

УДК 05.02.22

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРОКОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НОВЫХ ЗАКАЗОВ НА ЕДИНИЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ И СНИЖЕНИЯ РИСКОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

© 2020 Е.А. Колеганова, В.В. Кокарева, А.И. Хаймович

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 02.06.2021

Статья посвящена разработке и тестированию методики назначения приоритета выполнения технологических операций для ряда заказов и оценке рисков назначения цены и сроков выполнения новых заказов с учётом их сложности и приоритетности.

Выделены основные проблемы высокотехнологичного единичного производства и риски, которые они создают. Для решения выделенных проблем на основе анализа выбран комплексный метод, состоящий в сочетании использования имитационного моделирования и нейросетевого моделирования. Нейросетевая модель создана на базе статистики времён производства различных деталей на этом участке. Тип нейросетевой модели выбран Fitting app, обучается сеть посредством алгоритма обратного распространения ошибки Левенберга-Марквардта. Имитационная модель производственной площадки построена в программе Tecnomatix Plant Simulation.

В результате благодаря разработанной методике появилась возможность получать информацию о новом заказе до его непосредственного введения в производство, диверсифицировать риски до того, как они нанесли ущерб, а также улучшить репутацию.

В заключение приводится, как пример, добавление новой детали к другим уже производящимся деталям, рассчитывается время её изготовления.

Ключевые слова: Оптимизация производства, нейросетевая модель, имитационная модель, задача прогнозирования, единичное производство

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-4-27-34

ПРОБЛЕМЫ ЕДИНИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Для эффективного управления механообрабатывающим производством, ориентированным на рынок сложных высокотехнологичных заказов, необходимо учитывать воздействие на производство внешних и внутренних факторов, формирующих неопределенности и связанные с ними риски. Последние приводят к срыву сроков выполнения заказов и превышения их плановой стоимости. Важно выделить наиболее существенные проблемы, риски и методы их устранения или смягчения. Для высокотехнологичного единичного инструментального производства, работающего по системе выполнения разовых заказов, характерны следующие проблемы:

- отсутствие маршрутной и операционной технологии при выполнении нового заказа, необходимость составить их в короткие сроки;

- неопределенность сроков изготовления связанная со сложностью определения штучного времени для каждой детали в силу уникальности заказа который ранее не производился;

- неопределенность с назначением очереди выполнения операций для деталей из разных заказов на одном и том же оборудовании;

- риск несоблюдения заданных сроков смежными производствами;

- необходимость доработок изделия в процессе изготовления в некоторых случаях;

- простой оборудования;

- влияние человеческого фактора на результат в связи с принятием решений на основе опыта и мнения эксперта или группы экспертов.

Неучтенные риски ведут к потере или недополучению прибыли и сложности в принятии адекватных управленческих решений за короткое время. Так, срыв сроков, неправильная цена и недогрузка оборудования – риски, которые необходимо минимизировать в первую очередь.

Задачами исследования являются:

разработка и апробация методики назначения приоритета выполнения технологических операций для ряда заказов с учетом рисков и неопределенностей;

оценка рисков назначения цены и сроков выполнения новых заказов с учётом их сложности и приоритетности.

*Колеганова Екатерина Александровна, аспирант.
E-mail: koleganova.e@yandex.ru*

Кокарева Виктория Валерьевна, кандидат технических наук, старший преподаватель, старший научный сотрудник. E-mail: charming_carrot@mail.ru

Хаймович Александр Исаакович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологий производства двигателей. E-mail: berill_samara@bk.ru

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Решение задач исследования может быть получено с помощью методов прогнозирования. Методы прогнозирования делятся на количественные и качественные. Часто используются методы экспертных оценок [1] и эвристические методы [2]. Также к наиболее распространенным методам, применимым для решения подобных задач, можно отнести аналитические методы, фактографические методы и другие.

Методы экспертных оценок и эвристические методы включают в себе большое влияние человеческого фактора и основанные только на опыте и знаниях человека решения.

К аналитическим методам решения задач прогнозирования, планирования и управления сложным производственным процессом относятся линейное, нелинейное и динамическое моделирование, сетевое планирование и управление, генетический алгоритм, сети Петри, теория Марковских процессов и др. [3-5]. Они направлены на решение специфических проблем.

