

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ФОРМАЛЬНЫХ ОЦЕНОК ПОДОБИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

А.И. Кондаков

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва

Показано, что современные системы автоматизации технологического проектирования являются системами лишь операционного уровня и не позволяют объективно оценивать и использовать подобие проектных решений. Обоснована актуальность исследований, направленных на выявление и использование для повышения эффективности подготовки производства связей и количественных формальных оценок подобия конструктивных и технологических проектных решений.

Изложен научно-методический подход к определению и использованию при подготовке производства деталей машин количественных оценок подобия конструктивных и технологических проектных решений. Указаны приложения оценок подобия проектных решений при подготовке производства.

Показано, что соотношение оценки подобия состава маршрутных технологических процессов изготовления любых двух деталей одной группы и оценки конструктивного подобия по составу технологических комплексов этих же деталей позволяет прогнозировать ожидаемые значения оценок технологического подобия заданной детали и детали предполагаемого аналога. Это позволяет организовать автоматизированный поиск технологических процессов-аналогов, требующих минимальной корректировки при преобразовании в единичные процессы изготовления заданных деталей.

Использование формально определяемых в соответствии с предложенным подходом оценок подобия конструктивных и технологических проектных решений способствует повышению эффективности подготовки производства за счет: направленного поиска ближайших процессов-аналогов, объективного формирования групп технологически подобных деталей, объективного оценивания технологических возможностей производственной системы.

Ключевые слова: проектные решения, подготовка производства, конструктивное решение, технологическое решение, поддержка, подобие, деталь.

Введение. Усложнение конструкции машин, рост требований к их эксплуатационному качеству, острая конкуренция на рынке машин требуют резкого сокращения длительности производственно-технологических этапов их жизненного цикла при возрастающем качестве принимаемых и реализуемых конструктивных и технологических проектных решений [1, 2]. Это невозможно без использования систем их автоматизированной поддержки (Decision Support Systems) [3].

Современные системы поддержки решений при подготовке производства машин далеки от совершенства и способны выполнять ее лишь информационно [4]. Создание полноценных систем интеллектуальной поддержки подготовки машиностроительного производства является делом будущего. Причина – недостаточная разработанность методических основ формирования решений при подготовке производства и его реализации, частный характер используемых технологических знаний и закономерностей. Не решена проблема автоматизации синтеза структур объектов технологического проектирования [5, 6]. Системы автоматизации технологического проектирования являются системами лишь операционного уровня. Существующие методы классификации и моделирования предметов производства, например, деталей, обладают принципиальными недостатками.

Для современной подготовки производства машин характерен низкий уровень формализации возникающих в ней связей и закономерностей. Отсутствуют количественные оценки, позволяющие объективно оценивать и использовать преемственность (подобие) проектных решений. Недостаточно исследованы связи конструктивных и технологических решений. Отсутствие количественных оценок этих связей сделало, например, малоэффективным применение аппарата кла-

стерного анализа [7] для формирования групп технологически подобных изделий (деталей). Сказанное свидетельствует об актуальности исследований, направленных на выявление и использование для повышения эффективности подготовки производства связей и количественных формальных оценок подобия конструктивных и технологических проектных решений.

1. Формализация и сравнение конструктивных решений

Под конструктивным понимаем проектное решение, полная реализация которого в производственно-технологическом цикле приводит к созданию физического (материального) объекта, соответствующего цели его создания. Оно является доминирующим проектным решением при подготовке производства машин независимо от структуры жизненного цикла изделия – последовательной [2], или измененной в соответствии с методологией Concurrent Engineering [8, 9]. Воплощением сформированного конструктивного решения является модель предмета производства, например, (здесь и далее) детали, обычно импортируемая из системы CAD. Модель – носитель информации для формирования последующих проектных решений. Однако модель в виде, в котором ее обычно получают из CAD, содержит избыточную информацию и малоприспособна для использования при автоматизации технологической подготовки производства. Необходимо корректно понизить размерность описания детали, как предмета производства. Этому вполне отвечает декомпозиция модели детали на комплексы поверхностей, объединенных общностью технологии формообразования [10].

