

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2026-3-204-209>
УДК 621.039.73

ЭКОНОМИКО-ПРАВОВАЯ МОДЕЛЬ ВНЕДРЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС

А.О. Сиябеков*, А.Т. Торгаев

ТОО «Казахстанские атомные электрические станции»

* E-mail для контактов: a.siyabekov@knpp.kz

Разработана экономико-правовая модель принятия управленческого решения о внедрении рекомендательной системы искусственного интеллекта (ИИ) для предиктивной диагностики вращающегося оборудования атомной электростанции (АЭС). Модель объединяет функциональные ограничения, требования к данным, независимой валидации, компьютерной безопасности, человеческому контролю и управлению изменениями с затратами жизненного цикла и инвестиционными показателями проекта. Для оценки фактически реализуемого эффекта предложен интегральный коэффициент, учитывающий качество модели, охват оборудования, доступность данных и использование рекомендаций персоналом. Расчет выполнен для энергоблока с водо-водяным энергетическим реактором электрической мощностью 1200 МВт (ВВЭР-1200) в постоянных ценах 2026 года. В базовом сценарии чистая приведенная стоимость (NPV) проекта составляет 2,648 млн долл. США, внутренняя норма доходности (IRR) – 29,33%, дисконтированный срок окупаемости – 4,90 года. Порог реализованной результативности равен 43,32%. Снижение приведенной стоимости электроэнергии (LCOE) составляет 0,075 долл. США/МВт·ч и характеризует локальный эксплуатационный эффект, а не радикальное изменение конкурентоспособности АЭС. Обосновано поэтапное внедрение с решением о масштабировании только после подтверждения технических, правовых и экономических критериев на данных пилотной эксплуатации.

Ключевые слова: искусственный интеллект, АЭС, ВВЭР-1200, предиктивная диагностика, правовое регулирование, человеческий контроль, NPV, IRR, LCOE.

ВВЕДЕНИЕ

Интеллектуальные системы все шире применяются для обработки эксплуатационных данных, выявления аномалий и поддержки технического обслуживания энергетического оборудования. Для атомной электростанции технологическая полезность алгоритма является необходимым, но недостаточным условием внедрения. Решение владельца должно одновременно учитывать допустимые функциональные границы, последствия ошибочных рекомендаций, качество исходных данных, компьютерную безопасность, ответственность участников, затраты жизненного цикла и подтвержденный экономический эффект. Иначе проект оценивается либо как абстрактная цифровая инициатива, либо как финансовая модель, в которой обязательные требования безопасности ошибочно принимаются за необязательную нагрузку.

Общие принципы применения ИИ в Республике Казахстан определены Законом «Об искусственном интеллекте», который предусматривает риск-ориентированный подход и обязанности участников жизненного цикла системы [1]. На объектах использования атомной энергии эти нормы должны применяться совместно с отраслевым законодательством [2], требованиями к персональным данным и информатизации [3, 4]. Документы Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) рассматривают

внедрение ИИ как управляемый процесс, охватывающий данные, верификацию и валидацию, взаимодействие человека с системой, киберзащиту и управление изменениями [5–8]. Однако в научной литературе правовые требования и инвестиционная эффективность часто анализируются раздельно. В результате отсутствует прозрачный механизм перевода требований в архитектуру, бюджет, сроки и критерии решения владельца АЭС.

Цель исследования – разработать экономико-правовую модель принятия решения о внедрении рекомендательной системы ИИ для предиктивной диагностики вращающегося оборудования условного энергоблока ВВЭР-1200. Научная новизна состоит в совместном учете нормативных ограничений, организационной реализуемости и природного денежного потока, а также во введении порогового показателя фактически реализованной результативности. Практический результат представляет собой набор контрольных условий, при которых проект следует продолжить, доработать, остановить или масштабировать.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом практической оценки является рекомендательная система предиктивной диагностики насосов, электродвигателей, турбинного и вспомогательного оборудования, не относящегося к систе-

мам безопасности. Система получает вибрационные, температурные, акустические и эксплуатационные данные, выявляет признаки развивающихся дефектов и формирует предупреждение специалисту. Она не управляет оборудованием, не изменяет технологические уставки, не выполняет ремонтные действия и не заменяет решение персонала. Окончательное эксплуатационное решение принимает уполномоченный работник, а исходные данные, версия модели, рекомендация, решение и результат проверки регистрируются. Такое ограничение снижает риск передачи алгоритму критических полномочий и формирует проверяемый причинный след.

