

ОПТИМИЗАЦИЯ ТРУДОВЫХ ПРОЦЕССОВ РЕМОНТА АВИАДВИГАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОГО ТРУДОВОГО ПОТЕНЦИАЛА В УСЛОВИЯХ НОРМИРОВАНИЯ

Комарова А.М.* , Новиков С.В.**

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия*

* e-mail: kmrik1@rambler.ru

** e-mail: ncsrm@mail.ru

Представлены возможности повышения конкурентоспособности авиадвигателей в рамках выполнения Государственной программы развития авиационной промышленности до 2025 года. Показана актуальность развития системы послепродажного обслуживания и ремонта авиадвигателей путем оптимизации трудовых процессов ремонтного производства с использованием прогрессивных норм и нормативов. Описана методика оптимизации разделения труда при организации ремонтного производства авиационных двигателей с использованием моделей целочисленного линейного программирования и сетевого планирования, а также результаты оптимизации организации трудового процесса ремонта газотурбинного двигателя.

Ключевые слова: ремонт авиационных двигателей, послепродажное обслуживание авиадвигателей, сетевое планирование, оптимизация трудовых процессов, разделение труда, расчет технико-экономических показателей, инновационный трудовой потенциал.

Конкурентоспособность двигателей — это и конкурентоспособность самолетов и вертолетов, на которые они устанавливаются. Авиатехника с российскими двигателями успешно эксплуатируется более чем в 109 странах мира. В настоящее время продолжаются работы, направленные на повышение конкурентоспособности российских авиадвигателей.

Согласно «Государственной программе по развитию авиационной промышленности до 2025 года» финансирование и задачи, стоящие перед двигателестроением в России, будут меняться на протяжении 2015—2025 гг. (табл. 1). Ожидаемые результаты от реализации стратегии, как показано в табл. 1, это достижение 3,2 и 10,9% долей мирового рынка в денежном выражении в гражданском и военном самолетостроении и достижение 12 и 16,5% долей мирового рынка в денежном выражении в гражданском и военном вертолетостроении.

Основными разработчиками, производителями и поставщиками авиадвигателей в России являются компании, входящие в Объединённую двигателестроительную корпорацию (АО «ОДК»). Существующая система управленческих связей внутри корпорации увязана через договорные отношения

ряда специализированных промышленных предприятий, входящих в корпорацию. Рынок авиадвигателей также характеризуется обособленно функционирующими ОКБ, поставщиками первого и второго уровня, смежниками и иными контрагентами. Выявленные взаимосвязи между операторами рынка авиадвигателестроительных предприятий носят динамичный и неустойчивый характер. Фактически сложившаяся конъюнктурная ситуация в двигателестроительной и смежных областях рынка обуславливает амплитудные колебания спроса и динамичность внешней среды.

Общий бюджет по всем отраслям авиационной промышленности на будущий год составит 714 млрд 175 млн 425 тыс. руб.

Особую значимость приобретают стратегические изменения инновационного характера. Совершенно очевидно, что сегодня успешное экономическое развитие страны, отрасли, предприятия зависит от уровня обеспеченности качественным и адаптированным к современным условиям инновационным трудовым потенциалом.

Важным направлением повышения экономической эффективности и конкурентоспособности российских авиадвигателей остается обеспечение

