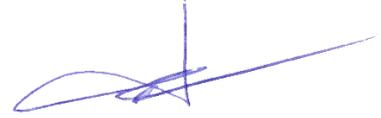


на правах рукописи



КУЗНЕЦОВ ЛЕОНИД ЮРЬЕВИЧ

**Организация процесса эффективного распределения
производственных заказов на обслуживание и ремонт технологического
оборудования машиностроительных производств**

Специальность 05.02.22 – Организация производства (машиностроение)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном учреждении науки Институте конструкторско-технологической информатики Российской академии наук (ИКТИ РАН)

Научный руководитель: Олейник Андрей Владимирович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Долгов Виталий Анатольевич
доктор технических наук, доцент
ООО «Фабрика Цифровых Систем»,
генеральный директор

Цырков Георгий Александрович
кандидат технических наук
ФГБОУ ВО «Московский авиационный
институт (национальный исследовательский
университет)»,
доцент

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Уфимский государственный
авиационный технический университет»

Защита состоится _____ 2022г. в _____ часов на заседании
диссертационного совета Д 212.141.23 при Московском государственном
техническом университете имени Н.Э. Баумана по адресу: 105005, г. Москва,
2-я Бауманская ул., д.5, стр.1.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью
учреждения, просьба направлять по адресу: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская
ул., д.5, стр.1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э.
Баумана и на сайте www.bmstu.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2022г.

Ученый секретарь Диссертационного совета,

к.т.н., доцент



Е.С. Постникова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования: Использование высокотехнологичного и дорогостоящего технологического оборудования является отличительной чертой современного производства, на долю которого сегодня приходится от 60 до 80 процентов выпускаемой продукции. Удельный вес такого оборудования на различных предприятиях может составлять от 70 до 90 процентов. Вывод из производственного процесса даже части этой мощности приводит к производственным потерям, которые для ряда предприятий могут достигать от 20 до 50 процентов. Во многом обеспечение бесперебойной работы предприятия возлагается на производственные службы технического обслуживания и ремонта оборудования. В то же время экстенсивное расширение этих служб хотя и позволяет частично обеспечить поддержку необходимой штатной ситуации, но одновременно с этим ведет к увеличению себестоимости продукции, что в конечном итоге отражается на конкурентных позициях предприятия. В этой связи поиск методов и средств оптимальной организации производственных подразделений технического обслуживания и ремонта оборудования, несмотря на их вспомогательную роль в производственном процессе, становится актуальной задачей.

Область исследования диссертации соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 05.02.22 «Организация производства (машиностроение)»:

3. Разработка методов и средств информатизации и компьютеризации производственных процессов, их документального обеспечения на всех стадиях.

11. Разработка методов и средств планирования и управления производственными процессами и их результатами.

Объектом исследования является организация эффективного функционирования производственных процессов изготовления конкурентоспособной продукции.

Предмет исследования: Практические методы и средства распределения заказов на обслуживание и ремонт технологического оборудования, как организационной составляющей производственного процесса.

Целью работы является разработка метода и средств организации процесса оптимальной загрузки производственных подразделений технического обслуживания и ремонта технологического оборудования

Задачи исследования:

1. Анализ существующих методов и средств организации технического обслуживания и ремонта технологического оборудования производственных предприятий;
2. Разработка организационной модели выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту технологического оборудования
3. Формирование математической модели и метода решения задачи варьирования заказами на обслуживание для оптимальной загрузки мощностей подразделений технического обслуживания и ремонта технологического оборудования с учетом горизонта смещения этих заказов;
4. Нахождение алгоритма оптимизации загрузки мощностей подразделений технического обслуживания и ремонта оборудования;
5. Создание программного комплекса и его практическая интеграция в единую систему планирования корпоративных ресурсов ERP- систему SAP.

Научную новизну работы составляют:

1. Структурно-функциональная модель организации процесса формирования заказа на планово-предупредительные ремонты службами технического обслуживания и ремонта оборудования, отличающиеся возможностью организации процесса распределения производственных заказов в режиме реального времени, позволяющая повысить загрузку оборудования и сократить количество персонала.
2. Математическая модель многокритериальной оптимизации перемещения заказов на обслуживание, учитывающая возможный горизонт их смещения;
3. Метод организации процесса оптимального распределения загрузки мощностей служб технического обслуживания и ремонта оборудования, позволяющий учитывать одновременно несколько критериев;
4. Структура интерфейса интеграции разработанного программного комплекса в единую информационную ERP-систему SAP предприятия, отличающегося возможностью согласовывать разнородные потоки данных предприятия в целом и подразделений технического обслуживания и ремонта оборудования;

Положения, выносимые на защиту:

- метод оперативного распределения заказов для эффективного функционирования и совершенствования производственных процессов службы технического обслуживания и ремонта оборудования

- структурно - функциональная модель организации выполнения производственного задания, позволяющая повысить эффективность производственной деятельности ремонтных служб;
- модель и метод решения задач перемещения заказов службы технического обслуживания и ремонта оборудования (ТОРО) с целью равномерной загрузки мощностей с учетом возможного горизонта смещения заказов;
- алгоритм решения многокритериальной задачи построения оптимизационной модели системы управления равномерным распределением загрузки мощностей в службах ТОРО с учетом горизонта смещения заказов;
- интеграционные связи между компонентами единой информационной структуры разработанного программного комплекса и ERP-системой SAP.

Достоверность полученных результатов исследования и выводов работы обеспечивается использованием современного лицензионного программного обеспечения, корректными процедурами валидации данных, полученных в натурных экспериментах, подтверждена апробацией на предприятии DAIMLER на базе «ЯМЗ» (Ярославль) в службе технического обслуживания оборудования производственных линий OM 646 проекта T1N, а также широким обсуждением со специалистами.

Практическая значимость работы

1. Алгоритм оптимизации загрузки мощностей подразделений технического обслуживания и ремонта оборудования, обеспечивающий решение задачи многокритериальной оптимизации;
2. Программный комплекс, позволяющий планировать процессы оптимального распределения загрузки мощностей подразделений технического обслуживания и ремонта оборудования;
3. Методика интеграции разработанного программного комплекса, которая позволяет включить этот комплекс в единую информационную структуру ERP-системы SAP предприятия.