Технологический комплекс (Т-комплекс) – совокупность поверхностей различных типов, которые могут быть обработаны совместно при непрерывном движении инструмента по заданной траектории или обработаны комплектом последовательно используемых инструментов при реализации элементарного маршрута обработки комплекса. Каждому комплексу ставится в соответствие конечное множество технологических методов, которые, в зависимости от предполагаемых условий производства и требований к качеству изготовления, могут быть использованы отдельно, или в совокупности, как операции для изготовления поверхностей, образующих Т-комплекс.

Каждый Т-комплекс характеризуют множества:

- типов входящих в него поверхностей;
- технологических атрибутов (показателей производственного или эксплуатационного качества) входящих в него поверхностей;
- внешних атрибутов, обеспечивающих связь данного комплекса с другими комплексами.

Модель детали (D) представима в виде:

$$D \equiv \langle \{TK\}, G_{TK} \rangle, \quad (1)$$

где $\{TK\}$ – множество идентификаторов выделенных Т-комплексов, определяющих состав модели детали; G_{TK} – граф связей Т-комплексов, входящих в состав модели детали, определяющий структуру последней.

Разработан каталог Т-комплексов и правила декомпозиции моделей деталей [10]. При отсутствии средств автоматизированного выделения Т-комплексов в модели детали возможна ее субъективная декомпозиция. Проведенными исследованиями доказано слабое влияние субъективизма декомпозиции на содержание проектных решений, принимаемых на основе последней [11].

При соблюдении следующих условий сравнимости возможно количественное оценивание конструктивного подобия моделей деталей D_B и D_C :

- тождественность функций, выполняемых сравниваемыми деталями в сборочных единицах (машинах);
- принадлежность сравниваемых деталей одному диапазону габаритных размеров и размеров функциональных (рабочих) поверхностей;
- принадлежность к одному классу по принятому классификатору;
- сходство групп материала и его основных свойств (технологических и эксплуатационных);
- сходство основных производственных и эксплуатационных показателей качества.

Независимые оценки конструктивного подобия моделей деталей D_B и D_C могут быть получены:

- по составу образующих модели Т-комплексов $(S_{B,C})_{TK}^K$;
- структуре связей Т-комплексов в моделях деталей $(S_{B,C})_{TK}^G$.

Количественно обе оценки можно определить по формуле:

$$(S_{B,C})_K^* = \frac{2m}{b+c}, \quad (2)$$

где $(S_{B,C})_K^*$ – значение выбранной оценки $(S_{B,C})_K^{TK}$ или $(S_{B,C})_K^G$ конструктивного подобия моделей деталей D_B и D_C . Для оценки $(S_{B,C})_K^{TK}$: m – число тождественных Т-комплексов в составах моделей деталей D_B и D_C ; b и c – число Т-комплексов в составах моделей деталей D_B и D_C соответственно. Для выбранной оценки $(S_{B,C})_K^G$: m – число тождественных связей Т-комплексов моделей деталей D_B и D_C ; b , c – число связей в сравниваемых графах деталей D_B и D_C соответственно [12].

В графах связей G_{TK} , используемых при оценивании конструктивного подобия сравниваемых деталей, узлами являются Т-комплексы только обрабатываемых поверхностей последних, а ребрами – условно показываемые связи Т-комплексов. Не стремятся отображать пространственную структуру деталей, а показывают лишь явные связи (контакты) Т-комплексов. Разработана система правил, позволяющих однозначно строить графы связей Т-комплексов даже сложных деталей, не имеющих осей симметрии [13].

