

Исследование электрофизических и электрохимических методов обработки с целью модернизации технологии производства на примере объекта «Корпус опоры КВД»

О.А. Моргачев

Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия

В данной работе рассматриваются электрофизические и электрохимические методы, применяемые на всех этапах изготовления деталей, начиная от получения заготовок и кончая их отделочной обработкой. Приводится их подробное описание. Представлены преимущества и недостатки электрофизических и электрохимических методов. Содержится оценка применимости в условиях промышленных предприятий электрофизических и электрохимических методов, а также возникающий при подготовке производства технический риск.

Ключевые слова: Электрофизические методы, электрохимические методы, обработка, производство ГТД, технический риск, подготовка производства

Электрофизические и электрохимические методы и технологии [1] в настоящее время применяют на всех этапах изготовления деталей, начиная от получения заготовок и кончая их отделочной обработкой. На основе использования технологий этой группы на производстве решают уникальные технологические задачи, обеспечивающие заданное удаление, перемещение или приращение (большого или малого) объёма материала заготовки.

Многие методы электрофизической и электрохимической обработки позволяют обрабатывать материалы с такими высокими прочностными характеристиками, обработка которых традиционно используемыми при обработке методами резания невозможна/ограничена [2 - 4]. Использование методов обработки и технологий группы электрофизической и электрохимической обработки позволяет изготавливать детали сложной формы, обрабатывать поверхности в труднодоступных местах, что при использовании механических методов обработки требует значительных экономических и временных затрат. Применение в таких случаях методов и технологий группы электрофизической и электрохимической обработки даёт неоспоримые преимущества в результирующих технико-экономических показателях изготовления деталей. К таким поверхностям относятся, например, отверстия и пазы сверхмалых размеров, исчисляемых микрометрами.

Технологические методы группы электрофизической и электрохимической обработки в основном характеризуются отсутствием силового взаимодействия инструмента и обрабатываемой заготовки. Это даёт возможность изготавливать нежёсткие детали с высокими точностными показателями.

Электроэрозионная обработка металлов и других токопроводящих металлов представляет собой: расплавление и испарение металла под действием импульсов тока, затем частицы металла под действием гидродинамических сил рабочих жидкостей выбрасываются из зоны разряда. Электрод-инструмент, внедряясь в заготовку образует отверстие, по форме электрода. Электрод-инструмент и заготовка на рис.1 закреплены на станке и не соприкасаются друг с другом.

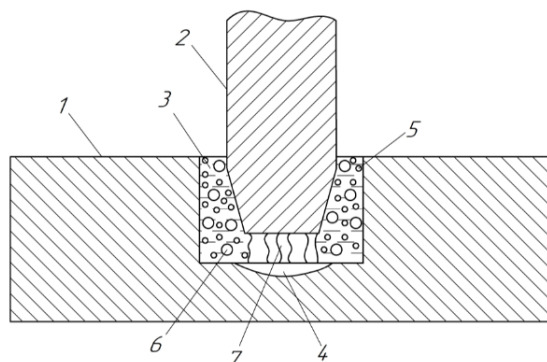


Рисунок 1 – Схема протекания процессов в межэлектродном пространстве: 1 – электрод-заготовка; 2 – электрод-инструмент; 3 – рабочая среда; 4 – эрозионная лунка; 5 – расплавленный металл (шлам); 6 – газовый пузырь; 7 – канал разряда

Генератор подает в рабочую зону электрический импульс, заданной напряженностью и периодичностью. Вокруг электрода-инструмента (2) и электрода-заготовки (1) создается электрическое поле и в момент максимальной напряженности происходит действие электрического разряда (7) в точке электрического поля.

Тогда свободные положительные ионы и электроны с высокой скоростью образуют ионизационный туннель с электрической проводимостью. Так образующийся искровой разряд между электродом-инструментом и электродом-заготовкой приводит к хаотичному движению элементарных частиц с последующим их столкновением. В результате в рабочей жидкости возникает газовый пузырь (6) с постоянным нарастающим давлением до образования плазменной зоны. По достижении ею сверхвысоких температур и от столкновений элементарных частиц происходит расплавление поверхностей электрода-инструмента и электрода-заготовки.

