

---

DOI: 10.25987/VSTU.2019.47.73.006

УДК 338.32

## МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

**К. А. Соловейчик, В. А. Левенцов**

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Россия, 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

**Е. М. Сафронова**

ООО «Каскад технологии»

Россия, 197376, Санкт-Петербург, наб. Реки Карповки, д. 5, лит. АГ, пом. 2Н, офис 2

**Введение.** Данная статья посвящена решению задачи планирования технического обслуживания производственного оборудования на базе данных машиностроительных предприятий Санкт-Петербурга. Решение задачи планирования технического обслуживания оборудования актуально, поскольку существующая ситуация «ручного» планирования обладает большим количеством недостатков и ограничивает диспетчирование производственной логистики.

**Данные и методы.** Представленная в работе математическая модель имеет ряд допущений для уменьшения вычислительной сложности рассматриваемой задачи. В качестве целевой функции в модели выбрана максимизация времени работы группы заменяемости оборудования между техническими обслуживаниями. Для решения задачи предложен алгоритм, позволяющий вычислить необходимый ритм технического обслуживания в разрезе выбранного ограничения.

**Полученные результаты.** Апробация предложенного алгоритма производилась на данных, приближенных к реальным, в информационной системе ИС:ТОИР «Управление ремонтами и обслуживанием оборудования» (далее ИС:ТОИР), что позволило удостовериться в выполнении ограничений при построении планово-предупредительного графика ремонта.

**Заключение.** Разработанная модель и алгоритм планирования технического обслуживания оборудования для внедрения в ИС:ТОИР могут быть использованы на предприятии, позволят эффективнее организовать загрузку производственного оборудования с учетом интервалов на обслуживание и повысить качество выполняемых заказов.

**Ключевые слова:** техническое обслуживание, выбор оборудования, математическая модель, метод перебора, критерии выбора оборудования.

### Для цитирования:

Соловейчик К. А., Левенцов В. А., Сафронова Е. М. Модель планирования технического обслуживания оборудования // Организатор производства. 2019. Т.27. №3. С. 69-78 DOI: 10.25987/VSTU.2019.47.73.006

### THE MODEL OF EQUIPMENT MAINTENANCE PLANNING

---

#### Сведения об авторах:

**Кирилл Александрович Соловейчик** (д-р экон. наук, kirill@spbcioclub.ru), заведующий базовой кафедрой процессов управления наукоемкими производствами

**Валерий Александрович Левенцов** (канд. экон. наук, vlevantsov@spbstu.ru), доцент Института передовых производственных технологий

**Елена Михайловна Сафронова** (solncuivetru@gmail.com), магистр базовой кафедры процессов управления наукоемкими производствами

#### On authors:

**Kirill A. Soloveichik** (Dr. Sci. (Economy), kirill@spbcioclub.ru), head of basic Department management processes knowledge-intensive industries

**Valery A. Leventsov** (Cand. Sci. (Economy), vlevantsov@spbstu.ru), Assistant Professor of the Institute of advanced production technologies

**Elena M. Safronova** (solncuivetru@gmail.com), master of a chair base management processes knowledge-intensive industries

---

**K.A. Soloveichik, V.A. Leventsov**

St.Petersburg Polytechnic University, named after Peter the Great  
Russia, 195251, St.Petersburg, Polytechnicheskaya St., 29

**E.M. Safronova**

LLC «Kaskad tekhnologii»

Russia, 197376, St.Petersburg, The Karpovka River Embankment, 5, building AG, premise 2N, office 2

**Introduction.** This article is devoted to solving the task of production equipment maintenance planning using the database of machine-construction enterprises of St.Petersburg. Solving the task of planning the production equipment maintenance is essential, as the current situation of «manual» planning has many shortcomings and hampers the scheduling of production logistics.

**Data and methods.** The mathematical model, presented in the paper, has several assumptions to reduce the computational complexity of the task under consideration. The worktime maximization of the replaceable equipment set during the service interval is selected as a target function in the model. To solve the task, the algorithm was proposed, making it possible to estimate the proper rhythm of maintenance in the context of the selected restriction.

**Results obtained.** The proposed algorithm was tested using the data, close to real ones, in the information system IS:ERSC (Equipment Repair and Servicing Control, hereinafter, IS:ERSC), which enabled us to verify the implementation of restrictions when planning the scheduled preventive repair.