К фактографическим методам относятся авторегрессия, адаптивные методы прогнозирования, регрессионный анализ, метод Бокса-Дженкинса, метод экспоненциального сглаживания, метод Хольта-Уинтерса, метод максимального правдоподобия, метод Монте-Карло, экстраполяция временных рядов и другие. Среди методов Data Mining можно выделить нейронные сети, деревья решений, генетический алгоритм, метод опорных векторов и другие [1], [7], [7].

Основной общий недостаток таких методов – это усреднение значений, которое приводит к потере информативности данных и снижению точности прогнозирования.

Для решения поставленных задач необходим комплексный подход. Для повышения точности и эффективного использования информации решено совместить метод имитационного [9] и нейросетевого моделирования [9].

МЕТОДИКА СНИЖЕНИЯ РИСКОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Разработанная методика, позволяет в короткие сроки с достаточной точностью оценить перспективы нового заказа с учетом загрузки производства в момент начала выполнения нового заказа. Разработанные инструменты являются основой принятия управленческих решений.

В качестве испытательного полигона для разработанной методики был использован производственный участок Самарского университета – САМ-центр. Производственный участок оборудован 8 станками в приведённом ниже составе, при необходимости есть возможность обратиться к стороннему производству:

1. фрезерный 3-х координатный станок с ЧПУ ALZMETALL BAZ 15 CNC;
2. токарно-фрезерный обрабатывающий центр Traub TNA 300;
3. 5-ти координатный фрезерный обрабатывающий центр S500L;
4. токарный станок 16Б16Т-1;
5. фрезерный обрабатывающий центр Agie Charmilles UCP 800 Duro;
6. электроэрозионный проволочно-вырезной станок Agie Charmilles Agiecut Classic V2;
7. электроэрозионный прошивочный станок Agie Charmilles Agietron Spirit II;
8. шлифовально-заточный центр с ЧПУ ВИ-ЗАС ВЗ-630Ф4;
9. стороннее производство.

Данное технологическое оборудование позволяет производить сложную продукцию. Для обеспечения рациональной загрузки оборудования с точки зрения рентабельности целесообразно брать уникальные высокотехнологичные заказы, имеющие высокую стоимость. Под каждый такой заказ разрабатывается свой технологический процесс. Набор таких заказов формирует вариант загрузки оборудования, для каждого из которых существуют свои «узкие места» и решения.

Проблемная ситуация исследуется на примере добавления к набору из трех типовых видов продукции новой детали «Формообразующая».

В качестве исходных данных используются такие параметры:

1. Для каждого класса деталей сформирован классификатор с конструктивными признаками деталей, которые можно описать количественными параметрами. Деталь классифицируется по общим признакам.

2. В зависимости от количественных параметров этих признаков выбирается типовой технологический маршрут изготовления.

3. Назначается величина количественных параметров соответствующего класса детали, выполняется детальная классификация.

4. Производится выбор конкретного станка для каждой операции.

Например, для детали «Формообразующая» количественные параметры представлены в таблице 1:

Эти оценки формируются экспертным путем.

Выбор конкретного станка для выполнения технологической операции маршрута производится с учетом имитационной модели. Маршрут детали «Формообразующая плита» представлен в таблице 2. Каждой операции соответствует станок, представленный порядковым номером списка оборудования, приведённого выше.

Для каждого класса деталей и каждого станка создается своя нейросеть, входными данными которой являются количественные парамет-

Таблица 1. Параметры детали «Формообразующая»

ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕНИЕ
Степень сложности	2
Кратность габаритов формообразующих плит	1,7
Количество гнезд пресс-формы	2
Твердость формообразующих	0,8
Инструментальная доступность	1
Отношение ширины формообразующей полости/ к ее приведенной глубине	1
Отношение площади габаритов к площади формообразующей полости в плане	1,4
Наличие вставных знаков	1
Сложность разъема	1,2
Необходимость электроэрозионного прожига	1

Таблица 2. Маршрут детали «Формообразующая»

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Подготовка баз									
Чистовая обработка									
Термообработка									
Электроэрозионная обработка									
Слесарная									

тры, заданные по конструктивным признакам советующего класса детали. Выходными данными является время обработки детали на конкретном станке.

