



А. А. Гамиловская

ФГОБУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации»,
Москва, Россия, e-mail: aagamilovskaya@fa.ru

Ю. И. Грищенко

ФГОБУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации»,
Москва, Россия

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Ключевые слова: автоматизация, роботизация, финансовая эффективность, экономическая эффективность, эффективность оборудования, атомные станции.

Статья описывает специфические особенности автоматизации, в том числе роботизации, производственного процесса на атомных станциях малой мощности (АСММ). Исходя из данных специфических особенностей и возможных в настоящее время направлений автоматизации сформированы подходы к комплексной оценке экономической эффективности процесса автоматизации. Данные подходы основываются на концепции дисконтированного денежного потока и модели APV, включают расчет показателей NPV, PI, DPP, IRR рассчитываемых на характерных для АСММ денежных потоках и денежных потоках, являющихся следствием подбора стратегии финансирования таких проектов. Денежные потоки формируются как на основе прямых, так и косвенных и внереализационных затрат, что формирует более широкий взгляд на эффективность автоматизации по сравнению с иными моделями. Описанные подходы к комплексной оценке экономической эффективности автоматизации АСММ воплощаются в методику, разработанную на базе Microsoft Excel. Достигнутые результаты могут иметь широкое применение в сфере оценки эффективности проектов по автоматизации производственных процессов не только в атомной, но и в других сферах генерации электроэнергии с незначительными доработками в части формирования денежных потоков.

A. A. Gamilovskaya

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

Yu. I. Grischenko

Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

APPROACHES TO ASSESSING THE ECONOMIC EFFICIENCY OF AUTOMATION OF LOW-CAPACITY NUCLEAR POWER PLANTS

Keywords: automation, robotics, financial efficiency, economic efficiency, equipment efficiency, nuclear power plants.

This article describes the specifics of automation, including robotics, of the production process at small nuclear power plants (SNPPs). Based on these specific characteristics and currently feasible areas of automation, approaches to a comprehensive assessment of the economic efficiency of the automation process are developed. These approaches are based on the discounted cash flow concept and the APV model and include NPV, PI, DPP, and IRR metrics calculated using cash flows specific to SNPPs and cash flows resulting from the selection of a financing strategy for such projects. Cash flows are calculated based on both direct and indirect costs, providing a comprehensive approach to assessing automation efficiency compared to other models. The described approaches to comprehensively assessing the economic efficiency of small-scale nuclear power plant automation are incorporated into a universal methodology developed using Microsoft Excel. The study's results can be widely applied to assessing the efficiency of production process automation projects not only in the nuclear power industry but also in other power generation sectors, with minor adjustments to cash flow generation, as well as in other projects.

Введение

Современный мир вступает в новую эпоху, эпоху автоматизации и цифровизации, что ставит огромное количество задач,

которые ранее не имели такого масштаба и значимости, а сейчас способны определять стратегии развития не только отдельных субъектов хозяйствования и стран,

но и мира в целом. Технологическое развитие привело к стремительно увеличивающейся потребности в качественном, бесперебойном снабжении электроэнергией, в том числе в местах неохваченных в настоящий момент электрическими сетями. Одним из ответов на данные вызовы является внедрение атомных станций малой мощности (АСММ), предназначенных для работы в удаленных и/или труднодоступных регионах с неразвитой сетевой инфраструктурой и сложными природно-климатическими условиями. Кроме генерации электроэнергии, данные станции способны обеспечивать теплоснабжение и опреснение соленой воды, что существенно повышает их эффективность в качестве системообразующего инфраструктурного звена.

При всей совокупности положительных эффектов АСММ, сооружение, эксплуатация и ликвидация таких объектов имеют высокую стоимость и сложность, особенно в условиях отсутствия персонала достаточной квалификации. В связи с этим, внедрение автоматизированных систем является высоко актуальным, так как позволяет не только оптимизировать производственные процессы, но и существенно снизить затраты на эксплуатацию, тем самым уменьшая себестоимость генерации электроэнергии, а соответственно и стоимость последующей продукции.

