

УДК 519.816:004.421.4

АЛГОРИТМ ПОДБОРА СОСТАВА НЕСТАНДАРТНОГО ИЗДЕЛИЯ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

С. С. Коваль

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: s230389@rambler.ru

Описан один из возможных алгоритмов формирования состава нестандартного изделия, а именно, алгоритм подбора состава на основании указанных критериев отбора, основных и дополнительных требований к конструкции. Общее взаимодействие процесса формирования состава изделия и процедуры оптимизации, представлено пошаговым описанием и UML-диаграммами. Особенностью алгоритма является то, что на каждом уровне раскрытия конструкции, проводится расчет интегрального критерия оптимальности и сокращение множества допустимых вариантов исполнений по условию Парето. На основе рассчитанного интегрального критерия оптимальности проводится сравнение и упорядочение вариантов решений. Усовершенствованный алгоритм позволяет из имеющейся номенклатурной базы предприятия предложить оптимальное решение для конструктора, формирующего техническое предложение потенциальному заказчику по его требованиям.

Ключевые слова: нестандартное изделие, подсистема оптимизации, интегральный критерий оптимальности, множество Парето.

АЛГОРИТМ ПІДБОРУ СКЛАДУ НЕСТАНДАРТНОЇ ПРОДУКЦІЇ НА МАШИНОБУДІВНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

С. С. Коваль

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: s230389@rambler.ru

Описано один з можливих алгоритмів формування складу нестандартної продукції, а саме, алгоритм підбору складу на підставі зазначених критеріїв відбору, основних і додаткових вимог до конструкції. Загальна взаємодія процесу формування складу продукції та процедури оптимізації, представлено покроковим описом й UML-діаграмами. Особливістю алгоритму є те, що на кожному рівні розкриття конструкції, проводиться розрахунок інтегрального критерію оптимальності та скорочення множини допустимих варіантів виконань за умовою Парето. На основі розрахованого інтегрального критерію оптимальності проводиться порівняння й упорядкування варіантів рішень. Вдосконалено алгоритм дозволяє з наявної номенклатурної бази підприємства запропонувати оптимальне рішення для конструктора, що формує технічну пропозицію потенційному замовнику за його вимогами.

Ключові слова: нестандартна продукція, підсистема оптимізації, інтегральний критерій оптимальності, множина Парето.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Анализ процессов формирования технического предложения при составлении контракта на изготовление состава нестандартного изделия [1, 2] показывает, что необходимо учитывать ограничения как по условиям, выдвигаемым заказчиком (перечень требований заказчика с различной степенью важности), так и от предприятия (учет незавершенного производства и задела предприятия, готовность предприятия выпустить нестандартную продукцию на данный период времени). Кроме того, необходимо учитывать обширность номенклатурной базы выпускаемой продукции и всевозможной взаимозаменяемости деталей и узлов, которые позволят оптимальным образом выбрать вариант конструкции.

При решении таких задач многокритериальной оптимизации (МКО) приходится решать специфические вопросы, связанные с неопределенностью целей и несоизмеримостью критериев. Перечислим основные проблемы, возникающие при разработке методов МКО [3–6].

1. Проблема нормализации разнородных критериев, то есть приведение критериев к единому (безразмерному) масштабу измерения.

2. Проблема выбора принципа оптимальности, то есть установление, в каком смысле оптимальное решение лучше всех остальных решений.

3. Проблема учета приоритетов критериев, возникающая в тех случаях, когда из контекста задачи ясно, что некоторые критерии имеют приоритет над другими.

4. Проблема вычисления оптимума в задаче МКО. Речь идет о том, как использовать методы линейной, нелинейной, дискретной оптимизации для вычисления оптимума в задаче с определенной спецификой.

Одним из современных подходов к проектированию и производству высокотехнологичной и наукоемкой продукции, позволяющих решить задачу МКО, является технология управления конфигурацией изделия (УК) [7, 8].

Согласно [9] УК – это управленческая технология, связанная с разработкой, выпуском и поддержкой жизненного цикла (ЖЦ) сложных изделий, производимых во многих вариантах, в том числе, по конкретным требованиям заказчика. Эта технология призвана решать противоречивые по своей сути задачи: с одной стороны, обеспечивать максимальное удовлетворение требований заказчика к изделию в течение всего ЖЦ [10], а с другой – обеспечивать максимально возможный в этих условиях уровень унификации компонентов выпускаемых изделий.

