

DOI: 10.18721/JE.13507
УДК 658

МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ НАБОРА ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИЗНЕС-СИСТЕМЫ

Глухов В.В.¹, Колобов А.В.², Игумнов Е.М.³

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Российская Федерация;

² ООО «Севергрупп»,
Череповец, Российская Федерация;

³ ПАО «Северсталь Менеджмент»,
Москва, Российская Федерация

В условиях высокой конкуренции подходы в формировании бизнес-систем становятся важнейшим фактором повышения конкурентоспособности предприятия. Инструменты (методы и методики), которые лежат в основе повышения эффективности этих систем, позволяют без существенных инвестиционных затрат повысить качество продукции или услуг, сократить издержки, улучшить дисциплину поставки. При этом в различных компаниях данные инструменты внедряются по-разному, в различной очередности и в различных комбинациях, что в ряде случаев это может привести к низкой результативности. Это связано с отсутствием формализованной методики оптимизации набора инструментов для повышения эффективности бизнес-системы, который позволит обеспечить максимальный эффект в условиях ограничений на трудовые и временные ресурсы. По этой причине разработка методики оптимизации набора инструментов для повышения эффективности бизнес-системы на основе максимизации эффекта от трансформационного проекта для конкретного предприятия представляется актуальной научной задачей. В качестве объекта исследования выступает бизнес-система предприятия, входящего в мультиотраслевую кластерную структуру. Целью исследования является разработка методики оптимизации набора инструментов для повышения эффективности функционирования бизнес-системы. Для решения данной задачи авторами предлагается использовать методы математической оптимизации. Для формирования целевой функции оптимизационной модели авторами было проведено исследование эффективности инструментов бизнес-системы на основе регрессионного анализа результатов 170 проектов, реализованных различными предприятиями мультиотраслевого холдинга. Для формирования ограничений была оценена статистика по длительности формирования инструментов. Для решения задачи оптимизации с ограничениями использовался метод СОBYLA. Разработанная методика позволяет повысить эффективность реализации трансформационных проектов в различных компаниях (например, в части снижения себестоимости продукции) на 7–10% за счет оптимального подбора инструментов повышения эффективности бизнес-системы.

Ключевые слова: оптимизация, целевая функция, ограничения, СОBYLA, максимизация эффекта от проекта, бизнес-система, регрессионный анализ, уровень развитости

Ссылка при цитировании: Глухов В.В., Колобов А.В., Игумнов Е.М. Методика оптимизации набора инструментов для повышения эффективности бизнес-системы // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2020. Т. 13, № 5. С. 95–105. DOI: 10.18721/JE.13507

Это статья открытого доступа, распространяемая по лицензии CC BY-NC 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

TECHNIQUE FOR OPTIMIZING A SET OF TOOLS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF A BUSINESS SYSTEM

V.V. Glukhov¹, A.V. Kolobov², E.M. Igumnov³

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russian Federation

² ООО "Severgroup",
Cherepovets, Russian Federation

³ JSC "Severstal Management",
Moscow, Russian Federation

In the conditions of intense competition, of products of the Russian enterprises which determine rates and quality of economic development approaches to formation of business systems become the most important factor of improving competitiveness of the enterprise. Tools (methods and techniques) which are the cornerstone of the increase in efficiency of these systems allow to increase quality of products or services, to reduce expenses, to improve discipline of delivery without essential investment expenses. At the same time, various companies introduce these tools differently, in various sequences and combinations, which sometimes results in low effectiveness of these tools. It is connected with the lack of the formalized technique of the tool kit optimization increasing efficiency of a business system which will allow to provide the maximum effect in the conditions of restrictions for human and temporal resources. For this reason, development of a technique of the tool kit optimization to increase efficiency of a business system on the basis of maximizing the effect of the transformational project for a certain enterprise is represented a relevant scientific task. The business system of the enterprise involved in a multi-industry cluster structure acts as an object of the research. The research objective is the development of a technique of the tool kit optimization to increase efficiency and functioning of a business system. To solve this task, the authors proposed to use the methods of mathematical optimization. To form a criterion function of the optimizing model, the authors conducted a research on the efficiency of the business system tools on the basis of a regression analysis of results of 170 projects implemented by various enterprises in a multi-industry holding. To form restrictions, the authors evaluated statistics on duration of tools formation. COBYLA method was used to solve the problem of optimization with restrictions. The developed technique allows to increase the efficiency of implementation of transformational projects in various companies (for example, in terms of decreasing production costs) by 7–10% due to optimum selection of tools increasing the efficiency of a business system.