**Conclusion.** The developed model and algorithm of equipment maintenance planning for introducing in the IS:ERSC can be used at an enterprise, will better organize the workload of production equipment with regard to service intervals and improve the quality of orders fulfilled.

**Key words:** maintenance, choice of equipment, mathematical model, direct search method, equipment selection criteria

**For quoting:**

Soloveichik K.A., Leventsov V.A., Safronova E.M. The model of equipment maintenance planning // Organizer proizvodstva. 2019. V.27. № 3. 69-78 DOI: 10.25987/VSTU.2019.47.73.006

**Введение**

В настоящее время на большинстве производственных предприятий России эксплуатируется оборудование, которое имеет высокий моральный, физический и экономический износ. Естественное устаревание основных фондов производственных предприятий приводит к постоянному росту количества не только поломок и неисправной работе парка оборудования, но и к росту брака выпускаемой продукции. В среднем простой оборудования занимает от 30% до 50% полезного времени, вследствие чего увеличивается длительность производственного цикла и растет себестоимость производимой продукции. В этих условиях вопрос автоматизации управления процессами сервисного обслуживания и ремонта производственного оборудования является актуальным и имеет практическую значимость повышения конкурентоспособности отечественных предприятий.

Современные информационные технологии позволяют добиться повышения эффективности внутрипроизводственной логистики на предпри-

ятиях [1]. Непрерывная фиксация состояния станочного парка, расчет показателей их плановой работы и отображение результатов в реальном времени обеспечивают оперативность контроля и способствуют своевременному реагированию на ситуации, требующие вмешательства. Накапливаемая история работы оборудования служит основным источником для всестороннего анализа производственной деятельности и формирования своевременных управленческих решений.

Обладая информацией о состоянии оборудования, руководство предприятия имеет возможность целенаправленно работать по увеличению производительности, уменьшению производственных потерь и строго контролировать эффективность использования вложенных в повышение эффективности производства финансовых средств [2,3,4].

Сегодня все больше компаний включается в борьбу за повышение своей операционной эффективности, и они имеют в этой области

колоссальный потенциал роста. Планирование технического обслуживания оборудования является одним из начальных этапов оптимизации производственной логистики и ремонта оборудования [5]. Необходимым условием для организации на промышленном предприятии Цифрового производства (Индустрия 4.0) является создание единого информационного пространства, с помощью которого все автоматизированные системы управления предприятием, а также промышленное оборудование могут оперативно и своевременно обмениваться информацией. Одним из самых главных условий реализации цифрового производства является функционал, который позволит автоматически собирать данные о работе всех производственных объектов (оборудование, рабочие места сотрудников, сервисные службы и т. д.) в единое информационное пространство, в целях управления производством [6].

Одним из примеров такого функционала является умная система мониторинга производственной логистики, которая позволяет контролировать работу станочного парка и производственного персонала в режиме реального времени, выполнять классификацию и анализ простоев, проводить оперативную диспетчеризацию цеховых и сервисных служб, передавать управляющие программы на станки с ЧПУ, выпускать отчетную документацию, взаимодействовать с системами планирования и управления производством [7]. Ключевым объектом управления является производственное оборудование и его состояние. Это должно являться отправной точкой во внедрении системы управления ремонтами и обслуживанием на предприятии. В первую очередь в этом направлении должна осуществляться соответствующая автоматизация процессов.

Данная область хорошо описана и проработана как в российской серии ГОСТ 27 и других, так и международном стандарте ISO 55000. Техническая диагностика, прогнозирование отказа, анализ видов и последствий отказов и другие технические методы работы – это та область, с которой работает техническая служба и которая им понятна. Необходимо понимать, что производственное оборудование является опасным промышленным объектом, работа с которым технически регламентирована и должна выполняться в полном объеме в соответствии со стандартами и действующими требованиями.

Несмотря на то, что существует множество факторов, влияющих на выбор оптимальной

стратегии эксплуатации определенной единицы продукции, ключевой является способность выполнять свой функциональный потенциал в надлежащем качестве и объеме. При выполнении системой своих производственных функций и исключения возможности ущерба для производства различные группы оборудования и единицы техники имеют разную значимость и приоритеты. Цель стратегии данной системы заключается в том, чтобы не дать понести значительные потери и минимизировать последствия в связи с выходом из строя особо важных объектов производства, а также обеспечить надежность производственной логистики.

Отнесение производственного оборудования к той или иной категории значимости и приоритетности означает осуществление определенного набора действий в соответствии с оптимальной стратегией обслуживания и ремонта – работа на отказ, ремонт по состоянию или обслуживание по наработке.

