МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

УДК 303.732 DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-3-364-381

Алгоритм оценки и выбора инноваций для предприятия

А.С. Кудрявцева

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

В настоящее время инновационные технологии третьей и четвёртой промышленных революций оказывают огромное влияние на развитие промышленных предприятий. Появляется необходимость создания подхода к управлению принятием решений при внедрении инновационных технологий. Цель статьи - разработка алгоритма оценки инновационных технологий путём постепенного сужения области допустимых решений. Приводится краткий анализ существующих методов оценки инноваций. Показано, что существующие экономические и комплексные оценки не позволяют дать системную оценку результативности инноваций, так как новые технологии не имеют опыта в прошлом. Работы Дж. Рифкина и К. Шваба, а также «Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017—2030 годы» могут составить базис для выбора начального множества инноваций, основу для формирования области предполагаемых инноваций для внедрения. Для сужения выбранного множества инноваций предлагается алгоритм системной оценки и выбора инноваций. Исследование, проведённое на основе разработанного алгоритма для судостроительного предприятия Санкт-Петербурга АО «Адмиралтейские верфи», позволило оценить и выбрать рациональный состав инноваций для этого предприятия.

Ключевые слова: *киберфизическая система, промышленное предприятие, инновационные технологии, системный анализ, принятие решений.*

Цитирование: *Кудрявцева, А.С.* Алгоритм оценки и выбора инноваций для предприятия / А.С. Кудрявцева // Онтология проектирования. – 2021. – Т.11, №3(41). - С. 364-381. – DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-3-364-381.

Введение

Инновации необходимы предприятию для повышения качества продукции, оптимизации процессов, участвующих в производстве, сокращения потребления энергии и сырья. Технологии третьей и четвёртой промышленных революций (ПР) являются движущей силой для развития предприятий. Цифровые и информационные технологии (ИТ) составляют основу создания киберфизических систем (КФС).

Существует множество определений термина инновация. В [1] термин инновация (*innovation* – нововведение) определяется как:

- процесс коммерциализации новой технологии, нового вида продукции и услуг, социально-экономического и организационно-технического научного решения, которое имеет образовательный, коммерческий, финансовый, административный или иной характер;
- процесс рыночного внедрения результатов инновационной деятельности в виде усовершенствованного или нового продукта, технологического процесса, который используется либо в новом подходе к социальным услугам, либо в практической деятельности.

Инновационные технологии могут оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на развитие организации. Следовательно, для предприятия требуется анализ и отбор технологий для конкретного случая с учётом полезности и последствий их внедрения.

Цель работы – предложить алгоритм оценки и выбора инноваций для промышленного предприятия.

1 Обзор моделей управления инновационной деятельностью предприятия

Анализ отечественных и зарубежных работ показал, что существует множество методов оценки инновационных технологий [2–6], однако они позволяют учесть только экономическую эффективность внедряемых инноваций.

1.1 Показатели эффективности инноваций

В работе [7] представлены используемые метрики для оценки инноваций, а также выявлены основные проблемы, связанные с их применением, и в частности, отсутствие интегрированных показателей, проблемы с контролем качества и трудности сравнения между странами и технологиями.

При внедрении КФС на предприятии наиболее часто используются количественные показатели инноваций, которые можно разделить на три типа: входные показатели, выходные показатели и показатели результатов (таблица 1).

Таблица 1 – Количественные показатели инноваций

Тип показателя	Содержание
Входные показатели	Вложения в НИОКР Материальные вложения Квалификация сотрудников
Выходные показатели	Публикации Патенты Технологии Характеристики технологий
Показатели результатов	Оценка проекта/программы Интенсивность выбросов в окружающую среду Преимущества для экономики страны

Представленные метрические модели входов, выходов и результатов инноваций могут быть нематериальными (например, запас знаний, практические проблемы и идеи) или материальными и человеческими (например, необходимые инвестиции, учёные, лаборатории) [8].

Для оценки инновационной активности промышленного предприятия в статье [9] разработан алгоритм, состоящий из следующих основных этапов:

1) сбор и структурирование исходных данных;
2) оценка инновационных проектов на основе расчёта показателей коммерческой эффективности;
3) оценка эффективности внутренних проектов;
4) проведение многомерного сравнительного анализа и отбор приоритетных проектов по его результатам;
5) внедрение приоритетной технологии в работу предприятия.

Важным этапом алгоритма является непосредственно оценка инновационной технологии. В [9] предлагается использовать следующие показатели для оценки и соответствующие методы оценки:

- интеллектуальная собственность предприятия ($T_и$) – методы оценки возможностей реализации инновационного проекта предприятием;
- чистая прибыль ($T_ч$) – методы оценки эффективности затрат, связанных с реализацией проекта;

- прибыль от реализации продукта ($T_р$) – методы оценки эффективности затрат, связанных с реализацией проекта;
- активы ($T_а$) – методы оценки влияния инновационного проекта на различные сферы деятельности предприятия;
- производительность труда сотрудников ($T_{пр}$) – методы оценки влияния инновационного проекта на различные сферы деятельности предприятия.

Критерием принятия инновационной технологии к реализации может быть следующее соотношение темпов роста указанных показателей:

$$(T_ч) > (T_р) > (T_и) > (T_а) > (T_{пр}) > 100\%.$$

Удовлетворение значений темпов роста показателей условиям данного соотношения свидетельствует о положительном влиянии внедрения инновационной технологии на эффективность работы предприятия [9].

1.2 Комплексный метод оценки

В статье [10] приведена классификация методов оценки инноваций и предлагается метод оценки инноваций, базирующийся на анализе закономерностей развития промышленной системы, на примере развития автоматизации. Отмечается, что технократической подход не учитывает возможность оптимального распределения ресурсов; экономический подход не позволяет определить точную стоимостную оценку полезности инновации; комплексные методы оценки инноваций включают последовательное применение методов структурного анализа и многокритериальной оптимизации для определения нормированной полезности инноваций и затрат ресурсов на каждую из них.

В комплексной оценке инноваций учитываются не только стоимостные, но и качественные характеристики инноваций. Методика оценки инноваций для подготовки проекта решения о возможности и целесообразности внедрения инновации представлена на рисунке 1.

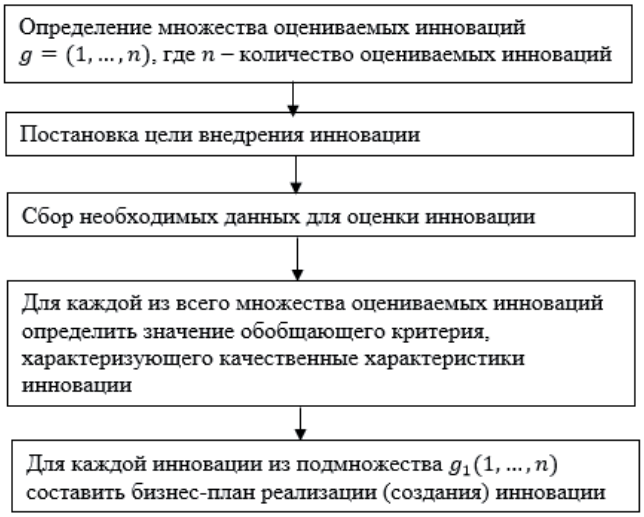


Рисунок 1 – Методика комплексной оценки инноваций

В [11] выделен комплекс внешних и внутренних факторов различной степени управляемости, определяющих эффективность инновационной деятельности предприятий. Эти факторы разделены на подгруппы: внешние неуправляемые, внешние частично управляемые, внутренние частично управляемые, внутренние полностью управляемые микроэкономические факторы. Показана необходимость разработки критериев оценки эффективности инновационной деятельности предприятий, позволяющих учитывать динамику инновационных процессов, и предложен интегральный критерий оценки эффективности инновационной деятельности предприятий в виде:

$$К_{инт} = К_{ип} \cdot К_{иа} \cdot К_{ипр} \cdot К_{риа}, \quad (1)$$

где $К_{ип}$ – оценка инновационного потенциала, $К_{иа}$ – оценка инновационной активности, $К_{ипр}$ – оценка инновационных процессов, $К_{риа}$ – оценка результатов инновационной деятельности.

