

На правах рукописи



Шаронин Кирилл Анатольевич

**Алгоритмы и комплекс программ построения математической модели
компоновки промышленных объектов**

Специальность 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы
и комплексы программ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тамбов – 2014

Работа выполнена на кафедре «Автоматизированное проектирование технологического оборудования» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «ТГТУ»).

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент, профессор
кафедры «АПТО» ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
Егоров Сергей Яковлевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Системы
автоматизированного проектирования и
поискового конструирования» ФГБОУ ВПО
«ВолгГТУ»

Камаев Валерий Анатольевич
доктор технических наук, профессор, профессор
кафедры «Кибернетика» ФГБОУ ВПО «ЯГТУ»
Цыганков Михаил Петрович
Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
университет инженерных технологий»

Защита состоится «05» июня 2014 года в 13:30 часов на заседании диссертационного совета Д 212.260.07 при Тамбовском государственном техническом университете по адресу: г. Тамбов, ул. Ленинградская, д. 1, ауд. 160.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направлять по адресу: 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, ФГБОУ ВПО «ТГТУ», ученому секретарю диссертационного совета Д 212.260.07.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВПО «ТГТУ» <http://www.tstu.ru>.

Автореферат разослан «___» _____ 2014 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор технических наук, доцент



С.Я. Егоров

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Необходимым условием развития экономики страны является качественное развитие промышленных объектов. В современных условиях проектирование промышленных объектов должно обеспечивать получение оптимальных проектных решений по ряду критериев. От оптимальности принятых проектных решений зависит эффект от внедрения промышленного объекта. Одним из основных этапов в конструкторском проектировании является этап топологического синтеза, заключающийся в получении пространственной модели проектируемого объекта. Пространственная модель будущего промышленного объекта включает строительные конструкции, размещенное оборудование, сеть технологических соединений, вспомогательное оборудование и металлоконструкции. От полученного на этом этапе решения зависит стоимость реализации объекта. Также, проектное решение на этом этапе существенно влияет на стоимость эксплуатации. При этом решение должно удовлетворять ограничениям, вытекающим из нормативных документов (СНиП, ПБ, ГОСТ и т.д.). Выбор ограничений зависит от технологических особенностей, условий эксплуатации проектируемых объектов, условий работы оборудования, персонала, условий обслуживания и других факторов. К тому же, при наличии опыта, проектировщик может сам накладывать дополнительные ограничения на получаемое решение.

Математические модели и методы решения задачи компоновки описаны в работах отечественных авторов В.В. Кафарова, Е.Н. Малыгина, В.П. Мешалкина, И.П. Норенкова, И.Д. Зайцева, В.М. Курейчика, С.Я. Егорова и зарубежных авторов Т. Hamann, Т.С. Koopmans, M.Beckmann, A.R. McKendall, R.D. Meller, J.A. Tompkins. Предложенные ими модели рассматривают решение широкого круга задач компоновки. Однако, добавление новых ограничений в эти модели связано со значительными трудностями. Таким образом, для автоматизированного решения задач, требующих учета дополнительных ограничений, необходима разработка новых моделей и программных комплексов, либо трудоемкая модернизация существующих.

Исходя из этого разработка алгоритмов формирования и учета ограничений в задачах компоновки промышленных объектов и их реализация в виде комплекса программ, позволяющего осуществлять постановку и решение класса задач компоновки промышленных объектов, является актуальной научной и практической задачей.

Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России 2009-2013 годы», государственный контракт №02.740.11.0624.

Цель и задачи диссертационного исследования.

Целью диссертационного исследования является уменьшение времени получения проектных решений с использованием комплекса программ построения математической модели компоновки промышленных объектов,

основанного на методах и алгоритмах автоматизированного формирования ограничений модели и их учета при решении задач компоновки.

В соответствии с целью работы сформулированы основные решаемые в ней задачи:

1. Выполнить анализ существующих отечественных и зарубежных работ в области компоновки промышленных объектов.

2. Разработать подход к математическому моделированию компоновки промышленных объектов, позволяющий получать математическую модель компоновки для различных классов промышленных объектов на основе обобщенной структуры модели.

3. Разработать обобщенную структуру математической модели компоновки, включающую модель структуры технической системы и способ задания ограничений на основе экспертной информации.

4. Разработать метод формирования и контроля ограничений математической модели.

5. Модифицировать методику решения задачи компоновки промышленных объектов.

6. Реализовать разработанный подход в виде комплекса программ автоматизированного построения математической модели компоновки промышленных объектов.

Предмет и объект диссертационного исследования.

Объектом диссертационного исследования являются процедуры принятия проектных решений по компоновке промышленных объектов машиностроительного и химического профиля.

Предметом исследования являются математические модели компоновки промышленных объектов, ограничения и методы их учета при решении задач.

Методы диссертационного исследования.

В работе использованы методы математического моделирования, элементы математической логики, теории графов, искусственного интеллекта, в частности экспертных систем.

Научная новизна диссертационного исследования.

Элементы научной новизны содержат следующие результаты исследования:

1. Разработан новый подход к математическому моделированию компоновки промышленных объектов, отличающийся построением математической модели для конкретной постановки задачи на основе обобщенной структуры модели.

2. Разработана обобщенная структура математической модели компоновки промышленных объектов, основанная на применении N-ориентированных гиперграфов для моделирования технической системы, отличающаяся записью ограничений в виде продукционных правил.

3. Впервые разработан метод формирования и контроля ограничений математической модели компоновки, отличающийся возможностью добавления новых ограничений и их учета в процессе решения задач компоновки без изменения программного кода.

4. Модифицирована методика решения задачи компоновки с использованием разработанной структуры модели и метода формирования и контроля ограничений.

5. Предложена структура комплекса программ построения математической модели компоновки промышленных объектов, отличающаяся применением экспертной системы для контроля ограничений при компоновке.

Практическая ценность диссертационного исследования.

Практическую значимость представляет разработанный комплекс прикладных программ для ЭВМ, реализующий предложенный метод формирования и контроля ограничений при компоновке промышленных объектов, дающий возможность в автоматизированном режиме осуществлять постановку задачи компоновки.

На защиту выносятся:

1. Новый подход к математическому моделированию компоновки промышленных объектов различного рода на основе обобщенной структуры математической модели.

2. Обобщенная структура математической модели компоновки промышленных объектов, основанная на применении N-ориентированных гиперграфов с ограничениями на свойства вершин и ребер.

3. Метод формирования и контроля ограничений математической модели, включающий:

– процедуру формирования системы ограничений математической модели в виде правил, позволяющую формализовать ограничения для применения в экспертной системе;

– процедуру контроля выполнения ограничений с применением механизмов экспертных систем.

