

УДК 621-05

DOI: 10.22213/2410-9304-2019-2-88-92

МЕТОДОЛОГИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИЗДЕЛИЯ*

Е. С. Слащев, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

В. Г. Осетров, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Д. М. Маликова, кандидат экономических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

В статье рассматривается методология функционального проектирования процессов системы управления жизненным циклом изделия для производственных предприятий на примере автоматизированного рабочего места конструктора. Проводится анализ рабочего места конструктора путем иерархической методологии функционального моделирования IDEF0 с целью его последующей автоматизации. В качестве входных данных используются предварительные результаты технико-экономического обоснования, научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы, а также патентных исследований и экспертная система контроля (технический, экономический, плановый и нормоконтроль). В качестве информационного обеспечения функциональной модели рабочего места конструктора является единая система конструкторской документации. На выходе функциональной модели автоматизированного рабочего места конструктора – документация для конструкторско-технологической подготовки производства. В основной части статьи приводится метод автоматизации узлов конструкторской подготовки производства с целью создания модели программного обеспечения для автоматизированного рабочего места с возможностью добавления количественных показателей. Целью данной статьи является дополнить методологию функционального проектирования производственных систем на примере автоматизированного рабочего места конструктора путем постепенного построения иерархии с последующим машинным обучением. Представленная методология функционального проектирования имеет свойство к расширению и дополнению новыми качественными и количественными показателями.

Ключевые слова: IDEF0, жизненный цикл изделия, PLM-система, автоматизированное рабочее место конструктора, автоматизированное рабочее место технолога, производственная инфраструктура.

Введение

Современные системы автоматизированной подготовки производства [1–10] в большей части строятся на методологии функционального моделирования IDEF0. Иерархия в описании методологии функционального моделирования IDEF0 построена с учетом акцентов на подпроцессы, предусматривающие применение методов искусственного интеллекта или иных методов, направленных на автоматизацию процессов, выходящих за пределы текущего уровня техники, либо представляющие сложность и новизну с точки зрения интеграции мультидисциплинарных решений. Однако данная система недостаточно объясняет процесс пути автоматизации производственных систем. В первую очередь такая система строится на субъективных экспертных показателях, что ведет к необоснованной иерархии и последовательности производственных процессов. В данной работе предлагается прототип, построенный на иерархической автоматизации процессов системы управления жизненным циклом изделия с учетом машинного обучения. Такая система в первую очередь предназначена для цифровой конструкторско-технологической подготовки ма-

шиностроительного и приборостроительного производства. Целью данной статьи является разработки методологии функционального проектирования путем постепенного построения иерархии процесса работы конструктора. При этом необходимый набор процессов пользователь строит из обучаемой базы данных. Как только пользователь вводит новые процессы конструкторской подготовки, они добавляются в базу данных. Таким образом, первоначально пустая база данных хранит все данные об автоматизированной конструкторской системе, когда-либо собранные пользователем. Главной особенностью является то, что при каждом изменении состава имеющихся свободных узлов дополненная методология функционального проектирования IDEF0 ищет аналоги в БД, предлагая пользователю автоматически собрать функциональную схему.

Постановка задачи и методы исследования

Рассмотрим методологию функционального проектирования процессов системы управления жизненным циклом изделия на следующих модулях автоматизированной подготовки производства на примере автоматизированного рабо-

© Слащев Е. С., Осетров В. Г., Маликова Д. М., 2019

*Публикация подготовлена в рамках выполнения работ по проекту «Разработка прототипа системы управления технологическими проектами автоматизированного рабочего места конструктора, технолога, учета документации» по договору № 2937ГС1/45295 с Фондом содействия инновациям. Регистрационный номер НИОКТР АААА-А19-119040590014-8.

чего места конструктора, предназначенного для формирования и обработки конструкторской документации, формирования и обработки сводных ведомостей разрабатываемых, покупных, стандартизованных изделий (см. рис. 1).

Иерархическая структура процесса конструкторской подготовки производства и всех подпроцессов, его составляющих, представлена на рис. 2.

