

В.Ф. Безъязычный, д.т.н.,

А.В. Смирнов, аспирант

(ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьёва», Россия, г. Рыбинск, ул. Пушкина, д. 53)

E-mail: technology@rsatu.ru

Анализ и направления совершенствования технологических и организационных проблем ремонта газотурбинных авиационных двигателей

Изложены технологические (потребности в новых технологиях ремонта газотурбинных двигателей (ГТД), ремонтируемых по техническому состоянию, растущие требования по надёжности, высокая стоимость ремонта, ограниченный доступ к новым технологиям) и организационные (отсутствие локализации ремонта, высокая конкуренция и др.) проблемы ремонта авиационных газотурбинных двигателей. Рассмотрено направление совершенствования: разработка новых технологий ремонта при переходе на концепцию ремонта по техническому состоянию; внедрение модульных технологий; локализация ремонтного производства; создание гибких технологий ремонта и др.

Ключевые слова: ремонт ГТД; технология; организация ремонта; направление совершенствования.

V.F. Beziyazychny, Dr. Sc. Tech.,

A.V. Smirnov, Post graduate student

(FSBEI HE "Soloviyov State Aircraft-Technical University of Rybinsk", 53, Pushkin Str., Rybinsk, Russia)

Analysis and directions of technological and organization problem updating in gas turbine aircraft engine repair

There are presented technological (requirements in new technologies for repair of gas turbine engines (GTE) repaired according to a technical state, growing requirements on reliability, high cost of repair, a limited access to new technologies) and organization (absence of repair localization, high competition etc.) problems of aircraft gas turbine engine repair.

The direction for updating: development of new repair technologies at the transition to the concept of repair on a technical state; module technology application; repair production localization; creation of flexible repair techniques etc. is considered.

Keywords: GTE repair; technology; repair organization; updating direction.

Введение

Ремонт – один из этапов жизненного цикла изделия. При этом для предприятий-изготовителей газотурбинных двигателей ремонт выполняет две основные задачи: обеспечение гарантийного обслуживания и коммерческий ремонт, который позволяет компенсировать затраты на разработку и изготовление двигателя и в долгосрочной перспективе получить прибыль от изделия в процессе эксплуатации.

Самая простая и доступная технология ремонта – это замена дефектной детали (узла,

модуля, двигателя) на новую, но при этом для основных деталей ГТД стоимость изготовления в разы может превышать стоимость ремонта.

При постановке новой детали увеличивается стоимость ремонта всего двигателя, снижается прибыль предприятия в случае фиксированной цены ремонта, или при ремонте двигателя по фактическим затратам снижается конкурентоспособность как ремонтного предприятия, так и изделия в целом.

Также немаловажно то, что для ремонтных предприятий и одновременно изготовителей ГТД наличие восстановительных технологий

ремонта позволяет загрузить мощности по производству новых деталей. Таким образом, постоянное инновационное развитие технологий ремонта ГТД – это жизненная необходимость современного двигателестроительного и ремонтного предприятий. Следует отметить, что ведущие иностранные ремонтные предприятия не утилизируют дорогостоящие дефектные детали, даже если на сегодня на них нет вида ремонта. В будущем технология ремонта может быть разработана и деталь может быть восстановлена.

Начиная с 1990-х гг. при проектировании авиационных газотурбинных двигателей в Российской Федерации начали применять давно используемую на Западе концепцию обслуживания по техническому состоянию. Данная концепция ориентирована на заказчика, позволяя значительно сократить стоимость эксплуатации ГТД, при этом заставляет значительно изменить подходы к техническому обслуживанию. Ремонт современных авиационных ГТД, обслуживаемых по техническому состоянию и имеющих модульную конструкцию, требует разработки новых технологий и особой организации ремонтного производства.

Потребность в разработке новых технологий обусловлена следующим:

- развитием конструкции современных ГТД и применяемых материалов для их изготовления;
- повышенными требованиями к качеству ремонта для поддержания максимально долгого функционального состояния детали и надёжности ГТД в целом;
- необходимостью и возможностью (за счёт нового качества – модульности) двигателя минимизировать объём разборки ГТД при очередном ремонте;
- современными требованиями по охране труда и экологической безопасности.

При этом технологии ремонта должны обеспечивать заложенную надёжность ГТД, теоретически не имеющего ограничений по ресурсу.

