

УДК 330.4

DOI: 10.34670/AR.2026.99.68.084

**Разработка математической модели оценки экономической
целесообразности цифровой трансформации инженерных
процессов на производственных предприятиях**

Рябоконе́ Елизавета Романовна

Студент,
Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет),
105005, Российская Федерация, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1;
e-mail: ryabokoner@student.bmstu.ru

Канафьева Екатерина Сергеевна

Студент,
Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет),
105005, Российская Федерация, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1;
e-mail: kat04kan08katia@gmail.com

Сененков Дмитрий Вадимович

Студент,
Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет),
105005, Российская Федерация, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1;
e-mail: senenkovdmitrij5@gmail.com

Федотова Елена Станиславовна

Студент,
Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет),
105005, Российская Федерация, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1;
e-mail: helen.fedotovaa@mail.ru

Николаев Иван Андреевич

Студент,
Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет),
105005, Российская Федерация, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1;
e-mail: nikivanabdr@mail.ru

Аннотация

Экономическая отдача от цифровизации инженерных процессов на машиностроительных и иных дискретных производствах долгое время оценивалась по агрегированным индикаторам зрелости (уровень автоматизации, доля цифровых моделей, охват PLM-системами), слабо связанным с денежными потоками конкретного проекта и не позволяющим объективно оценить финансовую эффективность инвестиций. Отсюда расхождение: предприятие фиксирует рост цифровой зрелости (внедрение CAD/CAE/CAM-систем, цифровых двойников, систем управления требованиями), но не может ответить на вопрос, окупается ли вложение в сквозную инженерную среду при ставке дисконтирования, привязанной к ключевой ставке 14,5%, что создаёт риски принятия необоснованных управленческих решений и недофинансирования или перефинансирования проектов. Цель работы – построить математическую модель, переводящую разнородные эффекты цифровой трансформации проектно-конструкторского контура в сопоставимые дисконтированные величины и формирующую объективный критерий целесообразности инвестиций. Предложена авторская модель, в которой интегральный эффект раскладывается на четыре ключевых компонента: сокращение трудозатрат на проектирование (ускорение расчётов и выпуска документации), снижение издержек переделок и исправления ошибок на поздних стадиях, ускорение цикла разработки и вывода новых изделий на рынок, а также экономия материальных и энергетических ресурсов за счёт оптимизации конструкций; при этом постепенность отдачи описана логистической кривой освоения (S-образная кривая накопления эффекта в зависимости от времени внедрения и уровня адаптации персонала); риск результата оценён методом Монте-Карло на 10 000 итераций с учётом вариативности ключевых параметров. На модельном предприятии с выручкой порядка 4,8 млрд руб. при горизонте планирования шесть лет чистый дисконтированный доход (NPV) составил 16,85 млн руб., индекс доходности (PI) – 1,18, внутренняя норма доходности (IRR) – 27,4%, дисконтированный срок окупаемости (DPP) – 5,2 года; вероятность получения положительного результата – 0,71, что указывает на целесообразность инвестиций при приемлемом уровне риска. Эластичность чистого дисконтированного дохода по ставке дисконтирования около минус 4,5 указывает на хрупкость решения в зоне высоких ставок, что необходимо учитывать при изменении макроэкономической ситуации. Модель применима как инструмент предынвестиционного отбора проектов цифровизации инженерных процессов, позволяя предприятиям обоснованно принимать решения о целесообразности внедрения PLM-систем и цифровых сред проектирования.

Для цитирования в научных исследованиях

Рябokonь Е.Р., Канафьева Е.С., Сененков Д.В., Федотова Е.С., Николаев И.А. Разработка математической модели оценки экономической целесообразности цифровой трансформации инженерных процессов на производственных предприятиях // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2026. Том 16. № 6А. С. 921-931. DOI: 10.34670/AR.2026.99.68.084

Ключевые слова

Цифровая трансформация, инженерные процессы, экономическая целесообразность, чистый дисконтированный доход, математическая модель, ставка дисконтирования, имитационное моделирование, производственное предприятие.

