

2. Предложить алгоритм (прореживания) нормирования множества следов точек по множеству следов капель, полученных при натуральных испытаниях по схеме сопло-подвижная заслонка [3];

3. Найти условия сборки, при которых погрешности изготовления узла штуцера тепловых обогревателей инвариантны относительно угловой и круговой симметрий множеств распределений следов точечных потоков в области кольцевого зазора S и будут гарантировать согласованность геометрического формализма ТП с физическими процессами КП;

4. Определить свойство асимптотической симметрии точечно-капельных процессов по угловому и круговому признакам, от перераспределения норм точности изготовления между заготовительным и сборочным производствами.

Заключение

1. Разработанная модель представлена в виде точечных процессов ТП, которые эквивалентно отражают капельно-воздушные потоки на основе случайного распределения Пуассона и равномерностного распределения (прямая задача) и позволяют на этапе моделирования оценить процессы, происходящие в системе «штуцер-стакан», закрытые от наблюдателя.

2. Представленная модель связывает конструктивную симметрию с симметриями потока – круговой и угловой (обратная задача), что соответствует технологическим схемам изготовления узла штуцера на эвристическом уровне.

3. Модель позволяет отразить на точечно-капельных процессах виды погрешностей сборки, такие как смещение, перекося или совместное их проявление. Адекватность модели проверяется условиями круговой и угловой симметрий, что не требует большого количества экспериментов и ведет к меньшим затратам.

Литература

1. Олвер П. Приложения групп Ли к дифференциальным уравнениям: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989 – 639с.
2. Амбарцумян Р.В., Мекке Й., Штойян Д. Введение в стохастическую геометрию – М.: Наука, 1989 – 400с.
3. Толоконников С.В. Исследование динамических свойств опор скольжения // Вест. Самар. гос. техн. ун-та. Вып. 41. Сер. Техн. науки. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2006, С. 142 – 147.

Управление наследованием показателей качества при восстановлении, обработке, сборке и эксплуатации деталей машин

д.т.н., проф. Хейфец М.Л., к.т.н., доц. Лысов А.А., к.т.н., доц. Кусакин Н.А., Премент Г.Б.

Полоцкий государственный университет, Новополоцк, Беларусь

Обеспечение высокого качества продукции на этапе создания и освоения изделий заключается в организации такой технологической подготовки и осуществлении производства, при которых продукция соответствовала бы требованиям конструкторской документации и не имела бы вредных последствий от технологических методов обработки [1]. Поэтому все операции и их технологические переходы следует рассматривать не изолированно, а во взаимосвязи, так как конечные характеристики формируются всем комплексом технологических воздействий и изменяются при эксплуатации машины, ее техническом обслуживании и ремонте [1, 2].

Под наследственностью в технологии машиностроения подразумевают явление переноса свойств обрабатываемого объекта от предшествующих операций и переходов к последующим, которое в дальнейшем сказывается на эксплуатационных свойствах деталей машин [3, 4]. Носителями наследственной информации являются обрабатываемый материал и поверхности детали со всем многообразием описывающих их показателей. Носители информации активно участвуют в технологическом процессе и на стадиях эксплуатации, проходя че-

рез различные трансформации, испытывая воздействия технологических и эксплуатационных факторов [4, 5].

В цепочке технологических операций и при эксплуатации существуют своего рода «барьеры». Некоторые технологические факторы преодолеть эти «барьеры» не могут и в таком случае их влияние на дальнейшие свойства объекта отсутствуют. Другие факторы такие «барьеры» проходят, но при этом значительно теряют свою исходную силу и влияют на конечные свойства очень слабо [2, 3]. Следовательно, процессом технологического и эксплуатационного наследования можно управлять, с тем чтобы свойства, положительно влияющие на качество детали, сохранить в течение всей обработки и эксплуатации, а свойства, влияющие отрицательно, – ликвидировать в их начале [4, 5].

До недавнего времени в математическом описании технологического и эксплуатационного наследования использовались различные аналитические модели [2], так как считали, что управление процессами обработки детерминировано технологическими воздействиями на конкретных операциях технологического процесса [3], а управление при эксплуатации зависит от внешних стохастических факторов, влияние которых существенно изменяется в процессе изнашивания деталей машин [4, 5].