Keywords: optimization, criterion function, restrictions, COBYLA, maximizing effect of the project, business system, regression analysis, development level

Citation: V.V. Glukhov, A.V. Kolobov, E.M. Igumnov, Technique for optimizing a set of tools to improve the efficiency of a business system, St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, 13 (5) (2020) 95–105. DOI: 10.18721/JE.13507

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Введение

В настоящее время предприятия работают в сложной нестабильной среде при наличии глобальных вызовов, которые заставляют их постоянно стремиться к применению новых инструментов и методов, необходимых для повышения производительности, улучшения качества, удовлетворенности клиентов и создания конкурентных преимуществ. Одним из многообещающих подходов для достижения этих организационных целей является применение различных инструментов повышения операционной эффективности предприятия [1]. Эти инструменты должны затрагивать максимальное количество бизнес-процессов, реализуемых организационной единицей для достижения ее стратегических целей. Набор данных процессов также называют бизнес-системой. Большой накопленный опыт внедрения бизнес-систем доказывает их результативность при повышении операционной эффективности предприятий [2, 3]¹. Предложено множество инструментов и способов их адаптации под различные условия внедрения. Они позволяют выявить недостатки и резервы в бизнес-процессах предприятия, идентифицировать их сущность, а порой

¹ См. также: Вумек Дж., Джонс Д. Бережливое производство: Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. М.: Альпина Паблишер, 2003. 650 с.; Хаммер М. Быстрее, лучше, дешевле: Девять методов реинжиниринга бизнес-процессов. М.: Альпина Паблишер, 2012. 356 с.

обнаружить причины серьезного конкурентного отставания, давая при этом сотрудникам эффективные варианты корректирующих действий. Внедрение этих инструментов возможно в любой компании, но в большинстве случаев возникает множество особенностей, препятствующих достижению планируемого результата. По этой причине они показывают разную эффективность, которая зависит от уровня развитости бизнес-системы на предприятии [4, 15].

Инструменты повышения эффективности бизнес-систем позволяют без существенных инвестиционных затрат повысить качество продукции или услуг, снизить операционные затраты, улучшить дисциплину поставки. При этом в различных предприятиях данные методы и практики внедряется по-разному, в различной очередности и в различных комбинациях. Это связано с тем, что на данный момент отсутствует формализованная методика определения наиболее эффективного набора инструментов повышения эффективности бизнес-системы, который позволил бы обеспечить максимальный эффект в условиях ограничений трудовых и временных ресурсов. По этой причине разработка методики оптимизации инструментов для максимизации эффекта от трансформационного проекта для конкретной компании и конкретной цели представляется актуальной научной задачей.

В качестве объекта исследования выступает бизнес-система предприятия, входящего в мультиотраслевую кластерную структуру. Целью исследования является разработка методики оптимизации набора инструментов для повышения эффективности функционирования бизнес-системы. Для решения данной задачи авторами предлагается использовать методы математической оптимизации.

Методика исследования

Системная работа по повышению эффективности бизнес-системы, направленная на обеспечение конкурентоспособности предприятия, требует наличия специального механизма управления. С точки зрения процессного подхода, данный механизм представляет собой последовательность управленческих действий с заданной целевой траекторией [14]. Для решения задачи повышения эффективности бизнес-системы целесообразно выделить следующие основные этапы предлагаемой методики:

- 1) выстраивание системы целеполагания;
- 2) диагностика текущего состояния и оценка потенциала повышения эффективности;
- 3) оптимизация инструментов повышения эффективности бизнес-системы для получения максимального эффекта;
- 4) разворачивание проекта и внедрение изменений;
- 5) обеспечение устойчивости внедренных результатов.

Рассмотрим данные этапы и их формирование.

Для того, чтобы решить задачу оптимизации набора инструментов, в первую очередь необходимо определиться с критерием оптимальности и целевой функцией модели. Критерий оптимальности должен быть релевантным к текущим целям предприятия. Для определения необходимого критерия целесообразно обратиться к задаче повышения конкурентоспособности предприятия.

Модель Майкла Портера является фундаментальным и при этом мощным инструментом анализа основных конкурентных сил, которые влияют на соперничество внутри отрасли². Можно выделить три ключевые правила, которые лежат в основе модели М. Портера³:

- 1) чем слабее влияние конкурентных сил, тем больше у компании возможностей к получению высокой прибыли;

2) чем выше влияние конкурентных сил, тем выше вероятность, что ни одна компания не в состоянии будет обеспечить высокую прибыль;

3) средняя прибыльность отрасли определяется наиболее влиятельными конкурентными силами.