Полученный материал вместе с технологическим маршрутом загружается в имитационную модель производства, при этом расставляются необходимые приоритеты.

В результате становится возможным определить временные и производственные ресурсы для нового заказа, оценить прибыль, срок изготовления и его стоимость. Кроме того, появляется возможность оптимизировать загрузку оборудования и обеспечить благоприятное выполнение заказов – Just in time.

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ

В качестве исходных данных для нейросетей [10] используются статистические данные по выполненным заказам на производственной площадке.

Для реализации НС используется инструмент nstart в программном обеспечении MATLAB.

Тип выбран Fitting app, двухслойная сеть прямого распространения со скрытым слоем нейронов и линейными выходными нейронами. Для обучения сети использован алгоритм обратного распространения ошибки Левенберга-Марквардта, который относится к градиентным методам обучения сети.

На рис. 1 представлена архитектура используемой нейросети.

На рис. 2 представлены эпюры «Регрессия» для целевых, проверочных и тестировочных объектов нейросети.

Видно, что полученные результаты группируются вблизи линии, расположенной под углом 45 градусов. Это означает, что результаты близки к целевым значениям. Для каждого набора коэффициент детерминации $R=0,97$ и выше, что говорит о высокой точности результатов.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПЛОЩАДКИ

Для определения узких мест и расчета загрузки оборудования при выполнении сложных

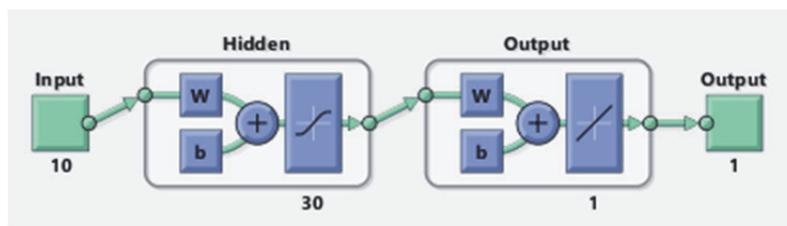


Рис. 1. Модель нейронной сети

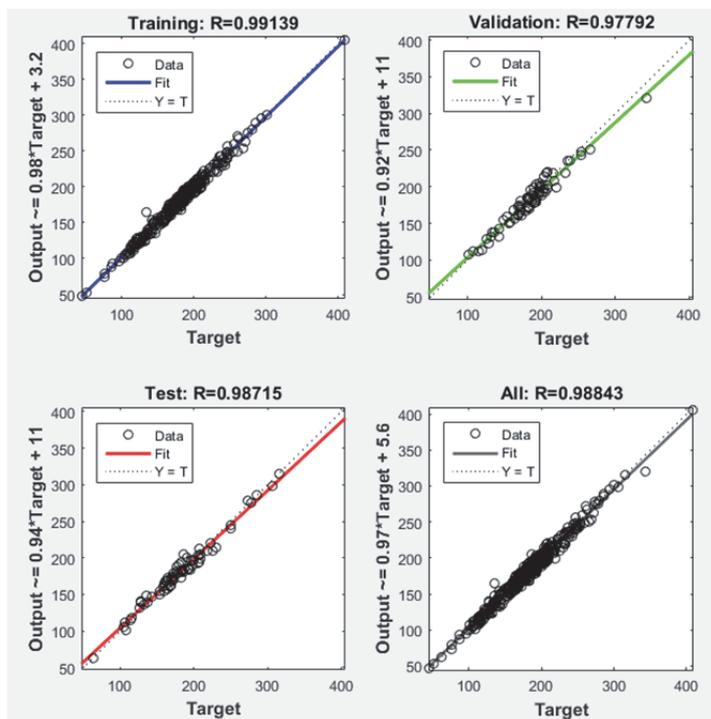


Рис. 2. Регрессия целевых, проверочных и тестируемых данных нс

заказов, определения приоритета запуска деталей, относящихся к разным заказам, в данном исследовании используется метод имитационного моделирования. Для метода имитационного моделирования необходимо знать время выполнения каждой операции.