Однако в последнее время на основании анализа самоорганизации поверхностных явлений в технологических и эксплуатационных процессах показано, что их следует описывать с единых синергетических позиций [6]. При таком описании определяется ограниченное число сценариев поведения технологических и эксплуатационных систем, которыми можно управлять в устойчивых диапазонах выходных параметров качества. В результате обеспечивается возможность описания многократных циклов «производство-эксплуатация», которым подвергаются детали машин при их технологическом обслуживании и ремонте.

Цель работы – формирование методологии статистического анализа сквозного технологического и эксплуатационного наследования и изучение особенностей передачи показателей качества при восстановлении изношенных поверхностей деталей машин для структурно – параметрической оптимизации технологических процессов.

Методология статистического анализа технологического и эксплуатационного наследования.

Технологический процесс изготовления детали и ее эксплуатации в узле машины может быть представлен в виде графа, выделяющего заготовительные, черновые, чистовые и отделочные операции, а также обкатку, приработку и изнашивание на стадиях эксплуатации [2, 4]. Граф, как правило, является ориентированным [5], а показатели качества взаимосвязаны между собой (рис. 1).

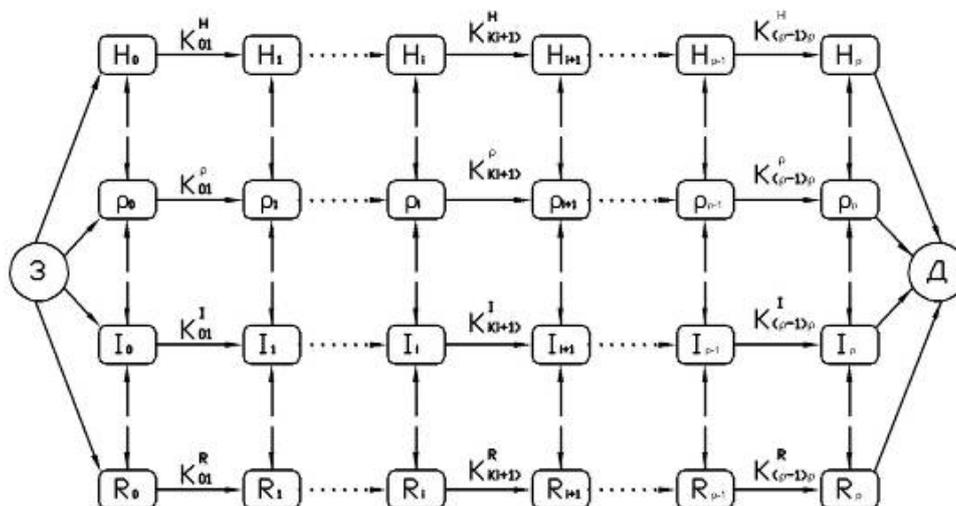


Рис. 1. Развернутый граф технологического и эксплуатационного наследования, учитывающий комплекс показателей качества.

Начальная вершина графа в технологическом процессе представляет собой заготовку (З), а конечная вершина в процессе эксплуатации – изношенную деталь (Д). Ориентированные ребра графа показывают передачу показателей качества детали при обработке, сборке и эксплуатации машин. Передача ребра описывается коэффициентом наследования K , показывающим количественное изменение свойства и равным отношению предыдущих S_{i-1} и последующих S_i значений свойства [2, 5]: $K = S_{i-1}/S_i$.

Вместе с прямой передачей свойств (рис. 1, сплошные линии) при технологическом и эксплуатационном наследовании целесообразно оценивать взаимовлияние свойств (рис. 1, штриховые линии). Общую структуру процессов производства и эксплуатации можно представить как сложную многомерную систему, в виде последовательности изменения основных показателей качества детали [2, 4]. На вход технологической системы обработки поступают различные характеристики заготовки $\{S_{10}, S_{20}, \dots, S_{m0}\}$, а на выходе эксплуатационной системы обеспечивается соответствующий набор тех же характеристик для изношенной детали $\{S_{1p}, S_{2p}, \dots, S_{mp}\}$. Эти изменения определяются действием совокупности $\{t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{in}\}$ факторов для каждой текущей φ_i операции технологического процесса и стадии эксплуатации машины [3, 4]. Так для показателя качества S_i с учетом предыдущей обработки или эксплуатации [2, 4]: $S_i = a_i S_{i-1}^{b_i}$.