В качестве конкурентных сил М. Портер выделяет пять структурных единиц, которые позволяют сформировать и удерживать долгосрочное конкурентное преимущество в отрасли. К ним относятся рыночная власть покупателей, рыночная власть поставщиков, угроза вторжения новых участников, опасность появления товаров-заменителей, уровень конкурентной борьбы или внутриотраслевая конкуренция [5].

В зависимости от наиболее актуальной конкурентной силы, действующей в данный момент в отрасли, которую представляет компания, исследователи чаще всего фокусируются на операционных затратах, качестве продукции и производительности [6–8].

Для дальнейшего анализа в качестве критерия оптимальности рассмотрим операционные затраты: по результатам трансформационного проекта они должны снизиться. Далее необходимо определить целевую функцию, которая позволит рассчитать оптимальное значение в зависимости от выбранных инструментов повышения эффективности бизнес-системы [7, 11]. Для этого был применен регрессионный анализ, который проводился на основе данных о результатах 170 проектов, собранных с помощью анкеты, заполненной руководителями проектов, с последующей автоматической обработкой результатов. Эффект от проекта определялся как процент от годовой цели подразделения/предприятия по снижению операционных затрат. Это позволяет сопоставить эффект от проектов в компаниях, функционирующих в различных условиях и на различных рынках. Данная величина измеряется в долях от 0 до 1 и является безразмерной (рис. 1). Дальнейшее решение задачи оптимизации также выполнялось для данного безразмерного показателя.

Одним из шагов при обработке результатов анкетирования (которое заслуживает отдельного рассмотрения) является группировка инструментов повышения эффективности бизнес-системы. Группировка необходима для того, чтобы учитывать синергетический эффект от применяемых инструментов и инновационный потенциал предприятия [12,13]. Группировка инструментов выполнялась на основе их целевого назначения или стадии проекта, на которой они применяются. В результате были получены следующие группы: «Диагностика», «Целеполагание», «Методы решения проблем», «Вытягивание потока», «Производительность труда», «Качество», «Себестоимость», «Производительность оборудования», «Устойчивость», «Digital Lean» (инструменты, содержащиеся в группах, представлены в статье).

Для оценки уровня использования группы инструментов была введена метрика «Коэффициент использования группы» — отношение количества использованных инструментов группы к их общему количеству в группе (например, если использовалось 5 из 10, то этот коэффициент равен 0,5). Таким образом, значение k может варьироваться в диапазоне от 0 до 1.

Результатом регрессионного анализа является формула

По каждому показателю экспертно оцените эффект от внедренных инструментов в процентах от годовой цели подразделения. Если проект не был направлен на показатель, то не нужно производить оценку по нему.		
Показатель	Эффект от проекта в процентах от цели подразделения	
Объемы		0,01
Качество		0,02
Операционные затраты		0,06

Рис. 1. Фрагмент анкеты для оценки эффекта от проекта
 Fig. 1. Fragment of the questionnaire for assessing the effect of the project

$$y = a_1 k_1 + a_2 k_2 + \dots + a_n k_n, \quad (1)$$

где y — значение целевой функции (эффект от проекта в части снижении операционных затрат, представленный как доля от годовой цели подразделения), $K = k_1, k_2, \dots, k_n$ — коэффициенты использования групп инструментов, которые будут подбираться при оптимизации (в диапазоне от 0 до 1), n — количество групп инструментов, a_1, a_2, \dots, a_n — коэффициенты влияния групп инструментов на эффект от проекта (y), подобранные в результате регрессионного анализа.

На основе регрессионного анализа для показателя «Операционные затраты» была получена формула (2), которая может быть использована в качестве целевой функции при решении задачи оптимизации инструментов повышения эффективности бизнес-системы.

$$y = 0.03 * k_1 + 0.0027 * k_2 + 0.21 * k_3 + 0.07 * k_4 + 0.005 * k_5 + 0.12 * k_6 + (-0.11) * k_7 + (-0.00032) * k_8 + 0.18 * k_9 + 0.09 * k_{10}, \quad (2)$$

где k_1 — коэффициент использования инструментов группы «Производительность оборудования», k_2 — «Методы решения проблем», k_3 — «Digital Lean», k_4 — «Устойчивость», k_5 — «Целеполагание», k_6 — «Себестоимость», k_7 — «Качество», k_8 — «Вытягивание», k_9 — «Производительность труда», k_{10} — «Диагностика».

