

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СВОЙСТВ ОТНОШЕНИЙ И ОЦЕНКА КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ ИЗДЕЛИЯ

*Проф. Базров Б.М. (ИМАШ им. А.А.Благодирова РАН),
проф. Хейфец М.Л. (ИПФ НАН Беларуси),
проф. Попок Н.Н. (Полоцкий гос. ун-т)*

Аннотация. На основе технико-экономического анализа свойств отношений конструкторско-технологических решений предложен метод интегральной оценки производственной технологичности объединением различных коэффициентов технологичности, учитывающих степень их влияния на трудоемкость производства и обслуживания, ремонта и утилизации конструкции изделия. Предлагается под производственной технологичностью понимать технологичность конструкции изделия на этапах его производства и утилизации.

Введение. Определение и оценка изменений в технологических и эксплуатационных процессах, как показателей качества машин, так и стоимостных показателей с учетом их взаимного влияния затруднены многосвязным характером взаимодействий формирующегося и трансформирующегося изделия. Для разработки математического аппарата анализа технико-экономической эффективности показателей качества и стоимости изделий необходимо корректное понижение размерности задачи описания трансформации свойств [1].

Корректному решению такой задачи описания способствует замена множества объектов, взаимодействующих с изделием, одним объектом – технологической или эксплуатационной средой при возможной тождественности результатов замены. Определение характеристик многосвязной среды позволяет при известных результатах ее взаимодействия с изделием находить рациональные значения показателей качества изделия и осуществлять направленное формирование технологической и эксплуатационной среды [2].

Для формализации условий целенаправленного создания новых методов обработки каждая совокупность одноименных компонентов системы описывается как некоторое множество конструкторско-технологических решений (КТР). Такой подход [3] позволяет любой метод обработки представить в виде кортежа, каждый элемент которого является элементом соответствующего множества КТР.

Анализ свойств отношений конструкторско-технологических решений. Полагая, что если два любых компонента метода обработки обладают хотя бы одним общим свойством, то между ними существует связь по общности свойств. Это дает возможность организовать выбор КТР по эквивалентности и предпочтению [2]. По эквивалентности выбираются разноименные решения, которые по совокупности своих свойств должны соответствовать друг другу. По предпочтению выбираются решения из числа одноименных, обладающих наилучшими значениями необходимых свойств.

Такой подход позволяет формализовать условия выбора КТР по конкретному значению установленного критерия выбора и дает возможность выбирать решение по нескольким критериям, соответствующим различным свойствам КТР.

Принятие КТР в системах проектирования традиционно основывается на анализе эквивалентности ($x \equiv y$) и предпочтения (нестромого $x \leq y$ или строгого $x < y$) решений, заложенных в базу знаний. Это предполагает использование свойств [1]:

– **рефлексивности** ($x \equiv x$, $x \leq x$ – истинно; $x < x$ – ложно);

- **симметричности** ($x \equiv y \Rightarrow y \equiv x$ – истинно; $x \leq y$ и $y \leq x \Rightarrow x = y$ – антисимметрично; $x < y$ и $y < x \Rightarrow$ взаимоисключение – несимметрично);
- **транзитивности** ($x \equiv y$ и $y \equiv z \Rightarrow x \equiv z$, $x \leq y$ и $y \leq z \Rightarrow x \leq z$, $x < y$ и $y < z \Rightarrow x < z$ – истинно).

В результате, используя свойство транзитивности, наиболее предпочтительное из предыдущих решений сравнивается с новым предложенным или выбранным из базы знаний по свойствам симметрии параметров качества.

Однако в общем случае разные неэквивалентные КТР наиболее предпочтительны для различных параметров качества из требуемого комплекса свойств. В этом случае необходимо использовать доминирующее КТР ($x \ll y$), характеризующееся свойствами [1]:

- **антирефлексивности** ($x \ll x$ – ложно);
- **несимметричности** ($x \ll y$ и $y \ll x \Rightarrow$ взаимоисключение);
- **нетранзитивности** (из $x \ll y$ и $y \ll z$ не следует $x \ll z$).