Как только снимается электрическое поле, снижается температура, происходит взрыв плазменного пузырька, что приводит к частичному отрыву материала с заготовки и на этом месте образуется эрозионная лунка (4). Шлам (5), а точнее отсеченные частицы материалов электродов, образующейся в результате в виде маленьких сфер удаляется рабочей жидкостью. Генератор импульса подает короткий разрядный импульс что приводит в движение больше отрицательно заряженных частиц, чем положительно заряженных. Количество тепла на поверхности электродов пропорционально количеству частиц определенного заряда, движущихся к электроду. Из-за большего размера положительные частицы способствуют выработыванию большего количества тепла при тех же скоростях бомбардировки электрода-заготовки. Полярность выбирается таким

образом, чтобы как можно больше тепла высвобождалось со стороны заготовки до завершения разряда, поэтому при коротких разрядах электрод-инструмент соединяется с отрицательной клеммой и имеет отрицательную полярность, а при длительных разрядах, наоборот, электрод-инструмент подключается к положительному полюсу. На длительность импульса, при которой должна поменяться полярность на заготовке и электроде-инструменте влияют физические параметры инструмента и свойств материала электрода.

Основными формообразующими электроэрозионными методами обработки являются: электроэрозионное прошивание, электроэрозионное разрезание и вырезание заготовок, электроэрозионное объёмное копирование, электроэрозионное шлифование, маркирование (клеймление) и гравирование.

Электроэрозионная отрезка – вид электроэрозионной обработки, при которой заготовка подвергается резанию на две части. В качестве электрода берут плоский диск или электрод, ленту или проволоку. Отрезая плоским электродом, сам электрод перемещается поступательно со скоростью $V_{п.эи}$ в направлении заготовки, закрепленной неподвижно (рис. 2).

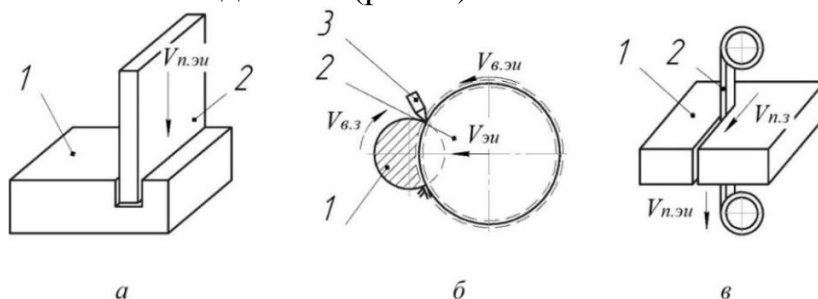


Рисунок 2 – Схемы отрезки плоским электродом (а), плоским диском (б), проволокой или лентой (в): 1 – заготовка; 2 – электрод-инструмент; 3 – сопло; $V_{п.эи}$, $V_{п.э}$ – соответственно скорости поступательного движения электрода-инструмента и заготовки; $V_{в.эи}$, $V_{в.э}$ – соответственно скорости вращательного движения электрода-инструмента и заготовки

Отрезку плоских заготовок лучше делать в 2 этапа. Сначала до половины высоты с одной стороны, затем перевернув на противоположную сторону повторить до половины стороны. Отрезка плоским диском ведется одновременно поступательным и вращательным движением, при этом заготовка неподвижно закреплена на рабочем столе или вращается. Отрезка круглых заготовок удобнее осуществлять при их вращательном движении, что позволяет повысить производительность.

Технология применяется для получения заготовок из труднообрабатываемых материалов в ванне, заполненной жидкостью или жидкость подается из сопла.

Электроэрозионное вырезание – электрод-инструмент, а именно, непрерывно перемещающаяся проволока, осуществляющая обход заготовки по заданной траектории, образуя поверхность заданного контура (рис. 3).

Данный вид электроэрозионной обработки применяется в инструментальном производстве при изготовлении матриц, копиров, шаблонов, цанг, лекал, фасонных резцов, а также для изготовления деталей в вакуумной и электронной

технике.

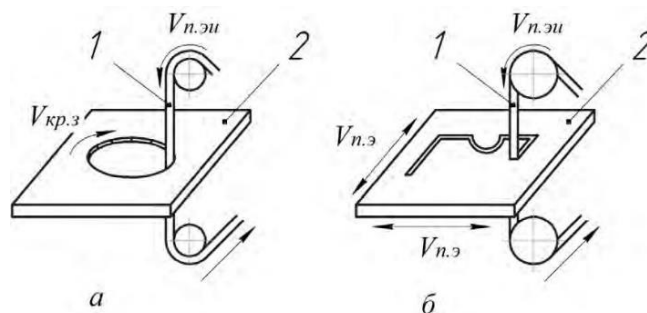


Рисунок 3 – Схемы вырезания проволокой круглого (а), профильного отверстия (б): 1 – электрод-инструмент; 2 – заготовка; $V_{п.эи}$, $V_{п.з}$ – соответственно скорости поступательного перемещения электрода-инструмента и заготовки; $V_{кр.з}$ – скорость кругового движения заготовки

Электроэрозионное прошивание – процесс погружения электрода-инструмента в электрод-заготовку, при этом образуя отверстие постоянного сечения.

