

## Применение модели оценки уровня готовности технологий при реализации инновационных научно-технических проектов

Н.П. Гончарова✉, Е.Н. Горлачева

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5

✉ [nataly.gonn79@gmail.com](mailto:nataly.gonn79@gmail.com)

**Аннотация.** В настоящее время возрастает значимость инновационной деятельности, которая является решающим фактором обеспечения экономического роста страны. Обоснованно принимать управленческие решения при воплощении инновационных научно-технических проектов возможно на основе показателей результативности в рамках модели оценки уровня готовности технологий (УГТ). В статье рассмотрена модель оценки уровня готовности технологий (*Technology Readiness Level, TRL*) и предложен набор показателей результативности аналогичной российской модели УГТ. На примере мониторинга предложенных показателей результативности 8-го уровня TRL выявлен фактор, оказывающий наибольшее влияние на один из показателей (рентабельность производства), предложен вариант решения выявленной проблемы, для контроля за показателем обучена нейронная сеть. Полученные результаты показали возможность адаптации шкалы TRL под нужды высокотехнологичных предприятий, осуществляющих программы технологического развития. Результаты могут быть использованы при реализации инновационных научно-технических проектов для снижения затрат на различных этапах жизненного цикла и увеличения эффективности принятых управленческих решений.

**Ключевые слова:** модель оценки уровня готовности технологий, инновационный научно-технический проект, машинное обучение, рентабельность производства

**Для цитирования:** Гончарова Н.П., Горлачева Е.Н. Применение модели оценки уровня готовности технологий при реализации инновационных научно-технических проектов. *Экономика в промышленности*. 2021;14(2):184–194. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2021-2-184-194>

## Application of technology readiness level assessment model in realization of innovative scientific and technological projects

N.P. Goncharova✉, E.N. Gorlacheva

Bauman Moscow State Technical University,  
5 2<sup>nd</sup> Baumanskaya Str., Moscow 105005, Russian Federation

✉ [nataly.gonn79@gmail.com](mailto:nataly.gonn79@gmail.com)

**Abstract.** At present, innovative activity is becoming more and more significant, and is a vital factor of maintaining economic growth of the country. When realizing innovative scientific and technological projects it is possible to make well-grounded managerial decisions basing on the performance indicators within the technology readiness level (TRL) assessment model. The authors study the TRL assessment model and present a set of performance indicators of similar Russian TRL model. On the example of monitoring of suggested performance indicators of the eighth technology readiness level the authors reveal the factor producing the most serious impact on one of the factors (profitability of production) and present an option for solving the problem, and a neuron network has been trained to control the indicator. The results obtained have revealed the possibility of adapting the TRL scale for the needs of high technology

businesses which implement technological development programs. The results can be used in realization of innovative scientific and technological projects to reduce the costs at different life cycle stages and to increase the efficiency of the managerial decisions taken.

**Keywords:** technology readiness level assessment model, innovative scientific and technological project, machine training, profitability of production

**For citation:** Goncharova N.P., Gorlacheva E.N. Application of technology readiness level assessment model in realization of innovative scientific and technological projects. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2021;14(2):184–194. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2021-2-184-194>

## 技术准备水平评估模型在创新科技项目实施中的应用

N.P. 贡恰洛娃✉, E.N. 戈尔拉切娃

莫斯科鲍曼国立技术大学  
105005, 莫斯科, 第二 鲍曼斯卡亚街, 5号  
✉ [nataly.gonn79@gmail.com](mailto:nataly.gonn79@gmail.com)

**摘要：**当今，创新活动的重要性日益提高，它是确保国家经济增长的决定性因素。在实施创新科技项目时，可以在技术准备水平（TRL）评估模型框架内，基于绩效指标制定明智的管理决策。本文综述了技术准备水平（TRL）评估模型，并提出了一套类似于俄罗斯TRL模型的绩效指标。在监测提出的TRL第八级绩效指标的示例中，发现了对其中一个指标（生产盈利性）影响最大的因素，提出了所发现问题的解决方案，并且训练了神经网络来监控指标。结果表明，TRL等级可以适应高科技企业实施技术发展计划的需求。这些结果可用于实施创新型科技项目，目的是降低生命周期不同阶段的成本，提高管理决策的效率。

**关键词：**技术准备水平评估模型、创新科技项目、机器学习、生产的盈利性

### Введение

Модернизация экономики России, нацеленная на сдвиг от экспортно-сырьевой модели к инновационной, связана с технологическим развитием хозяйствующих субъектов страны [1]. Предприятия и организации являются ключевыми элементами, обеспечивающими диффузию инноваций на различных стадиях жизненного цикла высокотехнологичной продукции. В связи с этим технологическое развитие предприятий становится основой снижения операционных затрат на изготовление изделий [2], повышения конкурентоспособности, реализации стратегии диверсификации и расширения номенклатуры выпускаемой продукции, обеспечения выполнения изменяющихся требований нормативно-правовой базы (безопасности, экологических стандартов и др.).

Актуальность работы обусловлена необходимостью поиска инструмента, позволяющего хозяйствующему субъекту в условиях неопределенности быстро принимать обоснованные управленческие решения, оценивая готовность технологий на различных этапах создания инновационной продукции для достижения целей программ технологического развития. Цели таких программ представлены в **табл. 1**.