Для анализа эффективности эксплуатации производственного оборудования необходимо учитывать несколько показателей: использование ресурсов при выполнении работ по техническому обслуживанию и ремонту и использование мониторинга ключевых показателей эффективности на основе умной системы мониторинга производственной логистики.

При своевременном выполнении планово-предупредительных мероприятий по оборудованию можно существенно снизить ситуации возникновения аварийно-восстановительного ремонта, предупреждать возникновение аварийных поломок и потребности в таком ремонте [8], что влечет за собой стабильный и устойчивый производственный процесс на предприятии.

Таким образом, целью работы является разработка модели и алгоритма, которые позволят эффективно организовать техническое обслуживание оборудования на предприятии и сделают процесс обслуживания и ремонта оборудования более гибким, обоснованным и управляемым.

#### **Постановка задачи и модель планирования технического обслуживания (Statement of the problem and planning maintenance model)**

Математических моделей, позволяющих рассчитать и спланировать планово-предупредительное обслуживание производственного оборудования, на сегодняшний момент достаточно много. Выбор математической модели зависит от постановки задачи [9].

Задача может быть сформулирована следующим образом: в информационную систему

поступают данные о состоянии оборудования; необходимо построить график технического обслуживания оборудования, учитывая наработку и ограничение, что оборудование, входящее в одну группу заменяемости, не может обслуживаться в один день с остальным оборудованием данной группы [10]. Таким образом, для данной задачи необходимо рассчитать периоды технического обслуживания оборудования, которые было бы возможно отобразить в виде графика обслуживания. Используемая модель должна предлагать оптимальный вариант спланированного графика, учитывать специфику предприятия, оборудования, выбранного для планирования и группы заменяемости оборудования.

В связи с тем, что по данным критериям было сложно подобрать подходящую математическую модель, было принято решение разработать простую для вычисления модель планирования технического обслуживания оборудования.

В информационной системе ИС:ТОИР отслеживается наработка оборудования за день. Также в ней распределено оборудование по группам заменяемости, проставлены коэффициенты приоритета оборудования, занесены данные по критической наработке, обозначена константа, регулирующая шаг уменьшения максимального количества дней работы до технического обслуживания оборудования с целью составления графика.

В модели приняты следующие обозначения:

$m$  – индекс для оборудования ( $m = 1, 2, \dots, m_i$ );

$k$  – индекс приоритета  $m$ -го оборудования в рамках группы заменяемости ( $k = 1, 2, \dots, k_m$ );

$g$  – индекс для группы заменяемости  $m$ -го оборудования с  $k$ -м индексом приоритета ( $g = 1, 2, \dots, g_{km}$ ).

$N_{kmg}$  – количество дней до критической наработки с  $k$ -м индексом приоритета  $m$ -го оборудования в  $g$ -й группе заменяемости, день;

$O_{kmgN}$  – наработанное время с  $k$ -м индексом приоритета  $m$ -го оборудования в  $g$ -й группе заменяемости за день, час;

$O_{kmg\max}$  – установленное критическое наработанное время с  $k$  индексом приоритета  $m$ -го оборудования в  $g$ -й группе заменяемости, после

которой необходимо техническое обслуживание, час;

$O_{kmg}^{ocm}$  – оставшееся время наработки с  $k$  индексом приоритета  $m$ -го оборудования в  $g$ -й группе заменяемости до критической наработки с  $k$  индексом приоритета  $m$ -го оборудования в  $g$ -ой группе заменяемости, после которого необходимо техническое обслуживание, час;

$MN_{kmg}$  – оптимальное количество дней работы с  $k$  индексом приоритета  $m$ -го оборудования в  $g$ -й группе заменяемости до необходимости технического обслуживания, день;

$P$  – шаг уменьшения максимального количества дней работы с  $k$  индексом приоритета  $m$ -го оборудования в  $g$ -й группы заменяемости до необходимости технического обслуживания ( $P = 1, 2, 3, \dots, P_{\max}$ ), день.

$P_{\max}$  – максимальный шаг уменьшения максимального количества дней работы с  $k$  индексом приоритета  $m$ -го оборудования в  $g$ -й группе заменяемости до необходимости технического обслуживания, день.