Для получения каждой оценки предлагается использоваться соответствующие методы оценки: метод экспертных оценок для $К_{ип}$, метод оценки уровня оптимизации для $К_{иа}$, метод оценки баланса показателей и метод оценки на основе имитационного моделирования для $К_{ипр}$, метод комплексной оценки и метод интегральной оценки для $К_{риа}$.

Определить обобщающий критерий (см. рисунок 1) не представляется возможным на практике, т.к. принимать решения будут эксперты, для которых каждый критерий будет носить субъективный характер. Применить традиционные экономические оценки для выявления целесообразности внедрения инноваций также не представляется возможным [12], т.к. инновационные технологии не имеют аналогов в прошлом.

1.3 Методики оценки инновационной деятельности на основе онтологий

В статье [13] предложена методика разработки интеллектуальной системы (ИС), основанная на применении методов онтологического моделирования взаимодействующих процессов управления ИТ-проектами. Разработанная система поддержки принятия решений (СППР) сочетает экспертные знания и знания, формализованные на основе анализа накопленных на предприятии данных. Знания и опыт экспертов об управлении в проблемных ситуациях, для которых ещё не сформулированы правила ввиду отсутствия достаточного множества примеров принятия решений, представляются в базе знаний в форме прецедентов. В предлагаемой СППР предусмотрен контроль эффективности решений, который строится на основе оценки эффективности ключевых показателей деятельности, представленных в стратегической карте. Об эффективности принятых управленческих решений можно судить по значениям ключевых экономических показателей, полученных в различные периоды деятельности компании, накапливая знания в ИС о достижении целей компании.

В статье [14] предложен подход к управлению инновационными проектами, основанный на системной интеграции онтологии управления инновационными проектами и онтологии поддержки принятия решений. Интегрированная онтология управления знаниями *Onto* может быть описана как набор объединённых онтологий в соответствии с формулой

$$Onto = < O^{PM}, O^{DM}, Inf^{F} >, \quad (2)$$

где O^{PM} – онтология управления инновационным проектом; O^{DM} – онтология поддержки принятия решений; Inf^{F} – модель машины логического вывода.

С целью обеспечения объективного представления знаний, а также отображения понятий из одной области знаний в другую при формировании правил принятия решений выполняется объединение онтологии задач, моделей и методов поддержки принятия решений и онтологии проектного менеджмента в интегрированную онтологию. Объединение онтологии управления инновационным проектом и онтологии поддержки принятия решений позволяет на основе собранного опыта принятия решений в рамках управления инновационным проектированием находить решения в проблемных ситуациях конкретного проекта [14].

2 Определение КФС

Известны различные технологические тенденции, лежащие в основе КФС[1], которые можно условно отнести к одной из трёх категорий:

- КФС как расширение встроенных систем. Встроенные устройства могут передаваться через множество средств, таких как *Wi-Fi, Bluetooth* и сотовая сеть [15];

[1] См. например, https://ru.wikipedia.org/wiki/Киберфизическая_система.

- КФС как развитие т.н. виртуального предприятия, где КФС – это замкнутые системы реального времени, в которых распределённые узлы, соединённые сетями, являются адаптивными и прогностическими [16];
- Развитие предприятия на основе совершенствования технологических процессов [17].

В данной статье рассматривается внедрение КФС на основе развития технологических процессов предприятия.

3 Инновационные технологии

В основу концепции третьей ПР положена синергия телекоммуникационных и энергетических систем и технологий с концентрацией внимания на будущем промышленной цивилизации [18].

Основой концепции четвёртой ПР является создание полностью цифровой промышленности, движущей силой которой будут являться цифровые и инфокоммуникационные технологии, которые совершенствуются и обеспечиваются за счёт аналитики данных и вычислительных мощностей [19]. Технологии, составляющие четвёртую ПР, условно разделены на четыре категории (см. рисунок 2).

Рисунок 2 – Технологии четвёртой промышленной революции

Стратегией развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы[2] определены задачи, цели и меры по реализации внешней и внутренней политики России в сфере применения коммуникационных и информационных технологий. Эти технологии направлены на: формирование национальной цифровой экономики; развитие информационного общества; реализацию стратегических национальных приоритетов и обеспечение национальных интересов.

В таблице 2 представлены инновационные технологии, предлагаемые для промышленных предприятий.

В работе [17] описывается стратегия технического обслуживания электродвигателей на всех этапах жизненного цикла (ЖЦ), разработанная концерном «Русэлпром». Технологии, используемые в стратегии и лежащие в основе КФС, представлены на рисунке 3.

[2] Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы утверждена Указом Президента РФ №203 от 9 мая 2017 г. - http://www.kremlin.ru/acts/bank/41919.

Таблица 2 – Предлагаемые инновации для промышленных предприятий

Инновации третьей ПР	Инновации четвёртой ПР	Инновации в Стратегии развития РФ на 2017-2030 гг.
Возобновляемые источники энергии. Строительство зданий, которые сами генерируют энергию. Водородные и др. технологии по хранению энергии. Технология *smart grid* или энергетический интернет. Электрические, гибридные и другие транспортные средства. 3D-принтеры. *Wi-Fi,* планшеты, смартфоны. Цифровые технологии. Интернет вещей. Гибридные стратегии	Имплантируемые технологии. Наше цифровое присутствие. Носимый Интернет. Распределённые вычисления. Хранилище на всех. Интернет вещей и для вещей. Подключенный дом. ИИ и принятие решений. ИИ и рабочие места для белых воротничков. Робототехника и сервисы. *Bitcoin* и цепочка блоков транзакций. 3D-печать и 3D-производство. Нейротехнологии	а) конвергенция сетей связи и создание сетей связи нового поколения; б) обработка больших объёмов данных; в) ИИ; г) облачные и туманные вычисления; д) Интернет вещей и индустриальный Интернет; е) робототехника и биотехнологии; ж) радиотехника и электронная компонентная база; з) информационная безопасность

Рисунок 3 – Технологии КФС

4 Метод оценки при внедрении инноваций на предприятии

Проведённый в [1, 20] анализ методов показал, что для оценки инноваций используются методы организации экспертиз [21], а именно методы: решающих матриц [22, 23]; ПАТТЕРН [24]; информационных оценок А.А. Денисова [25].

Сравнение методов организации сложных экспертиз показало, что основными достоинствами информационных оценок А.А. Денисова являются возможность вычисления степени влияния инновации на реализацию целей и функций предприятия, а также вероятности использования этой инновации в определённых условиях. При этом информационные оценки А.А. Денисова включают в себя информационные модели 1-ого, 2-ого и 3-его видов.

При использовании *модели 1-ого вида* вводятся оценки степени *целесоответствия* (т.е. вероятности достижения цели) p_i' и вероятности использования q_i, и вычисляется потенциал (значимость) H_i инновации. Совокупное влияние инноваций определённой группы (например, объединяемых общей подцелью):

$$H_i = -\sum_{i=1}^{n} q_i \log(1 - p_i'), \quad (3)$$

где n – количество целей и функций.

