

# МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

---

УДК 004.02

*О. В. Новоселова, Г. Д. Волкова, А. Г. Гаврилов*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СРЕДЫ ПОДДЕРЖКИ СОЗДАНИЯ ПРИКЛАДНЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ<sup>1</sup>

### **Аннотация.**

*Актуальность и цели.* Модель интегрированной среды как взаимосвязанная совокупность ее описаний должна обеспечить функционирование программных модулей на основе содержательных функций методологии автоматизации интеллектуального труда и функций управления проектами. Целью работы является повышение эффективности процесса создания прикладных автоматизированных систем за счет определения набора требований к интегрированной среде и описания ее модели.

*Материалы и методы.* Разработка модели интегрированной среды проводилась на основе методологии автоматизации интеллектуального труда (МАИТ), обеспечивающей промышленный способ создания прикладных автоматизированных систем. Суть методологии заключается в последовательном отображении формально-языковых представлений автоматизируемых задач на основе первоначально формируемой семантической модели этих задач на трех уровнях абстрагирования, что обеспечивает содержательное единство этих представлений. Особенностью МАИТ является формирование модельного представления автоматизируемых задач, которое инвариантно к программно-техническим средам и средствам их реализации.

*Результаты.* Исследованы особенности методологии автоматизации интеллектуального труда, на основе которых сформулированы требования к интегрированной среде – содержательные, конфигурационные, управленческие. С учетом требований разработана модель интегрированной среды, описание которой включает систему средств поддержки процедур различных типов для разных видов задач (функциональных, управленческих, предметных) на всех этапах, систему логических компонентов для объектно-ориентированного подхода, файловую систему элементов интегрированной среды.

*Выводы.* Разработана модель интегрированной среды как взаимосвязанная совокупность ее описаний с различной степенью детализации на концептуальном, логическом и физическом уровнях. Формальное описание элементов интегрированной среды позволяет перейти к разработке методики управления ее функционированием и разработке методики конфигурирования (развития) среды поддержки создания прикладных автоматизированных систем.

**Ключевые слова:** создание автоматизированных систем, методология автоматизации интеллектуального труда, модель интегрированной среды.

---

<sup>1</sup> Данная работа подготовлена в рамках выполнения инициативного проекта №13-07-00752 «Создание интегрированной среды поддержки проектирования и реализации прикладных автоматизированных систем на основе методологии автоматизации интеллектуального труда» по гранту РФФИ.

## MODELING OF THE INTEGRATED SUPPORT ENVIRONMENT FOR APPLIED AUTOMATED SYSTEMS CREATION

### **Abstract.**

*Background.* The model of integrated environment as an interrelated set of its descriptions should ensure the functioning of the program modules on the basis of meaningful functions of the methodology of automation of intellectual work and functions of project management. The aim of the work is to increase the efficiency of the process of creating the applied automated systems by identifying a set of requirements for the integrated environment and the description of its model.

*Materials and methods.* The development of a model of integrated environment was based on the methodology intellectual labor automation, which provides an industrial way of automated systems creation. The essence of the methodology consists in successive mapping of formal-language representations of the automatized tasks on the basis of a first-formed semantic model of these tasks on three levels of abstraction that provides the content unity of these representations. A methodological feature of intellectual labor automation is the formation of the model automated tasks representation, which is invariant to the software-hardware environments and means of their implementation.

*Results.* The authors investigated the peculiarities of the methodology of intellectual labor automation. On the basis of the said investigation the researchers formulated the requirements for integrated environment - content, configuration, management. The study considered the requirements of the developed model of integrated environment, the description of which includes the system of various support procedures for different types of tasks (functional, administrative, substantive) at all stages, the system of logical components for the object-oriented approach, the file system of integrated environment elements.

*Conclusions.* The authors developed the model of the integrated environment as an interrelated set of its descriptions with varying degrees of detailing at the conceptual, logical and physical levels. The formal description of the integrated environment elements allows to advance to the development of the functioning management procedures and to the development of the procedure of support environment configuration (development) for applied automated systems creation.

