

DOI 10.37882/2223-2966.2025.06-2.07

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНОГО ГРАФИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ МОДЕЛЕЙ В ЦЕЛОМ ПО МЕТОДОЛОГИИ АВТОМАТИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ТРУДА

ALGORITHM FOR CONSTRUCTING THREE-DIMENSIONAL GRAPHICAL REPRESENTATION OF MODELS AS A WHOLE FOR METHODOLOGY OF AUTOMATION OF INTELLECTUAL LABOR

**M. Glinkin
O. Novoselova**

Summary. The article presents an algorithm for constructing a three-dimensional graphical representation of models of automated systems (AS) as a whole, based on the Methodology of Automation of Intellectual Labor (MAIL). The purpose of the study is to increase the efficiency of AS modeling through the formalization and visualization of their structure in a unified spatial representation, ensuring completeness of perception and coherence of components. Research methods: systems approach. The study analyzed the structures of models at different stages of design and introduced their algorithmization to enable automated visualization. As a result, an algorithm was developed that enables the construction of a comprehensive graphical representation of models, accounting for both static and dynamic aspects.

The proposed solution extends the tools for initial and conceptual modeling and provides a foundation for developing software tools to support visualization according to MAIL.

Keywords: methodology of automation of intellectual labor, modeling of automated systems, conceptual modeling, graphical notation, three-dimensional visualization.

Глинкин Максим Олегович

аспирант, Московский государственный
технологический университет «СТАНКИН»
maximglin05@yandex.ru

Новоселова Ольга Вячеславовна

Кандидат технических наук, доцент,
Московский государственный технологический
университет «СТАНКИН»
ol.novoselova@stankin.ru

Аннотация. В статье представлен алгоритм формирования трёхмерного графического представления моделей автоматизированных систем (АС) в целом на основе методологии автоматизации интеллектуального труда (МАИТ). Целью исследования является повышение эффективности моделирования АС за счёт формализации и визуализации их структуры в едином пространственном представлении, обеспечивающем полноту восприятия и согласованность компонентов. Методы исследования: системный подход. В исследовании проанализированы структуры моделей на разных этапах проектирования и выполнена их алгоритмизация с целью дальнейшей автоматизации процесса визуализации. В результате разработан алгоритм, позволяющий формировать комплексное графическое представление моделей, учитывающее как статические, так и динамические аспекты. Предложенное решение расширяет средства начального и концептуального моделирования и служит основой для разработки программных инструментов поддержки визуализации по МАИТ.

Ключевые слова: методология автоматизации интеллектуального труда, моделирование автоматизированных систем, концептуальное моделирование, графическая нотация, трехмерная визуализация.

В условиях стремительного развития информационных технологий и возрастающей сложности задач автоматизации, современные автоматизированные системы (АС) становятся все более масштабными и многоуровневыми. Это делает этап проектирования не просто важным, а ключевым в их жизненном цикле. Эффективность проектных решений во многом определяется тем, насколько глубоко специалист способен понять закономерности функционирования будущей системы. Однако на практике целостное представление об объекте проектирования часто оказывается фрагментированным: оно разрознено между различными документами — текстовыми, табличными, графическими, схематическими, спецификациями и пр. В результате комплексное представление о системе формируется

лишь в сознании разработчиков, что затрудняет взаимодействие, анализ и сопровождение проекта [1].

Особенно актуальной эта проблема становится в машиностроительной и инженерной отраслях, где создаваемые объекты по своей природе обладают высокой степенью интеграции и взаимозависимости между компонентами. Несмотря на прогресс в области средств автоматизации проектирования и значительные вычислительные ресурсы, существующие подходы по-прежнему сталкиваются с ограничениями, связанными с необходимостью согласования большого объема информации и интеграции разнородных представлений модели в единое целое.

Во многих современных методологиях моделирования АС принято разделять модель на ряд структурных компонент — поведенческих, описывающих функциональность и процессы; информационных, фиксирующих статические элементы; а также вспомогательных, отражающих особенности конкретной предметной области. Для визуализации таких структур традиционно применяются двумерные графические нотации, каждая из которых соответствует отдельному аспекту модели. Однако подобный подход часто оказывается недостаточным для формирования интуитивно понятного представления модели в целом, особенно если речь идет о визуализации связей между различными структурами или уровнями абстракции.

В этой связи трехмерная визуализация моделей представляет собой перспективный инструмент, позволяющий повысить наглядность, расширить возможности анализа и облегчить восприятие сложных взаимосвязей. Особенно актуально это в рамках методологии автоматизации интеллектуального труда (МАИТ), в которой моделирование охватывает как статические, так и динамические аспекты предметной области. Иерархическая структура обеих компонент модели, а также явное отображение зависимостей между ними, создают основу для формального анализа, параллельной обработки, интеграции моделей и других аналитических интеллектуальных операций. Визуальное представление этих связей в трехмерной форме снижает когнитивную нагрузку на специалистов и способствует более эффективному моделированию, анализу и сопровождению систем в соответствии с принципами МАИТ.

Формирование целостного трехмерного графического представления моделей, соответствующих принципам методологии автоматизации интеллектуального труда, невозможно без четко определенного алгоритмического механизма, опирающегося на формальные основания. В рамках предыдущих исследований была заложена теоретическая база, необходимая для такой алгоритмизации. В частности, в [2] было представлено формальное описание графической нотации, в которой каждому элементу модели по МАИТ ставится в соответствие структурный элемент графа визуального представления. Это описание обеспечило строгое отображение элементов статической и динамической структур на элементы трехмерной модели, с сохранением их семантики и взаимосвязей.

Дальнейшее развитие подхода получило в работе [3], где были подробно изложены правила построения визуальных представлений: определены правила именования сущностей, структура обозначений, визуальные значки и принципы расположения компонентов в пространстве. Тем самым было создано нормативное описание визуального языка, позволяющего специали-

стам однозначно интерпретировать визуальную модель, соответствующую формальной структуре исходной информационно-модели системы.

Тем не менее, применение указанной нотации на практике требует дальнейшей формализации процесса визуализации — в частности, необходимо определить точный порядок действий, обеспечивающих преобразование исходной модели в трехмерную визуальную форму. Это включает выбор последовательности обхода структур, разрешение иерархий, установление пространственных координат и отображение связей, включая их направленность, тип и семантику. Соответственно, возникает необходимость в разработке алгоритма построения трехмерного графического представления модели, способного автоматически интерпретировать ее формальные компоненты и обеспечивать целостную визуализацию, согласованную с методологией МАИТ и правилами, изложенными в [2, 3].

