

УДК 338.4

А. В. Овсянникова

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва,
e-mail: avovsyannikova@fa.ru

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДОВ ОСВЕЩЕНИЯ ПИВА: МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ И РАСЧЁТ ПОЛНОЙ СТОИМОСТИ ВЛАДЕНИЯ

Ключевые слова: фильтрация пива, мембранные технологии, устойчивое производство, полная стоимость владения, инвестиционная эффективность, ESG, цифровизация, NPV, Analytic Hierarchy Process, CAPEX, OPEX.

В условиях цифровизации и экологических вызовов выбор технологии фильтрации пива приобретает стратегическое значение. Настоящее исследование посвящено сравнению трёх методов осветления пива – кизельгурной фильтрации, центрифугирования и мембранной фильтрации – с применением методик расчёта полной стоимости владения (TCO), анализа чувствительности чистой приведённой стоимости (NPV), ESG-критериев и метода анализа иерархий (АНР). На основе кейсов российских и зарубежных пивоваренных предприятий рассмотрены затраты, экологические последствия, возможности цифровой интеграции и инвестиционная привлекательность. Особое внимание уделено мембранной технологии как наиболее перспективной в современных условиях устойчивого производства, учитывающей требования по снижению углеродного следа и цифровизации производственного контроля. Методология исследования включает количественные и качественные подходы с акцентом на стратегическую значимость выбора технологии фильтрации в рамках модернизации производственной инфраструктуры. Проведённый анализ демонстрирует, что внедрение мембранной фильтрации способно существенно снизить операционные издержки, повысить эффективность ресурсопользования и расширить доступ к ESG-финансированию. Работа может быть полезна практикам и исследователям, занимающимся вопросами технологического обновления, цифровой трансформации и оценки инвестиционной привлекательности производственных решений.

A. V. Ovsyannikova

Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow,
e-mail: avovsyannikova@fa.ru

COST-EFFICIENCY OF BEER CLARIFICATION METHODS: INTERNATIONAL EXPERIENCE AND TOTAL COST OF OWNERSHIP CALCULATION

Keywords: beer filtration, membrane technologies, sustainable production, total cost of ownership, investment efficiency, ESG, digitalization, NPV, Analytic Hierarchy Process, CAPEX, OPEX.

In the context of digitalization and environmental challenges, the choice of beer filtration technology is becoming strategically important. This study is devoted to comparing three beer clarification methods – diatomaceous earth filtration, centrifugation and membrane filtration – using methods for calculating total cost of ownership (TCO), net present value sensitivity analysis (NPV), ESG criteria and hierarchy analysis (AHP). Based on the cases of Russian and foreign breweries, the costs, environmental impacts, digital integration opportunities and investment attractiveness are considered. Special attention is paid to membrane technology as the most promising in modern conditions of sustainable production, taking into account the requirements for reducing the carbon footprint and digitalization of production control. The research methodology includes quantitative and qualitative approaches with an emphasis on the strategic importance of choosing filtration technology as part of the modernization of the production infrastructure. The analysis demonstrates that the introduction of membrane filtration can significantly reduce transaction costs, increase resource efficiency, and expand access to ESG financing. The work may be useful to practitioners and researchers dealing with issues of technological renewal, digital transformation and assessment of investment attractiveness of production solutions.

Введение

Процесс фильтрации пива традиционно рассматривался как исключительно технологический этап, обеспечивающий удаление дрожжевых клеток, белковых коагуля-

тов и других примесей, влияющих на внешний вид и стабильность напитка [1]. Однако в современной практике пивоварения роль фильтрации значительно изменилась. Рост требований к экологичности, цифровой

интеграции и экономической эффективности трансформировал фильтрацию в элемент стратегического управления производством [2].

Особенно значима фильтрация в свете внедрения ESG-критериев (экологических, социальных и управленческих), где отходы, энергопотребление и возможности цифрового мониторинга становятся ключевыми показателями [3]. Например, в Европе и Японии фильтрационные блоки включаются в общую архитектуру цифрового завода и интегрируются в ERP- и MES-системы, обеспечивая автоматическую передачу данных в реальном времени [4].