Решение задачи оптимизации заключается в нахождении значений переменных, которые обеспечивают максимизацию показателя y . Для решения данной задачи с помощью методов математического программирования необходимо привести ее к виду минимизации целевой функции. Таким образом получим вид задачи оптимизации в общем виде:

$$-y = -(a_1 k_1 + a_2 k_2 + \dots + a_n k_n) \rightarrow \min. \quad (3)$$

Решение данной задачи должно происходить с учетом ограничений. Основными ограничениями при реализации любого проекта, в том числе трансформационного, являются ресурсы и сроки. В данном случае в качестве ограничения по срокам будет выступать допустимая длительность проекта (сумма длительности применения всех методов и практик бизнес-системы не должна превышать допустимую длительность проекта). Под ресурсами в данном случае будем понимать количество сотрудников, участвующих в проекте.

Для того чтобы оцифровать ограничения по длительности внедрения методов и практик, необходимо оценить количество FTE (Full-Time Employee — сотрудник, работающий при полной занятости в течение года), которое необходимо для внедрения каждого инструмента. Также стоит понимать, что количество трудозатрат, необходимых для внедрения, зависит от сложности процесса или количества сотрудников, которые реализуют данный инструмент.

Для оценки трудозатрат, необходимых для внедрения каждого конкретного инструмента, были взяты средние значения по итогам 170 проектов, реализованных на различных предприятиях мультиотраслевой кластерной структуры в форме холдинга. Для приведения этих значений к единой системе координат они были переведены в удельные значения на одну величину MRU (Mutual Recognition Unit — единица взаимного узнавания). MRU — подразделение, в котором люди могут распознавать друг друга как отдельных личностей и идентифицировать себя с организацией в целом. Рекомендуемая численность MRU находится в диапазоне от 200 до 250 человек. Для дальнейшего анализа выбрано значение 225 человек.

Стоит отметить, что не для всех инструментов трудозатраты на внедрение зависят от количества персонала. В табл. 1 для примера представлены средние трудозатраты на внедрение инструментов двух групп — «Digital Lean» и «Производительность труда». Применение инструментов группы «Производительность труда» зависит от количества персонала в подразделении и счи-

тается в расчете на 1 MRU, а «Digital Lean» — нет. Это связано с тем, что инструменты группы «Производительность труда» применяются к рабочим местам и функциям, а трудозатраты на их внедрение зависят от количества рабочих мест и количества персонала.

Таблица 1. Трудозатраты на внедрение инструментов групп «Digital Lean» и «Производительность труда»
Table 1. Labor costs for the implementation of tools of the "Digital Lean" and "Labor Productivity" groups

Группа «Digital Lean»	FTE	Группа «Производительность труда»	FTE (на 1 MRU)
Графический анализ данных	0,16	Хронометрирование/КИВ	0,625
Компьютерное зрение	0,09	Оптимизация норм подчиненности	0,096
Машинное обучение	0,25	Повышение мультифункциональности	0,086
Математическая оптимизация	0,6	Укрупнение рабочих мест	0,086
		Определение минимально необходимого объема	0,14

Кроме того, что не для всех инструментов трудозатраты определяются в пересчете на количество персонала в подразделении, в ряде случаев существуют ограничения на очередность применения инструментов. Например, группа инструментов «Диагностика» должна применяться первой, и при этом инструменты другой группы не могут применяться одновременно с ней. Также в ряде случаев, в зависимости от типа компании, происходит адаптация инструментов. Например, для различных предприятий целесообразно использовать разные подходы к картированию потока, каждый из которых будет требовать разных трудозатрат. Такого рода ограничения являются нелинейными (т.к. требуют для своего описания формы «если-то»). Подобные ограничения задаются в виде правил, которые проверяются при математической оптимизации.

Полученные результаты и их обсуждение

Таким образом, на основании изложенного была сформулирована следующая система ограничений:

- набор правил для нелинейных ограничений;
- значение суммы FTE, необходимых для внедрения всех инструментов, позволяет своевременно завершить проект, задано выражением (4) (значение суммы длительностей внедрения всех инструментов не более допустимой длительности проекта);
- длительность внедрения каждого инструмента не более минимально необходимой длительности, задано выражением (6) (добавление дополнительных FTE при внедрении инструмента сокращает длительность его внедрения до определенного заданного предельного значения).

$$\sum_{i=1}^n \frac{k_i * FTEp_i}{f} \leq L, \tag{4}$$

где $FTEp_i$ — количество FTE, необходимое для внедрения инструментов i -ой группы, n — количество групп инструментов, f — количество людей, реализующих проект, L — длительность проекта (в годах).