На первом этапе алгоритма (см. рис. 1) реализуется итеративный обход множества моделей автоматизированных систем (АС), формируемых в рамках различных предметных задач [4]. Такая организация процесса необходима для обеспечения универсальности алгоритма и его применимости в случаях, когда проектирование охватывает сразу несколько моделей, связанных общей методологической основой. На каждой итерации происходит фиксация текущей (i-й) модели (блок z3.1), после чего выполняется формирование соответствующего графического представления модели АС в целом по МАИТ для всех этапов моделирования (z3.2). Результаты визуализации могут фиксироваться в зависимости от наличия предварительно сформированных моделей (z3.3). При этом алгоритм различает два случая: при наличии уже существующей модели (ветвь z4.2) и при ее отсутствии (ветвь z4.3), что позволяет обеспечить как инкрементальную актуализацию визуального представления, так и его формирование «с нуля». Такая структура обеспечивает расширяемость алгоритма и его адаптацию к многомодельным сценариям проектирования.

На следующем уровне детализации (см. рис. 2) осуществляется итеративная обработка для этапов моделирования в рамках текущей модели АС. Методология МАИТ предполагает разделение моделирования на ряд последовательно уточняемых этапов, таких как предпроектный (начальный) и концептуальный. На каждой итерации фиксируется j-й этап моделирования (z5.1), после чего формируется графическое представление модели АС в целом для данного этапа (z5.2). В зависимости от наличия последующих этапов визуализация либо уточняется (z6.6), либо фиксируется как итоговая для данного уровня (z6.7), что позволяет сохранять логическую связность между фазами моделирования и обеспечивает полноту отображения модели в процессе ее поэтапного развития.