Информационные *модели 2-го вида* основаны на сравнительном анализе сложных систем в течение определённого начального периода их проектирования (внедрения, развития) путём сопоставления изменения информационных оценок во времени. Существует два способа

измерения H_i: через вероятность p_i и посредством детерминированных характеристик воспринимаемой информации.

В статике в какой-то момент внедрения инновации $H_i = J_i/n_i$, где J - информация о количестве нововведений, измеряемая в относительных единицах, т.е. $J_i = A_i/\Delta A_i$, где ΔA_i – минимальное количество нововведений i-го вида, которое определяет единицу измерения, n – объём понятия об инновации [25].

Информационные *модели 3-го вида* основаны на оценке ситуаций, описываемых информационными уравнениями с учётом взаимного влияния инноваций:

$$H_1 = f(H_{11}, H_{12}, H_{13}),$$
$$H_2 = f(H_{21}, H_{22}, H_{23}),$$
$$H_3 = f(H_{31}, H_{32}, H_{33}).$$

H_1, H_2, … – значимость 1-й, 2-й и т.д. инновации, т.е. ценность этих товаров.
H_{11}, H_{22}, … H_{ii}, …– собственная значимость («себестоимость», «цена») 1-й, 2-й, i-й инновации при отсутствии других нововведений, влияющих на его ценность.
H_{12}, H_{13}, …H_{ij}, … – изменение ценности i-й инновации при наличии на рынке j-й инновации.

Информационные оценки позволяют измерять изменения вклада инновации во времени на основе измеряемых детерминированных параметров и оценить взаимное влияние инноваций. Для каждой инновации оценки p_i и q_i принимают единичные эксперты, которые предлагают и лучше знают особенности каждой инновации [1].

5 Постановка задачи выбора технологии для предприятия

Для постановки задачи необходимо использовать системно-целевой подход [26], который включает в себя построение структуры целей и определение на её основе функций управления. Данный подход позволяет учитывать особенности объекта управления (в данном случае конкретного предприятия), изменять и расширять состав функций [27]:

$$S =< Z, STR, TECH, COND, N >, \quad (4)$$

где $Z = \{z_1, z_2\ , \dots, z_j\ , \dots, z_m\}$– совокупность целей или структура целей организации. Например, при внедрении КФС:
$STR = \{STR_{phy}, STR_{comp}, STR_{net}\}$ – совокупность структур, реализующих цели (STR_{phy} – физическая часть КФС, STR_{comp} – вычислительная платформа, STR_{net} – сетевая структура);
$TECH = \{meth, means, alg\}$ – совокупность технологий и средств, реализующих КФС (методы – $meth$, средства – $means$, алгоритмы – alg и т. п.);
$COND = \{\varphi_{ex}, \varphi_{in}\}$ – условия существования системы, т.е. факторы, влияющие на её создание и функционирование (φ_{ex}, – внешние, φ_{in} – внутренние);
N – наблюдатели, т.е. лица, принимающие и исполняющие принятые решения, осуществляющие структуризацию целей, корректировку структуры КФС.

Требуется определить взаимосвязи инноваций и целей и отобрать подмножество инноваций для внедрения из множества предлагаемых инноваций

$$< z_1, z_2\ , \dots, z_j\ , \dots, z_m\ > \ \Psi\ < inn_1, inn_2 \dots, inn_i, \dots, inn_n >,$$

где Ψ – сложный функционал, реализуемый в диалоговом режиме с применением моделей, алгоритмов и автоматизированных процедур.

Т.е. необходимо выбрать $INN_m =< inn_1, inn_2, \dots, inn_i, inn_m >$ из $INN_n =< inn_1, inn_2, \dots, inn_i, \dots, inn_n >$, $m \in INN_m$, $n \in INN_n$, $INN_m \subset INN_n$ где n – количество предлагаемых инноваций, m – количество внедряемых инноваций.

Решения задачи может быть получено одним из методов системного анализа, например, постепенным сужением области допустимых решений [26].

6 Алгоритм принятия решения о внедрении инноваций для промышленного предприятия

Алгоритм постепенного сужения области допустимых решений инноваций включает следующие этапы.

1) определение структуры целей и функций предприятия.
2) формирование множества инноваций с учётом структуры целей и функций предприятия.
3) сопоставление этапов ЖЦ производства продукции с инновациями.
4) применение методов организации сложных экспертиз для оценки инноваций.
5) построение и анализ гистограмм полученных оценок значимости инноваций.
6) оценка экономической эффективности инноваций.
7) принятие решений о целесообразности внедрения отобранных инноваций.

7 Применение алгоритма выбора инноваций на примере судостроительного предприятия

На основе стратегии развития судостроительной промышленности [28] с учётом работ [15, 18, 19] можно составить множество инноваций (этап 1 и 2 алгоритма), предлагаемых для внедрения на судостроительном предприятии АО «Адмиралтейские верфи» (таблица 3). Взаимосвязи между производственной структурой предприятия и предлагаемыми инновациями показаны на рисунке 4, а соотношение между инновациями и этапами ЖЦ производства (этап 3 алгоритма) показано стрелками на рисунке 5.

Таблица 3 – Инновации для судостроительной промышленности

№	Инновация	Результат внедрения
1.	Лазерные и плазменные технологии	Повышение точности вырезки деталей при отсутствии тепловых деформаций. Обеспечивается минимальная ширина среза, отсутствие скоса кромок и незначительные газопылевые выбросы.
2.	Наукоёмкие сварочные технологии	Одновременное снижение расходов сварочных материалов и энергоресурсов при гарантированном качестве сварных соединений. Адаптивное управление всеми составляющими контура «свариваемое соединение – дуга – источник питания».
3.	Автоматизированные бесконтактные измерительные системы	Измерение сложных криволинейных конструкций при повышении производительности. Проведение межоперационного контроля высокоточных деталей, а также труднодоступных мест крупногабаритных изделий.
4.	Онлайн-сервисы для общения	Объединение всех внутренних и внешних коммуникаций.
5.	Комплексно-механизированные поточные линии	Повышение качества производства за счёт машин и других видов оборудования с взаимоувязанной производительностью. Механизация процессов перемещения продукции.
6.	3D-печать	Печать небольших деталей, выполнение ремонта деталей. Применение 3D-технологии в проектировании, разработке и производстве.
7.	3D-сканеры	3D-сканеры используются для решения задач контроля геометрии, эксплуатационного контроля и контроля оснастки на этапах ремонта и модернизации судов, сборочных и сварочных работ, прокладки внутренних коммуникаций.
8.	Термоэлектрические системы	Большая автономность и высокая надёжность. Безмашинный способ преобразования энергии, малая инерционность. Возможность использования различных источников тепловой энергии.
9.	Современная система электронного документооборота	Упрощение и ускорение процессов согласования и подписания заявок внутреннего документооборота. Автоматизация нормативно-методических и нормативно-технологических документов, представление чертежей в электронном виде, сокращение времени на производство продукции.
10.	Автоматизация складского оборудования	Повышение максимального грузооборота, минимизация ошибок, гибкость настройки оборудования. Сокращение времени на производство продукции.