Математическая модель может быть сформулирована следующим образом. Необходимо найти максимально возможное время работы оборудования в  $g$ -й группе заменяемости, в зависимости от выставленных  $k$  индексов приоритета оборудования (1)

$$\sum_{m=1}^{m_i} MN_{kmg} \rightarrow \max. \quad (1)$$

Ограничение (2) определяет, что оптимальное количество дней работы с  $k$ -м индексом приоритета  $m$ -го оборудования в  $g$ -ой группы заменяемости может быть меньше или равно количеству дней до превышения критической наработки.

$$MN_{kmg} \leq N_{kmg}, \forall mg, \quad (2)$$

где (3) в рамках группы заменяемости оборудования  $N_{kmg}$  должно быть уникально

$$N_{kmg} \notin \{N_{km-1g} \dots N_{kmg}\}, \forall mg \quad (3)$$

Если ограничение (3) не может быть выполнено, тогда уменьшаем  $MN_{kmg}$  на  $P$ .

Количество дней до критической наработки (4) с  $k$  индексом приоритета  $m$ -го оборудования в  $g$ -й группе заменяемости

$$N_{kmg} = \frac{O_{kmg}^{ocm}}{O_{kmgN}}, \forall mg. \quad (4)$$

Оставшееся время наработки (5) с  $k$ -м индексом приоритета  $m$ -го оборудования в  $g$ -ой группе заменяемости до критической наработки, после которого необходимо техническое обслуживание, вычисляется как разность известной по паспорту оборудования  $O_{kmg_{max}}$  и известной из информационной системы 1С:ТОИР  $O_{kmgN}$

$$O_{kmg}^{ocm} = O_{kmg_{max}} - O_{kmgN}, \forall mg. \quad (5)$$

В результате техническое обслуживание для каждого оборудования в группе заменяемости становится запланированным и не противоречит ограничению на одновременное техническое обслуживание двух и более единиц оборудования в одной группе.

Расчет графика обслуживания зависит от расстановки коэффициентов приоритета оборудования, таким образом, оборудование с наименьшим коэффициентом планируется с минимальным расхождением от рассчитанной точки критической наработки, а оборудование с наивысшим коэффициентом планируется опережая момент критической наработки.

#### Данные и методы

Для решения поставленной задачи был выбран метод перебора, основанный на предварительно заданном периоде планирования. Данный метод был реализован с помощью эвристических алгоритмов, так как решения реальных практических задач планирования планово-предупредительного ремонта в большинстве случаев являются NP-трудными и использование точных методов для решения не являются лучшим вариантом, ввиду вычислительной сложности и времени, необходимого для нахождения оптимального решения [11,12]. Также в задаче присутствуют ограничения, связанные со спецификой производства.

При составлении плана технического обслуживания необходимо учитывать приоритетность оборудования, так как оно может иметь разную ценность для производства и зависеть от выполняемого или планируемого заказа, точности выполнения работы и других преимуществ. На рис. 1 представлена схема алгоритма.

Предложенный алгоритм состоит из шести шагов:

Шаг 1: выбор групп заменяемости, которые должны пройти техническое обслуживание в заданный период. Этот шаг может выполняться

как вручную, так и выбираться автоматически по заданным условиям.

Шаг 2: составление списка оборудования, входящего в каждую группу заменяемости, которое должно пройти техническое обслуживание в заданный период. Для каждого оборудования в списке заменяемости высчитываются такие показатели, как время наработки оборудования, период технического обслуживания по паспорту оборудования, разница известной по паспорту оборудования и известной из информационной системы (см. ограничение 5).

Шаг 3: упорядочивание списка оборудования, входящего в группу заменяемости по коэффициенту приоритета. Коэффициент приоритета известен заранее и обуславливает значимость того или иного оборудования в технических процессах производства.

Шаг 4: выбирается оборудование с наименьшим приоритетом. Это позволяет повысить уровень качества работы оборудования с наибольшим коэффициентом, так как оно будет обслуживаться с небольшим опережением или точно в срок, в отличие от оборудования с низким приоритетом. Высчитывается наработка оборудования на выбранную дату технического обслуживания. В ограничении 4 представлен механизм вычисления оставшегося количества дней до предполагаемого технического обслуживания.

Шаг 5: если количество дней до начала технического обслуживания равно количеству дней другого оборудования, находящегося в той же группе заменяемости, то количество дней будущего технического обслуживания сокращается на заданную константу в системе. В ограничении 2 определяется оптимальное количество дней работы с  $k$ -м индексом приоритета  $m$ -го оборудования в  $g$ -й группы заменяемости, что может быть меньше или равно количеству дней до превышения критической наработки, если вычисленные данные не проходят проверку, то сокращение количества дней будущего технического обслуживания производится по формуле 3.