Организация ремонтного производства ГТД, обслуживаемых по техническому состоянию, также отличается от применяемой при ремонте ГТД по назначенному ресурсу. В современных реалиях рыночной экономики правильная организация ремонтного производства ГТД позволит обеспечить конкурентоспособность предприятия, а также возможность ремонта на одних площадях нескольких типов двигателей. В этом случае необходимо

определение максимально эффективной производственной планировки размещения участков для различных этапов ремонта ГТД (разборка, очистка, дефектация, ремонт, сборка и т.д.), определение зависимости видов организации и форм ремонтного производства от различных факторов (конструкция ГТД, срок эксплуатации, годовая производственная программа, уровень развития технологий ремонта и т.п.).

Анализ технологических проблем ремонта ГТД

К факторам, которые влияют на решение технологических задач ремонта современных авиационных ГТД, можно отнести:

- *Потребность в новых технологиях для ремонта ГТД, обслуживаемых и ремонтируемых по техническому состоянию.*

Отечественные авиационные двигатели, разработанные в 1960-е–1980-е г.г., подлежат обязательному капитальному ремонту при выработке межремонтного ресурса. Переход к концепции технического обслуживания и ремонта по техническому состоянию, закладываемый в современных российских двигателях (ПС-90, SaM146 и др.), ставит новые, ранее не настолько актуальные технологические задачи. Технологии должны позволять выполнить ремонт авиационного двигателя (восстановление характеристик, устранение дефектов или замена деталей с ограниченным сроком службы) с минимальным уровнем разборки, ремонтом деталей на уровне сборочного модуля.

- *Постоянно растущие требования по надёжности и ресурсу деталей ГТД.*

Двигатели, обслуживаемые по техническому состоянию, как правило, не имеют назначенный ресурс. Ресурсом ограничены только особо ответственные детали. Поэтому технологии ремонта должны обеспечивать эксплуатационную годность детали на максимально возможный срок. Известны технологии ремонта, которые обеспечивают ресурс детали (эксплуатационную годность) больше, чем время эксплуатационной годности детали до ремонта.

- *Высокую стоимость технологий ремонта деталей, связанную:*

- с увеличением сложности конструкции и соответственно снижением ремонтпригодности конструкции ГТД;
- с использованием новых ранее неремонтпригодных материалов в конструкции деталей ГТД.

В связи с увеличением сложности конструкции деталей современных ГТД и применением новых конструкционных материалов, зачастую снижающих ремонтпригодность, появляется необходимость разработки высокотехнологичных, требующих дорогостоящего оборудования видов ремонта.

- *Ограниченный доступ к новым технологиям.*

При переходе на рыночные отношения в отечественной авиационной отрасли все предприятия, работающие на рынке ремонта ГТД, прекратили обмен технологиями внутри отрасли. Научно-исследовательские организации предлагают услуги по разработке новых технологий на коммерческой основе, при этом высокая стоимость научно-исследовательских услуг может оказаться экономически нецелесообразной для внедрения технологий на ремонтном предприятии.

Анализ организационных проблем ремонта ГТД

К факторам, влияющим на организацию современного ремонтного производства авиационных ГТД, можно отнести следующее:

- *Отсутствие локализации ремонтного производства на основных авиадвигательных предприятиях Российской Федерации.*

На двигателестроительных предприятиях ремонт двигателей выполнялся и продолжает выполняться на тех же производственных площадях, что и их изготовление. При этом эффективность данной организации ремонта, при обобщении всех факторов, для серийного производства ниже по сравнению с локализованным ремонтным производством.

Известны следующие организационные проблемы при ремонте на основном производстве:

- подход к ремонтной детали, как к новой, приводит к повышенной отбраковке;
- изготовление новой детали более приоритетно, чем её ремонт;
- возникают проблемы с производственным планированием, трудности с учётом деталей, находящихся в ремонте;
- трудности с обеспечением отслеживаемости и разделения потоков новых и ремонтных деталей;
- увеличенные сроки ремонта.

Переход на организацию локализованного ремонтного производства сдерживает необхо-

димость значительных долгосрочных инвестиций в его организацию.