Синергетическая концепция состояния технической системы. При отсутствии симметричности и транзитивности для определения доминирования параметра целесообразно применить синергетическую концепцию, использующую понятие моды непрерывной случайной величины, под которой понимают такое значение параметра, при котором плотность его распределения имеет максимум [2].

Согласно синергетической концепции устойчивые моды подстраиваются под доминирующие неустойчивые моды и в результате могут быть исключены. Это приводит к резкому сокращению числа контролируемых параметров – степеней свободы технической системы. Оставшиеся неустойчивые моды могут служить в качестве параметров порядка, определяющих производственные процессы [1]. При обосновании выбора КТР и синтезе методов обработки необходимо учитывать стоимость формирования параметров качества обработки и рассматривать механизмы управления технологическим процессом [2].

Вследствие избыточности технологической системы по структурному составу, целесообразно в качестве целевой функции вместо конкретных значений совокупности критериев выбора (определяемых численными коэффициентами) использовать комплексные критерии процессов, обобщающие оценку конструкторско-технологических решений коэффициентами, учитывающими их степень влияния на технико-экономические показатели процессов, их трудоемкость [3].

Таким образом, **целью работы** является обоснование выбора метода оценки технологичности конструкции изделия, по трудоемкости процессов на этапах его жизненного цикла и формирование комплекса критериев, обобщающих оценку конструкторско-технологических решений коэффициентами, учитывающими их степень влияния на технико-экономические показатели процессов.

Технологичность конструкции и этапы жизненного цикла изделия. Технологичность конструкции изделия (ТКИ) оказывает большое влияние на эффективность этапов жизненного цикла изделия - изготовления, эксплуатации, утилизации.

ТКИ должна показывать, насколько изделие приспособлено к эксплуатации, изготовлению и утилизации.

В литературе, посвященной технологичности КИ [4-8] и др. не рассматривается ТКИ на этапе утилизации изделия, что не дает полного представления о ТКИ.

В основе разделения ТКИ на эксплуатационную и производственную технологичность лежит разделение характера производимых работ на этих этапах.

Если сравнивать виды работ, производимых на этапах производства и утилизации, то можно отметить, что используются одни и те же технологии.

Например, при разрезке заготовок и утилизации деталей применяются одинаковые технологические методы; при изготовлении конструкции изделия (КИ) в ряде случаев производится частичная разборка собранного изделия, как и при утилизации изделия.

Поэтому производственная технологичность должна учитывать процессы производства и утилизации КИ.

Что касается эксплуатационной ТКИ, то условимся, что она должна учитывать не только работы, связанные с эксплуатацией КИ, но так же монтаж и ремонт КИ.

Все это должно найти отражение в формулировках понятия эксплуатационной и производственной технологичности КИ.

Согласно стандартам (ГОСТ 14.205-83. Технологичность конструкции изделий. Термины и определения; ГОСТ 14.201-83 Обеспечение технологичности конструкции изделий. Общие требования), под ТКИ понимается совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, техническом обслуживании и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ.

Как видно из этой формулировки, она не соответствует требованиям производственной технологичности. Она должна учитывать, во-первых, этап утилизации и, во-вторых, из формулировки следует исключить «объем выпуска», т.к. ТКИ зависит от технологии, а не от объема выпуска изделия и, в - третьих, следует исключить техническое обслуживание и ремонт, относящаяся к этапу эксплуатации изделия.

В связи с этим предлагается следующая формулировка производственной технологичности: *под производственной ТКИ понимается совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве и утилизации для заданных показателей качества и условий выполнения работ.*

Отработка КИ на технологичность осуществляется на всех этапах ее создания и утилизации.

Эффективность процесса отработки КИ на технологичность, во многом, зависит от достоверности оценки ТКИ.

Оценка уровня производственной ТКИ осуществляется на этапах ее проектирования, технологической подготовки производства, изготовления и утилизации.