4. Модифицированная методика решения задачи компоновки.

5. Структура системы автоматизированного проектирования компоновки промышленных объектов.

Соответствие диссертационной работы паспорту специальности.

Результаты диссертационного исследования соответствуют пунктам 1, 4, 8 паспорта специальности научных работников.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих конференциях: 2-ая научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых.(Тамбов 2010); Всероссийская конференция с международным участием «Проведение научных исследований в области обработки, хранения, передачи и защиты информации» (Москва 2011); Выставка информационных и коммуникационных технологий «Softtool-2011»; XXIV-XXVI Международная научная конференция «Математические методы в технике и технологиях» (2011-2013) XIV научно-методическая конференция «Информатика: проблемы, методология, технологии»(2014).

Личный вклад автора. Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в опубликованные

работы. Подготовка к публикации полученных результатов проводилась совместно с соавторами. Все представленные в диссертации результаты получены лично автором.

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликованы 16 научных работ, в том числе 9 статей в журналах, рекомендованных ВАК. Получено 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографии и приложений. Общий объем диссертации 120 страниц.

Краткое содержание диссертационной работы.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель и аргументирована научная новизна исследований, показана практическая значимость полученных результатов, представлены выносимые на защиту научные положения.

В первой главе рассмотрены современные подходы к решению задачи компоновки промышленных объектов. Приведен обзор, применяемых математических моделей.

Анализ современных разработок в этой области показывает, что существующие подходы имеют существенный недостаток: невозможность гибкого задания набора ограничений, учет которых необходим при решении различных задач компоновки, что существенно сужает область их применения. Построенные на их базе комплексы прикладных программ для ЭВМ, не учитывают многие требования к проектным решениям по компоновке. Это усложняет работу конструктора, а невозможность гибкого задания ограничений, делает невозможным расширение круга решаемых комплексом прикладных программ задач без участия его разработчика.

Такая ситуация приводит к наличию множества математических моделей компоновки в различных областях. Как следствие, это приводит к необходимости разработки новых систем конструкторского проектирования для каждого конкретного класса задач компоновки.

Среди подходов к моделированию компоновки промышленных объектов можно выделить следующие: дискретное, непрерывное представление, использование теории графов, использование нейронных сетей. Каждый из этих подходов ориентирован на решение отдельного класса задач компоновки. Наиболее универсальным способом является моделирование с использованием графовых структур. Наибольшее распространение получили ориентированные графы, гиперграфы и мультиграфы. Эти структуры позволяют описать структуру проектируемой системы, систему технологических связей. Однако они не учитывают свойства размещаемых объектов, а также требуют отдельного представления монтажного пространства. Задание свойств объектов и областей размещения, а также их взаимосвязи целесообразно выполнять с применением N-ориентированных гиперграфов с ограничениями.

На постановку задачи оказывает влияние множество факторов, обусловленных технологическими требованиями, нормативной документацией, условиями производства и т.д. Поэтому существует необходимость в

комбинированных методах решения задачи компоновки с учетом имеющихся экспертных знаний о проектируемой системе. Однако, подходы, основанные на искусственном интеллекте, мало рассматриваются.

Исходя из анализа существующих подходов к решению задачи компоновки, сформулирована задача исследования: разработать подход к моделированию компоновки промышленных объектов, позволяющий гибко задавать и учитывать при решении задач компоновки ограничения на основе экспертной информации.

Вторая глава «Математическая модель компоновки промышленных объектов» посвящена описанию математического аппарата, используемого при моделировании компоновки технической системы, построению математической модели компоновки промышленных объектов и классификации системы ограничений задачи компоновки.

Постановка задачи компоновки в вербальной форме имеет вид: найти такой вариант компоновки объектов с заданной структурой связей между объектами, что выбранный критерий оптимальности будет достигать экстремума, при выполнении системы ограничений математической модели.

Для формализации постановки задачи и формирования системы ограничений математической модели в работе предложено использовать обобщенную структуру математической модели, основанную на применении N-ориентированных гиперграфов с ограничениями на свойства вершин и ребер.

Рассмотрим N-ориентированный гиперграф в виде

$$G(X, U, U^L), \quad (1)$$

где X - множество вершин гиперграфа; U - множество гиперребер гиперграфа; $U^L = \{u_l' = \langle x_{p1}; x_{p2} \rangle_l | l=1, N_l\}$ - множество ребер ориентированного подграфа

$$G_l(X, U^L) \quad (2)$$

заданного в виде матрицы инцидентности $L = \{l_{p1, p2}\}$,

$$\text{где } l_{p1, p2} = \begin{cases} 0, & \text{если вершина } p1 \text{ не принадлежит ребру } p2, \\ -1, & \text{если вершина } p1 \text{ является началом ребра } p2, \\ 1, & \text{если вершина } p1 \text{ является концом ребра } p2. \end{cases} \quad (3)$$

Зададим множество размещаемого оборудования как множество вершин X гиперграфа (1). Через множество ребер U определим пространство компоновки (этажи, помещения, цеха). Систему технологических связей между оборудованием зададим в виде ориентированных ребер U^L подграфа (2), описанного матрицей инцидентности (3). Таким образом, N-ориентированный гиперграф описывает структуру проектируемой технической системы. Для каждого объекта зададим множество свойств $SX_i = \{s_j\} \subset S, j \in J_1$, описывающих его параметры. Аналогично для каждой области размещения $SU_m = \{s_j\} \subset S, j \in J_2$ и для каждого технологического соединения $SU_l^L = \{s_j\} \subset S, j \in J_3$.

Данная математическая структура позволяет полностью описать проектируемую техническую систему (рисунок 1).

Рассмотрим элементарное ограничение свойства объекта - $z[s_j, x_i] \Theta z_{j,i,t}$, где $z[s_j, x_i] \in Z_{i,j}$ - значение свойства s_j объекта x_i ; $z_{j,i,t}$ - t -е значение j -го свойства. При этом, $z_{j,i,t}$ может быть как конкретным значением свойства, так и значением свойства другого объекта. По аналогии элементарное ограничение свойства области размещения имеет вид $z[s_j, u_m] \Theta z_{j,m,t}$. Также зададим элементарное ограничение свойства технологического соединения, как $z[s_j, u_l] \Theta z_{j,l,t}$.

