

УДК 338.984  
ББК 65.054

DOI 10.47475/2618-9852-2021-16406

## О ПРИМЕНЕНИИ СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*А. Н. Жигарь*

Московский государственный технический  
университет им. Н. Э. Баумана (национальный  
исследовательский университет), Москва, Россия

Статья посвящена особенностям применения сетевого планирования для организации проведения диагностики технологического оборудования с использованием метода оценки точности и согласованности работы приводов на производственных предприятиях ракетно-космической промышленности. Приведены расчеты ожидаемой продолжительности проведения работ, сформирован сетевой график, рассчитан критический путь с использованием алгоритмического метода математической теории графов.

**Ключевые слова:** *сетевое планирование, сетевой график, диаграмма Ганта, диагностика станков, системы диагностики технологического оборудования, резерв событий.*

## ON APPLYING NETWORK PLANNING IN THE DIAGNOSTIC PROCESS TECHNOLOGICAL EQUIPMENT AT THE ENTERPRISES OF THE ROCKET AND SPACE INDUSTRY

*A. N. Zhigar*

Moscow State Technical University named after N. E. Bauman  
(National Research University), Moscow, Russia

The article is devoted to the peculiarities of the application of network planning for the organization of diagnostics of technological equipment using the method of assessing the accuracy and consistency of the operation of drives at industrial enterprises of the rocket and space industry. The calculations of the expected duration of the work are given, the network schedule is formed, the critical path is calculated using the algorithmic method of the mathematical theory of graphs.

**Keywords:** *network planning, network schedule, Gantt chart, machine tool diagnostics, process equipment diagnostics systems, event reserve.*

Диагностика технологического оборудования — важный процесс, который должен регулярно проводиться на промышленных

предприятиях. Качественное и своевременное осуществление операций, выполненное согласно нормативным документам, способно

предотвратить потенциальные поломки и неполадки специализированного оснащения [10].

Метод оценки точности и согласованности работы приводов — один из методов оптического неразрушающего контроля, который используется для безразборной диагностики станков с числовым программным управлением. Данный метод используется, например, для фрезерных, токарных, электроэрозионных, координатно-расточных станков с числовым программным управлением, координатно-измерительных машин и обрабатывающих центров. Подробное описание метода приведено в работах Ю. И. Савинова, С. Г. Матвеева, Е. Г. Рахмилевича, А. Н. Жигарь [1; 2; 6; 7].

Советом при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам в 2018 г. была разработана национальная программа «Производительность труда и поддержка занятости» сроком на период с 1 октября 2018 г. по 31 декабря 2024 г. В рамках данного проекта прирост производительности труда к 2024 г. на средних и крупных предприятиях базовых несырьевых отраслей экономики должен составить более 20 %, относительно данных 2018 г. [4].

Для реализации указанного национального проекта на предприятиях ракетно-космической промышленности одним из методов увеличения производительности можно считать применение метода оценки точности и согласованности работы приводов, который также приводит к снижению количества дефектов. В результате проведения такого вида диагностики выявляются причины неполадок работы оборудования, приводящих либо к браку, либо к снижению производительности из-за того, что оператор станка во избежание брака снижает скорость подачи. Предлагается на всех производственных предприятиях ракетно-космической промышленности с периодичностью один раз в год проводить диагностику станков с числовым программным управлением с использованием метода оценки точности и согласованности работы приводов.

Для организации проведения диагностики технологического оборудования с использованием метода оценки точности и согласованности работы приводов для фрезерных и токарных станков с числовым программным управлением на произ-

водственных предприятиях ракетно-космической промышленности были предложены три варианта: централизованный, региональный и локальный. Варианты различаются по местоположению специалистов, проводящих диагностику станков. В централизованном варианте все специалисты находятся в г. Москве и для проведения диагностики выезжают на предприятия, расположенные в различных субъектах Российской Федерации. Региональный вариант предусматривает создание территориальных центров диагностики, в которых и будут располагаться сотрудники, обслуживающие производственные предприятия, относящиеся к данному региональному центру. Локальный вариант подразумевает трудоустройство специалистов на каждом производственном предприятии ракетно-космической промышленности, на которых необходимо проводить такую диагностику.