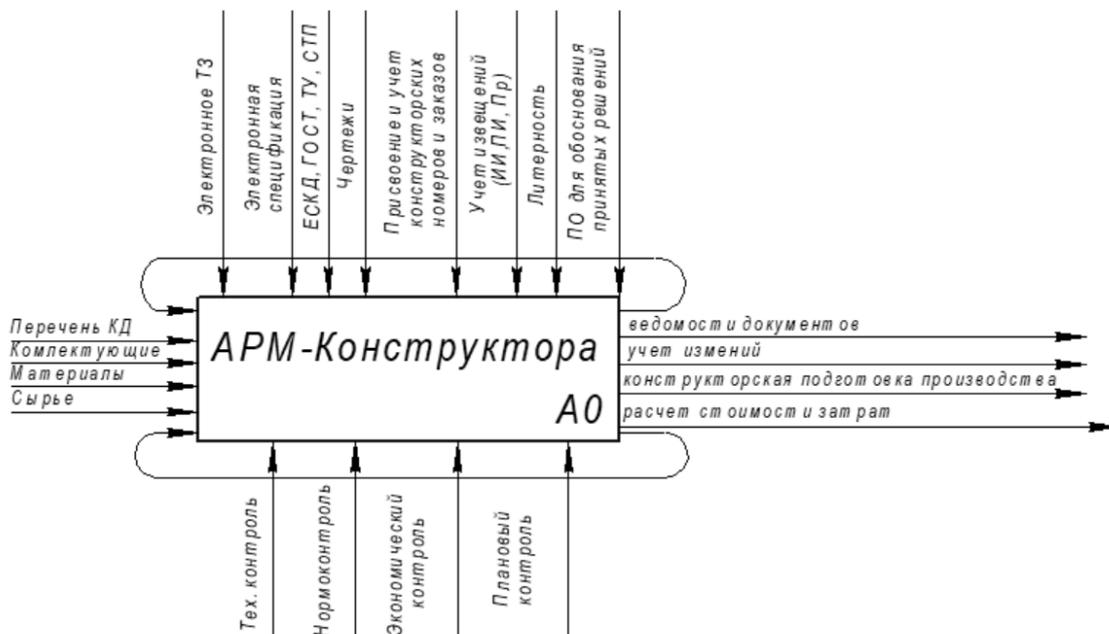


Рис. 1. Автоматизированное рабочее место конструктора

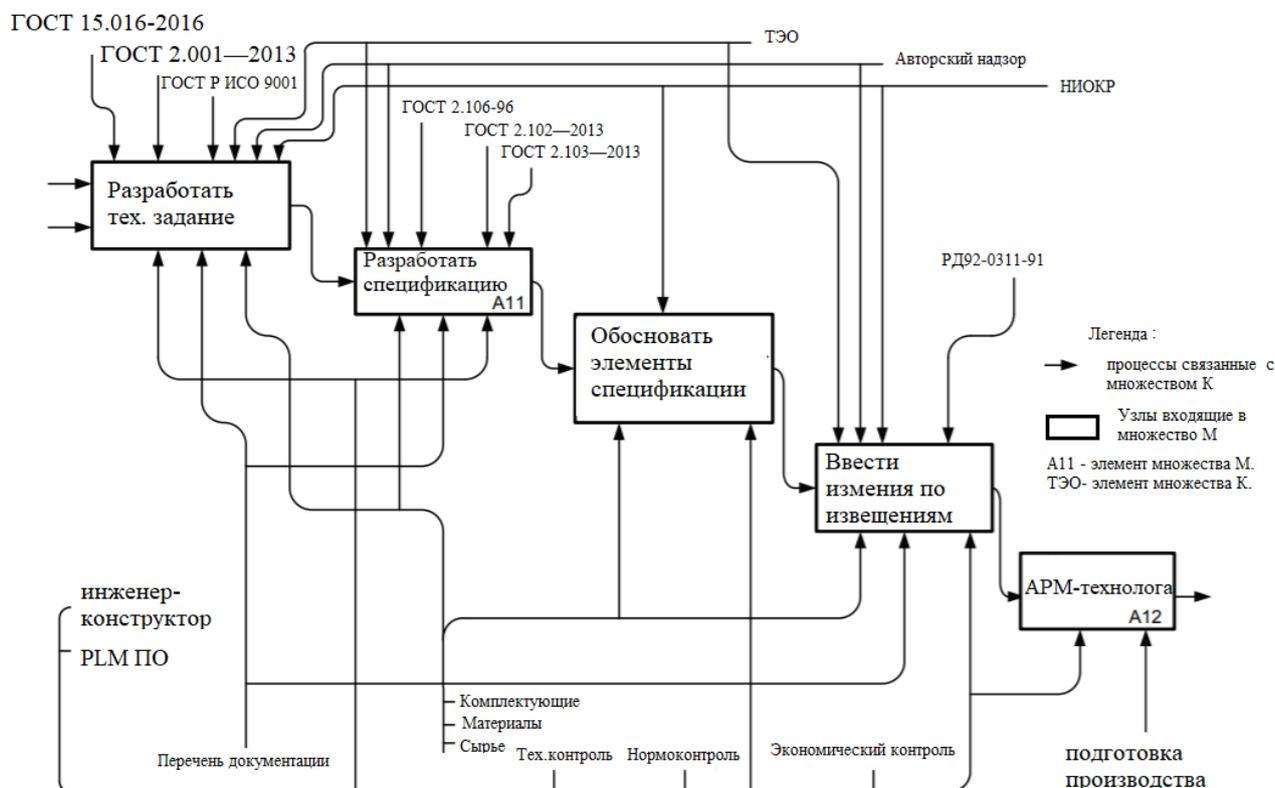


Рис. 2. Иерархическая структура процесса конструкторской подготовки производства

С целью автоматизации процесса конструкторской подготовки производства необходимо решить задачу структурного описания методологии функционального проектирования (см. рис. 2), а также разработать процесс машинного обучения. Такая задача решается следующим образом, дано:

– двумерное множество K , описывающее структуру процесса конструкторской подготовки производства, в котором: если $x \in \mathbf{N}$ – номер элемента множества, а $k_{x1} \in \mathbf{N}$ – номер процесса, входящего в узел иерархической структуры, а $k_{x2} \in \mathbf{N}$ – номер предшествующего процесса;

– двумерное множество M , содержащее все узлы всех структур процессов конструкторской подготовки производства, хранящихся в базе данных. Если $m_{x1}, m_{x2} \in \mathbf{N}$ – элементы множества M , то $x \in \mathbf{N}$ – номер элемента множества, m_{x1} –

номер узла иерархической структуры, а m_{x2} – номер предшествующего узла.

Для решения задачи автоматизации необходимо:

– проверить базу данных на возможность подстановки узлов из базы в методологию функционального проектирования;

– если искомые узлы найдены, то добавить их в множество K .