Таблица 1

**Сроки и этапы реализации
Государственной программы по развитию авиационной промышленности на 2013—2025 годы**

№	Сроки	Задачи	Бюджет, руб.	Ожидаемые результаты
1	2015 г.	Завершение реструктуризации отрасли	1 млрд 448 млн 065 тыс.	1. Достижение 3,2 и 10,9% долей мирового рынка в денежном выражении в гражданском и военном самолетостроении, соответственно 2. Достижение 12 и 16,5% долей мирового рынка в денежном выражении в гражданском и военном вертолетостроении соответственно
2	2016-2020 гг.	Выход на мировой рынок в качестве поставщика компонентов. Диверсификация на неавиационные рынки	2016 г. - 5 млрд 275 млн 381 тыс.	
			2017 г. - 6 млрд 313 млн 880 тыс.	
			2018 г. - 4 млрд 456 млн 341 тыс.	
			2019 г. - 4 млрд 676 млн 267 тыс.	
			2020 г. - 4 млрд 962 млн 633 тыс.	
3	2021-2025 гг.	Выход на мировой рынок в качестве поставщика готовой продукции	2021 г. - 4 млрд 687 млн 005 тыс.	
			2022 г. - 4 млрд 446 млн 633 тыс.	
			2023 г. - 2 млрд 595 млн 120 тыс.	
			2024 г. - 3 млрд 160 млн 967 тыс.	
			2025 г. - 3 млрд 431 млн 569,9 тыс.	
ВСЕГО			45 млрд 453 млн 864 тыс.	

параметров их надежности на уровне зарубежных конкурентов. По существу, эксплуатирующие организации становятся участниками расширенных ресурсных испытаний новой техники. Не меньшее значение по сравнению с повышением надежности авиадвигателей имеют развитие системы послепродажного обслуживания и сокращение длительности ремонта путем оптимизации трудовых процессов ремонтного производства с использованием прогрессивных норм и нормативов с применением моделей и принципов совершенствования инновационного трудового потенциала предприятия.

Экономическое обоснование выбора вариантов трудовых процессов и разрабатываемых прогрессивных норм затрат трудовых ресурсов должно осуществляться на основе расчета ожидаемой экономической эффективности. За основной сопоставляемый показатель приняты затраты времени на операцию. Затраты времени сопоставляются как при существующем, так и при проектируемом методе выполнения операции. Сопоставление затрат времени должно проводиться при прочих равных условиях выполнения операции.

Задачи оптимального разделения труда необходимо решать комплексно, с учетом экономических,

организационно-технических и психофизиологических факторов, которые находятся в тесной взаимосвязи. Однако в качестве критерия оптимизации границ разделения труда может рассматриваться только экономический фактор — минимальные затраты труда на заданный выпуск продукции. Остальные факторы должны учитываться как ограничения. Примером организационно-технических ограничений являются: наличные ресурсы, последовательность выполнения работ; психофизиологические показатели — тяжесть работы и связанное с ней утомление.

Задачи оптимизации разделения коллективного труда представлены как задачи целочисленного линейного программирования и имеют следующий вид:

$$Z = \sum_{s=1}^m \sum_{i=1}^n n^{s-1} \delta_{is} \rightarrow \min \tag{1}$$

при условиях:

$$\sum_{s=1}^m \delta_{is} = 1; \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^n \delta_{is} t_i \leq r; \tag{3}$$

$$\delta_{js} \leq \sum_{k=1}^s \delta_{ik} \tag{4}$$

для каждой пары i и j , для которой $i \{ j$

$$|P_i - P_j| \delta_{is} + |P_I - P_J| \delta_{Js} \leq |P_I - P_J|, \tag{5}$$

где i, j — произвольный элемент работы ($i, j = 1, 2, \dots, n$);

$\{$ — отношение предшествования, заданное на множестве элементов работы и являющееся отношением строгого частичного упорядочения. Следовательно, $i \{ j$ означает, что выполнение элемента i должно предшествовать выполнению элемента j ;

t_i — время выполнения элемента i , $t_i > 0$;

r — время изготовления части изделия, в большинстве случаев $t_j \leq r$ для всех i ;

s — порядковый номер операции или рабочего места ($s = 1, 2, \dots, m$);

P_i — положительное целое число (различным позициям соответствуют различные целые числа).

