСЕФ), «26 % населения планеты не имеют доступа к чистой питьевой воде» [1]. Для решения проблем обеспечения населения чистой питьевой водой в современных условиях правительствами стран предпринимаются различные меры, в том числе, в области инновационных решений по очистке воды.

Согласно данным Всемирной программы ЮНЕСКО по оценке водных ресурсов за 2023 год, «повсеместное распространение получила стратегия удовлетворения потребностей растущих городов в питьевой воде путем снабжения городских центров водой, предназначенной для сельского хозяйства» [2]. В этой связи возрастает необходимость развития новых технологий подготовки питьевой воды.

В Казахстане обеспечение населения питьевой водой является одним из ключевых приоритетов государственной политики. В 2021 году своем Послании народу Президент Республики Казахстан К. К. Токаев отметил: «К 2030 году нехватка воды в мире может достигнуть 40 %. Поэтому нам необходимо повысить водосбережение с помощью новейших технологий и цифровизации» [3]. Главой государства была поставлена задача в рамках Национального проекта развития регионов в течение пяти лет обеспечить 100 % городов и сел чистой питьевой водой.

При подготовке питьевой воды необходимо использование эффективных и экономически выгодных технологий. Как отмечают некоторые эксперты, «традиционные технологии, использующие напорные фильтры с загрузками из песка, угля и ионообменных смол достаточно «громоздки», требуют затрат при их эксплуатации (замене загрузок или их регенерации), образуют стоки при их промывке и регенерации» [4].

В настоящее время распространены технологии, позволяющие корректировать и доводить до питьевых норм состав воды, взятой из водоисточников, качество которых не соответствуют нормам для питья.

К таким технологиям ввиду ее высокой эффективности, низкой стоимости, компактности, простоте обслуживания, малым эксплуатационным затратам [5] относятся мембранные методы – обратный осмос и нанофильтрация.

В целом, нанофильтрационные и обратноосмотические установки аналогичны по конструкции и по эксплуатации, и различия этих методов заключаются только в применяемых мембранах. Нанофильтрационные и обратноосмотические мембраны, с порами, пропускающими молекулы воды, успешно удерживают растворенные вещества, включая органические и неорганические соединения, такие как ионы жесткости, железа, фториды, тяжелые металлы, хлорорганические и гуминовые вещества [6; 7].

Нанофильтрационные мембраны имеют больший размер пор по сравнению с мембранами обратного осмоса. Это позволяет частично пропускать в очищенную воду (в пермеат) одновалентные ионы натрия; хлориды, бикарбонаты.

В контексте изучения перспектив применения данной технологии непосредственно на местах, в селах, районах, городах необходимо проведение обоснования эколого-экономической эффективности мембранного метода подготовки питьевой воды.

Цель исследования – проанализировать экономическую эффективность мембранного метода подготовки питьевой воды.

Задачи исследования:

- определить формулы для расчета экономической эффективности применяемых технологий;
- произвести сбор исходных данных для расчетов по удельным капитальным затратам и составляющим эксплуатационных расходов;
- произвести и проанализировать расчеты по экономической эффективности технологии на основе собранных данных;

- сформировать выводы о степени эффективности применения мембранного метода подготовки питьевой воды.

Методы исследования. При проведении расчета экономической эффективности применения мембранного метода подготовки питьевой воды использована методика, предусматривающая оценку предлагаемых технологических решений по чистому дисконтированному доходу (ЧДД), индексу доходности (ИД) и внутренней норме доходности (ВНД).

Обзор литературы. Подбор наиболее подходящего метода обработки играет важную роль в достижении более чистого и экономически эффективного производства регенерированной воды, учитывая технические, экономические и экологические аспекты [8]. Исследование, проведенное Пей и коллегами [9], выделяет несколько факторов, которые следует учитывать при выборе технологии очистки сточных вод, таких как качество сточных вод, их количество, строительные и эксплуатационные расходы, сложность инженерного строительства, местные условия и наличие конфликтов. Важным фактором является также определение необходимого уровня обработки для достижения требуемого качества для повторного использования. Определение состава сточных вод и соответствующих критериев качества имеет первостепенное значение для каждого конкретного случая. Различные применения повторного использования требуют разных характеристик качества воды, что в свою очередь требует применения различных технологий очистки [10].

Мембранные технологии широко используются в качестве передовых методов очистки воды из-за их способности удаления нежелательных соединений из сточных вод до очень низких уровней концентрации и предлагаемых новых возможностей по сравнению с традиционными методами [11; 12]. Кроме мембранных методов, применяются и другие передовые технологии обработки, такие как электрохимические методы, включающие электроокисление, электровосстановление, электрокоагуляцию и электродиализ [13].

