

УДК 338.268

ББК 65.05

### Елена Юрьевна СМЕРНОВА

Кандидат экономических наук, доцент

Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ

(Санкт-Петербург)

E-mail: smirnova-ely@ranepa.ru

### Богдан Андреевич СОКОЛ

Студент 4-го курса бакалавриата по направлению «бизнес-информатика»

Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ

(Санкт-Петербург)

E-mail: bsokol-20@edu.ranepa.ru

### Elena SMIRNOVA

Ph. D. in Economics, Associate Professor

Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration

(St. Petersburg)

E-mail: smirnova-ely@ranepa.ru

### Bogdan SOKOL

4th Year Undergraduate Student in Business Informatics

Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration

(St. Petersburg)

E-mail: bsokol-20@edu.ranepa.ru

## ОПТИМИЗАЦИЯ МОМЕНТА ЗАМЕНЫ ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ДИНАМИКИ ОПЕРАЦИОННОЙ ОКУПАЕМОСТИ

*Инвестиционный контроллинг на полном жизненном цикле реализованных проектов рассматривается как первичный источник данных для решения задач последовательной оптимизации сроков замены оборудования на основе динамики операционной окупаемости вложений. Для управления инвестиционной деятельностью предлагается постановка задач динамического программирования с сепарабельными функциями полезности, в качестве которых используются чистая промежуточная стоимость денежного потока проекта и среднегодовой индекс рентабельности инвестиций, регулярно переоцениваемые в процессе мониторинга операционной окупаемости вложений. Дополнительно к финансовым критериям целесообразно учитывать данные об отказах и технические показатели надежности оборудования, собираемые в режиме реального времени.*

**Ключевые слова:** задача замены оборудования, дисконтированный денежный поток, чистая промежуточная стоимость, срок окупаемости, среднегодовой индекс рентабельности, динамическое программирование, полный жизненный цикл, контроллинг инвестиций.

## OPTIMIZATION OF EQUIPMENT REPLACEMENT PERIOD BASED ON OPERATIONAL PAYBACK DYNAMICS

*Investment controlling on the full life cycle of previously implemented projects is considered as a primary data source for solving the problems of sequential optimization of the time of equipment replacement based on the operational payback dynamics. To manage investment activity, it is proposed to set dynamic programming problems with separable utility functions, which are net intermediate value of cash flow and average profitability index, which are regularly revalued at the date of monitoring. In addition to the financial decision criteria, it is reasonable to take into account failure data and technical indicators of equipment reliability collected in real time mode.*

**Keywords:** equipment replacement problem, discounted cash flow, net interim value, average profitability index, payback period, dynamic programming, full life cycle, capex controlling

Инвестиционная активность российских предприятий в 2023 году показала рост, который во многом оказался обусловленным увеличением стоимости приобретения машин и оборудования, подорожавших из-за санкций и ослабления рубля. При этом значительная часть проектов была продолжением реализации после приостановки в 2022 году на фоне геополитических изменений, сопровождающихся макроэкономической нестабильностью. Отрасли российской промышленности, на продукцию которых вырос внутренний спрос, работают с высоким уровнем загрузки производственных мощностей, но при этом их обеспеченность современным оборудованием не превышает 50%<sup>1</sup>. Известно<sup>2</sup>, что для большинства видов оборудования производительность с возрастом снижается, а операционные затраты увеличиваются.

<sup>1</sup> Карлова Д., Пузанова Е. Инвестиционная активность в промышленности в 2023 году: результаты опроса предприятий. Аналитическая записка / Центральный Банк Российской Федерации. Январь 2024. [https://www.cbr.ru/content/document/file/158056/analytic\\_note\\_20240109\\_dir.pdf](https://www.cbr.ru/content/document/file/158056/analytic_note_20240109_dir.pdf) (дата обращения: 02.02.2024).