Этим методом изготавливают сквозные и глухие отверстия различной формы, фасонные поверхности штампов и пресс-форм и удаляют из отверстий сломанный режущий инструмент.

Поскольку электроэрозионная обработка осуществляется практически без силового воздействия на заготовку, этот метод прошивания отверстий успешно применяют в тонкостенных изделиях типа фильтров и сит. Электроэрозионным методом можно получить соединительные каналы и пазы в деталях гидро- и пневмоаппаратуры практически любой формы, даже если они расположены в труднодоступных местах. Электроэрозионным методом можно получать отверстия малых диаметров (от 0,02 мм) в форсунках, распылителях, сетках и в заготовках других деталей.

Электроэрозионное прошивание отверстий может вестись на черновом, получистовом и чистовом режимах обработки. Для снижения погрешностей формы поперечного сечения обработанного отверстия, вызываемому погрешностями формы электрода-инструмента, ему могут придать дополнительное вращение $D_{эи}$. Электроэрозионной обработкой обычно прошивают отверстия на глубину до 20 диаметров при использовании стержневого электрода-инструмента и до 40 диаметров – трубчатого электрода-инструмента. При большой глубине отверстия ($l/D > 25$) прошивание осуществляют за несколько переходов, последовательно увеличивая диаметр электрода-инструмента и периодически выводя его из отверстия для удаления продуктов эрозии. Глубина прошивания отверстия может быть значительно увеличена (до $300D$), если вращать электрод-инструмент, прокачивать рабочую жидкость через межэлектродное пространство или отсасывать её из зоны обработки.

Прошивание круглых прямолинейных отверстий рис. 4, а осуществляется за счет поступательного движения электрода-инструмента или электрода-заготовки, дополнительно на электрод-инструмент может добавляться вибрации для стабилизации процесса.

Прошивание отверстий с криволинейной осью происходит поступательной подачей вдоль криволинейной оси электрода-инструмента. На рис. 4, б представлена схема прошивания отверстия с осью, изогнутой по окружности.

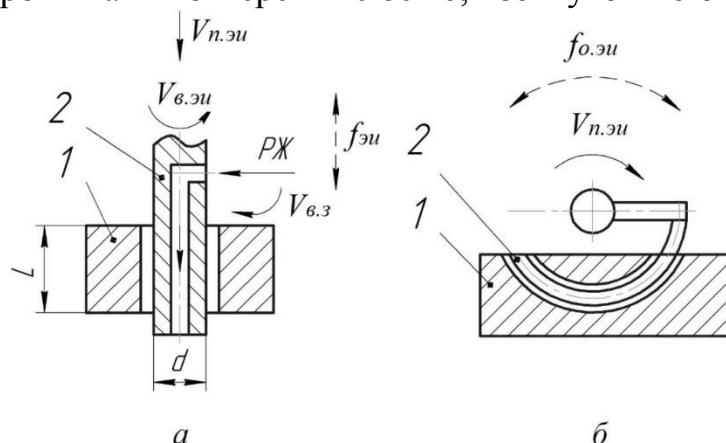


Рисунок 4 – Схемы прошивания круглых (а) и криволинейных (б) отверстий: 1 – заготовка; 2 – электрод-инструмент; $V_{п.эи}$ – скорость поступательного движения электрода-инструмента; $V_{в.эи}$, $V_{в.з}$ – соответственно скорости вращательного движения электрода-инструмента и заготовки; $V_{о.эи}$ – скорость осцилляции электрода-инструмента; $f_{о.эи}$ – частота колебаний электрода-инструмента

Чтобы обработать внутренний контур в заготовке, необходимо проделать технологическое отверстие для ввода проволочного электрода-инструмента.

Электроэрозионное прошивание обычно применяется для получения отверстий, щелей, каналов сложного профиля в труднообрабатываемых материалах.