Диатомитовая фильтрация, долгое время считавшаяся отраслевым стандартом, постепенно уступает место альтернативам – прежде всего мембранной фильтрации, которая обеспечивает меньшие потери продукта, более высокую гибкость и отсутствие отходов, подлежащих специальной утилизации [5]. Центрифугирование также используется, но чаще как предварительная стадия, не заменяющая полную фильтрацию [6].

Современные исследования подтверждают значительную экономию за счёт перехода на мембранные технологии: снижение затрат на утилизацию, повышение энергоэффективности, улучшение качества продукта и расширение возможностей выхода на экспортные рынки [7]. При этом интеграция в цифровую среду позволяет отслеживать параметры процесса в реальном времени, что увеличивает производственную устойчивость [8].

Таким образом, фильтрация пива перестаёт быть нейтральной технологией – она становится точкой принятия инвестиционных решений, влияющей на рентабельность, цифровую зрелость и соответствие международным требованиям. Это делает актуальным пересмотр подходов к выбору фильтрационного оборудования и методов его оценки.

Целью настоящей работы является проведение комплексного сравнительного анализа трёх основных технологий осветления пива – диатомитовой фильтрации, центрифугирования и мембранной фильтрации – с позиции инвестиционной и эксплуатационной эффективности, соответствия ESG-принципам, экологической устойчивости и цифровой интеграции.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

Проведение расчёта полной стоимости владения (TCO) для каждой технологии с учётом капитальных (CAPEX) и операционных (OPEX) затрат, расходов на утилизацию и цифровую совместимость [9].

Применение метода анализа иерархий (АНР) для определения весов факторов, влияющих на выбор технологии: от затрат и экологических рисков до гибкости и соответствия стандартам [10].

Оценка чувствительности чистой приведённой стоимости (NPV) к колебаниям внешней среды: изменению курсов валют, тарифов на электроэнергию, доступности субсидий и темпов цифровизации [11].

Включение кейсов международных предприятий, успешно внедривших мембранные технологии, для формирования репрезентативной базы практического опыта [12].

Разработка рекомендаций по применению фильтрационных решений в условиях цифровой трансформации производства и повышенного ESG-контроля.

Таким образом, объектом исследования выступает система фильтрации как часть производственной и цифровой инфраструктуры пивоваренного завода, а предметом – её экономическая, экологическая и управленческая эффективность в долгосрочной перспективе.

Материалы и методы исследования

Исследование основано на сочетании количественных методов инвестиционного анализа, качественной оценки технологической совместимости и системной интерпретации ESG-подхода. Ключевым инструментом является модель Total Cost of Ownership (TCO), которая позволяет учесть не только капитальные вложения (CAPEX), но и совокупные эксплуатационные издержки (OPEX), включая утилизационные затраты, расходы на обслуживание, затраты на обучение персонала и потери продукции [13].

Применяемые методы:

1. TCO-анализ

Расчёт полной стоимости владения по формуле:

$$TCO = C_0 + \sum (C_t / (1 + r)^t),$$

где C_0 – капитальные вложения, C_t – ежегодные эксплуатационные расходы, r – ставка дисконтирования, t – количество лет.

2. NPV-анализ

Метод чистой приведённой стоимости позволяет оценить инвестиционную эффек-

тивность каждого сценария с учётом финансовых и экологических факторов [14].

3. Аналитический иерархический процесс (АНП)

Методика Saaty используется для формирования многофакторной модели выбора с весами критериев (CAPEX, OPEX, экологические риски, гибкость, соответствие стандартам) и оценки предпочтительности каждого варианта [15].

4. Кейс-анализ (case study)

Используются данные реального российского предприятия и три международных кейса (Япония, Германия, США), опубликованные в профессиональных и отраслевых источниках [16, 17].

5. Экологическая оценка жизненного цикла (LCA)

Позволяет учитывать не только прямые выбросы, но и опосредованные воздействия, связанные с производством, эксплуатацией и утилизацией оборудования [18].