Достижение поставленных целей на предприятиях возможно посредством реализации инновационных научно-технических проектов, объектом управления которых является разрабатываемая технология. Для снижения затрат при воплощении инновационных проектов необходимо оценивать их готовность на каждом этапе жизненного цикла. Научная инновационная деятельность сложно поддается объективной оценке, так как результаты деятельности в основном являются качественными. Существующая модель оценки уровня готовности технологий (*Technology Readiness Level, TRL*) учитывает управление технологией при реализации проектов и позволяет давать оценку ее готовности.

Цель исследования состоит в предложении показателей результативности уровней готовности технологии и применении полученных данных для принятия управленческих решений при воплощении инновационных научно-технических проектов. Задачи исследования сводятся к анализу модели оценки уровня готовности технологий, выявлению показателей результативности на различных уровнях и последующего применения полученных данных.

Инновационная деятельность сопряжена с высоким уровнем неопределенности, который

характеризуется большим объемом информации. Лицу, принимающему решения, для выявления закономерностей, устранения ошибок и построения прогнозов по результатам мониторинга показателей результативности необходимо обладать достаточными компетенциями, а также затрачи-

вать временные ресурсы. В связи с этим практическое применение предложенных показателей для принятия обоснованного управленческого решения возможно осуществлять с использованием машинного обучения, которое позволяет быстро и эффективно решать задачу обработки данных.

Таблица 1 / Table 1

**Цели реализации программ технологического развития**  
Objectives of implementation of technological development programs

Цель	Описание цели	Пример
Обеспечение защиты текущего положения на рынке	Может быть достигнута с помощью своевременной замены производственного оборудования на более новое, что существенно сократит потребляемые материальные, трудовые и временные ресурсы, затраченные в ходе производства высокотехнологичной продукции, внедрения новых материалов и инструментов производства, разработки новых бизнес-моделей, внедрения идеологии бережливого производства и пр.	Обновление сборочного цеха на российском заводе Hyundai: внедрение системы автоматического обнаружения проблем при нанесении герметика на стекло роботом, системы подачи задних бамперов на станцию, системы автоматической смены последовательности кузовов на станциях и пр. [3]
Выполнение требований законов	В некоторых промышленных отраслях невозможно осуществлять продажу высокотехнологичной продукции, если она не удовлетворяет требованиям безопасности, экологичности и пр. В связи с этим целью многих предприятий, осуществляющих технологическое развитие, является выполнение требований законов к этим показателям	Введение экологического стандарта, регулирующего содержание вредных веществ в выхлопных газах Евро-5, способствовало принятию мер по переоборудованию производственных линий или внедрению новых технологий на заводах – производителях легковых и грузовых автомобилей по всему миру, в частности, Alfa Romeo, Audi, General Motors и др.
Повышение операционной эффективности	Может приводить к снижению себестоимости продукции и повышению доходности предприятия с единицы товара, что также возможно осуществить с помощью технологического развития предприятия	Модернизация производства на предприятии ГК «Ростсельмаш», направленная на обеспечение стандартов качества продукции с одновременным снижением трудоемкости за счет внедрения инновационной системы в процесс сборки комбайнов. Результат – увеличение эффективности отдельных операций в 2,5 раза [4]
Реноме	Репутация предприятия для потребителя на сегодняшний день в условиях производства большого объема товаров одного типа и вида, различающихся маркетинговыми механизмами, оказывает влияние на принятие решения о выборе продукции, в связи с этим упоминание в СМИ о внедряемых высокотехнологичных изменениях, удовлетворяющих этическим аспектам, волнующим общество, например, повышение экологичности производства, внедрение бережливого производства повышает шансы на успех у целевой группы потребителей	Совместный проект ВСМПО-АВИСМА и компании Boeing по внедрению бережливого производства на участке «Мехобработки» [5]. Участие в «эколого-промышленных сетях», например по средствам ирландской ресурсной биржи SMILE (Saving Money through Industry Links and Exchanges) [6]
Производство инновационных изделий	Производство новых высокотехнологичных изделий для удовлетворения потребностей общества и собственных потребностей предприятия	Использование разработок Индустрии 4.0 на заводе Bosch в Ройтлингене: 1) внедрение интеллектуальной системы для распределения задач с учетом различных требований приоритизации (RTD); 2) внедрение радиометок RFID, которые позволяют отслеживать изготовление деталей на заводе путем определения положения транспортных контейнеров. Внедрение компанией Bosch карбидокремниевых полупроводников, повышающих эффективность электромобилей [7]

**Модель оценки уровня готовности технологий**

Исторически модель оценки уровня готовности технологий TRL (*technology readiness level*) была предложена в 70-е годы XX в. Национальным управлением по аэронавтике и исследованию космического пространства США (NASA) [8]. Необходимость создания модели TRL обуславливалась тем, что разработка высокотехнологичной продукции осуществлялась с задержкой сроков и сопровождалась перерасходом средств, что было выявлено Счетной палатой США. Проблемы увеличения сроков разработки и производства высокотехнологичной продукции в рамках инновационных научно-технических проектов, а также высокого потребления ресурсов, в том числе материальных, трудовых и др., их перерасход являются актуальными и в настоящее время. Одной из причин данных проблем является неверная оценка степени готовности технологий.