Введение

Промышленные предприятия дискретного типа за последние годы накопили внушительный портфель цифровых инициатив в инженерном контуре – от сквозного проектирования в среде PLM до расчётных цифровых двойников изделий и оснастки. Отдача от этих вложений, однако, фиксируется преимущественно через индексы цифровой зрелости и качественные шкалы готовности. Денежного измерения за ними чаще всего нет. Сопоставимую межотраслевую картину готовности дают методические подходы Т. В. Кокуйцевой и О. П. Овчинниковой [Кокуйцева, Овчинникова, 2021], но к вопросу о возврате конкретного рубля, вложенного в инженерную цифровизацию, такие шкалы прямого отношения не имеют.

Расхождение между ростом цифровой зрелости и неочевидностью денежного результата – узел, вокруг которого складывается основная дискуссия. И. В. Абрамов [Абрамов, 2023] выстраивает концептуальную модель трансформации производственного предприятия, удерживая её на уровне структурных связей и не доводя до денежных потоков; А. С. Ваулин [Ваулин, 2023] идёт от обратного – от кейса машиностроительного предприятия с конкретными суммами эффекта цифровой интеграции, – однако переносимость единичного кейса на класс проектов остаётся под вопросом. Между двумя полюсами, абстрактной схемой и единичным наблюдением, и располагается слабо заполненная зона: расчётный инструмент, который работал бы на типовом проекте и одновременно опирался на финансовую логику дисконтирования.

Математическое моделирование цифровизации экономических систем, развиваемое Е. Н. Евдокимовой и соавторами [Бабкин, Ташкинов, 2024], и экономико-математическая модель технологического процесса, предложенная П. В. Овчинниковым с коллегами [Бабкин, Ташкинов, 2024], описывают динамику процесса, но критерий принятия инвестиционного решения в них не формализован. Инженерный контур при этом обладает своей спецификой. Эффект распределён во времени неравномерно и проявляется с запаздыванием: первый год после внедрения сквозной среды редко приносит сколько-нибудь заметную экономию, тогда как основной приток – на третий-четвёртый годы, когда конструкторские подразделения перестраивают рутину под новую среду.

Цель работы – формализовать оценку экономической целесообразности цифровой трансформации инженерных процессов в виде математической модели, сводящей разнородные эффекты к дисконтированным денежным величинам и дающей однозначный критерий отбора проекта. Логика построения подчинена этой цели: сначала раскладывается совокупный эффект, затем задаётся кривая его освоения во времени, после чего всё сворачивается в чистый дисконтированный доход и индекс доходности при ставке, собранной от ключевой.

Материалы и методы исследования

Расчётным ядром служит модель дисконтированных денежных потоков, дополненная факторным разложением совокупного эффекта по схеме прямого суммирования компонент и логистической кривой освоения, описывающей запаздывание отдачи. Ставка дисконтирования собрана кумулятивным методом: безрисковая база принята на уровне ключевой ставки Банка России 14,5% (решение Совета директоров от 24 апреля 2026 г.), к ней добавлены премии за технологическую новизну, интеграционно-организационный риск и риск масштабирования. Риск результата оценён методом Монте-Карло – 10 000 итераций при одновременном

варьировании четырёх ключевых параметров. Чувствительность измерена через эластичность чистого дисконтированного дохода, отклонения по факторам разнесены методом цепных подстановок.

Макроэкономический контур задан по официальным данным: ключевая ставка 14,5%, годовая инфляция, по данным Росстата, 5,58% (апрель 2026 г.) – эти значения формируют базу ставки и индексацию текущих затрат. Параметры модельного предприятия – дискретное машиностроительное производство с годовой выручкой порядка 4,8 млрд руб. и проектно-конструкторским подразделением численностью около 180 специалистов – заданы как непротиворечивый расчётный пример и помечены как авторские. Горизонт оценки – шесть лет, с 2026 по 2031 г. Все денежные величины приведены в постоянных ценах 2026 г.

