

БАЗОВАЯ КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ДАННЫХ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА В ЕДИНОМ ИНФОРМАЦИОННОМ ПРОСТРАНСТВЕ ПРЕДПРИЯТИЯ

© 2020 С.В. Чурилин, И.Н. Хаймович

Самарский национальный исследовательский университет им. академика С. П. Королёва

Статья поступила в редакцию 17.06.2020

Актуальность определения базовой концептуальной модели данных конструкторско-технологической подготовки производства в едином информационном пространстве обусловлена необходимостью успешного внедрения технологий информационной поддержки изделия в процессы подготовки производства. Для этого необходимо четкое представление о том, как будет организована информационная модель данных об изделии в информационном пространстве предприятия. С этой целью разработана базовая концептуальная модель данных, графическое и математическое представление которой представлено в статье.

Ключевые слова: конструкторско-технологическая подготовка производства, информационная поддержка изделия, базовая концептуальная модель данных.

DOI: 10.37313/1990-5378-2020-22-4-57-63

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия, в связи с переходом к информационному обществу, на предприятиях, производящих сложную наукоемкую продукцию, происходят колоссальные перемены в организации производства. Интенсивное развитие информационных технологий привело к тому, что необходимым условием конкурентоспособности предприятия является наличие современных информационных технологий и систем на всех этапах конструирования, производства и эксплуатации изделия, т.е. внедрение информационной поддержки изделия (ИПИ-технологий) в процессы конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП) в едином информационном пространстве (ЕИП) предприятия.

Для организации успешного внедрения ИПИ-технологий необходимо четкое представление о том, как будет организована информационная модель данных изделия на всех этапах его жизненного цикла в ЕИП предприятия. С этой целью разработана базовая концептуальная модель данных (БКМД) КТПП в ЕИП.

ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ БАЗОВОЙ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ДАННЫХ

Выпуск изделия зависит от совместной и согласованной деятельности производственных и функциональных подразделений предприятия,

Чурилин Сергей Викторович, аспирант кафедры обработки металлов давлением.

E-mail: sergejkurapov@gmail.com

Хаймович Ирина Николаевна, доктор технических наук, профессор кафедры обработки металлов давлением.

E-mail: kovalek68@mail.ru

связанных между собой информационно и технологически. На рисунке 1 представлена схема взаимосвязи конструкторско-технологической службы, в которой отмечены и обратные корректирующие связи по различным параметрам: по объемам, качеству, ценам реализуемого изделия и т.д. Реализация представленной схемы должна быть обеспечена соответствующими организационными механизмами взаимодействия между субъектами приведенной системы [1].

При внедрении ИПИ-технологий в производственные процессы предприятия организационный механизм взаимодействия между субъектами является «фундаментом» БКМД на основе полного электронного описания изделия (ПЭОИ). При этом, ПЭОИ должно обеспечивать совокупность данных в электронном виде, получаемых на разных этапах ЖЦИ и максимально полно описывающее изделие. Таким образом, в массиве основных данных БКМД должны быть отражены:

- участники ЖЦИ $\{O_1; \dots; O_n\}$;
- основные информационные объекты $\{IO_1; \dots; IO_n\}$ системы управления данными об изделии (далее по тексту – PDM-системы), используемые для создания данных об изделии на протяжении всего ЖЦИ;
- электронные технические документы $\{ED_1; \dots; ED_n\}$, описывающие как изделие, так информационные объекты (ИО) в PDM-системе;
- статусы $\{ST_1; \dots; ST_n\}$, присваиваемые ИО и документам в PDM-системе;
- связи, устанавливаемые между ИО и документами, и используемые для консолидации всех данных об изделии.