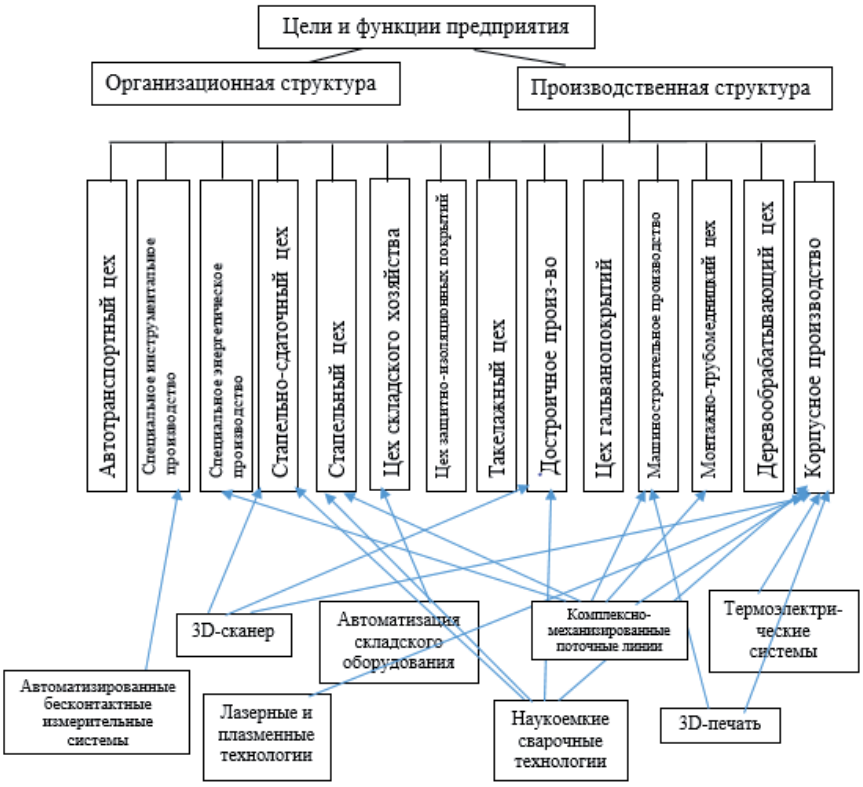


Рисунок 4 – Соотношение между производственной структурой предприятия и предлагаемыми инновациями

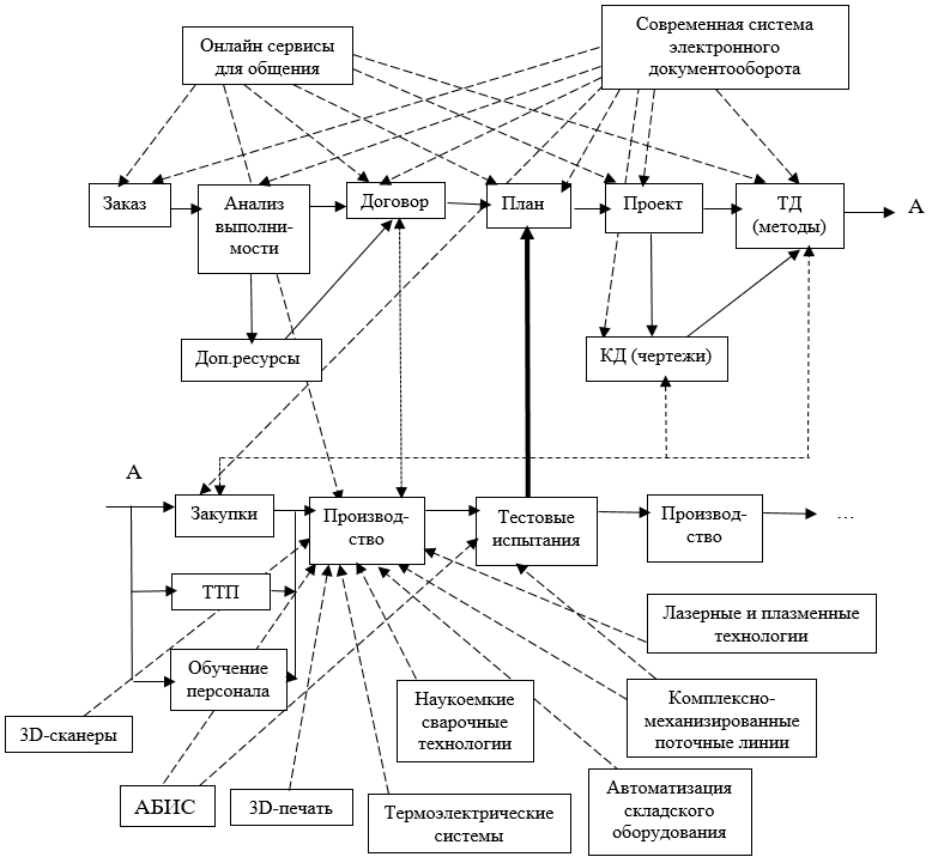


Рисунок 5 – Соотношение ЖЦ продукции судостроительной отрасли с инновациями

В приведённом примере наиболее востребованными инновациями можно считать «Онлайн сервисы для общения», «Современная система электронного документооборота», «Комплексно-механизированные поточные сварочные линии» и «Автоматизированные бесконтактные измерительные системы» (АБИС).

На этапе 4 алгоритма инновации оцениваются с использованием методов организации сложных экспертиз на основе информационных оценок А.А. Денисова. Для автоматизации вычислений этих оценок написана программа на платформе .NET Framework 4.7 с использованием языка программирования C#. При использовании программы осуществляется ввод инноваций для оценки (рисунок 6) и выбор модели, по которой будут оцениваться инновации. При оценке инноваций с применением модели 1-ого вида вводятся цели и функции производственной структуры предприятия (рисунок 7).

Эксперты оценивают вероятность целесоответствия $p_i{}'$ и вероятность реализации q_i для каждой инновации. Далее по формуле $H_i = -q_i \log(1 - p_i{}')$ вычисляется значимость H_i инновации для каждой цели и функции (рисунки 8–15).

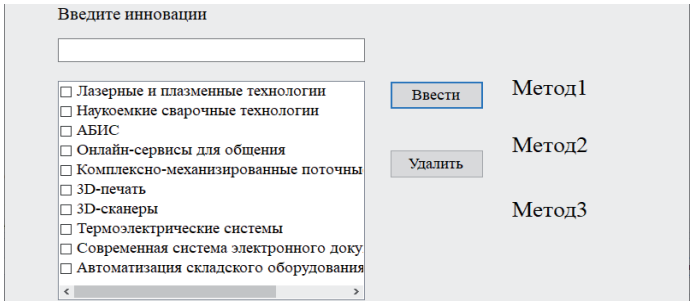


Рисунок 6 – Ввод инноваций для оценки моделью 1-ого вида

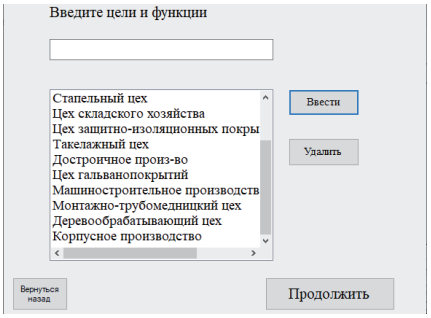


Рисунок 7 – Ввод целей и функций производственной структуры

Рисунок 8 – Оценка лазерных и плазменных технологий

Рисунок 9 – Оценка наукоёмких сварочных технологий

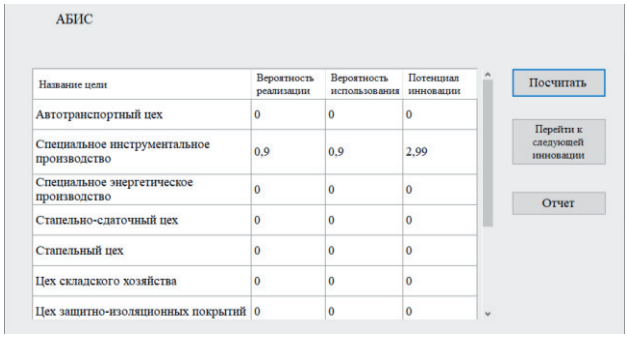


Рисунок 10 – Оценка АБИС

Рисунок 11 – Оценка комплексно-механизированных поточных линий

3D-печать

Название цели	Вероятность реализации	Вероятность использования	Потенциал инновации
Такелажный цех	0	0	0
Достроичное произ-во	0	0	0
Цех гальванопокрытий	0	0	0
Машиностроительное производство	0,8	0,8	1,86
Монтажно-трубомедницкий цех	0	0	0
Деревообрабатывающий цех	0	0	0
Корпусное производство	0,9	0,8	2,66