Между оценками конструктивного подобия существуют количественные соотношения, определяемые классами сравниваемых деталей. В частности, для сравниваемых деталей гидроцилиндров общего назначения, являющихся телами вращения:

$$(S_{*,*})_K^G \approx 0,75...0,83(S_{*,*})_K^{TK}, \quad (3)$$

при относительной погрешности не более 10 % [13]. Значения оценок конструктивного подобия находятся в интервале $0, \dots, 1$. При $b > c$ в (2) максимальное значение любой оценки конструктивного подобия моделей деталей D_B и D_C составит:

$$(S_{A,B})_K^* = \frac{2c}{b+c}.$$

Чем больше значение оценки, тем больше сходство конструктивных решений.

2. Формализация и сравнение технологических решений

Технологическим называют любое решение, принятое при подготовке производства или непосредственном производстве, связанное с определением или изменением состояния предмета производства и направленное на обеспечение выпуска продукции. Объектом технологического решения всегда является технологический объект соответствующего функционального класса (оборудование, технологический метод, технологический процесс, инструмент и т. д.).

Каждый объект проектного технологического решения может быть представлен в предикатной форме [14]:

$$R(A_0, A_1, A_2, \dots, \{A_{ij}\}, \dots, A_S), \quad (4)$$

где R – предикатное слово, определяющее функциональный класс объекта; A_0 – идентификатор экземпляра объекта (главный атрибут); A_1, \dots, A_S – атрибуты объекта; $\{A_{ij}\}$ – множество однородных атрибутов объекта. Предикат указанной структуры определяет конкретный экземпляр (В) объекта класса R , если определены конкретные значения атрибутов, и они соответствуют значениям у определяемого экземпляра объекта:

$$B = R(a_0^B, a_1^B, a_2^B, \dots, \{a_{ij}\}^B, \dots, a_S^B), \quad (5)$$

где $a_0^B, a_1^B, a_2^B, \dots, \{a_{ij}\}^B, \dots, a_S^B$ – значения атрибутов объекта B .

Два объекта (В) и (С) одного и того же функционального класса (R) тождественны, если:

$$\begin{aligned} a_0^B \neq a_0^C; a_1^B \equiv a_1^C; a_2^B \equiv a_2^C; \dots; \\ \{a_{ij}\}^B \equiv \{a_{ij}\}^C; \dots; a_S^B \equiv a_S^C. \end{aligned} \quad (6)$$

При невыполнении хотя бы одного тождества (из указанных), объекты не тождественны. Объекты одного и того же функционального класса, не являющиеся тождественными, могут находиться в отношении подобия [15].

Объекты В и С одного и того же функционального класса подобны по метрическому (действительному или целочисленному) атрибуту a_i , если:

$$|a_i^B - a_i^C| \leq d_i, \quad (7)$$

где d_i – значение дистанционной функции (действительное или целое число).

Если объекты В и С представлены только метрическими атрибутами, то оценка их подобия:

$$S_{B,C} = \frac{P_{B,C}}{n}, \quad (8)$$

где $p_{B,C}$ – число атрибутов объектов, для которых создается условие подобия; n – общее число атрибутов объекта ($n = b = c$).

Объекты В и С одного и того же функционального класса (R) подобны по символьному атрибуту a_i , если:

$$a_i^B \equiv a_i^C. \quad (9)$$

При одинаковом числе атрибутов оценку подобия определяют по (8).

Реальные технологические объекты представляются атрибутами как метрическими, так и символьными, причем число атрибутов в сравниваемых объектах может быть различным ($b \neq c$).

Оценку подобия объектов В и С определяют по (2), в которой b, c – число атрибутов, соответственно, объектов В и С; m – число пар атрибутов сравниваемых объектов, для которых выполняются условия подобия (7), (9). В общем случае $b \neq c$. Приведенная оценка учитывает лишь состав (список) атрибутов технологических объектов. Структура последних (связи их элементов) не учитывается.

В зависимости от функционального класса объекта решения и выполняемой технологической задачи, определяемые технологические объекты могут рассматриваться как неструктурированные, или как структурированные.