Актуальность исследования подтверждается стратегическими целями Российской Федерации. В частности, одним из приоритетных направлений, обозначенных в майском указе Президента Российской Федерации, является вхождение к 2030 году России в число 25 ведущих стран мира по показателю плотности роботизации [1]. Это требование подчеркивает необходимость активного внедрения новых технологий в производственный сектор и создания условий для роста производительности труда. Более того, текущие глобальные вызовы, такие как пандемия COVID-19, экономические санкции и необходимость перехода к устойчивому развитию, требуют от отечественных предприятий адаптации и модернизации производственных процессов.

Целью данной работы является разработка подходов к оценке экономической эффективности автоматизации атомных станций малой мощности.

Объектом исследования выступают атомные станции малой мощности.

Предметом исследования является процесс оценки эффективности внедрения на АСММ автоматизированных систем.

Автоматизация производства – это использование технологий и систем для автоматизации и оптимизации производственных процессов в промышленности. Включает в себя использование машин, компьютеров, роботов, датчиков и другого оборудования для управления, мониторинга и оптимизации производственных процессов. Цель промышленной автоматизации – сделать производственные процессы более эффективными, безопасными, надежными и устойчивыми. Это достигается за счет сокращения ошибок и отходов, улучшения качества продукции, повышения производительности и снижения трудозатрат.

Автоматизация АСММ в первую очередь предназначена для:

- повышения безопасности, сокращения времени и максимального исключения участия человека при выполнении транспортно-технологических, технологических и других операций, традиционно проводимых с участием персонала;
- выполнения манипуляций в защитной оболочке реакторной установки с целью снижения времени вынужденного простоя при обслуживании;
- улучшения технико-экономических показателей, снижения себестоимости генерируемой продукции.

Автоматизация производства осуществляется с помощью сети аппаратных и программных средств, которые взаимодействуют между собой для автоматизации производственных процессов. Датчики и исполнительные механизмы собирают данные о производственной среде и отправляют их на ПЛК (программируемые логические контроллеры), которые на основе этих данных принимают решения о том, как управлять оборудованием. Программное обеспечение SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) предоставляет операторам обзор всей системы и позволяет им быстро реагировать на любые проблемы. Человеко-машинные интерфейсы (HMI – Human Machine Interfaces) позволяют операторам контролировать и управлять системой, а также устранять неполадки.

Прямые и косвенные затраты, подлежащие оптимизации при автоматизации АСММ

Прямые	Косвенные	Внерезультативные
<ul style="list-style-type: none"> - Затраты на материалы и оборудование по генерации электроэнергии, тепла опреснения. - Зарплата, отпускные и премии персонала. - Страховые, пенсионные, медицинские, социальные взносы на фонд оплаты труда. - Амортизация. 	<ul style="list-style-type: none"> - Коммунальные платежи (при наличии). - Оплата труда сотрудников, которые напрямую не участвуют в производстве (бухгалтера, HR и др.) - Обеспечение безопасности труда, снижение травматизма, радиационного заражения. - Дополнительные страховые программы (ДМС). 	<ul style="list-style-type: none"> - Средства индивидуальной защиты, спецодежда. - Судебные расходы. - Неустойки, которые организация выплачивает контрагентам при срывах поставок электроэнергии. - Потери от простоев производства, в том числе при охлаждении реактора при плановой замене топлива.

Источник: разработано авторами.

Основные виды оборудования, применение которого возможно в рамках автоматизации АСММ:

- декартовые роботы;
- пневмоавтоматика;
- техническое зрение;
- коллаборативные роботы;
- промышленные роботы;
- различные виды роверов, в том числе в коллаборации с другими роботизированными технологическими комплексами (РТК).

