

5. Миротин, Л. Б. Распределение грузовых потоков в интегрированной транспортной системе [Текст] / Л. Б. Миротин, Е. А. Лебедев, В. А. Грановский, Б. В. Голованов // Интегрированная логистика. – 2011. – №2. – С. 19-21. – Режим доступа: \www/URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=15624833>.
6. Крикавський, Є. В. Логістичні системи [Текст]: навч. посіб. / Є. В. Крикавський, Н. В. Чернописька. – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2009. – 264 с.
7. Нечаев, Г. И. Основы организации работы и управления транспортно-складскими комплексами [Текст] / Г. И. Нечаев. – Луганск: ВУГУ, 1998. – 226 с.
8. Парунакян, В. Э. Основные принципы формирования логистической системы производственно-транспортного комплекса промышленных предприятий [Текст] / В. Э. Парунакян // Вестник ВНУ им. В. Даля. – 2010. – №10, Ч. 1. – С. 159-173. – Режим доступа: \www/URL: http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/Soc_Gum/VSunu/2010_10_1/Parunakjan.pdf.
9. Апатцев, В. И. К вопросу проектирования транспортно-логистических систем [Текст] / В. И. Апатцев, С. Ю. Елисеев // Наука и техника транспорта. – 2013. – №1. – С. 47-52. – Режим доступа: \www/URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=19078417>.
10. Каточков, В. М. Вопросы методологии логистики взаимодействующих потоковых процессов [Текст] / В. М. Каточков // Известия Челябинского научного центра. – 2005. – Вып. 3(29). – С. 106-111. – Режим доступа: \www/URL: http://www.tovarovedenie.org/downloads.php?comments_id=42.
11. Бабушкін, Г. Ф. Підвищення ефективності систем управління процесами заводських перевезень безрейковим колісним транспортом [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.12. Промисловий транспорт / Г. Ф. Бабушкін; Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. – Луганськ, 2003. – 30 с. – Режим доступа: \www/URL: http://librar.org.ua/sections_load.php?s=transport&id=549.

Робота присвячена розробці методу вирішення завдання автоматизованого формування оптимального складу виробу на машинобудівному підприємстві. Метод дозволяє з наявної номенклатурної бази підприємства запропонувати найбільш ефективне рішення для конструктора, формуючого технічну пропозицію потенційному замовнику за його індивідуальними вимогами. Процес проходить з урахуванням обмежень і можливостей підприємства на даний період часу

Ключові слова: індивідуальні вимоги, інтегральний критерій оптимальності, оцінки пріоритетів, множина Парето

Робота посвящена разработке метода решения задачи автоматизированного формирования оптимального состава изделия на машиностроительном предприятии. Метод позволяет из имеющейся номенклатурной базы предприятия предложить наиболее эффективное решение для конструктора, формирующего техническое предложение потенциальному заказчику по его индивидуальным требованиям. Процесс проходит с учетом ограничений и возможностей предприятия на данный период времени

Ключевые слова: индивидуальные требования, интегральный критерий оптимальности, оценки приоритетов, множество Парето

УДК 519.816:004.421.4

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.28034

МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗИ- РОВАННОГО ФОРМИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА СОСТАВА ИЗДЕЛИЯ

С. С. Кочергина
Аспирантка*

E-mail: s230389@rambler.ru

И. В. Шевченко

Кандидат технических наук, доцент*

E-mail: athome050@yandex.ru

*Кафедра информационно-управляющих систем
Кременчугский национальный
университет им. М. Остроградского
ул. Первомайская, 20,
г. Кременчуг, Украина, 39614

1. Введение

Задача современного машиностроительного предприятия – производить продукцию заданного

качества и конфигурации в заданные сроки при минимальных затратах. Это позволяет добиться, прежде всего, экономической эффективности, и, как следствие, окупаемости и конкурентоспособности

производства. В условиях жесткой конкуренции крупные машиностроительные предприятия вынуждены выполнять индивидуальные заказы. При рассмотрении будущего контракта, предпроектные работы обычно проводятся без глубокого анализа структуры будущего изделия, состава компонент и загруженности производства, что приводит в большинстве случаев, к коллизиям, вынужденным срочным заменам комплектующих или материалов, что не всегда сохраняет высокое качество изготавливаемого изделия.

