

## РАЗРАБОТКА СППР НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ю.В. Мартыненко

Ульяновский государственный университет, г. Ульяновск,  
Российская Федерация

Цифровое производство предполагает сокращение времени между наступлением на предприятии некоторого события и ответной реакцией на него за счет того, что сбор информации, ее анализ и выработка корректирующих мер производятся автоматически, без участия человека. Когда же решение принимается персоналом, необходимо сохранять ту же скорость и оперативность анализа и определения ответной реакции, в противном случае снижается гибкость всей производственной системы. Выходом является применение систем поддержки принятия решений, которые на основе актуальной информации проводят модельные расчеты и дают обоснованные рекомендации, ускоряя процесс принятия решения и повышая его качество. Хорошо развитая информационная инфраструктура цифрового производства позволяет создавать соответствующие системы поддержки принятия решений как надстройки над уже имеющимися базами данных, т. е. в СППР требуется реализовать извлечение данных, их обработку на основе выбранных процедур и вывод результатов в формате, удобном для пользователя. Таким образом снижаются затраты на разработку и внедрение системы. В расчетах могут быть использованы данные, характеризующие различные бизнес-процессы предприятия, т. е. полученное решение будет комплексным. Если расчеты, которые проводит СППР, основаны на математических моделях, то, как правило, для правильной интерпретации получаемых результатов от пользователя требуются знания в соответствующей области математики, что отрицательно сказывается на практическом применении такой системы. В то же время математические модели позволяют существенно улучшить качество принимаемых решений, поэтому при разработке СППР необходимо решить данную проблему. Нами разработан макет СППР, который на основе корреляционно-регрессионного анализа выявляет скрытые взаимосвязи между различными показателями деятельности предприятия и с их помощью строит прогнозы. Новизна заключается в предложении набора правил, переводящих результаты модельных расчетов в понятные для пользователей, не знакомых с соответствующей математической теорией, рекомендаций. Это расширяет границы применения корреляционно-регрессионных моделей при принятии практических решений на различных уровнях работы предприятия.

**Ключевые слова:** системы поддержки принятия решений, цифровое производство, статистические методы, прогнозирование, корреляционно-регрессионный анализ, оценка деятельности предприятия, методы принятия решений

**Ссылка при цитировании:** Мартыненко Ю.В. Разработка СППР на основе статистических методов для промышленного предприятия в условиях цифрового производства // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2019. Т. 12, № 5. С. 33–43. DOI: 10.18721/JE.12503

## DEVELOPMENT OF DSS BASED ON STATISTICAL METHODS FOR INDUSTRIAL ENTERPRISES IN CONDITIONS OF DIGITAL PRODUCTION

**Yu.V. Martynenko**

Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russian Federation

Digital production allows to reduce the time between an event occurring at an enterprise and the response to it because data collection and analysis with subsequent corrective measures are carried out automatically, without human intervention. The same speed and efficiency of analysis and formulating the response should be maintained for decisions made by personnel, otherwise the flexibility of the entire production system decreases. A solution is using decision support systems, which carry out model calculations and give reasonable recommendations based on relevant information, accelerating the decision-making process and improving its quality. A well-developed information infrastructure for digital production allows to construct decision support systems complementing the existing databases, i.e. DSSs are intended for extracting the data, processing them by the selected procedures and presenting the results in a user-friendly format. This reduces the costs for developing and implementing the system. Calculations can use the data characterizing various business processes of the enterprise, i.e., providing a comprehensive resulting solution. If the calculations performed by DSS are based on mathematical models, the user has to be competent in mathematics to correctly interpret the results obtained; this negatively affects the practical applications of such a system. At the same time, mathematical models can significantly improve the quality of decisions, so this problem should be solved when developing a DSS. We have developed a novel DSS model that detects hidden relationships between different indicators of the enterprise's activity based on correlation and regression analysis, and, with their help, makes forecasts. The algorithm formulates a set of rules that translate the results of model calculations into recommendations that are understandable to users who are not familiar with the underlying mathematical theory. This expands the scope of practical applications of correlation and regression models for making practical decisions at different levels of the enterprise.