Решение. Пусть $\text{Max } \mathbf{N}$ – число элементов множества M , $\text{каж } \mathbf{N}$ – число элементов множества K , $a, x, y, z, i, ch, lax \in \mathbf{N}$ – вспомогательные переменные, L – множество, аналогичное по структуре множеству K , первоначально пустое, $a = 0; y = 0$.

Определим процесс обучения по системе уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} a+1, L=0, z=0, x=1, lax=0 \text{ если } (a < \text{max}) \wedge (y \neq 1), \\ a, L=L + \langle m_{x1}, m_{x2} \rangle, lax=lax+1, x=x+1, \text{ если } (x < \text{max}) \wedge (m_{x2} = m_{a1}) \wedge (z \neq 1), \\ a, x=x+1, \text{ если } (x < \text{max}) \wedge (m_{x2} \neq m_{a1}) \wedge (z \neq 1), \\ a, z=1, x=1, i=0, ch=0, \text{ если } (x = \text{max}) \wedge (z \neq 1), \\ a = a, x=x+1, i=0, \text{ если } (z=1) \wedge (x < lax) \wedge (i = kax), \\ a, i=i+1, \text{ если } (z=1) \wedge (x < lax) \wedge (i < kax) \wedge (ch = 0), \\ a, ch=1, i=kax, \text{ если } (z=1) \wedge (k_{i1}=l_{x1}) \wedge (k_{i2} = -1) \wedge (ch = 0), \\ a, y=2, \text{ если } (z=1) \wedge (i=kax) \wedge (ch=0) \wedge (y=0), \\ a, y=1, \text{ если } (z=1) \wedge (x=lax) \wedge (y=0). \end{array} \right. \quad (1)$$

В результате действия этого цикла получаем: если $y = 1$, то искомые узлы хранятся в множестве L ,

если $y = 2$, то искомые узлы не найдены.