Разработанное автором программное обеспечение, на платформе ERP системы SAP для модуля PM, внедрено на предприятии концерна Даймлер в России. Практическая реализация результатов подтверждена соответствующим документом.

Апробация работы. Теоретические положения и практические результаты докладывались и получили одобрение на 11 международных и всероссийских научных конференциях: XI Всероссийская научно-

практическая конференция «Применение ИПИ-технологий в производстве». Москва, 2013; I Международная научно-практическая конференция научно-педагогических работников и молодых ученых «Цифровые технологии: наука, образование, инновации». Москва, 2018; II Всероссийская научно-практическая конференция «Цифровая экономика: оборудование, управление, человеческий капитал», Вологда, 2019; Международная научно-практическая конференция «Наука сегодня: вызовы, перспективы и возможности», Москва, 2019; The Joint International Scientific Conference "Modeling of nonlinear processes and systems" (MNPS-2019) Moscow, 2019; III Международный научный Форум профессорско-преподавательского состава и молодых ученых «Цифровые технологии: наука, образование, инновации», Москва, 2021; XIV всероссийская конференция с международным участием «Машиностроение: традиции и инновации (МТИ – 2021), Москва, 2021; Fundamental science and technology - promising developments XXVII: Proceedings of the Conference. North Charleston, 22-23.11.2021, Vol. 05.00.00 — Morrisville, NC, USA; VI Международная научно-практическая конференция "Теоретические и практические аспекты развития современной науки: теория, методология, практика." Уфа, 2021.

Публикации по теме диссертации. Основные результаты диссертационной работы представлены в 20 научных трудах (10 / 7,35 п.л.), в т.ч. 4 публикациях (3,53 / 1,45 п.л.) в журналах из перечня ВАК при Минобрнауки России; получено 3 свидетельства на государственную регистрацию программного обеспечения, издано 3 учебных пособия (34,32 / 9,7 п.л.)

Структура и объем диссертации. Диссертация содержит: введение, четыре главы, выводы по работе и список литературы из 149 наименования. Диссертация изложена на 119 страницах печатного текста, включает 22 рисунка, 2 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Приведены: актуальность, цель и задачи исследования, объект и предмет исследования, методы исследования, научная новизна, научные положения, выносимые на защиту, их достоверность и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе выполнен анализ методов управления службой ТОРО при проведении планово-предупредительных ремонтов (ППР). Показано, что для служб ТОРО планирование работ разрабатывается с учетом состояния

оборудования, нормативных сроков и видов выполнения ППР в соответствии с годовыми и месячными графиками, анализируется структура и регламент работы служб ТОРО.

Разработанная учеными концепция системы ТОРО основана на определении состояния оборудования современными методами и средствами диагностики параметров эксплуатационного ресурса, определяющего вывод оборудования в ремонт до его отказа или аварии. Такой подход вызывает дополнительные трудности в планировании работ по ТОРО, т.к. по результатам мониторинга может возникнуть необходимость в срочном ремонте и, соответственно, изменении план-графика ППР.

По результатам анализа показано, что недостаточно разработаны теоретические подходы к созданию методов управления заказами на ТОРО, позволяющих группировать заказы на ППР по станциям учитывая текущую загрузку и обеспечивая ее оперативное регулирование.

Имеющиеся системы автоматизации процессов ТОРО направлены на учёт оборудования и выполнения регламентных работ, материально-техническое снабжение, учёт аварий и простоев оборудования, составление отчетов.

По результатам проведенного анализа сделан вывод об отсутствии в этих системах такого функционала, как выравнивание загрузки мощностей и перемещение для этого дат заказов в рамках определенного горизонта смещения, распределения заказов, сгруппированных по станциям в зависимости от периодичности технического обслуживания, длительности операций, т.е. мощности единиц оборудования и их недельной загруженности, что приводило либо к авральным работам, либо к простоям. Нет такого функционала и в РМ модуле ERP системы SAP, который автоматизирует процессы ТОРО.

Во второй главе разработана структурно-функциональная модель деятельности Управления Главного механика на основе процессного подхода с применением CASE-средства ARIS, позволяющего формализовать и анализировать процессы с различных точек зрения. Для анализа деятельности службы ТОРО проведено графическое построение процессов при помощи eEPC-диаграмм (Extended event driven Process Chain), состоящих из функций, которые управляются соответствующими событиями. События фиксируют некоторый факт, время, начало или завершение работ процесса. Окружение функций дает понятие о необходимых данных, исполнителях и условиях выполнения каждой функции процесса ТОРО. (Рисунок 1)