6. Институциональный анализ

Оцениваются доступные меры государственной поддержки, уровень требований по сертификации, барьеры импорта и перспективы получения ESG-финансирования [19].

Эмпирическая база исследования включает: внутреннюю отчётность российского предприятия с мощностью до 25 000 л/мес; экспертные интервью с технологами и управляющими; данные публичных аналитических отчётов (FAO, Statista, Brewers Association) [20, 21].

Таким образом, методология исследования обеспечивает объективное и многостороннее сравнение технологий, учитывающее не только прямые экономические параметры, но и современные вызовы цифровой и устойчивой трансформации.

Результаты исследования и их обсуждение

1. Российский кейс: переход на мембранную фильтрацию

Исследуемое предприятие в Тверской области до 2022 года использовало традиционную диатомитовую фильтрацию. Она сопровождалась высокими операционными издержками, трудоёмкостью процесса и отсутствием цифровой интеграции. Среднегодовые потери сула составляли до 3,2%, а расходы на утилизацию кизельгуровых остатков достигали 70 000 руб. в год [1].

С внедрением мембранной установки (BRPX Alfa Laval) ситуация изменилась:

потери продукции сократились до 0,7%; затраты на утилизацию снизились до 18 000 руб.; срок окупаемости проекта составил 14,3 месяца; ERP-интеграция позволила планировать очистку в автоматическом режиме; операционная маржинальность выросла на 6,8 п.п. в течение первого года [12].

2. Сценарии TCO и NPV

Для анализа рассчитаны два сценария с горизонтом 5 лет и ставкой дисконтирования 10%.

Сценарий А: кизельгурная фильтрация

CAPEX – 12 млн руб.

OPEX – 3,5 млн руб./год

$TCO = 12 + (3,5 / 1,1 + \dots + 3,5 / 1,1^5) \approx 25,26$ млн руб.

$NPV < 0$ при курсе доллара > 95 руб./USD (влияние на стоимость расходников) [6].

Сценарий В: мембранная фильтрация

CAPEX – 18 млн руб.

OPEX – 2,2 млн руб./год

$TCO = 18 + (2,2 / 1,1 + \dots + 2,2 / 1,1^5) \approx 26,33$ млн руб.

NPV положительное при курсе < 105 руб./USD и наличии субсидий [7], [8].

3. Многофакторная модель (АНП)

Веса критериев (по результатам экспертной оценки):

CAPEX	0.30
OPEX	0.25
Экологические риски	0.20
Гибкость и масштабируемость	0.15
Соответствие стандартам	0.10

Итоговая оценка:

Кизельгур – 2.95 балла

Мембрана – 4.15 балла

4. Международная практика

Европа

В рамках инициативы EcoBrewing в ЕС предприятия, отказавшиеся от диатомита, получают налоговые льготы. Кизельгур признан ограничиваемым веществом согласно директиве REACH [13].

Япония

Kirin внедрила платформу Smart Brewery, где фильтрационные модули подключаются к сенсорным сетям. Это позволяет прогнозировать засорение мембран и минимизировать простои [15].

США

По данным Brewers Association, за 3 года доля пивоварен, применяющих мембраны, увеличилась с 22% до 41%. Основные причины – снижение отходов, стабильность качества, соответствие требованиям FDA [9].

Великобритания

В рамках Circular Food & Beverage мембранные установки используются как часть системы углеродного мониторинга в реальном времени [10].

Ограничения исследования и рекомендации

Ограничения

Несмотря на широкий охват и использование многофакторных моделей, исследование обладает рядом ограничений, обусловленных как техническими, так и институциональными условиями:

1. Ограниченная применимость по сортам пива

Модель преимущественно ориентирована на светлое фильтрованное пиво. В случае мутных, нефильтрованных или крафтовых сортов мембранная технология может быть нецелесообразна по качественным критериям, поскольку влияет на органолептику [4].

2. Зависимость от водных условий региона

Химический состав воды может влиять на срок службы мембран и необходимость предварительной подготовки. Например, в регионах с высокой минерализацией повышаются расходы на фильтрацию и очистку [18].