Количественные связи технологической и эксплуатационной наследственности, зависящие от выбора методов обработки и условий эксплуатации, определяются коэффициентами b , а основные режимы обработки и эксплуатации внутри этих методов или условий – коэффициентами a . Коэффициент a_i описывает влияние факторов $t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{in}$ на рассматриваемый параметр качества S_i для операции или стадии φ_i и может быть представлен [2, 3]:

$$a_i = k_{i0} t_{i1}^{k_{i1}} t_{i2}^{k_{i2}} \dots t_{in}^{k_{in}},$$

где: $k_{i0}, k_{i1}, k_{i2}, \dots, k_{in}$ – эмпирические коэффициенты влияния технологических или эксплуатационных факторов.

Выполнив преобразования для показателей качества, получим описание коэффициента наследования:

$$K = a_i^{b_i} / S_i^{b_i+1}$$

Анализ зависимости показывает, что производство и эксплуатация могут быть представлены в виде как передачи значений свойств S_i (рис. 1, сплошные линии) между операциями и стадиями, которая описывается знаменателем отношения, так и взаимовлияния свойств (рис. 1, штриховые прерывистые линии) на конкретной операции или стадии через действие a_i совокупности факторов t_i с учетом предшествующего значения свойства, которое описывается числителем отношения.

В результате представление технологического и эксплуатационного наследования совокупности свойств $\{S_{1i}, S_{2i}, \dots, S_{mi}\}$ может быть трансформировано (рис. 2) с учетом выделения и описания взаимовлияния отдельных S_1, S_2, \dots, S_m показателей качества и совокупности факторов $\{t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{in}\}$ на каждой операции и стадии φ_i [3]. Упрощение структурной модели наследования показателей качества (рис. 2) путем минимизации количества ребер графа для сокращения объема исходных данных при статистическом анализе возможно посредством выделения основных параметров качества и определяющих связей при наследовании свойств.

Если на какой-либо операции или стадии φ_i коэффициент $b_i = 0$, то это означает отсутствие влияния исходного качества состояния заготовки на окончательное состояние после данного воздействия, что может служить интерпретацией действия операции и стадии φ_i как непреодолимого «барьера» [2, 3].

Для выявления основных наследуемых в эксплуатации показателей качества, посредством контроля которых целесообразно управлять технологическим процессом, проводится

АВС – анализ изменения в процессе эксплуатации [7] начальных геометрических параметров поверхности и физико-механических характеристик материала [2].

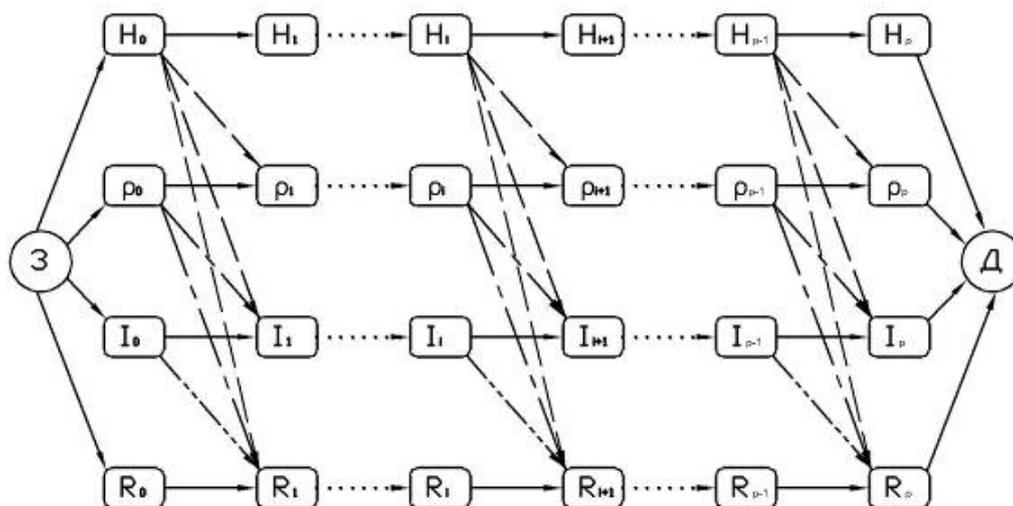


Рис. 2. Граф технологического и эксплуатационного наследования, отражающий взаимовлияние физико-механических и геометрических показателей качества.