Методология объединяет системный и сравнительно-правовой анализ, управление жизненным циклом цифровой системы, инвестиционный анализ и сценарное моделирование. Дополнительно использованы результаты авторского опроса 179 респондентов. Опрос имел разведывательный характер и не рассматривается как репрезентативная оценка всей отрасли: 50% участников полностью поддержали внедрение ИИ, еще 35% – при наличии ограничений; 60% назвали неопределенность ответственности основным правовым риском, а 55% поддержали строгий государственный контроль. Эти результаты подтверждают необходимость фиксировать полномочия человека, ответственность и процедуру допуска системы, но не заменяют производственную проверку модели.

Экономическая модель состоит из двух контуров. Первый контур оценивает приведенную стоимость электроэнергии условного энергоблока за жизненный цикл. Второй рассматривает ИИ как самостоятельный приростный проект на горизонте десяти лет. Все денежные показатели представлены в постоянных ценах 2026 года в миллионах долларов США. Инфляция, налоги, кредитное финансирование и проценты не учитываются; используется реальный денежный поток до финансирования и налогообложения. Реальная ставка дисконтирования принята равной 8% для LCOE энергоблока и 12% для проекта ИИ. Исходные значения являются авторским сценарным набором, а не данными конкретной АЭС.

Потенциальный эффект разделен на независимые каналы: предотвращенный простой; снижение стоимости аварийных ремонтов без повторного включения запасных частей и трудозатрат; сокращение расхода запасных частей; оптимизация разрешенных регламентом операций планового обслуживания; уменьшение трудозатрат на диагностику и снижение необоснованных ремонтных воздействий. При оценке простоя используется маржинальный доход, а не полная выручка. Затраты на проверку ложных предупреждений учитываются в OPEX. Предотвращение тяжелой ядерной или радиационной аварии не монетизируется: безопасность выступает обязательным нефинансовым ограничением.

Для связи технических характеристик системы с фактическим производственным результатом введен коэффициент реализованной результативности:

$$P = K \times O \times D \times I \quad (1)$$

где: K – подтвержденное качество диагностической модели; O – доля целевого оборудования, охваченного системой; D – доступность и качество данных; I – фактическое использование обоснованных рекомендаций персоналом.

Мультипликативная форма отражает ограничивающий фактор: высокая точность модели не создает эффекта при недостатке данных, узком охвате или отсутствии действий со стороны персонала. Реализованный эффект определяется как произведение потенциального эффекта, P и коэффициента освоения системы в соответствующем году.

$$CF_t = \text{Эреал}_t - \text{ИИИ}_t - \text{ОИИ}_t - R_t \quad (2)$$

где: CF_t – приростный денежный поток; Эреал_t – подтвержденный эффект; ИИИ_t – первоначальные инвестиции; ОИИ_t – эксплуатационные расходы, включая проверку ложных предупреждений; R_t – повторные инвестиции в обновление инфраструктуры и валидацию.

По потоку рассчитаны NPV, IRR, индекс рентабельности, простой и дисконтированный сроки окупаемости. LCOE после внедрения определяется на той же базе, что и исходный LCOE: затраты и экономия отражаются в числителе, а дополнительная выработка от сокращения простоя – в знаменателе.

ПРАВОВЫЕ ТРЕБОВАНИЯ КАК ПАРАМЕТРЫ ПРОЕКТА

Правовое регулирование не должно ограничиваться проверкой наличия общих положений в договоре. Каждое требование необходимо преобразовать в управленческое действие, документ, ответственного участника, контрольную точку и статью затрат. В инвестиционной модели такие требования отражаются через капитальные затраты (CAPEX) и эксплуатационные расходы (OPEX). В противном случае обязательные мероприятия появляются после разработки модели и вызывают переработку архитектуры, задержку допуска и рост бюджета. Предлагаемая связь требований с инвестиционной моделью представлена в таблице 1.

Наиболее существенное решение – это сохранение рекомендательного режима. Оно не освобождает владельца от проверки системы, но отделяет аналитическую функцию от автоматического управления. Любая рекомендация должна сопровождаться идентификатором модели, исходными данными, уровнем уверенности и объяснением факторов, повлиявших на результат. Работник обязан иметь возможность отклонить рекомендацию с фиксацией основания. Это позволяет анализировать как ошибки алгоритма, так и причины неиспользования корректных предупреждений.