Однако, несмотря на значительные прогрессы, достигнутые с помощью этих технологий, по-прежнему существует проблема перехода от «перспективной технологии» к «практической технологии», как отмечают Лю и соавторы [14]. В этом контексте емкостная деионизация (CDI), вместе со своими вариантами, такими как мембранно-емкостная деионизация (MCDI) и емкостная деионизация с проточным электродом (FCDI), исследуются и показывают многообещающие результаты в области опреснения морской воды и повторного использования сточных вод [15].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Многие эксперты сходятся во мнении, что экономическая выгода нанофильтрации обусловлены применением мембраны с большим размером пор. Это придает процессу очистки воды следующие преимущества:

1. Проведение нанофильтрационной очистки проводится при более низких значениях рабочего давления по сравнению с обратным способом. Разница величины давления составляют в 2 раза. Соответственно, расходы электроэнергии, потребляемые насосом при нанофильтрации существенно сокращены.
2. При очистке воды обратным осмосом эти установки очищают воду до уровня норм «дистиллята», т. е. опресняет воду с очень низким содержанием солей. Современные стандарты качества очищенной воды предусматривают обязательное присутствие в питьевой воде определенных ионов, таких как кальций, магний, хлориды, фториды и другие. Поэтому принимаются меры по обогащению очищенной воды минералами.
3. Нанофильтрационные мембраны имеют больший размер пор по сравнению с мембранами обратного осмоса. Это позволяет частично пропускать в очищенную воду одновалентные ионы натрия; хлориды, бикарбонаты. Благодаря этому очищенная вода будет иметь определенный солевой состав и отпадает необходимость принятия мер по обогащению очищенной воды минералами.
4. Применение в нанофильтрации мембраны с большими размерами пор, по сравнению с мембранами обратного осмоса, обеспечивает процессу нанофильтрации большую производительность при равных значениях селективности.

В дополнение к данным аргументам необходим подробный анализ показателей эффективности рассматриваемого метода подготовки воды, который будет проведен при технико-экономическом обосновании (далее – ТЭО).

Технико-экономическое обоснование (ТЭО) играет ключевую роль в принятии решений о проектировании, строительстве и эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения. Обзор существующего подхода к выбору наиболее выгодного варианта с минимальными затратами показывает, что «в нынешних условиях инвестирования проектов нет достаточных оснований для расчета величины приведенных затрат при постоянном коэффициенте срока окупаемости, который принимается равным 7-8 годам» [16].

На сегодняшний день эксперты в качестве оптимального срока окупаемости принимают срок в 2-3 года. Отмечается, что «необходимо включать в оценку чистый дисконтированный доход (ЧДД), индекс доходности (ИД) и внутреннюю норму доходности (ВНД)» [17]. Важно отметить, что ее применение целесообразно только при нормальных условиях функционирования водопроводно-канализационных предприятий, которая подразумевает отсутствие каких-либо задолженностей между поставщиком и потребителем воды. Кроме того, необходимо акцентировать внимание на сборе и обосновании исходных данных для расчетов по удельным капитальным затратам и составляющим эксплуатационных расходов.

На стадии ТЭО инвестиционного проекта по использованию мембранного метода подготовки питьевой воды, необходимо осуществлять расчет экономической эффективности анализируемых вариантов на основе прогнозных и расчетных цен. Согласно методике ТЭО, «прогнозная цена P_{ti} отпускаемой потребителю воды в конце ti периода определяется по формуле:

$$P_{ti} = P_{\delta} \cdot J_{ti} \quad (1)$$

где P_{δ} – базисная цена воды;

J_{ti} – коэффициент (индекс) изменения цен ресурсов соответствующей группы в конце ti года по отношению к начальному моменту расчета, в котором известны цены».

Базисная цена, по которой вода продается потребителям P_{δ} , а также цена воды на последующих этапах потребления $P_{\delta(i)}$, определяется:

$$P_{\delta(i)} = S_{\delta(i)} + E_{\delta(i)} \cdot K_{\delta(i)} + \Delta\Pi_{\delta(i)} \quad (2)$$

где $S_{\delta(i)}$ – это полная себестоимость получения 1 м³ воды требуемого качества, которая учитывает текущие затраты на забор воды из источника, ее очистку, хранение, перекачку по водоводам и подачу через водопроводную сеть каждому потребителю в нужном объеме и с необходимым напором;

$E_{\delta(i)}$ – норма эффективности инвестиций (капитальных вложений);

$K_{\delta(i)}$ – суммарная величина инвестиций;

$\Delta\Pi_{\delta(i)}$ – прибыль от реализации 1 м³ воды потребителям.