- *Высокая конкуренция на рынке ремонта ГТД.*

В советский период ремонт авиационных двигателей жестко регулировался государством. Ремонт выполняли, как правило, предприятия-изготовители и несколько определённых авиаремонтных заводов. В современный период ремонт авиационного двигателя может выполнять любое предприятие, сертифицированное авиационным руководством.

Также сдерживающим фактором развития ремонтных технологий для двигателей предыдущих поколений является наличие межремонтного ресурса и общего назначенного ресурса двигателя (при этом достаточно небольшого по сравнению со средним сроком службы зарубежных аналогичных двигателей).

В настоящее время есть несколько причин, которые потребовали изменить данное отношение к развитию технологий ремонта.

- Переход на концепцию ремонта по техническому состоянию двигателя. Данная концепция убирает понятия «межремонтный ресурс» и «общий (назначенный) ресурс». Соответственно срок службы двигателя или отдельных деталей двигателя (кроме особо ответственных деталей) неограничен при условии его соответствия требованиям разработчика и устранения эксплуатационных дефектов выполнением восстановительного ремонта.

- Повышение стоимости новых деталей. Это связано с тем, что с переходом на рыночные отношения изготовители устанавливают предельно возможные цены на запчасти, стремясь извлечь максимальную прибыль из послепродажного обслуживания двигателя внутри его жизненного цикла. Также повышение стоимости новых деталей связано с появлением новых более дорогих конструкционных материалов, увеличением сложности конструкции деталей и, соответственно, использования дорогостоящих технологий их изготовления.

- Применение модульной конструкции современных авиационных ГТД. Этот фактор неразрывно связан с концепцией ремонта ГТД по техническому состоянию. Модульная конструкция требует разработки новых технологий ремонта – замена модулей на собранном двигателе, ремонт отдельных деталей в составе модуля, обеспечение сборочных размеров при частичной разборке ГТД и т.д.

На зарубежных предприятиях данная форма организации ремонта действует очень давно. Например, услуги по ремонту двигателя-бестселлера CFM56 зарубежом предлагают несколько десятков сертифицированных предприятий. Конкуренция на рынке услуг по ремонту ГТД заставляет предприятия предлагать заказчикам (авиакомпаниям) более выгодные условия, важнейшими из которых являются сроки и стоимость ремонта. При этом заявленные сроки ремонта могут быть выдержаны при наличии соответствующей организации ремонтного производства, минимизирующей потери времени внутри производственного процесса.

Возможные направления решения технологических проблем ремонта

Подавляющее большинство авиадвигательностроительных предприятий в Российской Федерации выполняет услуги по техническому обслуживанию и ремонту двигателей, которые они изготавливают. При этом уровень развития технологий ремонта в целом достаточный для выполнения данных услуг для двигателей, разработанных в 1960-е–1980-е г.г. Некоторые ключевые технологии ремонта по настоящее время отсутствуют на отечественных предприятиях. Например, не разработаны и не внедрены технологии капитального ремонта сопловых лопаток и секторов турбины (рис. 1), ремонта корпусных деталей турбин, ремонта лопаток входной ступени компрессора низкого давления и т.д.

Отсутствие видов ремонта компенсируется возможностью выполнения всегда доступного и самого простого «метода ремонта» – заменой дефектной детали на новую. В условиях изготовителя (налаженного серийного производства) стоимость новой детали не критичный фактор для эффективности ремонта ГТД.

Решение технологических вопросов развития ремонта ГТД вытекает из вышеперечисленных причин и заключается в следующем.

1. Разработка высокотехнологичных видов ремонта для основных и дорогостоящих деталей ГТД. Необходимо вкладывать ресурсы в разработку технологий ремонта, наиболее подверженных эксплуатационным повреждениям – детали «горячей» части двигателя (лопатки статора и ротора турбины, корпуса и жаровые трубы камеры сгорания, корпуса статора и кольцевые детали ротора турбины), детали компрессора (лопатки вентилятора, диски и барабаны, блиски и др.).

2. Создание технологий «модульного» ремонта. Данные технологии позволят минимизировать разборку двигателя, объём работ и, соответственно, стоимость ремонта.