ЭКОНОМИКО-ПРАВОВАЯ МОДЕЛЬ ВНЕДРЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС

Таблица 1. Связь правовых требований с параметрами проекта

Требование	Управленческая реализация	Влияние на проект
Человеческий контроль	Рекомендательный режим; регламент решений; журналирование	Интерфейс, обучение и аудит
Независимая валидация	Программа испытаний; независимый отчет; критерии допуска	CAPEX и сроки
Качество и защита данных	Паспорт данных; контроль полноты; разграничение доступа	Инфраструктура и OPEX
Компьютерная безопасность	Сегментация; контроль обмена; мониторинг	CAPEX, OPEX и срок ввода
Управление изменениями	Реестр версий; оценка воздействия; повторная валидация	Повторные инвестиции
Распределение ответственности	Матрица распределения ответственности (RACI); договорные роли; порядок эскалации	Юридические затраты

Компьютерная безопасность должна проектироваться одновременно с архитектурой данных. Для рассматриваемой функции предпочтительна изолированная или строго сегментированная среда с контролируемым односторонним либо регламентированным обменом, управлением учетными записями, журналированием и проверкой обновлений. Подключение системы к технологическим сетям не может обосновываться удобством интеграции. Рекомендации МАГАТЭ требуют поддерживать компьютерную безопасность в течение всего жизненного цикла и учитывать риски поставщиков, разработчиков и интеграторов [7, 8].

Изменение модели после промышленного ввода рассматривается как изменение конфигурации, а не обычное обновление программного обеспечения. Переобучение на новых данных может изменить чувствительность к дефектам, частоту ложных сигналов и область применимости. Поэтому новая версия проходит оценку воздействия, регрессионные испытания и повторную валидацию в объеме, соответствующем характеру изменения. Эти действия формируют плановые OPEX и повторные инвестиции; предположение о неизменной эксплуатации одной модели в течение десяти лет признано недопустимым.

Результаты экономической оценки

Базовый расчет условного энергоблока выполнен при мощности брутто 1200 МВт, доле собственных нужд 7%, коэффициенте использования установленной мощности (КИУМ) 90%, семилетнем строительстве, 60-летней эксплуатации и капитальных затратах 6,6 млрд долл. США. При реальной ставке 8% LCOE составляет 97,23 долл. США/МВт·ч, из которых 74,55 долл. США/МВт·ч, или 76,67%, приходится на капитальную составляющую. При ставке 5% LCOE снижается до 67,93 долл. США/МВт·ч, а при 10% возрастает до 120,15 долл. США/МВт·ч. Следовательно, влияние стоимости капитала и строительства существенно выше потенциального эффекта локальной диагностической системы.

Для проекта ИИ первоначальные инвестиции составляют 3,20 млн долл. США и распределяются по

первым трем годам в размере 1,20, 1,10 и 0,90 млн долл. США. На шестой год предусмотрены обновление вычислительной инфраструктуры и повторная валидация стоимостью 0,50 млн долл. США. Полный ежегодный OPEX после промышленного ввода равен 0,75 млн долл. США. Освоение эффекта принято равным 0% в первый год, 15% во второй, 50% в третий и 100% с четвертого года.

Потенциальный годовой эффект до применения Р составляет 3,555 млн долл. США: 1,205 млн – предотвращенные потери маржинального дохода при сокращении простоя на 24 часа; 0,900 млн – снижение стоимости аварийных ремонтов; 0,450 млн – экономия запасных частей; 0,550 млн – оптимизация планового обслуживания; 0,250 млн – сокращение трудозатрат диагностики; 0,200 млн – снижение необоснованных ремонтных воздействий. Для базового сценария $K = 0,90$, $O = 0,85$, $D = 0,90$ и $I = 0,87$, поэтому Р составляет 59,90%.

При указанных предпосылках NPV равна 2,648 млн долл. США, IRR – 29,33%, индекс рентабельности – 2,03. Простой срок окупаемости составляет 4,00 года, дисконтированный – 4,90 года от начала проекта. Положительный результат не является доказательством безусловной выгодности технологии: он справедлив только при достижении принятого уровня К, О, Д и И, соблюдении графика допуска и подтверждении независимых каналов экономии. Сопоставление консервативного, базового и оптимистичного сценариев приведено в таблице 2.