Стартовой точкой для УК является установление, согласование между заказчиком и поставщиком и формализация контрактных требований, из которых четко следуют обязательства поставщика. Потребителю поставляется не только само изделие, но и документированные доказательства того, что изделие и все его компоненты соответствуют заданным требованиям. Управление конфигурацией на стадии разработки состоит в установлении соответствия между величинами требований и проектными значениями характеристик по всем объектам конфигурации, по изделию в целом и в оперативном устранении возникающих отклонений.

Однако технология УК применима только к изделиям, имеющим достаточно сложную функциональную структуру, из которой могут быть выделены объекты конфигурации, выполняющие в составе конечного изделия четко определенные функции и обладающие значимым набором количественных и качественных характеристик, сопоставимых с подмножеством требований, предъявляемых к конечному изделию. Основным смыслом технологии УК является установление и прослеживание соответствия между деревом требований и конструкторским деревом изделия, обеспечение согласования требований и фактических свойств изделия.

Однако, при использовании данной технологии, в зависимости от количества изменений, создается либо новое исполнение выпускаемой продукции, либо полностью новый модельный ряд. Данные разработки занимают достаточно много времени (создание новой документации, проведение опытно-конструкторских работ) и денежных затрат как для предприятия, так и для заказчика.

Поэтому целью работы является разработка алгоритма формирования нестандартного изделия

позволяющего из имеющейся номенклатурной базы предприятия предложить оптимальное решение для конструктора, формирующего техническое предложение потенциальному заказчику по его требованиям.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Подбор состава изделия происходит на этапе анализа технического задания, сформированного заказчиком. Конструктор из имеющейся номенклатурной базы предприятия формирует техническое предложение, которое войдет как приложение к контракту на изготовление нестандартного изделия в формате спецификации. Подбор оптимальной конструкции изделия может проводиться одним из двух предложенных алгоритмов в зависимости от требований заказчика:

1) алгоритм подбора состава нестандартного изделия на основании определённых основных требований, требований по выбору, выбранных дополнительных компонентов, запасных частей и указанных критериях отбора;

2) алгоритм подбора состава нестандартного изделия при определении базовой конструкции изделия, узлов, которые будут исключены или добавлены и приоритетностей критерия отбора.

Общее взаимодействие процесса формирования состава, компонент повторного использования и подсистемы оптимизации, используемое в данных алгоритмах, представлено рядом отображений φ , ψ , μ , η , суть которых представлена ниже. В статье опишем основной алгоритм формирования состава нестандартного изделия, а именно, алгоритма подбора состава на основании определённых основных требований, требований по выбору, выбранных дополнительных компонентов, запасных частей и указанных критериях отбора (рис. 1).