Данное ограничение означает, что длительность внедрения всех пакетов инструментов не должна превышать максимально допустимую длительность проекта (все инструменты должны быть внедрены вовремя). $FTEp_i$ рассчитывается по формуле (5).

$$FTEp_i = \left(\sum_{j=1}^{q_i} FTEplan_{ij} \right) * K_{mru}, \quad K_{mru} = \frac{N}{225}, \quad (5)$$

где $FTEplan_{ij}$ — количество ФТЕ, необходимое для внедрения j -го инструмента из i -ой группы в пересчете на 1 MRU, q_i — количество инструментов в i -ой группе, N — количество людей в рассматриваемом подразделении.

При этом мы понимаем, что у каждого инструмента и соответственно группы инструментов есть минимальное время внедрения, которое не может быть уменьшено за счет привлечения дополнительных людей на его внедрение. Суммарная длительность внедрения инструментов не должна превышать длительность проекта. Для того, чтобы учесть это, добавлено ограничение (6).

$$\sum_{i=1}^n k_i * l_{i_{min}} \leq L, \quad (6)$$

где $l_{i_{min}}$ — минимальная длительность внедрения инструментов i -ой группы.

Выражение (7) означает, что подбираемые оптимальные значения коэффициентов использования групп лежат в диапазоне от 0 (инструменты группы не используются) до 1 (все инструменты группы используются). R — множество вещественных (действительных) чисел, к которым относятся и дробные числа.

$$k_i \in R; k_i \in [0; 1]. \quad (7)$$

Далее рассмотрим классификацию методов математической оптимизации выбора наиболее подходящего из них. Решение задачи оптимизации заключается в нахождении экстремального значения некоторой целевой функции в заданной области векторного пространства с учетом соблюдения ограничений, заданных линейными и нелинейными равенствами и неравенствами.

Существует множество видов задач и методов оптимизации, зависящих от целевой функции и допустимой области, которая определяется системой равенств и неравенств.

С точки зрения задачи оптимизации, методы делятся на локальные и глобальные. Локальные методы обеспечивают одно из возможных решений, но не гарантируют, что оно будет лучшим. Глобальные методы ориентированы на поиск лучшего решения за счет определения поведения целевой функции. В зависимости от используемого математического аппарата методы оптимизации могут быть разделены на три группы: детерминированные, случайные (стохастические) и комбинированные. На основе размерности допустимого множества значений, методы оптимизации подразделяются на одномерные и многомерные [9].

По виду целевой функции и функций ограничений задачи оптимизации также делятся на задачи линейного программирования и задачи нелинейного программирования [9]. В случае, когда функции имеют нелинейный характер, также возможны два варианта частных задач:

- задача выпуклого программирования, если целевая функция и ограничения — выпуклые функции;

- задача целочисленного программирования, если элементы множества оптимизируемых переменных могут принимать только целые значения (в том числе комбинаторная оптимизация).

С точки зрения требования по расчету производных методы подразделяются на прямые методы (методы нулевого порядка), которые требуют расчета целевой функции на каждой итерации, методы первого порядка, требующие знания первых частных производных и методы второго порядка, для которых необходим расчет вторых частных производных [9].

Метод математического программирования, который может быть использован для нахождения экстремума, полностью определяется классом задачи. Исходя из специфики конкретной задачи применяются соответствующие методы оптимизации. Наиболее известными и приме-

няемыми являются следующие подходы к решению задачи оптимизации: метод ветвей и границ, симплекс-метод, градиентный спуск, генетический алгоритм, алгоритм имитации отжига, жадный алгоритм, динамическое программирование, метод роя частиц, метод Хука-Дживса, COBYLA, муравьиный алгоритм [9].

Рассматриваемая задача оптимизации имеет нелинейный характер, что говорит о возможности поиска только локального оптимума. Кроме того, ввиду сложности ограничений и невозможности взять производную, в данном случае не могут быть применены методы первого и второго порядка. По этой причине могут быть использованы только методы нулевого порядка. При этом задача также не является комбинаторной. Кроме того, данная задача не является задачей целочисленного программирования. В этих условиях лучше всего себя зарекомендовал метод оптимизации COBYLA (от англ. Constraint Optimization by Linear Approximation — условная оптимизация с помощью линейной аппроксимации) [10].