Модель производственной площадки построена с использованием программного обеспечения Tecnomatix Plant Simulation [12], она представлена на рис. 3.

Источник поступления деталей или source (№1 на рис. 3) используется в модели как склад заготовок, с которого они отправляются на производство. В параметрах объекта задаем необходимое количество заготовок и саму заготовку, созданную в виде сущности, способной перемещаться между различными объектами модели и менять в процессе атрибуты.

В разработанной имитационной модели производства в источниках находится 15 заготовок формообразующих плит, 15 заготовок вставок, 60 заготовок электродов, 25 заготовок крыльчаток, 47 заготовок крышек демпфера, а также 15 покупных плит и 30 покупных колонок.

Для моделирования станков используется объект SingleProc (№2 на рис. 3).

Для каждого станка заданы коэффициент работоспособности, время и срок проведения обслуживания (3-4 дня в год). Также заданы время обработки каждой детали и время переналадки.

Передвижение деталей по цепочке технологических операций происходит по заданному маршруту.

Между станками перемещение деталей происходит с учетом того, что станок может быть занят в момент готовности детали на предыдущем станке, это реализовано с помощью объекта Method и прописанного в нём скрипта.

Для того, чтобы одна и та же деталь могла дважды обрабатываться на одном станке – черновая и чистовая обработка - при том, что между ними есть другая операция, был добавлен пользовательский атрибут «obr», который меняет своё значение после выполнения операции на данном станке посредством кода, прописанного в объекте Method. После этого благодаря изменённому значению атрибута обработанную деталь легко отличить от необработанной. Пример представлен на рис. 4.

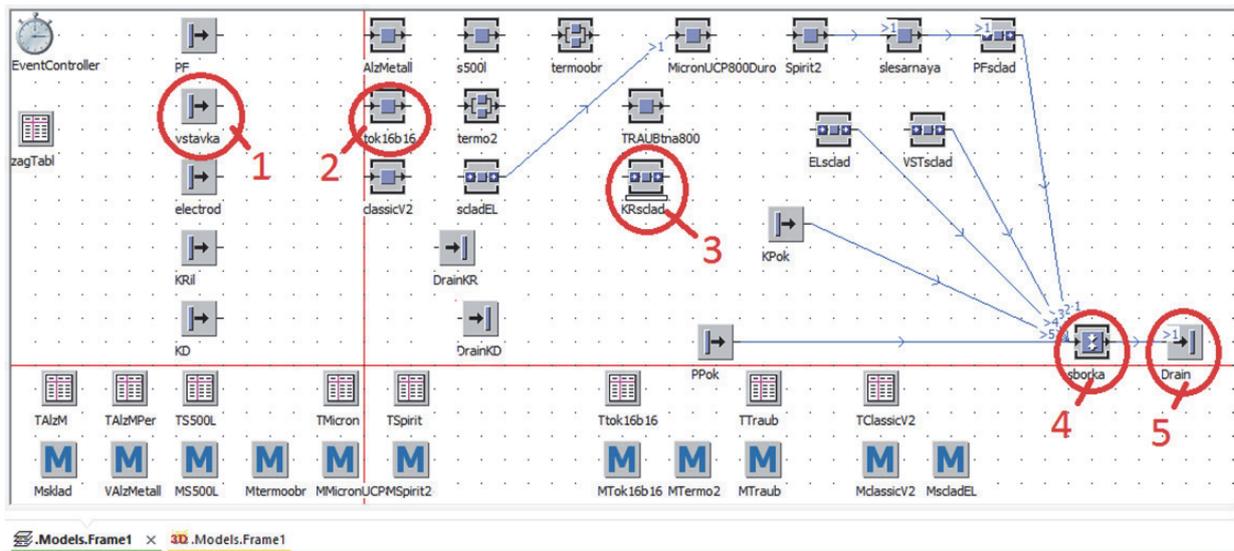


Рис. 3. 2D модель производственной площадки САМ-центра:

- 1 – Объект Source – склад заготовок для детали «Вставка»;
- 2 – Объект SingleProc для токарного станка 16Б16Т-1;
- 3 – Объект Buffer – склад для детали «Крыльчатка»;
- 4 – Объект сборки assembly для детали «Прессформа»;
- 5 - Объект Drain – сток для детали «Прессформа»

```

|--Change an attribute of the MU, when it transfers to the successor
--Changes an attribute of the MU, when it transfers to the successor of the present station.
--@ is the MU that triggers the control
if @.origin = .MUs.PlitaF
  @.obr := 1
end

if @.origin = .MUs.PlitaF
  @.move(AlzMetall)
  if s5001.Occupied and @.origin = .MUs.PlitaF
    @.move(termoobr)
  end
elseif @.origin = .MUs.vst
  @.move(traUBtna800)
  if tok16b16.Occupied and @.origin = .MUs.vst
    @.move(termoobr)
  end
else
  debug
end
end
    
```

Рис. 4. Метод для изменения пользовательского атрибута после обработки, для входа и выхода детали с операции термообработка

Добавлено несколько объектов buffer (№3 на рис. 3) в качестве промежуточных складов для деталей, чтобы станки продолжали работать и не были заняты обработанной деталью, когда следующий по маршруту станок занят.

Условием выполнения операции сборки пресс-формы является наличие всех необходимых комплектующих. Из источников и со складов, соединенных объектом connector с объектом сборки assembly (№4 на рис. 3), при

выполнении обозначенного выше условия, поступают готовые детали.

Готовые детали попадают в предназначенный для них склад - сток или Drain (№5 на рис. 3).

Время работы, переналадки, ожидания, поломок и так далее можно посмотреть во вкладке «статистика» для каждого станка.

Наглядно эту информацию можно посмотреть с помощью объекта Chart (Рис. 5) как для отдельного станка, так и для нескольких станков

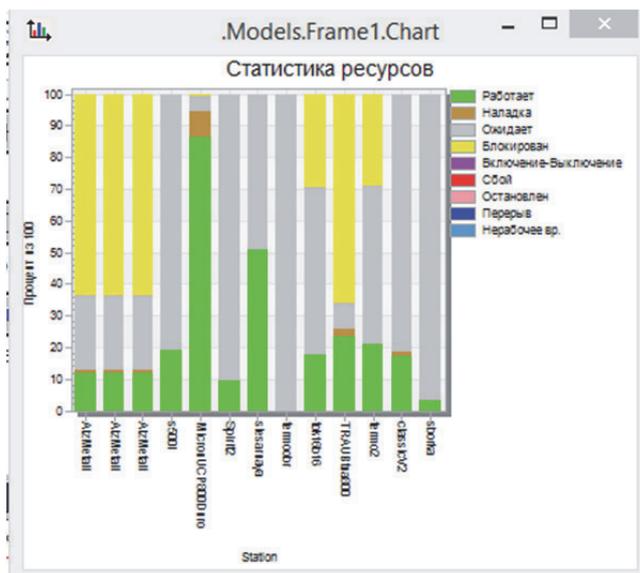


Рис. 5. Chart для всех станков на производственном участке и сборочной станции

одновременно. Эта информация поможет оценить загрузженность производства и сделать выводы о возможности его дозагрузки. Также можно оценить узкие места для текущего комплекта деталей в производстве.

При рассматриваемом комплекте деталей видно, что узкое место – пропускная способность фрезерного обрабатывающего центра Agie Charmilles UCP 800 Duro. Следовательно, другое оборудование во время его работы может быть догруженным.

Кроме того, в программе рассчитывается среднее время жизни каждой детали, которая попадает в конце в объект Drain - сток (Рис. 6).

Результаты. Данные, полученные в нс для новой детали «Формообразующая», представлены в таблице 3.

Загруженность оборудования после добавления новой детали можно оценить на рис. 7.

Также смоделирована нештатная ситуация

– выход токарно-фрезерного обрабатывающего центра Traub TNA 300 из строя на 7 дней.