**Keywords:** decision support system, digital production, statistical technique, forecasting, correlation and regression analysis, enterprise performance assessment, decision-making

**Citation:** Yu.V. Martynenko, Development of DSS based on statistical methods for industrial enterprises in conditions of digital production, St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, 12 (5) (2019) 33–43. DOI: 10.18721/JE.12503

*Введение.* В современных условиях формирования цифровой экономики промышленные предприятия не могут не использовать те возможности и преимущества, которые дает совокупность технических и информационных факторов, называемых «Индустрией 4.0». Это понятие представляет собой чрезвычайно широкую область, затрагивающую производственные процессы, управление качеством, взаимоотношения с потребителями и пр. За последние годы

появилось множество исследований, посвященных различным аспектам Индустрии 4.0 и цифровизации промышленности, большая их часть касается технических вопросов. Однако необходимо не только внедрять новые технологии, но и перестраивать принципы организации работы персонала и управления на всех уровнях. Отмечается, что скорость происходящих в настоящее время технологических изменений создала значительный разрыв между текущими

возможностями сотрудников и быстро развивающимися требованиями к ним [1]. С этой точки зрения обсуждаются вопросы изменения организационной культуры [2, 3] и требований к образованию и квалификации сотрудников [4], необходимости появления новых профессий [5] и адаптации к условиям цифрового производства уже существующих [6]. Поэтому разработка методов и инструментов, помогающих сотрудникам эффективно функционировать в новых условиях, имеет важное теоретическое и практическое значение, а с этой точки зрения в научной литературе имеется определенный пробел [7].

Одним из главных экономических потенциалов Индустрии 4.0 является способность ускорить корпоративные процессы принятия решений и адаптации. Цифровое производство подразумевает, что в режиме реального времени собираются и обрабатываются гигантские массивы информации о деятельности предприятия, формируя тем самым его цифровую модель. При наступлении того или иного события практически сразу запускается процесс анализа его возможных последствий и разработки необходимых корректирующих мер, что резко сокращает время адаптации. Процессы анализа и разработки решений на его основе могут сочетать в себе как применение методов Data Mining для анализа больших объемов данных, поставляемых киберфизическими системами, так и различных формальных процедур принятия решений там, где решение принимается человеком. Нужно учитывать не только опыт самого сотрудника, но и те данные, которые, в силу вертикальной интеграции всех процессов внутри самого предприятия, доступны ему для анализа.

Вследствие вышесказанного, важное практическое значение приобретают системы, способные обеспечить поддержку принятия решений (СППР) [8]. Такая система на основе некоторой формальной процедуры проводит расчеты по исходным данным и выдает рекомендации. Существуют многочисленные примеры успешного использования СППР при решении самых раз-

ных задач промышленного предприятия, в том числе обеспечения информационной безопасности АСУ ТП [9], оценки производительности [10], управления рисками [11], автоматизации производственных процессов [12].

Одним из достоинств СППР является то, что система может проводить расчеты на основе сложных, комплексных математических моделей предприятия. Рассмотрение ключевых параметров и показателей деятельности на разных уровнях управления, определение оптимального их сочетания на основе точных математических расчетов позволяет на порядок повысить качество принимаемых решений. Примерами таких моделей являются оптимизационные задачи и оптимальное управление [13], нейронные сети [14], имитационное моделирование [15].

Сложность при практическом внедрении СППР такого рода заключается в том, что от пользователя системы требуется наличие соответствующих математических компетенций для правильной интерпретации получаемых результатов. Поэтому при разработке системы на основе математической модели требуется решить проблему адаптации модельных расчетов под уровень пользователя, не требующей от него фундаментальных математических знаний.

Целью исследования является разработка СППР для промышленного предприятия, основанной на статистических методах. Такие методы могут применяться при принятии решений в промышленности, соответствующие примеры приводятся в [16–18]. Правила, по которым система находит решения, основаны на корреляционно-регрессионном анализе. Такой выбор обусловлен следующими соображениями. Во-первых, чтобы решения, выдаваемые СППР, были обоснованы, необходимо обеспечить адекватность и достоверность построенной модели. Для корреляционно-регрессионных моделей соответствующие техники проверки существуют и могут быть формализованы. Во-вторых, в сложных системах причина и результат часто разделены во времени и пространстве, и именно статистические взаимосвязи, исследующие данные за

предыдущие периоды работы предприятия, могут помочь в обнаружении скрытых узких мест и проблем.

Новизна предлагаемой СППР заключается в том, что разработаны правила перевода получаемых математических результатов в конкретные решения, которые пользователь сможет понять, даже не будучи специалистом в области статистики и математики, что существенно расширяет возможности практического применения такой системы.

