

## ГРАФО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБОБЩЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО КЛАССАМ ОБОРУДОВАНИЯ

Канд. техн. наук, доц. М.Н. ГАМРЕКЕЛИ

*Разработана концепция, принципы построения и применения системы синтеза оптимальных технических решений (СОТР) сложных технологических установок. Эффективность использования энергетических и материальных ресурсов на таких установках зависит от совокупности технических решений, принимаемых при разработке основных и вспомогательных аппаратов и систем. В основе СОТР лежит использование системного анализа всех известных функциональных, аппаратурных и конструктивных признаков для рассматриваемого класса оборудования, фондов информации и расчетных методик.*

*Предложено описывать множество ТР сложных технологических установок одного класса (установки распылительной сушки, кипящего слоя, выпарные установки и др.) в виде обобщающей функциональной структурной схемы и группы функционально взаимосвязанных аппаратурно-конструктивных иерархических структур — деревьев, основного и вспомогательного аппаратов и систем.*

*Предложена также форма компактного описания множества вариантов технических решений для классов оборудования в виде структурных формул, сохраняющих функциональную взаимосвязь составляющих признаков.*

*The concept principles for construction and application of the optimum technical decisions synthesis system (SOTD) of complex technological installations are developed. The power and material resources use efficiency on such installations depends on set of the technical decisions (TD) accepted by working out of the basic and auxiliary devices and systems. The use of the system analysis of all known functional, apparatus and constructive attributes for the considered equipment class and funds of the information and calculated methods lays in SOTD basis.*

*It is offered to describe TD set of complex technological installations of one equipment class (spray drying, boiling layer, evaporating installations, etc.) as the generalizing functional block diagram and group of functionally interconnected apparatus and constructive hierarchical structures (trees) represented the basic and auxiliary devices and systems.*

*The compact form description of technical decisions variants sets for equipment classes as the structural formulas keeping functional interrelation of making attributes is offered also.*

Автором настоящей статьи разработана система синтеза оптимальных технических решений сложного оборудования (СОТР), основой которой являются структурные исследования, ранее применявшиеся для решения изобретательских задач [1, 2].

Предложено описывать множество технических решений (ТР) сложных технологических установок одного класса (установки распылительной сушки, кипящего слоя, выпарные установки и др.) в виде комплекса графических образований: обобщающей функциональной структурной схемы и группы функционально взаимосвязанных иерархических структур. Деревья состоят из функциональных аппаратурных и конструктивных признаков основного и вспомогательного аппаратов и систем, входящих в состав установки. Вместо графического описания можно применить предложенные автором структурные формулы.

Система выбора оптимальных технических решений предусматривает наиболее полное применение современной научно-технической информации и расчетных методик. В качестве критериев выбора оптимального технического решения используются

ресурсосберегающие и экологические показатели: термический к.п.д., удельные тепловые затраты, удельные выбросы продукта и др.

### 1. Известные системы анализа и синтеза технических объектов

Обычно применяемый при разработке новых технических решений традиционный метод «проб и ошибок», основанный на интуиции специалистов, малоэффективен. В последние десятилетия разработаны специальные эвристические методы поиска рациональных технических решений (ТР) [3—7]. Эти методы повышают производительность конструкторского труда, но не ориентированы на использование возможностей ЭВМ. Значительным продвижением в этом направлении стали труды А.И. Половинкина, А.М. Дворянкина и их соавторов [1, 2], предложивших программные методы решения на ЭВМ конструкторских задач. Они разработали систему синтеза новых технических решений (СНТР) на уровне изобретений. Под техническим решением они понимают «указание на средство, предназначенное для достижения поставленной цели», к которым относят устройства, способы и вещества, описываемые группами признаков. В основе СНТР использованы результаты исследований по искусственному интеллекту, системному анализу, теории алгоритмов, математическому и эвристическому программированию, теоретическим вопросам конструирования, а также по математическому описанию множества возможных ТР, их количественной оценке и использованию методов математического программирования для поиска оптимальных решений [8—15].

В системе СНТР множество возможных ТР описывается формализованным, но естественным языком, оценивается ТР в целом и отсекаются недопустимые варианты. Применение естественного языка удобно для разработчиков-конструкторов. СНТР предполагает использование множества ТР, полученного на основе системного морфологического анализа структур известных ТР изучаемого класса устройств из всех возможных источников информации, а также поэтапных интуитивных оценок, выполняемых специалистами, и результатов, выдаваемых ЭВМ в режиме диалога «оператор-ЭВМ». Это позволяет сократить необходимый объем памяти ЭВМ, объем вычислений и повысить достоверность результатов.