Посчитать

Перейти к следующей инновации

Отчет

Рисунок 12 – Оценка 3D-печати

3D-сканеры

Название цели	Вероятность реализации	Вероятность использования	Потенциал инновации
Такелажный цех	0	0	0
Достроичное произ-во	0,8	0,8	1,86
Цех гальванопокрытий	0	0	0
Машиностроительное производство	0	0	0
Монтажно-трубомедницкий цех	0	0	0
Деревообрабатывающий цех	0	0	0
Корпусное производство	0,9	0,9	2,99

Посчитать

Перейти к следующей инновации

Отчет

Рисунок 13 – Оценка 3D-сканеров

Термоэлектрические системы

Название цели	Вероятность реализации	Вероятность использования	Потенциал инновации
Цех защитно-изоляционных покрытий	0	0	0
Достроичное произ-во	0	0	0
Цех гальванопокрытий	0	0	0
Машиностроительное производство	0	0	0
Монтажно-трубомедницкий цех	0	0	0
Деревообрабатывающий цех	0	0	0
Корпусное производство	0,9	0,9	2,99

Посчитать

Перейти к следующей инновации

Отчет

Рисунок 14 – Оценка термоэлектрических систем

Автоматизация складского оборудования

Название цели	Вероятность реализации	Вероятность использования	Потенциал инновации
Стапельно-сдаточный цех	0	0	0
Стапельный цех	0	0	0
Цех складского хозяйства	0,8	0,9	2,09
Цех защитно-изоляционных покрытий	0	0	0
Такелажный цех	0	0	0
Достроичное произ-во	0	0	0
Цех гальванопокрытий	0	0	0

Посчитать

Перейти к следующей инновации

Отчет

Рисунок 15 – Оценка автоматизации складского оборудования

После оценки каждой инновации доступны отчёт (рисунок 16) о значимости каждой инновации и гистограммы результатов. Суммарная значимость H_i инновации по каждой цели и функции вычисляется по формуле (3).

Суммарная значимость каждой инновации

Инновация	H	H_норм
Лазерные и плазменные технологии	1,63	0,05
Наукоемкие сварочные технологии	4,93	0,16
АБИС	2,99	0,1
Комплексно-механизированные поточные линии	7,2	0,23
3D-печать	4,52	0,14
3D-сканеры	4,85	0,16
Термоэлектрические системы	2,99	0,1
Автоматизация складского оборудования	2,09	0,07

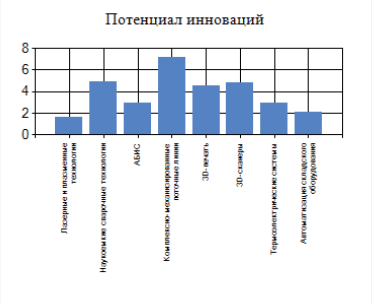


Рисунок 16 – Отчёт о значимости каждой инновации с применением модели 1-ого вида

На основании анализа приведённых результатов выбраны инновации с наибольшими показателями: наукоёмкие сварочные технологии, АБИС, комплексно-механизированные поточные линии, 3D-печать, 3D-сканеры, термоэлектрические системы.

Для оценки инноваций с применением модели 2-ого вида за критерии оценки приняты количество нововведений (сколько единиц будет закуплено) и уменьшение времени на изготовление одной детали. Т.к. модель 2-ого вида позволяет оценивать изменение значимости инновации во времени, эксперт даёт прогноз показателей на конечный период времени и определяет показатели на начальный период времени, а также вводит показатели на текущий момент времени.

На конечный период времени эксперт даёт прогноз значимости инновации по двум критериям ($H_{к1}$ и $H_{к2}$), интересующий объём ($A_{к1}$ и $A_{к2}$) и единицу измерения ($\Delta A_{к1}$ и $\Delta Ак_2$). Используя формулу $n_i = J_i / H_i$, вычисляется объём понятия инновации по двум критериям (n_1 и n_2). Далее эксперт вводит значения объёма инновации ($A_{н1}$ и $A_{н2}$) на начальный период времени (т.е. например, сколько было внедрено 3D сканеров). Зная объём понятия об инновации на конечный и начальный период времени, можно вычислить информацию об объёме инновации на начальный период времени ($J_{н1}$ и $J_{н2}$), а также значимость инновации на начальный период времени ($H_{н1}$ и $H_{н2}$).

Далее эксперту необходимо вводить показатели интересующего объёма ($A_{т1}$ и $A_{т2}$) на текущий период времени. Зная единицу измерения ($\Delta A_{к1}$ и $\Delta Ак_2$), можно определить объём инновации на текущий период времени ($J_{т1}$ и $J_{т2}$), используя формулу $J_i = A_i / \Delta A_i$. После чего, зная J_i, можно вычислить значимость инновации ($H_{т1}$ и $H_{т2}$) на текущий момент времени по формуле $H_i = J_i / n_i$ (рисунок 17 – 20). Также можно получить график изменения значимости инновации во времени (рисунок 21).

Отчёт о значимости каждой инновации представлен на рисунке 22. Наибольшие оценки имеют инновации: комплексно-механизированные поточные линии, 3D-сканеры и 3D-печать. Данные инновации использованы для оценки моделями 3-го вида, а именно, оценки значимости инноваций с учётом их взаимного влияния.