Оптимальным вариантом организации и проведения диагностики технологического оборудования с использованием метода оценки точности и согласованности работы приводов на предприятиях ракетно-космической промышленности по критерию минимизации затрат является централизованный вариант. Для реализации централизованного варианта необходимо:

1. Приобрести 13 комплектов оборудования для проведения диагностики, в том числе:
  - основное — диагностическое оборудование в количестве 13 штук;
  - вспомогательное — ноутбуки в количестве 13 штук.
2. Подобрать, трудоустроить и обучить специалистов по проведению диагностики численностью 13 человек.
3. Разработать график проведения диагностики на предприятиях.

Для реализации проекта по внедрению диагностики необходимо создать рабочую группу, функционирующую под управлением руководителя группы.

Более подробные мероприятия по внедрению системы диагностики технологического оборудования с использованием метода оценки точности и согласованности работы приводов на предприятиях ракетно-космической промышленности представлены в таблице 1.

Таблица 1

Мероприятия по внедрению системы диагностики технологического оборудования с использованием метода оценки точности и согласованности работы приводов на производственных предприятиях ракетно-космической промышленности

№ п/п	Мероприятие	Длительность выполнения работ, рабочие дни
1	Разработка проекта отраслевого положения	30
2	Утверждение отраслевого положения	30

Окончание таблицы 1

№ п/п	Мероприятие	Длительность выполнения работ, рабочие дни
3	Утверждение устава проекта. Создание рабочей группы по реализации проекта и утверждение ее состава	10
4	Распределение полномочий по ответственным исполнителям	3
5	Разработка вариантов организации диагностики технологического оборудования	20
6	Определение размера затрат для реализации вариантов организации диагностики	7
7	Выбор варианта организации проведения диагностики	3
8	Разработка технического задания на реализацию выбранного варианта	7
9	Подготовка необходимых офисных и производственных помещений	5
10	Усовершенствование действующего структурного подразделения по диагностике технологического оборудования	20
11	Согласование бюджета для реализации выбранного варианта	10
12	Организация подбора оборудования	5
13	Сбор технико-коммерческих предложений для определения начальной максимальной цены оборудования	20
14	Проведение конкурса на приобретение оборудования	30
15	Приобретение оборудования	15
16	Проверка работоспособности оборудования	3
17	Установка программного обеспечения на ноутбуки	2
18	Постановка оборудования на учет	7
19	Организация поиска и подбора специалистов по проведению диагностики	15
20	Трудоустройство специалистов по проведению диагностики	10
21	Определение состава специалистов, подлежащих обучению проведению диагностики оборудования	5
22	Разработка программы обучения	10
23	Проведение обучения специалистов	15
24	Разработка и утверждение годового графика проведения диагностики на предприятиях	15

Произведем планирование внедрения системы диагностики, используя вероятностный метод планирования. Нормативный метод в этой ситуации применять невозможно в связи с отсутствием нормативной базы для обоснованного планирования трудоемкости и длительности работ. Графическая модель планирования работ по внедрению диагностики технологического оборудования — сетевой график, представляющий собой ориентированный однонаправленный размеченный граф, состоящий из работ и событий.

Работы в сетевом графике обозначаются стрелками (дугами графа) и бывают следующих видов: 1) работы, требующие затрат времени (обозначаются сплошной стрелкой); 2) фиктив-

ные работы (обозначаются пунктирной стрелкой). События в сетевом графике обозначаются кружками (вершины графа), имеющими свой индекс (код). Событие — результат выполнения предшествующих работ. Одноцелевой граф, который и необходимо построить, начинается с исходного события и заканчивается завершающим событием [8].

Произведем задание первичного сетевого графика. Для этого необходимо разработать таблицы, содержащие перечень событий по внедрению системы диагностики технологического оборудования с индексами (табл. 2) и перечень необходимых работ по внедрению системы диагностики технологического оборудования с введенными индексами (табл. 3).