Проведение сравнительного анализа нескольких вариантов развития инвестиционного проекта и выбор наиболее оптимального из них в условиях инфляции и дефицита ликвидных средств эксперты рекомендуют производить с использованием ЧДД, ИД, ВПД и минимального срока окупаемости вкладываемых инвестиций.

В данном контексте минимальный срок окупаемости рассматривается не как основной, а как дополнительный критерий. Он определяет минимальный временной интервал, начиная с которого интегральный эффект от реализации проекта становится положительным и перестает быть отрицательным.

Согласно [16], величина срока окупаемости T определяется:

$$\sum_{t=0}^T \frac{\mathcal{Z}_t}{(1+E_d)^t} = \sum_{t=0}^T \frac{K_1}{(1+E_d)^t} \quad (3)$$

где $t_{(1,2,3,\dots,N)}$ – номер шага расчета (N – горизонт расчета);

T – срок окупаемости, год;

$\mathcal{Z}_t = (R_t - \mathcal{Z}_t)$ – эффект, достигаемый на t -ом шаге;

R_t – результаты, достигаемые на t -ом шаге расчетного периода (доход от реализации воды потребителю за каждый год и другие поступления);

\mathcal{Z}_t – затраты, осуществляемые на t -ом шаге (эксплуатационные затраты за год);

K_1 – капиталовложения на t -ом шаге;

E_d – норма дисконта, установленная для t -го года.

Срок окупаемости – это период времени, в течение которого общие инвестиции компенсируются за счет чистого дохода, генерируемого проектом.

Капиталообразующие затраты можно определить, как сумму средств, необходимых для обеспечения объектов инвестиций оборудованием, а также расходы на дополнительные оборотные средства, необходимые для успешного начала производственной деятельности предприятия.

Такие затраты включают в себя:

- расходы на выполнение проектно-конструкторских работ;
- предэксплуатационные капитальные расходы;
- затраты на приобретение машин и оборудования;
- инвестиции в строительство инженерных сооружений;
- затраты на строительство вспомогательных сооружений;
- непредвиденные расходы.

Все инфраструктурные затраты, необходимые для проекта, рассматриваются как капитальные затраты и включаются в финансовый поток организации на протяжении всего периода реализации проекта.

Обычно инвестиционные затраты на приобретение механизмов и оборудования включают проведение испытаний и выпуск опытной партии, обучение основного персонала до начала производства, а также поставку запасных частей на период 1-2 лет. Капитальным затратам могут быть добавлены физические и ценовые непредвиденные расходы в размере 5-10%.

Рассмотрим подробнее различные виды капитальных и других единовременных затрат, а именно:

– Основные капитальные затраты – это затраты, связанные с оснащением объектов инвестиций необходимым оборудованием, строительством и инженерными сооружениями.

Стоимость замены частей в соответствии с требованиями технологического процесса также включается в основные капитальные затраты.

Основные капитальные затраты должны быть отражены в финансовом потоке в год фактического финансирования. Их ликвидационная стоимость определяется в конце проектного срока (стоимость износа).

– Допроизводственные капитальные затраты – это затраты, которые возникают до начала полноценной производственной деятельности и включают, например, расходы на проведение проектно-конструкторских работ и предэксплуатационные мероприятия.

Допроизводственные капитальные затраты включают: а) лицензии, патенты, торговые марки и другие права; б) получение разрешений; в) расходы на предварительные исследования; г) расходы на проведение и подготовку технико-экономического обоснования.

– Оборотный капитал до выхода на проектную мощность – это средства, необходимые для обеспечения нормального функционирования предприятия до достижения запланированной производственной мощности. Это может включать расходы на закупку сырья и материалов, оплату труда, обеспечение рабочего капитала и т. д.

Оборотный капитал до достижения проектной мощности формируется для обеспечения запасами (сырьем, незавершенной продукцией, запасными частями) и наличными средствами (рассчитывается как процент от текущих затрат на сырье, зарплату, энерго- и водоснабжение).