**Key words:** creation of automated systems, methodology of intellectual labor automation, model of integrated environment.

В современных экономических условиях на машиностроительных предприятиях все более жесткими становятся требования к качеству и срокам выпуска продукции. Это приводит к необходимости сокращения сроков выполнения проектно-конструкторских работ и конструкторско-технологической подготовки производства при одновременном увеличении их объема и сложности, к необходимости эффективного управления этими работами. Автоматизация информационных и интеллектуальных процессов обуславливает потребность создания новых и развития существующих прикладных автоматизированных систем (ПАС) для повышения эффективности деятельности предприятий в целом. Одним из подходов к созданию ПАС является разработанная на кафедрах «Информационные технологии и вычислительные системы» и «Когнитивные технологии проектирования» Московского государ-

ственного технологического университета «СТАНКИН» методология автоматизации интеллектуального труда (МАИТ). Суть методологии заключается в последовательном отображении формально-языковых представлений автоматизируемых задач на основе первоначально формируемой семантической модели этих задач на трех уровнях абстрагирования, что обеспечивает содержательное единство этих представлений. Особенностью МАИТ является то, что создание ПАС осуществляется на основе промышленного способа, который предполагает формирование модельного представления автоматизируемых задач, инвариантного к программно-техническим средам и средствам их реализации [1–3]. До сих пор в практике автоматизации не существовало общепринятого модельного представления, обеспечивающего промышленный способ создания ПАС. Разделение процесса создания ПАС на отдельные этапы и функциональные процедуры (с регламентацией действий в рамках этапов и процедур) приводит к необходимости управления процессом ее создания в рамках МАИТ.

Выполненная ранее автоматизация отдельных функциональных процедур при создании ПАС позволила повысить эффективность их выполнения, но при этом возникла проблема информационного взаимодействия между этими инструментальными средствами [4–6]. Поэтому актуальное значение приобретает задача разработки такой среды поддержки создания ПАС, которая позволяет обеспечить взаимодействие ранее созданных и создаваемых инструментальных средств поддержки отдельных функциональных процедур в соответствии с МАИТ. Единовременная автоматизация всех функциональных процедур этапов создания ПАС затруднительна ввиду их существенной алгоритмической сложности и необходимости привлечения большого количества специалистов в области разработки программных комплексов. Такая среда должна обеспечить функционирование программных модулей на основе интеграции содержательных функций МАИТ и функций управления проектами [5]. А для обеспечения развития среды необходима интеграция указанных функций и функций управления конфигурацией.

Учет содержательных функций МАИТ, отражающих ее специфику, необходим для решения ряда дополнительных задач в автоматическом режиме, к числу которых относятся:

- контроль начала и окончания сеансов функциональных процедур;
- размещение модельных представлений и их версий в пространстве вычислительной среды;
- контроль выполнения сроков и учет временных затрат по функциональным процедурам и исполнителям и т.д.

Управление конфигурацией при развитии интегрированной среды поддержки создания ПАС должно обеспечить как подключение существующих программных модулей, реализующих отдельные процедуры МАИТ, так и подключение новых функциональных и управленческих модулей по мере их разработки.

Анализ подходов к созданию ПАС показал, что одним из наиболее распространенных на сегодня является объектно-ориентированный подход (ООП), поддерживаемый многофункциональными инструментальными сред-

ствами. Был выявлен ряд недостатков, сдерживающих эффективность использования ООП при создании ПАС:

- неполнота охвата начальных этапов создания ПАС;
- наличие большого количества образных средств визуализации модельных представлений редко используемых на практике;
- отсутствие формального описания указанных модельных представлений не позволяет выполнять их взаимные отображения, интеграцию и т.д.

Анализ процесса создания ПАС на основе ООП позволил выявить следующие его особенности:

- высокая степень оригинальности большинства проектов создания ПАС обуславливается постоянным обновлением программных, аппаратных и коммуникационных средств, из-за чего стремительно девальвируется опыт предшествующих проектов-аналогов;
- наличие большого количества модельных представлений, отражающих различные аспекты ПАС;
- сложность оценки объема и стоимости работ по функциональным процедурам;
- существенное отличие плановых и фактических показателей отдельных функциональных процедур, в том числе временных и стоимостных;
- разнообразие методов оценки отдельных характеристик ПАС (объем кода, стоимость);
- необходимость управления конфигурацией программного комплекса.