<sup>2</sup> Смоляк С.А. О вероятностных моделях для оценки остаточного срока службы и износа машин и оборудования // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2017. №2 (185). <https://cyberleninka.ru/article/n/o-veroyatnostnyh-modelyah-dlya-otsenki-ostatocznogo-sroka-sluzhby-i-iznosa-mashin-i-oborudovaniya> (дата обращения: 02.02.2024).

В современных условиях достоверное плановое обоснование проекта замены оборудования затруднено с точки зрения получения информации о его полной стоимости (с учетом волатильности эксплуатационных затрат и цены денег в экономике), технической надежности и ожидаемом сроке службы. Эти параметры существенны для оценки элементов денежного потока, лежащего в основе анализа финансовой модели проекта и принятия решения об инвестициях. Для оценки альтернативного варианта продолжения эксплуатации (и поддерживающего ремонта) имеющегося оборудования также необходим анализ динамики значений показателей, определяющих фактическую окупаемость вложений на операционной стадии. Контроллинг эффективности реализованных инвестиций в приобретение оборудования на этапе его эксплуатации возможен при высоком уровне цифровой зрелости управления компанией, когда доступны информационные и управленческие технологии, позволяющие вести «учет всего»<sup>1</sup>. Речь идет о регулярной корректировке плановых финансовых моделей проектов по актуальным данным, переоценке денежных потоков и значений критериев окупаемости.

Исходная финансовая модель, которая неизбежно устарела еще в момент утверждения, тогда приобретает динамическую версию и становится цифровым двойником проекта, на основе актуальных данных транслирующим на панель управления (дашборд на дату мониторинга) ключевые метрики окупаемости и индикаторы технической надежности для выбора варианта продолжения эксплуатации или замены оборудования.

Однако классические критерии эффективности NPV и IRR, по которым принимается первоначальное инвестиционное решение, не всегда<sup>2</sup> допускают корректное сопоставление двух альтернативных проектов (новое дорогое оборудование с большим сроком службы или старое), различающихся по сроку денежного потока и объему вложений. Для мониторинга операционной окупаемости в цифровой контроллинге полного жизненного цикла мы предлагаем (см. табл. 1)<sup>3</sup> использовать новые критерии абсолютной и относительной эффективности по фактическому денежному потоку проекта на отчетную дату: это оцениваемая по формуле терминальной стоимости чистая промежуточная стоимость (Net Interim Value, NIV) и среднегодовой индекс рентабельности (Average Profitability Index, API). При этом расчет значений критериев NIV и API производится за неполный срок, только на горизонте известных фактических данных.

**Табл. 1. Метрики операционной окупаемости инвестиционных проектов**

	Для одного проекта	Для инвестпрограммы
Абсолютная	Чистая промежуточная стоимость (NIV, Net Interim Value)	Общая чистая промежуточная стоимость (TNIV, Total Net Interim Value)
Относительная	Среднегодовой индекс рентабельности (API, Average Profitability Index)	Сводный среднегодовой промежуточный индекс рентабельности (WAPI, Weighted Average Profitability Index)

Внутренней логике рабочего процесса контроллинга, разделяющего график денежного потока инвестиционного проекта на фазы «как есть» и «как будет» соответствует идея последовательной оптимизации (динамическое программирование<sup>4</sup>): для решения текущей задачи с учетом новых показателей отчетного периода используются предвычисления, выполненные на предшествующем шаге для подзадачи меньшей размерности. Оптимизируемым критерием при этом может выступать либо аддитивная функция NIV, либо мультипликативная API (с момента прохождения точки инвестиционной безубыточности, NPV>0). Накопление базы данных мониторинга операционной окупаемости формирует информационно-аналитическую основу для оценки ранее реализованных проектов и создает ряды исторических значений на входе процедур предиктивной аналитики. Эти данные являются необходимой и определяющей результаты расчетов информацией практически для всех известных методических подходов к решению задачи выбора наилучшего момента замены оборудования (см. табл. 2)<sup>5</sup>.