Норма дисконта E_d ($E_1=0,2$), установленная для t -го года, применяется для приведения различных затрат, результатов и эффектов к их стоимости в начальном периоде. Она соответствует приемлемой для инвестора норме доходности капитала и связана с коэффициентом дисконтирования $d_t = 0,482$, который определяется следующим выражением:

$$d_t = 1 \div (1 + E_d)^t \quad (4)$$

Результаты расчета окупаемости инвестиций по применению нанофильтрации для станций производительностью 300,6 тыс. м³ /год приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные технико-экономические показатели

Инвестиции, млн. тенге.	
Капитальные вложение	20,146
Эксплуатационные затраты на:	
- мембранные элементы	0,2032
- замена или регенерация мембраны	0,159
- транспортирование обезвоженных осадков к месту использования	
- электроэнергию	0,053
- тепло	2,202
- подготовку воды для собственных нужд станций	0,186
- оплату труда	
- отчисление на социальные нужды (38,5%)	0,013
	0,274
	0,105
Суммарные эксплуатационные затраты	6,455
Плата за НДС	0,002
Амортизация основных фондов	1,817
Доходы от реализации воды потребителям	10,138
Затраты со статьи «Доходы»:	
Плата за превышение предельно допустимых сбросов (ПДС)	0,066
Плата за размещение отходов	0,001
ИТОГО – доходы	1,797
Налоги	0,63
Чистая прибыль	2,27
Примечание – составлено авторами	

Кроме традиционных затрат на очистку, в стоимость также включаются обязательные отчисления в соответствии с установленными законодательством нормами, такими как отчисления в пенсионный фонд, отчисления в государственные фонды занятости и медицинское страхование. Также учитывается износ нематериальных активов и платежи НДС загрязняющих веществ в воде после обезвоживания осадка и в промывной воде после фильтров, если такие воды сбрасываются в водоем.

Интегральные показатели эффективности. ЧДД (чистая дисконтированная доходность) представляет собой сумму текущих эффектов за весь расчетный период, приведенную к начальному моменту, или разницу между интегральным доходом и интегральными затратами:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t^+) \frac{1}{(1+E)^t} - K_d \quad (5)$$

где Z_t^+ – затраты на t -ом шаге при условии, что в них не входят капиталовложения;
 K_d – сумма дисконтированных капиталовложений:

$$K_d = \sum_{t=0}^T K_t \frac{1}{(1+E)^t} \quad (6)$$

K_t – капиталовложения на t -ом шаге.

Если рассматриваемый вариант имеет положительное значение ЧДД при данной норме дисконта, то этот вариант считается эффективным и только тогда рассматривается возможность его принятия. Чем выше значение ЧДД, тем более эффективным является проектный вариант. В формуле (7) убыток обозначен знаком «+», а доход – знаком «-». ЧДД отражает разницу между суммой приведенных эффектов и приведенной к тому же моменту времени величиной капитальных вложений (K_d). Индекс доходности (ИД) представляет собой отношение суммы приведенных эффектов к величине капитальных вложений:

$$\text{ИД} = \frac{1}{K} \sum_{t=0}^T (R_t - Z_t^+) \frac{1}{(1+E)^t} \quad (7)$$

Индекс доходности (ИД) тесно связан с ЧДД. Если ЧДД положительный, то ИД будет больше 1 (ИД > 1).

При финансовом обосновании технологий анализируются поток и сальдо денежных средств. Реализация технологического проекта включает три основных типа деятельности: инвестиционную, операционную и финансовую. Если в определенном году остаток реальных денежных средств становится отрицательным, это указывает на то, что проект в данной форме не может быть реализован. В данном случае требуется либо увеличить прибыльную составляющую проекта, либо сократить расходы. На практике, при расчете экономической эффективности технологии, учитывается весь план реализации проекта (пример приведен в таблице 2).

Таблица 2 – Показатели, позволяющие учитывать весь план осуществления проекта

Показатель	Значение показателя				
	2018	2019	2020	2021	2022
Операционная деятельность	1,179	4,11	4,11	14,11	14,11
Продажи и другие поступления (реализация воды потребителю, прибыль и т.п.)	10,138	15,853	15,853	25,853	25,853
Затраты на мембранные элементы	1,032	1,032	1,032	1,032	1,032
Прочие издержки, включая энергозатраты	6,204	6,204	6,204	6,204	6,204
Налоги	0,735	3,127	3,127	3,127	3,127
Финансовая деятельность	20,88	-0,19	-0,35	-10,31	-10
Излишек средств	1,913	3,92	3,73	3,8	4,11
Суммарная потребность в средствах	0	0	0	0	0
Сальдо на конец года	1,913	5,833	9,563	13,363	17,473
Примечание – составлено авторами					