Неструктурированные технологические объекты не имеют внутренней структуры и представляются списками атрибутов. Оценка подобия их состава определяют по (2). Сравнивают лишь одноименные или однородные атрибуты.

Для структурированных технологических объектов могут определяться:

- оценка подобия состава $(S_{B,C})_T^C$;
- оценка подобия структуры $(S_{B,C})_T^{CT}$.

Оценка подобия состава определяется аналогично описанному выше. При оценивании подобия структуры учитывают не только характеристики (свойства, значения) элемента, но и его место (связи) в объекте как в систем.

В общем случае

$$(S_{B,C})_T^{CT} \approx 0,65 \dots 0,8 (S_{B,C})_T^C. \quad (10)$$

При решении практических задач более целесообразно использование оценок подобия состава (как проще определяемых).

Пример: Сравниваемые технологические объекты – маршрутные технологические процессы изготовления деталей В и С, представленные последовательностями технологических операций.

Процесс В:

1. Фрезерно-центровальная
2. Токарно-винторезная
3. Токарно-винторезная
4. Токарная с ЧПУ
5. Токарная с ЧПУ
6. Токарная с ЧПУ
7. Токарная с ЧПУ
8. Вертикально-фрезерная
9. Вертикально-сверлильная
10. Токарно-винторезная
11. Токарно-винторезная

12. Круглошлифовальная

13. Круглошлифовальная

Процесс С:

1. Токарно-винторезная

2. Токарно-винторезная

3. Горизонтально-фрезерная

4. Вертикально-сверлильная

5. Шпоночно-фрезерная

6. Токарная с ЧПУ

7. Токарная с ЧПУ

8. Круглошлифовальная

9. Круглошлифовальная

Оценка подобия состава:

$$(S_{B,C})_T^C = \frac{2 \cdot 7}{13 + 9} \approx 0,63.$$

Оценка подобия структуры (за базовую структуру для сравнения взят процесс С):

$$(S_{B,C})_T^{CT} = \frac{2 \cdot 5}{13 + 9} \approx 0,45.$$

Оценка подобия состава и структуры могут быть определены для любых технологических объектов при соответствующих уровнях их представления как систем.

3. Связи и приложения оценок подобия проектных решений

Экспериментально установлено существование устойчивых соотношений между количественными оценками конструктивного и технологического подобия, линейно аппроксимируемых по методу наименьших квадратов с относительной погрешностью не более 10 % для деталей одной группы [13]. В частности, для основных деталей гидроцилиндров:

– поршни:

$$(S_{*,*})_T^C = 0,169(S_{*,*})_K^{TK} + 0,813; \quad (11)$$

– крышки задние:

$$(S_{*,*})_T^C = 0,509(S_{*,*})_K^{TK} + 0,347; \quad (12)$$

– штоки:

$$(S_{*,*})_T^C = 0,054(S_{*,*})_K^{TK} + 0,849; \quad (13)$$

– крышки передние:

$$(S_{*,*})_T^C = 0,436(S_{*,*})_K^{TK} + 0,587; \quad (14)$$

В (11)–(14) обозначено $(S_{*,*})_T^C$ – оценка подобия состава маршрутных технологических процессов изготовления любых двух деталей данной группы; $(S_{*,*})_K^{TK}$ – оценка конструктивного подобия по составу Т-комплексов тех же деталей. Зависимости (11)–(14) позволяют прогнозировать ожидаемые значения оценок технологического подобия заданной детали и детали – предполагаемого аналога. Это позволяет организовать автоматизированный поиск технологических процессов-аналогов, требующих минимальной корректировки при преобразовании в единичные процессы изготовления заданных деталей [13], [16].

Количественные оценки подобия сравниваемых конструкций деталей или технологических процессов их изготовления являются мерами сходства последних и имеют многочисленные апробированные практические приложения, способствующие совершенствованию подготовки производства деталей машин:

1. Направленное формирование групп технологически подобных деталей [17, 18]. Оценка подобия является значением функции принадлежности деталей к одной группе.

