

Научная статья

УДК 004.9

DOI: 10.36652/0869-4931-2024-78-7-317-321

## УПРАВЛЕНИЕ КОНФИГУРАЦИЕЙ ПРОДУКЦИИ

**Валерий Святославович Выхованец**, д-р техн. наук, доц.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет), Москва, vykhovanets@bmstu.ru

**Аннотация.** Статья посвящена созданию электронных структур изделий для управления конфигурацией производимой продукции. Электронная структура изделия строится на основе понятийного моделирования предметной области конфигурации. Приведен пример реализации конфигуратора изделий, позволяющий использовать ограничения, связанные с несовместимостью некоторых комплектующих изделий, выполнить расчет интегральных характеристик конфигурируемого изделия, отобразить места возникновения ошибок конфигурации, отказаться от использования индивидуальных алгоритмов при конфигурации изделий.

**Ключевые слова:** электронная структура изделия, понятийная модель, конфигурация изделия, валидация продукта, спецификация продукта

**Для цитирования:** Выхованец В.С. Управление конфигурацией продукции // Автоматизация. Современное состояние. 2024. Т. 78. № 7. С. 317—321. DOI: 10.36652/0869-4931-2024-78-7-317-321

Original article

## CONFIGURATION PRODUCTS MANAGEMENT

**Valery S. Vyhovanets**

Moscow state technical university behalf of. N.E. Bauman (national research university), Moscow,  
vyhovanets@bmstu.ru

**Abstract.** The article is devoted to the creation of product electronic structures for managing the configuration of manufactured products. The electronic structure of the product is built from a conceptual modeling of the configuration object domain. An example of the implementation of a product configurator is given, which allows to use restrictions associated with the incompatibility of some component products, calculate the integral characteristics of the configurable product, display places where configuration errors occur, refuse to use individual algorithms when configuring products.

**Keywords:** electronic structure of the product, conceptual model, product configuration, product validation, product specification

**Введение.** Под объектом конфигурации понимается техническое средство (изделие, материал, вещество, программа и т. п.), выполняющее конечную функцию и обладающее набором свойств (характеристик). Конфигурация — это взаимосвязанные характеристики объекта конфигурации, установленные в данных о конфигурации, которые включают в себя все возможные требования, спецификации, документацию, модели данных и т. п. (далее — предметная область конфигурации).

Стандарты [1, 2] определяют и объясняют пять основных функций управления конфигурацией: планирование управления конфигурациями, идентификация конфигурации, управление изменениями, учет состояния, а также проверку и аудит. При управлении конфигурацией с использованием описываемых практик достигается максимальная окупаемость инвестиций и снижение затрат на жизненный цикл продукта [3].

Следует различать базовый объект конфигурации и его модернизации, модификации и совершенствования [4]. При модернизации создается объект конфигурации с улучшенными потребительскими свойствами путем ограниченного изменения базового объекта. При модификации создается однородный с базовым объект конфигурации, но отличающийся от него областью применения и выпускаемый одновременно с базовым. Совершенствование, в свою очередь, не приводит к изменению конфигурируемых характеристик базового объекта, однако изменяет его потребительские качества (свойства).

Основным средством конфигурирования является модификация базового объекта, которая приводит к созданию одного или нескольких его исполнений. Возможности модификации базового объекта конфигурирования закладываются на таких этапах жизненного цикла, как проекти-

рование и разработка. Особую востребованность и актуальность при этом получило создание электронных структур объектов конфигурации, автоматизирующих «генерацию» различных и многочисленных его исполнений [5].

В настоящее время в приборо- и машиностроении применяется большое число всевозможных программ-конфигураторов, предназначенных для конфигурации изделий (продуктов), например [6, 7]. Основным недостатком таких конфигураторов является возникновение при их использовании следующих проблем:

учет ограничений, связанных с недопустимостью совместного использования комплектующих изделий, материалов и программ;

расчет интегральных характеристик конфигурируемого изделия (продукта) и его составляющих изделий;

поиск мест возникновения ошибок конфигурации, связанных с неправильным или неполным выбором комплектующих, а также заданием их потребительских свойств;

создание конфигурационной модели изделия (необходимость разработки индивидуальных компьютерных программ для каждого изделия или продукта).