Результаты и обсуждение

Экономическая целесообразность проекта цифровизации инженерного контура определяется в модели через чистый дисконтированный доход, индекс доходности и дисконтированный срок окупаемости, рассчитанные на едином денежном основании. Базовое соотношение задаётся выражением

$$NPV = -C_0 + \sum (E_t - O_t) / (1 + r)^t, \quad t = 1 \dots T, \quad (1)$$

где C_0 – единовременные затраты, E_t – совокупный годовой эффект, O_t – текущие затраты на сопровождение цифровой среды, r – ставка дисконтирования, T – горизонт оценки. Главная трудность – корректно собрать E_t . Эффект цифровизации проектно-конструкторских процессов разнороден, и сведение его к одному показателю огрубляет картину; поэтому совокупный эффект разложен на четыре составляющие:

$$E_{\max} = \Delta L + \Delta D + \Delta V + \Delta M, \quad (2)$$

где ΔL – сокращение трудозатрат на рутинные проектные операции и выпуск документации, ΔD – снижение издержек переделок и инженерных изменений, ΔV – стоимостная оценка ускорения цикла разработки, ΔM – экономия материалов и ресурсов за счёт оптимизационного и имитационного проектирования. Методически такое разложение близко к подходу Ю. В. Романовой [Бабкин, Ташкинов, 2024], где экономический эффект цифровой трансформации организационно-экономического механизма машиностроительного предприятия раскладывается на сопоставимые по природе слагаемые, а не оценивается «в целом».

Отдача нарастает не сразу. Перестройка инженерной рутины занимает время, навыки осваиваются постепенно, и кривая эффекта в первые годы заметно положе линейной. Запаздывание описано логистической функцией освоения

$$\kappa(t) = 1 / (1 + e^{(-a(t - t_0))}), \quad (3)$$

так что $E_t = \kappa(t) \cdot E_{\max}$. Параметры кривой приняты на уровне $t_0 = 2,2$ года и $a = 1,1$, что даёт коэффициент освоения 0,21 в первый год и 0,97 к шестому. Критерий целесообразности замыкается индексом доходности

$$PI = [\sum (E_t - O_t) / (1 + r)^t] / C_0; \quad (4)$$

проект признаётся целесообразным при одновременном выполнении условий $NPV > 0$ и $PI > 1$. Ставка дисконтирования собрана кумулятивно:

$$r = r_f + g_1 + g_2 + g_3, \quad (5)$$

где $r_f = 14,5\%$ – ключевая ставка Банка России, $g_1 = 3,5\%$ – премия за технологическую новизну, $g_2 = 2,5\%$ – интеграционно-организационный риск, $g_3 = 1,8\%$ – риск масштабирования. Близкую логику кумулятивной сборки ставки для проектов высокотехнологичной промышленности применяют Д. К. Щеглов и соавторы [Бабкин, Ташкинов, 2024]; итоговое значение составило 22,3%.

Структура затрат отделяет единовременные вложения от регулярного сопровождения. Распределение между лицензиями, оборудованием, интеграцией и обучением выстроено так, чтобы воспроизвести типичную для инженерных проектов диспропорцию: основная масса единовременных затрат приходится не на «железо», а на лицензии и сшивку систем (табл. 1).

Таблица 1 - Структура единовременных и текущих затрат на цифровую трансформацию инженерных процессов модельного предприятия, млн руб.

Статья затрат	Единовременные затраты (C_0)	Текущие затраты, год (O_t , базовый)
Лицензии PLM/CAD/CAE и среда цифровых двойников	47,3	9,5
Серверная и сетевая инфраструктура	18,6	–
Интеграция, миграция данных, кастомизация	22,4	–
Обучение и сопровождение изменений	6,8	–
Сопровождение и техническая поддержка	–	3,4
Дополнительный персонал сопровождения	–	1,8
Итого	95,1	14,7

Источник: составлено авторами по модельным данным.