Наиболее сложно оценить ТКИ, когда неизвестны технологии ее изготовления и утилизации. Поэтому на этом этапе, оценка уровня ТКИ должна производиться, во-первых, не в абсолютных, а в относительных величинах, т.е. определяться степенью влияния характеристик КИ на трудоемкость и себестоимость изделия.

И, во - вторых, в качестве характеристик КИ должны учитываться только те, которые непосредственно не связаны с технологическими процессами изготовления и утилизации изделия. Например, к таким характеристикам относится разнообразие элементов содержащихся в КИ, которые не связаны непосредственно с технологическими процессами изготовления КИ, но в то же время влияют на трудоемкость ее изготовления. Например, чем больше разнообразие элементов в КИ, тем больше трудоемкость ее изготовления.

Методы оценки технологичности конструкции изделия. При оценке ТКИ применяются два метода:

- оценка по показателям трудоемкости и себестоимости изделия;
- оценка с помощью коэффициентов технологичности КИ.

По первому методу оценки ТКИ дается ответ, соответствуют значения трудоемкости и себестоимости нового изделия заданным значениям или не соответствуют. Если значения трудоемкости и себестоимости нового изделия окажутся выше заданных, то требуется отработка КИ на технологичность.

Отработка КИ на технологичность должна начинаться, в первую очередь, с тех характеристик КИ, которые оказывают наибольшее влияние на трудоемкость изготовления и утилизации изделия.

Первый метод оценки ТКИ не дает информации о том, какие характеристики КИ и в какой степени влияют на трудоемкость и себестоимость изделия. Это приводит к

увеличению трудоемкости процесса отработки КИ на технологичность и во многом зависит от субъективного фактора в лице технолога.

В отличие от первого метода оценки ТКИ, второй метод потенциально позволяет установить, какие характеристики КИ и в какой степени влияют на трудоемкость изготовления и утилизации изделия.

Это позволяет установить характеристики КИ, которые оказывают наибольшее влияние на трудоемкость изделия и с которых надо начинать совершенствование КИ, с целью повышения ее технологичности и тем самым повысить эффективность этого процесса.

В связи с изложенным, будем рассматривать оценку уровня производственной ТКИ вторым методом.

Коэффициенты производственной технологичности конструкции изделия. Оценка производственной ТКИ, во-первых, должна учитывать этапы, как производства, так и утилизации изделия.

Во-вторых, коэффициенты технологичности должны отражать степень влияния характеристик КИ на трудоемкость производства и утилизации.

Как показал анализ работы [5], посвященной вопросу оценки ТКИ, с помощью коэффициентов технологичности, отражающих влияние характеристик КИ на трудоемкость ее изготовления наибольшее распространение нашли следующие коэффициенты:

Коэффициент сборности (K_{CB}) определяется как отношение числа специфицируемых составных частей изделия (равное числу сборочных единиц) к общему числу его составных частей:

$$K_{CB} = \frac{E}{E + D}$$

где E – число сборочных единиц

D – число деталей.

Коэффициент стандартизации изделия (K_{CT}) определяется из формулы:

$$K_{CT} = \frac{E_{CT} + D_{CT}}{E + D}$$

где $E_{CT} = E_{CT.3} + E_{CT.П} + E_{CT.И}$ — число стандартных сборочных единиц в изделии;

$D_{CT} = D_{CT.3} + D_{CT.П} + D_{CT.И}$ — число стандартных деталей, являющихся составными частями изделия и не вошедших в E_{CT} (стандартные крепёжные детали не учитываются);

$E_{CT.3}$ и $D_{CT.3}$ — соответственно число заимствованных стандартных сборочных единиц и деталей;

$E_{CT.П}$ и $D_{CT.П}$ — соответственно число покупных стандартных сборочных единиц и деталей;

$E_{CT.И}$ и $D_{CT.И}$ — соответственно число сборочных единиц и деталей, стандартизация которых осуществлена при разработке данного изделия.