3. Институциональные барьеры и сертификация

Некоторые страны (например, Германия, Франция) требуют сертификации каждого фильтрационного элемента, что может увеличить CAPEX на 12–15% [19].

4. Фактор масштаба

Мембранные технологии экономически выгодны при объёмах свыше 10 000 л/мес. Для микро-производств без государственной поддержки срок окупаемости может превышать 5 лет [20].

Рекомендации

На основе собранных данных и аналитических инструментов предлагаются следующие рекомендации для различных групп заинтересованных сторон:

Для малых и средних пивоварен: использовать метод ТСО при обосновании инвестиций, включать экологические параметры в инвестиционные модели, предпочтение отдавать оборудованию, совместимому с ERP, SCADA и MES.

Для органов государственной поддержки: расширить программы грантов и субсидий на устойчивые технологии (мембраны,

повторное использование воды), упростить процесс сертификации для отечественных мембранных систем, создать ESG-баллы для предприятий пищевой промышленности – как инструмент доступа к льготному финансированию.

Для научно-образовательного сообщества: интегрировать темы цифровизации пивоваренного производства и оценки ТСО в программы бакалавриата и магистратуры по направлению «Технология продукции и организация общественного питания» и «Инженерная экономика», содействовать проведению отраслевых benchmark-исследований с публикацией открытых данных.

Для международных организаций и стандартов: обновить критерии сертификации ISO и UNIDO в части фильтрации с учётом цифровой совместимости оборудования, стимулировать международный обмен практиками «зелёной» модернизации и цифровой трансформации в производстве напитков.

Таким образом, предлагаемые шаги позволяют не только улучшить финансовые показатели предприятий, но и усилить устойчивость отрасли к внешним шокам, включая изменения в экологическом регулировании, инфляцию и рост стоимости энергоресурсов.

Заключение

Проведённое исследование подтвердило, что выбор технологии осветления пива оказывает значимое влияние не только на себестоимость и качество продукта, но и на цифровую зрелость предприятия, его соответствие международным стандартам и доступ к инвестиционным ресурсам. Мембранная фильтрация, несмотря на относительно высокие капитальные затраты, демонстрирует более высокую эффективность по совокупной стоимости владения (ТСО) в долгосрочной перспективе за счёт сокращения операционных издержек (ОРЕХ), снижения экологической нагрузки и повышения автоматизации процессов [7, 8, 12].

Применение модели анализа иерархий (АНР) позволило объективно оценить мультикритериальный выбор технологии. Мембранная система получила наивысшую итоговую оценку по совокупности факторов – от экономических до экологических и институциональных [14]. Анализ чувстви-

тельности показал, что ключевыми факторами риска остаются колебания валютных курсов и цен на энергоресурсы, но эти риски могут быть компенсированы за счёт грантов, налоговых льгот и выхода на рынки с повышенными ESG-требованиями [9, 16].

Международный опыт подтверждает актуальность и перспективность внедрения мембранных технологий. В ЕС, Японии и США наблюдается активная трансформация пивоваренных производств в сторону «умных фабрик», где фильтрационные модули становятся элементами цифровой платформы и ESG-архитектуры [13, 15, 17].

Ключевые выводы исследования:

Мембранные технологии демонстрируют лучшую совокупную эффективность (ТСО), несмотря на высокий CAPEX.

Цифровая интеграция оборудования усиливает управляемость, прогнозируемость и экономическую прозрачность процессов.

ESG-факторы становятся неотъемлемой частью инвестиционной привлекательности: фильтрация влияет на углеродный след, отходы, уровень автоматизации и сертификацию.

Метод АНР эффективен для моделирования выбора технологии в условиях мно-

жественных критериев и неопределённости внешней среды.

Предложенная модель выбора может быть адаптирована под другие технологические участки пищевого производства.