Процесс создания ПАС на основе МАИТ состоит из нескольких этапов (рис. 1), на каждом этапе процесса формируется модельное представление автоматизируемой предметной задачи [1].

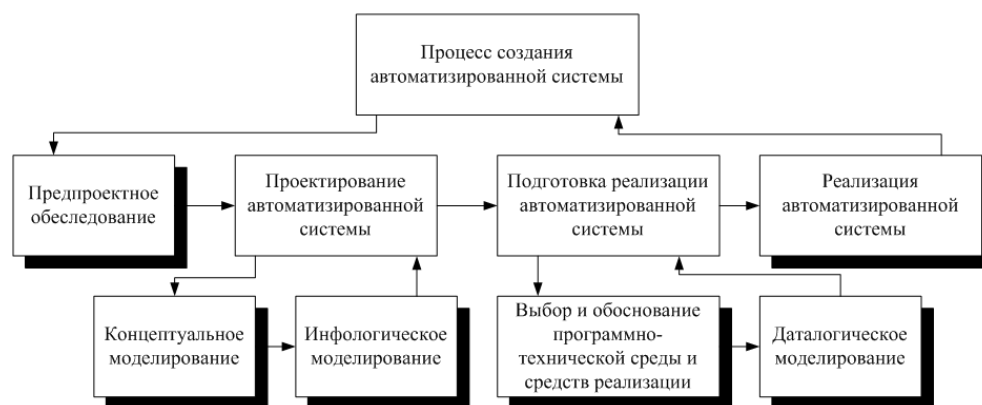


Рис. 1. Процесс создания автоматизированной системы

Рассматривая основные этапы создания САПР на основе МАИТ, можно выделить следующие особенности, присущие каждому этапу:

- наличие общего состава и структуры модельных представлений предметных задач (ПЗ) на всех этапах создания САПР (рис. 2);
- обеспечение взаимосвязи модельных представлений разных этапов создания САПР в МАИТ соотношением составляющих модельных представлений по компонентам;