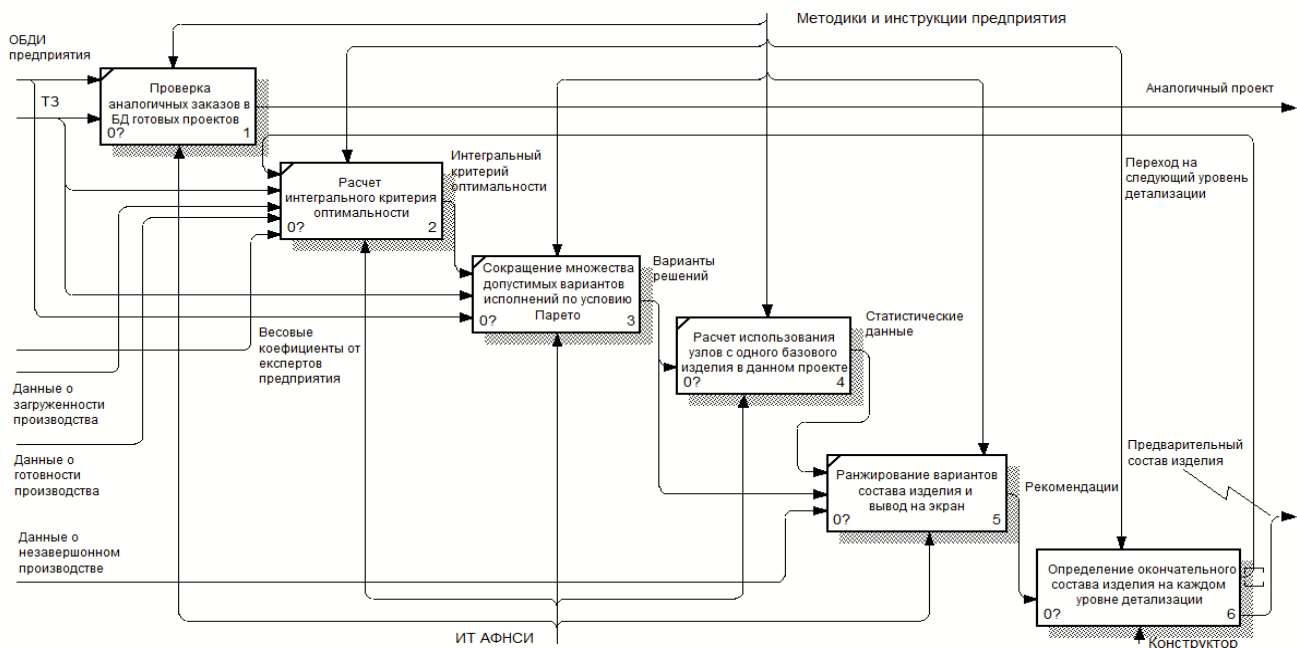


Рисунок 1 – UML-диаграмма моделирования алгоритма формирования нестандартного состава изделия

Шаг 1. Поиск аналогичных заказов.

На основании ТЗ, согласованного с заказчиком, осуществляется поиск аналогичных заказов и проектных решений в БД составов базовых изделий и их модификаций и БД готовых проектов предприятия. Если найдены идентичные требования, подбор состава нестандартного изделия завершается. Далее выполняется только пересчёт стоимости изделия с учётом текущих расценок на изготовление.

Шаг 2. Расчёт весовых коэффициентов локальных критериев отбора и интегрального критерия оптимальности.

Из имеющейся на предприятии подсистемы ERP поступают данные о загруженности производства, о готовности производства к выпуску данной продукции, данные о незавершенном производстве. Определяются значения весовых коэффициентов путем обработки мнений экспертов.

Исходя из формул описанных в статье [2], выполняется расчёт локальных критериев оптимальности, расчёт интегрального критерия оптимальности и уточняется критерий оптимальности для балансировки данных от заказчика и экспертов предприятия. Тем самым достигается свойство адаптивности интегрального критерия и формируется множества адаптируемых показателей важности критериев А,

путем отображения К (множества критериев, учитываемых заказчиком) на S (множества состояний процесса формирования) и на О (множества результирующих оптимальных решений на каждом уровне детализации): $\varphi: K \times S \times O \rightarrow A$.

Шаг 3. Определение модельного ряда конструкции.

На основании предъявленных основных требований (множества Т и множества К) и адаптивного интегрального критерия (множества А), конструктору предлагается упорядоченный перечень возможных вариантов модельных рядов в виде множества вариантов решений V, путем отображения P (множества показателей качества) на А (множества показателей важности) и на S (множества состояний процесса формирования): $\psi: P \times A \times S \rightarrow V$.

При использовании интегрального критерия оптимальности, приводящего к частичному упорядочению векторных оценок, проверяется, соответствует ли их вид требованиям заказчика. В случае, когда полученное упорядочение вариантов решений отвечает требованиям заказчика, это упорядочение выбирается в качестве базового и формируется множество S (рис. 2).