Данное оборудование может выполнять следующие операции:

- мониторинг окружающей среды;
- мониторинг состояния основного металла и сварных соединений оборудования и трубопроводов первого, второго контуров, энергопреобразовательного, вспомогательных контуров и систем;
- управление запорно-регулирующей арматурой и распределительными клапанами;
- обслуживание, ремонт и замена оборудования и элементов автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП);
- обслуживание, ремонт и замена оборудования и трубопроводов первого, второго контуров, энергопреобразовательного, вспомогательных контуров и систем;
- обращение с высоко- и низкоактивными жидкими и твердыми радиоактивными отходами;
- обращение с топливом при операциях по перегрузке и загрузке;
- физическая охрана периметра и территории площадки;
- транспортирование грузов за пределами охраняемого периметра.

Автоматизация данных операций способна привести к снижению прямых и косвенных затрат (таблица).

В совокупности роботизации АСММ способна принести существенный положительный эффект при строительстве и дальнейшей эксплуатации.

Материалы и методы исследования

Методика анализа экономической эффективности автоматизации является актуальной темой для исследований в области управления производственными процессами. Данная тема была исследована рядом отечественных ученых. Например, в работе Печуриной Е. К. «Эффективность автоматизации на малых предприятиях» рассмотрен упрощенный алгоритм экономического эффекта от внедрения средств автоматизации [2]. В работе Черепашкова А. А. и Самойлова П. А. «Методика оценки эффективности комплексных решений промышленной автоматизации» авторы предлагают систему формализованных показателей, позволяющих проводить анализ и многокритериальный мониторинг [3].

Среди зарубежных авторов выделяются работы Darina Matisková и Ladislav Mura, которые в исследовании «Determining the Economic Effect from Automation in Production» предлагают модель, которая оценивает экономический эффект от автоматизации на основе нескольких ключевых факторов [4]. В другом исследовании «Effects of Automatisation and Digitalisation on Manufacturing Companies' Production Efficiency and Innovation Performance» авторы, Хеннинг Кролл, Джердж Хорват и Анжела Ягер, предлагают концептуальную модель, которая выделяет различные технологии и их воздействия на производственные процессы и инновации [5]. Белорусский ученый Ельсуков В. П. [6] проводил исследование эффективности роботизации на основе

количества заменяемого роботом персонала и иных факторов, что доказало высокую эффективность роботизации, но не включало отраслевых особенностей деятельности предприятий.

Экономические эффекты, связанные с внедрением атомных станций малой мощности, также были рассмотрены в трудах отечественных и зарубежных авторов. В частности Мичурина Д. А. и Семенов Д. Ю. оценивали конкурентоспособность АСММ в контексте расчета и сравнения стоимости генерируемой электроэнергии [7]. Зарубежные авторы в своих исследованиях пришли к выводу о сопоставимости стоимости генерируемой АСММ энергии с традиционными источниками [8], стоит отметить, что такие результаты характерны для тех географических локаций, где стоимость электроэнергии изначально высокая. Нигматулин Б. И. исследовал вопросы снижения капитальных затрат [9]. Киндра В. О., Максимов И. А., Комаров И. И. и др. позитивно оценивают перспективы коммерциализации проектов АСММ и аналогов ввиду высокой потребности в электроэнергии и уникальности характеристик такого ее источника [10].

В зарубежных источниках, в частности в рамках деятельности Агентства по ядерной энергетике, выпускаются аналитические отчеты, отмечающие высокие перспективы развития АСММ, при этом в качестве сдерживающего фактора развития отмечают высокую стоимость сооружения и эксплуатации таких объектов [11]. Важность такого фактора как стоимость эксплуатации отмечается и другими зарубежными учеными [12]. Mignacca В. и Locatelli G. публикуют обширное исследование [13], в котором отмечают в качестве существенного недостатка существующих финансовых расчетов отсутствие учета эксплуатационных расходов и затрат на вывод из эксплуатации объектов генерации.