Варьируемая переменная модели δ_{is} принимает значение 1, если элемент работы i включён в операцию s , и значение 0, если элемент i не включён в операцию s . Количество переменных δ_{is} равно n^2 . Первое ограничение (2) показывает, что каждый элемент работы принадлежит только одной операции. Второе ограничение (3) — непревышение времени выполнения каждой операции времени обработки изделия или его части. Третье ограничение (4) определяет отношение частичного упорядочения. Это ограничение можно указать только для тех пар, которые находятся в отношении непосредственного предшествования. Количество соотношений вида (5) равно произведению n на число пар элементов, находящихся в отношении непосредственного предшествования.

Операции будут выполняться в одной позиции, если для каждой пары элементов i и j будет выполняться условие (5). В самом деле, если $\delta_{is} = 1$ и $\delta_{js} = 1$, т.е. элементы i и j назначены в одну операцию, то из выражения (5) следует, что $P_i = P_j$. Таким образом, минимизация целевой функции (1) приведёт к минимальному числу операций.

Соотношения (1), (2) и (5) представляют математическую модель задачи оптимизации разделения труда на ремонтных операциях. Определение оптимального пооперационного разделения труда и технико-экономических показателей работы ремонтных операций включает следующие этапы:

- расчленение технологического процесса на элементы работы;
- нормирование технологически неделимых элементов работы;
- автоматизированное формирование операций;
- расчет технико-экономических показателей выполнения ремонтных работ.

Фактический фонд времени $T_{см.ф}$ определяется по формуле

$$T_{см.ф} = T_{см} \left(1 - \frac{\alpha_{пт.р} + \alpha_{об.р} + \alpha_{отл.р}}{100} \right),$$

где $T_{см}$ — сменный фонд времени (номинальный), мин;

$\alpha_{пт.р}$ — время неустраняемых перерывов, предусмотренных технологией и организацией данной работы, в % к сменному фонду времени (номинальному);

$\alpha_{об.р}$ — время регламентированных перерывов на организационно-техническое обслуживание рабочего места в % к сменному фонду времени (номинальному);

$\alpha_{отл.р}$ — время регламентированных перерывов на отдых и личные потребности в % к сменному фонду времени (номинальному).

На каждый элемент (технологический переход) в этом случае определяется оперативное время $t_{оп i}$, которое используется в дальнейшем при формировании операций из технологических переходов. В том случае, когда затраты времени на отдых, личные потребности и организационно-техническое обслуживание рабочего места могут быть распределены равномерно в течение смены и, следовательно, отнесены на каждый технологический переход, определяется штучное время $t_{шт i}$. В качестве исходных используются заданные значения оперативного времени и время на организационно-техническое обслуживание рабочего места, отдых и личные потребности в % к оперативному времени. Расчет производится по формуле

$$t_{шт i} = t_{оп i} \left(1 - \frac{\alpha_{об} + \alpha_{отд}}{100} \right),$$

где $\alpha_{об}$ — время на организационно-техническое обслуживание рабочего места в % к оперативному времени, распределенное равномерно в течение смены;

$\alpha_{отд}$ — время на отдых и личные потребности в % к оперативному времени.

Оперативное и штучное время определяется для условий освоенного производства. Методом оптимизации разделения труда предусмотрена корректировка оперативного или штучного времени на технологические переходы для условий освоения производства.

Формирование операций из элементов (технологических переходов) для постановки на рабочие места сборочных операций производится исходя из требования получения наиболее полной и равномерной как по времени, так и по тяжести труда загрузки работников на операции, не приводящей к недопустимому утомлению при соблюдении всех заданных технологических, организационно-технических и психофизиологических ограничений.

Основным технологическим ограничением является последовательность выполнения технологических переходов сборки.

Применение метода построения ориентированного графа для последовательности выполнения переходов позволяет получить необходимые для расчета сведения о порядке выполнения технологических операций.