АВС – анализ (рис. 3) показал, что в большинстве случаев, уже в период приработки (I), существенно меняется шероховатость (1) и структура поверхностного рельефа (2). Волнистость (3) и структура поверхностных слоев (4) изменяются при установившемся изнашивании (II). Точность размеров (5) и геометрическая форма поверхности (6) остаются в пределах допустимых значений даже в начале стадии катастрофического изнашивания (III). Только остаточные напряжения (7) и структура основного материала (8) могут сохраняться до полного разрушения трущихся поверхностей [2].

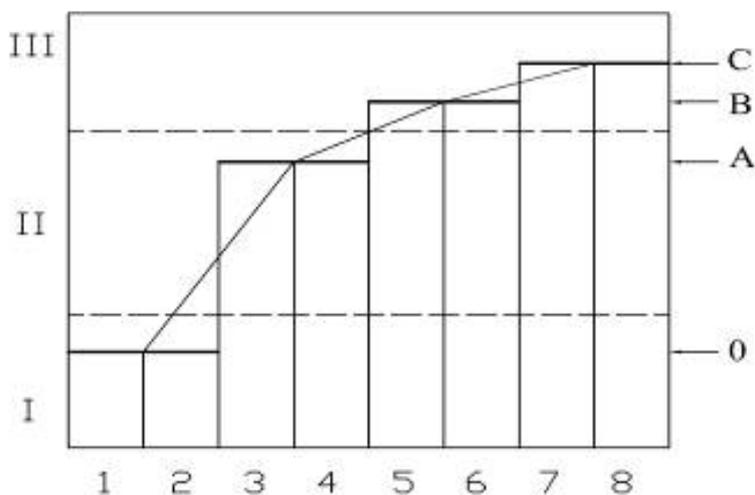


Рис. 3. АВС – анализ изменения в процессе эксплуатации (I-III) начальных показателей качества (1 – 8) : 0- формирование поверхности; А- изменение контактных нагрузок;

В- выход детали из строя; С- полное разрушение поверхности; I- приработка;

II- нормальное изнашивание; III- катастрофическое изнашивание; 1- шероховатость

поверхности; 2- структура поверхностного рельефа; 3- волнистость поверхности;

4- структура поверхностных слоев; 5- форма поверхности; 6- точность размеров;

7- остаточные напряжения; 8- структура основного материала.

Поэтому для изучения наследования выбирались оперативно и наименее трудоемко контролируемые физико-механические геометрические показатели качества из начальной и конечной групп (0–С). При этом особое внимание уделялось показателям (5, 6), претерпе-

вающим существенные изменения в начале катастрофического износа (В), связанного как с физико-механическими характеристиками материала (7, 8) так и с геометрическими параметрами рельефа поверхности (1, 3).

Изучение технологического наследования эксплуатационных свойств восстанавливаемых деталей.

Изучение технологического наследования по предложенной методологии проводилось для наиболее часто восстанавливаемых деталей, отвечающих за ресурс ремонтируемых двигателей – коленчатых и распределительных валов [8].

Для описания технологического наследования эксплуатационных свойств коленчатых и распределительных валов в процессе восстановления рассматривалась совокупность физико-механических и геометрических свойств (рис. 1 и 2): твердости (H), отклонений формы (ρ), точности размеров (I) и рельефа поверхности (R). Для этого в качестве определяющего свойства рабочих поверхностей деталей (рис. 3) принималась физико-механическая характеристика (8) – твердость по Роквеллу (HRC), так как твердость является одним из наиболее распространенных и общедоступных интегральных критериев оценки свойств материалов, позволяющим судить о прочностных и триботехнических характеристиках материала. В качестве зависимых от твердости параметров последовательно рассматривались отклонения формы поверхностей (6) – биения ρ , точность размеров (5) – квалитет IT и шероховатость поверхности (1) – среднеарифметическое отклонение профиля Ra .

Эксплуатационные параметры качества рабочих поверхностей детали (HRC , ρ , IT и Ra) измерялись после технологических операций механической обработки: точения, шлифования, полирования, а также после обкатки двигателя и его дальнейшей эксплуатации.