Показатель выражает стандартизацию изделия, учитывая все составные части, кроме крепёжных деталей.

Коэффициент унификации изделия (K_Y) определяется из формулы

$$K_Y = \frac{E_Y + D_Y}{E + D}$$

где $E_Y = E_{Y.3} + E_{Y.П} + E_{CT}$ — число унифицированных сборочных единиц в изделии;

$D_Y = D_{Y.3} + D_{Y.П} + D_{CT}$ — число унифицированных деталей, являющихся составными частями изделия и не вошедших в E_Y (стандартные крепёжные детали не учитываются);

$E_{Y.3}$ и $D_{Y.3}$ — соответственно число заимствованных унифицированных сборочных единиц и деталей;

$E_{У.П}$ и $D_{У.П}$ — соответственно число покупных унифицированных сборочных единиц и деталей;

$E_{СТ}$ и $D_{СТ}$ — соответственно число стандартных сборочных единиц и деталей;

$E = E_{У} + E_{ОР}$ — количество сборочных единиц в изделии;

$D = D_{У} + D_{ОР}$ — количество деталей, являющихся составными частями изделия;

$E_{ОР}$ и $D_{ОР}$ — соответственно число оригинальных сборочных единиц и деталей.

Коэффициент типизации ($K_{ТИП}$) определяется из формулы:

$$K_{ТИП}^{К.И} = \frac{Q_{С.К}}{Q_{С.К}^{Т.П}}$$

где $Q_{С.К}$ — число структурных компонентов (элементов и связей между ними) в данном исполнении изделия, соответствующих компонентам типового представителя группы исполнений;

$Q_{С.К}^{Т.П}$ — общее число компонентов типового представителя группы однотипных исполнений изделия.

Коэффициент повторяемости ($K_{ПОВ}$) определяется из формулы

$$K_{ПОВ} = 1 - \frac{Q}{E + D}$$

где Q — число наименований составных частей;

$(E + D)$ — общее число составных частей в изделии.

Коэффициент точности обработки ($K_{ТЧ}$) определяется из формулы:

$$K_{ТЧ} = 1 - \frac{1}{A_{ср}} = 1 - \frac{\sum n_i}{\sum A \cdot n_i}, \quad \text{где}$$

$$A_{ср} = \frac{\sum A \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{n_1 + 2n_2 + 3n_3 + \dots}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots} \quad \text{— средний класс точности}$$

обработки изделия;

A — класс точности обработки;

n_i — число размеров соответствующего класса точности.

Коэффициент шероховатости ($K_{Ш}$):

$$K_{Ш} = 1 - \frac{1}{B_{ср}} = 1 - \frac{\sum n_{im}}{\sum B \cdot n_{im}}, \quad \text{где}$$

$$A_{ср} = \frac{\sum B \cdot n_{im}}{\sum n_{im}} = \frac{n_1 + 2n_2 + 3n_3 + \dots}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots} \quad \text{— средний класс точности обработки изделия;}$$

B — класс шероховатости поверхности;

n_{im} — число поверхностей соответствующего класса шер..

Коэффициент эффективности взаимозаменяемости ($K_{В.З}$) определяется из формулы:

$$K_{В.З} = \frac{T_{СБ} - (T_{ПР} + T_{Г.ВЗ})}{T_{СБ}} = 1 - \frac{T_{ПР} + T_{Г.ВЗ}}{T_{СБ}},$$

где $T_{СБ}$ — трудоёмкость сборочных работ;

$T_{ПР}$ — трудоёмкость пригоночных работ;

$T_{Г.ВЗ}$ — трудоёмкость работ по методу групповой взаимозаменяемости.

Коэффициент контролепригодности (K_k) определяется из формулы:

$$K_k = T_{о.к} / (T_{о.к} + T_{всп.к}), \quad \text{где}$$

$T_{о.к}$ — трудоёмкость изделия в основных операциях технического контроля;

$T_{всп.к}$ — трудоёмкость изделия во вспомогательных операциях технического контроля.