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведем расчеты для определения ЧДД и ИД для рассматриваемого метода технологии. Дисконтированный эффект, в котором из состава затрат исключены капиталовложения, обозначим как S . В соответствии с данными в таблице 1 для предлагаемого метода рассчитаем значения S_1 , ЧДД и ИД₁:

$$S = \sum_{t=1}^T \frac{P}{(1+E)^t} \quad (8)$$

$$K = \sum_{t=1}^T \frac{\Delta P}{(1+E)^t} \quad (9)$$

где P – прибыль от реализации воды потребителю;

ΔP – разность между притоком и оттоком средств от финансовой деятельности;

$$\begin{aligned} S_1 &= \sum_{t=1}^5 \frac{P}{(1+E)^t} = \\ &= 1,179 \cdot 0,741 + 4,11 \cdot 0,694 + 4,11 \cdot 0,579 + 14,11 \cdot 0,482 + 14,11 \cdot 0,402 = 18,578 \text{ млн.тг;} \\ K_1 &= (20,146) \cdot 0,741 = 14,928 \text{ млн.тг;} \\ ЧДД_1 &= S_1 - K_1 = 3,65 \text{ млн.тг;} \\ ИД_1 &= \frac{S_1}{K_1} = \frac{18,578}{14,928} = 1,245 \end{aligned}$$

При учете дисконтирования предлагаемый метод имеет срок окупаемости T_1 в 5 лет. Внутренняя норма доходности (ВНД) – это норма дисконта ЕВН, при которой приведенные эффекты равны приведенным капиталовложениям. Она вычисляется из следующего уравнения:

$$\sum_{t=0}^T \frac{R_t - 3_t}{(1+E_{ВН})^t} = \sum_{t=0}^T \frac{K_t}{(1+E_{ВН})^t}; \quad (10)$$

$$\begin{aligned} &\frac{1,179}{(1+E_{ВН})^1} + \frac{4,11}{(1+E_{ВН})^2} + \frac{4,11}{(1+E_{ВН})^3} + \frac{14,11}{(1+E_{ВН})^4} + \frac{14,11}{(1+E_{ВН})^5} \\ &= \frac{20,146}{(1+E_{ВН})^1} \end{aligned}$$

Решение уравнения дает: $E_{ВН} = \text{ВНД}_1 \rightarrow 24,9\%$.

Таким образом, оценка эффективности инвестиционных проектов систем водоснабжения (в частности, предлагаемой технологий) по внутренней норме доходности больше требуемой ставки дохода на вложенный капитал, высокоэффективен, и, соответственно, может быть принят инвестором для внедрения.

Это подтверждает тезис о том, что на сегодняшний день одной из технологий, позволяющей корректировать и доводить до питьевых норм состав воды, взятой из водоисточников, качество которых не соответствуют нормам для питья, ввиду ее высокой эффективности, низкой стоимости, компактности, простоте обслуживания, малым эксплуатационным затратам относятся мембранные методы – обратный осмос и нанофильтрация.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. State of the world's drinking-water: Executive summary. An urgent call to action to accelerate progress on ensuring safe drinking water for all [Электронный ресурс] // World Health Organization, World Bank, UNICEF [web-сайт]. – 23 января 2023. – URL: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/water-safety-and-quality/state-of-drinking-water-report_ex-summary_english.pdf?sfvrsn=9cb7ca6d_4&download=true (Дата обращения: 12.03.2023).