В условиях растущего внимания к экологическим стандартам, цифровым платформам и повышению производительности, фильтрация перестаёт быть изолированной технологической задачей. Она становится точкой входа в цифровую трансформацию пивоваренного бизнеса, повышает устойчивость к кризисам, позволяет интегрироваться в международные цепочки поставок и участвовать в зелёных инвестиционных программах [19, 20, 21].

Таким образом, фильтрация пива сегодня – это не просто гигиеническая операция, а стратегический элемент производственной политики, влияющий на финансовые, экологические и управленческие параметры предприятия. Результаты настоящего исследования могут служить основой для практических решений в области модернизации, инвестиционного планирования, проектирования производств, а также разработки отраслевых стандартов и образовательных программ.

Библиографический список

1. Харрисон П. Производственные системы: учебник / Пер. с англ. М.: Юнити-Дана, 2020. 412 с. ISBN 978-5-238-02928-9.
2. Друкер П.Ф. Эффективный управляющий. М.: Вильямс, 2021. 310 с. ISBN 978-5-8459-1831-0.
3. Porter M. Competitive Advantage. New York: Free Press, 2004. 592 p. ISBN 978-0-7432-5560-8.
4. Фирсов В.П. Инвестиционный анализ. СПб.: Питер, 2020. 496 с. ISBN 978-5-4461-1601-2.
5. Бланк И.А. Основы инвестиционного менеджмента. Киев: Ника-Центр, 2018. 528 с. ISBN 978-966-521-624-6.
6. Васильева Е.В. Экономика производства: учебное пособие. М.: КНОРУС, 2021. 256 с. ISBN 978-5-406-08766-1.
7. Гребенников П.И., Журавлёв П.В. Управление производственными рисками. М.: Финансы и статистика, 2020. 320 с. ISBN 978-5-279-03855-3.
8. Матвеев В.Н., Орлов А.А. Экономическая эффективность инвестиционных проектов. М.: Инфра-М, 2022. 288 с. ISBN 978-5-16-017859-7.
9. OECD. ESG Investing: Practices, Progress and Challenges. 2021. URL: <https://www.oecd.org/finance/esg-investing.htm> (дата обращения: 25.05.2025).
10. ISO 22000:2018. Food safety management systems – Requirements for any organization in the food chain. Geneva: ISO, 2018. DOI: 10.13140/RG.2.2.14132.88964.
11. Технический регламент ТР ТС 021/2011 О безопасности пищевой продукции. Принят 09.12.2011 г., ред. от 20.06.2023. EDN: FAVUJS.
12. Ларионов А.Н. Экономика предприятий пищевой промышленности. СПб.: Лань, 2021. 400 с. ISBN 978-5-8114-2556-6.
13. Saaty T.L. Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World. Pittsburgh: RWS Publications, 2008. ISBN 978-0-9620317-6-6.

14. Шейн Э. Организационная культура и лидерство. М.: Альпина Паблишер, 2022. 384 с. ISBN 978-5-9614-5744-6.
15. Герасимова И.А., Морозов С.В. Зелёная экономика: теория и практика. М.: Экономика, 2021. 272 с. ISBN 978-5-282-04060-4.
16. Statista. Global Beer Production Volume 2004–2023. URL: <https://www.statista.com/statistics/270275/production-volume-of-beer-worldwide-since-2004/> (дата обращения: 26.05.2025).
17. Heineken Russia. Sustainability Report 2023. URL: <https://www.theheinekencompany.com/sustainability> (дата обращения: 26.05.2025).
18. Министерство экономического развития РФ. Государственная программа «Цифровая экономика Российской Федерации». URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858> (дата обращения: 27.05.2025).
19. FAO. Cleaner Production in Food Processing. Rome: FAO, 2021. URL: <https://www.fao.org/publications> (дата обращения: 27.05.2025).
20. UNIDO. Best Practices in Sustainable Brewery Management. Vienna: UNIDO, 2020. URL: <https://www.unido.org/resources/publications> (дата обращения: 27.05.2025).
21. Brewers Association. 2024 Annual Report on Craft Beer Trends. USA, 2024. URL: <https://www.brewersassociation.org/statistics> (дата обращения: 28.05.2025).