2. Оценка технологического потенциала производственной системы и возможности эффективного изготовления в ней деталей заданной номенклатуры [19].

3. Проектирование технических (технологических) комплексов по изготовлению деталей машин [20].

Изложенное является частью оригинальной теории принятия проектных решений [21], являющейся основой одноименного учебного курса.

Выводы

1. Уровень автоматизации поддержки проектных решений при подготовке производства деталей машин не отвечает современным требованиям. Исследования связей и возможностей использования при подготовке производства количественных, формально определяемых, оценок подобия конструктивных и технологических проектных решений актуальны.

2. Использование формально определяемых в соответствии с предложенным подходом оценок подобия конструктивных и технологических проектных решений способствует повышению эффективности подготовки производства за счет: направленного поиска ближайших процесс-аналогов, объективного формирования групп технологически подобных деталей, объективного оценивания технологических возможностей производственной системы.

Литература

1. Miller, F.P. *Product lifecycle management* / F.P. Miller, J. Mcbrewster, A.F. Vandome. – Verlag: Lphascript Publishing, 2010. – 124 p.
2. *Управление жизненным циклом продукции* / А.Ф. Колчин, М.В. Овсянников, А.Ф. Стрекалов, С.В. Сумароков. – М.: Анахарсис, 2002. – 304 с.
3. Sprague, R. *A Framework for the development of decision support systems* / R. Sprague // *MIS Quarterly*. – 1980. – Vol. 4, № 4. – P. 1–25.
4. Turban, E. *Decision support systems and intelligent systems* / E. Turban, J.E. Aronson. – New Delhi: Prentice Hall of India, 2007. – 574 p.
5. *Интеллектуальное производство: состояние и перспективы развития* / под ред. М.Л. Хейфеца и Б.П. Чемисова. – Новополюк: ПГУ, 2002. – 268 с.
6. *Направленное формирование свойств изделий машиностроения* / А.С. Васильев, А.М. Дальский, Ю.М. Золотаревский, А.И. Кондаков. – М.: Машиностроение, 2005. – 352 с.
7. Spath, H. *Cluster dissection and analysis: theory, Fortran programs, examples* / H. Spath. – New York: Halsted Press, 1985. – 217 p.
8. Rosenblatt, A. *Concurrent engineering* / A. Rosenblatt, G. Watson // *IEEE Spectrum*. – 1991. – July. – P. 22–37.
9. Miller, L.C.G. *Concurrent engineering design: integrating the best practices for process improvement* / L.C.G. Miller. – Dearborn, Mich.: Society of Manufacturing Engineers, 1993. – 319 p.
10. Кондаков, А.И. *Формирование информационной основы проектирования маршрутных процессов изготовления деталей* / А.И. Кондаков // *Справ. Инженер. журн.* – 2001. – № 3. – С. 15–20.
11. Кондаков, А.И. *Формирование первичных решений при параллельном проектировании машин* / А.И. Кондаков, Р.Б. Мешков // *Вестн. компьютер. и информ. технологий.* – 2006. – № 4. – С. 43–45.
12. Зайцев, А.В. *Автоматизация поддержки решений при подготовке производства гидроцилиндров* / А.В. Зайцев // *Изв. высш. учеб. заведений. Машиностроение.* – 2012. – № 6. – С. 59–65.
13. Кондаков, А.И. *Применение оценок подобия для поиска процесс-аналогов изготовления деталей машин* / А.И. Кондаков, А.В. Зайцев // *Справ. Инженер. журн.* – 2012. – № 7. – С. 13–20.
14. Кондаков, А.И. *Теория принятия проектных решений* / А.И. Кондаков, А.С. Васильев // *Справ. Инженер. журн.* – 2014. – № 8. – С. 50–55.
15. Кондаков, А.И. *Структурное наследование и подобие технологических объектов* / А.И. Кондаков // *Вестник МГТУ. Машиностроение.* – 1997. – № 2. – С. 89–95.
16. Кондаков, А.И. *Подобие единичных процессов изготовления деталей и их ближайших процесс-аналогов* / А.И. Кондаков, А.В. Зайцев // *Изв. высш. учеб. заведений. Машиностроение.* – 2013. – № 5. – С. 39–42.
17. Кондаков, А.И. *Формирование групп технологически подобных деталей при обеспечении загрузки производственных систем* / А.И. Кондаков // *Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение.* – 2001. – № 3. – С. 117–126.