Доля интеграции и миграции данных – 23,6% единовременных затрат – почти сравнялась с лицензионной частью. Это устойчивая черта инженерной цифровизации: сцепка PLM с конструкторскими и расчётными системами, выверка справочников и перенос накопленного электронного архива стоят дорого и редко укладываются в смету первой оценки. Серверная инфраструктура, напротив, заняла менее пятой части – расчётные мощности отчасти арендованы. На регулярное сопровождение уходит 14,7 млн руб. в год, и здесь доминирует поддержка лицензий.

Близкую логику разнесения затрат в моделях окупаемости инвестиций в цифровизацию и автоматизацию производственных мощностей фиксирует И. В. Забайкина [Бабкин, Ташкинов, 2024]: основной вес несут не капитальные, а сопроводительные и интеграционные статьи. Из этого следует практический вывод – недооценка интеграционных работ на стадии бюджетирования сдвигает точку окупаемости вправо сильнее, чем удорожание самих лицензий.

Денежные потоки проекта развёрнуты на шесть лет. Эффект E_t нарастает по логистической кривой, текущие затраты индексируются вблизи инфляционного ориентира, а в третий год запланирована доустановка расчётных модулей – единовременное приращение текущих затрат до 21,8 млн руб. Из-за этого чистый поток третьего года проседает относительно гладкой траектории, что осознанно внесено в расчёт (табл. 2).

Таблица 2 - Прогноз денежных потоков и расчёт чистого дисконтированного дохода проекта (ставка дисконтирования 22,3%), млн руб.

Год	Эффект E_t	Текущие затраты O_t	Чистый поток	Коэффициент дисконтирования	Дисконтированный поток	Накопленный поток
0	—	—	–95,10	1,000	–95,10	–95,10
1	18,67	14,70	3,97	0,818	3,25	–91,85
2	39,12	15,10	24,02	0,669	16,06	–75,79
3	60,45	21,80	38,65	0,547	21,13	–54,66
4	75,57	16,00	59,57	0,447	26,63	–28,03
5	82,68	16,50	66,18	0,366	24,19	–3,84
6	86,23	17,00	69,23	0,299	20,69	16,85
NPV	—	—	—	—	—	16,85

Источник: расчёты авторов.

Накопленный дисконтированный поток выходит в положительную зону между пятым и шестым годом – дисконтированный срок окупаемости 5,2 года. Запас по сравнению с горизонтом невелик, едва ли не критичен. Чистый дисконтированный доход – 16,85 млн руб., индекс доходности 1,18, внутренняя норма доходности 27,4%, что превышает принятую ставку на 5,1 п.п. Формально оба условия критерия выполнены; проект целесообразен, но с тонким запасом прочности.

Провал третьего года заслуживает отдельного слова. Доустановка расчётных модулей приходится на фазу, когда коэффициент освоения только перевалил за половину, и единовременное удорожание сопровождения временно гасит ещё не набравший силу эффект. Для проектов цифровизации в проектировании промышленных объектов А. В. Осипенко [Осипенко, 2025] отмечает схожий по порядку срок выхода на окупаемость; этапность же развёртывания, при которой нагрузка и отдача расходятся по годам, подробно разобрана у А. В. Бабкина и А. Г. Ташкинова [Бабкин, Ташкинов, 2024]. Сдвигать дорогостоящие доработки на год освоения, когда отдача ещё слаба, – решение спорное.

Положительный чистый дисконтированный доход при базовых параметрах ещё не означает устойчивости решения. Малый абсолютный размер NPV относительно объёма вложений делает результат чувствительным к допущениям, и проверить его на прочность важнее, чем просто констатировать знак «плюс». Имитационная оценка системы управления знаниями и производственными бизнес-процессами, выполненная С. В. Пономарёвой и И. Р. Винокур [Пономарева, Винокур, 2025], показывает тот же эффект – разброс итогового показателя оказывается шире, чем подсказывает точечный расчёт. Сходную осторожность в трактовке ресурсной экономии от внедрения цифровых моделей в производственные процессы проявляет В. Б. Фролова [Фролова, 2025].

Метод Монте-Карло прогнан на 10 000 итераций при варьировании совокупного эффекта, ставки, единовременных затрат и скорости освоения; параллельно рассчитаны эластичности и стресс-сценарии (табл. 3).