Таблица 2

Перечень событий по внедрению системы диагностики технологического оборудования с использованием метода оценки точности и согласованности работы приводов на производственных предприятиях ракетно-космической промышленности

Индекс события	Наименование события
0	Решение о разработке проекта отраслевого положения
1	Проект отраслевого положения разработан
2	Отраслевое положение утверждено
3	Рабочая группа по реализации проекта создана
4	Полномочия по ответственным исполнителям распределены
5	Варианта внедрения системы диагностики разработаны
6	Затраты для реализации вариантов определены
7	Оптимальный вариант внедрения системы диагностики определен
8	Техническое задание на реализацию выбранного варианта разработано
9	Оборудование подобрано
10	Бюджет для реализации выбранного варианта согласован
11	Действующее структурное подразделение по диагностике технологического оборудования усовершенствовано
12	Программа обучения разработана
13	Специалисты по проведению диагностики подобраны
14	Годовой график проведения диагностики на предприятиях утвержден
15	Необходимые офисные и производственные помещения подготовлены
16	Технико-коммерческие предложения собраны
17	Специалисты по проведению диагностики трудоустроены
18	Состав специалистов, подлежащих обучению, определен
19	Специалисты обучены
20	Конкурс на приобретение оборудования проведен
21	Оборудование приобретено
22	Работоспособность оборудования подтверждена
23	Программное обеспечение на ноутбуки установлено
24	Оборудование поставлено на учет

Таблица 3

Перечень работ по внедрению системы диагностики технологического оборудования с использованием метода оценки точности и согласованности работы приводов на производственных предприятиях ракетно-космической промышленности

Индекс работы	Наименование работы
0-1	Разработка проекта отраслевого положения
1-2	Утверждение отраслевого положения
2-3	Создание рабочей группы по реализации проекта
3-4	Распределение полномочий по ответственным исполнителям
4-5	Разработка вариантов внедрения системы диагностики
5-6	Определение размера затрат для реализации вариантов
6-7	Выбор оптимального варианта внедрения системы диагностики
7-8	Разработка технического задания на реализацию выбранного варианта
8-9	Организация подбора оборудования
8-10	Согласование бюджета для реализации выбранного варианта

## Окончание таблицы 3

Индекс работы	Наименование работы
8-11	Усовершенствование действующего структурного подразделения по диагностике технологического оборудования
8-12	Разработка программы обучения
8-13	Поиск и подбор специалистов по проведению диагностики
8-14	Разработка и утверждение годового графика проведения диагностики на предприятиях
9-16	Сбор технико-коммерческих предложений
10-24	Фиктивная работа
11-15	Подготовка необходимых офисных и производственных помещений
12-19	Фиктивная работа
13-17	Трудоустройство специалистов по проведению диагностики
14-24	Фиктивная работа
15-24	Фиктивная работа
16-20	Проведение конкурса на приобретение оборудования
17-18	Определение состава специалистов, подлежащих обучению
18-19	Проведение обучения специалистов
19-24	Фиктивная работа
20-21	Приобретение оборудования
21-22	Проверка работоспособности оборудования
22-23	Установка программного обеспечения на ноутбуки
22-24	Постановка оборудования на учет
23-24	Фиктивная работа

На основании данных таблиц 2 и 3 построим графическое изображение сетевого графика (рис. 1.).

В представленном сетевом графике определим критический путь, используя алгоритмический метод математической теории графов поиска критического пути в размеченных ориентированных графах. Для поиска критического пути необходимо сформировать систему с двумя вероятностными оценками времени:

1) минимальная (оптимистическая) продолжительность работы — это та продолжительность работы, которая будет складываться при наиболее благоприятном стечении обстоятельств;

2) максимальная (пессимистическая) продолжительность работы — это та продолжительность работы, которая будет складываться при крайне неблагоприятном стечении обстоятельств.