COBYLA представляет собой метод численной оптимизации для задач с ограничениями, где производная целевой функции неизвестна. Данный метод работает за счет итеративного приближения реальной задачи оптимизации к задачам линейного программирования. Во время итерации решается аппроксимирующая задача линейного программирования, чтобы получить кандидата на оптимальное решение. Решение-кандидат оценивается с использованием исходных функций цели и ограничения, что дает новую точку данных в области оптимизации. Эта информация используется для улучшения аппроксимирующей задачи линейного программирования, используемой для следующей итерации алгоритма. Когда решение не может быть больше улучшено, размер шага уменьшается, уточняя поиск. Когда размер шага становится меньше заданного порогового значения, алгоритм завершает работу [10].

Для оценки эффективности разработанного подхода была выполнена оптимизация методов и практик 170 проектов, на основе которых осуществлялось построение целевой функции оптимизации. В результате для каждого проекта был получен оптимальный набор инструментов, позволяющий получить максимальный эффект $K' = k'_1, k'_2, \dots, k'_n$, где k'_i принимает значения в диапазоне от 0 до 1 (степень использования каждой группы инструментов).

Далее в каждом случае оценивалась близость полученных результатов оптимизации с фактически примененным набором инструментов. Для того чтобы измерить близость двух наборов коэффициентов использования групп инструментов, использовалось евклидово расстояние, которое представляет собой расстояние между двумя точками евклидова пространства, вычисляемое по теореме Пифагора. В данном случае точка имеет десять координат, соответствующих десяти значениям коэффициентов использования групп инструментов. В данном случае данная метрика рассчитывалась следующим образом:

$$E(K, K') = \sqrt{\sum_{i=1}^n (k_i - k'_i)^2} = \sqrt{(k_1 - k'_1)^2 + (k_2 - k'_2)^2 + \dots + (k_n - k'_n)^2}, \quad (8)$$

где $E(K, K')$ — евклидово расстояния между двумя наборами коэффициентов использования групп инструментов, $K = k_1, k_2, \dots, k_n$ — набор коэффициентов использования групп инструментов, который был применен по факту, $K' = k'_1, k'_2, \dots, k'_n$ — набор групп инструментов, который был получен в результате оптимизации, n — количество групп, равное 10.

После нормализации эффекта от проекта и евклидова расстояния фактически использованных и оптимизированных групп инструментов в диапазоне от 0 до 1 была построена диаграмма рассеяния эффекта от проекта в зависимости от евклидова расстояния (рис. 2).

На полученной диаграмме прослеживается линия тренда (показана красным цветом), которая демонстрирует обратную зависимость эффекта от евклидова расстояния. Это говорит о том, что чем ближе фактически примененные группы инструментов к оптимальным (евклидово расстоя-

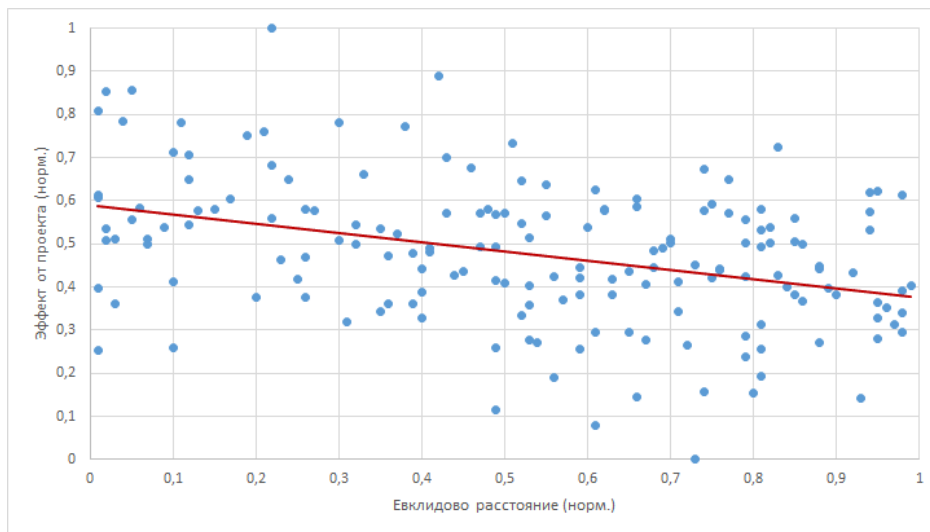


Рис. 2. Диаграмма рассеяния эффекта от проекта в зависимости от евклидова расстояния, построенная на нормализованных данных

Fig. 2. Scatter plot of project effect versus Euclidean distance plotted on normalized data

ние меньше), тем выше их эффект. Полученная линия тренда эффекта от проекта соответствует уравнению (9)

$$\text{Эффект от проекта} = -0,1724 * E(K, K') + 0,6652. \quad (9)$$

Данное уравнение показывает, что такой подход позволяет повысить эффект от проектов максимум на 17%, когда начальный перечень полностью не совпадает с оптимизированным. В среднем для большинства проектов (евклидово расстояние от 0,25 до 0,75) эта цифра варьируется в диапазоне от 7 до 10%.