Таблица 3 - Результаты анализа чувствительности и имитационного моделирования (Монте-Карло, 10 000 итераций)

Параметр / сценарий	Базовое значение	Эластичность NPV	NPV в стресс-сценарии, млн руб.
Ставка дисконтирования r	22,3%	–4,5	при $r = 26\%$: 4,30
Совокупный эффект $E_{\max}$	88,9 млн руб./год	+9,7	при -20% : –15,95

Параметр / сценарий	Базовое значение	Эластичность NPV	NPV в стресс-сценарии, млн руб.
Единовременные затраты C_0	95,1 млн руб.	–5,6	при +15%: 2,59
Скорость освоения (t_0)	2,2 года	–5,7	при сдвиге +1 год: –26,86
Интегральная оценка (Монте-Карло)	–	–	5-й перцентиль –9,2; медиана 14,8; 95-й 41,3; $P(NPV>0) = 0,71$

Источник: расчёты авторов.

Эластичность NPV по совокупному эффекту – плюс 9,7 – величина непривычно высокая. Она прямое следствие того, что положительный результат набран «впритык»: каждый процент недобора эффекта почти вдесятеро бьёт по итогу. По единовременным затратам эластичность минус 5,6, по ставке – около минус 4,5; в зоне высоких ставок решение хрупко, и переход ставки к 26% сжимает NPV до 4,30 млн руб. Наиболее болезненна, впрочем, не ставка. Сдвиг кривой освоения на год вперёд – сценарий вполне реалистичный при сопротивлении персонала – уводит NPV в минус, до –26,86 млн руб.

Интегральная картина мягче точечных стресс-сценариев: медиана распределения 14,8 млн руб., 95-й перцентиль 41,3 млн руб., тогда как пятый опускается до –9,2 млн руб. Вероятность положительного результата – 0,71. Иными словами, при честном учёте неопределённости почти в трёх случаях из десяти проект уходит в убыток. Ю. В. Забайкин и Д. В. Лютягин [Чудаева, 2021], разбирая внедрение инструментов цифровой трансформации на дискретных производствах, связывают операционную отдачу прежде всего с темпом освоения – и расчёт это подтверждает: параметр t_0 оказался почти столь же влиятельным, как и сам размер эффекта.

Полученный профиль рисков объясняет, почему агрегированные индикаторы зрелости расходятся с денежной оценкой. Зрелость растёт монотонно, денежный поток – нет. А. А. Чудаева [Чудаева, 2021] предостерегает от прямого отождествления факта цифровизации с экономическим эффектом производственного предприятия, и модельный расчёт даёт этому количественное выражение: при неизменном росте формальной зрелости итоговый NPV колеблется от уверенного плюса до заметного минуса в зависимости от темпа освоения и точности сметы. Подходы к оценке эффективности трансформации бизнес-процессов высокотехнологичного предприятия, предложенные А. Л. Рыжко и Н. А. Рыжко [Рыжко, Рыжко, 2022], в этой связи стоило бы дополнять не средней, а интервальной оценкой эффекта.

Сводя расчёт воедино: предложенная модель переводит инженерную цифровизацию на язык денежных потоков и даёт не балл зрелости, а интервал чистого дисконтированного дохода с вероятностью успеха. Базовый сценарий целесообразен. Устойчивость этой целесообразности определяется двумя рычагами – темпом освоения и точностью сметы единовременных затрат, – а вовсе не выбором ставки, как принято считать. Именно на эти два рычага модель и выводит внимание лица, принимающего решение.

Заключение

Переведя разнородные эффекты инженерной цифровизации в дисконтированные денежные величины, модель даёт то, чего не дают шкалы зрелости, – критерий в рублях. На модельном машиностроительном производстве с выручкой порядка 4,8 млрд руб. базовый сценарий целесообразен: чистый дисконтированный доход свыше 16 млн руб., индекс доходности около 1,18, внутренняя норма доходности порядка 27%. Запас тонок. Окупаемость наступает на 5,2

года при горизонте шесть лет.