В реальных задачах зачастую ограничивается не значение свойства, а некая функция от свойств объектов. Например, разница высоты расположения двух аппаратов, между которыми вещество передается самотеком. Тогда запишем ограничение свойств объекта как $f(z[s_j, x_i]) \Theta z_t, \forall i = \overline{1, N_o}, j \in J1 \subset J$. Функция f является линейной функцией от значений свойств. Аналогично запишем ограничение свойств области размещения $f(z[s_j, u_m]) \Theta z_t, \forall m = \overline{1, M}, j \in J2 \subset J$. Ограничение свойств технологического соединения примет вид $f(z[s_j, u_l]) \Theta z_t, \forall l = \overline{1, N_l}, j \in J3 \subset J$.

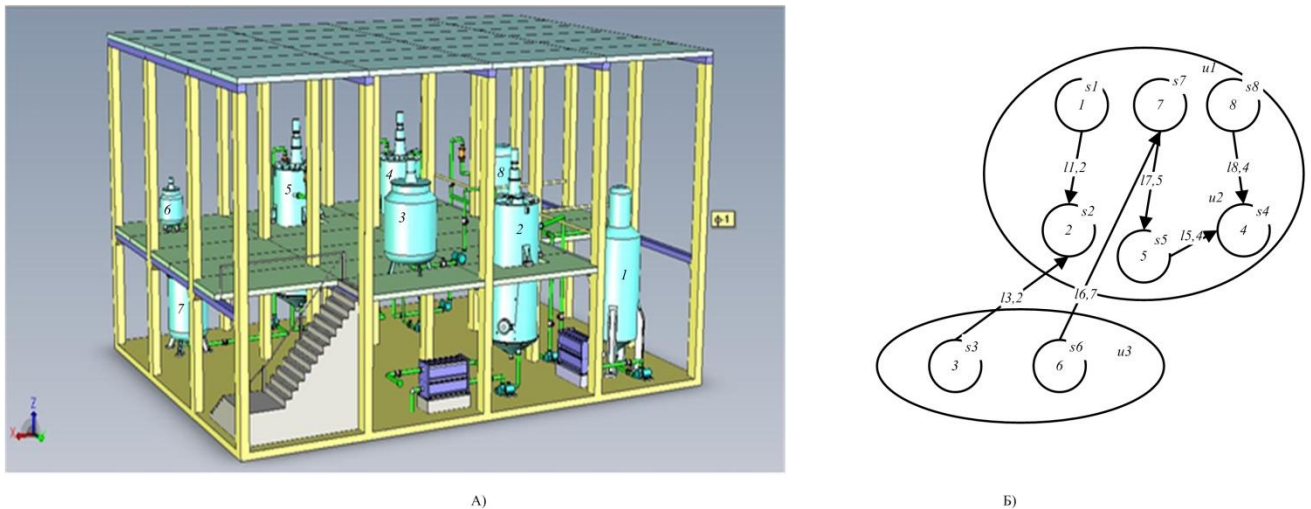


Рисунок 1 – Пример модели структуры в виде N-ориентированного гиперграфа

Рассмотрим правило вида «Если А, то В», в котором А и В некоторые события. Будем называть событие А условной частью правила, а событие В следствием. Событие А и В представляют собой комбинацию ограничений вершин и ребер гиперграфа (1) и подграфа (2). Тогда будем считать системой ограничений математической модели систему правил:

$$[Если F^{1,r}() \gamma_1 \dots \gamma_i F^{i,r}(), то F^{1,r}() \gamma_1 \dots \gamma_j F^{j,r}()]_k$$

или

$$[F^{1,r}() \gamma_1 \dots \gamma_i F^{i,r}() \Rightarrow F^{1,r}() \gamma_1 \dots \gamma_j F^{j,r}()]_k,$$

при $k = \overline{1, K}, r = \overline{1, 5}$

(4)

где $F^{i,r}(), F^{j,r}()$ - функция вида $F_1() \dots F_5()$, r - вид функции.

Совокупность гиперграфа (1), подграфа (2), описывающих структуру технической системы, включая параметры объектов компоновки, и системы ограничений математической модели компоновки вида (4) составляет обобщенную структуру математической модели компоновки промышленных объектов.

Приведем классификацию правил компоновки в зависимости от взаимного влияния свойств объектов и областей размещения (рисунок 2). Данная классификация отражает влияние свойств объектов и областей на процесс размещения. Применение классификации позволяет формализовать ограничения в виде правил компоновки.

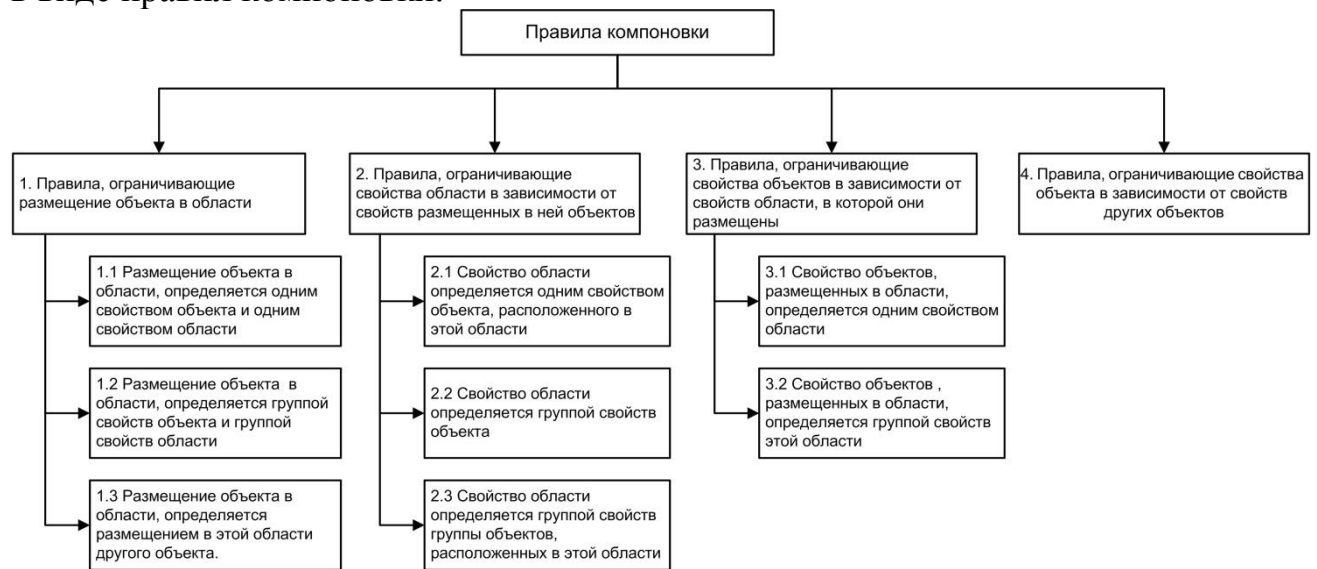


Рисунок 2 – Классификация правил компоновки

1. Правила, ограничивающие размещение объекта в области

Правила, которые определяют размещение объекта в области можно разделить на три группы.