*Методика и результаты исследования.* Опишем, каким образом корреляционно-регрессионные модели следует использовать в СППР. Пользователь, планируя те или иные управленческие воздействия, выбирает для анализа группу факторов, характеризующих разные аспекты деятельности предприятия. Система проверяет по имеющимся в базе данных наблюдениям, подтверждается ли предположение о наличии статистических связей в этой группе. Если связь обнаружена, то с помощью дополнительных тестов и статистик нужно принять решение о том, достаточно ли качественная для дальнейшего анализа получилась модель. Если уровень качества подтверждается, то на основе этой модели можно строить прогнозы и проигрывать различные сценарии развития событий.

Корректная интерпретация результатов статистических тестов, проверяющих достоверность построенной модели, требует знания большого количества взаимосвязанных понятий из математической статистики, теории вероятностей и эконометрики. Поэтому, даже опираясь на отдельные объяснения содержательного смысла числовых тестов, пользователь, не обладающий достаточным знаниями в этой области, будет испытывать сложности в понимании результатов, что может привести к ошибочным решениям. Система должна максимально снизить риск принятия недостоверной модели за достоверную, поэтому предлагается принимать решение о достоверности модели без участия человека. Если модель признана достоверной,

то пользователю предлагается продолжить анализ. Если же СППР посчитала модель недостоверной, то дальнейшие попытки анализа этой модели блокируются. Естественно, к правилам принятия/непринятия достоверности модели следует подойти очень внимательно, здесь нельзя дать однозначные универсальные рекомендации для всех классов эконометрических моделей, каждый класс должен рассматриваться отдельно.

Далее переходим к проблеме перевода полученных результатов в конкретные рекомендации для пользователя. Регрессионная модель позволяет строить точечные и интервальные прогнозы. Их можно содержательно интерпретировать в терминах рисков и возможных последствий. Пользователь таким образом получает возможность проиграть сценарии по принципу «что будет, если ...», задавая интересные его изменения одних факторов и получая предположение, как это отразится на других факторах.

Опишем, каким образом переводятся результаты расчетов для модели парной линейной регрессии. Пусть имеется пара факторов, относительно которых пользователь предположил наличие между ними взаимосвязи, и собрано достаточное для построения статистически значимой модели количество наблюдений за этими факторами. В интерфейсе СППР выбирается действие «проверить наличие связи», после чего система проводит модельные расчеты. Результаты регрессионного анализа оцениваются на основе нескольких числовых тестов, и эту информацию нужно представить в формате: «связь не обнаружена» и «связь обнаружена». Для этого используется правило, сочетающее проверку нескольких статистических критериев. Для парной линейной регрессии мы используем следующие тесты:

- коэффициент детерминации превышает пороговое значение 0.7;
- уравнение в целом значимо по F-статистике на уровне значимости 5 %;
- значим коэффициент при переменной  $x$  на уровне значимости 5 %.

Если все эти три условия выполнены, то система выдает ответ «связь обнаружена», если хотя бы одно из условий не выполнено, то выдается ответ «связь не обнаружена». Таким образом, отсекаются заведомо слабые уравнения и уравнения, которые могут вызвать сомнения и потребовать проверки дополнительных критериев. Это позволяет пользователю-«управленцу» использовать для прогнозирования и принятия решений только те уравнения, в качестве которых можно не сомневаться. Для пользователя же «аналитика» выводятся подробные результаты построения модели.

Далее, когда связь обнаружена, осуществляется построение точечных и интервальных прогнозов, и их содержательная интерпретация в терминах рисков и возможных последствий. Анализируемые факторы делятся на две группы в зависимости от того, какое направление динамики их развития благоприятно сказывается на работе предприятия. В первую группу включаются факторы, относительно которых необходимо стремиться к росту, т. е. чем больше значение данного фактора в рассматриваемый период, тем лучше. Примерами таких факторов являются прибыль, выручка, объем производства и т. д. Во вторую группу включаются факторы, которые следует по возможности минимизировать. Примерами являются затраты, себестоимость и пр. Назовем первую группу «Факторы, требующие максимизации», а вторую – «факторы, требующие минимизации».

Далее для каждого фактора, основываясь на имеющихся наблюдениях и экспертных оценках, выделяются три интервала значений (рисунок):

а) желаемый – значение фактора в норме, требуется контроль, но не требуется корректирующее вмешательство;

б) позитивный – значения фактора превосходят норму в лучшую сторону, не требуется корректирующего вмешательства, так как есть определенный «запас прочности», даже если динамика развития ухудшится;

в) негативный – значения фактора отклоняются от нормы в худшую сторону, требуется серьезное корректирующее вмешательство.

Значения, разделяющие интервалы, называются граничными. Их система предлагает пользователю выбрать самостоятельно или же оценить статистически на основе таких величин, как среднее значение, медианное значение и т. д.