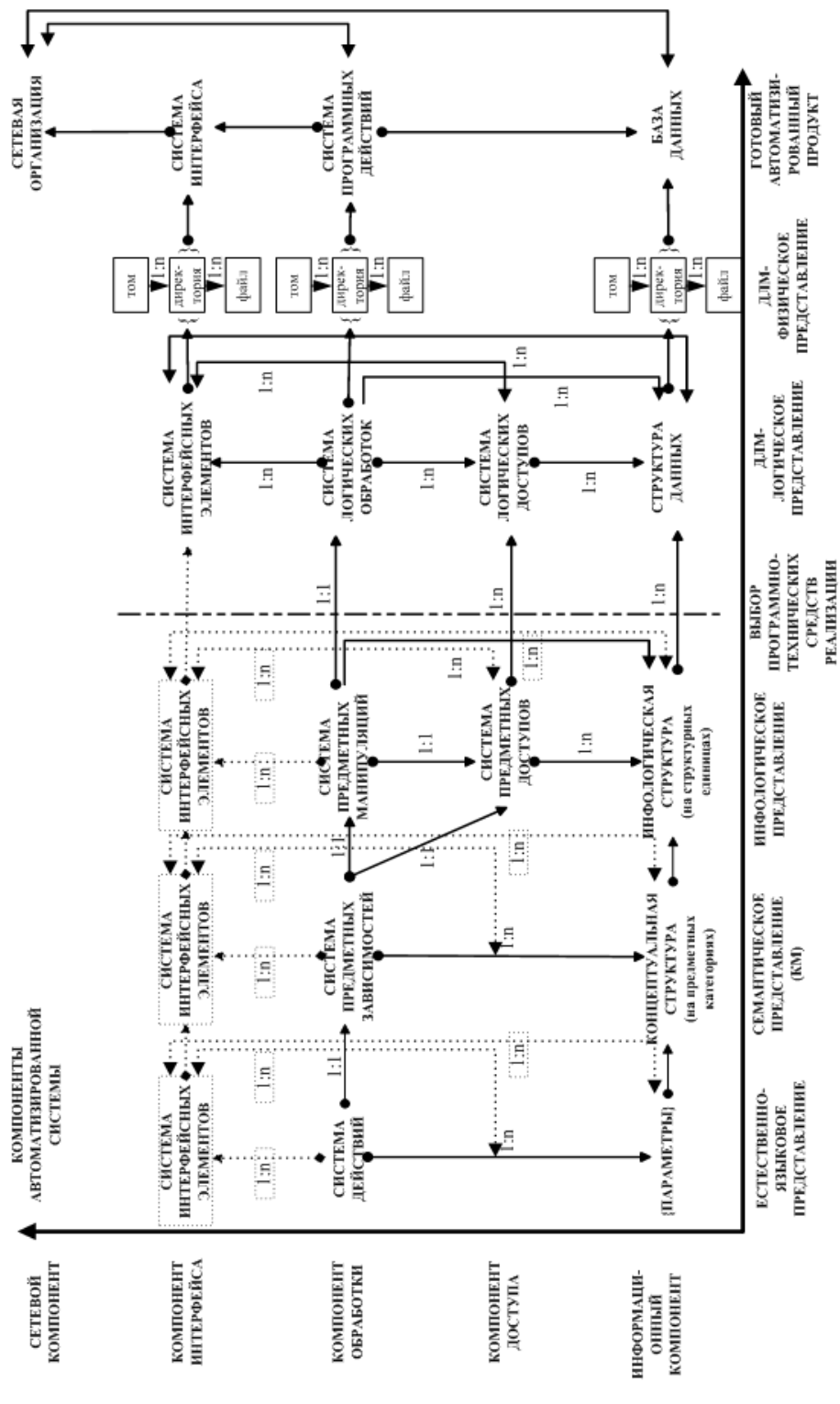


Рис. 2. Процесс автоматизации предметных задач на основе МАИТ

– наличие типового состава процедур моделирования, т.е. каждый этап моделирования включает набор укрупненных процедур: формирование обобщенной модели под комплекс задач, формирование локальной модели текущей задачи комплекса, анализ локальной модели текущей задачи, аналитическая обработка локальной модели текущей задачи, синтез локальной модели текущей задачи с обобщенной моделью, аналитическая обработка обобщенной модели, документирование сформированных модельных представлений;

– наличие теоретических ограничений на формирование модельных представлений предметных задач, обеспечивающих возможность их интеграции;

– фиксирование результатов каждого этапа в виде структурных диаграмм и спецификаций модельного представления;

– благодаря возможности интеграции формирование модельного представления комплекса предметных задач на каждом этапе создания САПР параллельно-последовательным образом;

– единая классификация категорий пользователей.

Поэтапная автоматизация функциональных процедур любого этапа выполняется в соответствии с самой МАИТ. Формирование модельных представлений этих процедур осуществляется в процессе функционирования интегрированной среды как моделирование специальных предметных задач. Разработка средств поддержки, реализующих эти процедуры, позволяет, выполняя наращивание интегрированной среды новыми функциями, одновременно фиксировать и размещать модельные представления этих процедур в самой интегрированной среде. Тогда для каждой процедуры этапа МАИТ необходимо формирование полного набора ее модельных представлений. При этом даталогическая модель любой автоматизируемой задачи по своей сути отражает планирование организации вычислительной среды и вычислительного процесса как на логическом уровне, так и на физическом. Логический уровень определяет структуру именованных компонентов программного комплекса (структур данных, запросов, функций и элементов интерфейса) и их взаимосвязей с учетом ограничений выбранной программно-технической среды реализации. Физический уровень определяет привязку вышеперечисленных компонентов программного комплекса к файловой системе выбранной программно-технической среды реализации.