На рисунке 2 представлена разработанная БКМД, отражающая массив основных данных

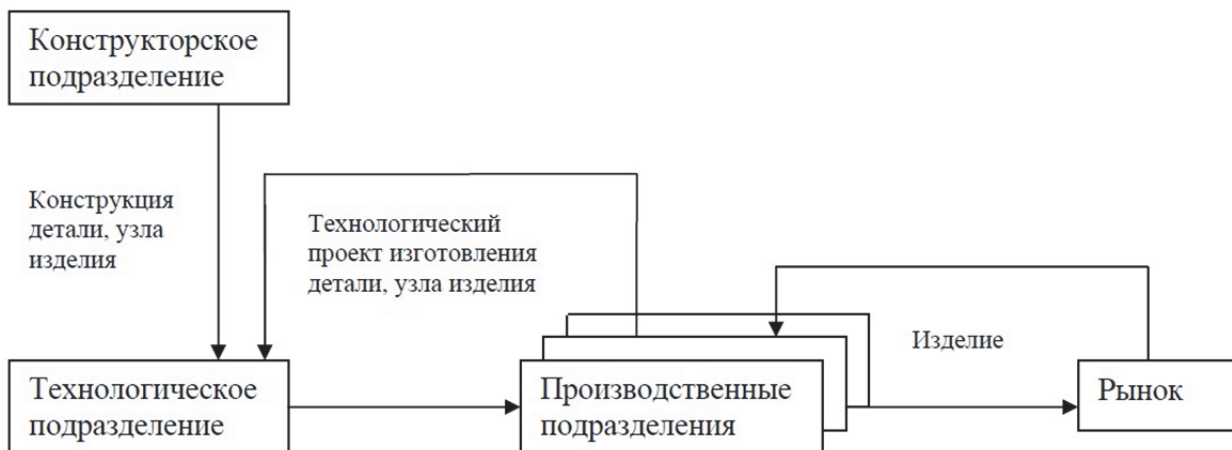


Рис. 1. Схема взаимосвязи между субъектами организационной системы

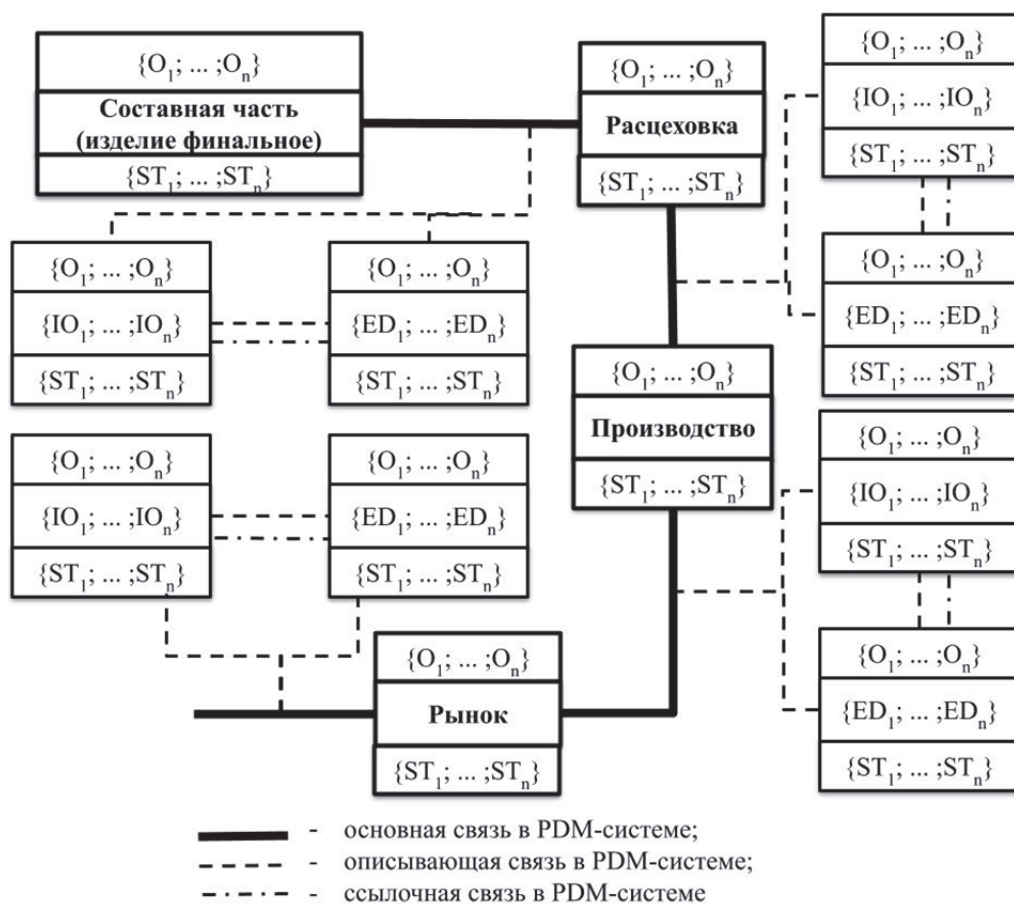


Рис. 2. Графическое представление базовой концептуальной модель данных конструкторско-технологической подготовки производства

и организационный механизм взаимодействия между субъектами в ЕИП.

Необходимо отметить, что при разработке информационной модели данных изделия на основании БКМД в информационную модель рекомендуется включать такие объекты, как:

- ИО «Составная часть» – самостоятельная часть изделия (образца), предназначенная для выполнения определенных технических функций в его составе [2, 3];
- ИО «Изделие финальное» – сложное изделие, не нуждающееся в дальнейшей про-

мышленной переработке, предназначенное для поставки (продажи) с целью его самостоятельного применения по назначению и состоящее из конструктивно, функционально и информационно связанных составных частей (изделий и материалов, в том числе систем, подсистем, программных и аппаратных средств) [3];

- ИО «Расцеховка» – разработка межцеховых технологических маршрутов для всех составных частей изделия [4];
- Документ «Технологический процесс» – предназначен для хранения файлов цеховых

технологических документов общего и специального назначения на ТП;

- ИО «Составная часть СТО» – предназначен для хранения в Windchill КД на СТО, проектируемой технологическими службами предприятия;