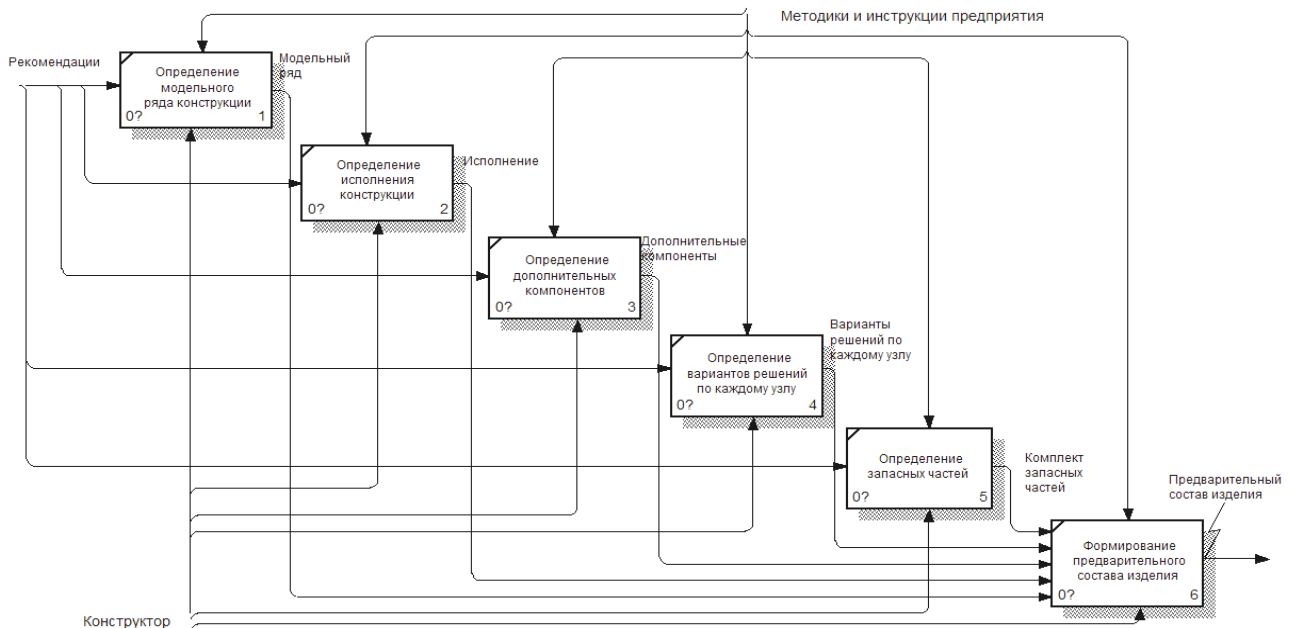


Рисунок 2 – Функциональная декомпозиция UML-диаграммы функционального блока «Определение окончательного состава изделия на каждом уровне детализации»

Шаг 4. Определение вида исполнения.

На основании дополнительных требований и требований по выбору заказчика (множество Т) производится сокращение допустимого множества вариантов исполнений будущей конструкции изделия путем формирования множества Парето. И на основании рассчитанного интегрального критерия оптимальности (множество А) проводится сравнение и упорядочение вариантов решений (отображение ψ множества вариантов решений V, которое детально расписано в шаге 3). В случае, когда полученное упорядочение вариантов решений отвечает требова-

ниям заказчика, это упорядочение выбирается в качестве базового.

Шаг 5. Определение дополнительных компонентов.

Если заказчик указал дополнительные компоненты (множество Т), которые необходимо включить в будущую конструкцию нестандартного изделия, производится сокращение допустимого множества вариантов исполнений каждого дополнительного компонента путем формирования множества Парето и ранжирование возможных вариантов на основании предпочтений заказчика (множество К) и возможно-

стей підприємства (множество D). В случае, когда полученное упорядочение вариантов решений (отображение ψ множества вариантов решений V , которое детально расписано в шаге 3) отвечает требованиям заказчика, это упорядочение выбирается в качестве базового.

Шаг 6. Проверка на наличие уникальных требований.

При указании заказчиком уникальных требований конструктору необходимо на каждом уровне детализации конструкции проверять возможность реализации требований. При определении необходимого уровня детализации производится отмечание конструктором узла, сборки, детали, материала или несколько элементов из перечисленного и указывается исполнитель данных доработок. Эти сведения отправляются указанному лицу, а часть конструкции отмечается как «На доработке».

Если доработка конструкции невозможна, конструктор указывает причины невозможности выполнения этих требований и письмо отсылается заказчику по электронной почте с последующим обсуждением (изменением) выставленных им уникальных требований.

Шаг 7. Определение вариантов решений по каждому узлу конструкции.

Если остались нереализованные требования (из множества T), которые указал заказчик, то процесс детализации конструкции производится, в первую очередь, с тех узлов, к которым эти требования относятся.