Заключение

Разработанная методика позволяет определять эффективный набор инструментов повышения эффективности бизнес-системы, который позволит обеспечить максимальный эффект в условиях ограничений трудовых и временных ресурсов. Разработанная методика оптимизации набора инструментов для максимизации эффекта от трансформационного проекта является достаточно универсальной и может применяться в деятельности различных предприятий мультиотраслевой кластерной структуры в форме холдинга.

Направления дальнейших исследований авторы видят в апробации методики применительно к предприятиям различной отраслевой принадлежности, специализации и масштабам деятельности.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках выполнения исследований по проекту № 18-010-01119.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Kumar B.S., Abuthakeer S.S.** Implementation of lean tools and techniques in an automotive industry. *Journal of Applied Sciences*, 2012, no. 12–10, pp. 1032–1037.

2. Глухов В.В., Балашова Е.С. Производственный менеджмент. Анатомия резервов. Lean production. СПб.: Лань, 2008. 352 с.
3. Prabhushankar G.V., Kruthika K., Pramanik S., Kadadevaramath R.S. Lean manufacturing system implementation in Indian automotive components manufacturing sector – an empirical study. *International Journal of Business and Systems Research*, 2012, no. 9–2, pp. 179–194.
4. Колобов А.В., Глухов В.В., Петреня Ю.К., Игумнов Е.М. Обеспечение устойчивости процесса развития бизнес-системы предприятия // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2018. № 5. С. 101–110. DOI: 10.18721/JE.11509
5. Горшков Р.К. Анализ существующих методов оценки конкурентоспособности предприятия // РИСК Ресурсы, информация, снабжение, конкуренция. 2014. № 2. С. 114–117.
6. Каменева Е.А. и др. Корпоративный рост: методология измерения и управленческий инструментарий (финансовый аспект). М.: Научные технологии, 2013. 315 с.
7. Глухов В.В., Петреня Ю.К., Шилин П.С. Выбор критериев для оценки эффективности инновационной деятельности энергомашиностроительного предприятия // Промышленная политика в цифровой экономике: проблемы и перспективы / Под. ред. А.В. Бабкина. СПб.: СПбПУ, 2017. С. 374–380.
8. Трифилова А.А. Анализ инновационного потенциала предприятия // Инновации. 2003. № 6. С. 67–72.
9. Conn A.R., Scheinberg K., Toint Ph.L. On the convergence of derivative-free methods for unconstrained optimization. Iserles A., Buhmann M. (Eds.). *Approximation theory and optimization: Tributes to M.J.D. Powell*. Cambridge University Press, 1997, pp. 83–108.
10. Powell M.J.D. A view of algorithms for optimization without derivatives. Report. Cambridge University, 2007. 12 p.
11. Бабкин А.В. Задачи принятия решений по развитию предпринимательских систем // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2013. № 3. С. 119–130.
12. Новиков О.А., Бабкин А.В. Анализ подходов и методов оценки инновационного потенциала предприятия // Научно-технические ведомости СПбПУ. Экономические науки. 2009. № 2–2. С. 193–204.
13. Davydenko I., Kolomytseva O. et al. Innovative potential: The main drivers of digital transformation. *New Silk Road: Business Cooperation and Prospective of Economic Development (NSRBCPED 2019)*, 2019, pp. 594–597. DOI: 10.2991/aebmr.k.200324.111
14. Левченко Т.П., Вареников В.А. Ресурсный подход как способ оценки инновационной активности предприятия // Науковедение. 2016. № 8–4.
15. Балашова Е.С., Майорова К.С. Развитие бизнес-процессов промышленного предприятия в условиях коммерциализации возобновляемых источников энергии // Противоречия и тенденции развития современного российского общества. М.: Московский университет имени С.Ю. Витте, 2019. С. 32–43.