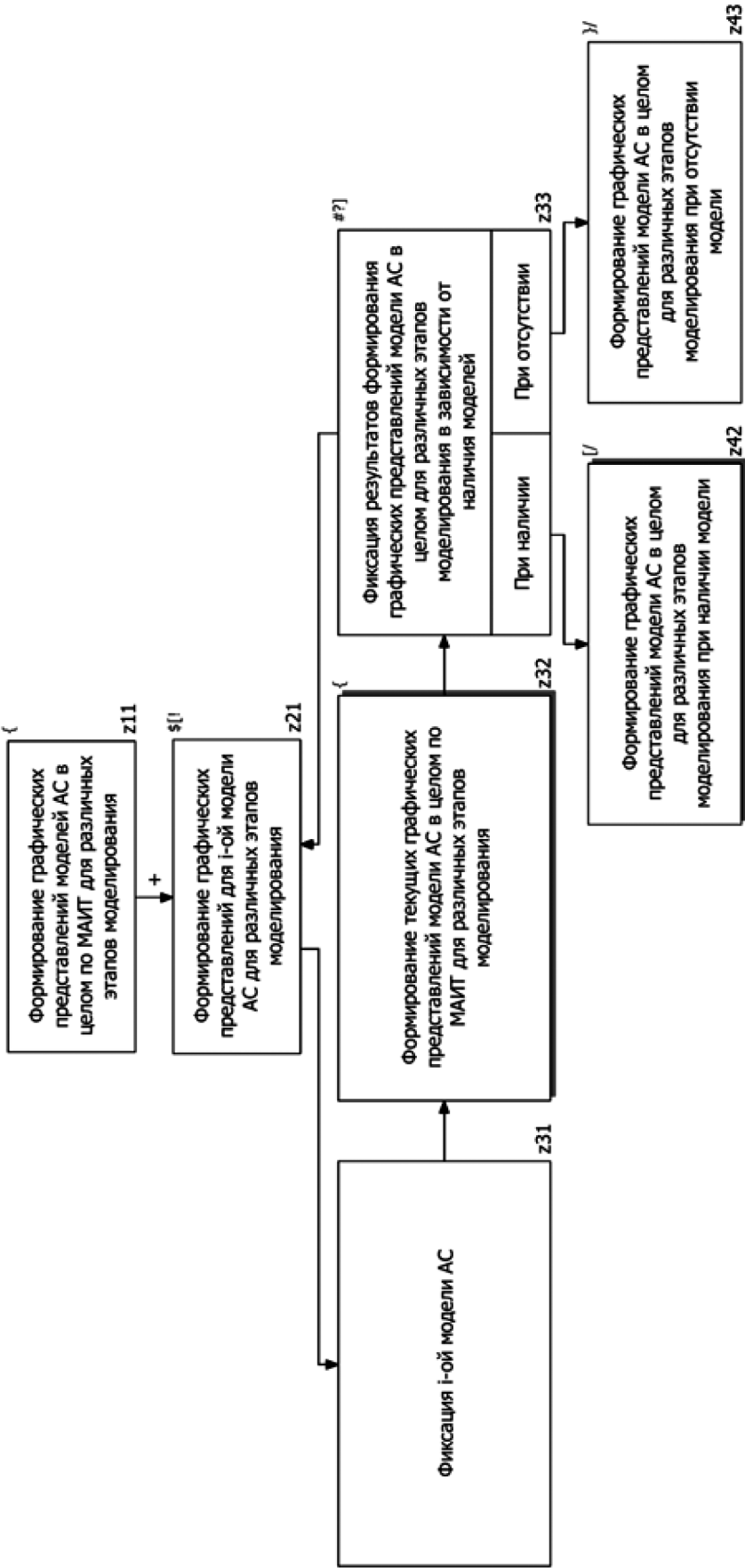


Рис. 1. Действие z1.1 алгоритма

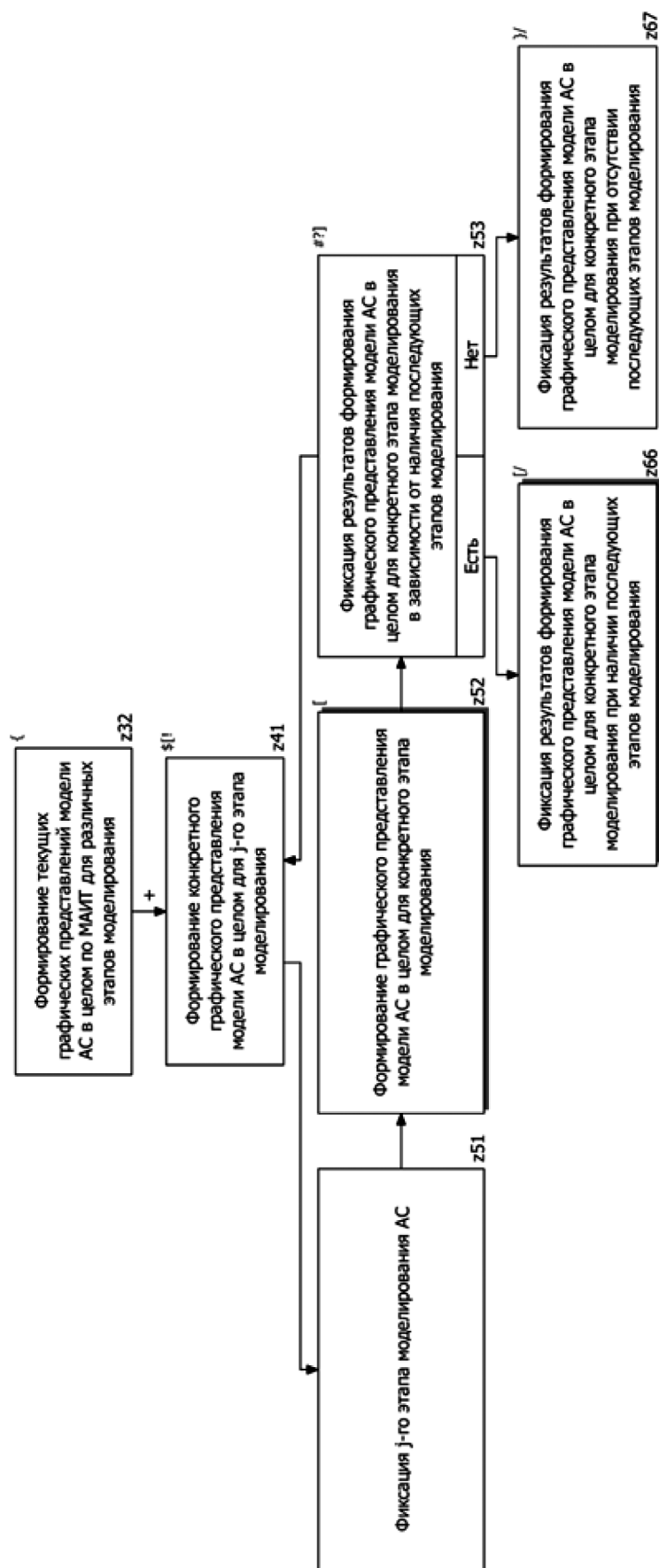


Рис. 2. Действие z3.2 алгоритма

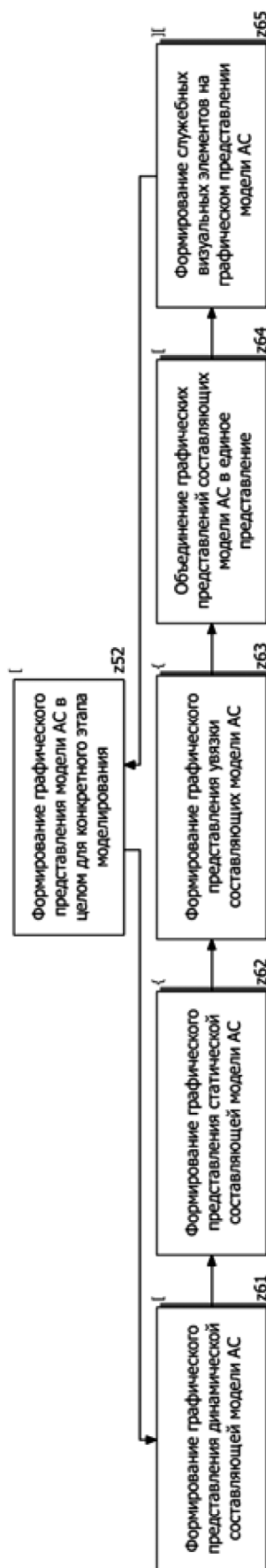


Рис. 3. Действие z5.2 алгоритма

Формирование графического представления модели АС для конкретного этапа моделирования осуществляется через поэтапную сборку ее ключевых составляющих (см. рис. 3). Вначале последовательно формируются визуальные проекции динамической (z6.1) и статической (z6.2) компонент модели, после чего выполняется отображение связей между ними (z6.3). Полученные представления объединяются в единое визуальное пространство (z6.4), что позволяет отразить взаимосвязь всех аспектов модели. Завершается процесс добавлением служебных визуальных элементов (z6.5), обеспечивающих читаемость, навигацию и корректную интерпретацию структуры в трехмерной среде.

Формирование графического представления динамической составляющей модели начинается с инициализации обхода ее структур (см. рис. 4). Для этого первый узел (соответствующий начальному предметному действию или зависимости с индексом 1.1) помещается в стек Sdyn (z7.1), обеспечивающий контроль над порядком обхода в иерархической древовидной структуре. Дан-

ный подход позволяет реализовать рекурсивную стратегию обхода без использования вложенных вызовов.

Далее осуществляется поочередная обработка узлов динамической структуры (z7.2–z9.3 на рис. 5). Каждый узел извлекается из вершины стека и фиксируется (z9.1), после чего проводится его обработка и определяются действия по продолжению обхода (z9.2). В зависимости от наличия дополнительных узлов в стеке, алгоритм либо продолжает обработку следующего элемента (z10.6), либо завершает обход, если структура исчерпана (z10.7).

Обработка текущего узла динамической структуры модели (z9.2) включает ряд последовательных операций, направленных на корректное отображение его в графическом представлении (см. рис. 6). Сначала вычисляются координаты позиции блока, соответствующего данному узлу (z10.1), на основе его порядкового номера и параметров размера и отступов (z11.1, z11.2). После этого осуществляется позиционирование блока в пространстве визуализации (z10.2).