Измерения твердости HRC , отклонений формы ρ , точности размеров IT и рельефа поверхности Ra проводились на партии из пятидесяти деталей. При этом партия разбивалась по величине износа на десять групп, а в качестве расчетного значения принималось среднеарифметическое в группе. На основании расчетных результатов определялись коэффициенты передачи наследования K_H , K_ρ , K_I , K_R и коэффициенты взаимовлияния наследования свойств $K_{H\rho}$, K_{HI} , K_{HR} , $K_{\rho I}$, $K_{\rho R}$, K_{IR} . Для оценки наследования по технологическому маршруту и по стадиям эксплуатации рассчитывались результирующие коэффициенты K_p , равные произведению соответствующих коэффициентов для параметров качества по всей последовательности операций и стадий. Для определения степени влияния наследования на различных технологических операциях и стадиях эксплуатации рассчитывались коэффициенты сравнения K_c , равные отношению коэффициентов взаимовлияния на предшествующих и последующих операциях или стадиях.

Изучение экспериментальных данных в процессе восстановления позволило определить основные зависимости технологического наследования физико-механических и геометрических показателей качества рабочих поверхностей коленчатого вала двигателя.

Коэффициенты передачи показывают, что технологический процесс восстановления коренным образом отличается от рационального технологического процесса механической обработки. При механической обработке коленчатого вала на начальных операциях устраняется вредное влияние технологической наследственности, т.е. коэффициенты велики ($K \gg 1$) для геометрических и малы ($1 > K > 0$) для физико-механических параметров качества, а на заключительных операциях они стабилизируются ($K \rightarrow 1$).

При восстановлении коренных и шатунных шеек коленчатого вала в процессе ремонта двигателя как геометрические, так и физико-механические параметры сначала ухудшаются, а затем при механической обработке улучшаются. В результате по всему технологическому процессу физико-механические характеристики восстанавливаются, а геометрические (особенно связанные с микрорельефом поверхности) улучшаются.

Коэффициенты взаимовлияния позволяют оценить значимость как технологических операций, так и технологических факторов на отдельных операциях. Твердость материала

существенно влияет на геометрические параметры и сильнее всего это влияние на заключительных операциях для отклонений формы. Геометрические параметры поверхностей коренных и шатунных шеек наследуются слабо, особенно на начальных операциях. Причем для микрорельефа поверхности (шероховатости) чистовые операции восстановления являются технологическими «барьерами» (так как K_{pR} и $K_{IR} \rightarrow 0$). Влияние предыдущих геометрических параметров на последующие невелико. Наиболее заметно происходит изменение коэффициентов передачи для погрешности формы и точности обработки от черновых к чистовым операциям.

Анализ зависимостей влияния технологических факторов на наследование параметров качества в процессе восстановления дал возможность выявить определяющие процессы передачи свойств при механической обработке поверхностей коренных и шатунных шеек коленчатого вала двигателя. При окончательном шлифовании на твердость HRC и шероховатость Ra поверхности влияют радиальная и тангенциальная составляющие силы резания, которые определяются глубиной резания и подачей при шлифовании, а также скоростями вращения круга и заготовки. Поэтому для управления качеством обработки при равномерном припуске особое внимание следует уделять глубине резания и подаче шлифовального круга.

Изучение экспериментальных данных позволило определить основные зависимости технологического наследования физико-механических и геометрических параметров качества распределительного вала двигателя в процессе восстановления.

При восстановлении распределительного вала, так же как и коленчатого, геометрические, и физико-механические параметры сначала ухудшаются, а затем улучшаются. В целом по всему технологическому процессу физико-механические характеристики восстанавливаются, а геометрические улучшаются.

Геометрические параметры цилиндрических поверхностей опорных шеек наследуются слабо. Для микрорельефа поверхности операции восстановления играют роль технологических «барьеров». Дальнейшее влияние предыдущих геометрических параметров на последующие также не велико и сказывается только на точности обработки. Изменение твердости опорных шеек и кулачков распределительных валов двигателя показывает, что технологическими «барьерами» при восстановлении рабочих поверхностей являются операции наплавки, а окончательные геометрические параметры качества поверхностей формируются при шлифовании.

При исследовании технологических операций установлено, что в процессе электродуговой наплавки проволокой твердость поверхности стабилизируется (колебания в пределах 3–5 HRC), при этом исходные детали имели существенный разброс (до 10–15 HRC). После наплавки проволокой заданная в технической документации твердость обеспечивается последующей термической обработкой. Геометрические параметры поверхности (радиальное биение ρ , точность размеров IT , шероховатость поверхности Ra) после черновой обработки наследуются на чистовых операциях шлифования шеек и кулачков распределительного вала. Геометрические отклонения поверхностей после правки распределительного вала сохраняются на последующих операциях обработки и сборки.