Настоящая статья посвящена созданию и использованию конфигуратора продукции производственно-технического назначения, основанного на понятийной декомпозиции предметной области конфигурации.

**Понятийная модель изделия.** Для описания любой предметной области необходимым и достаточным является выделение в ней понятий и формулировка с использованием этих понятий множества утверждений, характеризующих предметную область [8].

При понятийном моделировании понятия разделяются на конкретные и абстрактные, рассматриваются как именованные множества сущностей предметной области. Конкретные понятия образуются на основе фиксации представлений, а абстрактные — путем выполнения операций обобщения и ассоциации [9].

К конкретным относятся элементарные понятия — понятия-знаки, которые образуются путем именования уникальных представлений предметной области.

В предметной области конфигурации конкретными понятиями обозначаются изделия, которые с точки зрения процесса конфигурации являются неделимыми и неконфигурируемыми.

Примерами понятий-знаков для конфигурации компьютера могут служить конкретные реализации таких изделий, как процессор, линейка памяти, твердотельный диск и т. п.

Понятие-обобщение образуется в результате объединения сущностей двух и бо-

лее обобщаемых понятий. Частным случаем обобщения является операция типизации, при которой объединению подвергаются отдельные понятия-знаки.

При конфигурировании понятие-обобщение объединяет множество допустимых исполнений изделия в одно итоговое изделие, конфигурируемое путем выбора одного из перечисленных исполнений. В свою очередь понятия-типы выступают как элементарные понятия, через которые выражается структура конфигурируемого изделия.

Примерами понятий-типов могут также служить процессор, линейка памяти, твердотельный диск и т. п., рассматриваемые уже как множества одинаковых (однотипных) реализаций, неразличимых в процессе конфигурации. Примером понятия-обобщения является основная память компьютера, которая объединяет исполнения, отличающиеся количеством и типом линеек памяти.

Понятие-ассоциация образуется как соединение (конкатенация) двух и более ассоциируемых понятий. Не все комбинации сущностей ассоциируемых понятий могут входить в состав сущности понятия-ассоциации. Указанное ограничение призвано выразить индивидуальную взаимосвязь соединяемых сущностей. Агрегация — частный случай ассоциации, когда понятие-агрегат может рассматриваться как состоящее из произвольных сущностей агрегированных понятий, т. е. когда соединенные сущности между собой не связаны.

При конфигурировании понятие-ассоциация выражает соединение множества изделий в одно сборочное изделие, все составные части которого обязательны. Однако не любой состав этого изделия допустим, т. е. существуют ограничения, препятствующие произвольному выбору составляющих изделий. В понятии-агрегате таких ограничений нет.

Примером понятия-ассоциации является системный блок компьютера, состоящий из следующих обязательных изделий: корпус, материнская плата, блок питания, блок охлаждения, процессор, основная память, дисковая память и т. д. Понятно, что не все комбинации составных частей системного блока являются совместимыми и работоспособными. В свою очередь примером понятия-агрегата может служить персональный компьютер, состоящий из системного блока и клавиатуры. В этом случае предполагается, что к любому системному блоку может быть подключена любая клавиатура.

Понятийная модель — это понятийная структура предметной области, дополненная описанием входящих в нее понятий. В понятийной структуре задаются схемы понятий, т. е.

перечисляются понятия и указываются способы их образования. Описание понятий осуществляется путем задания принадлежащих им перечислимых или разрешимых множеств сущностей.

При конфигурировании понятийная структура предметной области выражает структуру конфигурируемого изделия, а описание входящих в нее понятий задается перечислением состава изделий — в виде понятий-ассоциаций, а их исполнений — в виде понятий-обобщений.