Рис. 4. Действие z6.1 алгоритма

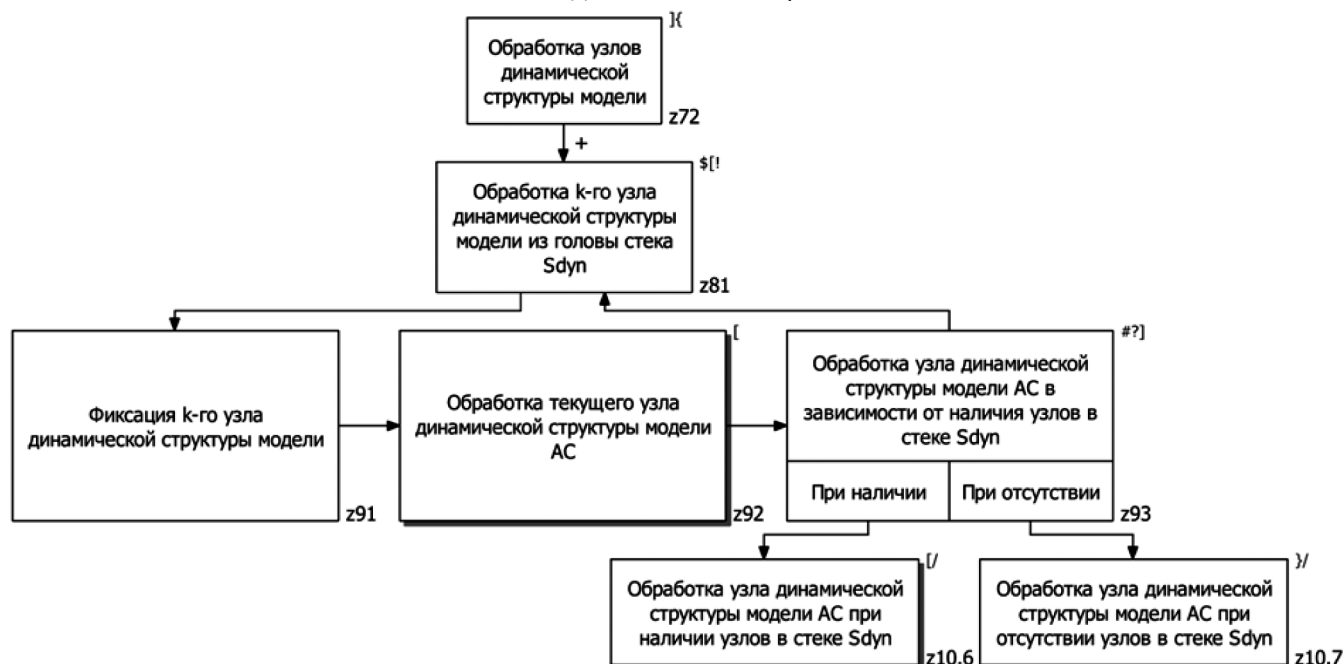


Рис. 5. Действие z7.2 алгоритма

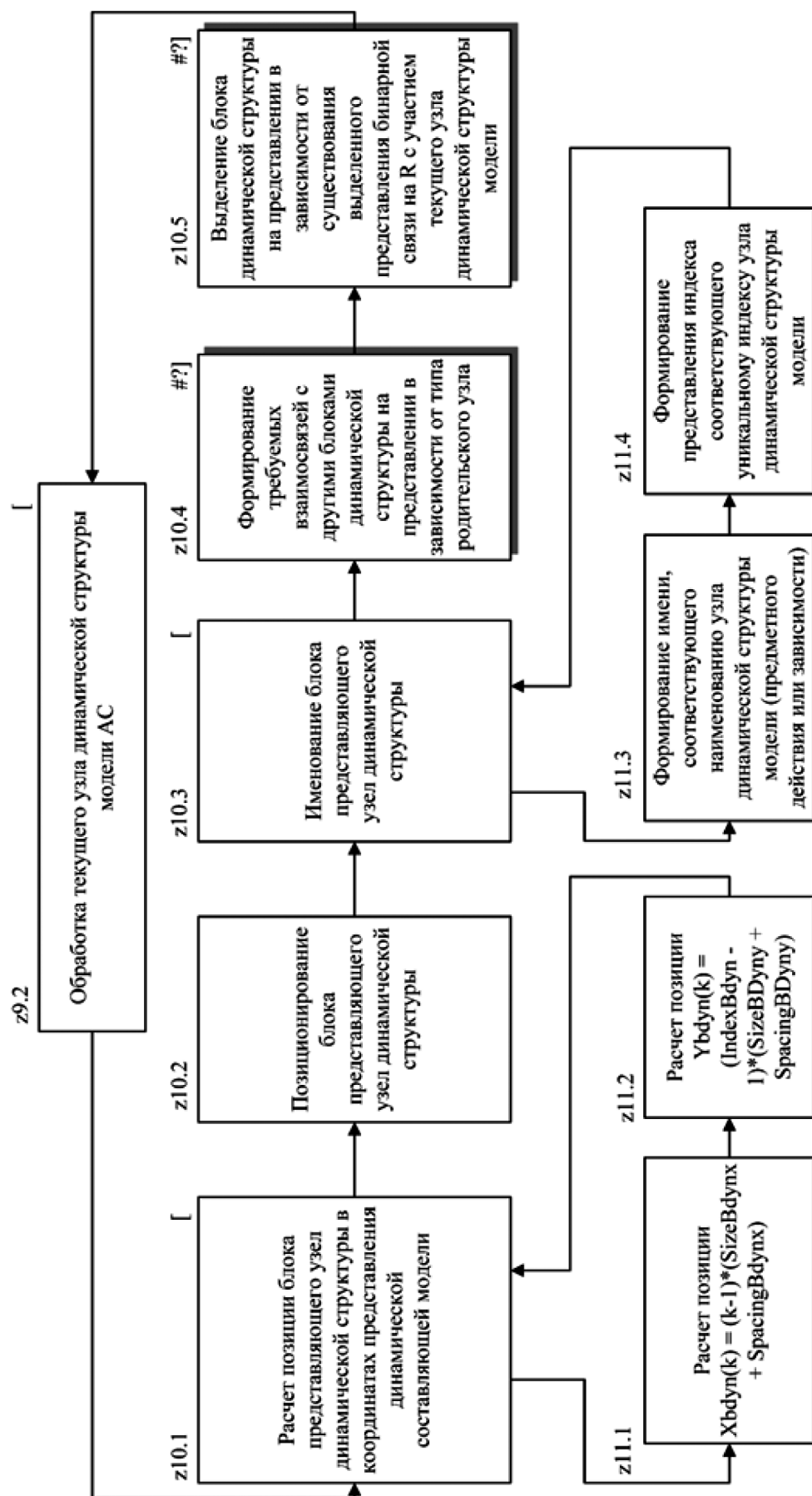


Рис. 6. Действие z9.2 алгоритма

Следующим шагом является генерация текстовой метки — имени, отражающего семантику соответствующего действия или зависимости (z10.3), с учетом структурных наименований в модели (z11.3), а также формирование отображаемого индекса узла (z11.4). После позиционирования и именования узла формируются необходимые связи с другими блоками динамической структуры (z10.4), включая отображение бинарных отношений, если они заданы в модели (z10.5). Эти связи формируются в зависимости от типа родительского узла и наличия бинарной связи на множестве отношений R, обеспечивая логическое единство и семантическую согласованность визуализируемой структуры.

Формирование взаимосвязей между блоками динамической структуры на графическом представлении осуществляется в зависимости от типа родительского узла. Для узлов, организованных в последовательность, тип связи уточняется в зависимости от положения элемента — первого, среднего или последнего, что обеспечивает корректное отображение логики исполнения. В случае первого элемента формируются стрелки к родительскому блоку и следующему элементу, для среднего — к предыдущему и следующему, а для последнего — к предыдущему и родительскому. Для структур типа «Цикл» и «Альтернатива» создаются прямые связи между дочерними и родительскими блоками.

Формирование графического представления статической составляющей модели (z6.2) организовано в виде вложенного итерационного процесса (см. рис. 7). На внешнем уровне осуществляется обход по типам предметных категорий (z7.3–z8.4), таких как «Объект»,

«Компонент», «Задача», «Процесс», «Цикл». Для каждого типа фиксируются и обрабатываются соответствующие узлы (z8.2–z8.3), с учетом возможного отсутствия или наличия экземпляров данного типа в модели (z8.4–z9.6).

На внутреннем уровне (см. рис. 8) обрабатываются конкретные предметные категории внутри текущего типа (z9.4–z10.10). Каждый узел фиксируется (z10.8), визуализируется с учетом своих свойств и иерархии (z10.9), а также проверяется на наличие дополнительных подкатегорий. Это позволяет гибко формировать структуру модели с учетом разнообразия категорий и обеспечивать корректную привязку визуальных элементов в пространстве трехмерного представления.

Обработка текущего узла статической структуры модели (z10.9) включает выполнение набора операций, направленных на формирование его визуального представления в соответствии с семантикой предметной категории (см. рис. 9). Сначала определяется внешний вид блока на основе типа узла (z11.12), затем рассчитывается его позиция на представлении (z11.13) и осуществляется пространственное размещение (z11.14). Далее выполняется именование блока (z11.15) и формируются связи с другими элементами статической структуры, если это предусмотрено моделью (z11.16). На завершающем этапе производится проверка на наличие бинарных связей с участием текущего узла; при наличии таких связей отображаются дополнительные визуальные элементы, подчеркивающие семантические отношения в модели (z11.17). Эта последовательность обеспечивает корректную и однозначную визуализацию статической составляющей модели АС на трехмерном представлении.