Куда важнее точечного результата оказался профиль его устойчивости. Решающими рычагами выступили скорость освоения и точность сметы единовременных затрат, тогда как ставка дисконтирования, вокруг которой обычно строят споры об окупаемости, отошла на второй план. Сдвиг кривой освоения всего на сокращает прибыли. При объективном учёте неопределённости вероятность положительного исхода держится на уровне 0,71 – почти треть прогнозов убыточна.

Отсюда и расхождение, с которого работа начиналась. Формальная зрелость нарастает ровно, денежный поток – рывками. Модель применима для предынвестиционного отбора проектов цифровизации проектно-конструкторского контура и работает не точечной цифрой, а интервалом с вероятностью. Ставка дисконтирования в расчёте – 22,3%.

Библиография

1. Абрамов И.В. Концептуальная модель цифровой трансформации производственных предприятий // Теория и практика общественного развития. 2023. № 8 (184). С. 176-181.
2. Бабкин А.В., Ташкинов А.Г. Этапы разработки методического подхода оценки эффективности проектов цифровой трансформации промышленного предприятия // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. 2024. Т. 14. № 4. С. 70-93.
3. Ваулин А.С. Экономический эффект цифровой интеграции: кейс предприятия машиностроения // Journal of New Economy. 2023. Т. 24. № 3. С. 136-154.
4. Евдокимова Е.Н., Куприянова М.В., Соловьева И.П., Симинова И.П. Математическое моделирование процесса цифровизации экономических систем // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2022. № 81. С. 65-71.
5. Забайкин Ю.В., Лютягин Д.В. Внедрение инструментов цифровой трансформации для повышения операционной эффективности на промышленных предприятиях дискретного производства // Инновации и инвестиции. 2024. № 3. С. 460-463.
6. Кокуйцева Т.В., Овчинникова О.П. Методические подходы к оценке эффективности цифровой трансформации предприятий высокотехнологичных отраслей промышленности // Креативная экономика. 2021. Т. 15. № 6. С. 2413-2430.
7. Овчинников П.В., Щедров И.С., Шурыгин Д.Н. Экономико-математическая модель технологического процесса при цифровизации промышленного предприятия // Друкеровский вестник. 2023. № 3 (53). С. 264-283.
8. Осипенко А.В. Методологические подходы к оценке экономической эффективности инновационных проектов по цифровой трансформации в проектировании промышленных объектов // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2025. № 5 (155). С. 153-157.
9. Пономарева С.В., Винокур И.Р. Имитационное моделирование оценки экономической эффективности системы управления знаниями и производственными бизнес-процессами промышленного предприятия // Экономика и управление: проблемы, решения. 2025. Т. 16. № 1 (154). С. 36-45.
10. Романова Ю.В. Методика оценки экономической эффективности цифровой трансформации организационно-экономического механизма на предприятиях машиностроения // Вестник Южно-Российского государственного технического университета (НПИ). Серия: Социально-экономические науки. 2024. Т. 17. № 5. С. 103-112.
11. Рыжко А.Л., Рыжко Н.А. Подходы к оценке экономической эффективности трансформации бизнес-процессов высокотехнологичного предприятия // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2022. Т. 12. № 1-1. С. 36-41.
12. Фролова В.Б. Комплексное исследование внедрения цифровых моделей в производственные процессы промышленных предприятий для оптимизации ресурсов и снижения издержек // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2025. № 1. С. 66-74.
13. Чудаева А.А. Об оценке экономической эффективности цифровой трансформации российских производственных предприятий // Экономика и предпринимательство. 2021. № 9 (134). С. 1040-1042.
14. Забайкина И.В. Модели окупаемости инвестиций в цифровизацию и автоматизацию производственных мощностей при неопределённости спроса цен на ресурсы и логистических рисков // Вопросы природопользования. 2025. Т. 4. № 8. С. 10-18.
15. Щеглов Д.К., Сайбель А.Г., Букарев А.М. Методология оценки эффективности проектов цифровой трансформации предприятий высокотехнологичной промышленности // Инновации и инвестиции. 2023. № 10. С. 383-395.