Выбор оптимальной конфигурации изделия – многокритериальная задача, решить которую в настоящее время можно только с применением современных информационных технологий (ИТ). Для решения задач формирования состава изделия используются технологии CAD/CAM/CAE/PDM. Они призваны обеспечить ускорение и упрощение процесса подготовки производства. Эти технологии, в последнее десятилетие, получили широкое применение и на рынке ИТ стран СНГ. Наиболее популярными программными продуктами являются «Аскон», «Интермех», «1С: Машиностроение», «Галактика: Машиностроение», «Парус», «ИТ-Предприятие» и др. Перечисленные программные продукты позволяют уменьшить количество лиц, управляющих сложным циклом разработки и производства изделий, избежать ошибок, учесть многие факторы, которые ранее не учитывались из-за сложности расчетов. Однако указанные системы не осуществляют функций поддержки принятия решений (функций СППР), которые помогли бы специалистам принимать решения в неоднозначных ситуациях при формировании состава изделия с учетом требований заказчика. Таким образом, задача разработки метода для автоматизированного формирования оптимального состава изделия на машиностроительном предприятии является актуальной.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

При создании машиностроительными предприятиями современного, качественного изделия необходимо использовать интеграционные процессы, связывающие экономические, организационные и технические аспекты проектирования. При этом становится возможным гибкое варьирование основных модельных рядов конструкций, адаптация и изменения (модификации) во время подбора необходимой конструкции для каждого заказчика. Такой механизм гибкой адаптации основан на использовании компонент повторного использования (КПИ). Он позволяет осуществить разработку сложного изделия в кратчайшие сроки с минимизацией рисков, связанных с созданием новых элементов конструкции. КПИ могут быть заимствованы также из других модельных рядов конструкций, если это заранее было предусмотрено при разработке.

Методами и подходами формирования баз КПИ для предприятий занимаются такие ученые как Некрасов О. Б., Щеголь В. А., Федорович О. Е., Серге-

ев С. В., Сергеева Ю. И., Плохов С. С., Замирец Н. В. и другие [1–5].

Основными целями данных разработок является создание механизмов формирования и систематизации множества КПИ с учетом накопленного опыта прошлых разработок для использования в будущих проектах. Основными недостатками существующих баз КПИ являются:

- отбор КПИ по критериям, установленным разработчиками-экспертами, а не заказчиками;
- отсутствие возможности формирования состава изделия по требованиям конкретного заказчика, а не на общую перспективу;

- отсутствие возможности учета производственной ситуации при формировании состава изделия для более эффективной работы производства.

Появление баз данных по КПИ, универсальность и специализация используемых компонент приводит к возможности формирования функциональных узлов машин разнообразными сочетаниями узлов и деталей [6, 7].

Для более детального анализа будущего изделия на предпроектных стадиях и без увеличения сроков их выполнения, необходимо применение современных подходов, которые используют опыт прошлых разработок. Одним из таких является компонентный подход, который использует КПИ имеющейся номенклатурной базы предприятия. Однако, из-за многокомпонентности и сложности функциональных узлов возникает необходимость исследовать множество возможных вариантов архитектуры разрабатываемого изделия. Проблема заключается в том, что непосредственный анализ, сравнение и выбор оптимального варианта разрабатываемого изделия вручную занимает неоправданно большое время.

3. Цель и задачи исследования

Целью исследования является разработка метода автоматизированного формирования оптимального состава изделия из имеющейся номенклатурной базы непосредственно для каждого заказчика по его индивидуальным требованиям с учетом ограничений и возможностей предприятия на данный период времени. Для достижения поставленной цели необходимо решение данных задач:

- разработка многокомпонентной модели дерева требований, как со стороны заказчика, так и со стороны предприятия, что даст возможность наиболее оптимально составить техническое задание будущего изделия;

- определение механизма синтеза и управления данными по формированию оптимального варианта состава изделия;

- разработка математической модели задачи формирования оптимального варианта предварительного состава изделия с учетом ранжирования критериев отбора;
- разработка метода автоматизированного формирования оптимального состава изделия;

- апробация и проверка на адаптивность разработанного метода.

Таким образом, метод должен дать возможность гибко реагировать на изменения конъюнктуры и перспектив производственной ситуации и согласовывать оценки приоритетов между заказчиком и изготовителем.