Оценив полученные результаты, делаем выводы, что составить контракт на изготовление рассматриваемой детали за 40 дней и более будет оптимальным решением.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эффективное использование статистики [12] уже завершенных заказов открывает новые возможности. Рассматриваемая методика сочетает в себе получение новой информации и диверсификацию рисков, она позволяет значительно снизить неопределенность ситуации. За счёт этого снизить заложенные резервы, что положительно скажется на привлекательности предложения для клиента без повышения степени риска. Также это позволяет сделать несколько предложений с различной ценой в зависимости

Время моделирования: 19:17:50:00.0000

Накопленная статистика деталей, уничтоженных стоком									
Объект	Имя	Среднее время жизни	Пропускная способность	ТРН	Производство	Транспорт	Хранение	Значение добавлено	Часть
DrainKD	krishkaD	34:08.9362		47	0	100.00%	0.00%	0.00%	43.93%
DrainKR	KR	1:18:43:12.0000		25	0	100.00%	0.00%	0.00%	28.09%
Drain	PressForma	4:24:00.0000		15	0	100.00%	0.00%	0.00%	22.73%

Рис. 6. Статистика деталей, попавших на конечный склад (сток)

Таблица 3. Время обработки детали «Формообразующая» для каждого станка, полученное с помощью нейросетей

Станок	Время, ч
Фрезерный 3-х координатный станок с ЧПУ ALZMETALL BAZ 15 CNC	94,5228
Токарно-фрезерный обрабатывающий центр Traub TNA 300	56,4183
Электроэрозионный прошивочный станок Agie Charmilles Agietron Spirit II	47,6045
Слесарная операция	23,4437

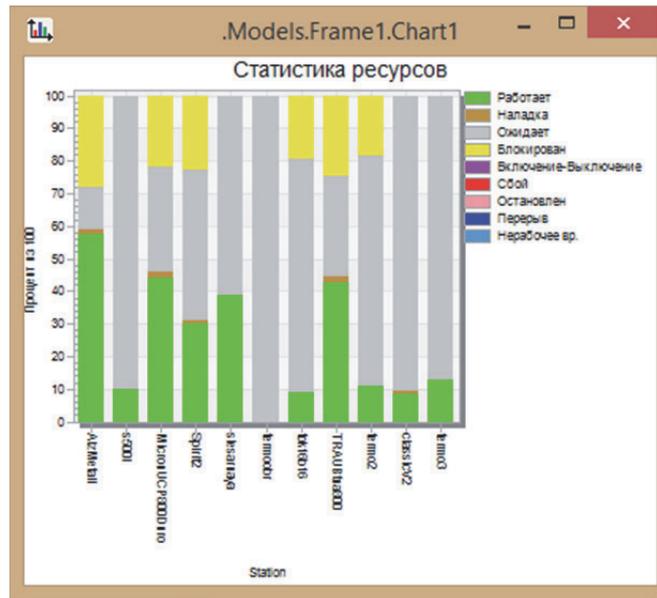


Рис. 7. Chart для всех станков на участке и сборочной станции после добавления новой детали

Время моделирования: 38:14:54:00.0000

Накопленная статистика деталей, уничтоженных стоком									
Объект	Имя	Среднее время жизни	Пропускная способность	ТРН	Производство	Транспорт	Хранение	Значение добавлено	Часть
DrainKD	krishkaD	34:08.9362		47	0	100.00%	0.00%	0.00%	43.93%
DrainKR	KR	2:00:50:31.2000		25	0	100.00%	0.00%	0.00%	24.57%
Drain	PressForma	1:00:00.0000		10	0	100.00%	0.00%	0.00%	100.00%
DrainND	nov	17:00:54:12.0000		5	0	98.95%	0.00%	1.05%	60.25%

Рис. 8. Статистика деталей, попавших на конечный склад (сток), с добавлением новой детали при поломке станка Traub TNA 300

от заложенного резерва времени. Это положительно влияет на репутацию.