2. Коннор Р., Милетто М. Всемирный доклад Организации Объединенных Наций о состоянии водных ресурсов, 2023 год. Партнерство и сотрудничество в поддержку водных ресурсов. – 2023. – 11 с.
3. Послание Главы государства Касым-Жомарта Токаева народу Казахстана. Единство народа и системные реформы – прочная основа процветания страны [Электронный ресурс] // Официальный сайт Президента Республики Казахстан [web-сайт]. – 2021. – URL: <https://www.akorda.kz/ru/poslanie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-narodu-kazahstana-183048> (Дата обращения: 12.03.2023).
4. Первов А. Г., Козлова Ю. В., Андрианов А. П., Мотовилова Н. Б. Разработка технологии очистки поверхностных вод с помощью нанофильтрационных мембран // Мембраны. – 2006. – № 1(29). – С. 20-33.
5. Дытнерский Ю. И. Баромембранные процессы. — М.: Химия, 1986. – 272 с.
6. Мулдер М. Введение в мембранную технологию: пер. с англ. А.Ю. Леонтева, Г.П. Ямпольский / под редакцией Ю.П. Ямпольского, В.П. Дубяги. – М., 2001. – 350 с.
7. Pontie M. et al. Studies of halide ions mass transfer in nanofiltration -application to selective defluorination of blackisa drinking water // Desalination. – 2003. – № 157. – P. 127-134.
8. Micari M., Moser M., Cipollina A., Tamburini A., Micale G., Bertsch V. Towards the implementation of circular economy in the water softening industry: a technical, economic and environmental analysis // J. Clean. Prod. – 2020. – № 255. – Article 120291. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120291.
9. Pei X., Song L. Technical research on environmental engineering of sewage treatment // IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. – 2020. – № 440. – Article 042024. – DOI: 10.1088/1755-1315/440/4/042024.
10. Yang J., Monnot M., Ercolei L., Moulin P. Membrane-based processes used in municipal wastewater treatment for water reuse: state-of-the-art and performance analysis // Membranes (Basel). – 2020. – № 10. – P. 1-56. – DOI: 10.3390/membranes10060131.
11. Molinari R., Lavorato C., Argurio P. Application of hybrid membrane processes coupling separation and biological or chemical reaction in advanced wastewater treatment // Membranes (Basel). – 2020. – № 10. – P. 1-30. – DOI: 10.3390/membranes10100281.
12. Urtiaga A. M., Pérez G., Ibáñez R., Ortiz I. Removal of pharmaceuticals from a WWTP secondary effluent by ultrafiltration/reverse osmosis followed by electrochemical oxidation of the RO concentrate // Desalination. – 2013. – № 331. – P. 26-34. – DOI: 10.1016/j.desal.2013.10.010.
13. Pérez G., Gómez P., Ibáñez R., Ortiz I., Urtiaga A. M. Electrochemical disinfection of secondary wastewater treatment plant (WWTP) effluent // Water Sci. Technol. – 2010. – № 62. – P. 892-897. – DOI: 10.2166/wst.2010.328.
14. Liu J., Zhao M., Duan C., Yue P., Li T. Removal characteristics of dissolved organic matter and membrane fouling in ultrafiltration and reverse osmosis membrane combined processes treating the secondary effluent of wastewater treatment plant // Water Sci. Technol. – 2021. – № 83. – P. 689-700. – DOI: 10.2166/wst.2020.589.
15. Ye G., Yu Z., Li Y., Li L., Song L., Gu L., Cao X. Efficient treatment of brine wastewater through a flow-through technology integrating desalination and photocatalysis // Water Res. – 2019. – № 157. – P. 134-144. – DOI: 10.1016/j.watres.2019.03.058.
16. Волкова Е. С., Гисин В.Б. Меры возможности и внутренняя норма доходности инвестиционных проектов с нечетко определенными платежами // Вестник финансового университета. – 2014. – № 3. – С. 94-103.
17. Смоляк С. А. Оценка эффективности инвестиционных проектов в условиях риска и неопределенности (теория ожидаемого эффекта). – М.: Наука, 2012. – 158 с.

REFERENCES

1. State of the world's drinking-water: Executive summary. An urgent call to action to accelerate progress on ensuring safe drinking water for all. (January 3, 2023). World Health Organization, World Bank, UNICEF. Retrieved March 12, 2023, from https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/water-safety-and-quality/state-of-drinking-water-report_ex-summary_english.pdf?sfvrsn=9cb7ca6d_4&download=true.