Построены два сценария работы СППР с моделью парной линейной регрессии. В первом сценарии пользователь получает прогноз, как отразится планируемое изменение значения  $x^T$  на значении взаимосвязанного с фактором  $x$  фактора  $y$ . Система по найденной взаимосвязи строит точечный  $y^* = a + bx^T$  и интервальный прогнозы и проверяет, в какой интервал значений эти прогнозы попадают. Если стандартная ошибка прогноза будет слишком велика, то прогнозный интервал охватывает все три интервала значений, в этом случае делается вывод о том, что недостаточно данных, чтобы давать конкретные рекомендации.



Интервалы для двух групп факторов  
Intervals for two groups of factors

В остальных случаях в зависимости от типа  $u$ , интервала, в который попало его прогнозное значение и типа связи (прямая/обратная) выдаются рекомендации согласно табл. 1.

Таблица 1

**Рекомендация в зависимости от параметров модели.  
Сценарий 1**  
**Recommendation depending on model parameters.  
Schema 1**

Интервал $u^*$	$x^T$ увеличивается	$x^T$ уменьшается
<i>у в группе «Факторы, требующие максимизации»</i>		
Связь между $u$ и $x$ прямая		
Желаемый	Норма	Риск
Негативный	Улучшение	Ухудшение
Позитивный	Норма	Норма
Связь между $u$ и $x$ обратная		
Желаемый	Риск	Норма
Негативный	Ухудшение	Улучшение
Позитивный	Норма	Норма
<i>у в группе «Факторы, требующие минимизации»</i>		
Связь между $u$ и $x$ прямая		
Желаемый	Риск	Норма
Негативный	Ухудшение	Улучшение
Позитивный	Норма	Норма
Связь между $u$ и $x$ обратная		
Желаемый	Норма	Риск
Негативный	Улучшение	Ухудшение
Позитивный	Норма	Норма

Рекомендация «Риск» означает, что при запланированном изменении  $x^T$  интервальный прогноз может переместиться из текущего интервала  $u^*$  в соседний в нежелательном направлении. Рекомендация «Норма» означает, что при запланированном изменении  $x^T$  интервальный прогноз с выбранной доверительной вероятностью останется в текущем интервале  $u^*$ , но может переместиться из желаемого в позитивный и наоборот. Рекомендация «Ухудшение» означает, что при запланированном изменении  $x^T$  интервальный прогноз  $u$  останется в текущей негативной зоне, т. е. запланированное мероприятие не

окажет положительного воздействия на этот фактор. Рекомендация «Улучшение» означает, что запланированное изменение  $x$  положительно скажется на прогнозном значении  $u$ , т. е. из негативного интервала  $u$  может переместиться в желаемый.

Второй сценарий работы основан на идее, применяемой в методологии «6 сигм» в рамках DMAIC-проекта [19]. Согласно этому управленческому подходу, для решения некоторой проблемы в процессе надо найти ее причину и устранить. На первых стадиях DMAIC-проекта выявляется, в чем суть проблемы, вызывающей «узкое место» в рассматриваемом процессе. Важно, что выбирается измеряемый показатель, отражающий эту проблему. Далее с помощью статистического анализа ищутся связи с другими показателями. Если такие связи обнаружены, то проблема может заключаться в неудовлетворительном состоянии других показателей. Выяснив возможные причины, пользователь получает возможность найти меры по устранению проблемы и проконтролировать, помогли ли предлагаемые мероприятия.

В данном сценарии работы оценивается, сможет ли корректировка значения одного фактора улучшить значение другого фактора. Пользователь выбирает фактор  $u$ , текущее значение которого находится в негативной зоне, т. е. имеется проблема, которую нужно устранить. Далее он ищет другие показатели, которые, по его мнению, могут влиять на исходный показатель. Система проверяет наличие статистических связей между этими показателями. Когда для проблемного показателя  $u$  и другого показателя  $x$  обнаружена статистическая связь, пользователь фиксирует текущее значение  $x$  и проверяет, в какую зону оно попадает. Если это значение в негативной зоне, то оба изучаемых показателя подлежат улучшению. Если это значение в желаемой или позитивной зоне, то принимаемое решение зависит от групп, к которым относятся  $u$  и  $x$  и типа связи между ними. Возможные комбинации представлены в следующей табл. 2.