Обязательным является следующее требование: сумма оперативного времени на выполнение технологических переходов $t_{оп i}$, включаемых в операцию, сумма времени вспомогательного перехода $t_{подг i}$, необходимого на подготовку к выполнению каждого следующего технологического перехода (переход из одной зоны крупногабаритного изделия в другую, поворот малогабаритного изделия и т.п.), и время $t_{перем i}$, необходимое на подготовку к

выполнению работ на следующем изделии (переход от изделия к изделию, ожидание изделия и т.д.), должны быть максимально близкими к фонду времени на рассматриваемом рабочем месте, но не превышать его:

$$t_{оп i} + t_{подг i} \leq r;$$

$$r = K_p r_{синхр};$$

$$r_{синхр} = r_{ф} - t_{перем};$$

где r — такт выпуска, мин;

$r_{синхр}$ — такт синхронизации, мин;

$r_{ф}$ — фактический такт выпуска, мин;

K_p — количество рабочих на рабочем месте.

Не менее важным и обязательным является требование ограничения операции по ее тяжести на каждом рабочем месте.

Таким образом, ограничения можно разделить на три группы — I, II и III порядка. К ограничениям I порядка относятся ограничения, запрещающие выполнение технологических переходов на одном рабочем месте. Технологические переходы, имеющие различные коды этого ограничения, не будут включены в одну операцию. К ограничениям II и III порядка относятся ограничения, допускающие включение технологических переходов в операцию, но ухудшающие результат набора. К ограничениям II порядка относятся такие ограничения, нарушение которых вызывает дополнительные затраты времени на выполнение следующего технологического перехода.

Таблица 2

Оптимальное решение по разделению труда на операции

По каждому технологическому переходу	По каждому рабочему месту	По операции в целом
1. Номер рабочего места 2. Номер технологического перехода 3. Оперативное время 4. Время на оргтехобслуживание 5. Время на отдых и личные потребности 6. Группа сложности 7. Разряд работы	1. Номер рабочего места 2. Оперативное время на операцию с учетом времени на вспомогательный переход (подготовка к выполнению работ на следующем изделии); время на оргтехобслуживание; время на отдых и личные потребности; численность рабочих; расчетная норма времени на операцию 3. Принятая для оплаты норма времени в расчете на одно изделие, час 4. Коэффициент занятости рабочего по отношению к номинальному такту выпуска 5. Коэффициент занятости рабочего по отношению к отраслевому нормативу 6. Разряд работы 7. Надбавка к часовой тарифной ставке; часовая ставка с учетом надбавки	1. Число рабочих мест 2. Численность рабочих 3. Трудоемкость в расчете на 1 изделие, нормо-час.; (трудоемкость рассчитывается как по технически обоснованным, так и по опытно-статистическим нормам для механизированных и ручных работ)

Технологические переходы, имеющие разные коды ограничений II порядка, включаются в одну операцию, причем ко времени выполнения технологического перехода добавляется время выполнения вспомогательного перехода (на подготовку к выполнению следующего технологического перехода), которое берется из задаваемой матрицы. Если такая матрица в исходных данных не задана, то ограничения II порядка автоматически превращаются в ограничения III порядка.

К ограничениям III порядка относятся те, нарушение которых не приводит к дополнительным затратам рабочего времени, но создает определен-

ные неудобства в организации труда, т.е. ограничения желательные, но не обязательные. Технологические переходы, имеющие разные коды ограничений III порядка, включаются в одну операцию в том случае, когда нет технологических переходов с одинаковыми кодами, а по другим признакам они могут быть включены в операцию.

Результаты по принятию оптимального решения по разделению труда на операции выдаются в виде табл. 2.