**Табл. 2. Классификация методических подходов к решению задачи выбора оптимального момента замены оборудования**

Категория	Описание	Основные методы	Теоретический вклад
Визуализация сети (оптимизация на графах)	Задается рекуррентная формула перехода между периодами для оценки изменения показателей при альтернативных состояниях актива (удержание/замена)	Динамическое программирование в условиях определенности или стохастическое, целочисленное или смешанное	Ясная логическая структура, которая легко адаптируется к математическим методам оптимального планирования, допускающим выбор наилучшего момента замены оборудования в дискретном времени
Многокритериальный анализ	Модели принятия решений на основе двух или более критериев, влияющих на операционный денежный поток (затраты, надежность, время между отказами оборудования). Предельные значения и веса по каждому критерию задаются руководителями или экспертами	Метод сортировки предпочтений PROMETHEE; анализ иерархии процессов	Увеличение числа критериев принятия решений, минимизация затрат не является единственной целью. Можно выбрать общее оптимальное решение, которое не будет самым лучшим с точки зрения единственного критерия.

<sup>1</sup> Пятков М.Л., Хоружий Л.И. Постучит и metabухгалтеры. Станет ли бухгалтерия профессией будущего? Есть ли бухгалтеры в нашем вероятном «завтра»? Что ждет бухгалтерский учет в 2099 году? М.: Институт профессиональных бухгалтеров и аудиторов России, 2023.

<sup>2</sup> Коган А.Б. Метод определения оптимального момента замены используемого оборудования // Journal of Corporate Finance Research / Корпоративные финансы. 2013. Т.3 (27). С.73-84. <https://doi.org/10.17323/jcfr.2073-0438.7.3.2013.71-82>.

<sup>3</sup> Смирнова Е.Ю. Метрики эффективности для мониторинга инвестиций на полном жизненном цикле // Ученые записки МБИ. 2021. №1 (35). С.118-128. [https://ibispb.ru/docs/science/scientific-publication/scientific-notes-of-mbi/releases/sn35\\_2021.pdf](https://ibispb.ru/docs/science/scientific-publication/scientific-notes-of-mbi/releases/sn35_2021.pdf) (дата обращения: 02.02.2024).

<sup>4</sup> Zhang Y. A survey of dynamic programming algorithms // Proceedings of the 2023 International Conference on Machine Learning and Automation / Applied and Computational Engineering. 2024. Vol. 35. P.183-189. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/35/20230392>.

<sup>5</sup> Abensur E.O., Santos B.P., Bandeira A.A. Optimization models as applied to equipment replacement problems: Gestão & Produção. 2023. Vol.30. e4022. <https://doi.org/1590/1806-9649-2023v30e4022>.

Имитационное моделирование	Оцениваются параметры, влияющие на величину элементов денежного потока (первоначальная стоимость оборудования, операционные расходы, рыночная стоимость и ставку дисконтирования)	Монте-Карло, метаэвристические методы (например, генетические алгоритмы)	Параметры денежного потока в задаче замены оборудования выступают как случайные переменные
Реальные опционы	Определяется опцион на покупку или продажу оборудования через стохастический анализ с участием таких параметров, как операционные затраты, остаточная стоимость и денежный поток	Геометрическое броуновское движение	Параметры денежного потока в задаче замены оборудования выступают как случайные переменные
Непрерывные функции	Издержки (эксплуатационные расходы, амортизация, капитальные вложения и рыночная стоимость оборудования) моделируются через математические функции	Дифференциальное исчисление	Выбирается оптимальный момент замены в непрерывном времени и определяются активы, которые не требуют замены благодаря отсутствию экстремальной точки у функций издержек
Нечеткая логика	Издержки (капитальные вложения, операционные расходы и остаточная стоимость) переводятся в нечеткие числа, размытость которых ограничена правилом формирования	Треугольные нечеткие числа	Параметры денежного потока в задаче замены оборудования подвержены неопределенности
Машинное обучение	Управление в конкретной ситуации зависит от актуальных значений данных, правила принятия решений обновляются на основе истории данных	Статистическая регрессия (нейронные сети, деревья решений, случайный лес, метод опорных векторов, наивный Байесовский классификатор)	Предиктивные приложения управления техобслуживанием: для оценки оставшегося срока службы критических компонент используются собираемые онлайн данные