Модель интегрированной среды  $IS$  может быть представлена как взаимосвязанная совокупность ее описаний с различной степенью детализации:

– система средств поддержки процедур разных типов на всех этапах ( $IS1$ );

– система логических компонентов ООП ( $IS2$ );

– файловая система элементов интегрированной среды ( $IS3$ ) (рис. 3).

Объединение элементов файловой системы для всех средств позволяет описать интегрированную среду в целом на физическом уровне и как статическую систему (система хранения элементов файловой системы), и как динамическую систему (система функционирования или вызовов). Тогда модель интегрированной среды формально можно описать выражением

$$IS \underset{def}{=} \langle IS1, IS2, IS3, R_{123} \rangle,$$

где  $IS1, IS2, IS3$  – описания интегрированной среды с различной степенью детализации;  $R_{123}$  – увязка описаний интегрированной среды;

$$IS1 \underset{def}{=} \langle S, q(S), R_S \rangle,$$

здесь  $S$  – множество средств поддержки МАИТ для различных типов задач (управленческих, предметных, функциональных);  $q(S)$  – свойства средств поддержки МАИТ;  $R_S$  – конфигурация средств поддержки интегрированной среды.

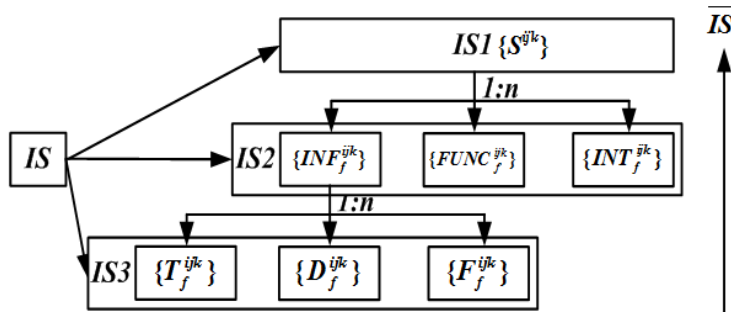


Рис. 3. Взаимосвязь формальных описаний модели интегрированной среды

Каждое средство поддержки  $k$ -й процедуры  $j$ -го типа  $i$ -го этапа МАИТ может быть представлено в виде системы логических компонентов:

$$S_f^{ijk} \underset{def}{=} IS2 \underset{def}{=} \langle INF_f^{ijk}, FUNC_f^{ijk}, INT_f^{ijk}, q(INF_f^{ijk}), q(FUNC_f^{ijk}), q(INT_f^{ijk}), R_f^{ijk} \rangle,$$

где  $INF_f^{ijk}, FUNC_f^{ijk}, INT_f^{ijk}$  – множества информационных, функциональных и интерфейсных компонентов  $f$ -го средства поддержки  $k$ -й процедуры  $j$ -го типа  $i$ -го этапа МАИТ;  $q(INF_f^{ijk}), q(FUNC_f^{ijk}), q(INT_f^{ijk})$  – множества их свойств;  $R_f^{ijk}$  – множество связей между указанными компонентами.

На рис. 4 приведено уточненное описание второго уровня интегрированной среды. Для каждого информационного компонента может быть выделено множество табличных структур  $\{E_{fp}^{ijk}\}$ . Для каждого функционального компонента выделено множество деревьев  $\{T_{fs}^{ijk}\}$ , для интерфейсного – множество интерфейсных элементов  $\{E_{fl}^{ijk}\}$ . Данные множества как результат выполнения этапа могут быть описаны множеством выходных спецификаций  $\{F_{fq}^{ijk}\}$ , графическими структурами  $\{G_{fr}^{ijk}\}$  и дополнительно введенным мно-

жеством алгоритмов  $\{Alg_{fz}^{ijk}\}$ , причем тип алгоритма определяется решаемой для определенного типа задач (предметной, управленческой, функциональной). Например, для задач предметного типа это:

- ввод и организация информации;
- отображение моделей;
- создание моделей;
- вывод информации.