Таблица 2

## Рекомендация в зависимости от параметров модели. Сценарий 2

## Recommendation depending on model parameters. Schema 2

Группа $y$	Группа $x$	Связь	Увеличить $x$	Уменьшить $x$
Максимизация	Максимизация	Прямая	Следует выполнить	Не следует выполнять
Максимизация	Максимизация	Обратная	Не следует выполнять	Следует выполнять в ограниченных пределах
Максимизация	Минимизация	Прямая	Следует выполнять в ограниченных пределах	Не следует выполнять
Максимизация	Минимизация	Обратная	Не следует выполнять	Следует выполнять
Минимизация	Максимизация	Прямая	Не следует выполнять	Следует выполнять в ограниченных пределах
Минимизация	Максимизация	Обратная	Следует выполнять	Не следует выполнять
Минимизация	Минимизация	Прямая	Не следует выполнять	Следует выполнять
Минимизация	Минимизация	Обратная	Следует выполнять в ограниченных пределах	Не следует выполнять

Рекомендация «Не следует выполнять» означает, что для данной комбинации прогноз указывает на то, что целевое действие приведет к ухудшению ситуации по двум рассматриваемым факторам. Рекомендация «Следует выполнить» означает, что для данной комбинации прогнозируется улучшение по одному из факторов и без ухудшения по другому фактору. Рекомендация «Следует выполнить в ограниченных пределах» означает, что для данной комбинации запланированное воздействие приведет к улучшению значения  $y$ , но может ухудшить ситуацию с  $x$  таким образом, что  $x$  перейдет из позитивной зоны в желаемую или из желаемой в негативную, т. е. следует установить допустимые границы изменений для  $x$ .

Приведем пример анализа по предлагаемой нами схеме на модельных данных\*. Имеется 25 наблюдений, за независимый фактор  $x$  примем затраты капитала, а за зависимый фактор  $y$  примем выпуск. Капитал здесь относится к группе «Факторы, требующие минимизации», а выпуск – к группе «Факторы, требующие максимизации». Коэффициент корреляции между этими величинами составляет 0.954, т. е. есть основание

считать, что модель парной линейной регрессии окажется надлежащего качества. Расчет в среде RStudio показывает, что регрессионное уравнение значимо на 5 %-м уровне, коэффициент детерминации составляет 0.9097, оба коэффициента уравнения значимы на 5 %-м уровне. Связь между факторами прямая, т. е. увеличение затрат капитала влечет за собой увеличение выпуска.

Выберем граничные значения интервалов, опираясь на статистические характеристики исходных наблюдений. Наблюдаемые значения капитала находятся в интервале от 1.543 до 435.105, а для выпуска в интервале от 22.7 до 4079.554.

Для капитала граничное значение между позитивным и желаемым интервалом возьмем равным среднему значению, составляющему 53.063, а между желаемым и негативным – сумму среднего и стандартного отклонения, что составляет 146.0815.

Для выпуска граничное значение между негативным и желаемым интервалом примем равным медиане 494.5150, а между желаемым и позитивным – среднее 711.5600.

**Сценарий 1.** Пусть при выбранном значении капитала нужно спрогнозировать, как это отразится на выпуске. Построенные точечные и интервальные с надежностью 95 % прогнозы приведены в табл. 3.

\* Library Ecdat, dataset TranspEq. URL: <https://www.rdocumentation.org/packages/Ecdat/versions/0.3-1/topics/TranspEq> (дата обращения 01.04.2019).

Таблица 3

Прогноз выпуска в зависимости от капитала

Forecast of production based on capital

Капитал	$y^* - p_{0,95} S_y$	$y^*$	$y^* + p_{0,95} S_y$
60	154.7351 (-)	780.2791 (+)	1405.823 (+)
70	253.4523 (-)	879.3418 (+)	1505.231 (+)
80	351.8804 (-)	978.4046 (+)	1604.929 (+)
90	450.0205 (-)	1077.4674 (+)	1704.914 (+)
100	547.8737	1176.5302 (+)	1805.187 (+)
110	645.4417	1275.5929 (+)	1905.744 (+)
120	742.7264 (+)	1374.6557 (+)	2006.585 (+)
130	839.7304 (+)	1473.7185 (+)	2107.707 (+)
140	936.4563 (+)	1572.7813 (+)	2209.106 (+)

Примечание. (+) – значение в позитивном интервале; (-) – значение в негативном интервале

Сопоставляя данные в таблице с выбранными граничными значениями, делаем вывод о том, что точечные прогнозные значения выпуска попадают в позитивный интервал. При значении капитала от 60 до 90 интервальный прогноз захватывает все три зоны, при значении капитала от 100 до 110 левая граница интервального прогноза попадает в желаемую зону, а правая в позитивную. При значении капитала от 120 до 140 обе границы интервального прогноза попадают в позитивную зону.