Переход к управлению компанией на основе данных, интегрированных в бизнес-процессы, в первую очередь требует упорядочения и регламентации процедур сбора структурированной исходной информации и разработки методик ее цифровой аналитической обработки. В качестве примера мы предложили новые метрики эффективности инвестиций в контроллинге полного жизненного цикла на основе результатов мониторинга операционной окупаемости. Перспективным направлением для дальнейших исследований мы считаем многокритериальную задачу выбора оптимального момента замены оборудования с использованием отраслевой экспертной информации для установления приоритетности показателей окупаемости вложений либо технических показателей надежности. Модели машинного обучения с использованием данных интернета вещей уже сейчас применяются для диагностики технических параметров оборудования, влияющих на ожидаемый остаточный срок службы. Также не является фантастикой оценка уровня операционной окупаемости инвестиций по актуальным данным интегрированного управленческого учета доходов и расходов в по-проектной детализации, поэтому можно ожидать<sup>1</sup> активной цифровой трансформации российских компаний и в сфере принятия инвестиционных решений.

## Список литературы

1. Карлова Д., Пузанова Е. Инвестиционная активность в промышленности в 2023 году: результаты опроса предприятий. Аналитическая записка / Банк России. 2024. [https://www.cbr.ru/content/document/file/158056/analytic\\_note\\_20240109\\_dip.pdf](https://www.cbr.ru/content/document/file/158056/analytic_note_20240109_dip.pdf) (дата обращения: 02.02.2024).
2. Смоляк С.А. О вероятностных моделях для оценки остаточного срока службы и износа машин и оборудования // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2017. №2 (185). <https://cyberleninka.ru/article/n/o-veroyatnostnyh-modelyah-dlya-otsenki-ostatocznogo-sroka-sluzhby-i-iznosa-mashin-i-oborudovaniya> (дата обращения: 02.02.2024).
3. Пятов М.Л., Хоружий Л.И. Постучет и metabухгалтеры. Станет ли бухгалтерия профессией будущего? Есть ли бухгалтеры в нашем вероятном «завтра»? Что ждет бухгалтерский учет в 2099 году? М.: Институт профессиональных бухгалтеров и аудиторов России, 2023.
4. Коган А.Б. Метод определения оптимального момента замены используемого оборудования // Journal of Corporate Finance Research / Корпоративные финансы. 2013. Т.3 (27). С.73-84. <https://doi.org/10.17323/jjcf.2073-0438.7.3.2013.71-82>.
5. Смирнова Е.Ю. Метрики эффективности для мониторинга инвестиций на полном жизненном цикле // Ученые записки Международного банковского института. 2021. №1(35). С.118-128. [https://ibispb.ru/docs/science/scientific-publication/scientific-notes-of-mbi/releases/sn35\\_2021.pdf](https://ibispb.ru/docs/science/scientific-publication/scientific-notes-of-mbi/releases/sn35_2021.pdf) (дата обращения: 02.02.2024).
6. Zhang Y. A survey of dynamic programming algorithms // Proceedings of the 2023 International Conference on Machine Learning and Automation / Applied and Computational Engineering. 2024. Vol. 35. P.183-189. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/35/20230392>.
7. Abensur E.O., Santos B.P., Bandeira A.A. Optimization models as applied to equipment replacement problems: Gestão & Produção. 2023. Vol.30. e4022. <https://doi.org/1590/1806-9649-2023v30e4022>.

<sup>1</sup> Участники Комитета РУССОФТ по искусственному интеллекту представили решения для инвестиционных процессов // RUSSOFT. 01.02.2024. <https://russoft.org/news/uchastniki-komiteta-russoft-po-ii-predstavili-resheniya-dlya-investitsionnyh-protsessov> (дата обращения: 02.02.2024).