Согласно определению по ГОСТ Р 56861-2016, TRL (по ГОСТ Р 56861-2016 – уровень готовности технологии – УГТ) – степень развития разрабатываемой технологии в целях ее внедрения в конечный продукт [9]. Степень развития технологии оценивают по многоуровневой шкале в зависимости от специфики продукта.

Уровень готовности отражает состояние процесса разработки, позволяющий в рамках формализованной шкалы оценить степень ее готовности (зрелости) для практического использования при создании и производстве инновационной продукции и принять решение о целесообразности продолжения работ и успешном завершении процесса реализации проекта [10].

Под шкалой уровней готовности в рамках данной работы понимается система показателей, определяющих уровни готовности (зрелости) некоего инновационного высокотехно-

логичного изделия на различных этапах его разработки. Вид шкалы TRL [11, 12] представлен в табл. 2.

Модель оценки готовности технологий TRL не содержит количественных значений и преимущественно дает качественный анализ. На сегодняшний день созданы различные инструментальные средства, или калькуляторы, которые на основе ответов лица, принимающего решения на вопросы каждого уровня позволяют получить количественную оценку. В основе разработанных калькуляторов лежит алгоритм У. Нолта [13]. Так, национальным управлением NASA был разработан калькулятор продвинутой степени сложности AD2, исследовательская лаборатория BBC разработала калькулятор AFRL (*Air Force Research Laboratory*) [14]. На сегодняшний день существуют и другие исследования, позволяющие оценить УГТ [15, 16]. В основном калькуляторы разработаны на базе MS Excel, но также существуют такие, как CCSI TRL Likelihood Model – система оценки TRL, созданная средствами корпоративного портала Alfresco [17]. Также существуют работы, которые указывают на необходимость использования оценки не только TRL, но и инженерной, организационной, рыночной готовности и др. [18].

Исходя из того, что инновационные научно-технические проекты осуществляются в условиях неопределенности [19], для принятия управленческих решений о переходе на следующий этап лицу, принимающему решения, необходимо обработать большой объем данных [20], поступающих как из макро-, так и из микросреды предприятия. В связи с этим для эффективного принятия управленческих решений на различных УГТ в рамках данного исследования предлагается применять машинное обучение.

Таблица 2 / Table 2

**Шкала уровня готовности технологии TRL**

TRL scale

Номер уровня	Описание уровня
1	Сформулирована фундаментальная концепция технологии и обоснована ее полезность
2	Определены целевые области применения технологии и ее критические элементы
3	Изготовлен макет и продемонстрированы его ключевые характеристики
4	Проверка компонентов и / или макетов в лабораторных условиях, разработана концепция технологии и / или приложение
5	Проверка компонентов и / или макетов в соответствующей среде
6	Изготовлен репрезентативный полнофункциональный образец в пилотной производственной линии, подтверждены рабочие характеристики в условиях, приближенных к реальности
7	Демонстрация прототипа в составе системы в реальных условиях эксплуатации
8	Окончательное подтверждение работоспособности образца
9	Продукт удовлетворяет всем требованиям: инженерным, производственным эксплуатационным, к качеству и надежности

Авторами, на основе анализа [12, 21, 22] предложены показатели результативности модели УГТ (табл. 3).

Некоторые показатели результативности ввиду большого количества используемых данных в ходе реализации проекта постоянно изменяются, сложны в восприятии и в интер-

претации для лица, принимающего решения, например, рентабельность, выполненный объем работ, результаты испытаний, данные по результатам патентных исследований и др. В связи с этим предлагается использовать машинное обучения для обработки показателей результативности.