18. Кондаков, А.И. Использование подобия решений при реформировании машиностроительного производства / А.И. Кондаков // *Машиностроитель*. – 2003. – № 11. – С. 41–46.

19. Кондаков, А.И. Экспресс-оценка возможности изготовления изделий в производственной системе фиксированной структуры / А.И. Кондаков, К.С. Горлышев // *Вестник машиностроения*. – 2002. – № 5. – С. 53–56.

20. Кондаков, А.И. Использование отношений проектных решений при разработке технологических комплексов / А.И. Кондаков, В.В. Галий // *Справ. Инженер. журн.* – 2013. – № 8. – С. 14–17.

21. Кондаков, А.И. Теория принятия проектных решений: конспект лекций / А.И. Кондаков, А.С. Васильев. – М.: Издат. дом «Спектр», 2015. – 104 с.

Кондаков Александр Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения», Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, e-mail: kondakov1950@mail.ru.

Поступила в редакцию 7 июня 2016 г.

DOI: 10.14529/engin160305

IMPROVEMENT OF PREPRODUCTION MACHINE COMPONENTS ON THE BASE OF APPLYING FORMAL ESTIMATION OF SIMILARITY PROJECT DECISIONS

A.I. Kondakov, kondakov1950@mail.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

It is show, that technological design automation systems are system of only operation level, which don't allow to estimate a similarity of project design objectively. Relevance of the researches directed to identification and use for increase efficiency of preproduction communications and quantitative formal estimates of similarity of constructive and technology project solutions is proved.

Scientific and methodical approach to determination and use by quantitative estimates of similarity of constructive and technology project solutions in preproduction machine components is stated. Applications of estimates of similarity of project decisions are specified in preproduction.

It is shown that the ratio estimation of similarity of route technological processes structure of production any two details of one group and estimation of constructive similarity on structure of technological complexes of the same details allows to predict the expected values of estimates of technological similarity of the set detail and a detail of an estimated analog. It allows to organize the automated search of the technological processes analogs demanding the minimum adjustment when transforming to single processes of production the set details.

Use formally determined according to the offered approach estimates of similarity of constructive and technology project solutions promotes increase in efficiency of preparation of production for the account: directed search of the next processes analogs, objective forming of groups of technologically similar details, objective estimation of technological capabilities of a production system.

Keywords: Mechanical engineering; Import substitution; Problem; Criteria; Production preparation; Competitiveness.

References

1. Miller F.P., Mcbrewster J., Vandome A.F. *Product lifecycle management*. Lphascript Publishing – VDM Verlag, 2010. 124 p.

2. Kolchin A.F., Ovsyannikov M.V., Strekalov A.F., Sumarokov S.V. *Upravlenie zhiznennym tsiklom produktsii* [Production Life Circle Management]. Moscow, Anakharsis Publ., 2002, 304 p.