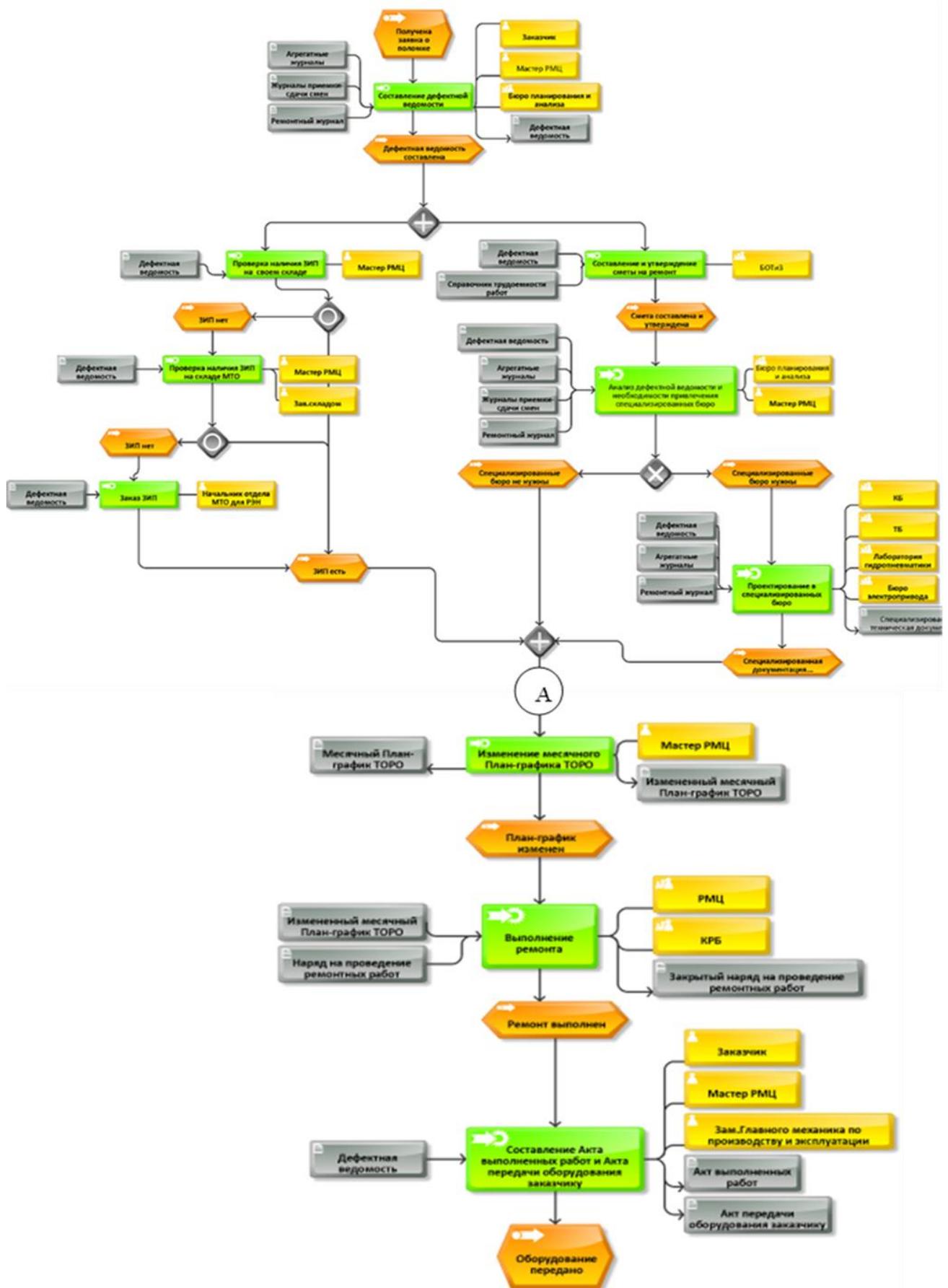


Рис. 1. Структурно-функциональная модель формирования процесса ТОРО в УГМ «Как должно быть»

На основании построенных диаграмм показана эффективность применения процессного подхода, позволяющего существенно сократить количество работников в службе ТОРО, выявить и проанализировать информационные взаимосвязи подразделений.

Очевидно, что при планировании и управлении работами по ТОРО задействованы как подразделения, занимающиеся долгосрочным планированием: Бюро планирования и анализа, Бюро ПТО, БОТиЗ, Бюро планирования ЗИП, - так и подразделения и исполнители, занимающиеся оперативным управлением: ПДБ, руководство РМЦ и ЦРиОТО, а также мастера РМЦ и КРБ. Именно на этом уровне - оперативного управления происходит уточнение планов на год и месяцы до горизонтов планирования на декады и/или недели, и далее до расписывания работ по исполнителям на дни, смены, и даже на время начала конкретных работ. Именно такой горизонт планирования требует от мастеров участков и бригадиров КРБ уточнения заданий с учетом квалификации исполнителей, категории ремонтной сложности станочного оборудования, загрузки рабочих станций служб ТОРО, наличия необходимого МТО и контрольно-измерительных приборов (КИП) для ремонтно-эксплуатационных нужд. Ситуация усложняется еще больше при возникновении незапланированных праздничных и выходных дней или их переносе на другие даты. Возможное решение – автоматизация планирования на данном уровне.

В третьей главе разработана математическая модель и метод решения задачи перемещения заказов с целью равномерной недельной загрузки мощностей службы ТОРО с учетом горизонта смещения, допустимого для каждого заказа, на основе метода многокритериальной оптимизации и элементов системы принятия решений.

Введены следующие обозначения: n - количество недель; x_i - текущий номер недели, где $i=1 \dots n$; m - количество заказов; q_j - текущий номер заказа, где $j=1 \dots m$; q_{ij} - текущий заказ в текущей неделе; T_i - недельная загруженность, $T_{max} = 40$ часов - полная недельная загруженность; $T_{cp.}$ - усредненная недельная загрузка; \tilde{T}_i - допустимый интервал для недельной загрузки; t_i - время выполнения одного заказа; g_{ij} - горизонт смещения заказа, причем в том случае, когда заказ смещать нельзя, $g_{ij} = 0$.

Очевидно, что $T_i = \sum_{j=1}^m t_j$ и $T_{cp.} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n}$

Если время выполнения заказа $q_{ij} < T_{max}$, то заказ разделяется на две части, располагаемые в двух последовательных неделях: $q_{ij} = q'_{ij} + q''_{i+1,j}$. При переносе заказа в q'_{ij} и $q''_{i+1,j}$ смещаются вместе.

Для выравнивания загрузки надо добиться, чтобы $T_i \rightarrow T_{cp}$. Назначим допустимый интервал для $\tilde{T}_i = \rightarrow [36,40]$, для $\forall i$.

Введем матрицу X , которая состоит из недель x_i :

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix};$$

Введем матрицу заказов:

$$Q = \begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1m} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ q_{n1} & q_{n2} & \dots & q_{nm} \end{pmatrix};$$

и матрицу смещения горизонта заказов:

$$G = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} & \dots & g_{1m} \\ g_{21} & g_{22} & \dots & g_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ g_{n1} & g_{n2} & \dots & g_{nm} \end{pmatrix}, \text{ где для}$$

заказа q_j определены коэффициенты смещения $b \leq q_j \leq a$, где a и b определены заданием.