Таблица 2. Сценарные результаты проекта ИИ

Сценарий	Р, %	NPV, млн долл. США	IRR, %	Решение владельца
Консервативный	25,59	-4,478	–	Остановить или доработать
Базовый	59,90	2,648	29,33	Ограниченно внедрять при выполнении условий
Оптимистичный	81,45	7,632	68,03	Масштабировать после подтверждения данных

Консервативный сценарий учитывает снижение компонентов P , рост первоначальных и эксплуатационных расходов на 20% и более медленное освоение. Отрицательная NPV показывает, что точность алгоритма или сам факт внедрения не создают экономического эффекта. Оптимистичный сценарий допустимо использовать для масштабирования, но не для утверждения первоначального бюджета до завершения пилота. Базовый сценарий означает ограниченный промышленный ввод с контрольными условиями, а не автоматическое распространение системы на все оборудование.

Чувствительность к ставке дисконтирования умеренна: NPV снижается с 5,041 млн долл. США при 5% до 0,415 млн долл. США при 25%. Значительно сильнее влияет P : при 40% NPV равна –0,530 млн долл. США, при 50% – 1,067 млн долл. США. Точный порог безубыточности составляет 43,32%. Задержка промышленного ввода на один год снижает NPV до 1,011 млн долл. США, на два года – до –0,451 млн долл. США. Следовательно, своевременная валидация и киберприемка имеют не только правовое, но и прямое экономическое значение. Рассчитанные пороговые условия инвестиционного решения приведены в таблице 3.

Таблица 3. Пороговые условия инвестиционного решения

Пороговый показатель	Значение	Управленческое применение
Минимальный P	43,32%	Ниже порога масштабирование запрещается
Минимальный потенциальный эффект	2,571 млн долл. США/год	Проверка достаточности каналов экономии
Минимальный реализованный эффект	1,540 млн долл. США/год	Контроль фактического денежного результата
Минимальное сокращение простоя	4,40 ч/год	При сохранении остальных каналов эффекта
Максимальные первоначальные инвестиции	6,123 млн долл. США	Верхняя граница при неизменных OPEX и P
Максимальный полный OPEX	1,277 млн долл. США/год	Превышение требует пересмотра проекта

Пороговые значения должны использоваться как условия контрольных точек и договора, а не как показатели, которые поставщик подтверждает расчетным заявлением. Денежный эффект признается только при наличии причинной цепочки: предупреждение системы – инженерная проверка – решение уполномоченного работника – выполненное воздействие – подтвержденный результат – финансовая оценка. Экономия, не подтвержденная техническими и финансовыми подразделениями владельца, не включается в расчет масштабирования.

После полного ввода дополнительная годовая выработка вследствие сокращения простоя составляет 16 043 МВт·ч. LCOE снижается с 97,229 до 97,154 долл. США/МВт·ч; абсолютное изменение равно 0,075 долл. США/МВт·ч, относительное – 0,078%. Такой результат следует трактовать как локальное снижение эксплуатационных потерь. Он несопоставим по масштабу с влиянием ставки дисконтирования, капитальных затрат и срока сооружения и не подтверждает тезис о радикальном повышении конкурентоспособности АЭС за счет одной системы ИИ.

ОБСУЖДЕНИЕ И УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Полученные результаты показывают двойственное влияние правовых требований. Независимая валидация, защита данных, сегментация, журналирование, обучение и управление версиями увеличивают CAPEX, OPEX и продолжительность проекта.

Рекомендуемая схема включает последовательные контрольные точки. На этапе обследования утверждаются перечень оборудования, базовая статистика отказов и методика подтверждения эффекта. После подготовки данных модель проверяется на исторических выборках и работает в теновом режиме. Ограниченная опытная эксплуатация начинается только после независимой валидации. Решение о промышленном вводе принимается при отсутствии недопустимых пропущенных дефектов, приемлемой частоте ложных сигналов, P выше 43,32% и положительной прогнозной NPV по фактическим данным. Масштабирование допускается после устойчивого выполнения критериев в нескольких контрольных периодах.