Величина массы изделия (M) является важной технической характеристикой изделия, которая используется как абсолютный показатель и для сравнительной оценки.

В процессе изготовления составных частей масса изделия характеризует необходимость применения грузоподъемных средств и другие условия процесса производства.

Коэффициент применяемости материала ($K_{п.м}$) определяется как отношение суммарной массы данного материала в изделии к общей массе конструкции изделия:

$$K_{п.м} = \frac{M_{iM}}{M}$$

Анализ приведенных коэффициентов технологичности показал, во-первых, что отсутствуют коэффициенты технологичности КИ на этапе ее утилизации, во-вторых, приведенные коэффициенты не разделены по этапам эксплуатации и изготовления изделия и, в-третьих, имеют следующие существенные недостатки:

– не охватывают все характеристики КИ, влияющие на трудоемкость производства и утилизации изделия;

– не отражают степени влияния характеристик КИ на трудоемкость производства и утилизации изделия.

В качестве примера последнего недостатка ниже приведена формула коэффициента точности обработки

$$K_{тч} = 1 - \frac{\sum n_i}{\sum A n_i}$$

из которой видно отсутствие коэффициента, учитывающего степень влияния точности обработки на трудоемкость технологических переходов.

Это означает, что при равных значениях разных коэффициентов технологичности, их влияние на трудоемкость может быть разным, например, при равных значениях $K_{ст.}$ и $K_{нов.}$ наличие стандартных элементов снижает трудоемкость производства КИ в большей степени, чем наличие повторяемых элементов.

Перечисленные недостатки сводят на нет преимущества этого метода, т.к. не позволяют определить коэффициенты технологичности, оказывающие наибольшее влияние на трудоемкость изготовления КИ и тем самым выявить характеристики КИ, с улучшения которых следует начинать отработку КИ на технологичность.

Итак, для полной оценки производственной ТКИ необходим комплексный подход, учитывающий трудоемкость производства и утилизации КИ.

Комплексная оценка трудоемкости на этапах жизненного цикла изделия. Для решения этой задачи следует рассматривать трудоемкость КИ, как сумму производственной трудоемкости и трудоемкости утилизации (рис.1), где T_1 - трудоемкость конструкторской подготовки КИ, T_2 , - трудоемкость технологической подготовки производства КИ, T_3 - трудоемкость изготовления КИ, T_4 - трудоемкость технологической подготовки утилизации КИ, T_5 - трудоемкость утилизации КИ, T_{11} - трудоемкость проектно-расчетных работ, T_{12} - трудоемкость разработки рабочей документации, T_{21} - трудоемкость разработки процессов изготовления детали, T_{22} - трудоемкость разработки сборочного процесса, T_{23} - трудоемкость разработки и изготовления технологической оснастки, T_{31} - трудоемкость подготовительно-заключительных работ изготовления деталей, T_{32} - трудоемкость технологических переходов изготовления деталей, T_{33} - трудоемкость вспомогательных переходов, T_{34} - трудоемкость подготовительно-заключительных сборочных работ, T_{35} - трудоемкость соединения деталей, T_{36} - трудоемкость вспомогательных переходов соединения деталей, T_{41} - трудоемкость разработки технологических процессов утилизации, T_{42} - трудоемкость разработки и изготовления технологической оснастки, T_{51} - трудоемкость подготовительно-заключительных работ, T_{52} - трудоемкость технологических переходов утилизации деталей, T_{53} - трудоемкость вспомогательных переходов утилизации деталей, T_{54} - трудоемкость разборки КИ.