1.1. Размещение объекта в области определяется одним свойством объекта и одним свойством области:

$$Если z[s_{j_1}, x_i] \Theta_1 z_{j_1, t_1} \wedge z[s_{j_2}, u_m] \Theta_2 z_{j_2, m, t_2}, то x_i \in X'_m \quad (5)$$

1.2. Размещение объекта в области определяется группой свойств объекта и группой свойств области:

$$Если F_1(z[s_{j_{r_1}}, x_i] \Theta_{r_1} z_{j_{r_1}, t_{r_1}}) \wedge F_1(z[s_{j_{r_2}}, u_m] \Theta_{r_2} z_{j_{r_2}, t_{r_2}}), то x_i \in X'_m \quad (6)$$

1.3. Размещение одного объекта в области определяется размещением в данной области другого объекта:

Если $F_1(z[s_{j_1}, x_{i1}] \Theta_{r1} z_{j_1, t_{r1}}) \wedge F_1(z[s_{j_2}, x_{i2}] \Theta_{r2} z_{j_2, t_{r2}}) \wedge (x_{i2} \in X'_m)$, то $x_{i1} \in X'_m$ (7)

2. Правила, ограничивающие свойства области в зависимости от свойств, размещенных в ней объектов.

2.1 Свойство области определяется одним свойством объекта, расположенного в этой области:

$$\text{Если } z[s_{j_1}, x_i] \Theta z_{j_1, i, t_1} \wedge x_i \in X'_m, \text{ то } z[s_{j_2}, u_m] = z_{j_2, m, t_2} \quad (8)$$

2.2 Свойство области определяется группой свойств объекта.

$$\text{Если } F_1(z[s_{j_r}, x_i] \Theta_r z_{j_r, t_r}) \wedge x_i \in X'_m, \text{ то } z[s_{j_2}, u_m] = z_{j_2, m, t_2}. \quad (9)$$

2.3 Свойство области определяется группой свойств группы объектов, расположенных в этой области

$$\text{Если } \bigwedge_{\forall i_{r1} \in I1} [F_1^{i_{r1}}(z[s_{j_{r1}}, x_{i_{r1}}] \Theta_{r1} z_{j_{r1}, t_{r1}})] \wedge \bigwedge_{\forall i_{r1} \in I1} [x_{i_{r1}} \in X'_m], \text{ то } z[s_{j_2}, u_m] = z_{j_2, m, t_2} \quad (10)$$

3. Правила, ограничивающие свойства объектов в зависимости от свойств области, в которой они размещены.

3.1 Свойство объектов, размещенных в области, определяется одним свойством области.

$$\text{Если } z[s_{j_2}, u_m] \Theta z_{j_2, m, t_2} \wedge x_i \in X'_m, \text{ то } z[s_{j_1}, x_i] = z_{j_1, i, t_1}, \quad (11)$$

3.2 Свойство объектов, размещенных в области, определяется группой свойств этой области.

$$\text{Если } F_2(z[s_{j_r}, u_m] \Theta_r z_{j_r, t_r}) \wedge x_i \in X'_m, \text{ то } z[s_{j_1}, x_i] = z_{j_1, i, t_1} \quad (12)$$

4. Правила, ограничивающие свойства объекта в зависимости от свойств других объектов.

$$\text{Если } F_1(z[s_{j_1}, x_{i1}] \Theta_{r1} z_{j_1, t_{r1}}) \wedge x_{i1} \in X'_m \wedge x_{i2} \in X'_m, \text{ то } z[s_{j_2}, x_{i2}] = z_{j_2, i, t_2} \quad (13)$$

Данная классификация используется при задании ограничений и упрощает впоследствии их учет с помощью методов экспертных систем.

Рассмотрим пример записи основных ограничений математической модели компоновки промышленных объектов. Некоторые из этих ограничений применяются во всех предметных областях. Например, условие непересечения объектов, условие размещения внутри заданной области.

1. Условие непересечения размещаемых объектов.

$$\text{Если } O_i^x \cup O_k^x = \emptyset, \text{ то } O_j^x = O_k^x, \forall i \neq j, i = \overline{1, N_O}, j = \overline{1, N_O}, \quad (14)$$

где O_k^x - некоторая область, в которой планируется размещение объекта x_j .

2. Условие размещения внутри заданной области.

$$\text{Если } O_k^x \in O_m^u, \text{ то } O_j^x = O_k^x, \forall j = \overline{1, N_O}, m \in \{1, M\}, \quad (15)$$

где O_k^x - некоторая область, в которой планируется размещение объекта x_j .

3. Ограничение на максимальный размер объекта.

$$\text{Если } z[a, x_i] > a_{\max} \text{ ИЛИ } z[b, x_i] > b_{\max} \text{ ИЛИ } z[h, x_i] > h_{\max}, \text{ то } x_i \notin X'_m, \quad (16)$$

где X'_m - множество объектов, которые можно разместить в области m .

4. Ограничение на размещение объектов по этажам.

$$\text{Если } z[s_k, x_i] > s_{k,t1} \text{ И } z[s_j, u_m] \leq 1, \text{ то } x_i \in X'_m \quad (17)$$

5. Условие группировки объектов по типу.

$$\text{Если } z[s_k, x_{i1}] = s_{k,t1} \text{ И } z[s_k, x_{i2}] = s_{k,t1} \text{ И } x_{i1} \in X'_m, \text{ то } x_{i2} \in X'_m \forall i1 \neq i2 \quad (18)$$

6. Ограничение размещения объектов по типу объекта и типу области.

$$\text{Если } z[s_k, x_i] = s_{k,t1} \text{ И } z[s_j, u_m] = s_{j,t2}, \text{ то } x_i \in X'_m \forall i = \overline{1, N} \quad (19)$$

7. Ограничение минимального расстояния между объектами

$$\begin{aligned} &\text{Если } x_i \in X_m \text{ И } x_j \in X_m, \\ &\text{то } |z[s_1, x_i] - z[s_1, x_j]| + |z[s_2, x_i] - z[s_2, x_j]| + |z[s_3, x_i] - z[s_3, x_j]| \geq S_{i,j}^{\min} \end{aligned} \quad (20)$$

В качестве критерия оптимальности проектного решения по компоновке промышленных объектов будем рассматривать функцию от значений свойств объектов (21).

$$R(z[s_{j_1}, x_i], z[s_{j_2}, u_m], z[s_{j_3}, u_l]) \quad (21)$$

Так как не рассматривается решение конкретной задачи, то критерий определяем в общем виде. В качестве критерия в зависимости от постановки задачи может быть использован критерий минимума общей стоимости технологических соединений, критерий минимума занимаемой площади, комплексный критерий приведенных затрат, включающий в себя капитальные и эксплуатационные затраты.