Таким образом, вывод «недостаточно данных в модели» должен быть выдан при значении капитала от 60 до 90, а при значении капитала от 90 до 140 следует выдать рекомендацию «норма», если планируется увеличить по сравнению с рассматриваемым значением капитала и «есть риск», если планируется его уменьшение.

**Сценарий 2.** Пусть выпуск находится в негативной зоне, и пользователь проверяет, поможет ли корректировка значения капитала, равного 100, решить эту проблему. Так как связь между факторами прямая, в соответствии с таблицей «Рекомендация в зависимости от параметров модели. Сценарий 2» рекомендация «Следует выполнить в ограниченных пределах» выдается, если оценивается возможность увеличить выбранное значение капитала. Если же оценивается возмож-

ность уменьшения его значения, это соответствует рекомендации «не следует выполнять».

Таким образом, если собрано достаточное для построения статистически достоверной модели регрессии количество наблюдений, принятие решений на основе этой модели может быть осуществлено, даже если пользователь не обладает знаниями в области корреляционно-регрессионного анализа.

**Выводы.** В настоящее время описанная система находится на стадии макетирования. Для реализации расчетного блока использован язык R, поскольку он является программным продуктом с открытым кодом, распространяемым бесплатно, содержит большое количество готовых библиотек со статистическими процедурами, а также легко интегрируется с большинством современных СУБД.

Полученные результаты демонстрируют практическую применимость системы и как самостоятельного инструмента, и как части комплексного инструментария оценки деятельности предприятия [20]. Применение такой СППР даст следующие преимущества.

**Анализ без проведения дополнительных исследований.** Современное промышленное предприятие все больше автоматизируется, и в базах данных его информационных систем накапливается большой объем информации. Используя эту информацию за прошедшие периоды, можно найти интересующие пользователя закономерности без дополнительных затрат на сбор данных и какие-либо иные аналитические и экспериментальные мероприятия.

**Уменьшение неопределенности.** Как и любая формальная процедура принятия решений, корреляционно-регрессионная модель не дает гарантии того, что это решение будет верным. Статистические гипотезы проверяются при выбранном уровне значимости, меньшем, чем 1. Если доверительная вероятность прогноза составляет девяносто пять процентов, возможно, что в данной ситуации реализуется вариант, соответствующий пяти процентам, когда прогноз не сбывается. Но даже если нам неизвестно точное значение, из этого не следует, что мы не обладаем ни-



какой информацией об изучаемом объекте. Мы имеем возможность моделировать неопределенность через интервалы значений с приемлемым уровнем риска, тем самым получая необходимую для принятия решения информацию.

*Поиск взаимосвязей между процессами предприятия.* Факторы, отобранные для анализа, могут характеризовать процессы разных уровней и категорий. Проверая предположение о наличии той или иной закономерности, можно выявить скрытые связи между отдельными процессами или же, напротив, не найти эту связь там, где, по предположению пользователя, она должна быть.

Вместе с тем, необходимо отметить, что СППР не предназначена для того, чтобы полностью снять ответственность за принимаемые решения с персонала предприятия. Предполагается, что пользователь СППР является экспертом в своей предметной области, и учитывает не только рекомендации системы, но и собственные не поддающиеся формализации знания.

Дальнейшие разработки планируется вести в следующих направлениях. Во-первых, будут рассмотрены другие классы моделей (нелинейная регрессия, ARMA и т. д.) с целью разработать для них правила интерпретации получаемых результатов. Во-вторых, выбор правил признания модели достоверной или недостоверной планируется реализовать как решение задачи классификации с построением соответствующего дерева решений. В этом случае статистические тесты, по которым оценивается качество модели, будут отбираться не эмпирически, а на основе обучающей выборки, т. е. основываясь на данных о том, была ли рекомендация, сделанная по модели, полезна.