Development of a Mathematical Model for Assessing the Economic Feasibility of Digital Transformation of Engineering Processes at Manufacturing Enterprises

Elizaveta R. Ryabokon'

Student,
Bauman Moscow State Technical
University (National Research University),
105005, 5, bld. 1, 2nd Baumanskaya str., Moscow, Russian Federation;
e-mail: ryabokon'er@student.bmstu.ru

Ekaterina S. Kanaf'eva

Student,
Bauman Moscow State Technical
University (National Research University),
105005, 5, bld. 1, 2nd Baumanskaya str., Moscow, Russian Federation;
e-mail: kat04kan08katia@gmail.com

Dmitrii V. Senenkov

Student,
Bauman Moscow State Technical
University (National Research University),
105005, 5, bld. 1, 2nd Baumanskaya str., Moscow, Russian Federation;
e-mail: senenkovdmitrij5@gmail.com

Elena S. Fedotova

Student,
Bauman Moscow State Technical
University (National Research University),
105005, 5, bld. 1, 2nd Baumanskaya str., Moscow, Russian Federation;
e-mail: helen.fedotovaa@mail.ru

Ivan A. Nikolaev

Student,
Bauman Moscow State Technical
University (National Research University),
105005, 5, bld. 1, 2nd Baumanskaya str., Moscow, Russian Federation;
e-mail: nikivanabdr@mail.ru

Abstract

The economic return from the digitalization of engineering processes at machine-building and other discrete manufacturing facilities has long been assessed using aggregated maturity indicators (level of automation, share of digital models, coverage by PLM systems), which are weakly connected to the cash flows of a specific project and do not allow for an objective assessment of the financial efficiency of investments. Hence the discrepancy: an enterprise records an increase in digital maturity (implementation of CAD/CAE/CAM systems, digital twins, requirements management systems) but cannot answer the question of whether the investment in an integrated engineering environment pays off at a discount rate tied to the key rate of 14.5%, which creates risks of making unjustified management decisions and underfunding or overfunding projects. The objective of the work is to build a mathematical model that converts the heterogeneous effects of digital transformation of the design-engineering circuit into comparable discounted values and forms an objective criterion for the feasibility of investments. An original model is proposed, in which the integral effect is decomposed into four key components: reduction of labor costs for design (acceleration of calculations and documentation release), reduction of costs for rework and error correction at late stages, acceleration of the development cycle and time-to-market for new products, as well as savings in material and energy resources due to design optimization; at the same time, the gradual nature of the return is described by a logistic learning curve (an S-shaped curve of effect accumulation depending on the implementation time and the level of personnel adaptation); the risk of the result is assessed by the Monte Carlo method over 10,000 iterations, taking into account the variability of key parameters. At a model enterprise with revenue of about 4.8 billion rubles and a planning horizon of six years, the net present value (NPV) amounted to 16.85 million rubles, the profitability index (PI) was 1.18, the internal rate of return (IRR) was 27.4%, and the discounted payback period (DPP) was 5.2 years; the probability of obtaining a positive result was 0.71, which indicates the feasibility of the investment at an acceptable level of risk. The elasticity of the net present value with respect to the discount rate of about minus 4.5 indicates the fragility of the decision in the zone of high rates, which must be taken into account when the macroeconomic situation changes. The model is applicable as a tool for pre-investment selection of digitalization projects for engineering processes, allowing enterprises to make well-grounded decisions on the feasibility of implementing PLM systems and digital design environments.

For citation

Ryabokon' E.R., Kanafeva E.S., Senenkov D.V., Fedotova E.S., Nikolaev I.A. (2026) Razrabotka matematicheskoy modeli otsenki ekonomicheskoy tselesoobraznosti tsifrovoy transformatsii inzhenernykh protsessov na proizvodstvennykh predpriyatiyakh [Development of a Mathematical Model for Assessing the Economic Feasibility of Digital Transformation of Engineering Processes at Manufacturing Enterprises]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 16 (6A), pp. 921-931. DOI: 10.34670/AR.2026.99.68.084

Keywords

Digital transformation, engineering processes, economic feasibility, net present value, mathematical model, discount rate, simulation modeling, manufacturing enterprise.