В случае если искомые узлы определены, то необходимо изменить множество K .

Сначала добавляем к нему один элемент, который будет являться новым предком для найденных узлов (см. формулу (2)):

$$K = K + \langle l_{11}, -1 \rangle, \quad (2)$$

где -1 означает, что у этого элемента на данный момент нет процессов верхнего уровня. Пусть этот новый элемент записывается в множество под номером p : $k_p \equiv \langle l_{11}, -1 \rangle$.

Затем проставим в найденных элементах множества K этот элемент в качестве узла верхнего уровня

$$(\forall x \in N) (\exists y \in N) (k_x = l_y) \Rightarrow (k_{x2} = p), \quad (3)$$

где x, y – натуральные числа, k_x, l_y – элементы множеств M и L соответственно, значение p описано выше.

Обсуждение результатов

При помощи методологии функционального проектирования описаны инструменты создания автоматизированного рабочего места конструктора, которое состоит из программ, формирующих исполнительную документацию, и баз данных, содержит информацию о деталях, документации, НИОКР, операциях, оборудовании и их связях. Ссылочная целостность поддерживается как на уровне драйверов БД, так и на программном уровне. Так представлена иерархическая функциональная схема производственной системы конструкторской подготовки, где в узлах находится информация о документах и этапах работы. Без постоянного добавления и машинного обучения такой системы невозможно представить ее в базе в третьей нормальной форме.

Вывод

Дополненная методология функционального проектирования процессов управления жизненным циклом изделия решает часть задач автоматизации системы и позволяет разработать прототип кооперационно-сетевой системы управления жизненным циклом машиностроительного и приборостроительного изделия. Решить проблему унификации ресурсов соиспол-

нителей, снижения трудоемкости конструкторско-технологической подготовки производства в части разработки и обеспечения работы соисполнителей в реальном времени с оперативным учетом всех видов взаимодействующих производств путем машинного производства. Преодолеть технологический барьер сокращения времени подготовки производства за счет цифровизации и автоматизации конструкторско-технологического моделирования.

Библиографические ссылки

1. Власов С. Е., Райкин Л. И., Перенков С. А. Функциональное моделирование процессов проектирования и технологической подготовки производства радиоэлектронной аппаратуры // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2005. № 4. С. 66–72.
2. Методология функционального моделирования IDEF0: Руководящий документ (РД IDEF0 - 2000) : [Действующий с 2000 г.]. М. : Госстандарт России, 2000. 75
3. Осетров В. Г., Слащев Е. С. Сборка в машиностроении, приборостроении. Теория технология и организация. Ижевск : Изд-во Ижевского института комплексного приборостроения, 2015. 328 с.
4. Рузина Е. А., Пластинин В. Г., Палкин И. Ю. Реализация ИПИ-технологий в разработке автоматизированной системы оперативно-диспетчерского управления инструментальным производством // Информ. технологии в проектировании и производстве. 2007. № 4. С. 94–100.
5. Слащев Е. С., Осетров В. Г. Формализация выбора метода достижения точности замыкающего звена при сборке // Системы проектирования, моделирования, подготовки производства и управление проектами CAD/CAM/CAE/PDM: сб. ст. XI Международной научно-практической конференции. Пенза : Приволжский дом знаний, 2017. С. 8–14.
6. Р50.1.028-2001. Рекомендации по стандартизации. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования [Действующий с 2001 г.]. М. : Госстандарт России, 2001. 43 с
7. Friedman H. D. 1965. Reduction methods for tandem queuing systems *Operations Research* 13, pp. 121-131.
8. Dallery R. David and Xie X. 1989. Approximate analysis of transfer lines with unreliable machines and finite buffers. *IEEE Transactions on Automatic Control* 34 (9), pp. 943-953.
9. Cruz F. R. B. MacGregor Smith J. and Queiroz D. C. 2004. Service and capacity allocation in M/G/C/C state dependent queueing networks *Computers & Operations Research* 32(6), pp. 1545-63.
10. National Institute of Standards and Technology . Integration Definition For Function Modeling (IDEF0). Washington : Draft Federal Information, 1993. 116.