На каждом уровне детализации данных узлов (множество U) проводится сокращение допустимого множества вариантов решений путем формирования множества Парето и последующее ранжирование возможных вариантов на основании предпочтений заказчика (множество K) и возможностей предприятия (множество D). В случае, когда полученное упорядочение вариантов решений отвечает требованиям заказчика, это упорядочение выбирается в качестве базового – происходит формирование множества состояний процесса формирования S путем отображения T (множества требований и ограничений) на V (множества вариантов решений) и на D (множества данных о загруженности и готовности производства незавершенных взаимозаменяемых узлов): $\mu: T \times V \times D \rightarrow S$.

Оставшуюся часть конструкции система ранжирует и определяет базовый вариант без участия конструктора, который перед этим указал только номер позиции в ранжируемом списке. При рациональном подходе ЛПП это должна быть первая позиция.

Шаг 8. Выбор комплекта запасных частей.

После окончания формирования состава конструкции нестандартного изделия на его основании производится добавление в заказ комплекта запасных частей, который указал заказчик (например, обычный или расширенный комплект) – из множества T .

Если заказчик указывал отдельные функциональные элементы, которые ему нужны в запасе, то формируются запасные части уже по выбранным конкретным сборкам нестандартного изделия.

Шаг 9. Определение окончательного состава изделия.

Проводится окончательная проверка полученного упорядоченного варианта решения (множество V) и сравнение его с требованиями заказчика (множество T). Если вариант конструкции удовлетворяет конструктора, производится его утверждение и сохранение в БД готовых проектов, то есть формируется множество результирующих оптимальных решений на каждом уровне детализации, путем отображения T (множество требований и ограничений) на V (множество вариантов решений): $\eta: T \times V \rightarrow O$.

Если полученный результат конструкции не отвечает указанным требованиям конструкции в зависимости от причин, которые привели к неудовлетворительности проведенного упорядочения вариантов решений, в рассматриваемую модель вносятся необходимые уточнения, дополнения или исправления и повторяются соответствующие предыдущие шаги.

Таким образом, предложен алгоритм формирования состава нестандартного изделия, включающий следующие шаги. После проверки аналогичных заказов в БД готовых проектов, на каждом уровне раскрытия конструкции, проводится расчет интегрального критерия оптимальности и сокращение множества допустимых вариантов исполнений по условию Парето. На основе рассчитанного интегрального критерия оптимальности проводится сравнение и упорядочение вариантов решений.

На каждом уровне детализации проводится анализ требований на логическую совместимость и непротиворечивость, анализ результатов упорядочения и статистический расчет использования узлов с одного базового изделия в данном проекте.

ВЫВОДЫ. Усовершенствован алгоритм, который позволяет из имеющейся номенклатурной базы предприятия предложить оптимальное решение для конструктора, формирующего техническое предложение потенциальному заказчику по его требованиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевченко И.В., Кочергина С.С. Модель подсистемы формирования оптимального состава изделия при индивидуальном заказе на машиностроительном предприятии // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2014. – Вип. 1 (84). – С. 69–75.
2. Кочергина С.С., Шевченко И.В. Математическая модель задачи формирования оптимального варианта состава изделия с учетом ранжирования критериев отбора // Автоматизированные системы управления и приборы автоматизации. – 2014. – № 165. – С. 28–33.
3. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 144 с. – ISBN 5-9221-0274-5.
4. Анализ адекватности взаимной трансформации неопределенностей при вычислении скалярных интервальных значений полезности альтернатив / В.В. Крючковский, Н.А. Брынза, А.Х. Баддур // Вестник НТУ «ХПИ». – 2010. – № 9. – С. 169–177.

5. Jahn J. Scalarization in vector optimization // *Math. Programming.* – 1984. – V. 29. – PP. 203–218.

6. Jahn J. Some characterizations of the optimal solutions of a vector optimization problem // *OR Spektrum.* – 1985. – V. 7. – PP. 7–17.

7. Карасев Д.С. Реализация технологии управления конфигурацией в PDM- системе // Информационные технологии в проектировании и производстве: Научный технический журнал. – 2006. – № 1. – С. 17–22.

8. Шептунов С.А., Червяков Л.М. Моделирование интеллектуальных функций специалистов в области конструкторско-технологического проекти-

рования // Информационные технологии в промышленности и экономике: Сборник научных трудов ИКТИ РАН. – 2001. – №3. – С. 9–21.