Распределение ответственности должно охватывать владельца, эксплуатирующую организацию, разработчика, интегратора, поставщика оборудования, подразделение технического обслуживания, подразделение информационной безопасности и юридическую службу. Владелец отвечает за инвестиционное решение, утверждение критериев эффективности и контроль полученных выгод; эксплуатирующая организация – за допуск системы и применение рекомендаций в установленных эксплуатационных границах; разработчик – за документированность, воспроизводимость и заявленные характеристики модели; интегратор – за корректность интерфейсов, конфигурации и передачи данных; поставщик оборудования – за достоверность передаваемых параметров и предоставление допустимых диапазонов эксплуатации; подразделение технического обслуживания – за инженерную проверку предупреждений и подтверждение результата выполненных воздействий; подразделение информационной безопасности – за сегментацию, управление доступом, мониторинг и реагирование на инциденты; юридическая служба – за соответствие договоров, обработки данных и распределения ответственности законодательству. Договор не должен

переносить ответственность за эксплуатационное решение на алгоритм или неопределенное «лицо, использующее ИИ».

Ограничением исследования является сценарный характер производственных и стоимостных параметров. Модель не учитывает налоги, финансирование и особенности рынка электроэнергии конкретного владельца. До утверждения инвестиций должны быть уточнены состав оборудования, статистика отказов, длительность простоев, стоимость ремонтных операций, запасных частей и трудозатрат, цена ложных сигналов и маржинальный доход. Авторский опрос также имеет разведывательный характер. Эти ограничения не отменяют результат, поскольку модель предназначена прежде всего для структурирования решения и замены сценарных значений подтвержденными данными предприятия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная экономико-правовая модель переводит требования к ИИ в контролируемые и количественно измеряемые параметры проекта: архитектуру, роли участников, документы, контрольные точки, CAPEX, OPEX, сроки и коэффициент реализованной результативности. Для базового сценария проекта рекомендательной предиктивной диагностики ВВЭР-1200 получены NPV 2,648 млн долл. США, IRR 29,33% и дисконтированный срок окупаемости 4,90 года. Порог Р равен 43,32%, а двухлетняя задержка ввода делает NPV отрицательной.

Практически обоснован поэтапный подход: пилотирование на ограниченном перечне оборудования, независимая валидация, изолированная архитектура, обязательный человеческий контроль и регистрация причинного следа. Масштабирование допустимо только при положительной NPV по фактическим данным, выполнении требований безопасности и киберзащиты и устойчивом превышении пороговой результативности. Ядерная и радиационная безопасность остаются нефинансовыми ограничениями и не используются для искусственного увеличения экономического эффекта.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

1. Закон Республики Казахстан от 17 ноября 2025 года № 230-VIII ЗРК «Об искусственном интеллекте» (с изм. по состоянию на 24.06.2026) // ИПС «Әділет». URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z2500000230>.
2. Закон Республики Казахстан от 12 января 2016 года № 442-V ЗРК «Об использовании атомной энергии» // ИПС «Әділет». URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z1600000442>.
3. Закон Республики Казахстан от 21 мая 2013 года № 94-V «О персональных данных и их защите» // ИПС «Әділет». URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z1300000094>.
4. Закон Республики Казахстан от 24 ноября 2015 года № 418-V ЗРК «Об информатизации» // ИПС «Әділет». URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z1500000418>.
5. International Atomic Energy Agency. Considerations for Deploying Artificial Intelligence Applications in the Nuclear Power Industry. Nuclear Energy Series No. NR-T-1.26. Vienna: IAEA, 2025. DOI: 10.61092/iaea.s6uy-wjt8.
6. International Atomic Energy Agency. Leadership and Management for Safety. Safety Standards Series No. GSR Part 2. Vienna: IAEA, 2016. DOI: 10.61092/iaea.cq1k-j5z3.
7. International Atomic Energy Agency. Computer Security Techniques for Nuclear Facilities. Nuclear Security Series No. 17-T (Rev. 1). Vienna: IAEA, 2021.
8. International Atomic Energy Agency. Computer Security Approaches to Reduce Cyber Risks in the Nuclear Supply Chain. Vienna: IAEA, 2022.
9. ISO 17359:2018. Condition monitoring and diagnostics of machines – General guidelines. URL: <https://www.iso.org/standard/71194.html>.
10. ISO 20816-1:2016. Mechanical vibration – Measurement and evaluation of machine vibration – Part 1: General guidelines. URL: <https://www.iso.org/standard/63180.html>.
11. Jardine A. K. S., Lin D., Banjevic D. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance // Mechanical Systems and Signal Processing. 2006. Vol. 20. P. 1483–1510. DOI: 10.1016/j.ymssp.2005.09.012.
12. Lei Y. et al. Machinery health prognostics: A systematic review from data acquisition to RUL prediction // Mechanical Systems and Signal Processing. 2018. Vol. 104. P. 799–834. DOI: 10.1016/j.ymssp.2017.11.016.
13. OECD Nuclear Energy Agency, International Energy Agency. Projected Costs of Generating Electricity 2020. URL: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_51110/projected-costs-of-generating-electricity-2020-edition.