Кроме числа рабочих мест, численности рабочих и трудоемкости, определяется скорректированная (принятая) расценка в расчете на одно изделие

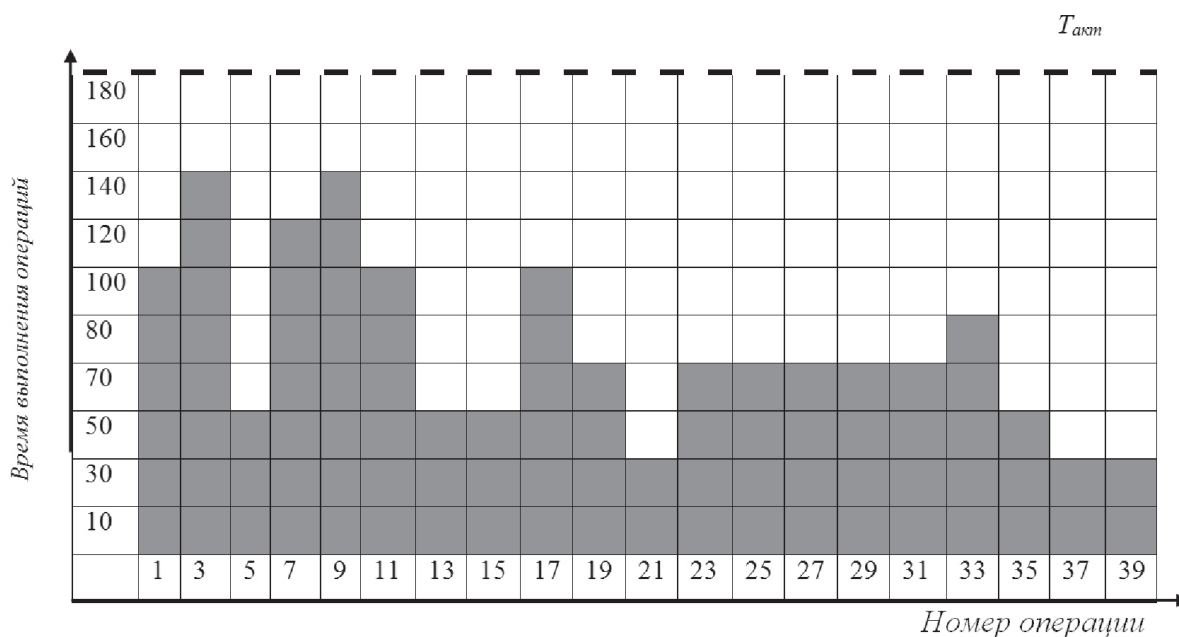


Рис. 1. График фактической загрузки рабочих на сборочных операциях до оптимизации