Таблица 3 / Table 3

**Показатели результативности уровня готовности технологий (УГТ)**

Performance indicators of the levels of the TRL model

Уровень готовности технологий	Показатели результативности
Сформулирована фундаментальная концепция технологии и обоснована ее полезность	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Количество опубликованных членами команды проекта результатов исследований в рецензируемых научных журналах, индексируемых международными системами научного цитирования.</li> <li>2. Отчеты команды проекта по итогам фундаментальных исследований.</li> <li>3. Экспертное заключение.</li> <li>4. Решение, представленное в форме презентации инновационного научно-технического проекта</li> </ol>
Определены целевые области применения технологии и ее критические элементы	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Количество опубликованных членами команды проекта результатов исследований в рецензируемых научных журналах, индексируемых международными системами научного цитирования.</li> <li>2. Предварительное техническое задание.</li> <li>3. Отчет о патентных исследованиях, оформленный с привлечением специалиста в области интеллектуальной собственности, оценка качества патентного исследования.</li> <li>4. Отчет о научно-исследовательской работе (НИР).</li> <li>5. Итог представлен в форме презентации инновационного научно-технического проекта</li> </ol>
Изготовлен макет и продемонстрированы его ключевые характеристики	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Число поданных заявок на выдачу патентов (свидетельств) на: <ul style="list-style-type: none"> <li>– изобретения;</li> <li>– полезные модели;</li> <li>– промышленные образцы;</li> <li>– селекционные достижения;</li> <li>– программы для ЭВМ, базы данных;</li> <li>– топологии интегральных микросхем.</li> </ul> </li> <li>2. Число выданных патентов (свидетельств) на: <ul style="list-style-type: none"> <li>– изобретения;</li> <li>– полезные модели;</li> <li>– промышленные образцы;</li> <li>– селекционные достижения;</li> <li>– программы для ЭВМ, базы данных;</li> <li>– топологии интегральных микросхем.</li> </ul> </li> <li>3. Ноу-хау.</li> <li>4. Число охраняемых объектов интеллектуальной собственности на зарубежных рынках.</li> <li>5. Эскизная конструкторская документация.</li> <li>6. Акт приемки макета, программа и методика испытаний.</li> <li>7. Отчет о НИР.</li> <li>8. Итог представлен в форме презентации инновационного научно-технического проекта</li> </ol>
Проверка компонентов и / или макетов в лабораторных условиях, разработана концепция технологии и / или приложение	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Техническое задание (ТЗ) на модель.</li> <li>2. Акт приемки модели.</li> <li>3. Методика испытаний.</li> <li>4. Акты и отчеты по анализу результатов испытаний, тестированию в расширенном диапазоне параметров, патентных исследованиях, публикациях и заявках на патент, НИР.</li> <li>5. Лабораторные и технологические регламенты, документация</li> </ol>
Проверка компонентов и / или макетов в соответствующей среде	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Техническое задание на экспериментальный образец.</li> <li>2. Акт приемки экспериментального образца.</li> <li>3. Протоколы испытаний: <ul style="list-style-type: none"> <li>– корректировка документации;</li> <li>– рабочая конструкторская технологическая документация;</li> <li>– опытные образцы.</li> </ul> </li> <li>4. Количественные результаты испытаний модели</li> </ol>



Окончание табл. 3

Уровень готовности технологии	Показатели результативности
Изготовлен репрезентативный полнофункциональный образец в пилотной производственной линии, подтверждены рабочие характеристики в условиях, приближенных к реальности	1. Техническая документация на полнофункциональный образец. 2. Образец, изготовленный на прототипе производственной линии: характеристики образца, требуемые ресурсы и пр. 3. Акты и отчеты о подготовленной методике и лабораторном испытательном стенде. 4. Результаты испытаний образца. 5. Отчет о НИР
Демонстрация прототипа в составе системы в реальных условиях эксплуатации	1. Техническая документация на полнофункциональный полноразмерный образец. 2. Изготовление образца на производственной линии: определены все характеристики, требуемые ресурсы, компоненты и пр. 3. Акты и отчеты о подготовленной методике и испытательном стенде в реальных эксплуатационных условиях. 4. Результаты испытаний и проверка на соответствие ТЗ. 5. Набор документации
Окончательное подтверждение работоспособности образца	1. Конструкторская документация. 2. Выполненный объем работ и услуг. 3. Объем производства. 4. Рентабельность. 5. Смета. 6. Акты приемки промышленного образца, испытаний. 7. Набор документации
Продукт удовлетворяет всем требованиям: инженерным, производственным эксплуатационным, к качеству и надежности	1. Конструкторская документация. 2. Выполненный объем работ и услуг. 3. Объем производства. 4. Рентабельность. 5. Смета. 6. Акты приемки промышленной серии, испытаний. 7. Акт о решенных вопросах промышленной и экологической безопасности. 8. Подготовленный пакет документации для производства, эксплуатации, ремонта, утилизации и обучения

### Практическое применение машинного обучения для оценки результатов уровней готовности технологий

В рамках данной работы предлагается рассмотреть возможность применения машинного обучения как инструмента обоснования принятия управленческих решений при оценке отдельных уровней модели TRL. На сегодняшний день реализация инновационного научно-технического проекта осуществляется в условиях большого объема данных, а машинное обучение позволяет не только обрабатывать данные и приводить их в вид необходимый для принятия решений, но и выявлять в них закономерности, на основе которых можно как принимать окончательное решение об УГТ, так и прогнозировать развитие технологии на следующих уровнях.

В качестве объекта исследования было выбрано предприятие «Х», которое в течение четырех лет осуществляло опытное производство высокотехнологичной продукции «М1» в тестовом режиме. Данный инновационный научно-технический проект находится на 8 УГТ, в рамках ко-

торого принимается решение о выборе наиболее перспективной технологии для внедрения в производственный процесс предприятия. Запуск пилотной линии производства и выпуск первых опытных изделий позволяет оценить экономическую эффективность внедряемой технологии. При этом сохраняется возможность доработки, т.к. не осуществляется полномасштабное серийное производство, т.е. денежные средства, трудовые и временные ресурсы на переналадку производственной линии, выстраивание бизнес-процессов и прочее еще не вложены. Для перехода на 9 уровень в соответствии с предложенными авторами в табл. 3 показателями результативности необходимо оценить рентабельность, в частности показатель, отражающий эффективность использования ресурсов, а именно рентабельность производства. Для расчета были выбраны данные за 2016–2020 гг. по следующим категориям: основные производственные фонды (ОПФ), сырье и основные материалы, денежные средства, запасы, комплектующие, прибыль. В табл. 4 представлена часть данных для исследования.