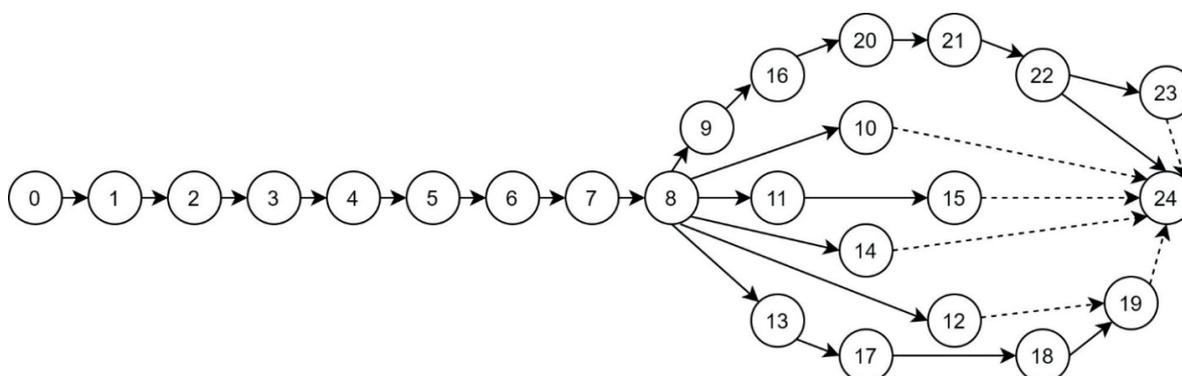


Рис. 1. Графическое изображение сетевого графика

Продолжительность каждой из работ рассматривается как случайная величина в пределах закона бета-распределения. При таком распределении математическое ожидание случайной величины (в данном случае длительности) — ожидаемая длительность работы ( $t_{ож}$ ) рассчитывается по формуле 1:

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5}, \quad (1)$$

где  $t_{min}$  — минимальная длительность работы, календарные дни;

$t_{max}$  — максимальная длительность работы, календарные дни.

На основе данных из таблиц 1 и 3 сформируем информационное поле с перечислением работ по внедрению системы диагностики технологического оборудования и их минимальной, максимальной и ожидаемой продолжительностями (табл. 4). Для расчета ожидаемой продолжительности используем формулу 1.

Таблица 4

Перечень работ сетевого графика по внедрению системы диагностики технологического оборудования и их продолжительности

Индекс работы	Продолжительность работ, календарные дни		
	минимальная	максимальная	ожидаемая
0-1	24	39	30
1-2	20	45	30
2-3	8	13	10
3-4	2	5	3
4-5	15	27	20
5-6	6	9	7
6-7	2	4	3
7-8	6	9	7
8-9	3	8	5
8-10	7	14	10
8-11	9	12	10
8-12	7	15	10
8-13	5	30	15
8-14	9	24	15
9-16	15	28	20
10-24	0	0	0
11-15	3	8	5
12-19	0	0	0
13-17	5	17	10
14-24	0	0	0
15-24	0	0	0
16-20	20	45	30
17-18	2	9	5
18-19	13	18	15
19-24	0	0	0
20-21	9	24	15
21-22	2	4	3
22-23	1	3	2
22-24	6	9	7
23-24	0	0	0

Произведем расчет ожидаемой продолжительности операции 0-1 (разработка проекта отраслевого положения) по формуле 1:

$$t_{ож\ 0-1} = \frac{3 \cdot 24 + 2 \cdot 39}{5} = 30 \text{ рабочих дней.}$$

Ожидаемые продолжительности для остальных работ рассчитываем аналогично. Определим основные параметры полученного сетевого графика, необходимые для выявления критического пути:

1) ранний срок свершения событий (определяется максимальной продолжительностью предшествующих работ);

2) поздний срок свершения событий (определяется максимальной продолжительностью пути от данного события до завершающего);

3) резерв событий — максимальная величина, на которую можно задержать наступление каждого из событий, не вызывая увеличения длины критического пути.

Ранний срок свершения завершающего события соответствует величине критического пути. Поздний срок свершения завершающего события принимается равным величине критического пути.

Основные параметры для каждого события полученного сетевого графика представлены в таблице 5.

Таблица 5  
Основные параметры событий сетевого графика по внедрению системы диагностики технологического оборудования

Индекс события	Срок свершения события, календарный день		Резерв события, календарный день
	ранний	поздний	
0	0	0	0
1	30	30	0
2	60	60	0
3	70	70	0
4	73	73	0
5	93	93	0
6	100	100	0
7	103	103	0
8	110	110	0
9	115	115	0
10	120	190	70
11	120	185	65
12	120	190	70
13	125	160	35
14	125	190	65
15	125	190	65
16	135	135	0
17	135	170	35
18	140	175	35
19	155	190	35
20	165	165	0
21	180	180	0
22	183	183	0
23	185	190	5
24	190	190	0

События, резерв которых равен нулю, образуют критический путь.