- Документ «Управляющая программа» – предназначен для хранения файлов управляющих программ;

- ИО «Рынок» – ИО, определяющий состояние ЖЦИ на этапе сбыта (реализации) продукции. ИО «Рынок» управляется процессом жизненного цикла, каждому этапу которого присваивается соответствующий статус, например, «Продажа», «Продано», и др.;

- ИО статус (набора данных) – ИО, содержание которого определяет возможность (или, напротив, невозможность) дальнейшего использования набора данных (в т.ч. представленного в форме документа) по назначению [5];

- ИО «связь в PDM-системе» – ИО, описывающий отношения между другими информационными объектами, представленными в PDM-системе, в частности, информационными

объектами, описывающими идентификационные данные об изделии.

Массив данных БКМД зависит от количества производственных процессов и неотъемлемых их составляющих (участники процессов, разрабатываемая документация и т.д.), реализуемых в информационном пространстве предприятия [5].

На рисунках 3 и 4 изображены примеры упрощенных представлений информационных моделей изделия и оснастки, разработанных на основании БКМД.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ БАЗОВОЙ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ДАННЫХ

На основании вышеизложенного следует, что БКМД представляет собой множество в виде:

- изделия «Составная часть (изделие финальное)» и ее составляющих: сборочная единица, деталь, узел и т.д.;
- ИО, описывающих изделие;