Шаг 6: выбирается следующее оборудование и повторяется шаг 4 и шаг 5. Если оборудование не имеет возможности удовлетворить условия расчета количества дней до технического обслуживания, оно записывается в список уведомлений и после окончания составления графика обслуживания сообщается пользователю.

Благодаря возможности дополнить алгоритм ограничениями можно увеличить точность планирования графика и выполнение необходимых условий, что позволяет улучшить производственную логистику предприятия.

#### **Апробация результатов исследования**

Для апробации работы ранее представленных алгоритмов был реализован механизм, способный брать необходимые данные с оборудования и из информационной системы ИС:ТОИР, которая является системой учета оборудования, ремонта и обслуживания на предприятии. Этот механизм позволяет использовать фактические данные с устройств, с производственного плана и выстроенной производственной логистики предприятия: перечень используемого оборудования на предприятии, данные о состоянии оборудования, техническую информацию об объектах ремонта, наработку оборудования и его простои, историю обслуживания оборудования. Запуск алгоритмов производился по данным производства, однако с целью сохранения информации, являющейся коммерческой тайной предприятия, и информации об оборудовании для специальных условий эксплуатации в работе в таблице представлена переработанная информация об одной из групп заменяемости оборудования, в которой указаны показатели, которые будут влиять на составление планово-предупредительного графика ремонта оборудования и вычисление предположительной даты ремонтных мероприятий.

В примере указано пять единиц оборудования (таблица). Для каждого из них составлены свои параметры, такие как график оборудования, коэффициент приоритета, способ планирования, которые будут учитываться при планировании графика технического обслуживания. На основе исходных данных был запущен алгоритм перебора с ограничением обслуживания периодом в месяц. Результаты запланированного технического обслуживания были обработаны и представлены на диаграмме Ганта на рис. 2.

На основе полученной диаграммы Ганта можно сделать вывод, что разработанный алгоритм работает правильно и может запланировать техническое обслуживание оборудования по

группам заменяемости оборудования в случае правильно сформулированных ограничений и исходных данных. Для более сложного планирования данный метод может работать медленнее из-за нехватки вычислительной мощности.

#### **Полученные результаты**

На сегодняшний день техническое обслуживание и ремонт производственного оборудования являются важным и существенным механизмом эффективного управления производством. Следовательно, разработка и внедрение современных методов планирования поможет предприятиям повысить конкурентоспособность как за счет сокращения сроков технического обслуживания, ремонта и простоя оборудования, так и за счет контроля производства и качества продукции [13].

В данной работе рассмотрена математическая модель процесса технического обслуживания оборудования предприятия, выбран наилучший алгоритм, удовлетворяющий потребности по построению планово-предупредительного графика в умной системе мониторинга производственного оборудования и проведена его реализация [14].

Работа над повышением эффективности оборудования на рассматриваемом предприятии осуществляется в рамках развертывания стратегии по построению производства мирового класса. В дальнейших исследованиях математическую модель планируется привести к динамическому типу, так как она предполагает возможность поступления новых данных о ремонте оборудования в систему без необходимости перепланирования всего графика планово-предупредительных мероприятий, а также усложнить ее дополнительными параметрами, как например, учет входящих в оборудование ремонтируемых частей, связь графика с запланированными заказами на производство, учет потребности оборудования в производстве. С точки зрения методов решения задачи будут рассмотрены другие метаэвристические методы решения и правила расстановки приоритетов оборудования.