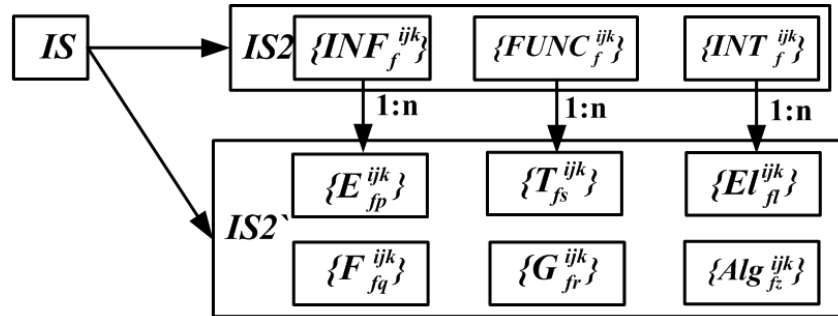


Рис. 4. Уточненное формальное описание второго уровня интегрированной среды

Особенность уточненного описания заключается в наличии промежуточных структур  $(\{El_{fl}^{ijk}\}, \{T_{fs}^{ijk}\})$ , с которыми пользователю будет работать проще, чем с модельными спецификациями, за счет изменения организации структуры отображения данных. В совокупности структуры образуют «мастер» этапа – средство, позволяющее пользователю зафиксировать нужную информацию перед ее обработкой.

Каждый информационный компонент представлен как совокупность табличных структур, которые хранят информационные элементы (ИЭ). Элементы табличной структуры – ее строки, в зависимости от этапа МАИТ элементы могут описывать как сами ИЭ, так и связи на ИЭ.

Функциональный компонент описывает систему действий – алгоритм решения задачи. Все действия завязаны в строгой иерархичной структуре, работа с которой через табличное отображение может быть сложной задачей в связи со сложностью системы действий. Поэтому была введена промежуточная структура – дерево, которое позволяет наглядно отобразить иерархию действий и облегчить пользователю работу. Для описания дерева из этапов МАИТ была выделена общая часть, связанная с формированием функциональной структуры. В ней были выделены общие для всех этапов параметры, которые стали частью элемента дерева.

Дерево  $T(n) = \{t_i\}$ , где  $t_i$  – элемент структуры, определяется рекурсивно следующим образом:  $t_i = \{text, Fr_j, Arg, Stat_l, Step_m, Type_n, T(p)\}$ ,  $text$  – текстовая составляющая элемента;  $Fr_j$  – функциональный параметр элемента;  $Arg$  – множество аргументов элемента,  $Stat_l$  – статус элемента;  $Step_m$  – степень формализации элемента;  $Type_n$  – тип элемента,  $T(p)$  – множество дочерних элементов или вложенные деревья.



Взаимодействие описанных элементов для моделирования предметной задачи может быть отражено схемой (рис. 5). На ней происходит чередование представления данных «модель (i-1) – мастер (i) – модель (i)». Стрелки на данной схеме представляют собой алгоритмы функционирования интегрированной среды, разделенные на четыре группы.

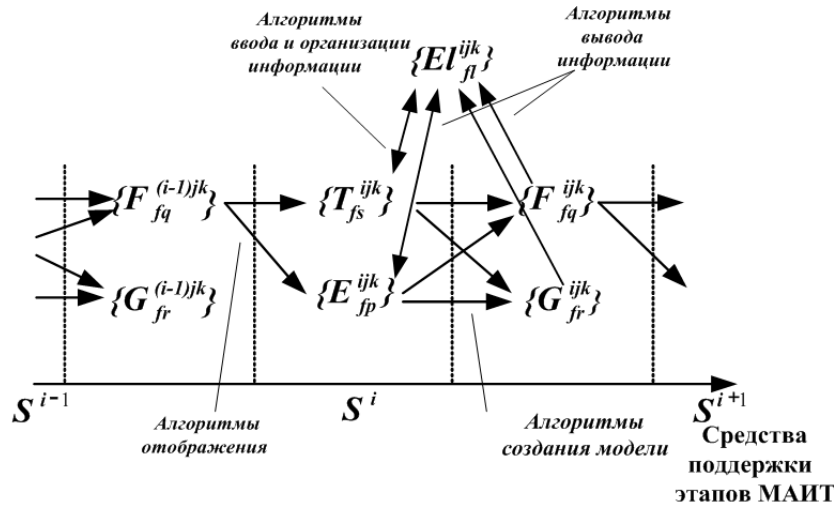


Рис. 5. Взаимодействие элементов интегрированной среды

Описание составляющих интегрированной среды на третьем уровне детализации имеет общую структуру.