4. Разработка метода решения задачи автоматизированного формирования оптимального варианта состава изделия

На основе компонентного подхода к проектированию [1–7] сложных изделий предложен усовершенствованный метод формирования оптимального состава изделия на машиностроительном предприятии.

Предлагаемый метод является многоуровневым, что позволяет наиболее адекватно рассмотреть процесс проектирования с точки зрения использования компонент многократного использования. Он определяет механизмы синтеза и управления данными по формированию оптимального варианта состава изделия в PDM-системе на стадиях проработки контракта, технического задания и конструкторской подготовки производства. В разрабатываемом методе описана последовательность действий, необходимых для формирования оптимального состава изделия по требованиям заказчика, на основании которого формируется техническое предложение.

Метод использует многокомпонентную модель дерева требований [8] и модель выбора оптимального состава изделия с учетом ранжирования критериев отбора [9]. Метод разрабатывается применительно к следующей организационно-производственной ситуации. Базовое изделие и его модификации уже созданы и выпускаются индивидуально или малыми партиями по заказам потребителей. Кроме этого в производстве освоены дополнительные и взаимозаменяемые узлы (ДВУ), которые могут устанавливаться на все или некоторые разновидности изделия по заказу потребителя [1, 2, 5]. Для большинства ДВУ проработаны установочные места, присоединительные размеры, электрические и гидравлические соединения и т. д.

Началу процесса формирования оптимального состава изделия соответствует момент, когда заказчик оформляет заказ нового изделия по индивидуальным требованиям.

Общая схема метода показана на рис. 1. Метод включает следующие этапы.

ЭТАП № 1. Определение (формирование) требований заказчика к будущему изделию.

На стадии проработки контракта и технического задания заказчику предоставляются в форме каталога варианты готовых изделий и компонент с техническими характеристиками, которые могут быть реализованы в разрабатываемом изделии. Заказчик определяет (формирует) требования к конечному изделию (рис. 2, рис. 3), а именно:

1. Требования, содержащие количественные значения характеристик – например, применительно к выпуску асфальтосмесительных установок: «Производительность асфальтосмесительной установки» <значение>, «Количество фракций дозируемого каменного материала» <значение>, «Ширина ленты конвейера» <значение>.

2. Требования качественного характера – например: «Окраска асфальтосмесительной установки» <цвет>.

3. Требования функционального характера – например: «Вид топлива» <вид>, «Тип пылеулавливающего устройства» <тип>, «Система управления» <тип>, «Исполнение установки» <вид>, «Тип конструкции» <тип>.

4. Требования, которые однозначно определяют технические решения – например: «Марка основных комплектующих изделий».

5. Требования к выполняемым функциям конечного изделия – например: «Сохранять температуру готовой смеси».

В зависимости от специфики выпускаемых изделий на машиностроительных предприятиях, виды требований формируются на каждом заводе индивидуально экспертами предприятия. Кроме того, заказчик может предложить свои уникальные требования к компонентам изделия.

Задача заказчика по определению требований сводится к выполнению следующих действий:

1. Анализ предъявленных сведений, общих характеристик о базовых изделиях и их разновидностях.

2. Определение общих требований к конструкции изделия (основных и дополнительных).

3. Если необходимо, уточнение конструкции некоторых узлов будущего изделия, путем определения требований по выбору заказчика.

4. Анализ предъявленных сведений о дополнительных компонентах и запасных частях, которые могут устанавливаться на все или некоторые разновидности изделия по заказу потребителя.

5. В результате проведенного анализа – выбор дополнительных компонентов, которые должны быть применены в конструкции нового изделия и запасных частей, если это необходимо заказчику.

6. Назначение уникальных требований к новому изделию (при необходимости).

7. Определение приоритетности критериев отбора путем их ранжирования или заполнения таблицы весовых коэффициентов на основе суждений о предпочтениях заказчика (критерии отбора были детально освещены в [9]).

Однако имеет место ситуация когда заказчик не формулирует требования к изделию, а описывает конкретные задачи, которые это изделие должно решать или знает какой модельный ряд конструкции хочет приобрести. Тогда остается указать только ограничения, например, на стоимость, сроки изготовления, качество или необходимо учесть для него требования к конструкции для определенного региона использования. В этом случае предприятие определяет параметры будущего изделия для решения задач заказчика, а заказчик определяет только приоритеты критериев отбора.