Гос. задание Министерства образования и науки РФ № 2.1816.2017/ПЧ «Исследование и разработка интегрированной автоматизированной системы управления производственно-технологическим планированием авиастроительного предприятия на базе цифровых технологий».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Whysall Z., Owtram M., Brittain S.** The new talent management challenges of Industry 4.0 // *Journal of Management Development*. 2019. No. 38 (3). P. 118–129.
- [2] **Mohelska H., Sokolova M.** Management approaches for Industry 4.0 – the organizational culture perspective // *Technological and Economic Development of Economy*. 2018. No. 24(6). P. 2225–2240.
- [3] **Lenart-Gansiniec R.** Organizational Learning in Industry 4.0 // *Problemy Zarzadzania*. 2019. No. 17(2). P. 96–108.
- [4] **Benesova A., Tupa J.** Requirements for Education and Qualification of People in Industry 4.0 // *Procedia Manufacturing*. 2017. No. 11. P. 2195–2202.
- [5] **Trstenjak M., Cosic P.** Process Planning in Industry 4.0 Environment // *Procedia Manufacturing*. 2017. No. 11. P. 1744–1750.
- [6] **Win T., Moon Kham S.** Transformation of Project Management in Industry 4.0 // *Proceedings of the 12th International Conference on Project Management (ProMAC2018)*. 2018. P. 37–44.
- [7] **Piccarozzi M., Aquilani B., Corrado G.** Industry 4.0 in Management Studies: A Systematic Literature Review // *Sustainability*. 2018. No. 10. 3821.
- [8] **Marques M., Agostinho C., Zacharewicz G., Jardim-Gonsalves R.** Decentralized decision support for intelligent manufacturing in Industry 4.0 // *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*. 2017. No. 9(3). P. 299–313.
- [9] **Васильев В.И., Гвоздев В.Е., Гузаиров М.Б., Кириллова А.Д.** Система поддержки принятия решений по обеспечению информационной безопасности автоматизированной системы управления технологическими процессами // *Информация и безопасность*. 2017. № 4(20). С. 618–623.
- [10] **Zha J.** Enterprise performance evaluation model based on DEA algorithm with decision making unit // *Revista Tecnica de la Facultad de Ingenieria Universidad del Zulia*. 2016. No. 39(5). P. 306–313.
- [11] **Bolos M., Claudia D.** Developing an Adaptive Fuzzy Controller for Risk Management of Company Cash Flow // *International Journal of Fuzzy Systems*. 2017. No. 19(2). P. 414–422.
- [12] **Леонтьев С.В., Курзанов А.Д., Радыгин Р.В.** Современные системы автоматизации предприятий по производству ячеистого бетона // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2018. Т. 22, № 3. С. 84–92.
- [13] **Lutoshkin I.V., Yamaltdinova N.R.** The dynamic model of advertising costs // *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*. 2018. No. 52(1). P. 201–213.

[14] **Валиотти Н.А., Аббакумов В.Л.** Количественное оценивание последствий управленческих решений на основе нейросетевых моделей // Прикладная информатика. 2013. № 5(47). С. 6–13.

[15] **Андрианов Д.Л.** Имитационное моделирование и сценарный подход в системах принятия решений // Проблемы теории и практики управления. 2002. № 5. С. 74–75.

[16] **Пустовой И.В.** Роль вероятностно-статистических методов в управлении техническим обслуживанием и ремонтом локомотивов // Транспортная инфраструктура сибирского региона. 2017. № 2. С. 365–369.

[17] **Спешилова Н.В., Крипак Е.М., Шпильман Т.М., Рахматуллин Р.Р.** Обоснование принятия решений в управлении промышленным предприятием на

основе математико-статистических методов // Экономика и предпринимательство. 2018. № 12(101). С. 989–994.

[18] **Shi B., Meng B., Yang H., Wang J., Shi W.** A Novel Approach for Reducing Attributes and Its Application to Small Enterprise Financing Ability Evaluation // Complexity. 2018. No. 2. P. 1–17.

[19] **Jenab K., Wu C., Moslehpour S.** Design for six sigma: A review // Management Science Letters. 2018. No. 8(1). P. 1–18.

[20] **Лутошкин И.В., Липатова С.В., Ярдаева М.Н.** Разработка инструментария оценки деятельности предприятия в условиях цифрового производства // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2018. Т. 11, № 6. С. 9–21. DOI: 10.18721/JE.11601

**МАРТЫНЕНКО Юлия Вячеславовна.** E-mail: marj2005@yandex.ru

*Статья поступила в редакцию: 30.06.2019*

## REFERENCES

[1] **Z. Whysall, M. Owtram, S. Brittain,** The new talent management challenges of Industry 4.0, Journal of Management Development, 38 (3) (2019) 118–129.

[2] **H. Mohelska, M. Sokolova,** Management approaches for Industry 4.0 – the organizational culture perspective, Technological and Economic Development of Economy, 24 (6) (2018) 2225–2240.