АЭС ЖАБДЫҒЫНА ТЕХНИКАЛЫҚ ҚЫЗМЕТ КӨРСЕТУДЕ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТІ
ЕНГІЗУДІҢ ЭКОНОМИКАЛЫҚ-ҚҰҚЫҚТЫҚ МОДЕЛІ

А. О. Сиябеков*, А. Т. Торгаев

Қазақстандық атом электр станциялары

** Байланыс үшін e-mail: a.siyabekov@knpp.kz*

Атом электр станциясының (АЭС) айналмалы жабдығын болжамды диагностикалауға арналған жасанды интеллект (ЖИ) негізіндегі ұсынымдық жүйені енгізу жөніндегі басқарушылық шешімнің экономикалық-құқықтық моделі әзірленді. Модель функционалдық шектеулерді, деректерді басқару, тәуелсіз валидация, компьютерлік қауіпсіздік, адам бақылауы және өзгерістерді басқару талаптарын жүйенің өмірлік цикл шығындарымен және инвестициялық көрсеткіштермен байланыстырады. Модель сапасын, жабдықты қамтуды, деректердің қолжетімділігін және персоналдың ұсынымдарды пайдалануын ескеретін іске асырылған нәтижелілік коэффициенті ұсынылды. Есеп электр қуаты 1200 МВт су-сулы энергетикалық реакторы бар шартты энергоблок (ВВЭР-1200) үшін 2026 жылғы тұрақты бағамен орындалды. Базалық сценарийде жобаның таза келтірілген құны (NPV) 2,648 млн долларды, кірістіліктің ішкі нормасы (IRR) 29,33%-ды, дисконтталған өтелу мерзімі 4,90 жылды құрайды. Нәтижеліліктің залалсыздық шегі 43,32%-ға тең. Электр энергиясының келтірілген құнының (LCOE) төмендеуі 0,075 долл./МВт·сағ құрайды және бұл АЭС бәсекеге қабілеттілігінің түбегейлі өзгеруі емес, жергілікті пайдалану әсері ретінде бағаланады. Масштаптау пилоттық пайдалану деректері бойынша техникалық, құқықтық және экономикалық өлшемшарттар расталғаннан кейін ғана жүзеге асырылуы тиіс.

Түйін сөздер: жасанды интеллект, атом электр станциясы, ВВЭР-1200, болжамды диагностика, құқықтық реттеу, адам бақылауы, NPV, IRR, LCOE.

ECONOMIC AND LEGAL MODEL FOR IMPLEMENTING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN
NUCLEAR POWER PLANT EQUIPMENT MAINTENANCE

A. Siyabekov*, A. Torgayev

Kazakhstan Nuclear Power Plants, LLP

** E-mail for contacts: a.siyabekov@knpp.kz*

An economic and legal model is developed to support management decisions on implementing an artificial intelligence (AI)-based advisory system for predictive diagnostics of rotating equipment at a nuclear power plant (NPP). The model links functional boundaries, data governance, independent validation, computer security, human oversight and change management requirements with life-cycle costs and investment indicators. An integrated realized-performance coefficient is proposed to account for model quality, equipment coverage, data availability and personnel use of recommendations. The assessment is performed for a hypothetical water-water energetic reactor unit rated at 1200 MWe (VVER-1200) in constant 2026 prices. In the baseline scenario, the project's net present value (NPV) is USD 2.648 million, its internal rate of return (IRR) is 29.33%, and the discounted payback period is 4.90 years. The break-even realized-performance coefficient is 43.32%. The reduction in the levelized cost of electricity (LCOE) is USD 0.075/MWh and should be interpreted as a localised operational effect rather than a radical improvement in NPP competitiveness. A staged implementation approach is justified, with scaling allowed only after technical, legal, and economic criteria have been confirmed using pilot-operation data.

Keywords: artificial intelligence, nuclear power plant, VVER-1200, predictive diagnostics, legal regulation, human oversight, NPV, IRR, LCOE.