Таблица 4 / Table 4

Данные для исследования

Research data

Дата (г/м/ч)	ОПФ, млн руб.	Сырье и основные материалы, млн руб.	Денежные сред- ства, млн руб.	Запасы, млн руб.	Комплектую- щие, млн руб.	Прибыль, млн руб.	Рентабель- ность
2016-1-9	135,012	39,604	76,660	73,653	35,103	139,384	0,39
2016-1-24	139,958	36,389	101,106	59,379	36,389	140,374	0,38
2016-2-10	139,958	44,170	131,694	61,973	45,302	141,402	0,33
2016-2-22	174,887	48,968	130,046	66,994	45,470	145,838	0,31
2016-3-8	174,887	47,059	126,601	80,942	47,059	143,536	0,30
2016-3-24	154,433	44,271	110,698	62,267	40,153	138,190	0,34
2016-4-9	154,433	49,969	111,224	94,747	48,750	141,237	0,31
2016-4-20	152,702	44,792	109,844	59,147	40,720	144,979	0,36
2016-5-10	152,702	42,959	86,757	80,084	39,962	148,844	0,37
2016-5-23	149,050	39,747	82,772	86,151	39,747	149,497	0,38
2016-6-9	149,050	50,046	119,278	64,226	44,486	140,602	0,33
2016-6-21	182,858	54,858	132,755	68,389	48,762	143,522	0,29
2016-7-11	182,858	44,600	105,522	82,910	45,715	144,602	0,31
2016-7-20	160,833	40,744	85,327	100,167	41,817	147,542	0,34
2016-8-11	160,833	52,817	122,007	71,655	46,948	138,728	0,31
2016-8-23	166,891	43,391	89,943	101,426	43,391	142,650	0,32
2016-9-9	166,891	41,239	75,275	84,885	38,362	140,085	0,34
2016-9-24	181,015	47,064	114,884	90,266	49,478	145,827	0,30
2016-10-11	181,015	46,733	125,245	61,688	44,508	148,123	0,32
2016-10-24	163,391	46,839	124,765	56,054	44,660	149,931	0,34

На основе полученных данных для исследования была рассчитана рентабельность производства продукции «М1» по следующей формуле:

$$P_{\text{пр}} = \frac{\Pi}{(C_{\text{опф}} + C_{\text{ос}})},$$

где  $P_{\text{пр}}$  – рентабельность производства;  $\Pi$  – прибыль;  $C_{\text{опф}}$  – средняя стоимость основных производственных фондов;  $C_{\text{ос}}$  – средняя стоимость оборотных средств.

Изменение рентабельности производства за исследуемый период графически представлено на рис. 1. Рентабельность производства продукции «М1» колеблется в пределах от 29 до 43 %. Менеджером проекта было принято решение искать возможности снижения затрат ресурсов на производство продукции.

На языке программирования Python с помощью функции корреляции из библиотеки pandas (рис. 2) была построена матрица зависимостей, представленная в табл. 5. Из табл. 5 следует, что наибольшее влияние на изменение рентабельности оказывают комплектующие, которые составляют 87 %.

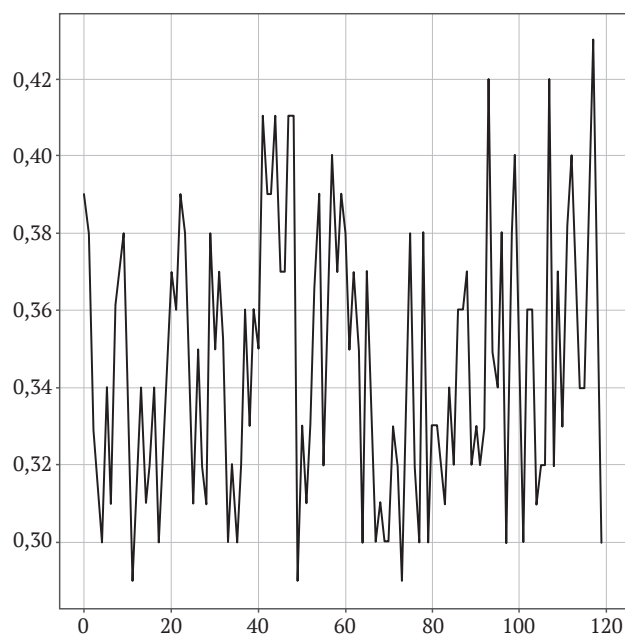


Рис. 1. Изменение рентабельности производства за 2016–2020 гг.

Fig. 1. Change in profitability of production 2016–2020

```
open_data.corr().style.background_gradient(cmap='coolwarm')
```

Рис. 2. Функция корреляции библиотеки pandas

Fig. 2. The correlation function of the pandas library

Проведя исследование поставщиков комплектующих, было выявлено, что изменение стоимости при условии импортных комплектующих колеблется в связи с изменением курса валют.

Исходя из проведенного исследования, было принято решение по импортозамещению комплектующих.

Для дальнейшего мониторинга и контроля за эффективным использованием ресурсов при производстве продукции «М1» на основе исследуемых данных была обучена нейронная сеть, представленная на **рис. 3**. Нейронная сеть обучается с помощью метода линейной регрессии и позволяет прогнозировать изменение рентабельности, что в дальнейшем позволит выявлять аномалии в данных.