2. Konnor, R. and Miletto, M. (2023). Vsemirnyj doklad Organizacii Ob"edinennyh Nacij o sostoyanii vodnyh resursov, 2023 god. Partnerstvo i sotrudnichestvo v podderzhku vodnyh resursov. 11 p. (In Russian).
3. Poslanie Glavy gosudarstva Kasym-Zhomarta Tokaeva narodu Kazahstana. Edinstvo naroda i sistemnye reformy – prochnaya osnova procvetaniya strany. (2021). Official website of the President of the Republic of Kazakhstan. Retrieved March 12, 2023, from <https://www.akorda.kz/ru/poslanie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-narodu-kazahstana-183048> (Data obrashcheniya: 12.03.2023).
4. Pervov, A. G., Kozlova, Yu. V., Andrianov, A. P. and Motovilova, N. B. (2006). Razrabotka tekhnologii oчитki poverhnostnyh vod s pomoshch'yu nanofil'tracionnyh membrane. Membrany, 1(29), 20-33 (In Russian).
5. Dytnerskiy, Yu. I. (1986). Baromembrannye processy. Himiya, Moscow, 272 p. (In Russian).
6. Mulder, M. (2001). Vvedenie v membrannuyu tekhnologiyu: transl. from Eng. A.Yu. Leonteva, G.P. Yampol'skiy. Moscow, 350 p. (In Russian).
7. Pontie, M. and et all. (2003). Studies of halide ions mass transfer in nanofiltration -application to selective defluorination of blackisa drinking water. Desalination, 157, 127-134.
8. Micari, M., Moser, M., Cipollina, A., Tamburini, A., Micale, G. and Bertsch, V. (2020). Towards the implementation of circular economy in the water softening industry: a technical, economic and environmental analysis. J. Clean. Prod., 255, 120291, DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120291.
9. Pei, X. and Song, L. (2020). Technical research on environmental engineering of sewage treatment. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci., 440, 042024, DOI: 10.1088/1755-1315/440/4/042024.
10. Yang, J., Monnot, M., Ercolei, L. and Moulin, P. (2020). Membrane-based processes used in municipal wastewater treatment for water reuse: state-of-the-art and performance analysis. Membranes (Basel), 10, 1-56, DOI: 10.3390/membranes10060131.
11. Molinari, R., Lavorato, C. and Argurio, P. (2020). Application of hybrid membrane processes coupling separation and biological or chemical reaction in advanced wastewater treatment. Membranes (Basel), 10, 1-30, DOI: 10.3390/membranes10100281.
12. Urtiaga, A. M., Pérez, G., Ibáñez, R. and Ortiz, I. (2013). Removal of pharmaceuticals from a WWTP secondary effluent by ultrafiltration/reverse osmosis followed by electrochemical oxidation of the RO concentrate. Desalination, 331, 26-34, DOI: 10.1016/j.desal.2013.10.010.
13. Pérez, G., Gómez, P., Ibáñez, R., Ortiz, I. and Urtiaga, A. M. (2010). Electrochemical disinfection of secondary wastewater treatment plant (WWTP) effluent. Water Sci. Technol., 62, 892-897, DOI: 10.2166/wst.2010.328.
14. Liu, J., Zhao, M., Duan, C., Yue, P. and Li, T. (2021). Removal characteristics of dissolved organic matter and membrane fouling in ultrafiltration and reverse osmosis membrane combined processes treating the secondary effluent of wastewater treatment plant. Water Sci. Technol., 83, 689-700, DOI: 10.2166/wst.2020.589.
15. Ye, G., Yu, Z., Li, Y., Li, L., Song, L., Gu, L. and Cao, X. (2019). Efficient treatment of brine wastewater through a flow-through technology integrating desalination and photocatalysis. Water Res., 157, 134-144, DOI: 10.1016/j.watres.2019.03.058.
16. Volkova, E. S. and Gisin, V. B. (2014). Mery vozmozhnosti i vnutrennyaya norma dohodnosti investicionnyh proektov s nechetko opredennymi platezhami. Vestnik finansovogo universiteta, 3, 94-103 (In Russian).
17. Smolyak, S. A. (2012). Ocenka effektivnosti investicionnyh proektov v usloviyah riska i neopredelennosti (teoriya ozhidaemogo effekta). M.: Nauka. 158 p. (In Russian).

EVALUATION OF THE ECONOMIC EFFICIENCY OF THE MEMBRANE METHOD FOR DRINKING WATER PREPARATION

A. Azimov^{1*}, A. Kamshybayev¹, N. N. Isabayev¹

¹Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Republic of Kazakhstan

ABSTRACT

Membrane methods – reverse osmosis and nanofiltration – are attracting more and more attention in the context of providing the population with high-quality drinking water. Kazakhstan attaches high priority to this issue, realizing the growing scarcity of water resources.

The purpose of the study is to analyze the economic efficiency of the use of the membrane method for the preparation of drinking water.

Methodology. To achieve this goal, a methodology was used based on the evaluation of proposed technological solutions using net present value (NPV), yield index (IR) and internal rate of return (IRR).

Originality / value of the research. The study focuses on the economic efficiency of the membrane method of drinking water treatment. Currently, providing the population with high-quality drinking water is one of the main priorities of many countries, including Kazakhstan, due to the growing shortage of water resources. This study proposes a methodology for evaluating the cost-effectiveness of membrane methods such as reverse osmosis and nanofiltration using indicators such as NPV, ID and GNI. This allows you to make informed decisions about the selection of the most profitable innovative projects in the field of drinking water treatment. The study is of significant value because it provides practical recommendations and guidance for decision-making in the field of drinking water treatment, contributing to the provision of high-quality drinking water to the population and optimization of economic costs in Kazakhstan.

Findings. The paper considers a set of issues related to the economic assessment and selection of innovative projects for the preparation of drinking water by reverse osmosis and nanofiltration by calculating the net present value (NPV), the return index (IR) and the internal rate of return (IRR). The study calculated the return on investment using nanofiltration for stations with a capacity of 300.6 thousand m³/year. The authors found that, taking into account discounting, the payback period for projects according to the proposed method is 5 years.