References

1. Abramov I.V. A Conceptual Model of Digital Transformation of Manufacturing Enterprises // Theory and Practice of Social Development. 2023. No. 8 (184). Pp. 176-181.
2. Babkin A.V., Tashkinov A.G. Stages of Developing a Methodological Approach to Assessing the Efficiency of Digital Transformation Projects of an Industrial Enterprise // Proceedings of the Southwest State University. Series: Economics. Sociology. Management. 2024. Vol. 14. No. 4. Pp. 70-93.
3. Vaulin A.S. The Economic Effect of Digital Integration: A Case of a Machine-Building Enterprise // Journal of New Economy. 2023. Vol. 24. No. 3. Pp. 136-154.
4. Evdokimova E.N., Kupriyanova M.V., Solovyeva I.P., Simikova I.P. Mathematical Modelling of the Digitalization Process of Economic Systems // Vestnik of Ryazan State Radio Engineering University. 2022. No. 81. Pp. 65-71.
5. Zabaykin Yu.V., Lyutyagin D.V. Implementation of Digital Transformation Tools to Improve Operational Efficiency at Discrete-Manufacturing Industrial Enterprises // Innovation and Investment. 2024. No. 3. Pp. 460-463.
6. Kokuytseva T.V., Ovchinnikova O.P. Methodological Approaches to Assessing the Efficiency of Digital Transformation of High-Tech Industrial Enterprises // Creative Economy. 2021. Vol. 15. No. 6. Pp. 2413-2430.
7. Ovchinnikov P.V., Shchedrov I.S., Shurygin D.N. An Economic-Mathematical Model of a Technological Process under Digitalization of an Industrial Enterprise // Drukerovskij Vestnik. 2023. No. 3 (53). Pp. 264-283.
8. Osipenko A.V. Methodological Approaches to Assessing the Economic Efficiency of Innovative Digital Transformation Projects in the Design of Industrial Facilities // Proceedings of the Saint Petersburg State University of Economics. 2025. No. 5 (155). Pp. 153-157.
9. Ponomareva S.V., Vinokur I.R. Simulation Modelling of the Economic Efficiency Assessment of a Knowledge and Production Business Process Management System of an Industrial Enterprise // Economics and Management: Problems, Solutions. 2025. Vol. 16. No. 1 (154). Pp. 36-45.
10. Romanova Yu.V. A Methodology for Assessing the Economic Efficiency of Digital Transformation of the Organizational and Economic Mechanism at Machine-Building Enterprises // Bulletin of the South Russian State Technical University (NPI). Series: Socio-Economic Sciences. 2024. Vol. 17. No. 5. Pp. 103-112.
11. Ryzhko A.L., Ryzhko N.A. Approaches to Assessing the Economic Efficiency of Business Process Transformation of a High-Tech Enterprise // Economics: Yesterday, Today and Tomorrow. 2022. Vol. 12. No. 1-1. Pp. 36-41.
12. Frolova V.B. A Comprehensive Study of the Implementation of Digital Models into the Production Processes of Industrial Enterprises for Resource Optimization and Cost Reduction // Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure. 2025. No. 1. Pp. 66-74.
13. Chudaeva A.A. On Assessing the Economic Efficiency of Digital Transformation of Russian Manufacturing Enterprises // Economics and Entrepreneurship. 2021. No. 9 (134). Pp. 1040-1042.
14. Забайкина И.В. Модели окупаемости инвестиций в цифровизацию и автоматизацию производственных мощностей при неопределенности спроса цен на ресурсы и логистических рисков // Вопросы природопользования. 2025. Т. 4. № 8. С. 10-18.
15. Shcheglov D.K., Saybel A.G., Bukarev A.M. A Methodology for Assessing the Efficiency of Digital Transformation Projects of High-Tech Industrial Enterprises // Innovation and Investment. 2023. No. 10. Pp. 383-395.