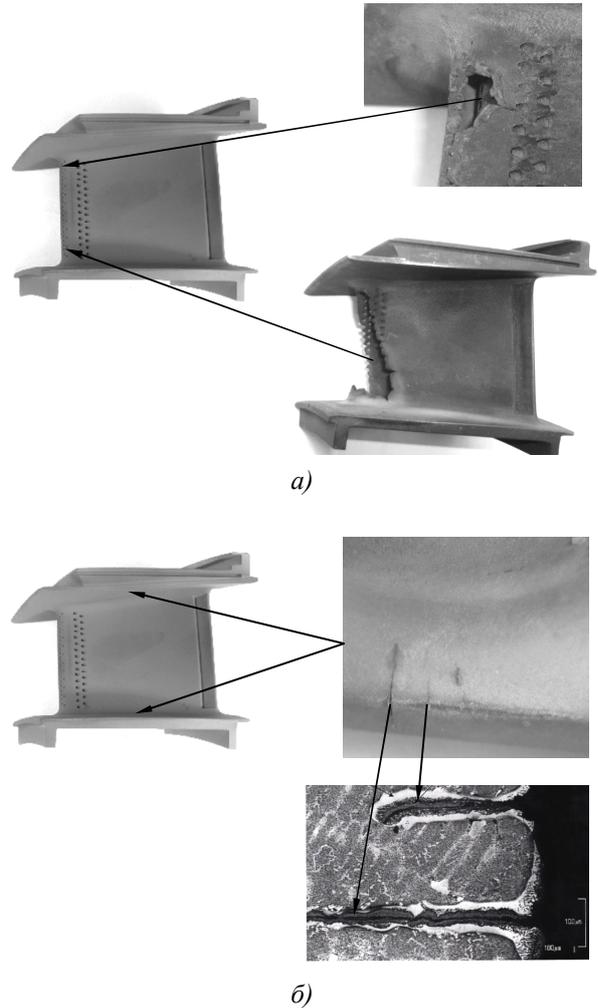


Рис. 1. Эксплуатационные повреждения лопаток сопловых аппаратов турбин авиационных ГТД: а – прогар входной кромки; б – эксплуатационные трещины

Возможные направления решения организационных вопросов ремонта

Решением организационных вопросов ремонта современных ГТД является создание ремонтного цеха с оптимальным уровнем локализации производственных процессов и достаточно гибких технологий ремонта.

Оптимальная схема организации ремонта в локализованном ремонтном производстве представлена на рис. 2. Приведенный вариант включает в себя производственные участки для всех этапов ремонта ГТД: приёмка и входной контроль двигателя, разборка двигателя и модулей, очистка, дефектация, восстановительный ремонт деталей, специальные

процессы (сварка, рентген-контроль, термообработка и др.), ремонт и испытание агрегатов,

комплектующие, сборка модулей, балансировка, общая сборка, отправка двигателя.