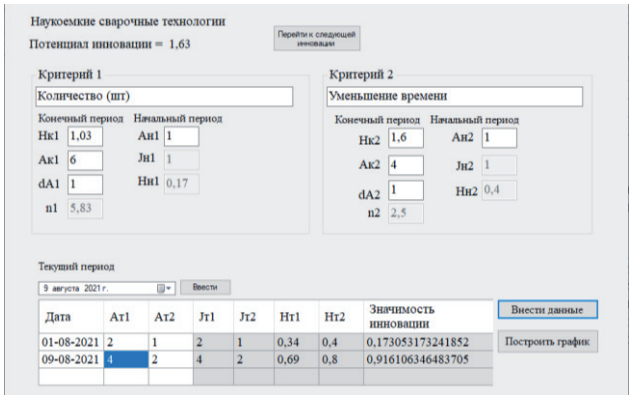


Рисунок 17 – Оценка наукоёмких сварочных технологий на текущий момент времени

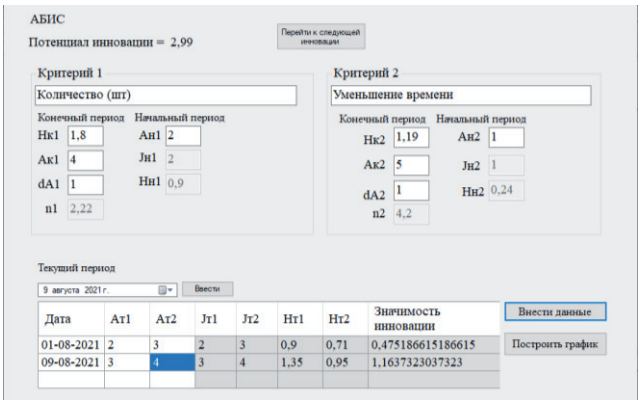


Рисунок 18 – Оценка АБИС на текущий момент времени

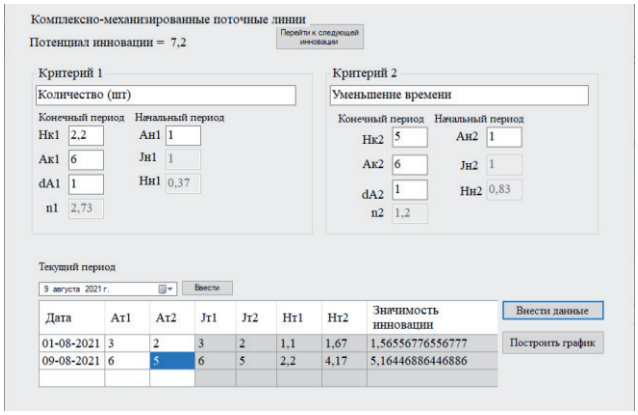


Рисунок 19 – Оценка комплексно-механизированных поточных линий на текущий момент времени

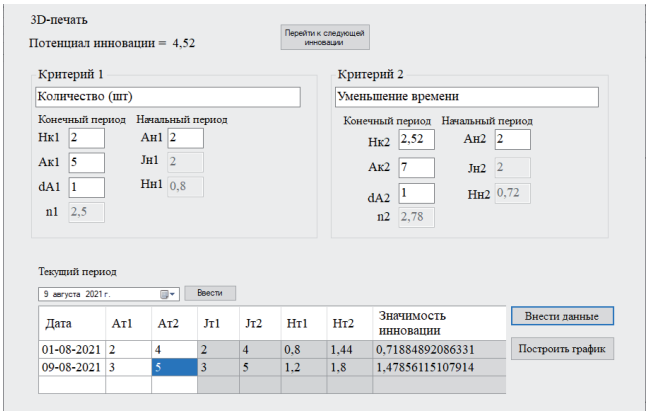


Рисунок 20 – Оценка 3D-печати на текущий момент времени

Рисунок 21 – Изменение значимости инновации 3D-сканер во времени

Инновация	H	H_норм
Наукоемкие	0,92	0,07
АБИС	1,16	0,09
Комплексно-м	5,16	0,42
3D-печать	1,48	0,12
3D-сканеры	2,29	0,19
Термоэлектри	1,33	0,11

Рисунок 22 – Значимость инноваций на текущий период времени

Эксперт определяет интересующий объём (A_i), единицу измерения (ΔA_i) i-ой составляющей и объём понятия (n_{ii}) об инновации при отсутствии других инноваций (рисунок 23). Необходимо принимать во внимание условие $\sum n_{ii} = 1$. Определяются приращения понятия об i-ой инновации при наличии j-ой инновации (Δn_{ij}) (рисунок 24). Осуществляется расчёт объёма i-ой инновации по формуле $J_i = \frac{A_i}{\Delta A_i}$, а также объём понятия об i-ой инновации при наличии j-ой инновации по формуле $n_{ij} = n_{ii} + \Delta n_{ij}$. Вычисление значимости -ой инновации при отсутствии других инноваций выполняется по формуле $H_i = \frac{J_i}{n_{ii}}$, вычисление значимости i-ой инновации при наличии j-й инновации выполняется по формуле $H_{ij} = \frac{J_j}{n_{ij}}$. Итоговое вычисление значимости инноваций с учётом влияния других инноваций определяется по формуле $H_i = H_{ii} \pm \sum_{j=1}^{k} H_{ij}$, где k – количество инноваций (рисунок 25), а знак «-» означает отрицательное приращение понятия об инновации (Δn_{ij}).

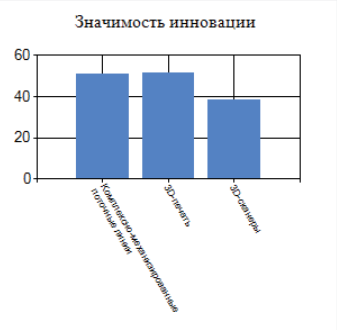
Инновация	Ai ед	Ai	nii	Ji	Hi
Комплексно-механизированные поточные линии	1	6	0,3	6	20
3D-печать	1	8	0,3	8	26,67
3D-сканеры	1	6	0,4	6	15

Рисунок 23 – Вычисление информации об объёме инновации

nij	Комплексно-механизированные поточные линии	3D-печать	3D-сканеры
Комплексно-механизированные поточные линии	0,3	0,2	0,1
3D-печать	0,1	0,3	0,3
3D-сканеры	0,2	0,2	0,4

Рисунок 24 – Ввод приращения объёма понятия об инновации при наличии другой инновации

Инновация	H	H_норм
Комплексно-механизированные поточные линии	51	0,36
3D-печать	51,67	0,37
3D-сканеры	38,33	0,27



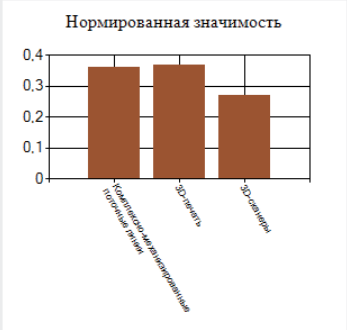


Рисунок 25 – Результаты вычисления значимостей инноваций

Результат вычисления значимости инноваций с учётом их взаимного влияния показали, что наибольшую оценку имеют инновации 3D-печать и комплексно-механизированные поточные линии.

Полученные результаты позволяют принимать решения о целесообразности продолжения внедрения, разработки, дальнейшего инвестирования инноваций.

Заключение

Новые технологии не имеют аналогов в прошлом, и невозможно заимствовать опыт других предприятий.

Предложенный алгоритм оценки инноваций основан на системном подходе и учитывает особенности предприятия, его цели и функции, а также все этапы ЖЦ продукции.

Список источников

[1] ***Волкова В.Н.***, Методы организации сложных экспертиз / В.Н. Волкова, А.А. Денисов // СПб.: Издательство Политехнического университета Санкт-Петербург. – 2010. – 128 с.

[2] ***Fleming, L.*** Technology as a complex adaptive system: evidence from patent data / L. Fleming, O. Sorenson // Research Policy. 2001. №30(7). P.1019-1039.

[3] ***Czarnitzki, D.*** Management Control and Innovative Activity / D. Czarnitzki, K. Kornelius // ZEW Discussion Papers. – 2001. – P.1-68.

[4] ***Моргунов, П.П.*** Модель управления инновационной деятельностью на предприятиях нефтегазового комплекса на примере ОАО «Сургутнефтегаз» / П.П. Моргунов // Нефтегазовое дело. 2006. – №1. – С.64–78.

[5] ***Кононова, Е.Н.*** Информатизационное управление затратообразующими факторами промышленных предприятий / И.Н. Тюкавкин, Е.Н. Кононова // Российский экономический интернет журнал. – М., 2012.