По ходу выполнения метода формирования оптимального состава изделия, предъявленные к изделию требования, анализируются на выполнимость и непротиворечивость, после чего согласовываются и утверждаются. Если требования не могут быть выполнены изготовителем, то замечания по нуждающимся в изменении требованиям передаются заказчику для корректировки.

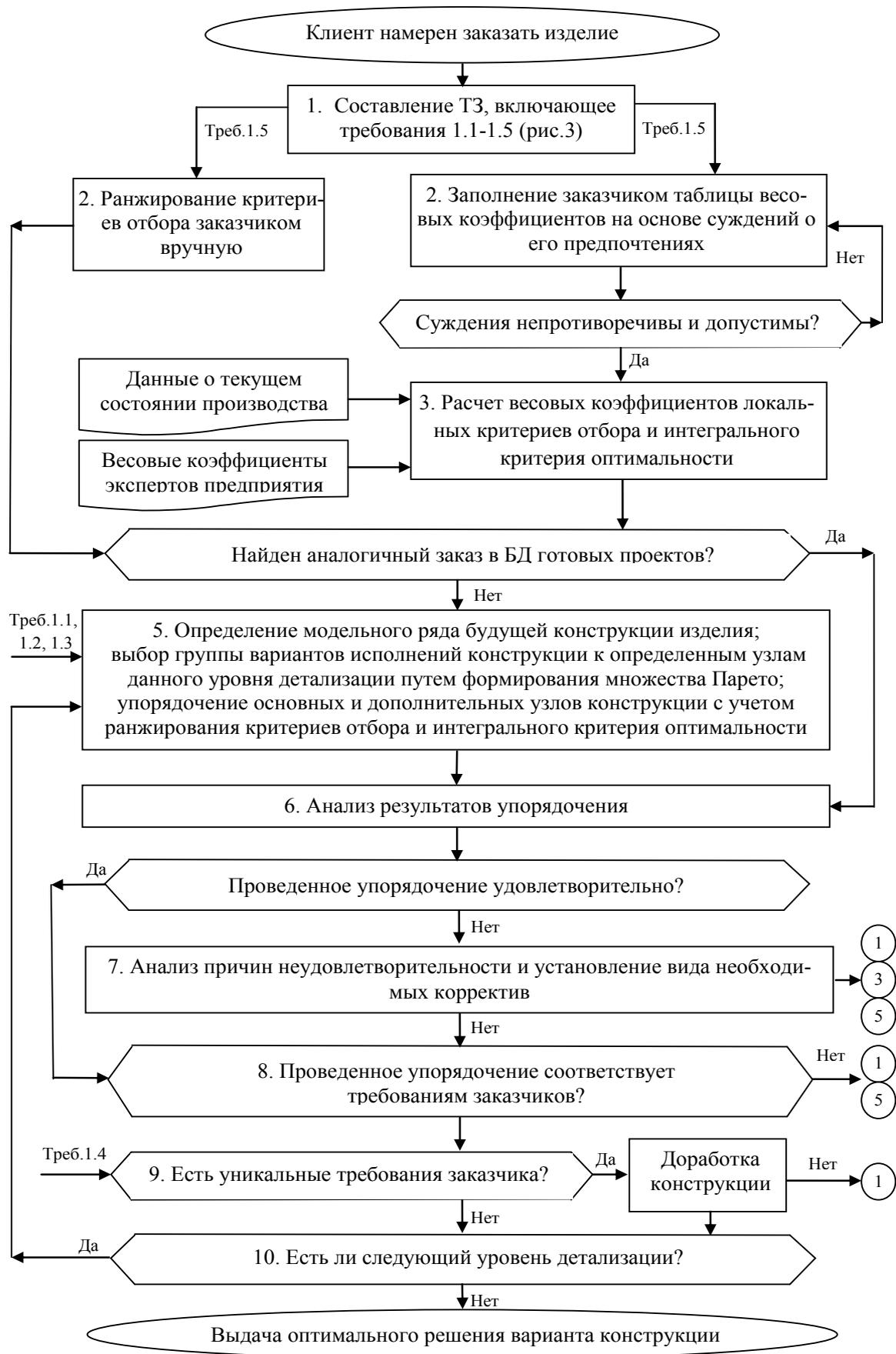


Рис. 1. Метод решения задачи формирования оптимального варианта состава изделия на машиностроительном предприятии