Несмотря на разнообразие методов и подходов, не хватает комплексного взгляда на экономическую эффективность, который учитывал бы эффект от роботизации в части сооружения, эксплуатации и ликвидации АСММ. В связи с этим, данное исследование будет направлено на разработку более интегрированного подхода к анализу экономической эффективности автоматизации АСММ при ее эксплуатации, что позволит более точно оценить ее влияние на производственные процессы и финансовые результаты.

Методы исследования, использованные в работе, включают анализ и синтез – для изучения теоретических основ и существующих подходов к анализу финансовой эффективности автоматизации, сравнительный анализ – для оценки различных методов финансирования и автоматизации и их влияния на финансовую устойчивость предприятий, экономико-математическое моделирование – для количественной оценки финансовой эффективности автоматизации производства, включая расчет показателей NPV, PI, DPP, IRR. В данном исследовании используются: специальные финансовые методы и методики анализа эффективности инвестиционных проектов, сравнительный анализ расходов.

Результаты исследования и их обсуждение

Главным результатом исследования является разработка методики оценки экономической эффективности автоматизации АСММ и подготовка финансовой модели, поддерживающей возможность оценивать различные вариации положительных и отрицательных денежных потоков, на основе интерпретации результирующих показателей эффективности. Основной концепцией экономического обоснования эффективности автоматизации АСММ является использование метрики и калькулятора скорректированной приведенной стоимости (APV), рассчитанной на основе чистой приведенной стоимости (NPV).

Чистая приведенная стоимость – это сумма стоимости всех будущих денежных потоков (положительных и отрицательных) за весь срок действия инвестиций, дисконтированных к текущему моменту. Несмотря на положительные стороны данной метрики основным ее недостатком считается то, что NPV учитывает только притоки и оттоки денежных средств по конкретному проекту, не учитывая скрытые, невозвратные затраты или другие расходы, связанные с конкретным проектом, в частности экономический эффект влияния налогового щита от понесенных затрат, который будет снижать фактическую стоимость. В связи с этим методика концептуально соответствует подходу APV (Adjusted present value), учитывающему в расчетах налоговый щит от использования заемного финансирования, однако с некоторыми добавлениями и изменениями в контексте

финансовой оценки эффективности автоматизации АСММ.

Методика состоит из следующих блоков:

1. Опросный лист (используется для заполнения первичных данных, необходимых для калькуляции денежных потоков).

2. Структура финансирования (подробные данные по учету метода финансирования проекта).

3. Детализация оценки денежных потоков (подробные данные по оценке денежного потока каждого вида).

4. Денежные потоки (свод положительных и отрицательных денежных потоков в единую систему данных).

5. Результирующие показатели (расчетные данные по показателям NPV, PI, DPP, IRR, включая итоговое заключение об эффективности проекта автоматизации).

Методика намеренно не включает в себя прогнозирование форм бухгалтерской отчетности ввиду высокого уровня неопределенности в отношении лиц, выступающих собственником АСММ и отсутствия явного эффекта от роботизации в части влияния на объем продаж конечного продукта.

Построение стратегии финансирования в данной модели подразумевает возможность использования государственных льгот, учет заемного капитала и лизинга в качестве источника финансирования. Использование кредита предусматривает расчет эффективной процентной ставки для сравнения с условиями кредитования, предоставляемыми банком (на практике к ставке по кредиту, указанной в договоре, добавляются различные виды страхования, гарантий и прочие издержки) в связи с этим для расчета эффективной процентной ставки рассматриваются все платежи.

Отдельно стоит отметить признание в качестве положительного денежного потока – суммы налогового щита от амортизации, связанной с автоматизацией, в том числе льгот по ускоренным и повышающим коэффициентам амортизации, обозначенным в нормативно-правовых актах [14], и процентов к уплате при использовании заемного финансирования и лизинга, НДС к вычету при лизинговых платежах.