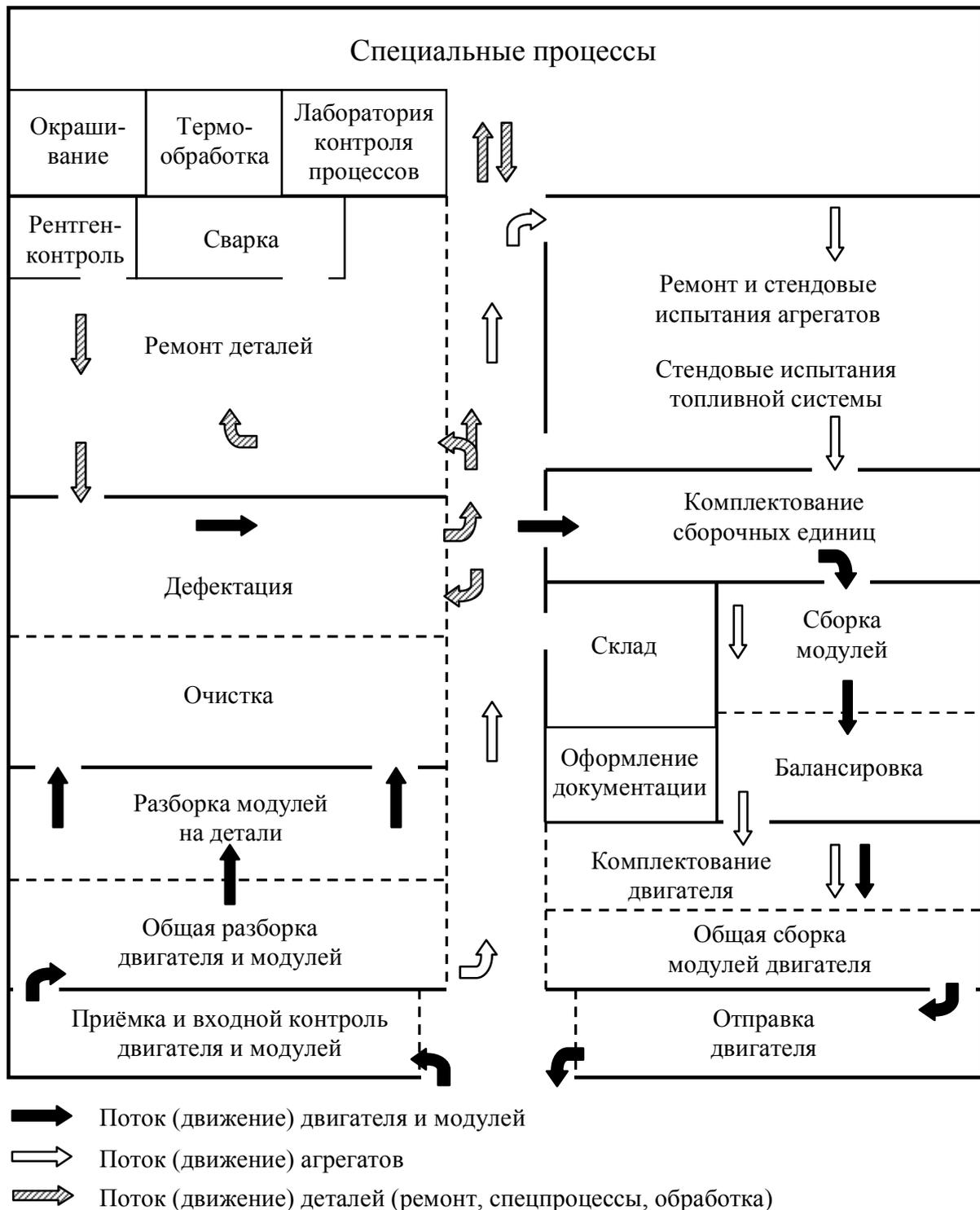
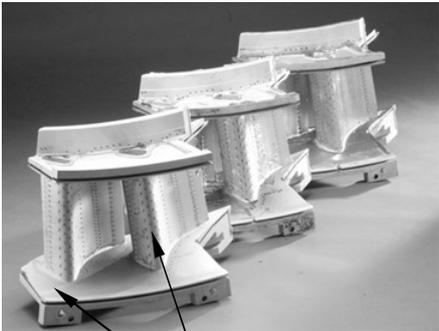


Рис. 2. Схема организации локализованного ремонтного производства авиационных ГТД

Интеграция всех необходимых участков в одном производственном корпусе позволяет оптимально их расположить по основному потоку перемещения двигателя (модулей, деталей) в процессе ремонта, что минимизирует перемещение объектов ремонта, упрощает их учёт по циклу ремонта и соответственно ведёт

к сокращению сроков ремонта двигателя в целом. При этом организация ремонтных участков позволяет осуществлять выполнение ремонта нескольких моделей ГТД и гибко встраивать в производственный процесс новые технологии ремонта.