Выполним проверку величины недельной загрузки на допустимое значение: $S_i = \sum_{j=1}^m q_{ij} < T_{max}$

Тогда целевая функция будет состоять из следующих элементов: $C_i = \sum_{j=1}^m q_{ij} \leq \tilde{T}$, где

C_i – суммарные недельные загрузки, не превышающие T_{max} и попадающие в допустимый диапазон \tilde{T} .

Получим матрицу C_1 , где значения $c_i^{(1)} \leq \tilde{T}$, а строки, где $c_i^{(1)} > \tilde{T}_i = 0$. Если $C_i > \tilde{T}$, получаем матрицу C_2 , где $c_i^{(2)} > T_{i, cp}$, а остальные строки = 0. Заказы, находящиеся в этой матрице, должны быть смещены в рамках горизонта смещения G .

Затем выполняем проверку на принадлежность заказа заданному горизонту смещения, т.е. смещение строк $c_i^{(2)}$ матрицы C_2 , в матрицу C_1 с учетом матрицы G . Этот цикл повторяется до тех пор, пока матрица C_2 станет нулевой.

Если полученное решение не соответствует заданным условиям и допустимое значение \tilde{T} увеличить нельзя, то требуется экспертная оценка полученного результата с привлечением лица, принимающего решение (ЛПР).

Для этого требуется разработка модели принятия решений (МПР): есть уже сформированное множество возможных решений X по распределению заказов по неделям анализируемого периода и векторный критерий f . Для векторного критерия известна цель - максимальное приближение к среднему значению загрузки T_{cp} . Это будет критерий f_1 при минимальном количестве перемещений заказов по неделям $-f_2$, тогда критерии оптимальности f_1, f_2, \dots, f_m , определенные на множестве возможных решений X , образуют векторный критерий $f = (f_1, f_2, \dots, f_{\tilde{m}})$, $\tilde{m} < m$, который принимает значения в критериальном пространстве m -мерных векторов $R_{\tilde{m}}$. Тогда любое значение $R_{\tilde{m}} = C_{\tilde{m}}$.

$f(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_{\tilde{m}}(x)) \in R_m$, для определенного $x \in X$ будет векторной оценкой решения x . Таким образом, если ЛПР из двух возможных решений x' и x'' выбирает x' , то отношение предпочтения будет: $x' \succ_X x''$, т.е. для ЛПР предоставляется минимальное число альтернатив, что значительно облегчает принятие адекватного решения

В главе 4 в главе представлен алгоритм и описание работы программного комплекса перемещения дат заказов загрузки мощностей в службе ТОРО с учетом возможного горизонта их смещения и группирования по станциям, реализованного автором на языке программирования АВАР4, и интегрированный в модуль РМ (Plant Maintenance) ERP SAP, позволяющий оперативно выполнять планирование и одновременно оптимизировать загрузку оборудования служб ТОРО, когда случаются аварии оборудования основного производства, требующие незамедлительного ремонта и другие внеплановые ситуации. При этом также требуется перепланирование уже сформированных и утвержденных графиков ремонта на уровне мастеров и бригадиров, которые должны сдвигать запланированные к выполнению заказы, учитывая возможные или невозможные горизонты смещения этих заказов и сохраняя равномерность загрузки рабочих станций службы ТОРО.

Укрупненная блок-схема алгоритма представлена на рисунке 2

Выравнивание загрузки осуществляется посредством перемещения ППР-заказов из недель с высокой загрузкой в недели с меньшей нагрузкой. Понедельная загрузка вычисляется для конкретного рабочего места с учетом:

- Наличной мощности (АС) (доступное рабочее время для конкретного рабочего места.)