[3] **R. Lenart-Gansiniec,** Organizational Learning in Industry 4.0, Problemy Zarzadzania, 17 (2) (2019) 96–108.

[4] **A. Benesova, J. Tupa,** Requirements for Education and Qualification of People in Industry 4.0, Procedia Manufacturing, 11 (2017) 2195–2202.

[5] **M. Trstenjak, P. Cosic,** Process Planning in Industry 4.0 Environment, Procedia Manufacturing, 11 (2017) 1744–1750.

[6] **T. Win,** Moon Kham S. Transformation of Project Management in Industry 4.0, Proceedings of the 12th International Conference on Project Management (ProMAC2018), (2018) 37–44.

[7] **M. Piccarozzi, B. Aquilani, G. Corrado,** Industry 4.0 in Management Studies: A Systematic Literature Review, Sustainability, 10 (2018) 3821.

[8] **M. Marques, C. Agostinho, G. Zacharewicz, R. Jardim-Gonsalves,** Decentralized decision support for intelligent manufacturing in Industry 4.0, Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments, 9 (3) (2017) 299–313.

[9] **V.I. Vasilyev, V.Ye. Gvozdev, M.B. Guzairov, A.D. Kirillova,** Sistema podderzhki prinyatiya resheniy po obespecheniyu informatsionnoy bezopasnosti avtomatizirovannoy

sistemy upravleniya tekhnologicheskimi protsessami [Decision support system to ensure information security of the automated process control system], Informatsiya i bezopasnost, 4 (20) (2017) 618–623.

[10] **J. Zha,** Enterprise performance evaluation model based on DEA algorithm with decision making unit, Revista Tecnica de la Facultad de Ingenieria Universidad del Zulia, 39 (5) (2016) 306–313.

[11] **M. Bolos, D. Claudia,** Developing an Adaptive Fuzzy Controller for Risk Management of Company Cash Flow, International Journal of Fuzzy Systems, 19 (2) (2017) 414–422.

[12] **S.V. Leontyev, A.D. Kurzanov, R.V. Radygin,** Sovremennyye sistemy avtomatizatsii predpriyatiy po proizvodstvu yacheistogo betona [Modern systems of automation of enterprises for the production of cellular concrete], Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 22 (3) (2018) 84–92.

[13] **I.V. Lutoshkin, N.R. Yamaltdinova,** The dynamic model of advertising costs, Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research, 52 (1) (2018) 201–213.

[14] **N.A. Valiotti, V.L. Abbakumov,** Kolichestvennoye otsenivaniye posledstviy upravlencheskikh resheniy na osnove neyrosetevykh modeley [Modern systems of automation of enterprises for the production of cellular concrete], Prikladnaya informatika, 5 (47) (2013) 6–13.

[15] **D.L. Andrianov,** Imitatsionnoye modelirovaniye i sstenarnyy podkhod v sistemakh prinyatiya resheniy [Simulation



modeling and scenario approach in decision-making systems], *Problemy teorii i praktiki upravleniya*, 5 (2002) 74–75.

[16] **I.V. Pustovoy**, Rol veroyatnostno-statisticheskikh metodov v upravlenii tekhnicheskim obsluzhivaniyem i remontom lokomotivov [The role of probabilistic and statistical methods in the management of maintenance and repair of locomotives], *Transportnaya infrastruktura sibirskogo regiona*, 2 (2017) 365–369.

[17] **N.V. Speshilova, Ye.M. Kripak, T.M. Shpilman, R.R. Rakhmatullin**, Obosnovaniye prinyatiya resheniy v upravlenii promyshlennym predpriyatiyem na osnove matematiko-statisticheskikh metodov [Rationale for decision-making in the management of industrial enterprises on the basis of mathematical and statistical

methods], *Ekonomika i predprinimatelstvo*, 12 (101) (2018) 989–994.

[18] **B. Shi, B. Meng, H. Yang, J. Wang, W. Shi**, A Novel Approach for Reducing Attributes and Its Application to Small Enterprise Financing Ability Evaluation, *Complexity*, 2 (2018) 1–17.

[19] **K. Jenab, C. Wu, S. Moslehpour**, Design for six sigma: A review, *Management Science Letters*, 8 (1) (2018) 1–18.

[20] **I.V. Lutoshkin, S.V. Lipatova, M.N. Yardaeva**, Developing a toolbox for evaluating enterprise performance in the conditions of digital production, *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*, 11 (6) (2018) 9–21. DOI: 10.18721/JE.11601

**MARTYENKO Yulia V.** E-mail: marj2005@yandex.ru