Множество информационных, функциональных и интерфейсных компонентов  $f$ -го средства поддержки  $k$ -й процедуры  $j$ -го типа  $i$ -го этапа МАИТ представляется в следующем виде:

$$INF_{f \text{ def}}^{ijk} = IS3_{\text{def}} = \left\langle B_f^{ijk}, q(B_f^{ijk}), R_{B_f^{ijk}} \right\rangle,$$

$$FUNC_{f \text{ def}}^{ijk} = IS3_{\text{def}} = \left\langle C_f^{ijk}, q(C_f^{ijk}), R_{C_f^{ijk}} \right\rangle,$$

$$INT_{f \text{ def}}^{ijk} = IS3_{\text{def}} = \left\langle D_f^{ijk}, q(D_f^{ijk}), R_{D_f^{ijk}} \right\rangle,$$

где  $B_f^{ijk}$  – множество элементов файловой системы информационного компонента, описывающего хранение данных. Это множество представляется объединением подмножеств трех типов: подмножеств информационных томов, информационных директорий и информационных файлов;  $C_f^{ijk}$  – множество элементов файловой системы функционального компонента, описывающего хранение данных. Это множество представляется объединением подмножеств шести типов: подмножеств томов процедур, директорий процедур, файлов процедур, томов запросов, директорий запросов и файлов запросов;  $D_f^{ijk}$  – множество элементов файловой системы интерфейсного компо-

нента, описывающего хранение данных. Это множество представляется объединением подмножеств трех типов: подмножеств интерфейсных томов, интерфейсных директорий и интерфейсных файлов.

Таким образом, проведенные исследования позволили выявить особенности методологии автоматизации интеллектуального труда, с учетом этих особенностей сформулировать требования к интегрированной среде: содержательные, конфигурационные, управленческие, – на основе которых разработана модель интегрированной среды. Модель интегрированной среды формально представлена как взаимосвязанное описание системы средств поддержки процедур разных типов на всех этапах МАИТ, системы логических компонентов объектно-ориентированного подхода и файловой системы элементов интегрированной среды.

Приведенное формальное описание интегрированной среды в виде множества элементов файловой системы (томов, директорий и файлов) разных типов (информационных, функциональных и интерфейсных) и связей между ними можно представить в виде двух структур: структуры хранения файлов и структуры функционирования.

Структура хранения файлов представляет собой множество элементов файловой системы интегрированной среды и связей между ними, которые отображают только связи хранения. Таким образом, структура хранения отражает фактическое размещение файлов в томах (сетевые компьютеры сети), в том числе и во вложенных томах и директориях, в том числе и вложенных директориях.

Структура функционирования представляет собой множество файлов интегрированной среды и связей между ними, непосредственно связанных с обеспечением функционирования самой интегрированной среды.

Выполненное формальное описание элементов интегрированной среды позволяет перейти к разработке методики управления ее функционированием и разработке методики конфигурирования (развития) среды поддержки создания прикладных автоматизированных систем.