3. Sprague R.A. Framework for the Development of Decision Support Systems. *MIS Quarterly*, 1980, vol. 4, no. 4, pp. 1–25.
4. Turban E., Aronson J.E. *Decision Support Systems and Intelligent Systems*. New Delhi: Prentice Hall of India, 2007. 574 p.
5. Kheiphetch M.L., Chemisov B.P. (Eds.) *Intellektual'noe proizvodstvo: sostoyanie i perspektivy razvitiya* [Intelligent Production: Current Situation and Development Prospects]. Novopolotsk, PSU, 2002. 268 p.
6. Vasiliev A.S., Dal'ski A.M., Zolotarevski Yu.M., Kondakov A.I. *Napravlennoe formirovanie svoystv izdeliy mashinostroeniya* [Directional Forming of Machine Building Industry Products Features]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2005. 352 p.
7. Spath H. *Cluster Dissection and Analysis: Theory, Fortran Programs, Examples*. New York, Halsted Press, 1985. 217 p.
8. Rosenblatt A., Watson G. Concurrent Engineering. *IEEE Spectrum*, 1991, July, pp. 22–37.
9. Miller L.C.G. *Concurrent Engineering Design: Integrating the Best Practices for Process Improvement*. Dearborn, Mich.: Society of Manufacturing Engineers, 1993. 319 p.
10. Kondakov A.I. [Forming Innovative Basis for Designing Routed Processes of Components Production]. *Reference Book. Engineering Magazine*, 2001, no. 3, pp. 15–20. (in Russ.)
11. Kondakov A.I., Meshkov R.B. [Technological Modelling of Parallel Designing of Engineering]. *J. Bulletin of Computer and IT Technologies*, 2008, no. 4, pp. 43–45. (in Russ.)
12. Zaitsev A.V. [Automation of Decisions Support for Hydro Cylinders Pre-Production]. *J. Higher Educational Institutes News. Machine Constructio*, 2012, no. 6, pp. 59–65. (in Russ.)
13. Kondakov A.I., Zaitsev A.V. [Implementing Similarity Evaluations for Finding Analogue Processes of Machines Components Production]. *J. Reference Book. Engineering Magazine*, 2012, no. 7, pp. 13–20. (in Russ.)
14. Kondakov A.I., Vasiliev A.S. [Theory of Making Design Decisions]. *J. Reference Book. Engineering Magazine*, 2014, no. 8, pp. 50–55. (in Russ.)
15. Kondakov A.I. [Structural Succession and Dimilarity of Technological Processes]. *J. MSTU Bulletin. Machine Construction*, 1997, no. 2, pp. 89–95. (in Russ.)
16. Kondakov A.I., Zaitsev A.V. [Similarity of Components Manufacturing Unit Processes and Their Closest Analogue Processes]. *J. Higher Educational Institutes News. Machine Construction*, 2013, no. 5, pp. 39–42. (in Russ.)
17. Kondakov A.I. [Forming Technologically Similar Components Groups When Assuring Full Load of Production Systems]. *J. MSTU Bulletin. Machine Construction Series*, 2001, no. 3, pp. 117–126. (in Russ.)
18. Kondakov A.I. [Using Decisions Similarity When Reforming Machine Construction Production]. *J. Mechanical Engineer*, 2003, no. 11, pp. 41–46. (in Russ.)
19. Kondakov A.I., Gorlyshev K.S. [Express-Evaluation of Possibility of Producing Goods in Production System with Fixed Structure]. *J. Machine Constructing Industry Bulletin*, 2002, no. 5, pp. 53–56. (in Russ.)
20. Kondakov A.I., Gali V.V. [Using Design Decisions Relations When Developing Technological Complexes]. *J. Reference Book. Engineering Magazine*, 2013, no. 8, pp. 14–17. (in Russ.)
21. Kondakov A.I., Vasiliev A.S. *Teoriya prinyatiya proektnykh resheniy: konspekt lektsiy* [Theory of Taking Design Decisions: Summary of Lectures]. Moscow, Publishing House Specter, 2015. 104 p.

Received 7 June 2016

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Кондаков, А.И. Совершенствование подготовки производства деталей машин на основе применения формальных оценок подобия проектных решений / А.И. Кондаков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2016. – Т. 16, № 3. – С. 36–43. DOI: 10.14529/engin160305

FOR CITATION

Kondakov A.I. Improvement of Preproduction Machine Components on the Base of Applying Formal Estimation of Similarity Project Decisions. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2016, vol. 16, no. 3, pp. 36–43. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin160305