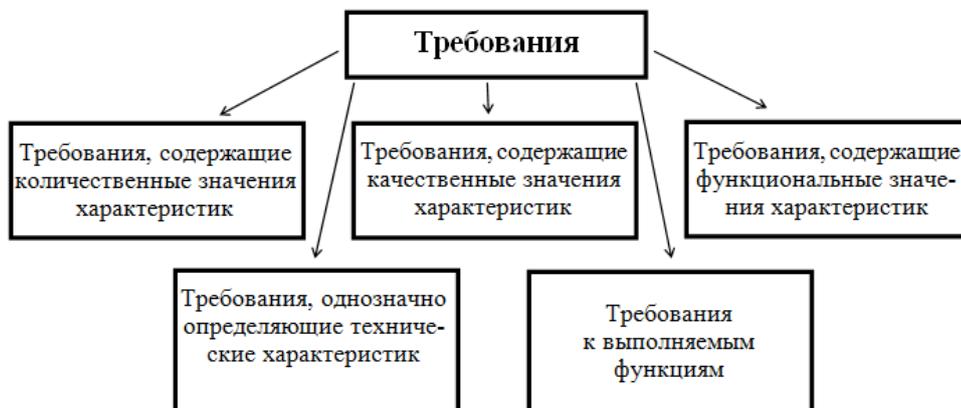


Рис. 2. Типы требований к будущему изделию, формируемые заказчиком



Рис. 3. Виды требований к будущему изделию, формируемые заказчиком

ЭТАП № 2. В зависимости от предпочтений заказчика, его требований к точности учета того или иного критерия отбора, он либо ранжирует критерии отбора, либо заполняет таблицу весовых коэффициентов на основе суждений о его предпочтениях. Последний вариант является более трудоемким, однако при его использовании рассчитывается некоторая обобщенная оценка. В ней учитываются вес значения каждого критерия. Для определения весовых коэффициентов предлагается использовать метод парных сравнений (МПС) объектов [10]. МПС дает возможность полного учета суждений эксперта об объектах и использует оценки любых видов: числовых, содержательных, "данет" и т. д. При использовании МПС для каждой пары объектов определяется оценка превосходства одного объекта над другим; эта оценка может непосредственно указываться человеком или вычисляться на основе оценок по отдельным критериям. Основной недостаток методов этого класса – необходимость большого количества парных сравнений и проверки результатов на противоречивость, т.е. большой объем работы для человека (эксперта). Преимущество – достаточная объективность оценок при наличии квалифицированного эксперта.

ЭТАП № 3. Расчет весовых коэффициентов локальных критериев отбора и интегрального критерия оптимальности.

Интегральный критерий оптимальности должен объединять все перечисленные локальные критерии оптимизации, но в зависимости от предпочтений за-

казчика каждый критерий должен иметь свой весовой коэффициент влияния на формирование оптимальной конфигурации нового изделия в индивидуальном машиностроительном производстве.

Формирование интегрального критерия оптимальности производится по следующей зависимости:

$$F = \sum_{i=1}^n \alpha_i K_i^n, \quad (1)$$

где $K_i^n = \frac{K_i}{K_{i\max}}$, $K_{i\max}$ – экспертная оценка максимального значения данного критерия, а весовые коэффициенты должны удовлетворять условию: $\sum_i \alpha_i = 1$.

Значения весовых коэффициентов локальных критериев определяются методом парных сравнений на этапе № 2. Определение весовых коэффициентов выполняется также заводскими специалистами.

Оценки этих двух групп экспертов по ряду критериев будут согласованы, а по некоторым критериям будут расходиться. Этот факт должен быть учтен при реализации механизма балансировки значений коэффициентов. Изменяя соотношение коэффициентов можно управлять выбором альтернатив, перемещая альтернативы по полю полезности.

Таким образом, оценки весовых коэффициентов должны:

- динамически изменяться по мере обновления данных о ситуации на производстве и в соответствующем секторе рынка;
- быть сбалансированы относительно мнений представителя заказчика и представителя предприятия.