11	Методы достижения точности		+						+	
+ – влияние характеристики на подвид трудоёмкости										

На основании данных таблицы 1 был определен перечень коэффициентов технологичности изготовления КИ [9] и разработаны их расчетные формулы:

1. **Коэффициент покупаемости** ($K_{\text{ПОК}}$):

$$K_{\text{ПОК}} = a_1 a_{11} \frac{\sum \Delta_{\text{ПОК}i} b_{\text{СЛ}i}}{\Delta} + a_1 a_{13} \frac{\sum \Delta_{\text{ПОК}i} b_{\text{СЛ}i}}{\Delta} + a_2 a_{21} \frac{\sum \Delta_{\text{ПОК}i} b_{\text{СЛ}i}}{\Delta} + a_2 a_{22} \frac{\sum \Delta_{\text{СЛ}i} b_{\text{П}i}}{\Delta} + a_2 a_{23} \frac{\sum \Delta_{\text{ПОК}i} b_{\text{СЛ}i}}{\Delta}, \quad (1)$$

где $\Delta_{\text{ПОК}i}$ – i -ый покупной элемент;

$b_{\text{СЛ}i}$ – коэффициент отражающий уровень сложности конструкции i -ого элемента;

Δ – общее количество элементов в КИ;

a_1 – степень влияния T_1 на T ;

a_2 – степень влияния T_2 на T ;

a_{11} – степень влияния T_{11} на T_1 ;

a_{13} – степень влияния T_{13} на T_1 ;

a_{21} – степень влияния T_{21} на T_2 ;

a_{22} – степень влияния T_{22} на T_2 ;

a_{23} – степень влияния T_{23} на T_2 .

2 **Коэффициент заимствования** (K_3).

$$K_3 = a_1 a_{11} \frac{\sum \Delta_{3i} b_{\text{СЛ}i}}{\Delta - \Delta_{\text{П}}} + a_1 a_{13} \frac{\sum \Delta_{3i} b_{\text{СЛ}i}}{\Delta - \Delta_{\text{П}}}, \quad (2)$$

где Δ_{3i} – i -ый заимствованный элемент.

3 **Коэффициент повторяемости деталей.**

$$K_{\text{ПВД}} = a_1 a_{11} \frac{\sum (D_{\text{ПВД}} - D_{\text{ПВД.3}} - 1)_i b_{\text{СЛ}i}}{D - D_{\text{ПОК}} - D_3} + a_1 a_{13} \frac{\sum (D_{\text{ПВД}} - D_{\text{ПВД.3}} - 1)_i b_{\text{СЛ}i}}{D - D_{\text{ПОК}} - D_3} + a_2 a_{21} \frac{\sum (D_{\text{ПВД}} - 1)_i b_{\text{СЛ}i}}{D - D_{\text{ПОК}} - D_3}, \quad (3)$$

где $D_{\text{ПВД.3}}$ – число повторяемы заимствованных деталей.
 $D_{\text{ПВД}}$ – количество повторяемых деталей i -ой группы.

4 Коэффициент повторяемости соединений.

$$K_{\text{ПВС}} = a_1 a_{12} \frac{\sum (C_{\text{ПВС}} - 1)_i b_{\text{СЛ.С}i}}{C} + a_1 a_{13} \frac{\sum (C_{\text{ПВС}} - 1)_i b_{\text{СЛ.С}i}}{C} + a_2 a_{24} \frac{\sum (C_{\text{ПВС}} - 1)_i b_{\text{СЛ.С}i}}{C}, \quad (4)$$

где $C_{\text{ПВС}}$ – количество повторяемых соединений i -ой группы;
 C – общее количество соединений;
 $b_{\text{СЛ.С}i}$ – коэффициент уровня сложности конструкции соединения i -ой группы;
 a_{12} – степень влияния T_{12} на T_1 ;
 a_{24} – степень влияния T_{24} на T_2 .

5 Коэффициент типизации:

$$K_{\text{ТИП}} = a_1 a_{11} \frac{\sum (\sum D_{\text{ТИП}})_i b_{\text{СЛ}i} b_{\text{ТИП}i}}{D - D_{\text{П}} - D_3 - D_{\text{ПВ}}}, \quad (5)$$

$\sum D_{\text{ТИП}}$ – количество деталей группы i -ого типового представителя;
где $b_{\text{ТИП}i}$ – степень влияния типовых деталей i -ой на сокращение трудоёмкости их изготовления;
 $b_{\text{СЛ}i}$ – коэффициент уровня сложности конструкции деталей i -ой группы типового представителя.