Использование показателя результативности, предложенного в **табл. 3**, позволило оце-

нить готовность высокотехнологичного изделия к переходу на следующий уровень. Полученная в рамках примера эффективность использования ресурсов при осуществлении опытного производства и обнаруженная с помощью машинного обучения возможность для экономии издержек позволяют сделать вывод о том, что если не учитывать оценку УГТ и осуществлять необоснованный переход при реализации инновационного проекта, то своевременно не исправляются ошибки предыдущих уровней, в частности ошибочный выбор поставщиков. Выявление недоработок на следующих этапах, в частности на 9-м уровне при реализованном массовом производстве и наличии отработанных связей с поставщиками, повлекут издержки, превышающие те, которые необходимы для решения данной задачи на 8-м УГТ.

Таблица 5 / Table 5

Матрица зависимостей

Dependency Matrix

	ОПФ	Сырье и основные материалы	Денежные средства	Запасы	Комплек- тующие	Прибыль	Рентабель- ность
ОПФ	1,0	0,397258	0,287299	0,149587	0,448040	-0,028877	-0,727605
Сырье и основные материалы	0,397258	1,0	0,497079	0,368509	0,885345	-0,017431	-0,785126
Денежные средства	0,287299	0,497079	1,0	-0,461707	0,544577	0,079554	-0,486887
Запасы	0,149587	0,368509	-0,461707	1,0	0,464848	-0,104822	-0,417273
Комплек- тующие	0,448040	0,885345	0,544577	0,464848	1,0	-0,025177	-0,877956
Прибыль	-0,028877	-0,017431	0,079554	-0,104822	-0,025177	1,0	0,272338
Рентабельность	-0,727605	-0,785126	-0,486887	-0,417273	-0,877956	0,272338	1,0

```
import pandas
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.linear_model import LinearRegression

plt.style.use('ggplot')
plt.rcParams['figure.figsize'] = (20, 20)

open_data = pandas.read_json('data.json', orient='index')
open_data.drop("Data", axis=1, inplace=True)
arr = open_data.values
X = arr[:, 0:7]
y = arr[:, 7]

X_train, X_test, Y_train, Y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2)
model = LinearRegression()

model.fit(X_train, Y_train)
prediction = model.predict(X_test)
```

Рис. 3. Нейронная сеть

Fig. 3. Neural network



Применение машинного обучения для решения задачи позволило в кратчайшие сроки выявить закономерности в большом объеме данных и построить задел на будущее в виде обученной нейронной сети, которая осуществляет мониторинг за изменениями рентабельности производства. Таким образом, на 9-м уровне готовности технологий лицо, принимающее решение, сможет получить обработанные данные об изменении эффективности использования ресурсов и принять на их основе необходимые управленческие решения.

### Заключение

Для достижения целей технологического развития предприятиям необходимо воплощать инновационные научно-технические проекты с учетом готовности технологии на каждом этапе реализации. Так как объектом управления в рамках модели УГТ является технология, то ее

использование позволяет давать необходимую оценку требуемой технологической готовности. Для получения оценки на каждом уровне были предложены показатели результативности, позволяющие принимать обоснованные управленческие решения о переходе на следующий уровень. В связи с тем, что ряд предложенных показателей представляет собой достаточно большой и сложно интерпретируемый объем данных, было использовано машинное обучение для обработки информации. На основе практического применения модели с использованием машинного обучения для анализа данных выявлено, что своевременное устранение ошибок позволяет снизить издержки при реализации проектов, упрощает лицу, принимающему решение, работу по обработке информации и интерпретации результатов, таким образом ускоряя принятие управленческих решений в постоянно изменяющихся условиях.