Для уточнения оценки весового коэффициента по мере обновления данных и для согласования оценки весового коэффициента критерия K^* , полученной от заказчика – α_{*z} , с оценкой весового коэффициента, полученной от эксперта предприятия α_{*p} , предложено вычислять коэффициент α_* следующим образом:

$$\alpha_* = \gamma \alpha_{*z} + (1 - \gamma) \alpha_{*p}, \quad (2)$$

где $\gamma = 0,56^{0,5\beta_*}$, β_* – нормированная оценка данного варианта изделия по критерию K^* :

$$\beta_* = \frac{K_{*прогн} - K_{*баз}}{K_{*баз}}, \quad (3)$$

где $K^{\text{прогн}}$ – прогнозируемая для данного варианта изделия оценка по критерию K^* ; $K^{\text{баз}}$ – базовая (усредненная) оценка по критерию K^* для изделий данного класса.

Тем самым достигается свойство адаптивности интегрального критерия, которое даёт возможность гибко реагировать на изменения конъюнктуры и перспектив производственной ситуации и согласовывать оценки приоритетов между заказчиком и изготовителем.

ЭТАП № 4. На основании ТЗ, согласованного с заказчиком, осуществляется поиск аналогичных заказов и проектных решений в БД готовых проектов предприятия. Если найдены идентичные требования, производится оптимизация конструкции изделия на основании текущей производственной ситуации и приоритетов, как со стороны заказчика, так и со стороны предприятия. Переход к этапу № 6. Иначе – переход к этапу № 5.

ЭТАП № 5. На основании предъявленных основных требований и требований по выбору заказчика определяется модельный ряд конструкции изделия. Далее, на основании дополнительных требований, производится сокращение допустимого множества вариантов исполнений будущей конструкции изделия, путем определения множества Парето. На основе рассчитанного интегрального критерия оптимальности или ранжирования критериев отбора проводится сравнение и упорядочение вариантов решений.

ЭТАП № 6. Анализ результатов упорядочивания. Если обнаружено несоответствие представлением ЛПР о качестве лидирующих вариантов решения, то переход к этапу 7. Иначе переход к этапу 8.

ЭТАП № 7. Анализ причин неудовлетворительности решений. 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 этапы.

ЭТАП № 8. При использовании интегрального критерия оптимальности или ранжирования критериев отбора, приводящих к частичному упорядочению векторных оценок, проверяется, соответствует ли их вид требованиям заказчика. В случае, когда упорядочение вариантов решений, полученное на некотором шаге, отвечает требованиям заказчика, это упорядочение выбирается в качестве окончательного. Если ЛПР действует рационально, оно должно выбрать вариант решения в соответствии с полученным упорядочением.

ЭТАП № 9. Проверка наличия уникальных требований заказчика. Если заказчик указал уникальные требования к конструкции изделия, не имеющие реализации в существующих вариантах конструкций на предприятии, специалисты завода дорабатывают конструкцию будущего изделия на каждом этапе детализации. Если доработка конструкции невозможна, происходит переход на этап № 1 и обсуждение (изменение) заказчиком выставленных уникальных требований.

ЭТАП № 10. Переход на следующий вид детализации.

С помощью системного подхода осуществляется поиск и отбор вариантов конструкции «сверху-вниз», начиная с верхних («крупных») уровней детализации и спускаясь в дальнейшем на нижние. Метод формиро-

вания оптимального состава изделия повторяется на этапах № 5...9 до самого нижнего уровня детализации разрабатываемой конструкции.

Для более эффективного контроля выполнения требований заказчика к изделию они декомпозируются и учитываются на более низких уровнях детализации. Декомпозированные требования анализируются на логическую совместимость и непротиворечивость.

Если требуется доработка конструкции для выполнения уникальных требований заказчика, то необходимо внесение изменений в КД. Входными данными при изменении является КД, требующая изменений, и требования, предъявляемые к конструкторскому решению. Исходя из информации о требованиях и текущей КД, выбираются и согласовываются технические решения для выполнения требований.

На основании выработанных решений разрабатываются и утверждаются извещения об изменении КД. В данном документе описываются правила изменения: «что, на что», «по какой причине», «с какого момента (даты) необходимо заменить» и т.д. Процесс внесения изменений в КД регламентирован ГОСТ 2.503-90.