В результате анализа установлено, что в процессе электродуговой наплавки проволокой на твердость HRC поверхности оказывают влияние сила тока электрической дуги, диаметр наплавочной проволоки, а также скорости подачи и главного движения обработки. Определяющим параметром для управления качеством наплавки является сила тока. При окончательном шлифовании на твердость HRC и шероховатость Ra поверхности влияют радиальная и тангенциальная составляющие силы резания, которые определяются глубиной резания и подачей при шлифовании, а также скоростями круга и заготовки.

По результатам исследований разработаны регламенты для операций технологических процессов восстановления деталей, позволяющие обеспечить в процессе наплавки стабильную твердость и однородность материала покрытия, а в процессе закалки высокую

твердость поверхности (53–56 HRC). Устранены операции правки из технологических процессов восстановления для снижения взаимного радиального биения поверхностей до 0.02 мм и обеспечения требуемой точности рабочих поверхностей.

Заключение

Таким образом, предложена методология анализа технологического и эксплуатационного наследования показателей качества деталей машин. Показано, что технологический процесс восстановления по коэффициентам передачи эксплуатационных свойств коренным образом отличаются от рационального процесса механической обработки. Анализ технологического и эксплуатационного наследования при восстановлении рабочих поверхностей колечатого вала и распределительного вала двигателя позволил пересмотреть последовательность технологических переходов (устранить операцию правки), регламентировать технологические воздействия (на операциях наплавки, закалки и шлифования) и обеспечить качество восстановления (стабильная твердость и точность рабочих поверхностей).

Литература

1. Ящерицын П.И., Акулович Л.М., Хейфец М.Л. Основы проектирования технологических комплексов в машиностроении. – Минск: Технопринт, 2006. - 248 с.
2. Технологические основы управления качеством машин/ А.С. Васильев, А.М. Дальский, С.А. Клименко и др. – М.: Машиностроение, 2003. - 256 с.
3. Ящерицын П.И., Рыжов Э.В., Аверченков В.И. Технологическая наследственность в машиностроении. – Минск: Наука и техника, 1977. - 256 с.
4. Ящерицын П.И., Скорынин Ю.В. Работоспособность узлов трения машин. – Минск: Наука и техника, 1984. - 288 с.
5. Дальский А.М. Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин. – М.: Машиностроение, 1975. - 223 с.
6. Хейфец М. Л. Проектирование процессов комбинированной обработки. – М.: Машиностроение, 2005. - 272 с.
7. Менеджмент качества предприятий машиностроения/ В.Н. Корешков, Н.А. Кусакин, Ж.А. Мрочек, М.Л. Хейфец.– Минск: Экономика и право, 2003.- 224 с.
8. Статистический анализ конструктивных элементов и технологических параметров деталей машин/ М.Л. Хейфец, В.С. Точило, В.И. Семенов и др. – Новополоцк: ПГУ, 2001. - 112 с.

Опережающая оценка качества и конкурентоспособности изделий при гибкой автоматической сборке

д.т.н., проф. Шабайкович В.А.

Жешувский технологический университет, Польша

Конкурентоспособность является свойством объекта (изделия, услуги, процесса или производства), которое характеризуется степенью реального или потенциального удовлетворения им конкретной потребности сравнительно с аналогичными объектами на определенном рынке и оценивается интегральной величиной, описывающей привлекательность изделий для потребителя и прибыльность для производителя. Безусловно, в производстве должна всегда обеспечиваться конкурентоспособность продукции, иначе в конечном итоге будет банкротство. Необходимо заметить, что каждое изделие в нужном количестве и качестве может быть изготовлено в производстве с разной эффективностью. Но даже при приемлемых производственных затратах, но больших эксплуатационных или высокой цене конкурентоспособность изделий становится сомнительной. Поэтому опережающая оценка конкурентоспособности намеченных к разработке и внедрению в производство технологических, конструкционных и организационных объектов является чрезвычайно важной, поскольку уже на проектной стадии технической подготовки производства можно выбрать наилучший вариант решения и не допустить изготовления неконкурентоспособных изделий [1].