В рамках оценки автоматизации АСММ «положительным денежным потоком» является экономия от внедрения автоматизации, среди которых:

- экономия от сокращения выплат заработной платы и взносов штата, заменяемого

автоматизированными системами. Большинство АСММ устанавливается в местах отсутствия традиционного электроснабжения, инфраструктуры, сложных погодных условий, считается опасным в эксплуатации объектом, что влечет за собой повышенные требования к уровню оплаты труда, а значит и повышенную финансовую нагрузку. Кроме того, в составе взносов на фонд оплаты труда присутствует взнос на травматизм, размер которого варьируется в диапазоне от 0,2 до 8,5 процентов в зависимости от класса профессионального риска. Данная зависимость определяется Приказом Минтруда России № 851н [15];

- экономия затрат на «хантинг» – поиск сотрудников, которые готовы работать вахтовым методом в сложных погодных и инфраструктурных условиях является высокозатратным мероприятием;

- экономия затрат на «охрану труда». В соответствии со статьей 225 Трудового кодекса РФ [16] работодатель обязан производить отчисления в размере 0,2 процентов от суммы затрат на производство на финансирование мероприятий по улучшению условий и охраны труда. Соответственно сокращение персонала, задействованного в производственном процессе и других производственных расходов автоматически приведет к снижению суммы таких отчислений;

- снижение времени простоя и затрат на обслуживание уже установленного оборудования. Участие человека в техническом обслуживании АСММ не всегда возможно по причине наличия радиационного излучения в отдельных производственных узлах. Поэтому техническое обслуживание может требовать продолжительного простоя для снижения уровня радиации и обеспечения возможности внесения изменений человеком, автоматизация снизит продолжительность таких простоев, так как роботы, внедряемые в деятельность АСММ, имеют достаточный уровень радиационной защиты;

- затраты на обучение сотрудников. Вахтовый метод работы традиционно обладает высокой текучестью кадров, что доказано целым рядом отечественных исследователей на примере различных отраслей промышленности [17], что формирует серьезные затраты по обеспечению и адаптации пребывающих на вахту сотрудников, а также их замены в случае несоответствия требованиям по занимаемой должности.

Отрицательными денежными потоками признаются затраты на оборудование, монтаж, пуско-наладочные работы, затраты на сервисное и техническое обслуживание, необходимость корректировки штатного расписания с целью внедрения должностей, связанных с эксплуатацией и ремонтат автоматических и роботизированных систем. В рамках автоматизации производства необходимо настроить и произвести само внедрение как производственного оборудования, так и сопутствующих IT продуктов, в связи с этим необходимы затраты на услуги сторонней организации, которая занимается осуществлением системной интеграцией технических решений, и (или) дополнительный найм сотрудников, имеющих соответствующую специализацию, связанные расходы (с учетом хантинга, страховых отчислений и прочего), будут отражаться в качестве отрицательного денежного потока.

Заключение

В ходе работы описана и автоматизирована методика комплексного анализа экономической эффективности автоматизации атомных станций малой мощности АСММ, учитывающая налоговые последствия, оптимизацию «социальных и трудовых» ресурсов предприятия,

структуру затрат и альтернативные методы финансирования.

Полученные результаты можно использовать при оценке экономической эффективности автоматизации АСММ в разрезе отдельных узлов и их совокупности, разработке оптимальных с точки зрения стратегии финансирования и максимизации экономической эффективности сценариев.

В будущем автоматизация предполагает интеграцию с ИИ, что позволит увеличить адаптивность производственных мощностей, снизить зависимость от человеческого фактора, уменьшить себестоимость роботизации.

Исследование подтверждает, что автоматизация является ключевым элементом роста производительности и снижения себестоимости производственных предприятий, в частности предприятий сферы ядерной энергетики. Представленные подходы и направления анализа эффективности, методов финансирования автоматизации способны упростить процесс принятия управленческих решений как для регуляторов, в части определения наиболее эффективных мер стимулирования роботизации, так и для производственного персонала, высшего менеджмента в части определения наиболее перспективных, с точки зрения вложения средств, проектов.