С учетом приведенных выше обозначений постановку задачи оптимальной компоновки промышленных объектов можно выразить в следующем виде:

Найти вариант компоновки оборудования $K_{x,i} = z[s_x, x_i]$, $K_{y,i} = z[s_y, x_i]$, $K_{z,i} = z[s_z, x_i]$, $K_{\alpha,i} = z[s_\alpha, x_i]$, $i = \overline{1, N_O}$, при котором критерий оптимальности проектного решения (21) будет минимальным, при выполнении системы ограничений (5)-(13), записанных в виде (4),
где $K_{x,i}, K_{y,i}, K_{z,i}$ - координаты i -го объекта;

$$K_{\alpha,i} = k \frac{\pi}{2}, k = 1, 2, 3, 4 - \text{угол поворота объекта вокруг вертикальной оси.}$$

В третьей главе «Метод формирования и контроля выполнения ограничений» приведены алгоритмы процедур метода.

Суть метода формирования и контроля выполнения ограничений состоит в применении экспертной системы для проверки выполнения системы ограничений математической модели в процессе получения решения задачи компоновки, а также в полученном варианте решения. Метод состоит из процедур формирования ограничений и контроля выполнения ограничений.

Процедура формирования ограничений описывает порядок формализации ограничений, определенных нормативными документами, технологическими требованиями, особенностями эксплуатации объекта и прочим, и формирования системы правил базы знаний экспертной системы.

Процедура формирования ограничений в разработанном методе отличается записью ограничений в виде правил, используемых экспертной системой для проверки и преобразования свойств объектов и областей. Данный подход одинаков для всех ограничений, кроме требующих проведения специальных расчетов. Задание таких ограничений имеет некоторые отличия, которые рассмотрены отдельно.

Для каждого ограничения математической модели решаемой задачи определяется тип в соответствии с приведенной классификацией.

Далее ограничение записывается в виде правила. Для этого определяется условие и следствие. В рассматриваемом примере условием будет: «тип размещаемого аппарата совпадает с типом уже размещенного в помещении». А следствием является «аппарат необходимо размещать в том же помещении». Так ограничение в виде правила будет записано следующим образом: «Если тип размещаемого аппарата равен типу уже размещенного в помещении, то аппарат необходимо размещать в том же помещении».

Затем выделяются элементарные ограничения, соответствующие условию и следствию. Если условие содержит комбинацию ограничений, то сначала выделяются элементарные ограничения, а затем строится их комбинация. Пусть в данном примере для свойства «тип» его номер $j_1 = 5$, тогда условие примет вид $z[s_5, x_i] = z[s_5, x_j] \text{ И } x_j \in u_m$. Следствие соответственно $x_i \in u_m$.

После того, как формализованы условие и следствие правила, оно записывается в виде «Если А, то В». В данном примере правило примет вид *Если $z[s_5, x_i] = z[s_5, x_j] \text{ И } x_j \in u_m$, то $x_i \in u_m$* .

Формализованное условие записывается в базу знаний в виде символьной строки, содержащей правило на формальном языке. Рассмотрим грамматику формального языка записи правил:

```

<правило>:= ЕСЛИ <условие> ТО <следствие>
<условие>:=<выражение>
<следствие>:=<выражение>
<выражение>:=<логическая функция> {<логический оператор><логическая функция>}
<логический оператор>:=И / ИЛИ
<логическая функция>:=<ограничение> {<логический оператор><ограничение>}
<ограничение>:=<функция><оператор><значение>
<оператор>:=<|>|<|=|<|<=<|<=
<значение>:=<свойство>/<константа>
<функция>:=<функция свойства1>/<функция свойства2>
<функция свойства1>:=<слагаемое> {+/- <слагаемое>}
<слагаемое>:=<множитель> {*/ “/” <множитель>}
<множитель>:=<свойство>/<константа>
<функция свойства2>:=<имя>(<список параметров>)
<список параметров>:=<свойство> {,<свойство>}
<свойство>:=<свойство объекта>/<свойство области>/<свойство соединения>
<свойство объекта>:=z[s(<номер>),x(<номер>)]

```

$\langle \text{свойство области} \rangle := z[s(\langle \text{номер} \rangle), um(\langle \text{номер} \rangle)]$
 $\langle \text{свойство соединения} \rangle := z[s(\langle \text{номер} \rangle), ul(\langle \text{номер} \rangle)]$
 $\langle \text{номер} \rangle := \langle \text{число} \rangle$
 $\langle \text{константа} \rangle := \langle \text{строка} \rangle / \langle \text{число} \rangle$

Описанная процедура проводится для каждого ограничения в решаемой задаче.

Для определения некоторых ограничений необходимы специальные расчеты. Например, гидродинамические расчеты для определения максимальной длины трубопровода. В этом случае ограничение будет записано в виде (21):

$$\text{Если } f(z_1, z_2, \dots, z_n) \Theta z_f, \text{ то } B, \quad (21)$$

где $f(z_1, z_2, \dots, z_n)$ - функция, зависящая от значений свойств объектов и областей;

$z_1, z_2, \dots, z_n$ - значения свойств;

z_f - ограничение значения функции.

Процедура формирования ограничений в данном случае будет выполняться следующим образом. Ограничение также классифицируется по приведенной классификации. Далее аналогично выбирается условие и следствие правила. Затем выбираются свойства, от которых зависит значение рассчитываемого показателя. Для данного примера это количество точек изменения направления трубопровода, диаметр и давление на входе. Эти свойства являются переменными для функции расчета. Правило включается в систему, при этом, функция записывается как обращение к некоторой предопределенной функции.

Процедура контроля выполнения ограничений состоит в упорядоченной проверке ограничений для каждого размещаемого объекта, с определением выполнения всех ограничений при помощи механизма логического вывода (рисунок 3).

Для проверки применим обратный механизм вывода. Из базы знаний в список выводов записываются все правила. Далее последовательно будем выбирать из этого списка те правила, которые определяют свойства объекта. При этом сравнивается значение свойства, определенное правилом, с текущим значением. Если правилом определяется другое значение, то оно не рассматривается. Выбранные правила записываются в стек условий.