#### ***Список литературы***

1. **Волкова, Г. Д.** Методология автоматизации интеллектуального труда. Ч. 2 / Г. Д. Волкова // Межотраслевая информационная служба. – 2009. – № 2 (147). – С. 9–20.
2. **Волкова, Г. Д.** Методология автоматизации проектно-конструкторской деятельности в машиностроении : учеб. пособие / Г. Д. Волкова. – М. : Издательский центр МГТУ «Станкин», 2000. – С. 81.
3. **Волкова, Г. Д.** Методология автоматизации интеллектуального труда. Ч. 3 / Г. Д. Волкова // Межотраслевая информационная служба. – 2009. – № 3 (148). – С. 10–23.
4. **Волкова, Г. Д.** Развитие методологии автоматизации интеллектуального труда как теоретической основы создания прикладных автоматизированных систем / Г. Д. Волкова // Информационные технологии и автоматизированные системы. – 2006. – № 1. – С. 105–117.
5. **Волкова, Г. Д.** Особенности разработки средств поддержки управления проектами при создании САПР машиностроительного назначения / Г. Д. Волкова, Д. А. Володин // Технология машиностроения. – 2007. – № 2 (56). – С. 66–68.
6. **Волкова, Г. Д.** Автоматизация управления проектами и документированием при разработке прикладных автоматизированных систем / Г. Д. Волкова, М. В. Шукин, Д. А. Володин // Высокие технологии – 2004 : сб. тр. науч.-техн. форума с междунар. участием : в 4 ч. – Ижевск : ИжГТУ, 2004. – Ч. 1. – С. 22–28.

## References

1. Volkova G. D. *Mezhotraslevaya informatsionnaya sluzhba* [Intersectoral information service]. 2009, no. 2 (147), pp. 9–20.
2. Volkova G. D. *Metodologiya avtomatizatsii proektno-konstruktorskoj deya-tel'nosti v mashinostroyenii: ucheb. posob.* [Methodology of project-construction activity automation in machine building]. Moscow: Izdatel'skiy tsentr MGTU «Stankin», 2000, p. 81.
3. Volkova G. D. *Mezhotraslevaya informatsionnaya sluzhba* [Intersectoral information service]. 2009, no. 3 (148), pp. 10–23.
4. Volkova G. D. *Informatsionnye tekhnologii i avtomatizirovannye sistemy* [Information technologies and automated systems]. 2006, no. 1, pp. 105–117.
5. Volkova G. D., Volodin D. A. *Tekhnologiya mashinostroyeniya* [Machine building technology]. 2007, no. 2 (56), pp. 66–68.
6. Volkova G. D., Shchukin M. V., Volodin D. A. *Vysokie tekhnologii – 2004: sb. tr. nauch.-tekhn. foruma s mezhdunar. uchastiem: v 4 ch.* [High technologies – 2004: proceedings of scientific and technical forum with international participation: in 4 parts]. Izhevsk: IzhGTU, 2004, part 1, pp. 22–28.

**Новоселова Ольга Вячеславовна**

кандидат технических наук, доцент,  
кафедра информационных технологий  
и вычислительных систем, Московский  
государственный технологический  
университет «СТАНКИН» (Россия,  
г. Москва, Вадковский переулок, 3а)

E-mail: it\_ktp@stankin.ru

**Novoselova Ol'ga Vyacheslavovna**

Candidate of engineering sciences, associate  
professor, sub-department of information  
technologies and computing systems,  
Moscow State Technological University  
“STANKIN” (3a Vadkovskiy lane,  
Moscow, Russia)

**Волкова Галина Дмитриевна**

доктор технических наук, профессор,  
кафедра информационных технологий  
и вычислительных систем, Московский  
государственный технологический  
университет «СТАНКИН» (Россия,  
г. Москва, Вадковский переулок, 3а)

E-mail: it\_ktp@stankin.ru

**Volkova Galina Dmitrievna**

Doctor of engineering sciences, professor,  
sub-department of information technologies  
and computing systems, Moscow State  
Technological University “STANKIN”  
(3a Vadkovskiy lane, Moscow, Russia)

**Гаврилов Андрей Геннадьевич**

аспирант, Московский государственный  
технологический университет  
«СТАНКИН» (Россия, г. Москва,  
Вадковский переулок, 3а)

E-mail: it\_ktp@stankin.ru

**Gavrilov Andrey Gennad'evich**

Postgraduate student, Moscow State  
Technological University “STANKIN”  
(3a Vadkovskiy lane, Moscow, Russia)

УДК 004.02

**Новоселова, О. В.**

**Моделирование интегрированной среды поддержки создания прикладных автоматизированных систем / О. В. Новоселова, Г. Д. Волкова, А. Г. Гаврилов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2014. – № 1 (29). – С. 81–91.**