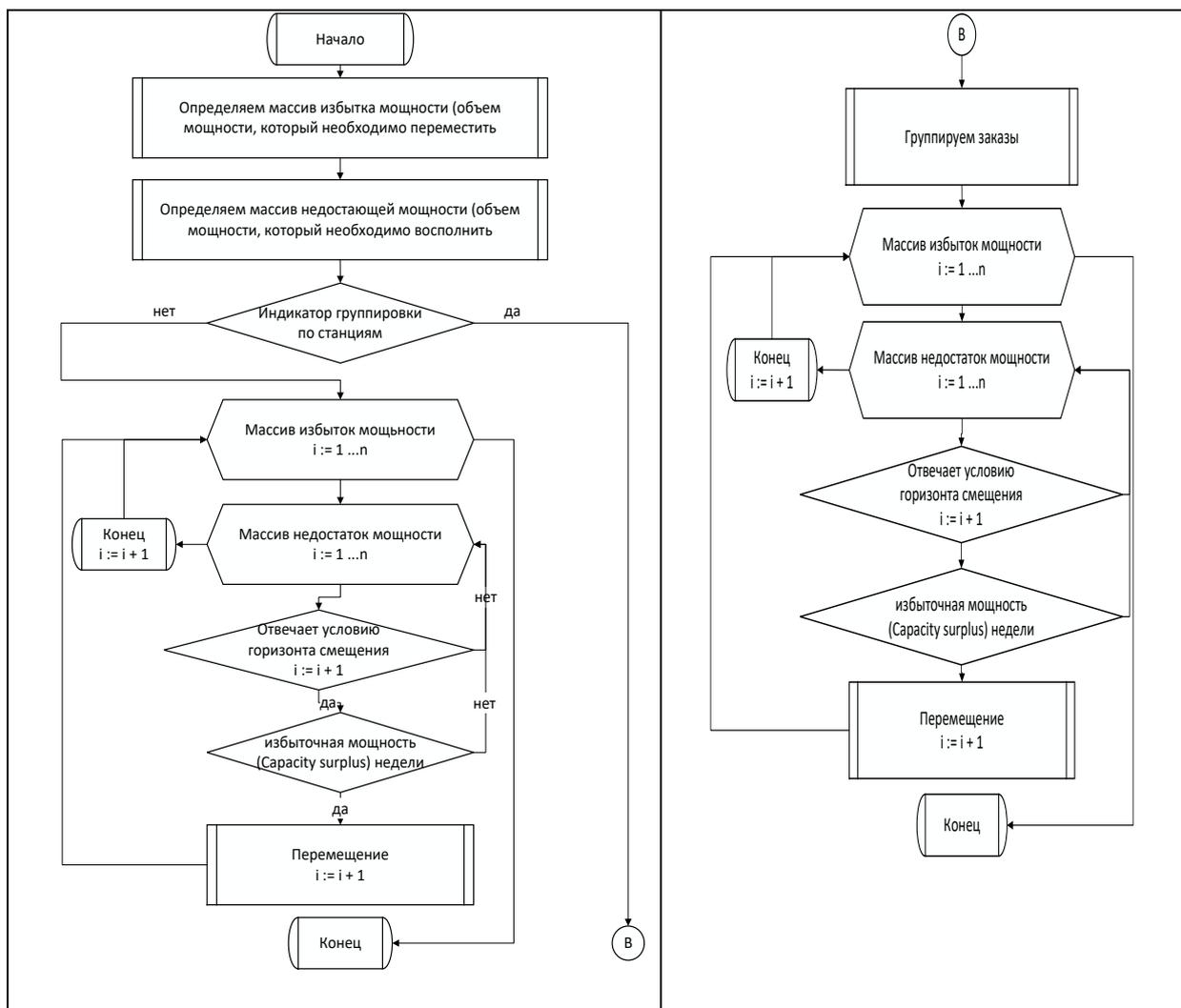


Рис. 2. Укрупненная блок-схема алгоритма оптимизации процессов загрузки мощностей в службе ТОРО

- Требуемой мощности (**RC**).
- Загрузки рабочего места (**WCL**).

Определяем данные по недельной загрузке:

Для рабочего места, заданного на экране выбора, вычисляем **AC** и **RC** для каждой недели, относящейся к периоду анализа. Определим загрузку для каждой недели **WCL**, суммарные мощности $\sum AC$ и $\sum RC$, суммарные среднюю недельную загрузку мощностей - $\sum WCL$, загрузку с учетом коэффициента для перегруженных недель $\sum WCL_OCC$ и коэффициента для недогруженных недель $\sum WCL_UCC$, недели, содержащие избыток мощности **CS** и недели, в которые перемещаются заказы, недостающую мощность **MC**.

Формируем заказы, соответствующие критериям: Завод, Вид заказа, Базовые даты начала, исключаем заказы, имеющие операции с рабочим местом, максимальный горизонт смещения - используя настроенную таблицу параметров (Рисунок 3).

Определяем **MDG** и код группы периодичности технического обслуживания **MPG**. Для найденных заказов определяем необходимую мощность заказа для рабочего места **ORC**.

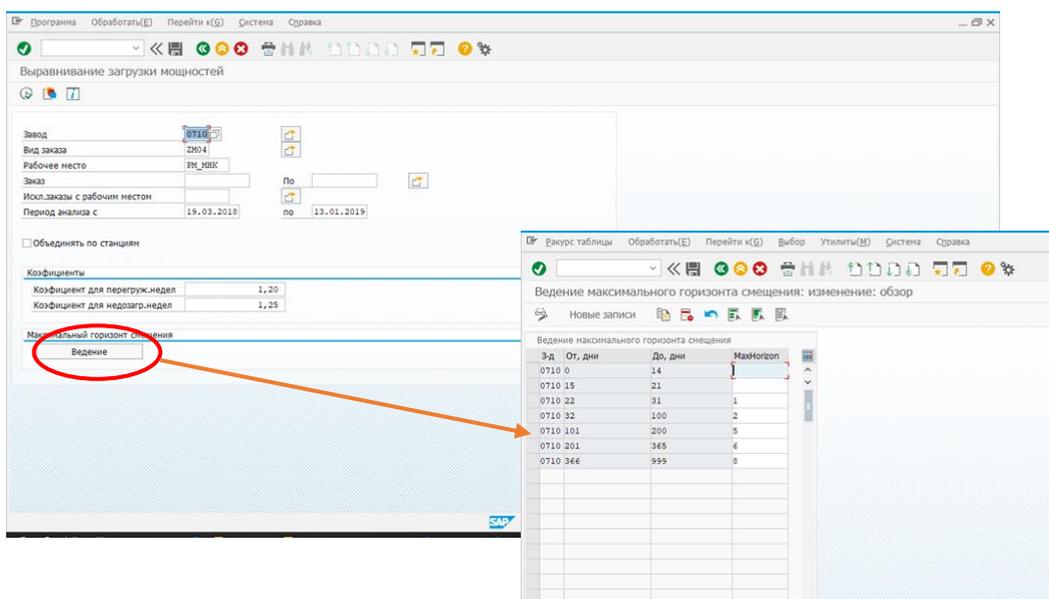


Рис. 3 - Экран определения параметров выбора и ведения значений горизонта смещения

Результат расчета представлен на рисунке 4.

Период	OCC	UCC	AC, Ч	RC old, Ч	RC new, Ч	RC delta, Ч	RCold, Ч	RCnew, Ч	WCL Old, %	WCL New, %	ΣAC, Ч	ΣRC, Ч	ΣWCL, %	ΣWCL_OCC, %	ΣWCL_UCC, %	Итб.Мощн, Ч	НедМощн, Ч	ЦехЗарп, Ч	DevOld, %	DevNew, %
201812	1,20	1,25	120,00	44,91	44,91	0,00	75,09	75,09	37,43	37,43	4.920,00	2.056,59	41,80	50,16	52,25	0,00	17,78	62,690	4,37	4,37
201813	1,20	1,25	120,00	37,50	37,50	0,00	82,50	82,50	31,25	31,25	4.920,00	2.056,59	41,80	50,16	52,25	0,00	25,20	62,700	10,55	10,55
201814	1,20	1,25	120,00	52,24	52,24	0,00	67,76	67,76	43,53	43,53	4.920,00	2.056,59	41,80	50,16	52,25	0,00	10,46	62,700	1,73	1,73
201815	1,20	1,25	120,00	38,50	38,50	0,00	81,50	81,50	32,08	32,08	4.920,00	2.056,59	41,80	50,16	52,25	0,00	24,20	62,700	9,72	9,72
201816	1,20	1,25	120,00	41,08	41,08	0,00	78,92	78,92	34,23	34,23	4.920,00	2.056,59	41,80	50,16	52,25	0,00	21,62	62,700	7,57	7,57
201817	1,20	1,25	144,00	66,08	72,38	6,30	77,92	71,62	45,89	50,26	4.920,00	2.056,59	41,80	50,16	52,25	0,00	9,16	75,240	4,09	8,46
201818	1,20	1,25	48,00	47,41	22,79	24,62	0,59	25,21	98,77	47,48	4.920,00	2.056,59	41,80	50,16	52,25	27,35	0,00	20,060	56,97	5,68

Рис. 4 – Расчетные величины заказов ППР, сгруппированные по станциям

1. При включенном индикаторе «Объединять по станциям».