References

1. Vlasov S.Ye., Raikin L.I., Cerenkov S.A. [Functional modeling of design processes and technological preparation of production of electronic equipment]. *Informatsionnye tekhnologii v proektirovanii i proizvodstve*. 2005. No. 4, pp. 66-72 (in Russ.).
2. *Metodologiya funktsional'nogo modelirovaniya IDEF0: Rukovodyashchii dokument* [Methodology of functional modeling IDEF0: Guidance document] (IDH IDEF0 - 2000) [Valid since 2000]. Moscow, Gosstandart Rossii, 2000. 75 p. (in Russ.).
3. Osetrov V.G., Slashchev E.S. *Sborka v mashinostroenii, priborostroenii. Teoriya tekhnologiya i organizatsiya* [Assembly in mechanical engineering, instrument making. Theory of technology and organization]. Izhevsk, Izd-vo Izhevskogo instituta kompleksnogo priborostroeniya Publ., 2015. 328 p.
4. Ruzina E.A., Plastinin V.G., Palkin I.Yu. [Implementation of IPI-technologies in the development of an automated system for operational dispatch control of tool production]. *Inform. tekhnologii v proektirovanii i proizvodstve*. 2007. No. 4, pp. 94-100 (in Russ.).
5. Slashchev E.S., Osetrov V.G. *Formalizatsiya vybora metoda dostizheniya tochnosti zamykayushchego zvena pri sborke* [Formalization of the choice of the method of achieving the accuracy of the closing link during assembly]. *Sistemy proektirovaniya, modelirovaniya, podgotovki proizvodstva i upravlenie proektami CAD/CAM/CAE/PDM* [Proc. Design Systems, Modeling, Production Preparation, and Project Management CAD / CAM / CAE / PDM: Sat. Art. XI International Scientific and Practical Conference]. Penza, Privolzhskii dom znanii Publ., 2017, pp. 8-14 (in Russ.).
6. R50.1.028-2001. *Rekomendatsii po standartizatsii. Informatsionnye tekhnologii podderzhki zhiznennogo tsikla produktsii. Metodologiya funktsional'nogo modelirovaniya* [Recommendations for standardization. Information technology supports the life cycle of products. Methodology of functional modeling]. Moscow, Gosstandart Rossii, 2001. 43 p. (in Russ.).
7. Friedman H.D. 1965. Reduction methods for tandem queuing systems *Operations Research* 13, pp. 121-131.
8. Dallery R. David and Xie X. 1989. Approximate analysis of transfer lines with unreliable machines and finite buffers. *IEEE Transactions on Automatic Control* 34 (9), pp. 943-953.
9. Cruz F.R.B. MacGregor Smith J and Queiroz D C 2004 M & G / C C dependent queuing networks *Computers & Operations Research* 32 (6). Pp. 1545-63.
10. National Institute of Standards and Technology. Integration Definition For Function Modeling (IDEF0). Washington: Draft Federal Information, 1993.

* * *

Methodology of Functional Design of Processes of the Product Lifecycle Management System*E. S. Slashchev*, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU*V. G. Osetrov*, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU*D. M. Malikova*, PhD in Economics, Associate Professor, Kalashnikov ISTU

The paper discusses the methodology of the functional design of the processes of the product lifecycle management system for manufacturing enterprises on the example of the designer workstation. The analysis of the workplace of the designer is carried out by the hierarchical methodology of functional modeling IDEF0 with the aim of its subsequent automation. The preliminary data of the feasibility study, research, and development work, as well as patent research and expert control system (technical, economic, planned and standard control), are used as input data. As informational support of the functional model of the designer's workplace, there is a unified system of design documentation. The output of the functional model of the designer's automated workplace is the documentation for the design and technological preparation of production. The main part of the paper provides a method for automating the nodes of the design preparation of production in order to create a software model for an automated workplace with the possibility of adding quantitative indicators. The purpose of this paper is to supplement the methodology of a functional design of production systems, by the example of an automated designer's workstation, by gradually building a hierarchy followed by machine learning. The presented methodology of functional design has the ability to expand and supplement with new qualitative and quantitative indicators.

Keywords: IDEF0, product life cycle, PLM-system, designer workstation, process engineer workstation, production infrastructure.

Получено: 06.06.19