На основании таблицы добавляем в исходный сетевой график основные его параметры (рис. 2).

На рисунке события обозначены кружками, в левой части которого — ранний срок совершения события, в правой — поздний срок совершения события, в верхней части — резерв события, а в нижней — индекс события.

Работы обозначены стрелками, над которыми указана их продолжительность. Критический путь обозначен красными стрелками.

Все числовые значения приведены в рабочих днях.

Критический путь состоит из работ:

0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 8-9, 9-16, 16-20, 20-21, 21-22 и 22-24.

Его величина равна сумме длительностей этих работ:

$30 + 30 + 10 + 3 + 20 + 7 + 3 + 7 + 5 + 20 + 30 + 15 + 3 + 7 = 190$  рабочих дней.

На данный момент проект находится на стадии разработки технического задания на реализацию выбранного варианта организации диагностики (работа 7-8). Согласно построенному графику до завершения проекта по внедрению системы диагностики технологического оборудования остается завершить события от 8 до 24. Длительность оставшихся

событий — это сумма длительности работ, входящих в состав критического пути, соединяющих оставшиеся события (7-8, 8-9, 9-16, 16-20, 20-21, 21-22 и 22-24):  $7 + 5 + 20 + 30 + 15 + 3 + 7 = 87$  рабочих дней.

На рисунке 3 представлена диаграмма Ганта для внедрения системы диагностики технологического оборудования. Длительность каждой работы принимаем равной ожидаемой длительности, приведенной в таблице 5.