Библиографический список

1. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года». URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202405070015> (дата обращения: 16.02.2026).
2. Печурин Е. К. Эффективность автоматизации на малых предприятиях // *Colloquium-Journal*. 2019. № 3-1(27). С. 41-42. EDN: YXOWDZ.
3. Черепашков А. А., Самойлов П. А. Методика оценки эффективности комплексных решений промышленной автоматизации // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2021. Т. 23, № 3(101). С. 13-17. DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-3-13-17.
4. Matisková D., Mura L. Determining the Economic Effect from Automation in Production. Proceedings – 10th International Conference on Mangement, Enterprise and Benchmarking (MEB 2012), Óbuda University, Keleti Faculty of Business and Management. 2012. URL: <https://ideas.repec.org/h/pkk/meb012/211-222.html> (дата обращения: 16.02.2026).
5. Henning K., Djerdj H., Angela J. Effects of automatisisation and digitalisation on manufacturing companies' production efficiency and innovation performance. Discussion Papers «Innovation Systems and Policy Analysis» 58, Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research (ISI). DOI: 10.24406/publica-fhg-298882.
6. Ельсукон В. П. Влияние роботизации на эффективность и структуру предприятия: оценки на основе моделирования // *Бизнес. Инновации. Экономика: сб. науч. ст.* Минск: Ин-т бизнеса БГУ, 2022. Вып. 6. С. 25–32.
7. Мичурин Д. А., Семенова Д. Ю. Экономическая конкурентоспособность АЭС малой мощности // *Финансы и учетная политика*. 2025. № 1(35). С. 55-64.

8. Asuega A., Limb B. J., Quinn Ja. C. Techno-economic analysis of advanced small modular nuclear reactors // *Applied Energy*. 2023. Vol. 334. P. 120669. DOI: 10.1016/j.apenergy.2023.120669.
9. Нигматулин Б. И. Оценка и оптимизация капитальных затрат АЭС // *Известия Российской академии наук. Энергетика*. 2020. № 2. С. 28-48. DOI: 10.31857/S0002331020020089.
10. Киндра В. О., Максимов И. А., Комаров И. И. и др. Атомные станции малой мощности: технический уровень и перспективы коммерциализации (обзор) // *Теплоэнергетика*. 2024. № 4. С. 5-20. DOI: 10.56304/S0040363624040027.
11. Small modular reactors: challenges and opportunities. 2021. No. 7560. [Электронный ресурс]. URL: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_57979/small-modular-reactors-challenges-and-opportunities?details=true (дата обращения: 16.02.2026).
12. Egieya J. M., Amidu M. A., Hachaichi M. Small modular reactors: An assessment of workforce requirements and operating costs // *Progress in Nuclear Energy*. 2023. Vol. 159. P. 104632. DOI: 10.1016/j.pnucene.2023.104632.
13. Mignacca B., Locatelli G. Economics and finance of Small Modular Reactors: A systematic review and research agenda // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020. Vol. 118. P. 109519. DOI: 10.1016/j.rser.2019.109519.
14. Распоряжение Правительства РФ от 20.07.2023 N 1937-р (ред. от 22.11.2025) «Об утверждении Перечня российского высокотехнологичного оборудования, в отношении которого при формировании первоначальной стоимости основного средства налогоплательщик вправе учитывать указанные расходы с применением коэффициента 2». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_452558/ (дата обращения: 16.02.2026).
15. Приказ Минтруда России от 30.12.2016 N 851н «Об утверждении Классификации видов экономической деятельности по классам профессионального риска». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_211247/ (дата обращения: 16.02.2026).
16. «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 № 197-ФЗ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/ac72247ee2007f6df12028f034524dc13bc88c2e/ (дата обращения: 16.03.2026).
17. Былков В. Г. Адаптация – важнейший детерминант-фактор текучести вахтовых работников // *Экономика труда*. 2021. Т. 8, № 10. С. 1139-1162. DOI: 10.18334/et.8.10.113630.