1.1. Группируем заказы по принадлежности к одной группе периодичности технического обслуживания **MPG**, к одной неделе и к одной станции. Для каждой группы находим суммарную необходимую мощность $\Sigma GORC$ как сумму **ORC** каждого из заказов, относящихся к группе.

1.2. Выбираются группы заказов с наибольшей продолжительностью технического обслуживания, затем из них выбирается группа с наибольшей суммарной необходимой мощностью группы – $\Sigma GORC$. Для найденной группы заказов находим неделю с наибольшим дефицитом в рамках горизонта смещения (**MDG**). Если $\Sigma GORC$ больше найденного **MC** с учетом ранее перемещенных заказов и $\Sigma GORC$ меньше избытка мощности **CS** недели, (к

которой принадлежит найденная группа заказов) с учетом ранее перемещенных заказов, то перемещается только часть заказов из группы,.

1.3. При формировании перемещаемой части заказов группы, сначала выбираем заказы, начиная с заказов с наибольшей величиной ORC

1.4. Предыдущий шаг повторяется для группы с меньшей необходимой мощностью. Когда все группы заказов в рамках выбранной периодичности технического обслуживания перемещены, перемещаются заказы из групп с меньшей необходимой мощностью группы $\sum GORC$ и с меньшей периодичностью технического обслуживания.

2. При отключенном индикаторе «Объединять по станциям»

2.1. Выполняется перемещение заказов с максимальной периодичностью обслуживания, начиная с заказов максимальной потребностью в мощности (ORC), начиная с недели с максимальной величиной загрузки, которую осталось из неё переместить (CS).

2.2. Перемещение выполняется на первый рабочий день недели с наибольшим значением недостающей мощности (MC) в пределах горизонта смещения с учетом уже перемещенных заказов.

2.3. Когда все группы заказов в рамках выбранной периодичности ТО перемещены, перемещаются заказы из групп с меньшей необходимой мощностью группы $\sum GORC$ и с меньшей периодичностью технического обслуживания. (Рисунок 5).

Заказ	Ид. Системный статус	Краткий текст	ПлПродТОРО	ТекстПланаПредупТОРО	КС,%	10б.Мощн,Ч	НедМощн,Ч	ЦелЗарп,Ч	DevOld,%	DevNew,%
50001461	ОТКР КООР ДМНП ПКЛАЛ	1 МЕС Транспортный конвейер	R012702	1 МЕС Транспортный конвейер	,25	0,00	17,78	62,690	4,37	4,37
50003116	ОТКР КООР ДМНП ПКЛАЛ	1 МЕС Насос	R012105	1 МЕС Насос	,25	0,00	25,20	62,700	10,55	10,55
50003099	ОТКР КООР ДМНП ПКЛАЛ	1 МЕС Гидросистема насоса	R012102	1 МЕС Гидросистема насоса	,25	0,00	9,16	75,240	4,09	8,46
50001059	ОТКР КООР ДМНП ПКЛАЛ	1 МЕС Мех-н фиксации коленавала, верт-ый	R010603	1 МЕС Мех-н фиксации коленавала, верт-ый	,25	27,35	0,00	20,060	56,97	5,68
50000834	ОТКР КООР ДМНП ПКЛАЛ	1 МЕС Пневн. Мех переа каретки,фиксация	R010402	1 МЕС Пневн. Мех переа каретки,фиксация	,25	0,00	12,16	50,160	2,22	10,45
50000920	ОТКР КООР ДМНП ПКЛАЛ	1 МЕС Мех-н верт-го переа каретки УТВ	R010501	1 МЕС Мех-н верт-го переа каретки УТВ	,25	0,00	23,95	62,700	9,51	9,51
50001238	ОТКР КООР ДМНП ПКЛАЛ	1 МЕС Пневнатика, Вертикальный механизм	R010301	1 МЕС Пневнатика, Вертикальный механизм	,25	0,00	31,94	62,690	16,17	16,17
50000946	ОТКР КООР ДМНП ПКЛАЛ	1 МЕС Мех-н горю-го переа каретки УТВ	R010503	1 МЕС Мех-н горю-го переа каретки УТВ	,25	0,00	32,78	62,690	16,87	11,74
50001033	ОТКР КООР ДМНП ПКЛАЛ	1 МЕС Технологическая оастка	R010601	1 МЕС Технологическая оастка	,25	0,00	26,41	75,240	7,89	7,89
50000933	ОТКР КООР ДМНП ПКЛАЛ	1 МЕС Технологическая оастка	R010502	1 МЕС Технологическая оастка	,25	0,00	14,87	37,620	10,20	10,20
50001251	ОТКР КООР ДМНП ПКЛАЛ	1 МЕС Технологическая оастка	R010302	1 МЕС Технологическая оастка	,25	0,00	30,79	62,700	15,21	2,57
50001277	ОТКР КООР ДМНП ПКЛАЛ	1 МЕС Торцевой гаечн ключ, головка	R010304	1 МЕС Торцевой гаечн ключ, головка	,25	0,00	29,29	62,700	13,96	7,71
50001382	ОТКР КООР ДМНП ПКЛАЛ	1 МЕС Технологическая оастка	R010401	1 МЕС Технологическая оастка	,25	0,00	4,96	62,700	6,32	6,32
50001721	ОТКР КООР ДМНП ПКЛАЛ	1 МЕС Пневнатическая система	R020103	1 МЕС Пневнатическая система	,25	0,00	9,86	62,690	2,23	2,23
50001880	ОТКР КООР ДМНП ПКЛАЛ	1 МЕС Пневнатическая система	R020202	1 МЕС Пневнатическая система	,25	0,00	24,29	62,700	9,79	10,21
50001976	ОТКР КООР ДМНП ПКЛАЛ	1 МЕС Технологическая оастка	R010702	1 МЕС Технологическая оастка	,25	0,00	13,28	62,690	0,62	10,35
50002029	ОТКР КООР ДМНП ПКЛАЛ	1 МЕС Технологическая оастка	КС	1 МЕС Технологическая оастка	,25	25,60	0,00	50,150	21,33	0,08
50003795	ОТКР КООР ДМНП ПКЛАЛ	1 МЕС Пневнатическая система	R020302	1 МЕС Пневнатическая система	,25	22,51	0,00	50,160	18,76	0,43
50003894	ОТКР КООР ДМНП ПКЛАЛ	1 МЕС Пневнатическая система	R020401	1 МЕС Пневнатическая система	,25	40,09	0,00	50,160	33,41	0,08
50001072	ОТКР КООР ДМНП ПКЛАЛ	1 МЕС Механизм фиксации коленавала	R010604	1 МЕС Механизм фиксации коленавала	,25	21,17	0,00	50,160	17,64	0,00
50000834	ОТКР КООР ДМНП ПКЛАЛ	1 МЕС Пневн. Мех переа каретки,фиксация	R010402	1 МЕС Пневн. Мех переа каретки,фиксация	,25	0,00	19,52	62,690	5,82	10,36
50000843	ОТКР ДМНП ОШОЗ ПКЛАЛ	6 МЕС Мех-н переа каретки гайковертов	R010403	6 МЕС Мех-н переа каретки гайковертов	,25	50,75	0,00	50,160	42,29	15,56
50000920	ОТКР КООР ДМНП ПКЛАЛ	1 МЕС Мех-н верт-го переа каретки УТВ	R010501	1 МЕС Мех-н верт-го переа каретки УТВ	,25	23,92	0,00	50,160	19,93	0,35