Для проверки из стека будем извлекать последовательно все правила, начиная с первого. Для этого правила в список ограничений условия записываем соответствующие элементарные ограничения свойств объектов и областей. Эти свойства в свою очередь могут определяться правилами, заданными в базе знаний.

Если значение свойства объекта или области отсутствует в рабочей памяти (свойство не определено), то осуществляется поиск правил, определяющих значение неизвестных свойств, в списке выводов. Эти правила записываются в начало стека условий. Процесс проверки переходит первому правилу в стеке. Таким образом, осуществляется определение свойств объектов и областей.

Если все значения свойств, необходимые для определения выполнения условия, определены, то они подставляются в функцию условия, и проверяется выполнение правила.

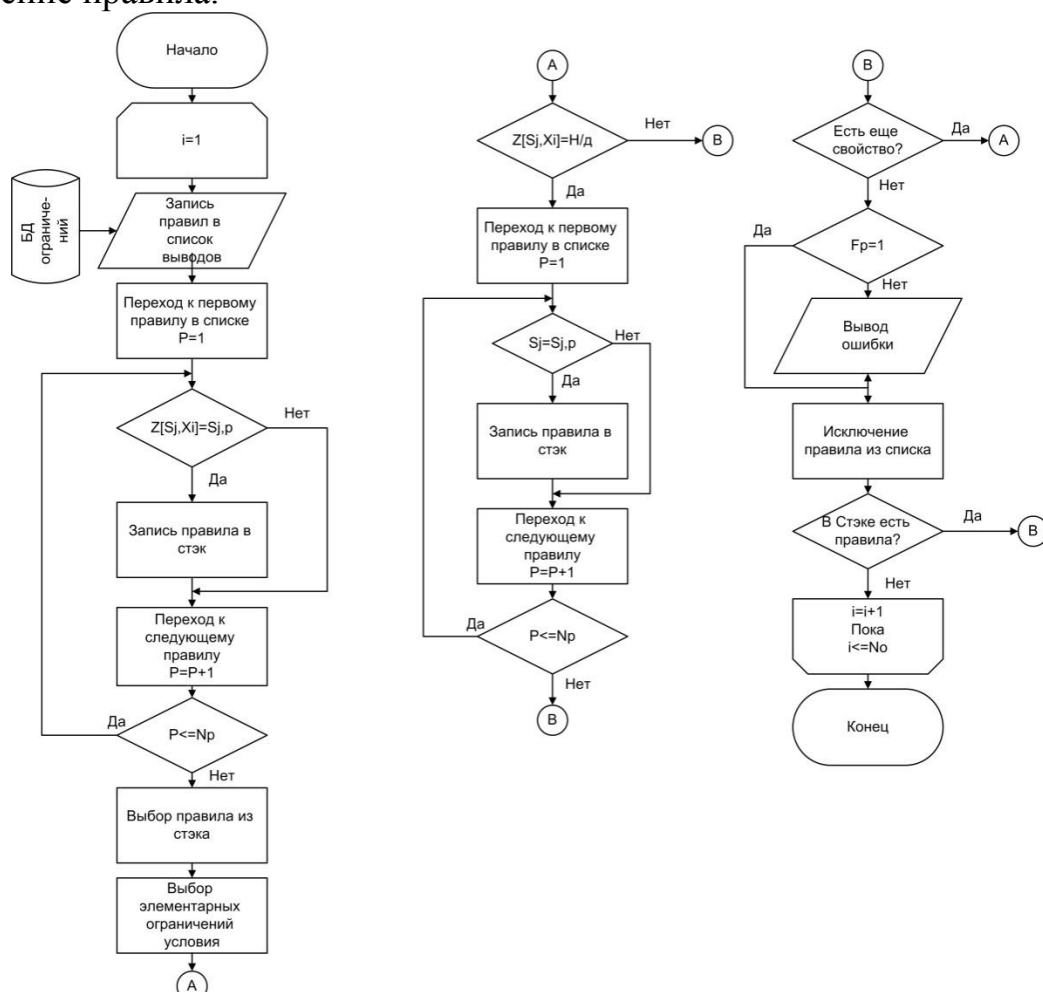


Рисунок 3 – Блок схема процедуры проверки ограничений

Правило считается выполненным, если функция-условие f_p , записанная в стек логических выводов имеет значение истины (логическая 1). Если правило не выполняется, то его номер и номер невыполненного условия заносится в список ошибок.

Проверка продолжается до последнего правила в стеке. После окончания проверки правила выбираются из списка ошибок. Для пользователя строится протокол проверки, содержащий номер правила, номер невыполненного условия и само правило.

Приведенная процедура проверки проводится для каждого объекта. Таким образом, устанавливается выполнение всех правил системы ограничений для каждого объекта и области. При наличии ошибок процедура не останавливается, что позволяет за один проход проверить систему ограничений и получить список невыполненных правил. При решении задачи компоновки на каждом шаге алгоритма изменяются свойства одного или малой группы объектов. Таким образом, проверка выполнения всей системы правил нецелесообразна. Достаточно проверить правила, в которых участвуют измененные свойства группы объектов. Тогда для проверки в стек логического вывода извлекаются

все правила, в условной части которых стоят ограничения изменившихся свойств.

С применением представленных моделей и методов усовершенствована **методика решения задачи компоновки промышленных объектов** с применением экспертной информации (рисунок 4). Приведенная методика отличается двумя стадиями построения математической модели: построение модели структуры на основе обобщенной структуры математической модели и формирование системы ограничений. Блоки 3,8 являются процедурами разработанного метода и служат для автоматизированного формирования системы ограничений, а также для проверки ограничений в процессе улучшения решения.