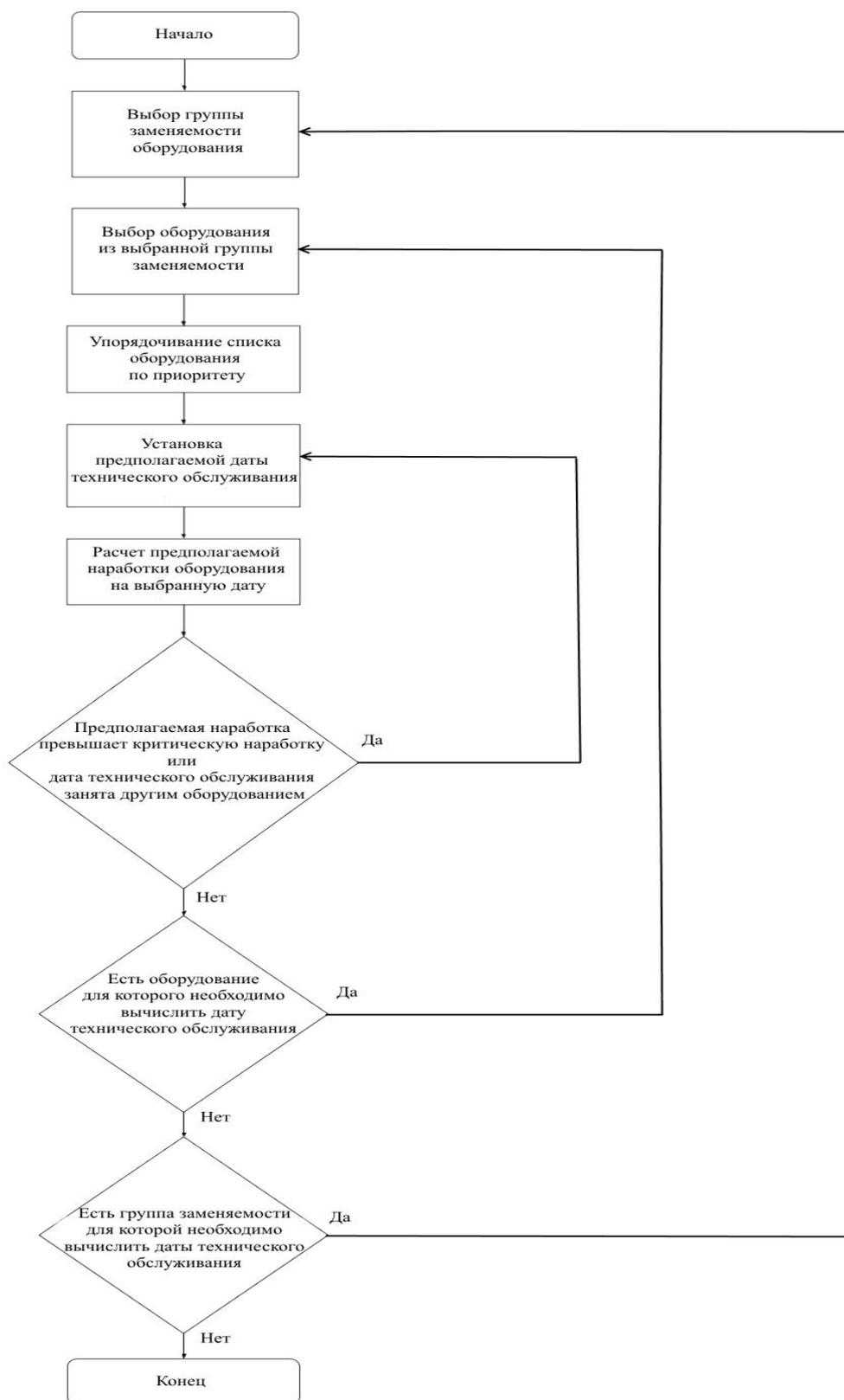


Рис. 1. Схема алгоритма планирования технического обслуживания оборудования  
 Fig. 1. Algorithm diagram equipment maintenance planning

Способы учета параметров оборудования  
Methods of accounting equipment parameters

Вид ремонта	Оборудование	Способ планирования	График оборудования	Коэффициент приоритета
Техническое обслуживание	ТВ-320 Токарно-винторезный	Через каждые 1000 часов	Сорокачасовая рабочая неделя	1
Техническое обслуживание	ТП-40 Токарный станок по дереву	Через каждые 1000 часов	Сорокачасовая рабочая неделя	4
Техническое обслуживание	Маho МН-400Р Универсально-фрезерный с ЧПУ	Через каждые 250 часов	Сорокачасовая рабочая неделя	2
Техническое обслуживание	Станок фрезерный	Через каждые 800 часов	Сорокачасовая рабочая неделя	5
Техническое обслуживание	Станок токарно-винторезный	Через каждые 1000 часов	Сорокачасовая рабочая неделя	3