Для описания множеств сущностей, принадлежащих понятиями, используются логические высказывания с кванторами и одноместными предикатами принадлежности сущности  $E$  понятию  $N$  вида  $\dot{N}(E)$ , а также с отношениями между сущностями понятий вида  $X[N] \cdot E$ , где  $X[N]$  — функтор, возвращающий сущность понятия  $N$  из состава сущности  $X$ , а  $\cdot$  — отношения, заданные для сущностей, например, равно, больше, несравнимо и т. п.

При конфигурировании логические высказывания используются для задания ограничений, препятствующих произвольному выбору составляющих изделий. Например, для материнской платы с некоторым процессорным разъемом требуется использовать как процессор, имеющий такой же разъем в качестве ответной части, так и процессорный вентилятор, совместимый с этим разъемом. В этом случае выражение, задающее указанное ограничение, может выглядеть следующим образом:

$$\forall \text{ Плата} (\text{Платы}(\text{Плата}) \& \& \text{ Плата}[\text{Сокет}] = \text{Процессор}[\text{Сокет}] \& \& \text{ Плата}[\text{Сокет}] = \text{Вентилятор}[\text{Сокет}]),$$

где Платы — исполнения материнских плат; Плата — выбранная материнская плата; Процессор и Вентилятор — названия проверяемых изделий, входящих в состав конфигурируемого системного блока; Сокет — название изделия из состава изделий Плата, Процессор и Вентилятор, определяющего разъем процессора;  $\forall$  — квантор всеобщности;  $=$  — отношение равенства;  $\&$  — логическая связка И.

**Реализация управления конфигурацией.** Для проверки управления конфигурацией на основе понятийного моделирования разработана программа конфигурации изделий. Конфигуратор изделий (далее — конфигуратор) предназначен для создания и использования электронной структуры изделий на всех стадиях жизненного цикла.

Конфигуратор конструктивно и технологически реализован как отдельно устанавливаемое расширение корпоративной информационной системы 1С:Предприятие (пример реализации конфигуратора изделий, представленный в настоящей статье, публикуется

с разрешения ООО «Производственная компания Аквариус»). Работа конфигуратора осуществляется в двух режимах: конфигурации изделия и спецификации продукта.

В режиме конфигурации изделия решаются следующие задачи:

ввод и редактирование электронной структуры изделия с учетом его состава, исполнений и опциональных составляющих;

привязка комплектующих изделий к верифицированным номенклатурным товарам из корпоративной информационной системы;

задание ограничений на совместное использование составляющих изделий;

определение вычисляемых характеристик как изделия в целом, так и его составляющих.

На рис. 1 показана электронная структура изделия в виде дерева, в узлах которого размещаются как множества изделий — группы, так и одиночные изделия — элементы. Каждый узел имеет уникальный идентификатор — номер узла, расположенный у правой границы окна. Основные действия с электронной структурой изделия осуществляются через команды в контекстном меню узлов.

При выполнении команд создания или изменения узла открывается форма редактирования группы (рис. 2) или элемента (рис. 3).

Свойства группы и элемента выражаются константой, значение которой задает потребительские свойства и может быть изменено в процессе спецификации продукта, или формулой, значение которой зависит от конфигурации изделия и вычисляется в процессе спецификации продукта.

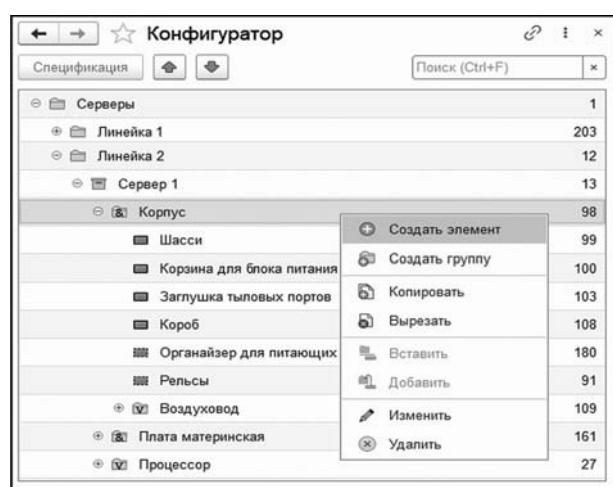


Рис. 1. Электронная структура изделий:

1, 12, 203 — классификационные группы изделий (понятия-агрегаты); 13 — продукт (понятие-ассоциация); 98, 161 — комплексы (понятия-ассоциации); 27, 109 — исполнения (понятия-обобщения); 99, 100, 103, 108 — обязательные комплектующие изделия (понятия-типы); 91, 180 — необязательные комплектующие изделия (понятия-типы)

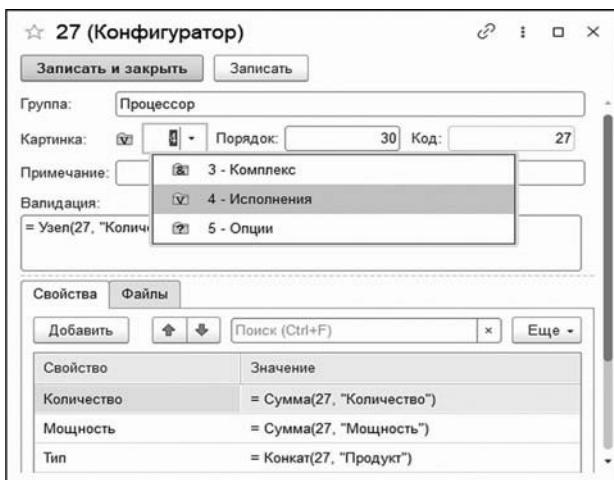


Рис. 2. Форма группы:

Группа — название узла; Картинка — выпадающий список для выбора типа группы; Порядок — сортировочный индекс; Код — номер узла; Примечание — произвольный комментарий; Валидация — выражение ограничения использования группы; Свойства — вкладка со списком свойств; Файлы — вкладка с вложенными файлами

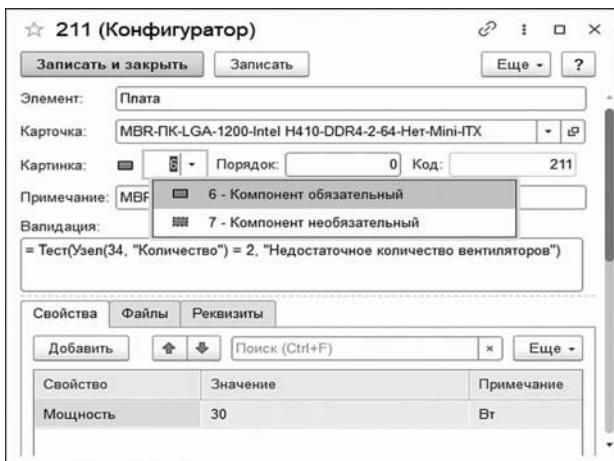


Рис. 3. Форма элемента:

Элемент — название элемента; Карточка — обозначение привязанного номенклатурного продукта; Картинка — выпадающий список для выбора типа элемента; Порядок — сортировочный индекс элемента; Код — номер элемента; Примечание — произвольный комментарий; Валидация — выражение ограничения использования элемента; Свойства — вкладка со списком свойств; Файлы — вкладка с вложенными файлами; Реквизиты — характеристики привязанного номенклатурного продукта

Формула начинается со знака «равно» и задает значение свойства с помощью выражений, в которые могут входить значения других свойств. Синтаксис и семантика выражения такие, как в языках программирования высокого уровня. Для доступа к свойствам узлов используются специальные функции:

- Узел( $X$ ) — извлекает логическое значение выбора узла с номером  $X$  в состав продукта;
- Узел( $X, Y$ ) — извлекает значение свойства с именем  $Y$  узла с номером  $X$ ;

— Сумма( $X, Y$ ) — вычисляет сумму значений свойств с именем  $Y$  у выбранных узлов, вложенных в узел  $X$ ;

— Конкат( $X, Y$ ) — вычисляет конкатенацию текстовых значений свойств с именем  $Y$  у выбранных узлов, вложенных в узел  $X$ ;

— Тест( $X, Y$ ) — возвращает логическое значение  $X$  и, если оно ложно, то генерирует сообщение об ошибке с описанием  $Y$ .