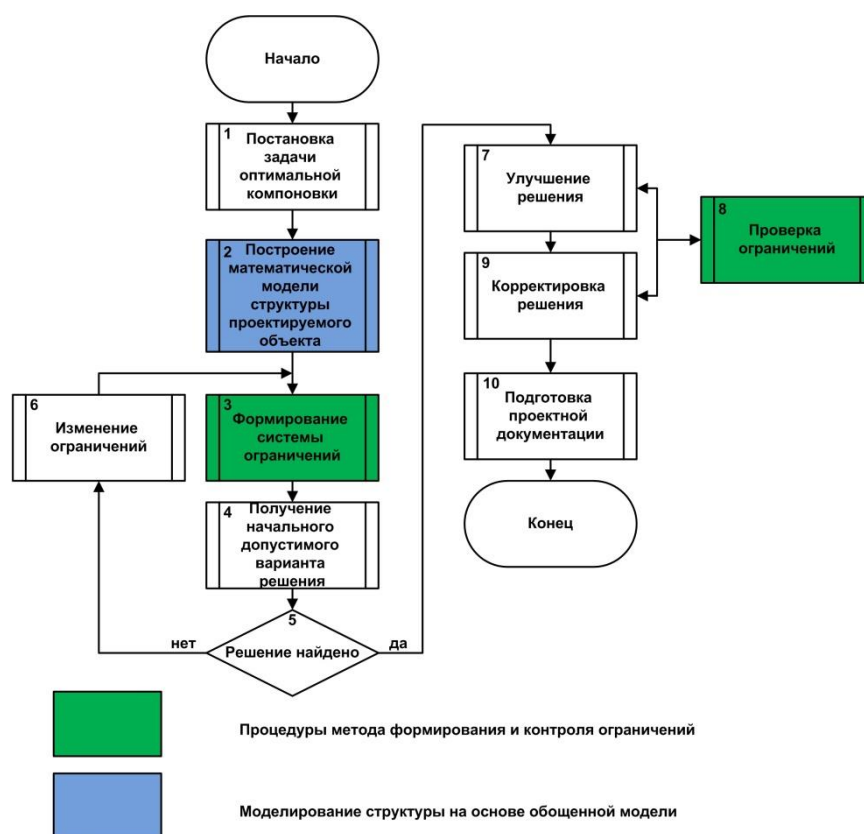


Рисунок 4 – Методика решения задачи компоновки

В четвертой главе описана реализация предложенного подхода в виде комплекса программ для автоматизированного построения математической модели компоновки промышленных объектов. Предложена структура программного комплекса.

Рассмотрим структурную схему программного комплекса (рисунок 5). Программный комплекс состоит из следующих основных блоков:

- базы знаний, предназначенной для хранения модели проектируемой системы и ограничений, накладываемых на решение;
- блока решения, включающего блоки получения начального допустимого варианта компоновки и формирования и контроля ограничений;
- библиотек расчетов, предназначенных для расчета критерия, функций расчета ограничений;
- интерфейса пользователя.

База знаний предназначена для хранения следующей информации: каталогов оборудования, проектов, объектов и их свойств, областей и их свойств, соединений и их свойств, а также системы ограничений.

Блок решения представляет собой вычислительный модуль, производящий получение решения задачи компоновки промышленных объектов. Блок выполняет следующие основные функции: получение начального допустимого варианта компоновки; улучшение начального варианта, поиск оптимального решения; контроль выполнения системы ограничений.

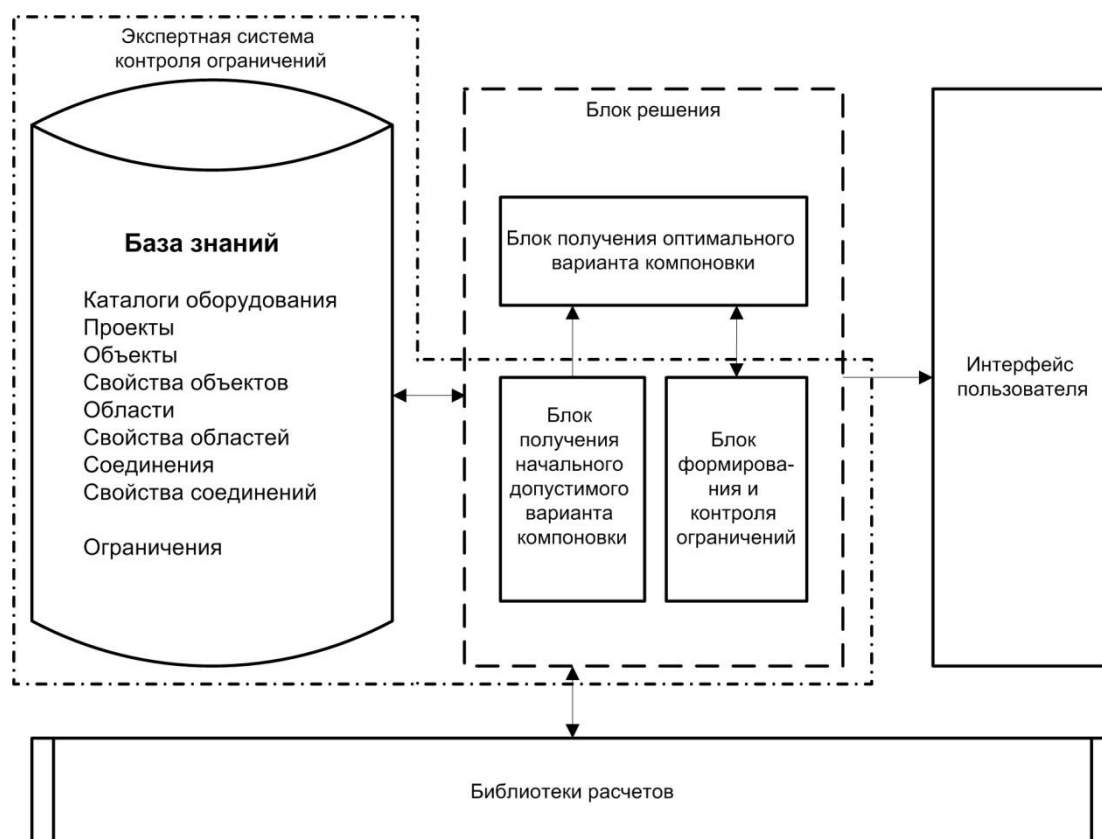


Рисунок 5 – Структурная схема программного комплекса

Блок решения и база знаний образуют экспертную систему контроля решения. Блоки получения начального допустимого варианта решения и контроля ограничений осуществляют функции механизма логического вывода.

Блок решения взаимодействует с базой знаний, выбирает факты в виде значений свойств объектов и правила и преобразует факты в соответствии с правилами и алгоритмами получения решения.

Библиотеки расчетов являются подключаемыми модулями, содержащими функции расчетов критерия и ограничений.

Интерфейс пользователя предназначен для взаимодействия пользователя и блока решения. Данный блок выполняет следующие основные функции: задание начальных данных (набор оборудования, связи, конфигурация областей размещения), формирование системы ограничений, визуализация и редактирование получаемого решения.

Таким образом, разработанный программный комплекс может применяться для решения широкого круга задач компоновки промышленных

объектов. Система апробирована на примере отделения механико-ферментативной обработки крахмалистого сырья для производства этилового спирта.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы работы:

1. Разработан подход к математическому моделированию компоновки промышленных объектов, основанный на применении обобщенной структуры математической модели и метода автоматизированного формирования ограничений модели и их учета при решении задач компоновки и позволяющий снизить время, затрачиваемое на постановку и решение задачи.