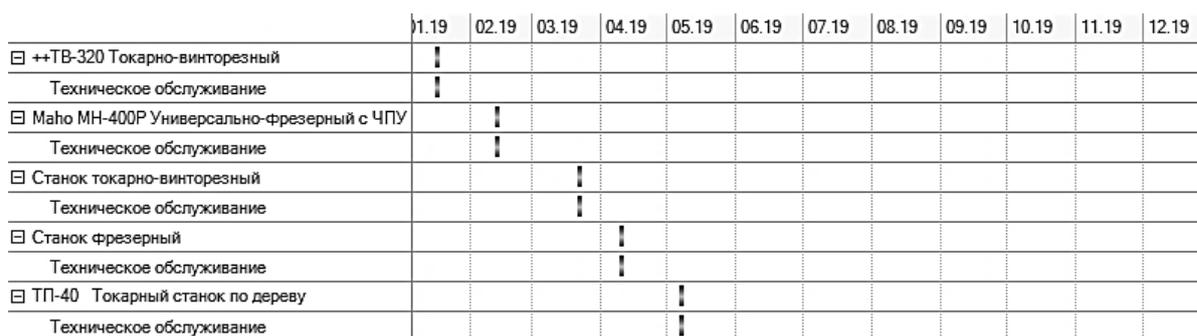


Рис. 2. Диаграмма Ганта выполнения технического обслуживания  
Fig. 2. Maintenance Gantt Chart

### Заключение

Несмотря на то, что данная тема по планированию, моделированию и учету технического обслуживания оборудования считается актуальной и заостряет внимание на огромном количестве возможных проблем, с которыми встречается предприятие на пути к улучшению и грамотному построению производственной логистики, к сожалению, в целом уровень разработки проблемы планирования планово-предупредительных мероприятий технического обслуживания оборудования, ремонта не полностью удовлетворяет возросшим современным требованиям [15].

Проведенное исследование дало компании возможность составить бесконфликтный план обслуживания оборудования. Но на современ-

ном рынке нужно уметь работать сразу по всем направлениям, и принятие в свой арсенал одного инструмента не поможет обойти конкурентов. Рассматриваемое в статье предприятие не упускает ни единой возможности усилить свое производство и стремится в той или иной мере внедрить на своих производственных площадках различные инструменты, что приносит свои плоды. Несмотря на то, что описанные в данной статье инструменты еще не стали для работников предприятий привычной практикой, а достигнутым результатам требуется постоянное закрепление, системность и многогранность программы повышения эффективности заслуживает самого пристального внимания и дальнейшего изучения.

## Библиографический список

1. Куприяновский В.П., Добрынин А.П., Сиянгов С.А., Намиот Д.Е., Уткин Н.А. Трансформация промышленности в цифровой экономике – экосистема и жизненный цикл // *International Journal of Open Information Technologies*. 2017. Т. 5, № 1. С. 34 – 49.
2. Ингеманссон А.Р. Актуальность внедрения концепции «индустрия 4.0» в современное машиностроительное производство // *Наукоёмкие технологии в машиностроении*. 2016. Т. 1, №. 7. С. 45 – 48.
3. Damilare T.O., Olasunkanmi O.A. Development of Equipment Maintenance Strategy for Critical Equipment // *The Pacific Journal of Science and Technology*. 2010. №1. С. 328 – 342.
4. Романов А.Ю. Совершенствование системы управления ремонтом и обслуживанием технологического оборудования предприятия: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук // Московский государственный технологический университет. Санкт-Петербург, 2011.
5. Боровков А.И., Клявин О.И., Марусева В.М. и др. Цифровая фабрика (Digital Factory) Института передовых производственных технологий СПбПУ // *Трамплин к успеху [корпоративный журнал дивизиона «Двигатели для гражданской авиации» АО «ОДК»]*. 2016. № 7. С. 11—13.
6. Косарева В.П, Королева А.Ю. Экономическая информатика и вычислительная техника: учебное пособие. М.: Финансы и статистика. – 1996. С. 336.
7. Матвеев А.О. Современные зарубежные и отечественные системы мониторинга работы промышленного оборудования // *Промышленные регионы России*. Санкт-Петербург, 2015.
8. Кудряшов Р. Б. Планово-предупредительный ремонт и его роль на производстве. // *Справочник экономиста*. – 2014. – №4. С. 55 – 60.
9. Левенцов В.А. Модели и инструментальные средства составления календарных расписаний работы механообрабатывающих цехов: диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук // Санкт-Петербургский политехнический университет. Санкт-Петербург, 2007.
10. Шнитин Ю.В., Левенцов В.А. Имитационное моделирование календарных графиков производства // *Экономика и промышленная политика России. Труды III междунар. науч.-практ. конференции*. 2004. С. 261-267.
11. Погодаев А.К., Корнеев А.Д., Маракушин М.В. Задача перспективного планирования ремонтно-восстановительных работ // *Управление большими системами: сборник трудов*. – 2006. № 13. С. 134 – 141.
12. Мышенков К.С., Романов А.Ю. Метод решения задачи календарного планирования ремонтов технологического оборудования предприятия с использованием генетического алгоритма // *Машиностроение и компьютерные технологии*. – 2011. № 9. С. 1 – 9.
13. Никитин А.В., Рачковская И.А., Савченко И.В. Управление предприятием (фирмой) с использованием информационных систем: учебное пособие. - М.: ИНФРА-М, – 2007. С. 188.
14. Martin B. Putting Theory into Practice: A Guide to Effective Maintenance Strategy Implementation // *Asset Management Services*. ABB Eutech. – 2003. С. 1 – 27.
15. Резницкий А.И. Разработка нового метода планирования ремонтов оборудования электростанций с учетом расходуемых ресурсов: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук // *Всесоюзный научно-исследовательский институт электроэнергетики*. Москва, – 1984.