Для перехода в режим спецификации необходимо выбрать узел с продуктом и нажать кнопку «Спецификация» (см. рис. 1). В режиме спецификации продукта решаются следующие задачи:

спецификация состава продукта путем выбора исполнений составляющих его изделий;

валидация продукта и выбранных составляющих изделий путем проверки выполнимости заданных ранее ограничений;

вычисление технических характеристик продукта и его составляющих;

экспорт (импорт) файла спецификации.

Форма спецификации продукта показана на рис. 4, где электронная структура изделия дополняется колонкой с флагами выбора, позволяющими включать (исключать) соответствующий узел в спецификацию продукта. На форме в правой панели также отображается список свойств текущего узла. Если свойство задано формулой, то в списке отображается вычисленное значение. Если свойство задано значением, то имеется возможность его изменить, например, выбрать число процессоров, устанавливаемых на материнскую плату сервера.

При переходе в режим спецификации устанавливается флаг выбора узла-продукта, который является начальным узлом-комплексом. Далее индукцией по ветвям дерева выполняются следующие действия:

- 1) если у узла-комплекса установлен (сброшен) флаг выбора, то флаги выбора устанавливаются (сбрасываются) у всех вложенных

Спецификация		
Экспорт Импорт Сборка		
Наименование	Узел	Свойство
<input checked="" type="checkbox"/> Сервер	13	Мощность 500 Вт
<input checked="" type="checkbox"/> Корпус	98	Память 64 ГБ
<input checked="" type="checkbox"/> Плата материнская	161	Процессор 2 шт.
<input checked="" type="checkbox"/> Плата системная	210	Диски 3 840 ГБ
<input checked="" type="checkbox"/> Недостаточное количество вентиляторов Тест(Узел(34, "Количество") = 2, "Недостаточное количество вентиляторов")	163	
<input checked="" type="checkbox"/> Процессор	27	
<input checked="" type="checkbox"/> Вентилятор	34	
	104	
	112	
<input checked="" type="checkbox"/> Память оперативная	30	
<input checked="" type="checkbox"/> Контроллер загрузо...	36	
<input checked="" type="checkbox"/> Контроллер дисков	37	
<input checked="" type="checkbox"/> Диск информацион...	38	
<input checked="" type="checkbox"/> Плата расширения	39	

Рис. 4. Форма спецификации

узлов, кроме опциональных узлов, у которых флаги выбора сбрасываются;

2) если у узла исполнений или опционального узла установлен флаг выбора, то флаг выбора устанавливается у первого вложенного узла, а у всех остальных узлов флаги выбора сбрасываются;

3) если у узла исполнений или у опционального узла сброшен флаг выбора, то флаги выбора сбрасываются у всех вложенных узлов.

Изменение текущей спецификации продукта осуществляется путем установки или сброса флагов выбора у опциональных или необязательных узлов, а также путем выбора узла-исполнения, после которого выбранный ранее узел-исполнение автоматически сбрасывается.