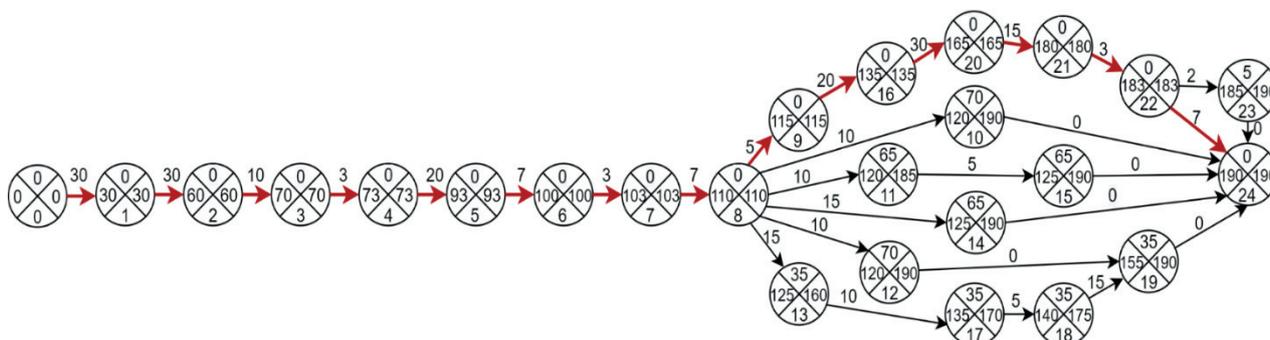


Рис. 2. Изображение сетевого графика с основными параметрами

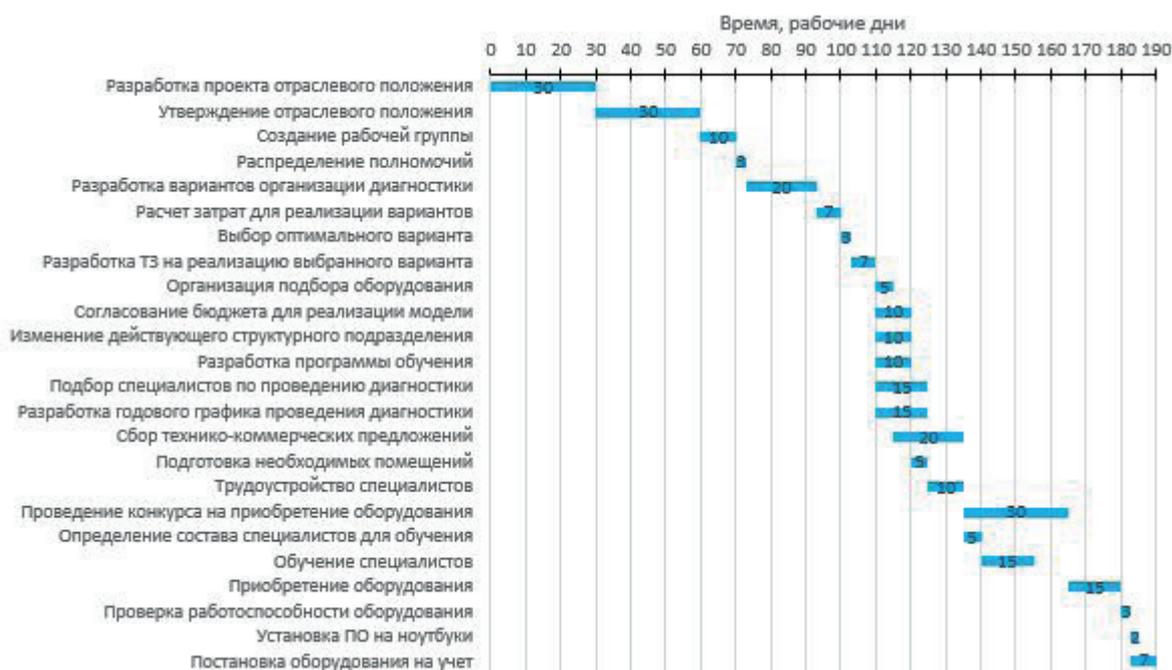


Рис. 3. График Ганта для внедрения системы диагностики технологического оборудования

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жигарь, А. Н. Разработка проектных вариантов организации внедрения системы диагностики технологического оборудования с использованием метода оценки точности и согласованности работы приводов на предприятиях ракетно-космической промышленности / А. Н. Жигарь, Д. В. Куликова, С. Г. Матвеев // Современное предприятие и будущее России : сб. трудов X Всерос. науч. конф. по организации производства. — Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021. — С. 81–86.
2. Жигарь, А. Н. Методы неразрушающей диагностики технологического оборудования в условиях цифровизации производства / А. Н. Жигарь, Е. Г. Рахмилевич, Д. В. Куликова, И. И. Осокин, А. Д. Басович // Машиностроение: традиции и инновации (МТИ — 2020): материалы XIII Всерос. конф. с междунар. участием. — Москва : ФГБОУ ВО «МГТУ „СТАНКИН“», 2020. — С. 176–187.

3. Мамедова, С. Т. Роль человеческого капитала для предприятия / С. Т. Мамедова // Ключевые элементы развития человеческого потенциала, экономики и обеспечения экономической безопасности : сб. ст. участников Междунар. науч.-практ. конф. — Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2018. — С. 184–189.
4. Производительность труда и поддержка занятости. — URL: [https://xn--b1aedfedwqdbfnzkgf0oe.xn--p1ai/ru/national-project/about\\_project/](https://xn--b1aedfedwqdbfnzkgf0oe.xn--p1ai/ru/national-project/about_project/) (дата обращения 06.03.2021).
5. Раздорозный, А. А. Управление организацией (предприятием) : учебник / А. А. Раздорозный. — Москва : Экзамен, 2006. — 637 с. — ISBN 5-472-02130-8.
6. Савинов, Ю. И. Полная диагностика горизонтально-расточного станка модели 2В622Ф4 / Ю. И. Савинов // Главный механик. — 2010. — № 2. — С. 48–55.
7. Савинов, Ю. И. Современная комплексная безразборная диагностика технического состояния станков / Ю. И. Савинов // Станки и инструмент. — 2008. — № 9. — С. 5–11.
8. Скворцов, Ю. В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании : учеб. пособие / Ю. В. Скворцов. — Москва : Студент, 2012. — 374 с. — ISBN 978-5-4363-0014-6.
9. Усанов, Г. И. Управление трансформацией промышленных предприятий и организаций в условиях рынка (методология, методы и формы) : дис. ... д-ра эконом. наук. — Хабаровск, 2003. — 335 с.
10. Щеголькова, А. Н. Возможности консалтинга в производственной сфере / А. Н. Щеголькова // Директор по маркетингу и сбыту. — 2015. — № 6. — С. 54–62.