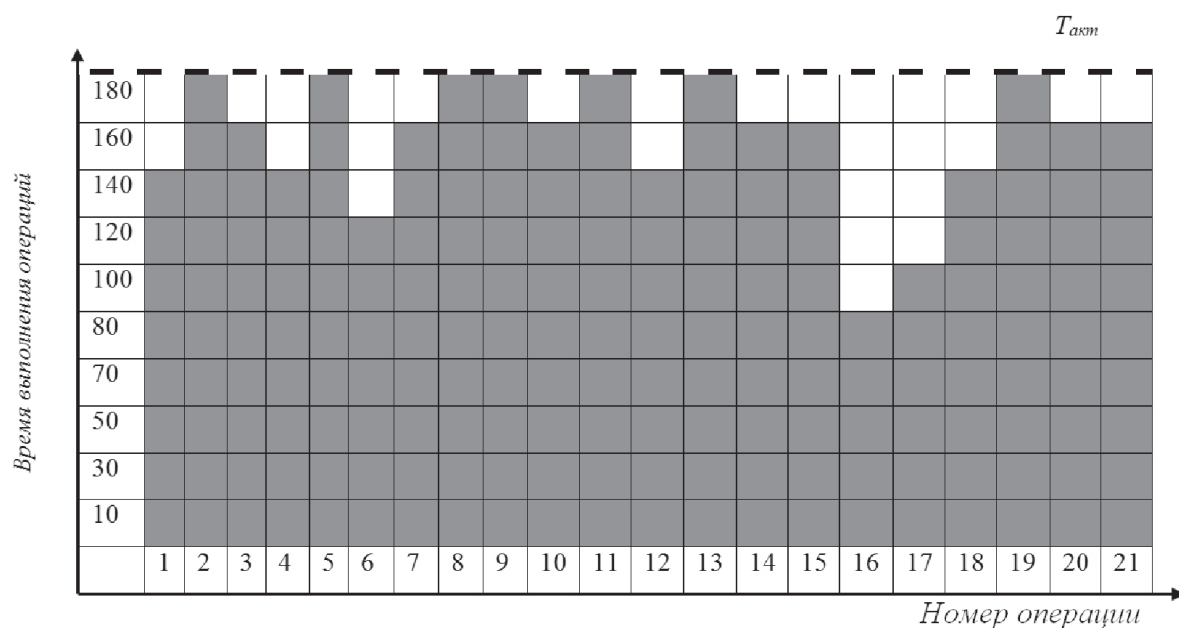


Рис. 2. График фактической загрузки рабочих на сборочных операциях после оптимизации

Таблица 3

Результаты оптимизации разделения труда на сборки авиационного двигателя

Оптимизируемые параметры	Обозначение	До оптимизации	После оптимизации
Фактический такт выпуска	r_{ϕ}	3 ч	3 ч
Число операций	m	39 опер.	21 опер.
Трудоемкость ремонтных операций	mr_{ϕ}	34,18 чел.-час.	30,8 чел.-час.
Коэффициент использования рабочего времени	η	0,54	0,88

в руб., равная сумме расценок по всем рабочим местам.

Выводы

Оптимизация пооперационного разделения труда на ремонтных операциях является, как указано выше, одной из существенных и сложных частей работы по организации труда. Это сложная многовариантная задача. На рис. 1 и 2, а также в табл. 3 представлены результаты внедрения метода оптимизации разделения труда рабочих на сборочных операциях по ремонту авиационных двигателей. Использование рассмотренного метода позволит обеспечить равномерную загрузку на рабочих местах, сократить численность рабочих и трудоемкость сборки.

Библиографический список

1. *Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н.* Анализ, синтез, планирование решений в экономике: Учебник. — М.: Финансы и статистика, 2004. — 464 с.
2. *Тихонов А.И.* Проблемы и предпосылки конкурентоспособности авиационного двигателестроения // Вестник Университета (государственный университет управления). 2014. № 14. С. 262-267.
3. *Захарова Л.Ф., Новиков С.В.* Стратегические изменения в крупномасштабных организационно-экономических системах: обоснование и реализация // Труды МАИ. 2012. № 53. URL: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=29363>
4. *Елисеев Ю.С., Крымов В.В.* Испытания, обеспечение надежности и ремонт авиационных двигателей и энергетических установок. — М.: Высшая школа, 2005. — 348 с.
5. *Горелик В.А.* Исследование операций и методы оптимизации. — М.: Издательский центр «Академия», 2013. — 320 с.
6. *Грешников А.А.* Математические методы принятия решений. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — 356 с.
7. *Миускова Р.В., Комарова Н.В.* Оптимизация трудовых процессов с использованием математических методов и микроэлементных нормативов времени. — М.: РУСАКИ, 2004. — 226 с.
8. *Генкин Б.М.* Организация, нормирование и оплата труда на промышленных предприятиях. — М.: Норма, 2007. — 220 с.
9. *Мантуров Д.В., Калачанов В.Д.* Программно-целевое управление высокотехнологичными отраслями промышленности // Вестник Университета (государственный университет управления). 2013. № 12. С. 101-103.
10. *Tang H., Pennycott A., Akehurst S. and Brace C.* A review of the application of variable geometry turbines to the downsized gasoline engine // International Journal of Engine Research. 2014. Vol. 16 (6), pp. 810-825.
11. *Jiang Z., Song B., Zhou X.* On-machine measurement of location errors on five-axis machine tools by machining tests and a laser displacement sensor // International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2015. Vol. 95, p. 55.