Рис. 5 – Результаты расчетов перемещений заказов на ППР с учетом горизонта смещения по неделям

Более наглядно результат расчета представлен на рисунке 6, на графике 2, изображенного синим цветом. График 1 показывает загрузку до оптимизации.

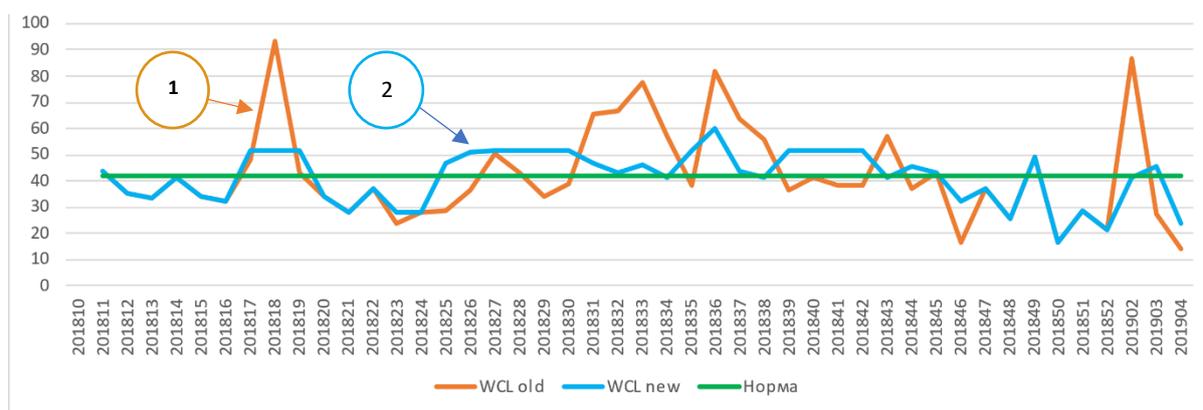


график 1 – было; график 2 - стало

Рис. 6 – Сравнение графика до оптимизации (1) и выровненной загрузки (2) мощностей по результатам расчетов (в часах)

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Выполненным анализом и теоретическими исследованиями установлено, что оптимальная организация работы подразделений технического обслуживания и ремонта оборудования предприятия должна основываться на выравнивании загрузки мощностей этих служб путем варьирования дат заказов с учетом возможного горизонта их смещения в процессе выполнения планово-предупредительных ремонтов. Решение указанной задачи заключается:
 - в построении структурно-функциональной модели организации процесса формирования заказа на планово-предупредительные ремонты;
 - в формировании математической модели многокритериальной оптимизации перемещения заказов на обслуживание;
 - в разработке метода организации процесса оптимального распределения загрузки мощностей подразделений технического обслуживания и ремонта оборудования;
 - в разработке способа интеграции предложенного программного комплекса в единую информационную структуру предприятия.
2. По результатам анализа теоретических положений и современных подходов к организации работ в службах технического обслуживания и ремонта оборудования и современных систем автоматизации этих процессов, установлено отсутствие разработанных:

- структурно-функциональных моделей организации деятельности подразделений технического обслуживания и ремонта оборудования с применением процессного подхода
 - моделей, методов и средств автоматизации для организации процесса формирования последовательности заказов на планово-предупредительные ремонты, способных оперативно решать задачу повышения равномерной загрузки оборудования;
 - математической модели и метода решения задачи варьирования заказами на обслуживание с применением метода многокритериальной оптимизации для равномерной загрузки мощностей подразделений технического обслуживания и ремонта технологического оборудования с учетом возможного горизонта смещения этих заказов.
3. Установлены закономерности формирования заказов на планово-предупредительные и ремонтные работы, позволяющие разработать алгоритм выполнения оптимизационных процессов загрузки мощностей в службе технического обслуживания и ремонта оборудования, реализованный в программном комплексе на языке АВАР4.
4. Программный комплекс интегрирован в модуль РМ ERP - системы SAP и внедрен на предприятии АО «Мерседес-Бенц РУС» в г. Ярославль. В результате применения данного программного комплекса достигнуто выравнивание загрузки мощностей с уменьшением максимальных пиковых нагрузок в исследуемом периоде в среднем на 48,6%.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России по специальности 05.02.22:

1. Олейник А.В., Кузнецов Л.Ю., Ставровский М.Е., Кузнецова Л.В., Николаев А.В., Рутковский И.С., Семкин А.В. Использование сети Петри для создания методики анализа параллельно протекающих процессов в моделировании и управлении производственными процессами // Технология машиностроения. 2010. № 4. С. 57-60 (0,58 / 0,29п.л.)
2. Олейник А.В., Кузнецов Л.Ю., Кузнецова Л.В., Николаев А.В., Левкина О.Ю. Методика моделирования организационно-технологических процессов для внедрения ERP-систем на примере литейного производства авиастроительного предприятия. // Технология машиностроения. 2010. №12. С.54-58(0,75 / 0,32п.л.)