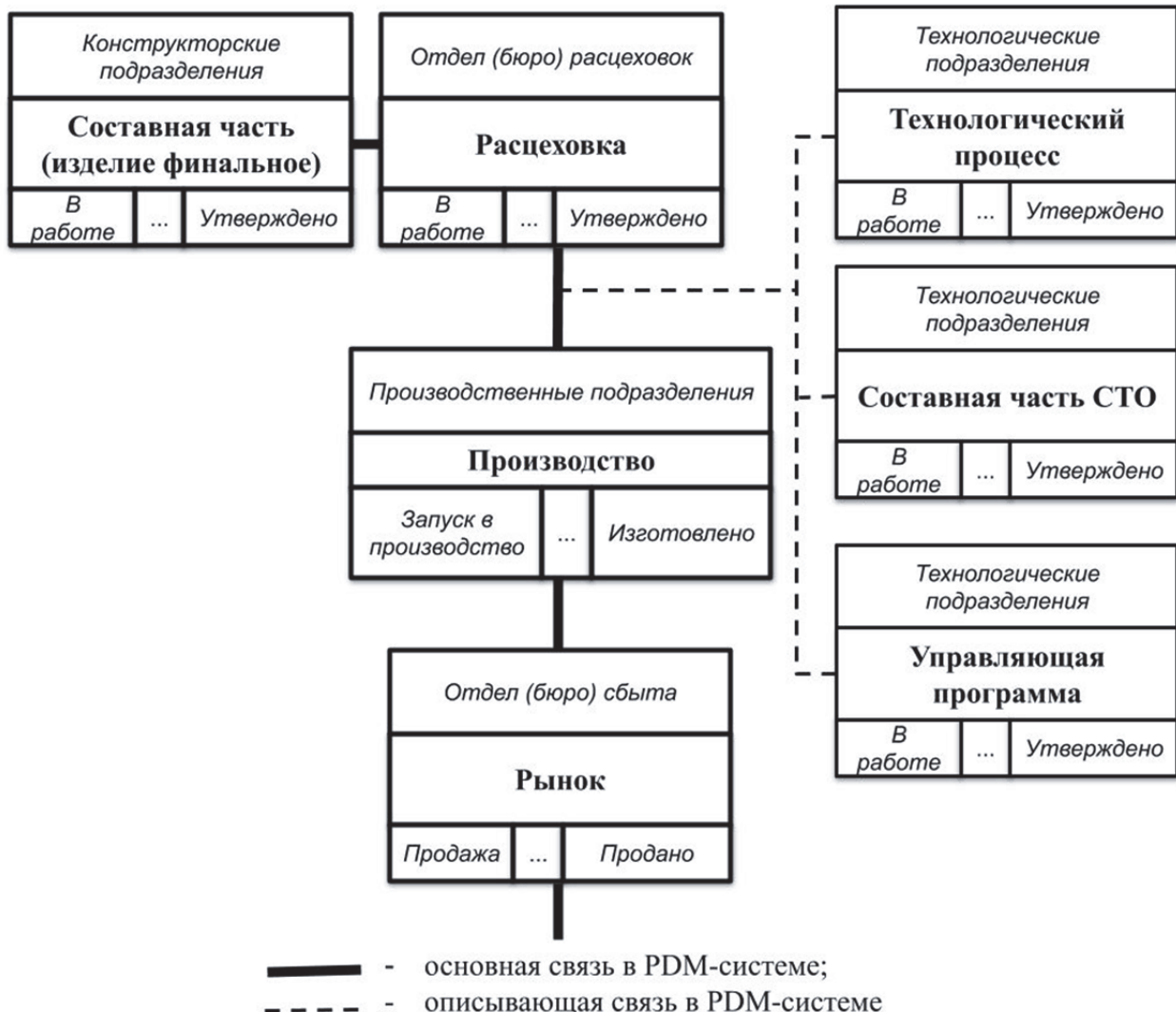


Рис. 3. Упрощенное представление информационной модели изделия

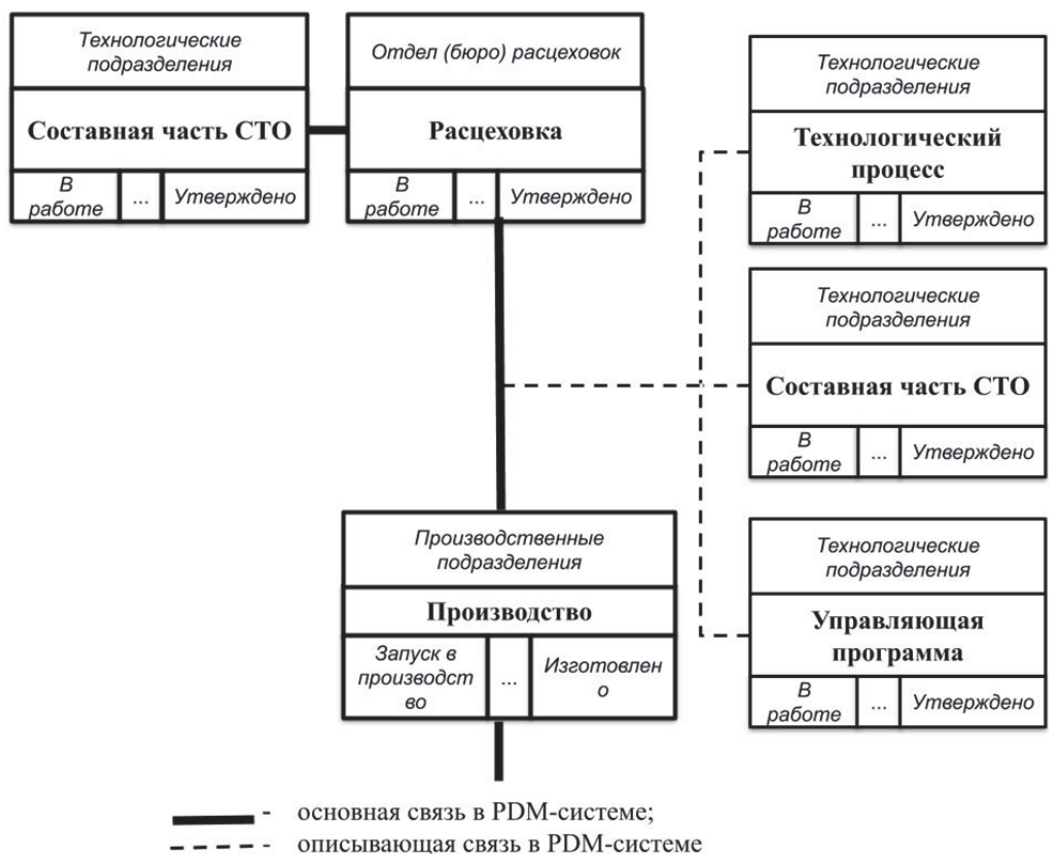


Рис. 4. Упрощенное представление информационной модели оснастки

- электронных документов (ДЭ), описывающих ИО;
- сотрудников подразделений, выполняющих процессы с изделие, ИО, ДЭ и т.д.;
- процессов с изделием, ИО, ДЭ и т.д.;
- статусов (наборов данных), приобретаемых изделием, ИО, ДЭ и т.д., после выполнения процессов сотрудниками подразделений.

Основываясь на научных исследованиях в данной области [1, 6], определено математическое представление БКМД следующим образом:

$$A_1 = \langle \{M^{sl}(U_i)\}, r \rangle, \quad (1)$$

$$M^{sl}(U_i) = \langle \{U_j | U_{j,r} > U_i\} \rangle, \quad (2)$$

где: U_i – элемент изделия: сборочная единица, деталь, узел и т.д.;

$\rho \in M^{sl} \times M^{sl}$ – отношение полного порядка (древовидное отношение), определяющее иерархию элементов изделия;

$\{U_j | U_{j,\rho} > U_i\}$ – множество элементов (деталей, сборочных единиц агрегатов) U_j , входящих в состав вышестоящего элемент (сборочной единицы, узла) U_i .

БКМД представлена в ЕИП как структура взаимосвязанных ИО.

$$A_2 = \langle \{M^{sl}(IO_i)\}, \alpha \rangle, \quad (3)$$

$$M^{sl}(IO_i) = \langle \{IO_j | IO_{j,\alpha} > IO_i\}, M^\alpha(IO_i) \rangle, \quad (4)$$

где: IO_i – ИО, описывающий информационную модель данных изделия;

$\alpha \in M^{sl} \times M^{sl}$ – отношение частного порядка,

определяющее структуру ИО, описывающих информационную модель данных изделия;

$\{IO_j | IO_{j,\alpha} > IO_i\}$ – множество ИО IO_j , описывающих информационный объект изделия IO_i (например, ИО «Составная часть»);

$M^\alpha(IO_i)$ – модель отношения, определяющего последовательность создания ИО, описывающих информационный объект изделия IO_i .