AIRCRAFT ENGINE REPAIR WORK FLOWS OPTIMIZATION BASED ON INNOVATIVE LABOR POTENTIAL UPDATING IN CONDITIONS OF RATE SETTING

Komarova A.M.* , Novikov S.V.**

*Moscow Aviation Institute (National Research University),
MAI, 4, Volokolamskoe shosse, Moscow, A-80, GSP-3, 125993, Russia*

** e-mail: kmrik1@rambler.ru*

*** e-mail: ncsrm@mail.ru*

Abstract

This article is devoted to the realization of aircraft engines competitive recovery in the framework of the State program of development of aviation industry in Russia until 2025. It is proved that aviation engine-building belongs to the number of high-tech and knowledge-based industries, which development affects a number of vital areas of life and, in whole, the stability of the national economy.

One of the important trends of economic efficiency and Russian aircraft engines competitiveness increase is to ensure their reliability on the level of foreign competitors. The urgency of the system of aftersales service development and repair time reduction through maintenance workflow optimization using progressive norms and standards. The problem of optimal division of labor should be addressed comprehensively, taking into account economic, organizational-technical and psychophysiological factors, which are closely related.

Thus, the article describes the method of division of labor optimization in the organization of aircraft engines maintenance of using models of integer linear programming and network planning. The paper presents the results of the implementation of a method of optimizing the division of labor occupied with assembly operations for aircraft engine maintenance.

Hence, the use of these innovations will allow provide uniform loading at the workplaces, reduce the number of workers and the complexity of final assembly.

Keywords: aircraft engines maintenance, aircraft engines after-sales service, network planning, labor processes optimization, division of labor, calculation of technical and economic indicators of innovative labor potential.

References

1. Andreichikov A.V., Andreichikova O.N. *Analiz, sintez, planirovanie reshenii v ekonomike* (Analysis, synthesis, decisions planning in economy), Moscow, Finance and statistics, 2004, 464 p.
2. Tikhonov A.I. *Vestnik Universiteta (gosudarstvennyi universitet upravleniya)*, 2014, no. 4, pp. 262-267.
3. Zakharova L.F., Novikov S.V. *Trudy MAI*, 2012, no. 53, available at: <http://www.mai.ru/science/trudy/eng/published.php?ID=29363> (accessed 19.04.2012).
4. Eliseev Yu.S., Krymov V.V. *Ispytaniya, obespechenie nadezhnosti i remont aviatsionnykh dvigatelei i energeticheskikh ustanovok* (Tests, ensuring reliability and maintenance of aircraft engines and power plants), Moscow, Vysshaya shkola, 2005, 348 p.
5. Gorelik V.A. *Issledovanie operatsii i metody optimizatsii* (Operations research and optimization methods), Moscow, Izdatel'skii tsentr "Akademiya", 2013, 320 p.
6. Greshilov A.A. *Matematicheskie metody prinyatiya reshenii* (Mathematical methods of decision making), Moscow, MGTU im. N.E. Bauman, 2006, 356 p.
7. Miuskova R.V., Komarova N.V. *Optimizatsiya trudovykh protsessov s ispol'zovaniem matematicheskikh metodov i mikroelementnykh normativov vremeni* (of Workflows optimization using mathematical methods and microelement standards of the time), Moscow, RUSAKI, 2004, 226 p.
8. Genkin B.M. *Organizatsiya, normirovanie i oplata truda na promyshlennykh predpriyatiyakh* (Organization, regulation and wages at industrial enterprises), Moscow, Norma, 2007, 220 p.
9. Manturov D.V., Kalachanov V.D. *Vestnik Universiteta (gosudarstvennyi universitet upravleniya)*, 2013, no. 12, pp. 101-103.
10. Tang H., Pennycott A., Akehurst, S. and Brace C. A review of the application of variable geometry turbines to the downsized gasoline engine. *International Journal of Engine Research*, 2014, vol. 16 (6), pp. 810-825.
11. Jiang Z., Song B., Zhou X. On-machine measurement of location errors on five-axis machine tools by machining tests and a laser displacement sensor. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2015, vol. 95, p. 55.