Помимо оценки сроков, стоимости и рисков [11] нового заказа с помощью разработанных моделей также можно проанализировать состояние загрузки производственной площадки в каждый рассматриваемый момент, сделать выводы - какие заказы было бы выгодно принять, какие станки стоит дозагрузить, а какие уже стали узким местом производства. На основании этой информации составить план привлечения определенной группы целевой аудитории. Также эти инструменты можно использовать для поддержки принятия других управленческих решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муравьева В.С., Орлов А.И. Организационно-экономические проблемы прогнозирования на промышленном предприятии // Управление большими системами. 2009. № 17. С. 143–158.
2. Александрова И.А., Дурнева И.В. Методы прогнозирования, используемые в маркетинговой деятельности предприятия в современных рыночных условиях // SCIENCE TIME, 2015. №2(14). С. 11-15.
3. Сироткин М.Е. Методы моделирования производственных процессов предприятия машиностроения // Наука и образование. 2011. №8. URL:

<https://nauka.work/hbfdkcaajaidfdeecifc> (дата обращения 15.05.2021).

4. Гарколь Н.С., Гунер М.В. Применение генетических алгоритмов в решении задач планирования производства и реализации продукции // Вестник Томского государственного университета. 2012. № 2(19). С. 72-79.
5. В. Горате Гонзалес. Применение сетей Петри, цепей Маркова и теории массового обслуживания при математическом моделировании дискретных систем // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2019. № 4. С. 20-25. URL: https://izv.etu.ru/assets/files/izvestiya-4_2019_p020-025.pdf (дата обращения 15.05.2021)
6. Авакьянц А.В., Урубкин М.Ю. Методы прогнозирования // Инновационная наука. 2017. № 2(1). С. 12-14.
7. Бильгаева Л.П., Власов К.Г. Прогнозирование продаж в среде MATLAB // Естественные и математические науки в современном мире: сб. ст. по матер. XLIX междунар. науч.-практ. конф. № 12(47). – Новосибирск: СибАК, 2016. – С. 64-76.
8. Белов А.Г., Моисеев С.А., Григорьев А.В. Методы имитационного моделирования // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». Пенза, 2014. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/method-imitatsionnogo-modelirovaniya/viewer> (дата обращения 15.05.2021)
9. Тришечкин С.Н. Data Mining и метод нейронных сетей. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/data-mining-i-metod-neyronnyh-setey/viewer> (дата обращения 15.05.2021)

10. Бураков М.В. Нейронные сети и нейроконтроллеры [Текст] Учебное пособие/ М.В. Бураков. – СПб.: ГУАП, 2013. – 284с.
11. Answers for industry, Plant Simulation. Simulation and optimization of production systems and processes, 2019. – 87 с.
12. Октаева, Е.В. Математические модели и методы оценки рисков / Е. В. Октаева. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2016. — № 15 (119). — С. 310-313

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE TIMING OF THE MANUFACTURE OF NEW ORDERS IN SINGLE PRODUCTION AND REDUCING THE RISKS OF PRODUCTION ACTIVITIES

© 2021 E.A. Koleganova, V.V. Kokareva, A.I. Khaimovich

Samara National Research University named after academician S.P. Korolyov, Samara, Russia

The article is devoted to the development and testing of the methodology for assigning the priority of technological operations for a number of orders and assessing the risks of setting the price and deadlines for new orders, taking into account its complexity and priority. It is noted the main problems of high-tech single production and the risks they create. To solve the identified problems on the basis of the analysis, a complex method was chosen, consisting of a combination of the use of simulation modeling and neural network modeling. The neural network model is based on the statistics of the production times of various parts in this area. The type of neural network model selected by the Fitting app is trained by the network using the Levenberg-Marquardt error back propagation algorithm. The simulation model of the production site is built in the Tecnomatix Plant Simulation program.

As a result, thanks to the developed methodology, it became possible to obtain information about a new order before it was directly introduced into production, to diversify risks before they caused damage, as well as to improve reputation. In conclusion, as an example, the addition of a new part to other parts already being produced is given, and the time of its production is calculated.

Keywords: Production optimization, neural network model, simulation model, forecasting problem, single production.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-4-27-34

Ekaterina Koleganova, Postgraduate Student.

E-mail: koleganova.e@yandex.ru

Victoriya Kokareva, Candidate of Technics, Senior Lecturer, Senior Researcher. E-mail: charming_carrot@mail.ru

Aleksandr Khaymovich, Doctor of Technics, Associate Professor at the Engine Manufacturing Technology Department. E-mail: berill_samara@bk.ru