При любом изменении флага выбора узла запускается описанная индуктивная процедура изменения флагов вложенных узлов, а затем вычисляются свойства узлов по следующей рекурсивной процедуре:

1) если все свойства просмотрены, то процедура завершается, иначе выбирается текущее свойство, флаг значения которого сброшен, и выполняется переход к шагу 2;

2) если в формуле текущего свойства не встретилось свойство со сброшенным флагом значений, то флаг значения текущего свойства устанавливается, вычисленное значение свойства сохраняется для дальнейшего использования и осуществляется переход к шагу 1, иначе переход к шагу 3 с новым текущим свойством;

3) если в формуле текущего свойства встретилось свойство со сброшенным флагом значений, то выполняется рекурсивный переход к шагу 3 с обновленным текущим свойством, иначе вычисляется значение свойства, устанавливается его флаг значения и выполняется рекурсивный возврат к шагу 3 или, если рекурсия завершилась, то переход к шагу 2.

Если при спецификации продукта нарушены ограничения, задаваемые формулами валидации узлов, или генерируются ошибки при вычислении свойств узлов, то такие свойства, узлы и их родители подсвечиваются (см. рис. 4). При наведении указателя на узел или свойство с ошибками во всплывающем сообщении выводится текст ошибки.

После устранения ошибок итоговая спецификация продукта может быть сохранена в виде файла, для чего используется кнопка «Экспорт». Спецификация представляет собой линейный список комплектующих изделий, необходимый для сборки сконфигурированного изделия. Сохраненная ранее спецификация может быть загружена повторно после нажатия кнопки «Импорт».

**Заключение.** Использование понятийных моделей для представления электронных

структур изделий позволило разработать эффективный механизм управления конфигурацией, не требующий разработки индивидуальных компьютерных программ для каждого конфигурируемого изделия.

Представленный в статье конфигуратор позволяет в наглядной форме учесть нетривиальные ограничения, связанные с несовместимостью некоторых комплектующих и составляющих изделий, отобразить места возникновения ошибок конфигурации, выполнить расчет технических характеристик конфигурируемого изделия и его составляющих.

На основе предлагаемого решения могут быть разработаны другие приложения, сервисы и сайты для работы с электронной структурой изделий на всех стадиях жизненного цикла. При этом благодаря использованию понятийного моделирования предметной области конфигурации не потребуется доработка этих приложений, сервисов и сайтов при появлении новых изделий или модернизации существующих.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р ИСО 10007—2019. Менеджмент качества. Руководящие указания по менеджменту конфигурации. М.: Стандартинформ, 2019. 11 с.
2. EIA 649C—2019. Configuration management standard. SAE International, 2019. 72 p.
3. Aiello B., Sachs L. Configuration management best practices: practical methods that work in the real world. Addison-Wesley, 2010. 268 p.
4. ГОСТ Р 15.000—2016. Система разработки и постановки продукции на производство. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2019. 15 с.
5. ГОСТ 2.053—2013. Единая система конструкторской документации. Электронная структура изделия. М.: Стандартинформ, 2014. 10 с.
6. ЛОЦМАН:PLM 22 Конфигуратор // Свид-во о государственной регистрации программы для ЭВМ, № 2016622896 Российской Федерации / Заявитель и правообладатель ООО «АСКОН-Бизнес решения» (RU). № 2021667557. Заявл. 06.08.2021. Опубл. 01.11.2021. 1 с.
7. Appius-PLM Управление жизненным циклом изделия // Свид-во о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018662308 Российской Федерации / Заявитель и правообладатель ООО «АППИУС-СОФТ» (RU). № 2018616476. Заявл. 22.06.2018. Опубл. 04.10.2018. 1 с.
8. Выхованец В.С. Методика понятийного анализа сложных предметных областей // Наукомкие технологии. 2022. Т. 23. № 8. С. 60–68. DOI: <https://doi.org/10.18127/j19998465-202208-07>.
9. Vykhoverets V.S. Intelligent Information Systems Based on Notional Models Without Relationships / In: Hu Z., Petoukhov S., He M. (eds). Advances in intelligent systems, computer science and digital Economics II // Advances in intelligent systems and computing. 2021. Vol. 1402. Springer, Cham. P. 20–28. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-80478-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-80478-7_3).

Статья поступила в редакцию 28.11.2023;  
одобрена после рецензирования 04.11.2023;  
принята к публикации 04.11.2023.