Рис. 7. Действие z62 алгоритма

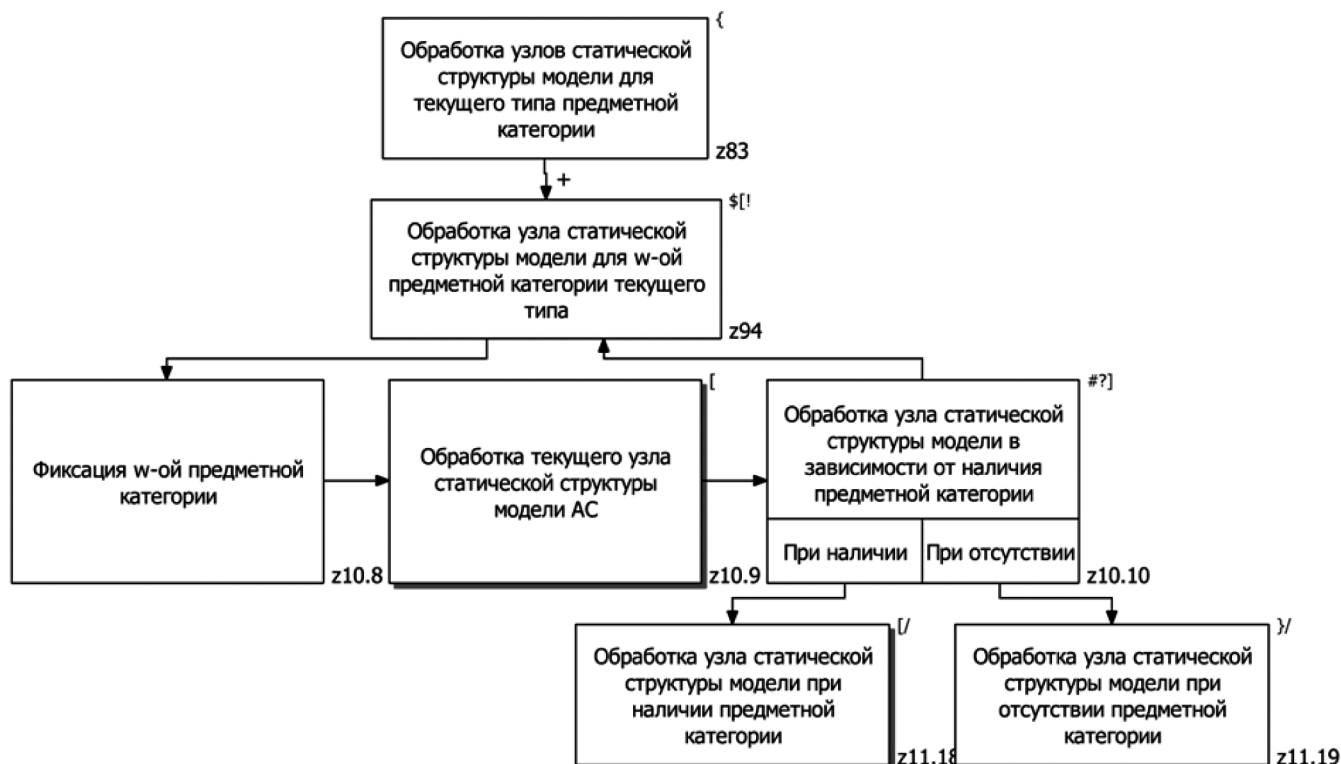


Рис. 8. Действие z83 алгоритма

Расчет координат позиционирования блока, соответствующего узлу статической структуры модели (z11.13), осуществляется с учетом типа предметной категории и ее положения в иерархии (см. рис. 10).

Значение координаты Y вычисляется в зависимости от порядкового номера категории q (z12.7), а координата X определяется различными способами в зависимости от типа категории: для типа «Объект» (z13.7) применяется расчет на основе номера родительского узла и относительного смещения (z14.1–z14.3), в то время как для остальных типов («Компонент», «Задача», «Процесс», «Цикл») (z13.8) координата X рассчитывается как среднее значение между позициями крайних дочерних категорий (z14.4–z14.6).

Формирование взаимосвязей между блоками статической структуры модели (z11.16) осуществляется дифференцированно в зависимости от типа предметной категории (см. рис. 11). Для элементов категории «Объект» построение связей не требуется (z12.10), тогда как для остальных типов (например, «Компонент», «Задача», «Процесс», «Цикл») реализуется генерация связей с дочерними категориями (z12.11). Обработка включает фиксацию текущей категории нижележащего уровня (z14.11), построение связей между соответствующими блоками (z14.12–z15.3), а также фиксацию результата с учетом наличия или отсутствия соответствующего элемента (z14.13–z15.4). Такой подход позволяет отразить в визуальной структуре иерархические и логические от-

ношения между категориями, обеспечивая согласованность трёхмерного представления модели со структурными требованиями МАИТ.

Формирование графического представления увязки составляющих модели АС (z6.3) реализуется в два этапа: сначала выполняется обход узлов динамической структуры модели, затем — элементов статической структуры, в частности категорий типа «Объект». Для каждого узла фиксируется его идентификатор, после чего формируется соответствующее визуальное отображение увязки с другими компонентами модели. Результаты визуализации зависят от наличия данных по взаимосвязи: в случае их присутствия строятся соответствующие связи, при отсутствии — визуализация корректно завершается без отображения дополнительной информации. Такая организация обеспечивает согласованность между компонентами модели и завершает построение целостного визуального образа системы.

На завершающем этапе формирования графического представления увязки составляющих модели (z10.14) осуществляется отображение взаимосвязей между элементами динамической и статической структур. Для каждой пары узлов (z, v), где z — узел динамической структуры, а v — узел категории типа «Объект», рассчитываются координаты взаимосвязи (z11.20–z12.17). Если в множестве R зафиксировано бинарное отношение между данной парой, формируется визуальное представление соответствующего типа связи (z11.21–z13.16).