Электроэрозионное объемное копирование – обработка, при которой форма инструмента копируется на поверхности электрода-заготовки по одноконтурной (для мелких деталей с поступательной подачей электрода и возможной дополнительной вибрацией) (рис. 5, а) или многоконтурной схеме (для крупногабаритных изделий, где электроды могут состоять из отдельных секций, изолированных прокладкой друг от друга) (рис. 5, б). При раздельном расположении секций электродов процесс реализуется на многошпиндельных станках с автоматическими регуляторами подач, вибраций и осцилляций (рис. 5, в).

Объемное копирование применяется в инструментальном производстве для обработки формообразующих элементов ковочных штампов, литейных форм, пресс-форм и т.д.

Основными соперниками электроэрозионной обработки по производству сложных инструментов, пресс-форм и штампов выступают трехкоординатная копировально-прошивочная обработка и высокоскоростное фрезерование.

Для предполагаемой модернизации технологии на примере объекта «Корпус опоры КВД» по результатам проведенного исследования предложено произвести обработку фрагмента данного объекта (рис. 6) электроэрозионным прошиванием, так как малый диаметр затрудняет применение механической обработки. Однако, фактическое внесение изменений в технологию на практике

сопряжено с возникающими рисками и, прежде всего, техническими рисками [5 - 7].

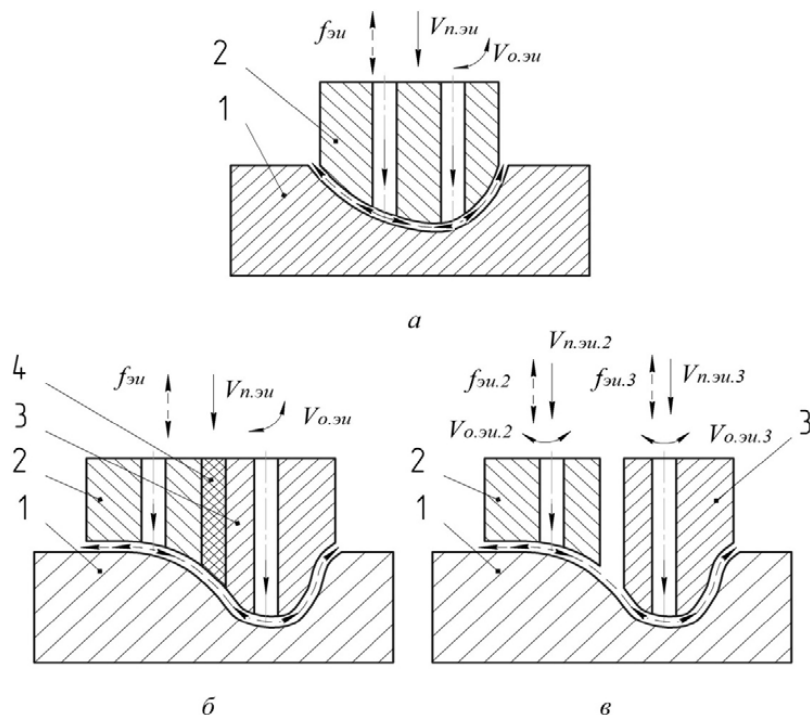


Рисунок 5 – Схемы объёмного копирования по одноконтурной схеме (а) и многоконтурной (б, в): 1 – заготовка; 2,3 – электроды-инструменты; 4 – прокладка; $V_{п.эи}$, $V_{п.эи.2}$, $V_{п.эи.3}$ – скорости поступательного перемещения электродов; $V_{о.эи}$, $V_{о.эи.2}$, $V_{о.эи.3}$ – скорости осцилляции электродов; $f_{эи}$, $f_{эи.2}$, $f_{эи.3}$ – частоты колебаний электродов