Каждый ИО описывается ДЭ. ИО и ДЭ могут иметь как прямую (описывающую) связь, так и ссылочную.

$$A_3 = \langle \{M^{sl}(ED_i)\}, b \rangle, \quad (5)$$

$$M^{sl}(ED_i) = \langle \{ED_j | ED_{j,b} > ED_i\} \rangle, \quad (6)$$

где: ED_i – электронный документ, описывающий информационный объект;

$\beta \in M^{sl} \times M^{sl}$ – отношение частного порядка, определяющее назначение документа (КД, ТД и т.д.);

$\{ED_j | ED_{j,\beta} > ED_i\}$ – множество электронных документов D_j , разрабатываемых на основании данных электронных документов на изделие D_i .

Каждый ИО и ДЭ в ЕИП управляется соответствующим автоматизированным процессом нормоконтроля, согласования и утверждения.

$$A_4 = \langle \{M^{sl}(P_i)\}, y \rangle, \quad (7)$$

$$M^{sl}(P_i) = \langle \{P_j | P_{j,y} > P_i\}, M^y(P_i) \rangle, \quad (8)$$

где: P_i – автоматизированный процесс нормоконтроля, согласования и утверждения ИО и ДЭ в ЕИП;

$\psi \in M^{sl} \times M^{sl}$ – отношение частного порядка (древовидное отношение);

$\{P_j | P_i \psi P_j\}$ – множество бизнес-подпроцессов P_j , реализующих процесс P_i ;

$M^v(P_i)$ – модель отношения, определяющего последовательность выполнения подпроцессов, реализующих процесс P_i .

В свою очередь, каждый процесс управляет соответствующим подразделением.

$$A_5 = \langle \{M^{sl}(O_j)\}, j \rangle, \quad (9)$$

$$M^{sl}(P_i) = \langle \{O_j | O_j \succ O_i\}, S_i, Q(S_i) \rangle \quad (10)$$

где: O_j – подразделение завода: цех, отдел, бюро, бригада и т.д.;

$\varphi \in M^{sl} \times M^{sl}$ – отношение частичного порядка (древовидное отношение), определяющее иерархию оргструктур;

$\{O_j | O_i \varphi O_j\}$ – множество подразделений O_j , входящих в структуру вышестоящего подразделения O_i .

S_i – множество сотрудников (должностей), работающих непосредственно в данном подразделении, т.е.:

$$S_i \cap S_j = \emptyset, \forall j | O_i \varphi O_j. \quad (11)$$

В итоге, после завершения процесса, ИО и ДЭ присваивается соответствующий статус (набор данных).

$$A_6 = \langle \{M^{sl}(ST_i)\}, g \rangle, \quad (12)$$

$$M^{sl}(ST_i) = \langle \{ST_j | ST_j g ST_i\}, M^g(ST_i) \rangle \quad (13)$$

где: ST_i – статус, присваиваемый ИО и ДЭ после завершения процесса (подпроцессов);

$v \in M^{sl} \times M^{sl}$ – отношение частного порядка, определяющее количество вариаций статуса ИО и ДЭ;

$\{ST_j | ST_i v ST_j\}$ – множество статусов ST_j , реализующих процесс присвоения итогового статуса ST_i ;

$M^v(ST_i)$ – модель отношения, определяющего последовательность присвоения вариаций статуса до присвоения итогового статуса ST_i .

Структура моделей процессов P_i при изменении ЖЦИ имеет вид:

$$P_i = (A(P_i), Pa^E(P_i), Pa^C(P_i)), \quad (14)$$

где: $A(P_i) = \{a_i(P_i)\}$ – множество дескриптивных атрибутивных свойств;

$Pa^E(P_i) = \{p_i^E(P_i)\}$ – множество параметров управления, воздействие на которые через отображение E влияет на течение процесса P_i , т.е. обеспечивает управляемость процесса;

$Pa^C(P_i) = \{p_i^C(P_i)\}$ – множество параметров множество параметров контроля, значения которых обеспечивают наблюдаемость процесса P_i через отображение C .