2. Разработана обобщенная структура математической модели компоновки промышленных объектов, основанная на применении N-ориентированных гиперграфов для моделирования структуры технической системы и позволяющая формализовать запись ограничений, заданных в виде экспертной информации, через ограничения значений свойств объектов, областей размещения, технологических соединений.

3. Разработан метод формирования и контроля выполнения ограничений в задачах компоновки, позволяющий добавлять и учитывать ограничения, обусловленные спецификой решаемых задач, требованиями нормативных документов, технологическими требованиями и пр. с использованием аппарата экспертных систем

4. Предложенная модернизированная методика решения задачи компоновки промышленных объектов позволяет осуществлять постановку и решение задачи компоновки промышленных объектов с использованием разработанного комплекса программ.

5. На основе предложенного подхода, а также структуры автоматизированной системы проектирования компоновки промышленных объектов, разработан комплекс программ формирования и контроля в задачах компоновки, позволяющий осуществлять постановку и решение широкого круга задач компоновки.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ РАБОТЫ

Статьи в рецензируемых журналах по списку ВАК

1. Шаронин, К.А. Автоматизированная информационная система поддержки принятия проектных решений по компоновке промышленных объектов. Часть 3. Подсистема формирования и контроля ограничений. С.Я. Егоров, К.А. Шаронин, К.В. Немтинов. Информационные технологии в проектировании и производстве. 2010. №4. С. 17-20.

2. Шаронин, К.А. Информационно-логическая модель трассировки технологических трубопроводов (статья на англ.яз.). Information and Logical Model of Tracing of Technological Pipelines. С.Я. Егоров, К.А. Шаронин, И.С. Фурсов, К.В. Немтинов. Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2010. Т. 16. №4. С. 826-830.

3. Шаронин, К.А. Методика разработки электронно-графических каталогов многоцелевого назначения. С.Я. Егоров, К.А. Шаронин, К.В.

Немтинов, Г.И. Андреев. Информационные технологии в проектировании и производстве. 2011 №2. С. 69-73.

4. Шаронин, К.А. Организация подсистемы формирования и контроля ограничений для систем автоматизированной компоновки радиоэлектронных систем. С.Я. Егоров, К.А. Шаронин, К.В. Немтинов. 2010. №2.Т.3. М.:Радиотехника. 2010. С. 26-28

5. Шаронин, К.А. Технология создания электронного банка данных многоцелевого назначения (Статья на англ.яз.) Technology of creation of the electronic multi-purpose databank. С.Я. Егоров, К.А. Шаронин, К.В. Немтинов, Г.И. Андреев. Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2011. Т.17.№2. С. 284-288

6. Шаронин, К.А. Разработка и исследование виртуальных моделей цеха на основе аналитических и процедурных моделей компоновки промышленных объектов. С.Я. Егоров, М.Н. Ерыпалова, К.А. Шаронин. Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2011. Т.17.№2. - С. 453-456

7. Шаронин, К.А. Применение параллельных вычислений для трассировки технологических трубопроводов волновым алгоритмом. С.Я. Егоров, К.А. Шаронин, И.С. Фурсов, К.В. Немтинов. Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2012. Т. 18. №2. С. 361-366.

8. Шаронин, К.А. Программное обеспечение автоматизированных систем размещения объектов в пространстве инвариантное к предметной области. В.Г. Мокрозуб, К.А. Шаронин, К.В. Немтинов. Научно-техническая информация. Серия 2. Информационные процессы и системы. 2012. № 3. – С. 11-29

9. Шаронин, К.А. Автоматизированная информационная система поддержки принятия проектных решений по компоновке промышленных объектов. Часть 4. Применение экспертных систем для проверки правил компоновки. С.Я. Егоров, К.А. Шаронин, К.В. Немтинов. Информационные технологии в проектировании и производстве. 2013. №4. С. 36-43.

Прочие публикации

10. Шаронин, К.А. Формирование и контроль ограничений при автоматизированном решении задач компоновки промышленного оборудования. Прогрессивные технологии и перспективы развития: Материалы II-ой науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Тамбов: Изд-во ООО «ТР-принт», 2010. С. 63-64.

11. Шаронин, К.А. 3-х мерное представление технических объектов химических производств в задачах компоновки. С.Я. Егоров, К.А. Шаронин, И.С. Фурсов, К.В. Немтинов, И.В. Дудин. Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы: Материалы Всероссийской конференции по результатам проектов, реализованных в рамках Федеральных целевых программ М.: 2010. С. 53-54

12. Шаронин, К.А. Автоматизированная система проектирования технологических систем. С.Я. Егоров, К.А. Шаронин, Г.И. Андреев. Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-24 [текст]: сб. трудов XXIV Междунар. науч. конф. Саратов: Саратов.гос. тех. Ун-т, 2011. – С. 141-142

13. Шаронин, К.А. Математическая модель компоновки объектов с использованием N-ориентированных гиперграфов. С.Я. Егоров, К.А. Шаронин, В.Г. Мокрозуб, К.В. Немтинов. Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-25 [текст]: сб. трудов XXV Междунар. науч. конф: в 10 т. Т. 8. Секция 12 /под общ.ред. А.А. Большакова. - Волгоград: Волгогр.. гос. тех. ун-т, 2012. – С. 108-111

14. Шаронин, К.А. Система визуализации виртуальных объектов промышленных объектов. С.Я. Егоров, К.А. Шаронин, К.В. Немтинов, Д.С. Ковалев. Сборник тезисов всероссийской конференции «Проведение научных исследований в области хранения, передачи и защиты информации». – М.: 2011. – С.39-40

15. Шаронин, К.А. Экспертная система формирования и проверки ограничений компоновки промышленных объектов. Егоров С.Я., Шаронин К.А., Немтинов К.В. Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-26 [текст]: сб. трудов XXVI Междунар. науч. конф.: в 10 т. Т. 8. Секции 6, 7, 8, 9 / под общ.ред. А.А. Большакова. – Нижний Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т, 2013. – С.111-114.

16. Шаронин, К.А. Основанная на знаниях система виртуального моделирования промышленных объектов. К.А. Шаронин, С.Я. Егоров. Информатика: проблемы, методология, технологии. Материалы XIV науч.-метод. конф.: в 4 т. Т.3 2014. – С.192-196.

17. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ «Автоматизированная система поддержки принятия проектных решений по компоновке промышленных объектов» №2013611013 09.01.2013

18. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ «Система формирования и контроля ограничений в задачах компоновки технологических комплексов» №2014613415 26.03.2014