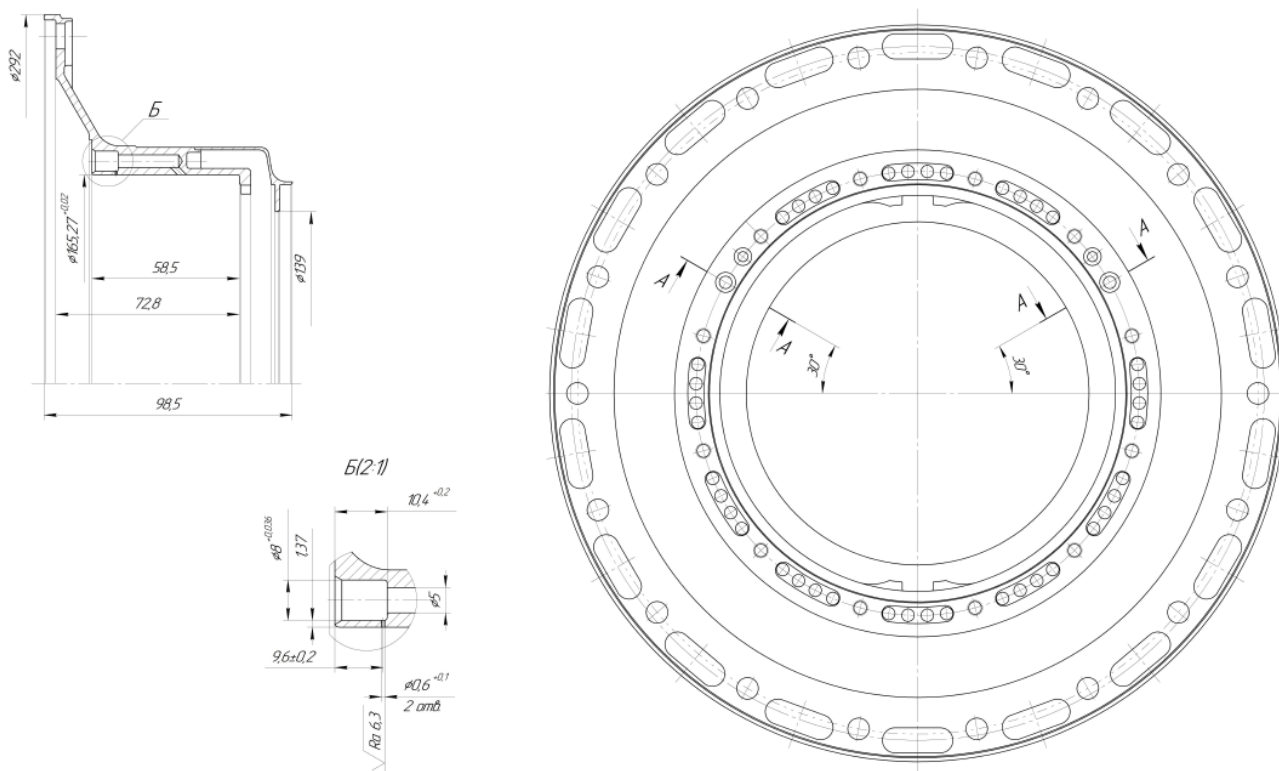


Рисунок 6 – Чертеж фрагмента объекта (жаропрочная сталь 07X12НМБФ – Ш), подверженный электроэрозионной обработке (параметры обработки отверстия:

глубина $l = 1,37$ мм, диаметр $d = 0,6$ мм, шероховатость поверхности после обработки $Ra = 6,3$

Электроэрозионные высокоскоростные прошивочные станки типа «супердрель» (Super Drill). Станки этого типа служат только для прошивки глубоких отверстий малого диаметра в диапазоне 0,05-6,5 мм глубиной до 300 диаметров в таких материалах, как твёрдые сплавы, закалённые и легированные стали, титан, карбидизированный вольфрам, высокопрочные композитные сплавы.

При прошивке отверстия сплошным инструментом-стержнем (проволокой) все его геометрические дефекты, такие как погрешность формы в поперечном и продольном сечениях, отклонение от прямолинейности оси, переносятся на заготовку в виде погрешностей формы и размеров получаемых отверстий. Недостатком данного вида обработки является также неэффективная эвакуация продуктов эрозии из зоны обработки. Поэтому глубина получаемых отверстий при таком методе обработки ограничена, а точность формообразования невысока.

Технология получения отверстия на электроэрозионных прошивочных станках типа «супердрель» заключается в электроэрозионной обработке вращающимся трубчатым электродом, через который прокачивается рабочая жидкость под большим давлением (до 7...10 МПа). В качестве рабочей жидкости на «супердрелях» используют негорючий диэлектрик на водяной основе, жидкие масла или дистиллированную воду.

Вращательное движение электрода-проволоки устраняет овальность получаемого отверстия, а применение трубчатых инструментов позволяет при использовании маловязких рабочих жидкостей эффективно удалить продукты эрозионного разрушения из глубоких отверстий. Производительность операции электроэрозионной прошивки может быть увеличена также за счёт орбитального движения электрода инструмента относительно оси обрабатываемого отверстия. При этом снижается конусность и появляется возможность регулирования размера отверстия в связи с изменением радиуса орбитального движения.