Элементы множества $A(P_i)$ содержат общее описание процесса, опирающееся на некоторый нормативный документ (ОСТ, ГОСТ и т.д.). Это требование реализуется через отношение η_p документирования процессов:

$$\eta_p = \{(a_i(P_i), D_k)\}, \forall P_i, \quad (15)$$

где: η_p – документирование процессов;

D_k – документация предприятия, разрабатываемая в ЕИП.

Важно отметить, что оснастка является самостоятельным изделием в ЕИП предприятия. В связи с этим, математические модели БКМД КТПП изделия также соответствуют оснастке.

СИСТЕМА ОТЧЕТНОСТИ НА ОСНОВЕ БАЗОВОЙ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ДАННЫХ

В соответствии с требованиями стандартов ISO 9000 процедуры управления процессами и их контроля должны быть задокументированы:

- документирование параметров управления:

$$\eta_{PE} = \{(p_i^E(P_i), D_k)\}, \forall p_i^E(P_i), \quad (16)$$

- документирование параметров контроля:

$$\eta_{PC} = \{(p_i^C(P_i), D_k)\}, \forall p_i^C(P_i), \quad (17)$$

Итоги выполнения процесса документируются через систему отчетности. Структура отчета:

$$R = (t, \{d_i\}, \xi), \quad (18)$$

где: t – момент времени актуальности отчета в жизненном цикле документа;

$\{d_i\}$ – множество показателей отчета (данные);

ξ – специальное отношение на множестве $\{d_i\}$, определяющее форму («бланк») отчета;

При этом $\{\xi_i\}$ – количество реестров в виде отчетов предприятия.

Для форм отчетов также вводится отношение документирования:

$$\eta_R = \{(\xi_i, D_k)\}, \forall \xi_i, \quad (19)$$

Необходимо отметить, что реализация ИПИ-технологий в ЕИП предприятия позволяет формировать такие виды отчетов, как:

- «Разработка конструкторской документации на изделие» (ξ_1);
- «Проработка листов запуска и извещения об изменении КД в технологических службах» (ξ_2);
- «Задержка проработки листов запуска и извещения об изменении КД в технологических службах» (ξ_3);
- «Перечень документов, направленных на предварительную технологическую проработку» (ξ_4);
- «Разработка технологических процессов на изделие» (ξ_5);
- «Отчет о разработанных и измененных технологических процессов» (ξ_6);
- «Разработка конструкторской документации на средства технологического оснащения» (ξ_7);
- «Отчет об активности пользователей» (ξ_8);
- «Отчет о состоянии объектов (общий)» (ξ_9);
- «Отчет о состоянии созданных объектов» (ξ_{10});
- «Разработка управляющих программ» (ξ_{11}) и т.д.

Реализация системы отчетности $\{\xi_1; \dots; \xi_{11}\}$ на основании информационной модели данных должна включать в себя отчеты по параметрам процессов, состояниям элементов состава изделия и средствам обеспечения. Каждому отчету ставится также в соответствие подразделение или сотрудник, ответственный за составление данного отчета [1, 6]:

$$\mu_{PEH} = \{(p_i^E(P_j), \xi_i, O_m)\}, \forall p_i^E(P_j), \quad (20)$$

$$\mu_{PC} = \{(p_i^C(P_j), \xi_i, O_m)\}, \forall p_i^C(P_j), \quad (21)$$

$$\mu_{PL} = \{(a_i(U_j), \xi_i, O_m)\}, \forall a_i(U_j), \quad (22)$$

$$m_{EQ} = \{(a_i(E_j), \xi_i, O_m)\}, \forall a_i(E_j), \quad (23)$$

Ранее было отмечено, что оснастка также является самостоятельным изделием, что исключает применение выражения 23.