СНТР содержит следующие принципиальные положения и шаги:

- применяется обобщенный эвристический алгоритм поиска новых ТР, объединяющий при решении задач этапы, используемые в известных эвристических методах;
- этапы должны автономно выделять одну из основных функций поиска в процессе решения задачи и содержать полный набор процедур для соответствующей обработки информации;
- создается фонд ТР на основе анализа патентно-технической информации; изучается структура объектов, назначение и признаки составляющих элементов;
- создаются фонд эвристических приемов и список методов оценки и выбора вариантов ТР;
- сочетаются экспертный и автоматизированный с использованием цифровой ЭВМ способы проверки по ограничениям значений показателей элементов ТР в процессе выбора ТР в режиме диалога «оператор-ЭВМ»;
- единичные ТР как совокупность взаимосвязанных элементов представляются в виде иерархического дерева, что позволяет обеспечить индивидуальное распознавание каждого ТР.

Согласно [2] «граф типа «дерева» в качестве вершины имеет элементы ТР и их признаки, а дуги графа показывают соподчиненность между элементами, а также между элементами и их признаками». Элементы — это агрегаты, механизмы, узлы, отдельные де-

тали, входящие в состав устройства (объекта). Признаки означают взаимное положение элементов, их форму, материал, соотношение размеров, тип и т.д.

— В отличие от известного представления ТР в виде простого набора и описания элементов, из которых оно может быть получено, дерево построено по принципу «от общего к частному» в направлении от корня к вершине. Поэтому корнем является сам разрабатываемый объект, а вершины детализируют его по составу элементов и их признакам. Таким образом, построенное дерево содержит необходимую и достаточную информацию о ТР как о целостной структуре. При создании графа используется принцип «матрешки», когда вершины (элементы ТР и их признаки) каждого последующего уровня отражают структуру вершин предыдущего уровня графа (поэлементный состав и признаки). Такой семантический характер графа позволяет называть его «структурным графом».

— За счет введения альтернативных элементов и признаков на разных уровнях дерева частных ТР могут быть объединены в общее дерево, которое является средством компактного представления и хранения информации о множестве ТР. В [16] показано, что можно построить дерево множества ТР «по конкретному классу объектов с содержанием более  $10^9$  вариантов ТР».

Заметным вкладом в разработку методологии оптимизации технологических решений сложных технических объектов явились работы В.В. Кафарова и его последователей. В [17] получили обобщение разработанные его научной школой структурные топологические методы и алгоритмы анализа химико-технологических систем (ХТС). В последнее время вновь возник интерес к применению графовых построений при оптимизации энергетических систем [18].

Подход В.В. Кафарова к анализу и синтезу ХТС содержит следующие основные положения:

— Оптимизация подразумевает исследование потоков и материально-тепловых нагрузок ХТС и выбор варианта схемы в соответствии с принятыми критериями оценки.

— Перед оптимизацией ХТС заданы основные контуры технологической схемы и направление выбора оптимального ТР.

— Необходимым условием оптимизации является идентификация ХТС и разработка ее обобщенной математической модели.

— ХТС представляется в виде графа. Структурный топологический анализ значительно упрощает алгоритм поиска оптимального ТР.

— Разрабатывается алгоритм оптимальной стратегии технологических расчетов.

— По своему содержанию классификации проектно-конструкторской документации результаты оптимизации ХТС соответствуют документации, выполняемой на стадиях технического задания или технического предложения.

## **2. Концепция системы синтеза оптимальных технических решений (аппаратурных и конструкторских) сложных технологических установок**

Концепция разработанной автором настоящей статьи системы СОТР содержит в отличие от СНТР и системы оптимизации ХТС следующие принципиальные положения:

— Цель СОТР состоит в разработке комплекса методических приемов и расчетно-аналитических средств выбора оптимальных ТР в виде аппаратурно-функциональной схемы и конструкторских решений сложных технологических установок из всего многообразия известных ТР рассматриваемого класса объектов. Каждое ТР содержит информацию о составляющих его элементах и их признаках.

— Технологическая установка рассматривается как сложный объект, состоящий из аппаратурно-автономных, но функционально взаимосвязанных систем и узлов.

— Выполняется структурный системный анализ известных функциональных схем узлов и систем в составе установок этого класса, включающий их поэлементную классификацию в соответствии со значением, исполняемой функцией и признаками различия каждого функционального элемента.

— Применение СОТР базируется на использовании известных математических моделей процессов, протекающих в соответствующих аппаратах и системах установки, и известных методиках расчета ее функциональных и конструктивных элементов. Методики классифицируются, определяются их достоверность, условия и границы их применимости.

— Множество возможных ТР данного класса установок представляют в виде группы древовидных структур: обобщающей функциональной схемы и структурных схем, описывающих входящие в состав установки системы и узлы, с информацией об их принципиальных конструктивных особенностях.

— Выбор оптимального комплекса ТР для всей установки осуществляется поэтапно от нижнего уровня структур к верхнему уровню по результатам сопряженных расчетов функционально взаимосвязанных составных частей. Оценка проводится автоматически или оператором в режиме диалога с ЭВМ по заданным значениям параметров и критериев выбора и ограничений

— Результатом применения СОТР является определение параметров аппаратурно-технологической схемы установки, ее систем и аппаратов, которые соответствуют по своей детализации техническому или рабочему проектам.