Использование вращающегося полого электрода-инструмента позволяет прошивать в заготовках наклонные отверстия с углом входа менее 20° . Точность входа электрода в обрабатываемую поверхность при этом обеспечивается направляющей кондукторной втулкой. При прошивании формируются отверстия с конусностью до 1,5 градусов на 100 мм длины и шероховатостью поверхности по параметру R_{max} более 15 мкм.

Станки могут иметь встроенную систему автоматизированного программирования. Это позволяет вести работу на пульте управления над новой программой во время изготовления детали по другой программе. Для выбора эффективного режима обработки в этой системе задают материалы заготовки и электрода-инструмента, диаметр и величину износа электрода-инструмента.

Для этой цели предложено: использовать материал электрода-инструмента – медь М1; обработку проводить на электроэрозионном прошивочном станке модели «Супердрель» 4С721Ф3-02, который отвечает заданным параметрам обработки.

Окончательное решение относительно модернизации технологии производства объекта «Корпус опоры КВД» должно приниматься с учётом возникающих при этом технических рисков в условиях промышленных предприятий и только после оценки последствий внесения изменений [8, 9] при условии соблюдения требуемого качества [10, 11] выпускаемой продукции.

Библиографический список

1. Технология производства авиационных газотурбинных двигателей: Учеб. пособие для вузов по направл."Авиа- и ракетостроение" и по спец. "Авиационные двигатели и энергетич. установки" и "Двигатели ЛА" / Ю.С. Елисеев [и др.]. - М: Машиностроение, 2003. – 511 с.

2. Высоцкая В.И., Маликов С.Б., Токмакова Т.В. Влияние электрофизических методов обработки на свойства КМ на основе высокотемпературных карбидов с металлическими наполнителями // Авиационная промышленность. 2018. № 2. С. 41-43.

3. Бойцов А.Г., Токмакова Т.В., Высоцкая В.И., Маликов С.Б. Влияние режимов электроэрозионного фрезерования на производительность прошивки отверстий малого диаметра в деталях ГТД // Авиационная промышленность. 2018. № 3-4. С. 35–37.

4. Бойцов А.Г., Токмакова Т.В., Высоцкая В.И., Маликов С.Б. Воздействие электроэрозионного фрезерования на обработку деталей ГТД из титановых сплавов // Авиационная промышленность. 2019. № 1. С. 45-47.

5. Маликов С.Б., Юрин В.Н. Риски параллельного выполнения работ конструкторско-технологической подготовки опытного производства авиационных двигателей. / Пятая Всероссийская научно-практическая конференция «Применение ИПИ-технологий в производстве». Труды конференции. М.: ИЦ «МАТИ»–РГТУ им. К.Э. Циолковского, 2007. С. 117–118.

6. Юрин В.Н., Маликов С.Б. Менеджмент рисков параллельного выполнения работ при конструкторско-технологической подготовке опытного производства деталей авиадвигателей // Технология машиностроения. 2012. № 3. С. 54-59.

7. Юрин В.Н., Маликов С.Б. Исследование документооборота при проектировании приспособлений на двигателестроительном предприятии / Авиадвигатели XXI. II Международная научно-техническая конференция, 2005, С. 330-331.

8. Маликов С.Б. Метод анализа технического риска при организации подготовки опытного производства деталей: дисс. ... канд. техн. наук. - М.: МАТИ, 2012. - 195 с.

9. Маликов С.Б., Юрин В.Н. Оценка последствий внесения изменений документов конструкторско-технологической подготовки производства в условиях параллельного выполнения работ. / Шестая Всероссийская научно-практическая конференция «Применение ИПИ-технологий в производстве». Труды конференции. – М.: ИЦ «МАТИ»–РГТУ им. К.Э. Циолковского, 2008. С. 75–76.

10. Высоцкая В. И., Добровольский В. И., Маликов С. Б. Разработка комплекса мер по повышению качества высокотехнологической продукции авиа-

ционной промышленности // Научные труды (Вестник МАТИ). Вып. 20 (92). М.: МАТИ, 2013. С. 276–281.

11. Высоцкая В. И., Маликов С. Б. Повышение качества продукции авиапрома // Восьмой международный аэрокосмический конгресс. Тезисы докладов. 2015. С. 199-200.