### Список литературы

1. Беляков Г.П., Кочемаскин А.Н. Понятие и экономическая сущность научно-технологического развития. *Проблемы современной экономики*. 2014;1(49):38–41.
2. Емельянов А.Ю., Петрушка Т.А. Технологическое развитие предприятий как средство обеспечения конкурентоспособности их продукции. *Проблемы экономики и менеджмента*. 2014;3(31):39–46.
3. Альманах «Управление производством». Еще современнее, еще эффективнее: новое оборудование в цехе сборки «Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус». URL: [http://www.up-pro.ru/library/modernization/modernization\\_teh/effektivnee-hyundai.html](http://www.up-pro.ru/library/modernization/modernization_teh/effektivnee-hyundai.html) (дата обращения: 06.01.2021).
4. Альманах «Управление производством». Как умный гайковерт в 2,5 раза производительность поднял. URL: [http://www.up-pro.ru/library/modernization/modernization\\_teh/umnyy-gaykovert.html](http://www.up-pro.ru/library/modernization/modernization_teh/umnyy-gaykovert.html) (дата обращения: 21.02.2021).
5. Альманах «Управление производством». Вместе с Boeing: бережливое производство в Корпорации ВСМПО-АВИСМА. URL: [http://www.up-pro.ru/library/production\\_management/lean/vmeste-s-boeing.html](http://www.up-pro.ru/library/production_management/lean/vmeste-s-boeing.html) (дата обращения: 21.01.2021).
6. O'Regan B., Moles R. *Establishing an Eco-Industrial Network for Small and Medium-Sized Enterprises in the Mid-West Region*. University of Limerick Institutional Repository, Ireland; 2009. 62 p.
7. Альманах «Управление производством». НИ-ОКР в компании BOSCH: обзор корпоративного исследовательского сектора. URL: <http://www.up-pro.ru/library/innovations/niokr/bosch-centr.html> (дата обращения: 06.02.2021).
8. Thuy Mai. Technology Readiness Level. National Aeronautics and Space Administration. 2012. URL: [https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/txt\\_accordion1.html](https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/txt_accordion1.html) (дата обращения: 17.01.2021).
9. ГОСТ Р 56861-2016. Система управления жизненным циклом. Разработка концепции изделия и технологий. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. 2016 № 60-ст.
10. Сливцкий А.Б. Система уровней готовности технологий как оптимальная модель организации и финансирования процесса создания научно-технического задела в российской промышленности. *Россия: тенденции и перспективы развития*. 2016;11(3):461–469.
11. *The TRL Scale as a Research & Innovation Policy Tool, EARTO Recommendations*. EARTO Impact Delivered; 2014. 17 p.
12. Приказ об утверждении уровней готовности технологий и производства. Госкорпорация «Росатом» 2018. №1/420-П. URL: <https://www.rosatom.ru/upload/iblock/b32/b327dfa0f9496649a2ba775b31e42bbf.pdf> (дата обращения: 06.02.2021).
13. Жебель В.В., Комаров А.В., Комаров К.А., Шуртаков К.В. Программное средство для комплексной оценки технологической готовности инновационных научно-технологических проектов. *Экономика науки*. 2018;4(1):58–68. <https://doi.org/10.22394/2410-132X-2017-4-1-58-68>
14. AFRL TRL Calculator. URL: <https://www.dau.edu/cop/stm/Lists/Tools/DispForm.aspx?ID=4> (дата обращения: 06.01.2021).
15. Altunok T., Cakmak T. A technology readiness levels (TRLs) calculator software for systems engineering and technology management tool. *Advances in Engineering Software*. 2010;41(5):769–776. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2009.12.018>

16. Криворученко В.С., Дмитренко И.П. Калькулятор TRL повышенной точности. *Теория и практика современной науки. Матер. XVIII Межд. науч.-практ. конф.* М.: НИИЦ «Институт стратегических исследований»; 2015:60–68.

17. Engel D.W., Dalton A.C., Sivaramakrishnan C., Lansing C. *CCSI Technology Readiness Levels Likelihood Model (TRL-LM) User's Guide*. Pacific Northwest National Laboratory. PNNL-22374; 2013. 18 p.

18. Петров А.Н., Сартори А.В., Филимонов А.В. Комплексная оценка состояния научно-технических проектов через уровень готовности технологий. *Экономика науки*. 2016;2(4):244–260. <https://doi.org/10.22394/2410-132x-2016-2-4-244-260>

19. Горлачева Е.Н., Гончарова Н.П. Методы машинного обучения в управлении проектами. В кн.: *Десятые Чарновские Чтения. Сб. тр. X Всерос. науч. конф. по орг. произв.* М.: НОЦ «Контроллинг и управленческие инновации» МГТУ

им. Н.Э.Баумана, НП «Объединение контроллеров»; 2021:42–46.

20. Горлачева Е.Н., Гончарова Н.П. Обзор интеллектуальных методов управления инновационными научно-техническими проектами. *Нанотехнологии: Разработка, Применение – XXI век*. 2020;12(4):5–19.

21. European Commission. *Technology Readiness Level: Guidance Principles for Renewable Energy technologies*. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2017. 48 p.

22. Минобрнауки России. Методика определения уровней готовности технологии в рамках проектов федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы». Минобрнауки России 11.07.2017. № ГТ-57/14вн. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_281891/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_281891/) (дата обращения: 06.02.2021).

## References

1. Belyakov G.P., Kochemaskin A.N. The notion and the economic essence of scholarly technological development (Russia, Krasnoyarsk). *Problems of Modern Economics*. 2014;1(49):38–41. (In Russ.).

2. Emelyanov A.Yu., Petrushka T.A. Technological development of enterprises as backer-up competitiveness of their products. *Problemy ekonomiki i menedzhmenta = Problems of economics and management*. 2014;3(31):39–46. (In Russ.).

3. Almanac “Production Management”. Even more modern, even more efficient: new equipment in the assembly shop of Hyundai Motor Manufacturing Rus. URL: [http://www.up-pro.ru/library/modernization/modernization\\_teh/effektivnee-hyundai.html](http://www.up-pro.ru/library/modernization/modernization_teh/effektivnee-hyundai.html) (accessed on 06.01.2021). (In Russ.).

4. Almanac “Production Management”. As a smart wrench, the productivity has increased by 2.5 times. URL: [http://www.up-pro.ru/library/modernization/modernization\\_teh/umnyy-gaykovert.html](http://www.up-pro.ru/library/modernization/modernization_teh/umnyy-gaykovert.html) (accessed on 21.02.2021). (In Russ.).

5. Almanac “Production Management”. Together with Boeing: lean manufacturing at VSMPO-AVISMA Corporation. URL: [http://www.up-pro.ru/library/production\\_management/lean/vmeste-s-boeing.html](http://www.up-pro.ru/library/production_management/lean/vmeste-s-boeing.html) (accessed on 21.01.2021). (In Russ.).