9. Левин А.И., Судов Е.В. Методы и технологии управления конфигурацией сложных изделий // Технологии приборостроения. – 2003. – № 4. – С. 12–17.

10. Судов Е.В. Интегрированная информационная поддержка жизненного цикла машиностроительной продукции. Принципы. Технологии. Методы. Модели. – Москва: ООО Издательский дом «МВМ», 2003. – 264 с.

THE ALGORITHM OF NON-STANDARD PRODUCT SELECTION AT ENGINEERING ENTERPRISE

S. Koval

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: s230389@rambler.ru

Purpose. Designing of algorithms for the formation of the nonstandard products composition, namely, algorithm of selection of the composition on the basis of stated selection criteria, basic and additional design requirements. **Methodology.** The overall interaction of the process of product composition formation and optimization procedures is presented with step-by-step description and UML diagrams. **Originality.** The brief description of the algorithm is as follows: after verification of the same orders in the database of finished projects, at each level of the design disclosure, the calculation of the integral criterion of optimality and the reduction of the set of admissible versions according to the Pareto condition is carried out. **Results.** Based on the calculated integral criterion of optimality the different solutions are compared and streamlining. At each level of specification it has been conducted the analysis of requirements on logical compatibility and consistency, analysis of the adjustment results and statistical calculations of application from one basic product in this project. **Findings.** Thus, the improved algorithm allows from the existing nomenclature of the enterprise to offer the best solution for the designer, forming a technical proposal to a potential customer according to his requirements. **Practical value.** The algorithm enables us to respond flexibly to changing market conditions and prospects of the industrial situation and to agree on the assessment of priorities between the customer and the manufacturer. References 10, figures 2.

Key words: non-standard product, optimization subsystem, integral criterion of optimality, Pareto set.

REFERENCES

1. Shevchenko, I.V. and Kochergina, S.S. (2014), "Model of subsystem of optimum product composition for individual order at engineering enterprise", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, vol. 1 no. 84, pp. 69–75.

2. Kochergina, S.S. and Shevchenko, I.V. (2014), "Mathematical model of formation problem of product optimal version by means of selection ranking criteria", *Automated Control Systems and Automation Devices*, no. 165, pp. 28–33.

3. Nogin, V.D. (2002), *Prinyatiye resheniy v mnogokriterial'noy srede : kolichestvennyy podkhod* [Decision-making in multicriteria environment: a quantitative approach], FIZMATLIT, Moscow, Russia.

4. Kryuchkovskiy, V.V., Brynza, N.A. and Baddur, A.K. (2010), "The Analysis of the adequacy of mutual transformation of uncertainties in the calculation of the scalar interval utility values of alternatives", *Visnik Natsional'nogo Tekhnichnogo Universitetu «Khar'kovskiy politekhnicheskii institut»*, no. 9, pp. 169–177.

5. Jahn, J. (1984), "Scalarization in vector optimization", *Math. Programming*, vol. 29, pp. 203–218.

6. Jahn, J. (1985), "Some characterizations of the optimal solutions of a vector optimization problem", *OR Spektrum*, vol. 7, pp. 7–17.

7. Karasev, D.S. (2006), "Realization of Technologies Configuration Control in PDM-system", *Informatsionnyye tekhnologii v proyektirovanii i proizvodstve: Nauchnyy tekhnicheskii zhurnal*, no. 1, pp. 17–22.

8. Sheptunov, S.A. and Cherviakov, L.M. (2001), "Modeling of intellectual functions of experts in the field of engineering and design", *Informatsionnyye tekhnologii v promyshlennosti i ekonomike: Sbornik nauchnykh trudov «Institute konstruktorsko-tekhnologicheskoy informatiki Rossiyskoy akademii nauk»*, no. 3, pp. 9–21.

9. Levin, A.I. and Sudov, E.V. (2003), "Methods and Technologies of Complex Products Configuration Control", *The Technology of the Instrumentation*, no. 4, pp. 12–17.

10. Sudov, E.V. (2003), *Integrirrovannaya informatsionnaya podderzhka zhiznennogo tsikla mashinostroitel'noy produktsii. Printsipy. Tekhnologii. Metody. Modeli* [Integrated information support of life cycle of engineering products. Principles. Technology. Methods. Models], ООО Izdatel'skiy dom «MVM», Moscow, Russia.

Стаття надійшла 24.03.2016.