Keywords: drinking water, membrane technology, reverse osmosis, nanofiltration, discounted income, return index, internal rate of return, payback period.

Acknowledgments: This study was carried out at the expense of program-targeted funding of project No. BR18574143 «Development and implementation of groundwater treatment technology and providing the population and animals of the agricultural enterprise with drinking water» by order of the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan.

АУЫЗ СУДЫ ДАЙЫНДАУДЫҢ МЕМБРАНАЛЫҚ ӘДІСІНІҢ ЭКОНОМИКАЛЫҚ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

А. Азимов^{1*}, А. Камшыбаев¹, Н. Н. Исабаев¹

¹М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан Республикасы

АНДАТПА

Халықты сапалы ауыз сумен қамтамасыз ету тұрғысында мембраналық әдістерге (кері осмос және нанофилтрация) қызығушылық артуда. Су ресурстары тапшылығының артып келе жатқанын түсіне отырып, Қазақстан үшін бұл мәселе маңызды басымдықтардың бірі болып табылады.

Зерттеудің мақсаты – ауыз суды дайындау үшін мембраналық әдісті қолданудың экономикалық тиімділігіне талдау жасау.

Әдіснамасы. Осы мақсатқа жету үшін таза дисконтталған кіріс (NPV), кірістілік индексі (IR) және ішкі кірістілік нормасы (IRR) көрсеткіштерін қолдана отырып, ұсынылған технологиялық шешімдерді бағалауға негізделген әдістеме қолданылды.

Зерттеудің бірегейлігі / құндылығы. Зерттеу ауыз суды дайындаудың мембраналық әдісінің экономикалық тиімділігіне бағытталған. Қазіргі уақытта халықты сапалы ауыз сумен қамтамасыз ету Су ресурстарының тапшылығының өсуіне байланысты көптеген елдердің, соның ішінде Қазақстанның басты басымдықтарының бірі болып табылады. Бұл зерттеу NPV, ID және GNI сияқты көрсеткіштерді қолдана отырып, кері осмос және нанофльтрация сияқты мембраналық әдістердің экономикалық тиімділігін бағалау әдісін ұсынады. Бұл ауыз суды дайындау саласындағы ең тиімді инновациялық жобаларды таңдау туралы ақпараттандырылған шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді. Зерттеу маңызды құндылық болып табылады, өйткені ол халықты сапалы ауыз сумен қамтамасыз етуге және Қазақстандағы экономикалық шығындарды оңтайландыруға ықпал ете отырып, ауыз суды дайындау саласында шешімдер қабылдау үшін практикалық ұсыныстар мен басшылық береді.

Зерттеу нәтижелері. Жұмыста таза дисконтталған кірісті (NPV), кірістілік индексі (IR) және кірістіліктің ішкі нормасын (IRR) есептеу арқылы кері осмос және нанофльтрация әдістерімен ауыз суды дайындаудың инновациялық жобаларын экономикалық бағалауға және таңдауға байланысты мәселелер кешені қаралды. Зерттеуде өнімділігі жылына 300,6 мың м³ станциялар үшін нанофльтрацияны қолдана отырып, инвестициялардың қайтарымдылығын есептеу жүргізілді. Авторлар дисконттауды ескере отырып, ұсынылған әдіс бойынша жобалардың өтелу мерзімі 5 жыл екенін анықтады.

Түйін сөздер: ауыз су, мембраналық технология, кері осмос, нанофльтрация, дисконтталған кіріс, кірістілік индексі, ішкі кірістілік коэффициенті, өтелу мерзімі.

Алғыс: Бұл зерттеу ҚР ҒЖБМ Ғылым комитетінің тапсырысы бойынша «Жер асты суларын тазарту технологиясын әзірлеп енгізу және тұрғындар мен ауыл шаруашылығы кәсіпорнының жануарларын ауыз сумен қамтамасыз ету» № BR18574143 жобасын бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру есебінен жүргізілді.

ОБ АВТОРАХ

Азимов Абдугани Муталович – PhD, Южно-Казахстанский университет имени М. Ауезова, Шымкент, Республика Казахстан, email: Azimov-78@mail.ru*

Камшыбаев Ахметали – кандидат технических наук, доцент Южно-Казахстанский университет имени М. Ауезова, Шымкент, Республика Казахстан, email: dani.akhmetali@mail.ru

Исабаев Нурпеис Нургалиулы – старший преподаватель Южно-Казахстанский университет имени М. Ауезова, Шымкент, Республика Казахстан, email: i_n.n@mail.ru