3. Олейник А.В., Ставровский М.Е., Кузнецова Л.В., Николаев А.В., Глухов А.Е., Кузнецов Л.Ю. Методика оптимизации производственных процессов службы технического обслуживания и ремонта оборудования на предприятиях ОПК. // Экономика и управление в машиностроении. 2010. №6. С.47-52. (0,9 / 0,39 п.л.)

4. Олейник А.В., Ставровский М.Е., Кузнецов Л.Ю., Кузнецова Л.В. Разработка средств автоматизации планирования и диспетчеризации ресурсов производственного предприятия. // Известия Курского государственного технического университета. 2010. № 4 (33). С.38-48 (1,3 / 0,5 п.л.)

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

5. Автоматическое изменение дат заказов на ППР с целью равномерного распределения загрузки рабочих мест: а.с.20206628221573 РФ / Л.Ю. Кузнецов; заявл.27.08.2020; опубл.25.09.2020. Бюлл. №10.

6. Рабочее место специалиста по претензиям: а.с.2020662822 РФ / Л.Ю. Кузнецов; заявл.15.10.2020; опубл.19.10.2020. Бюлл. №10.

7. Программа обработки шаблонов документов: а.с.2020663033 РФ / Л.Ю. Кузнецов; заявл.15.10.2020; опубл.22.10.2020. Бюлл. №11.

Статьи и тезисы докладов, опубликованные по материалам конференций

8. Олейник А.В., Кузнецова Л.В., Кузнецов Л.Ю. Разработка программного комплекса «Автоматическое изменение дат заказов на планово-предупредительный ремонт с целью равномерного распределения загрузки рабочих мест» // Цифровые технологии: наука, образование, инновации / Том I. Материалы I Международной научно-практической конференции научно-педагогических работников и молодых ученых 13 ноября 2018 г. Под ред. Олейник А.В., Зеленский А.А. – М.: Янус-К, 2018. – 316 с. С.14-16 (0,22 / 0,14п.л.).

9. Oleynik A.V., Kuznetsova L.V., Nikolaev A.V., Kuznetsov L.U., Dimitrov M. /Simulation System of technological support of automated complex // The Joint International Scientific Conference “Modeling of nonlinear processes and systems”. (MNPS-2019) Moscow, October 15-17, 2019. (0,6 / 0,42 п.л.)

10. Олейник А.В., Кузнецова Л.В., Николаев А.В., Кузнецов Л.Ю. Иерархия основных информационных объектов модуля РМ в ERP-системе SAP, применимая к техническому обслуживанию и ремонту мобильных технологических комплексов. // Цифровая экономика: оборудование, управление, человеческий капитал: материалы II всероссийской научно-практической конференции. г. Вологда, 20 декабря 2019 г. – Вологда: ООО «Маркер», 2019. – 88 с./ с. 50-51. (0,2 / 0,15)

11. Кузнецов Л.Ю. Разработка приложения для выравнивания загрузки мощностей в службах технического обслуживания и ремонта оборудования / Теоретические и практические аспекты развития современной науки: Теория, Методология, Практика/ Сборник научных статей по материалам VI Международной научно-практической конференции (16 ноября 2021г.) / - Уфа: Изд.НИИЦ Вестник науки, 2021. – 359 с. с. 78-86. (0,93 п.л.).

12. Кузнецов Л.Ю. Применение методов многокритериальной оптимизации для решения задачи выравнивания загрузки оборудования // Материалы XIV всероссийской конференции с международным участием «Машиностроение: традиции и инновации (МТИ – 2021)». Сборник докладов. – М.: ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», 2021. – С. 305-309. (0,82 п.л.).

13. Kuznetsov L.Yu. Development of a specific system for automatically changing the dates of orders for scheduled preventive maintenance to evenly distribute the workload of workplaces // Fundamental science and technology - promising developments XXVII: Proceedings of the Conference. North Charleston, 22-23.11.2021, Vol. 05.00.00 — Morrisville, NC, USA: Lulu Press, 2021, p. 204, 103-109 p. (0,94п.л.).

14. Кузнецов Л.Ю. Разработка модели для решения задачи выравнивания загрузки оборудования на основе метода многокритериальной оптимизации / Самарские чтения (в память об академике А.А. Самарском). Материалы международной конференции. – М.: Янус-К, 2022. – 280с. с.131-133. (0,52 п.л.).

15. Кузнецов Л.Ю. Математическое моделирование системы технологического обеспечения работоспособности автоматизированного оборудования / Самарские чтения (в память об академике А.А. Самарском). Материалы международной конференции. – М.: Янус-К, 2022. – 280с. с. 134-139. (1,07 п.л.).

16. Николаев А.В., Кузнецов Л.Ю. Улучшение качества работы промышленных предприятий за счет применения методов многокритериальной оптимизации в MES системах. / Самарские чтения (в память об академике А.А. Самарском). Материалы международной конференции. – М.: Янус-К, 2022. – 280с. с. 191-192. (0,26/0,14 п.л.).

Другие издания:

17. Кузнецов Л.Ю. Решение задачи многокритериальной оптимизации для выравнивания загрузки оборудования с учетом горизонта смещения заказов // ООО «Приоритет» Журнал «Заметки ученого.» 2021. № 12-2. С. 91-94. (0,46 п.л.).