6 Коэффициент точности деталей:

$$K_{\text{ТЧ}} = a_2 a_{22} \left(1 - \frac{n_s}{\sum A_i b_{\text{ТЧ}Si} b_{\text{ТЧ}i}} \right), \quad (6)$$

где A_i – значение i -ого качества точности размера деталей в изделии;
 $b_{\text{ТЧ}i}$ – коэффициент учитывающий трудоёмкость достижения точности A_i при обработке детали;
 n_s – число площадей поверхностей деталей в изделии;
 $b_{\text{ТЧ}Si}$ – доля площади i -ой поверхности детали, от общей площади поверхностей всех деталей в изделии принятой за единицу.

7 Коэффициент шероховатости поверхностей деталей.

$$K_{\text{Ш}} = a_2 a_{22} \left(1 - \frac{n}{\sum B_i b_{\text{Ш}i} b_{\text{Ш}Si}} \right), \quad (7)$$

где B_i – значение i -ого параметра шероховатости поверхностей деталей в изделии;
 n – количество поверхностей деталей в изделии;
 $b_{\text{Ш}Si}$ – доля площади k -ой поверхности детали от общей площади поверхностей всех деталей в изделии принятой за единицу;
 $b_{\text{Ш}i}$ – коэффициент степени влияния B_i на трудоёмкость обработки i -ой поверхности.

8 Коэффициент эффективности методов достижения точности

для замыкающих звеньев размерных цепей.

$$K_{\text{МРЦ}} = a_2 a_{25} \frac{\text{ПВ}b_{\text{ИЗ.ПВ}} + \text{НП}b_{\text{ИЗ.НП}} + \text{ГВ}b_{\text{ИЗ.ГВ}} + \text{РЕ}b_{\text{ИЗ.РЕ}} + \text{ПР}b_{\text{ИЗ.ПР}}}{\text{ПВ} + \text{НП} + \text{ГВ} + \text{РЕ} + \text{ПР}}, \quad (8)$$

где ПВ – число размерных цепей собирающихся методом полной взаимозаменяемости; НП – число размерных цепей собирающихся методом неполной взаимозаменяемости; ГВ – число размерных цепей собирающихся методом групповой взаимозаменяемости; РЕ – число размерных цепей собирающихся методом регулировки;

ПР — число размерных цепей собирающихся методом пригонки; $b_{\text{ИЗ.ПВ}}$ — коэффициент степени влияния метода полной взаимозаменяемости на трудоёмкость изготовления КИ; $b_{\text{ИЗ.НП}}$ — коэффициент степени влияния метода неполной взаимозаменяемости на трудоёмкость изготовления КИ; $b_{\text{ИЗ.ГВ}}$ — коэффициент степени влияния метода групповой взаимозаменяемости на трудоёмкость изготовления КИ; $b_{\text{ИЗ.РЕ}}$ — коэффициент степени влияния метода регулировки на трудоёмкость изготовления КИ; $b_{\text{ИЗ.ПР}}$ — коэффициент степени влияния метода пригонки на трудоёмкость изготовления КИ;

9. Коэффициент соединений.

$$K_C = a_2 a_{25} \left(\frac{\sum n_i b_{Ci} b_{SCi}}{n} \right), \quad (9)$$

n_i — количество соединений i -ого вида;

n — количество соединений в изделии;

b_{Ci} — степень влияния i -ого вида соединения на трудоёмкость (у цилиндрических подвижных b_{Ci} будет иметь минимальное значение, а у сварных соединений максимальное);

b_{SCi} — доля площадей контакта i -ого вида соединения от общей площади контакта всех соединений в изделии принятой за единицу;

a_{25} — степень влияния T_{25} на T_2 .