Поступила в редакцию – 12 июля 2019 г.  
Принята в печать – 30 сентября 2019 г.

## Bibliography

1. Kupriyanovsky V.P., Dobrynin A.P., Sinyakov S.A., Namiot D.E., Utkin N.A. The transformation of industry in the digital economy – ecosystem and life cycle // *The International Journal of Open Information Technologies*. – 2017. V.5, №.1. PP.34–49.

- 
2. Ingemansson A.P. The relevance of introducing the concept of «Industry 4.0» in the contemporary machine-construction // *Science-based technologies in machine-construction*. – 2016. V.1, №.7. PP. 45 – 48.
  3. Damilare T.O., Olasunkanmi O.A. The Development of Equipment Maintenance Strategy for Critical Equipment // *The Pacific Journal of Science and Technology*. – 2010. – № 1. PP. 328–342.
  4. Romanov A.Y. The improvement of the system of repair control and technological equipment maintenance of an enterprise: the Candidate's Dissertation in Technical Science // *Moscow State Technological University*. St.Petersburg, – 2011.
  5. Borovkov A.I., Klyavin O.I., Maruseva V.M. et al. The digital factory of the Institute of Advanced Industrial Technologies of St.-Petersburg Polytechnic University // *The Springboard to Success [The corporate journal of the «Civil aviation engines» division of the JSC «United Engine Construction Company»]*. – 2016. № 7. PP. 11-13.
  6. Kosareva V.P., Koroleva A.Y. *Economic informatics and computer science: a training manual* – Moscow: Finansy i Statistika. – 1996. P.336.
  7. Matveev A.O. The contemporary foreign and domestic systems of industrial equipment monitoring // *Industrial Regions of Russia*. St.Petersburg, – 2015.
  8. Kudryashov R.B. Scheduled preventive repair and its role in production // *Spravochnik Yekonomista*. – 2014. – № 4. PP. 55 – 60.
  9. Leventsov V.A. The models and tools for compiling calendar work schedules of machining workshops: the Candidate's Dissertation in Economic Science // *St.Petersburg Polytechnic University*. St.-Petersburg, 2007.
  10. Shnitin Y.V., Leventsov V.A. The simulation modelling of calendar production schedules // *Economics and industrial policy of Russia. The proceedings of the 3<sup>rd</sup> international scientific-practical conference*. – 2004. PP. 261-267.
  11. Pogodaev A.K., Korneev A.D., Marakushin M.V. The task of perspective planning of repair and reconstruction works // *Large-scale system management: collection of papers*. – 2006. № 13. PP. 134 – 141.
  12. Myshenkov K.S., Romanov A.Y. The method of solving the task of scheduled planning of technological equipment repair at an enterprise, using the genetic algorithm // *Machine-construction and computer technologies*. – 2011. № 9. PP. 1–9.
  13. Nikitin A.V., Rachkovskaya I.A., Savchenko I.V. *Enterprise (firm) management, using information systems: a training manual*. - Moscow: INFRA-M, – 2007. P.188.
  14. Martin B. *Putting Theory into Practice: A Guide to Effective Maintenance Strategy Implementation* // *Asset Management Services*. ABB Eutech. – 2003. PP. 1–27.
  15. Reznitsky A.I. The development of the new method of planning the equipment maintenance of electric power stations with account of expendable resources // *The All-Union Scientific and Research Institute of Electric Power Industry*. Moscow, – 1984.

Received – 15 May 2019.

Accepted for publication – 30 September 2019.