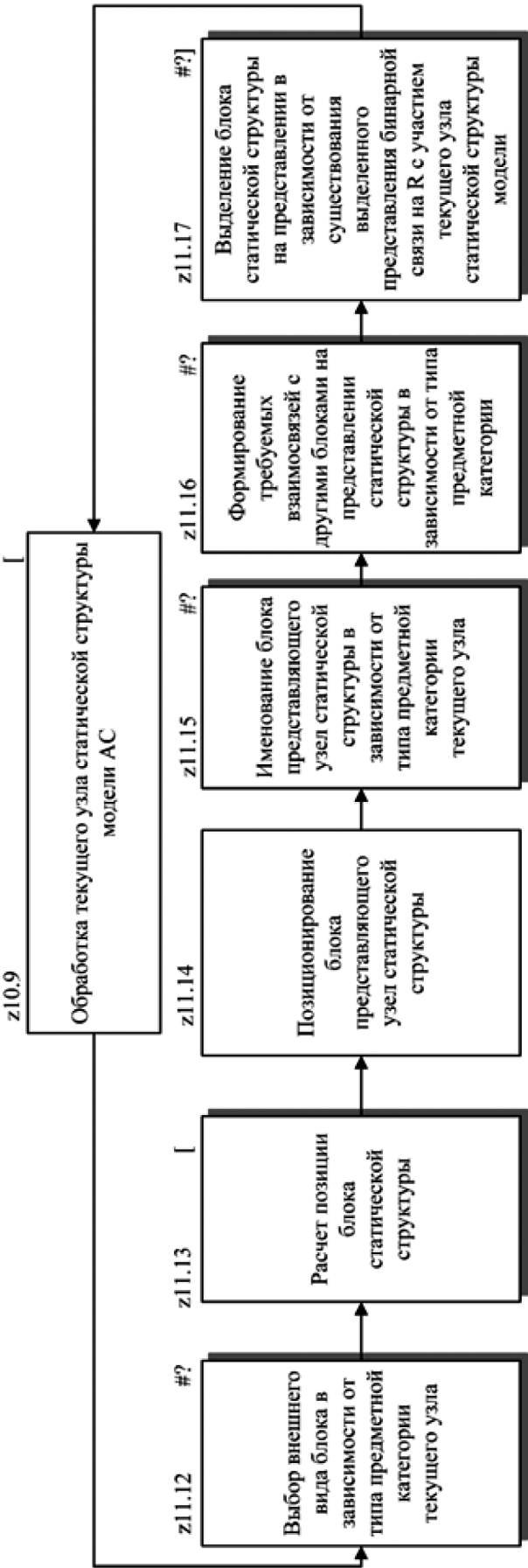


Рис. 9. Действие z10.9 алгоритма

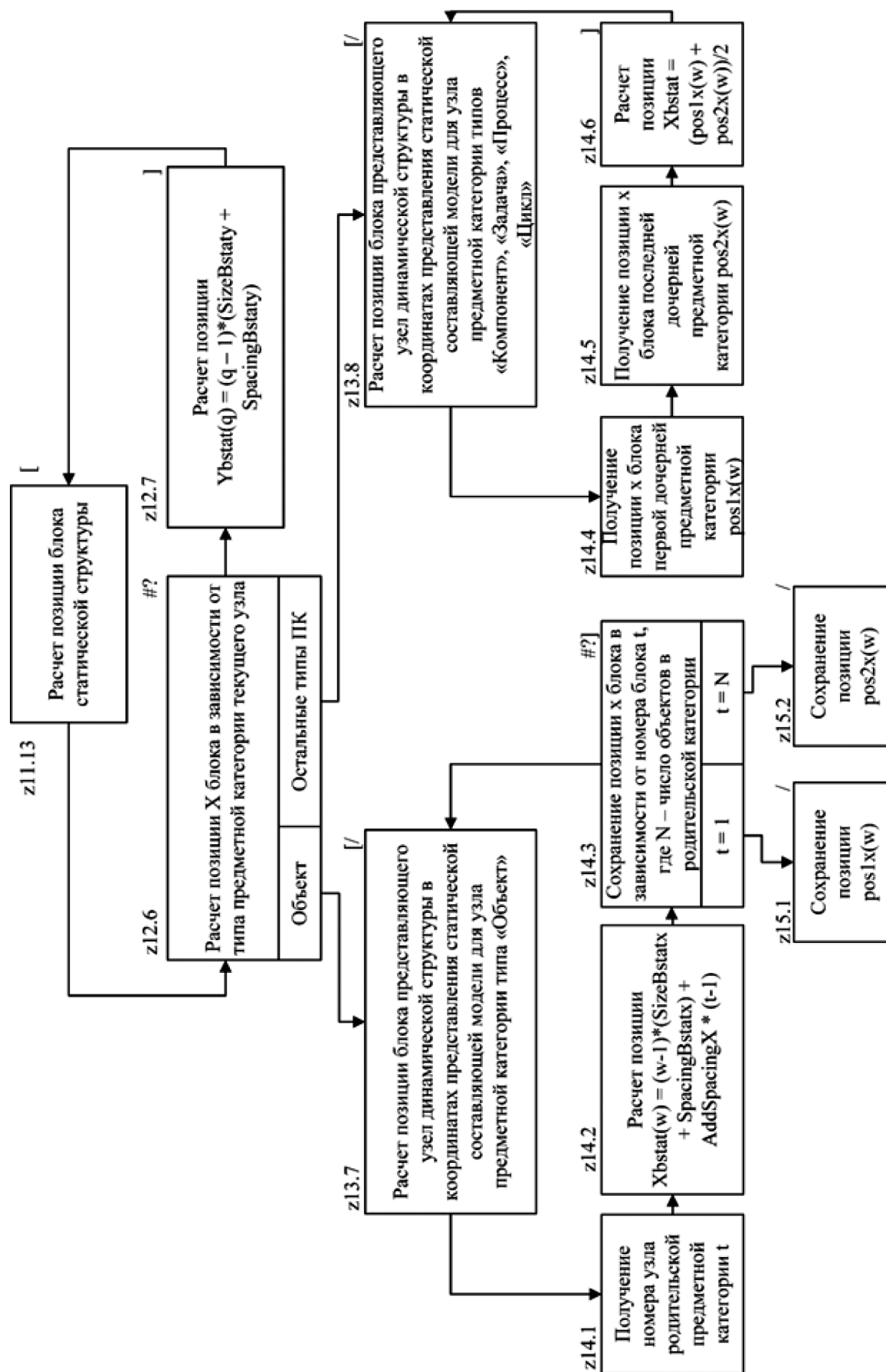


Рис. 10. Действие z11.13 алгоритма

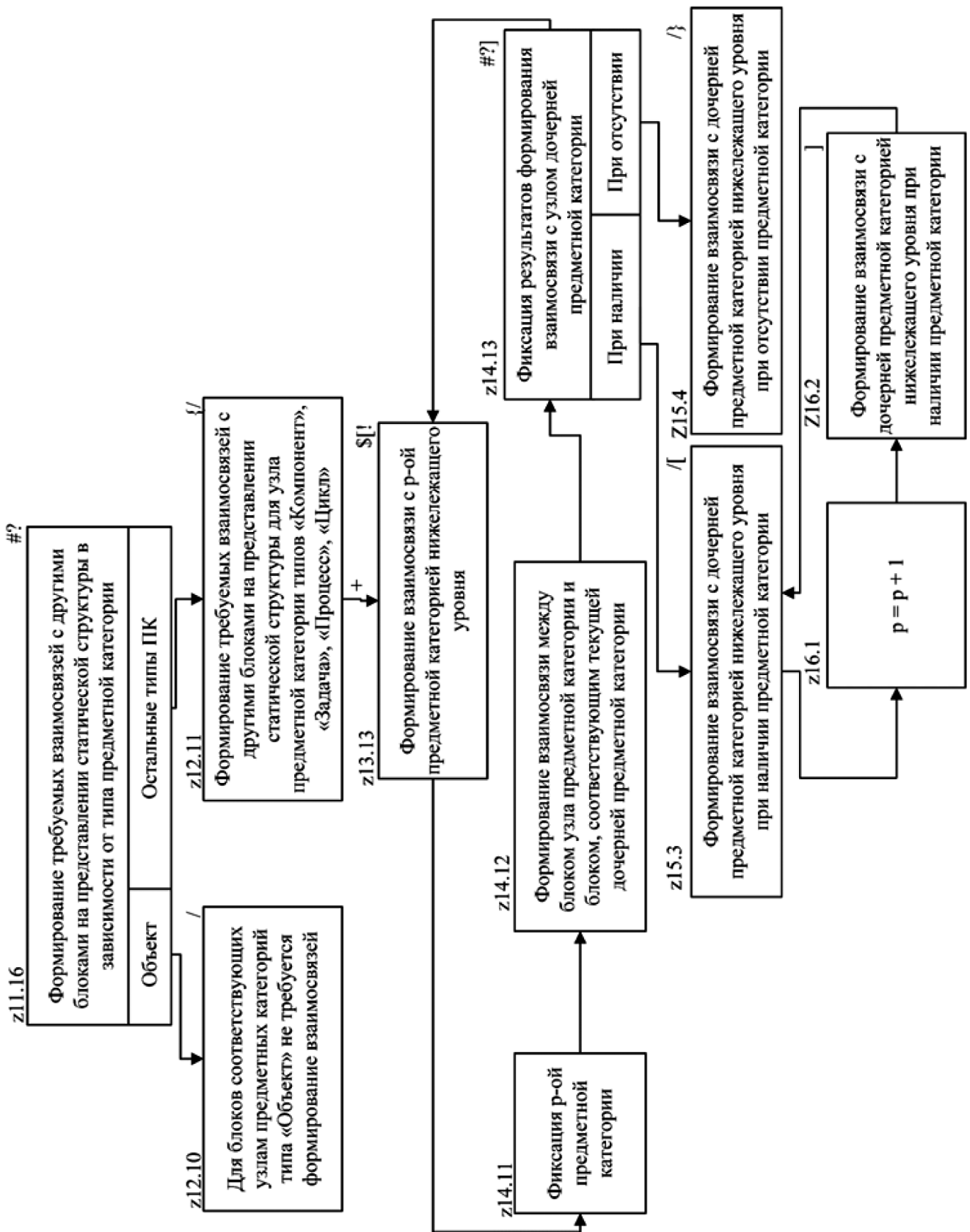


Рис. 11. Действие z11.16 алгоритма

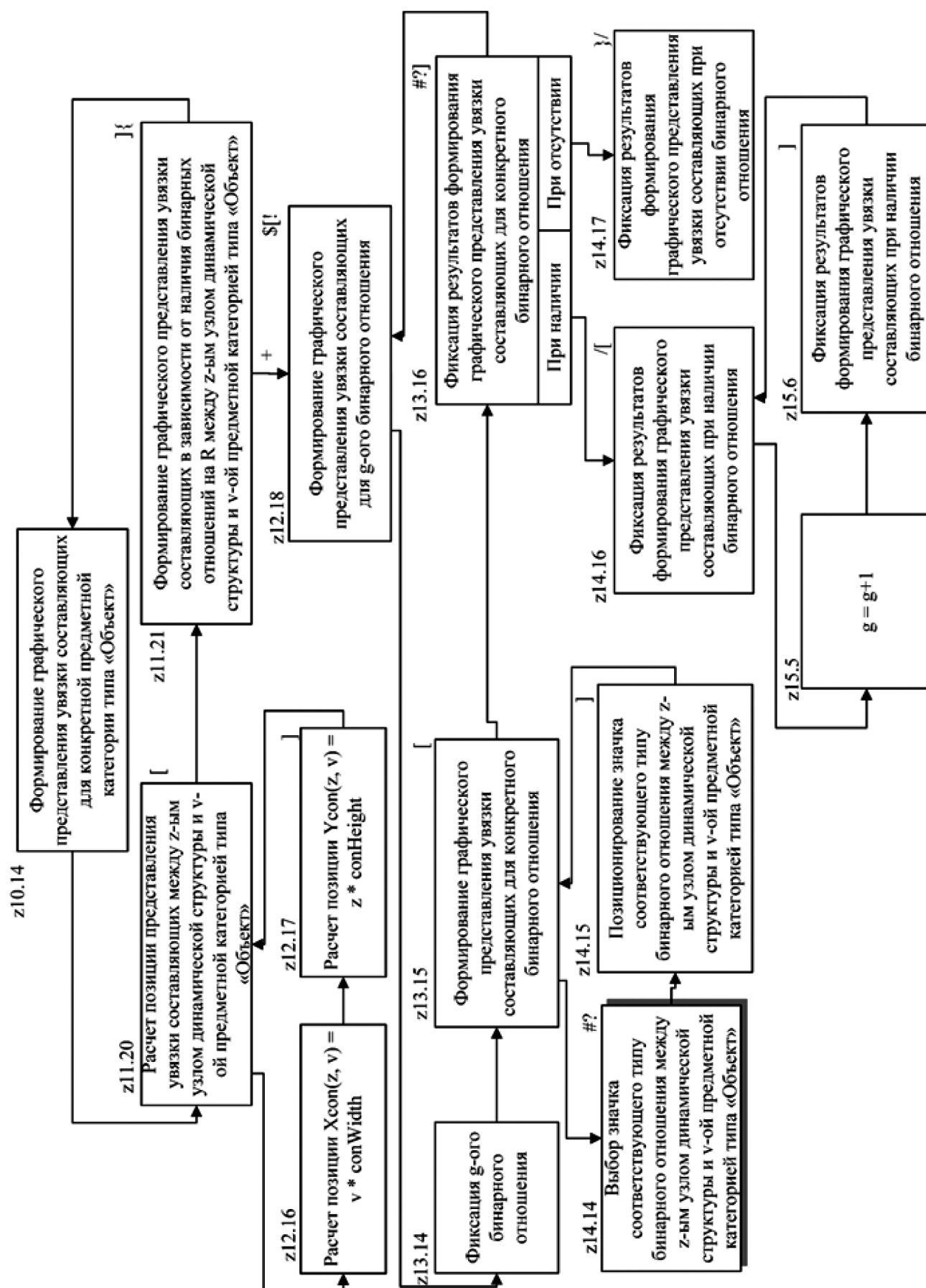


Рис. 12. Действие z10.14 алгоритма

При этом подбирается графический значок, отражающий класс взаимосвязи (z14.14), и он позиционируется на диаграмме (z14.15). В случае отсутствия отношения визуализация завершается без отображения элемента (z14.17). Такой подход обеспечивает семантическую полноту трёхмерной визуализации модели и делает явной структуру логических соответствий между действиями и информационными сущностями (см. рис. 12).