[6] ***Гареев, Т.Ф.*** Нечетко-интервальные описания при оценке эффективности инновационных проектов / Г.Ф. Гареев // Вестник Казанского технологического университета. 2006. №4.

[7] ***Wilson, C.*** Input, Output & Outcome Metrics for Assessing Energy Technology Innovation. Historical Case Studies of Energy Technology Innovation / A. Grubler, F. Aguayo, K. S. Gallager, M. Hekkert, K. Jiang, L. Mytelka, L. Neij, G. Nemet, C. Wilson // The Global Energy Assessment. Cambridge University Press: Cambridge, UK. 2012.

[8] ***Freeman, C.*** The Economics of Industrial Innovation / C. Freeman, L. Soete // Cambridge MA, MIT Press. 2000.

[9] ***Voytolovskiy, N.*** Methods of assessing the efficiency of innovation activities of industrial enterprises / N. Voytolovskiy, A. Butyrin, A. Chizhik // MATEC Web of Conferences. 2001. P.243-265.

[10] ***Гумба, Х.М***. Методические подходы к оценке инноваций строительного предприятия / Х.М. Гумба, Р.Ю. Бурков // Вестник МГСУ. – 2011. – № 6. – С.154-160.
[11] ***Gusev, V.*** Methods for assessing the efficiency of innovation activity of enterprises of the electric power industry / V. Gusev, T. Naumkina, N. Voytolovskiy, E. Minaeva, O. Zemskova // MATEC Web of Conferences 170. 2018, P.1–8.
[12] ***Волкова, В.Н.*** Системный анализ инновационных технологий промышленных революций. Человеческий фактор в сложных технических системах и средах (Эрго-2018) / В.Н. Волкова, А.С. Кудрявцева, А.В. Логинова, А.Е. Леонова, Ю.Ю. Черный // Труды Третьей международной научно-практической конференции. Межрегиональная общественная организация "Эргономическая ассоциация" (Тверь). – 2018. – С.694-702.
[13] ***Бармина, О.В.*** Интеллектуальная система управления взаимодействием бизнес процессов в проектно-ориентированных организациях / О.В. Бармина, Н.О. Никулина // Онтология проектирования. – 2017. – Т.7, №1(23). - С.48-65. - DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-48-65.
[14] ***Никулина, Н.О.*** Интеллектуальная поддержка принятия решений при анализе рисков инновационного проекта / Н.О. Никулина, А.И. Малахова, И.Ф. Иванова // Онтология проектирования. – 2019. – Т.9, №3(33). – С.382-397. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-3-382-397.
[15] ***Lee, E.A.*** Introduction to Embedded Systems. A Cyber-Physical Systems Approach / E.A. Lee, S.A. Seshia // Second Edition. MIT Press 2017. - http://LeeSeshia.org.
[16] ***Vyatkin, V.*** IEC 61499 as enabler of distributed and intelligent automation: State-of-the-art review / V. Vyatkin // IEEE Transaction on Industrial Informatics . – 2011. – №4(7). – P. 768–781.
[17] ***Масютин, С.А.*** Опыт разработки стратегии предприятия для реализации отраслевых стратегий (на примере концерна «Русэлпром») / Пленарные доклады Тринадцатого Всерос. симп. «Стратегическое планирование и развитие предприятий» // Москва, 10–11 апреля 2012 г. – 2012.
[18] ***Rifkin, J***. The Hidrogen Economy: The Creation of the World-Wide Energy Web and the Redistribution of Power on Earth. N.Y.: Tarcher, 2002. 304 p.
[19] ***Шваб, К.*** Четвертая промышленная революция: перевод с англ. // М. Изд-во «Э». – 2017. – 208 с.
[20] ***Кудрявцева, А.С.*** Сравнительный анализ метода решающих матриц Г.С. Поспелова и моделей, основанных на информационном подходе А.А. Денисова // Системный анализ в проектировании и управлении. Сборник научных трудов XXIII Международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 518-523.
[21] Моделирование систем и процессов: Практикум / Под ред. В.Н. Волковой. – М.: Изд-во Юрайт, 2020. 295с.
[22] ***Поспелов, Г.С.*** Проблема программно-целевого планирования и управления / Г.С. Поспелов, В.Л. Вен, В.Н. Солодов, В.В. Шафранский, А.И. Эрлих. – М.: Наука. –1980. - 460 с.
[23] ***Моисеев, Н.Н***. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. - 488 с.
[24] ***Лопухин, М.М.*** ПАТТЕРН (метод планирования и прогнозирования научных работ). М.: Сов. радио, 1971. –160 с.
[25] ***Денисов, А.А.*** Современные проблемы системного анализа: Информационные основы. / Изд. 2-е. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та. – 2004. – 96 с.
[26] ***Волкова, В.Н.*** Теория систем и системный анализ / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – М.: Изд-во Юрайт, – 2014. – 616 с.
[27] ***Волкова В.Н.*** Модели для управления инновационной деятельностью промышленного предприятия. / В.Н. Волкова, А.С. Кудрявцева // Открытое образование. – 2018. – №22(4). – С. 64-73.
[28] Стратегия развития судостроительной промышленности на период до 2035 года, утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 октября 2019 г. № 2553-р.

Сведения об авторе

Кудрявцева Арина Сергеевна, 1994 г. рождения. Окончила Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого в 2018 году. Аспирант высшей школы киберфизических систем и управления Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. В списке научных трудов более 10 работ в области социо-кибернетических систем и автоматизации предприятий на основе инноваций. Author ID (RSCI): 979967; Author ID (Scopus): 57208470347; *kudriavtcevaarina@yandex.ru.*

Поступила в редакцию 07.07.2021, после рецензирования 17.08.2021. Принята к публикации 23.09.2021.

Algorithm for assessing and selecting innovations for an enterprise

A. Kudriavtceva

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

Abstract

Currently, innovative technologies of the third and fourth industrial revolutions have a huge impact on the development of industrial enterprises. There is a need to create an approach to decision-making management when introducing innovative technologies. The purpose of the article is to develop an algorithm for assessing innovative technologies by gradually narrowing the area of feasible solutions. A brief analysis of existing methods for assessing innovations is given. It is shown that the existing economic and complex assessments do not allow to give a systematic assessment of the effectiveness of innovations, since new technologies have no experience in the past. The works of J. Rifkin and K. Schwab, as well as the Strategy for the Development of the Information Society in the Russian Federation for 2017-2030 can form the basis for choosing the initial set of innovations, the basis for forming the area of proposed innovations for implementation. To narrow the selected set of innovations, an algorithm for systemic assessment and selection of innovations is proposed. The study, carried out on the basis of the developed algorithm for the shipbuilding enterprise "Admiralteyskie Verfi" in Saint Petersburg, made it possible to evaluate and select the rational composition of innovations for this enterprise.

Key words: *cyber physical system, industrial enterprise, innovative technologies, systems analysis, decision making*.

Citation: *Kudriavtseva A.* Algorithm for assessing and selecting innovations for an enterprise [In Russian]. *Ontology of designing*. 2021; 11(41): 364-381. DOI: 10.18287 / 2223-9537-2021-11-3-364-381.