Далее на основании извещения об изменении дорабатывается конструкция (если необходимо, то с предварительной проработкой компоновки и согласованием со смежными отделами) и вносятся изменения в КД. Изменения, внесенные в КД, проверяются и проходят цикл согласования с различными службами предприятия.

Описанный метод реализован в информационной технологии формирования оптимального варианта состава изделия, которая включает базу данных и соответствующее программное обеспечение. Эксплуатация программного модуля в течение года на Кременчугском заводе дорожных машин показала, что процесс выбора оптимального состава и конструкции асфальтосмесительных установок сократился во времени примерно в четыре раза, несмотря на учет дополнительных факторов и ограничений.

5. Выводы

Выбор оптимальной конфигурации изделия – многокритериальная задача, решить которую в настоящее время можно только с применением современных информационных технологий.

В статье поставлена и решена задача разработки метода автоматизированного формирования оптимального состава изделия из имеющейся номенклатурной базы непосредственно для каждого заказчика по его индивидуальным требованиям с учетом ограничений и возможностей предприятия на данный период времени.

Предлагаемый метод является многоуровневым, что позволяет наиболее адекватно рассмотреть процесс проектирования с точки зрения использования компонент многократного использования. Метод определяет механизмы синтеза и управления данными по формированию оптимального варианта состава изделия на стадиях проработки контракта, технического задания и конструкторской подготовки производства. В разрабатываемом методе описана последовательность действий, необходимых для фор-

мирования оптимального состава изделия по требованиям заказчика, на основании которого формируется техническое предложение.

Разработанный метод автоматизированного формирования оптимального варианта состава изделия на машиностроительном предприятии отличается от известных методов тем, что использует многокомпо-

нентную модель дерева требований, модель выбора оптимального состава изделия с учетом ранжирования критериев отбора и адаптивный интегральный. Метод даёт возможность гибко реагировать на изменения конъюнктуры и перспектив производственной ситуации и согласовывать оценки приоритетов между заказчиком и изготовителем.

Литература

1. Федорович, О. Е. Применение компонент многократного использования в управлении проектами разработки новой техники [Текст] / О. Е. Федорович, С. С. Плохов, А. Б. Некрасов // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2005. – № 2(10). – С. 104–107.
2. Федорович, О. Е. Формирование компонент повторного использования в проектах создания новой техники [Текст] / О. Е. Федорович, С. С. Плохов // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2006. – № 1(13). – С. 124–128.
3. Замирец, Н. В. Метод формирования компонентной архитектуры сложного космического изделия [Текст] / Н. В. Замирец, В. А. Щеголь // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2008. – № 1 (28). – С. 114–117.
4. Федорович, О. Е. Рискоориентированный подход к созданию информационных управляющих систем на базе компонентов повторного использования [Текст] / О. Е. Федорович, С. С. Плохов // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2005. – № 5 (21). – С. 66-69.
5. Федорович, О. Е. Метод формирования множества компонент для повторного использования в проекте создания новой техники [Текст] / О. Е. Федорович, Ю. И. Сергеева, С. В. Сергеев // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2008. – № 1 (28). – С. 182–186.
6. Brown, A. Large Scale. Component-Based Development [Text] / A. Brown. – Prentice Hall, 2000. – 300 p.
7. Bass, L. Second Product Line Practice Workshop Report [Text] / L. Bass, G. Chastek, P. Clements, L. Northrop, D. Smith, J. Withey. – Software Engineering Institute, Pittsburg, PA, CMU/SEI-98-TR-015, 1998. – 42 p.
8. Шевченко, И. В. Модель подсистемы формирования оптимального состава изделия при индивидуальном заказе на машиностроительном предприятии [Текст] / И. В. Шевченко, С. С. Кочергина // *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. – 2014. – Вип. 1 (84). – С. 69–75.
9. Кочергина, С. С. Математическая модель задачи формирования оптимального варианта состава изделия с учетом ранжирования критериев отбора [Текст] / С. С. Кочергина, И. В. Шевченко // *Автоматизированные системы управления и приборы автоматики*. – 2014. – № 165. – С. 28–33.
10. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст] / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.