Выражение 23 необходимо рассматривать как отчет о состоянии ИО в PDM-системе, которым также является оснастка:

$$m_{IO} = \{(a_i(IO_j), \xi_i, O_m)\}, \forall a_i(IO_j), \quad (24)$$

Учитывая, что каждый ИО описывается электронным документом, а руководству предприятия для обеспечения контроля и управления процессом ЖЦИ, в первую очередь, необходимо знать текущий статус разрабатываемой документации, то выражение 24 должно быть дополнено следующим выражением:

$$m_{ED} = \{(a_i(ED_j), \xi_i, O_m)\}, \forall a_i(ED_j), \quad (25)$$

Таким образом, система отчетности на основании БКМД КТПП в ЕИП имеет следующий вид:

$$\mu_{PE} = \{(p_i^E(P_j), \xi_{PE}, O_m)\}, \forall p_i^E(P_j), \quad (26)$$

$$\mu_{PC} = \{(p_i^C(P_j), \xi_{PC}, O_m)\}, \forall p_i^C(P_j), \quad (27)$$

$$\mu_{PL} = \{(a_i(U_j), \xi_{PL}, O_m)\}, \forall a_i(U_j), \quad (28)$$

$$m_{IO} = \{(a_i(IO_j), \xi_{IO}, O_m)\}, \forall a_i(IO_j), \quad (29)$$

$$m_{ED} = \{(a_i(ED_j), \xi_{ED}, O_m)\}, \forall a_i(ED_j), \quad (30)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

«Базовость» разработанной модели данных КТПП в ЕИП обеспечивается тем, что она разработана на основании общепринятых принципов ПЭОИ в ЕИП и представлена как массив основных данных об изделии в электронном виде, получаемых на разных этапах его жизненного цикла. А графическое и математическое представление БКМД демонстрирует ее концептуальность, так как данная модель не привязана к конкретной структуре производственных процессов кого-либо предприятия

Таким образом, разработанная БКМД КТПП в ЕИП обеспечивает системный подход к формированию информационной модели данных об изделии, что позволяет «внедренцам» информационных систем и технологий на предприятии сформировать образ модели данных об изделии в информационном пространстве предприятия на начальных этапах

внедрения ИПИ-технологий. Как следствие, сократить сроки проведения работ по внедрению современных информационных систем и технологий в производственные процессы предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хаймович, И. Н. Методология организации согласованных механизмов управления процессом конструкторско-технологической подготовки производства на основе информационно-технологических моделей: автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук : специальность 05.02.22 «Организация производства» / Хаймович Ирина Николаевна; Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королёва. – Самара, 2009. – 35 с.
2. ГОСТ 2.054-2013. Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения. [Текст]. – Введ. 2017–03–01. – М.: Стандартинформ, 2019.
3. ГОСТ Р 56136-2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения. [Текст]. – Введ. 2015–09–01. – М.: Стандартинформ, 2016.
4. ГОСТ 14.004-83. Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий. [Текст]. – Введ. 1983–07–01. – М.: Стандартинформ, 2009.
5. ГОСТ 2.054-2013. Единая система конструкторской документации. Электронное описание изделия. Общие положения. [Текст]. – Введ. 2015–07–01. – М.: Стандартинформ, 2015.
6. Журавлев, Д. Ю. Разработка автоматизированной системы информационной поддержки управления качеством авиационного производства с использованием CALS-технологий: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.13.12 «Системы автоматизации проектирования» / Журавлёв Денис Юрьевич; Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королёва. – Самара, 2006. – 20 с.

**BASIC CONCEPTUAL MODEL OF DATA OF DESIGN AND TECHNOLOGICAL PREPARATION
OF PRODUCTION IN THE UNIFIED INFORMATION SPACE OF THE ENTERPRISE**

© 2020 S.V. Churilin, I.N. Khaimovich

Samara National Research University named by academician S.P. Korolyov

The relevance of determining of the basic conceptual model of data for design and technological preparation of production in a single information space is due to the need for successful implementation of information support technologies for products in the pre-production processes. This requires a clear understanding of how the product data information model will be organized in the enterprise information space. For this purpose, a basic conceptual data model has been developed, the graphical and mathematical representations of which are presented in the article.

Keywords: design and technological preparation of production, product information support, basic conceptual data model.

10.37313/1990-5378-2020-22-4-57-63