List of figures and tables

Figure 1 - Methodology for a comprehensive assessment of innovations
Figure 2 - Technologies of the fourth industrial revolution
Figure 3 - Technologies of the cyber physical system
Figure 4 - The relationship between the production structure of the enterprise and the proposed innovations
Figure 5 - The ratio of the life cycle of products of the shipbuilding industry with innovations
Figure 6 - Selection of innovations for evaluation by the model of the 1st type
Figure 7 - Entering the goals and functions of the production structure
Figure 8 - Assessment of laser and plasma technologies
Figure 9 - Assessment of science-intensive welding technologies
Figure 10 - Assessment of ANMS
Figure 11 - Assessment of complex mechanized production lines
Figure 12 - Assessment of 3D printing
Figure 13 - Evaluation of 3D scanners
Figure 14 - Assessment of thermoelectric systems
Figure 15 - Assessment of automation of warehouse equipment
Figure 16 - Report on the significance of each innovation using the 1st type model
Figure 17 - Assessment of science-intensive welding technologies at the current time
Figure 18 - Assessment of ANMS at the current time
Figure 19 - Assessment of complex mechanized production lines at the current time
Figure 20 - Evaluation of 3D printing at the current time
Figure 21 - Change in the importance of 3D scanner innovation over time
Figure 22 - Significance of innovations for the current period of time
Figure 23 - Calculation of information on the volume of innovation
Figure 24 - Entering an increment in the volume of the concept of innovation in the presence of another innovation
Figure 25 - Results of calculating the significance of innovations
Table 1 - Quantitative indicators of innovation
Table 2 – Proposed innovations of the third and fourth industrial revolutions
Table 3 - Innovation for the shipbuilding industry

References

[1] ***Volkova VN***, ***Denisov A.A.*** Methods of organizing complex examinations [In Russian]. St. Petersburg: Publishing House of the Polytechnic University of St. Petersburg. 2010. 128 p.

[2] ***Fleming L, Sorenson O.*** Technology as a complex adaptive system: evidence from patent data. Research Policy. 2001; 30(7): 1019-1039.

[3] ***Czarnitzki D, Kornelius K.*** Management Control and Innovative Activity. ZEW Discussion Papers. 2001. 68 p.

[4] ***Morgunov P.*** A model for managing innovative activities at oil and gas enterprises on the example of Surgutneftegas, OJSC [In Russian]. Oil and Gas Business. 2006; 1: 64-78.

[5] ***Kononova E, Tyukavkin I.*** Informatization management of cost-generating factors of industrial enterprises [In Russian]. Russian Economic Internet Journal. Moscow, 2012.

[6] ***Gareev T.*** Fuzzy-interval descriptions in assessing the effectiveness of innovative projects [In Russian]. City: Publishing house. 2006.

[7] ***Grubler A, Aguayo F, Gallager KS, Hekkert M, Jiang K, Mytelka L, Neij L, Nemet G, Wilson C***. Input, Output & Outcome Metrics for Assessing Energy Technology Innovation. Historical Case Studies of Energy Technology Innovation. The Global Energy Assessment. Cambridge University Press: Cambridge, UK. 2012.

[8] ***Freeman C, Soete L.*** The Economics of Industrial Innovation. Cambridge MA, MIT Press. 2000.

[9] ***Voytolovskiy N, Butyrin A, Chizhik A.*** Methods of assessing the efficiency of innovation activities of industrial enterprises. MATEC Web of Conferences. 2001. P.243-265.

[10] ***Gumba KhM, Burkov RYu.*** Methodological approaches to assessing the innovations of a construction enterprise [In Russian]. Bulletin of MGSU. 2011; 6: 154-160.

[11] ***Gusev V, Naumkina T, Voytolovskiy N, Minaeva E, Zemskova O.*** Methods for assessing the efficiency of innovation activity of enterprises of the electric power industry. MATEC Web of Conferences 170. 2018, P.1-8.

[12] ***Volkova V.*** System analysis of innovative technologies of industrial revolutions. The human factor in complex technical systems and environments (Ergo-2018) [In Russian]. Proc. of the Third Internat. Scient. and Pract. Conf. Edited by AN Anokhin, AA Oboznov, PI Paderno, SF Sergeev / VN Volkova, AS Kudryavtseva, AV Loginova, AE Leonova, YuYu Black // Interregional Public Organization "Ergonomic Association" (Tver). 2018. P.694-702.

[13] ***Barmina OV, Nikulina NO***. Intelligent system for interactive business processes management in project-oriented organizations [In Russian]. Ontology of designing. 2017; 7(1): 48-65. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-48-65.

[14] ***Nikulina NO, Malakhova AI, Ivanova IF.*** Decision-making intelligent support in the risk analysis of innovative project [In Russian]. Ontology of designing. 2019; 9(3): 382-397. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-3-382-397.

[15] ***Lee EA, Seshia SA.*** Introduction to Embedded Systems. A Cyber-Physical Systems Approach. Second Edition. MIT Press 2017. 564 p. http://LeeSeshia.org.

[16] ***Vyatkin V.*** IEC 61499 as enabler of distributed and intelligent automation: State-of-the-art review. IEEE Transaction on Industrial Informatics. 2011; 4(7): 768–781.

[17] ***Masyutin SA.*** Experience in developing an enterprise strategy for the implementation of sectoral strategies (on the example of the "Ruselprom" concern) [In Russian]. Plenary reports of the Thirteenth All-Russia symposium "Strategic planning and development of enterprises". Moscow, April 10-11, 2012.

[18] ***Rifkin J.*** The Hidrogen Economy: The Creation of the World-Wide Energy Web and the Redistribution of Power on Earth. NY: J.P. Tarcher/Putnam, 2002. 304 p.

[19] ***Schwab K.*** The Fourth Industrial Revolution: translated from English. // M. Publishing house "E". 2017. 208 p.

[20] ***Kudryavtseva AS, Denisova AA.*** Comparative analysis of the decision matrix method by G.S. Pospelov and models based on the information approach [In Russian]. System analysis in design and management. Collection of scientific papers of the XXIII International Scientific and Practical Conference. 2019. P.518-523.

[21] Modeling of systems and processes: Workshop [In Russian]. Ed. VN Volkova. Moscow: Yurayt Publishing House, 2020. 295 p.

[22] ***Pospelov G, Ven VL, Solodov VN, Shafransky VV, Erlikh AI.*** The problem of program-target planning and management [In Russian]. Moscow: Science. 1980. 460p.

[23] ***Moiseev N.*** Mathematical problems of system analysis [In Russian]. Moscow: Science, 1981. 488 p.

[24] ***Lopukhin M.*** PATTERN (method of planning and forecasting scientific works) [In Russian]. Moscow: Sov. radio, 1971. 160 p.

[25] ***Denisov A.*** Modern problems of system analysis: Information bases. [In Russian]. Ed. 2nd. SPb.: Publishing house of the Polytechnic University. 2004. 96 p.

[26] ***Volkova V, Denisov AA.*** Systems theory and systems analysis: textbook for academic bachelor's degree, 2nd ed., Revised and supplemented [In Russian]. Moscow: Yurayt Publishing House. 2014. 616 p.

[27] ***Volkova V, Kudryavtseva AS.*** Models for managing innovative activities of an industrial enterprise [In Russian]. Open education. 2018; 22(4): 64-73.

[28] The strategy for the development of the shipbuilding industry for the period up to 2035, approved by the order of the Government of the Russian Federation [In Russian]. October 28, 2019 No. 2553-r.

About the author

Arina Kudryavtseva (b. 1994) graduated from Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University in 2018. Postgraduate student of the Higher School of Cyber-Physical Systems and Management, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. The list of scientific works includes more than 10 works in the field of socio-cybernetic systems and enterprise automation based on innovations. Author ID (RSCI): 979967; Author ID (Scopus): 57208470347. *kudriavtcevaarina@yandex.ru.*

Received June 07, 2021. Revised August 17, 2021. Accepted September 23, 2021.