10. Коэффициент массы элементов.

$$K_M = a_2 a_{23} \left(\frac{\sum n_i b_{Mi}}{n} \right) + a_2 a_{26} \left(\frac{\sum n_i b_{Mi}}{n} \right), \quad (10)$$

где n_{Mi} — количество элементов i -ого значения массы;

n — количество элементов в изделии;

b_{Mi} — степень влияния i -ого значения массы элемента на трудоёмкость;

n — количество элементов в изделии;

a_{26} — степень влияния T_{26} на T_2 .

11 Коэффициент твёрдости материала деталей.

$$K_{ТВ} = a_2 a_{22} \left(\frac{\sum n_{Ti} b_{ТВi} b_{СТВi}}{n} \right), \quad (11)$$

где n_{Ti} — количество деталей i -ого значения твёрдости материала;

n — количество деталей в изделии;

$b_{ТВi}$ — степень влияния i -ого значения твёрдости материала детали на трудоёмкость.

Коэффициенты « a » отражающие степени влияния коэффициентов технологичности на трудоёмкость определяются из следующих отношений:

$$a_1 = \frac{T_1}{T}, \quad a_{11} = \frac{T_{11}}{T_1}, \quad a_{12} = \frac{T_{12}}{T_1}, \quad a_{13} = \frac{T_{13}}{T_1},$$

$$a_2 = \frac{T_2}{T}, \quad a_{21} = \frac{T_{21}}{T_2}, \quad a_{22} = \frac{T_{22}}{T_2}, \quad a_{23} = \frac{T_{23}}{T_2}, \quad a_{24} = \frac{T_{24}}{T_2}, \quad a_{25} = \frac{T_{25}}{T_2}, \quad a_{26} = \frac{T_{26}}{T_2}.$$

Приведённые расчетные формулы коэффициентов технологичности позволяют определить интегральную оценку уровня технологичности на этапе изготовления КИ посредством суммирования их значений.

По такой же методике определяются коэффициенты технологичности конструкторской подготовки КИ и ее утилизации.

Заключение

Таким образом, на основе технико-экономического анализа свойств отношений конструкторско-технологических решений предложен метод интегральной оценки производственной технологичности в жизненном цикле изделия. Метод оценки объединяет различные коэффициенты технологичности, учитывающие степень их

влияния на трудоемкость производства и обслуживания, ремонта и утилизации конструкции изделия. По результатам технико-экономической оценки предлагается под производственной технологичностью понимать технологичность конструкции изделия на этапах его производства и утилизации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Обеспечение качества изделий в технологических комплексах / Под общ. ред. М.Л.Хейфеца / С.А. Чижик, П.А. Витязь, М.Л. Хейфец и др.– Минск: Беларус. навука, 2019.–248с.
2. Технологические основы управления качеством машин / А.С. Васильев, А.М. Дальский, С.А.Клименко и др. – Москва: Машиностроение, 2003. – 256 с.
3. 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.
4. Технологичность конструкций изделий: Справочник / Ю.Д. Амиров, Т.К. Алфёрова, П.Н. Волков. — М.: Машиностроение, 1985. — 368 с.
5. Базров Б.М., Троицкий А.А. Анализ коэффициентов технологичности конструктивного исполнения изделия // Научноёмкие технологии в машиностроении 2018 №7 С. 23-26
6. Балабанов, А. Н. Технологичность конструкций деталей машин М.: Машиностроение, 1987 .— 336 с.
7. Бочкарев П. Ю., Бокова Л. Г. Оценка производственной технологичности деталей.— Лань . 2017 — 132 с.
8. Методика отработки конструкций на технологичность и оценки уровня технологичности изделий машиностроения и приборостроения. - М.: Изд-во стандартов, 1976. - 56 с.
9. Троицкий А.А. Расчетные формулы коэффициентов производственной технологичности конструкции изделия // Научноёмкие технологии в машиностроении 2020 № 8 С. 25-28.