6. O'Regan B., Moles R. *Establishing an Eco-Industrial Network for Small and Medium-Sized Enterprises in the Mid-West Region*. University of Limerick Institutional Repository. Ireland; 2009. 62 p.

7. Almanac “Production Management”. R & D at BOSCH: an overview of the corporate research sector. URL: <http://www.up-pro.ru/library/innovations/niokr/bosch-centr.html> (accessed on 06.02.2021). (In Russ.).

8. Thuy Mai. *Technology Readiness Level*. National Aeronautics and Space Administration. 2012. URL: [https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/txt\\_accordion1.html](https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/txt_accordion1.html) (accessed on 17.01.2021).

9. GOST R 56861-2016. Life cycle management system. Product concept and technology development. Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. 2016. No. 60-st. (In Russ.).

10. Slivitsky A.B. The system of technology readiness levels as an optimal model for organizing and financing the process of creating a scientific and technical reserve in the Russian industry. *Russia: trends and prospects of development*. 2016;(11-3):461–469. (In Russ.).

11. *The TRL Scale as a Research & Innovation Policy Tool, EARTO Recommendations*. EARTO Impact Delivered; 2014. 17 p.

12. Order on the approval of the levels of readiness of technologies and production. State Corporation “Rosatom”. 2018. No. 1/420-P. URL: <https://www.rosatom.ru/upload/iblock/b32/b327dfa0f9496649a2ba775b31e42bbf.pdf> (accessed on 06.02.2021). (In Russ.).

13. Zhebel V.V., Komarov A.V., Komarov K.A., Shurtakov K.V. Software tool for complex assessment of technological readiness of innovative scientific and technological projects. *The Economics of Science*. 2018;4(1):58–68. (In Russ.). <https://doi.org/10.22394/2410-132X-2017-4-1-58-68>

14. *AFRL TRL Calculator*. URL: <https://www.dau.edu/cop/stm/Lists/Tools/DispForm.aspx?ID=4> (accessed on 06.01.2021).

15. Altunok T., Cakmak T. A technology readiness levels (TRLs) calculator software for systems engineering and technology management tool. *Advances in Engineering Software*. 2010;41(5):769–776. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2009.12.018>

16. Krivoruchenko V.S., Dmitренко I.P. TRL calculator of increased accuracy. *Theory and practice of modern science. Materials of the XVIII International Scientific and Practical Conference*. Moscow: Scientific and Information Publishing Center “Institute for Strategic Studies”; 2015:60–68. (In Russ.).

17. Engel D.W., Dalton A.C., Sivaramakrishnan C., Lansing C. *CCSI Technology Readiness Levels Likelihood*

*Model (TRL-LM) User's Guide*. Pacific Northwest National Laboratory. PNNL-22374 2013. 18 p.

18. Petrov A.N., Sartori A.V., Filimonov A.V. Complex assessment of the state of scientific and technical projects through the level of technology readiness. *The Economics of Science*. 2016;2(4):244–260. (In Russ.). <https://doi.org/10.22394/2410-132x-2016-2-4-244-260>

19. Gorlacheva E.N., Goncharova N.P. Machine learning methods in project management. *10<sup>th</sup> Charnovsky Readings. Proceedings of the X All-Russian Scientific Conference on the Organization of Production*. Moscow: REC “Controlling and Management Innovations” N.E. Bauman, NP Association of Controllers; 2021:42–46. (In Russ.).

20. Gorlacheva E.N., Goncharova N.P. Review of intellectual methods of management of innovative

scientific and technical projects. *Journal Nanotechnology: the development, application – XXI Century*. 2020;12(4):5–19. (In Russ.).

21. European Commission. *Technology Readiness Level: Guidance Principles for Renewable Energy technologies*. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2017. 48 p.

22. Ministry of Education and Science of Russia. Methodology for determining the levels of readiness of technology in the framework of projects of the federal target program “Research and Development in priority areas of development of the scientific and technological complex of Russia for 2014–2020”. Ministry of Education and Science of Russia 11.07.2017. No. GT-57/14vn. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_281891/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_281891/) (accessed on 06.02.2021). (In Russ.).

#### Информация об авторах

**Гончарова Наталья Павловна** – магистр, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, Российская Федерация; e-mail: nataly.gonn79@gmail.com

**Горлачева Евгения Николаевна** – доктор экон. наук, доцент, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, Российская Федерация; e-mail: gorlacheva@yandex.ru

#### Information about the authors

**Natalia P. Goncharova** – Magister, Bauman Moscow State Technical University, 5/1 2-ya Baumanskaya Str., Moscow 105005, Russian Federation; e-mail: nataly.gonn79@gmail.com

**Evgenia N. Gorlacheva** – Dr. Sci. (Econ.), Associated Professor, Bauman Moscow State Technical University, 5/1 2-ya Baumanskaya Str., Moscow 105005, Russian Federation; e-mail: gorlacheva@yandex.ru

Поступила в редакцию 30.03.2021; поступила после доработки 22.05.2021; принята к публикации 06.06.2021  
Received 30.03.2021; Revised 22.05.2021; Accepted 06.06.2021