Далее осуществляется объединение всех графических представлений составляющих модели АС в единое трёхмерное пространство (z6.4). Для этого каждое из представлений — динамической структуры (z7.5), статической структуры (z7.6) и множества межструктурных связей (z7.7) — поворачивается и размещается в соответствующей координатной плоскости (zy, xy, zx), обеспечивая их пространственное разделение и визуальную читаемость (см. рис. 13).

Далее формируются служебные визуальные элементы (z6.5), включая координатные оси Ox, Oy, Oz (z8.8–z8.10) и сетку, упрощающую визуальное разграничение взаимосвязей между компонентами модели (z7.9). Эти

элементы завершают построение визуальной сцены и обеспечивают её структурированность, удобную для восприятия и анализа специалистом (см. рис. 14).

Разработанный алгоритм формирования трёхмерного графического представления моделей автоматизированных систем обеспечивает целостную визуализацию их структуры в соответствии с принципами методологии автоматизации интеллектуального труда. Предложенный подход учитывает особенности начального и концептуального этапов моделирования, включая обработку динамической и статической составляющих, а также их взаимосвязей. Реализация алгоритма позволяет формализовать процесс построения визуального образа модели, повысить наглядность представления, снизить когнитивную нагрузку на специалистов и обеспечить согласованность между этапами моделирования. Результаты работы могут быть использованы в качестве основы для создания программных средств поддержки моделирования по МАИТ и дальнейшего развития интеллектуальных средств автоматизации проектной деятельности.

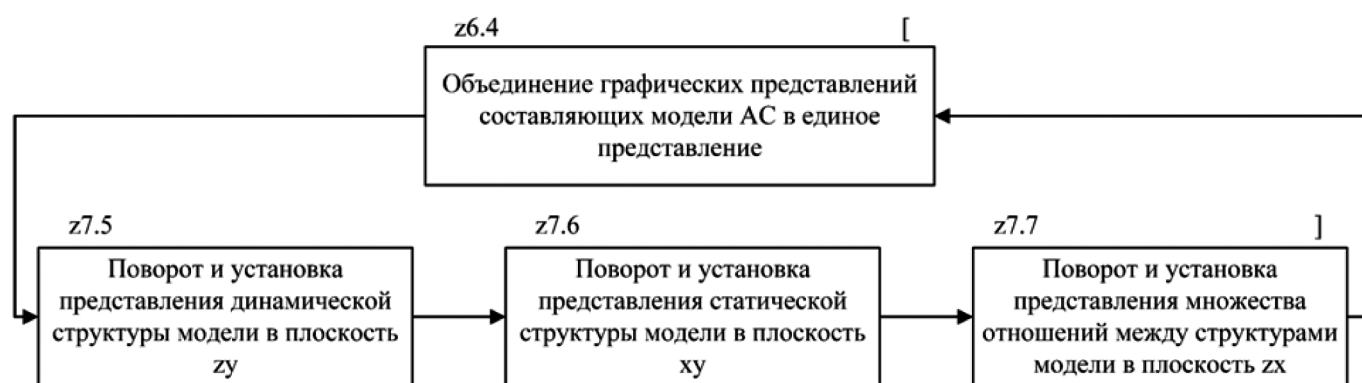


Рис. 13. Действие z6.4 алгоритма

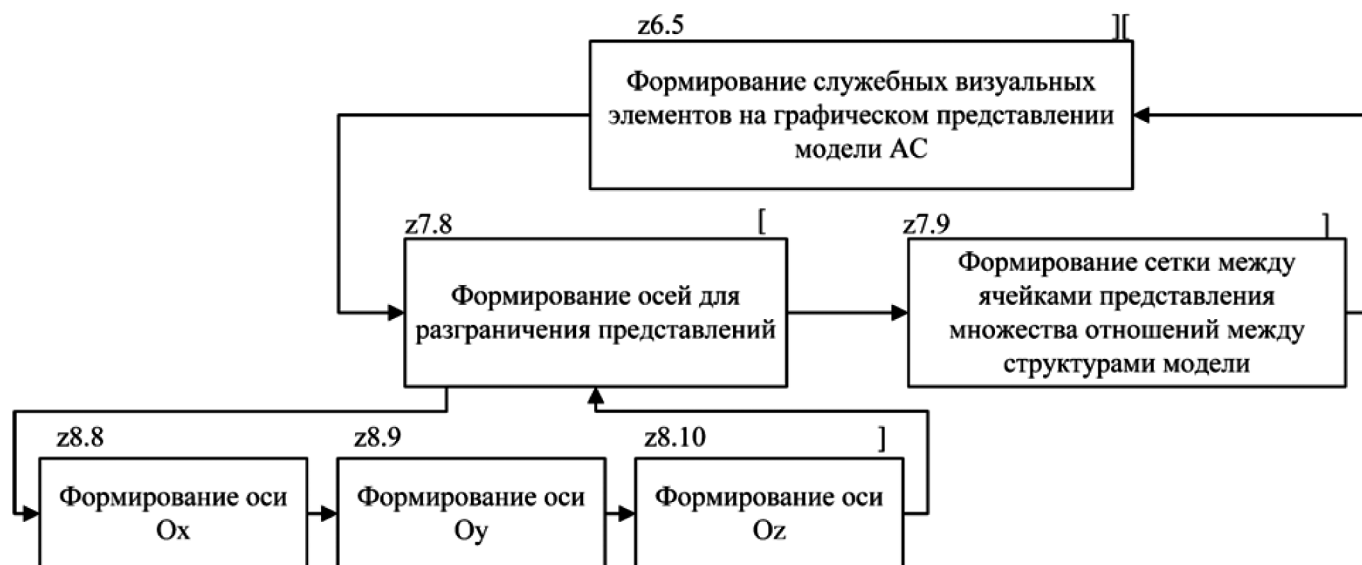


Рис. 14. Действие z6.5 алгоритма

ЛИТЕРАТУРА

1. Волкова Г.Д. Теория и практика автоматизации интеллектуального труда. / Волкова Г.Д. — М.: Янус-К, 2020. — 104 с. — ISBN 978-5-8037-0805-6
2. Глинкин М.О. Формальное описание графической нотации для представления моделей в целом по методологии автоматизации интеллектуального труда / М.О. Глинкин, О.В. Новоселова // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. — 2024. — № 6–2. — С. 92–96. — DOI 10.37882/2223–2966.2024.6–2.12. — EDN SQWXJC.
3. Глинкин М.О. Разработка графической нотации для представления моделей в целом по методологии автоматизации интеллектуального труда / М.О. Глинкин, О.В. Новоселова // Инженерный вестник Дона. — 2024. — № 5(113). — С. 756–770. — EDN JRTMXG.
4. Новоселова О.В. Моделирование предметных задач на начальных этапах автоматизации проектной деятельности: учеб. пособие / О.В. Новоселова. — М.: ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», 2016. — 100 с.: ил. ISBN 978-5-7028-0598-6

© Глинкин Максим Олегович (maximglin05@yandex.ru); Новоселова Ольга Вячеславовна (ol.novoselova@stankin.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»