1. Виды ремонта деталей ГТД

Наименование и эскиз детали	Вид ремонта	Основные операции	Применяемое оборудование
<p>Секторы соплового аппарата турбины высокого давления</p>  <p style="text-align: center;">1, 2</p>	<p>1. Восстановление профиля и полок диффузионной пайкой</p>	1. Удаление термобарьерного покрытия и жаростойкого газоциркуляционного покрытия (подслоя)	Установка для удаления покрытий водой под высоким давлением. Линия для химического удаления покрытий
		2. Механическая обработка дефектных поверхностей	Станок для глубинного шлифования. Электроэрозионный станок. Слесарный участок
		3. ЛЮМ или FPI контроль проникающими жидкостями ремонтируемой зоны	Участок ЛЮМ или FPI контроля
		4. Подготовка детали и твердого припоя к пайке	Участок обезжиривания. Участок подготовки к пайке
		5. Высокотемпературная диффузионная пайка	Вакуумная печь
		6. Механическая обработка напаянных поверхностей	Станок для глубинного шлифования. Электроэрозионный станок. Слесарный участок
		7. ЛЮМ или FPI контроль проникающими жидкостями ремонтируемой зоны	Участок ЛЮМ или FPI контроля
		8. Нанесение жаростойкого газоциркуляционного покрытия (подслоя) и термобарьерного покрытия	Участок нанесения газоциркуляционных покрытий. Участок нанесения покрытий методом вакуумного напыления с испарением материала электронным лучом (EB-PVD)
		9. Восстановление перфорационных отверстий охлаждения	Электроэрозионный станок. Слесарный участок
		10. Окончательный контроль	Участок контроля
<p>Секторы соплового аппарата турбины высокого давления</p>	<p>2. Восстановление жаростойкого и термобарьерного покрытий</p>	1. Удаление дефектного термобарьерного покрытия	Установка для удаления покрытий водой под высоким давлением
		2. Удаление жаростойкого газоциркуляционного покрытия (подслоя)	Линия химического удаления покрытий
		3. ЛЮМ или FPI контроль проникающими жидкостями ремонтируемой зоны	Участок ЛЮМ или FPI контроля
		4. Нанесение жаростойкого газоциркуляционного покрытия (подслоя)	Участок нанесения газоциркуляционных покрытий
		5. Нанесение термобарьерного покрытия	Участок нанесения покрытий методом вакуумного напыления с испарением материала электронным лучом (EB-PVD)
		6. Восстановление перфорационных отверстий	Слесарный участок
		7. Окончательный контроль	Участок контроля

Представленная на рис. 2, схема разработана на основе анализа технологий ремонта типовых деталей ГТД (лопатки рабочие компрессора высокого давления, блиски компрессора высокого давления, кольцевые детали, корпусные детали, валы, рабочие лопатки турбины, секторы соплового аппарата турбины низкого давления, лопатки вентилятора, диски компрессора и турбины, камеры сгорания и др.).

Пример анализа типовых технологий ремонта деталей ГТД представлен в табл. 1.

Заключение

Переход к концепции обслуживания авиационных двигателей по техническому состоянию и открытие рынка ремонта ГТД выставляют новые требования к организации ремонта и созданию новых инновационных технологий ремонта. Учитывая описанную выше проблематику, задачами ремонтного производства на обозримый период являются:

- определение новых инновационных технологий и их сравнительный анализ по отношению к альтернативным технологиям;
- исследование технологий ремонта модульных ГТД без полной разборки;
- развитие аддитивных технологий ремонта деталей ГТД;
- определение максимально эффективной производственной планировки размещения участков для всех этапов ремонта ГТД при различных сценариях ремонта по техническому состоянию;
- определение зависимости видов организации и форм ремонтного производства от различных факторов: конструкции ГТД, срока их эксплуатации, годовой производственной программы, уровня развития технологий.

При этом технологии ремонта должны обеспечивать заложенную надёжность ГТД, теоретически не имеющего ограничений по ресурсу [1, 2].

Рецензент к.т.н. С.Н. Бардинова

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Безъязычный, В.Ф. Метод подобия в технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 2012. – 320 с.
2. Справочник технолога / под общей редакцией А.Г. Сулова. – М. Инновационное машиностроение, 2019. – 800 с.

REFERENCES

1. Beziyazychny, V.F. *Similarity Method in Engineering Techniques*. - M.: Mechanical Engineering, 2012. - pp. 320.
2. *Technologist's Reference Book* / under the general editorship of A.G. Suslov. - M. Innovation Mechanical Engineering, 2019. - pp. 800.

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Брянский государственный технический университет"

Адрес редакции и издателя: 241035, Брянская область, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7
ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Телефон редакции журнала (4832) 51-51-38, 8-903-592-87-39. E-mail: naukatm@yandex.ru

Вёрстка А.А. Алисов. Технический редактор А.А. Алисов.

Сдано в набор 14.08.2020. Выход в свет 31.08.2020.

Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,58.

Тираж 500 экз. Свободная цена.



Отпечатано в лаборатории оперативной полиграфии
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
"Брянский государственный технический университет"
241035, Брянская область, г. Брянск, ул. Институтская, 16