REFERENCES

1. B.S. Kumar, S.S. Abuthakeer, Implementation of lean tools and techniques in an automotive industry. *Journal of Applied Sciences*, 2012, no. 12–10, pp. 1032–1037.
2. V.V. Glukhov, E.S. Balashova, Proizvodstvennyy menedzhment. Anatomiya rezervov. Lean production [Production management. Anatomy of reserves. Lean production]. St. Petersburg, Lan, 2008. 352 p. (rus)
3. G.V. Prabhushankar, K. Kruthika, S. Pramanik, R.S. Kadadevaramath, Lean manufacturing system implementation in Indian automotive components manufacturing sector – an empirical study. *International Journal of Business and Systems Research*, 2012, no. 9–2, pp. 179–194.
4. A.V. Kolobov, V.V. Glukhov, Yu.K. Petrenya, E.M. Igumnov, Ensuring stable development of business systems for enterprises. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*, 2018, no. 5, pp. 101–110. (rus). DOI: 10.18721/JE.11509
5. R.K. Gorshkov, Analiz sushchestvuyushchikh metodov otsenki konkurentosposobnosti predpriyatiya [Analysis of existing methods for assessing the competitiveness of an enterprise]. *RISK Resursy, informat-siya, snabzheniye, konkurenciya*, 2014, no. 2, pp. 114–117. (rus)

6. **Kameneva et al.** Korporativnyy rost: metodologiya izmereniya i upravlencheskiy instrumentariy (finansovyy aspekt) [Corporate growth: measurement methodology and management tools (financial aspect)]. Moscow, Nauchnye tekhnologii, 2013. 315 p. (rus)
7. **V.V. Glukhov, Yu.K. Petrenya, P.S. Shilin,** Vybor kriteriyev dlya otsenki effektivnosti innovatsionnoy deyatel'nosti energomashinostroitelnogo predpriyatiya [Selection of criteria for assessing the effectiveness of innovative activities of an energy machine-building enterprise]. Babkin A.V. (Ed.). Promyshlennaya politika v tsifrovoy ekonomike: Problemy i perspektivy [Industrial policy in the digital economy: problems and prospects]. St. Petersburg, SPbPU, 2017, pp. 374–380. (rus)
8. **A.A. Trifilova,** Analiz innovatsionnogo potentsiala predpriyatiya [Analysis of the innovative potential of the enterprise]. Innovation, 2003, no. 6, pp. 67–72. (rus)
9. **A.R. Conn, K. Scheinberg, Ph.L. Toint,** On the convergence of derivative-free methods for unconstrained optimization. Iserles A., Buhmann M. (Eds.). Approximation theory and optimization: Tributes to M.J.D. Powell. Cambridge University Press, 1997, pp. 83–108.
10. **M.J.D. Powell,** A view of algorithms for optimization without derivatives. Report. Cambridge University, 2007. 12 p.
11. **A.V. Babkin,** The problem of decision making on the development of business systems. St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, 2013, no. 3, pp. 119–130. (rus)
12. **O.A. Novikov, A.V. Babkin,** The analysis of approaches and methods of the estimation of innovative potential of the enterprise. St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, 2009, no. 2–2, pp. 193–204. (rus)
13. **I. Davydenko, O. Kolomytseva et al.,** Innovative potential: The main drivers of digital transformation. New Silk Road: Business Cooperation and Prospective of Economic Development (NSRBCPED 2019), 2019, pp. 594–597. DOI: 10.2991/aebmr.k.200324.111
14. **T.P. Levchenko, V.A. Varenikov,** Resource-based approach to the estimation of innovative activity of an enterprise. Naukovedenie, 2016, no. 8–4. (rus)
15. **E.S. Balashova, K.S. Mayorova,** Razvitiye biznes-protsessov promyshlennogo predpriyatiya v usloviyakh kommersializatsii vozobnovlyayemykh istochnikov energii [Development of business processes of an industrial enterprise in the context of commercialization of renewable energy sources]. Protivorechiya i tendentsii razvitiya sovremennogo rossiyskogo obshchestva [Contradictions and development trends of modern Russian society]. Moscow, Moskovskiy universitet imeni S.Yu. Vitte, 2019, pp. 32–43. (rus)

Статья поступила в редакцию 19.09.2020.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / THE AUTHORS

ГЛУХОВ Владимир Викторович

E-mail: office.vicerektor.me@spbstu.ru

GLUKHOV Vladimir V.

E-mail: office.vicerektor.me@spbstu.ru

КОЛОБОВ Александр Владимирович

E-mail: avkolobov@severgroup.ru

KOLOBOV Aleksandr V.

E-mail: avkolobov@severgroup.ru

ИГУМНОВ Евгений Михайлович

E-mail: emigumnov@severstal.com

IGUMNOV Evgeny M.

E-mail: emigumnov@severstal.com