#### Сведения об авторе

**Жигарь Александра Николаевна** — магистрант Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана (НИУ), Москва, Россия. [ovzigar@rambler.ru](mailto:ovzigar@rambler.ru).

#### REFERENCES

1. Zhigar A. N., Kulikova D. V., Matveyev S. G. Razrabotka proyektnykh variantov organizatsii vnedreniya sistemy diagnostiki tekhnologicheskogo oborudovaniya s ispol'zovaniyem metoda otsenki tochnosti i soglasovannosti raboty privodov na predpriyatiyakh raketno-kosmicheskoy [Development of design options for organizing the implementation of a diagnostic system for technological equipment using the method for assessing the accuracy and consistency of the operation of drives at enterprises of the rocket and space industry]. *Sovremennoye predpriyatiye i budushcheye Rossii* [Modern enterprise and the future of Russia]. Moscow, MGTU im. N. E. Bauman Publ., 2021. Pp. 81–86. (In Russ.).
2. Zhigar A. N., Rakhmievich E. G., Kulikova D. V., Osokin I. I., Basovich A. D. Metody nerazrushayushchey diagnostiki tekhnologicheskogo oborudovaniya v usloviyakh tsifrovizatsii proizvodstva [Methods of non-destructive diagnostics of technological equipment in the context of digitalization of production]. *Mashinostroyeniye: traditsii i innovatsii* [Mechanical engineering: tradition and innovation]. Moscow, MGTU "STANKIN" Publ., 2020. Pp. 176–187. (In Russ.).
3. Mamedova S. T. Rol' chelovecheskogo kapitala dlya predpriyatiya [The role of human capital for an enterprise]. *Klyuchevye elementy razvitiya chelovecheskogo potentsiala, ekonomiki i obespecheniya ekonomicheskoy bezopasnosti* [Key Elements of Human Potential Development, Economics and Economic Security]. Chelyabinsk, Chelyabinsk State University Publ., 2018. Pp. 184–189. (In Russ.).
4. Proizvoditel'nost' truda i podderzhka zanyatosti [Labor productivity and employment support.]. Available at: [https://xn--b1aedfedwqdbfnzkgf0oe.xn--p1ai/ru/national-project/about\\_project/](https://xn--b1aedfedwqdbfnzkgf0oe.xn--p1ai/ru/national-project/about_project/), accessed 06.03.2021. (In Russ.).
5. Razdorozhnyy A. A. Upravlenie organizaciej (predpriyatiem): uchebnik [Management of an organization (enterprise): textbook]. Moscow, Ekzamen, 2006. 637 p. (In Russ.).
6. Savinov Y. I. Polnaya diagnostika gorizontallyno-rastochnoy stanka modeli 2V622F4 [Complete diagnostics of a horizontal boring machine model 2V622F4]. *Glavnyy mekhanik* [Chief mechanical engineer], 2010, no. 2, pp. 48–55. (In Russ.).
7. Savinov Y. I. Sovremennaya kompleksnaya bezrazbornaya diagnostika tekhnicheskogo sostoyaniya stankov [Modern comprehensive CIP diagnostics of the technical condition of machine tools]. *Stanki i instrument* [Machine tools and tools], 2008, no. 9, pp. 5–11. (In Russ.).
8. Skvortsov Y. V. Organizatsionno-ekonomicheskiye voprosy v diplomnom proyektirovanii: ucheb. posobiye [Organizational and economic issues in diploma design: textbook]. Moscow, Student, 2012. 374 p. (In Russ.).
9. Usanov G. I. Upravleniye transformatsiyey promyshlennykh predpriyatiy i organizatsiy v usloviyakh rynka (metodologiya, metody i formy): dis. ... d-ra jekonom. nauk [Management of the transformation of industrial enterprises and organizations in market conditions (methodology, methods and forms)]. Khabarovsk, 2008. 335 p. (In Russ.).
10. Shchego'l'kova A. N. Vozmozhnosti konsaltinga v proizvodstvennoy sfere [Opportunities of consulting in the industrial sphere]. *Direktor po marketingu i sbytu* [Marketing and Sales Director], 2015, no. 6, pp. 54–62. (In Russ.).