— При анализе структуры установки и ее частей наряду с признаками (элементами) обязательными «и», альтернативными «или», введены признаки детализации, которые «могут быть» или «отсутствуют вовсе».

В системе СОТР применяются некоторые приемы, использованные в работах В.В. Кафарова, А.И. Половинкина и А.М. Дворянкина. Так, при системном анализе известных ТР применяются принципы «морфологического ящика» и декомпозиции, которые трансформированы в соответствии со вновь сформулированной целью СОТР. Так же, как в работе [2], по информационному содержанию каждое дерево аппаратов и систем установки строится от общего к частному в направлении от корня к вершине, а полученное дерево является результатом обобщения при совмещении деревьев частных ТР. Кроме того, в случае реализации СОТР с максимальным применением ЭВМ разрабатываются программы не только для выполнения технологических и конструкторских расчетов, но и программы для реализации алгоритмов поэтапных процедур и оценок параметров и ограничений, а также ведущая программа, по которой осуществляется порядок поэтапных переходов.

### **3. Структурно-морфологический анализ известных ТР и систематизация расчетных методик**

Создание фонда ТР осуществляется за счет использования информации из различных источников (периодическая научная литература, монографии, патентная литература, отчеты научно-исследовательских организаций). Период ретроспективы должен задаваться разработчиком и может составлять от 20 до 50 лет. Как правило, многие литературные источники, с результатами исследований содержат сведения о конструктивных особенностях функциональных элементов, расчетные методики и ограничения по их применению.

Работа специалистов-системотехников при анализе источников информации строится в следующей последовательности:

— Производят идентификацию источников информации и устанавливают их соответствие к рассматриваемому классу оборудования.

— Определяют назначение установок, систем, аппаратов, узлов, производят их классификацию по месту использования в функциональной обобщающей схеме класса оборудования.

— Расчленяют системы, аппараты и узлы на функциональные элементы, классифицируют, определяют их характеристические признаки.

— Классифицируют функциональные элементы по признакам ограниченных параметрических показателей.

— Идентифицируют методики по применимости для расчетов функциональных технологических стадий, параметров работы систем, аппаратов, узлов и первичных элементов конструкции. Анализируют достоверность методик. Создают фонд расчетных методик.

— Фонды функциональных элементов и методик представляют в виде таблиц. При наличии разных методик для расчета одних и тех же параметров каждой методике присваивают значение показателя достоверности.

— Фонды ТР и методик имеют описания, разъясняющие порядок применения, могут быть использованы при составлении программ. К фондам ТР и методик должны быть приложены примеры выбора и тесты расчетов.

#### **4. Принципы графического обобщения классов оборудования в системе СОТР**

Индивидуальное распознавание ТР может быть осуществлено на основе описания всех существенных особенностей ТР в виде совокупности взаимосвязанных функциональных элементов и их признаков. Граф является наглядной формой описания сложного технического решения, к которому относятся установки распылительной сушки и прокалики, рассмотренные в качестве примера практической реализации СОТР. Граф отражает многоуровневую иерархическую взаимосвязь элементов и признаков от первого уровня к более высоким уровням с уточнением аппаратурно-функциональных и конструктивных характеристик.

При графическом описании конструкторских и аппаратурных решений комплексной технологической установки целесообразно руководствоваться следующими положениями:

— Вспомогательные системы и узлы функционально автономны и сопряжены с основным аппаратом по функциональной схеме согласованными параметрами.

— Рассматриваемый класс оборудования представляется обобщающей структурной схемой функциональных признаков.

Схема представляет собой функциональное дерево (ФД). Дерево построено из элементов и признаков в виде физических процессов и технологических операций, которые могут быть реализованы при определенных их сочетаниях и в определенной последовательности в аппаратах, узлах и системах установки. ФД составлено по результатам анализа информации из широкого круга литературных источников, а также на основе экспериментального материала.

— Стрелки дуг показывают соподчиненность элементов и признаков. Нанесенные на графах знаки означают для последующего (более высокого) порядка (уровня) структуры: «○» — альтернативность признаков из числа возможных; «●» — одновременное

применение определяющих обязательных признаков. Дополнительно введены признаки детализации, обозначаемые знаком «X». Знак «O», нанесенный непосредственно на графическое изображение элемента или признака, означает потенциальную возможность его вариантности, еще не установленную разработчиком на момент построения дерева.

— Аппаратурное решение каждой функциональной системы и узла в составе установки представляется в виде отдельного графа — структурной схемы. Объединение этих схем, включающих множество элементов и признаков, нецелесообразно, так как привело бы к созданию схемы установки, трудной для понимания и применения. Структурные схемы вспомогательных систем используются при расчетах их конструкций и аппаратурных решений в функциональной схеме по заданным конечным параметрам сопряжения с основным аппаратом установки.

— Построение конструктивного графа выполняется по принципу «от общего к частному» — от корня, которым является сам объект, к вершинам — элементам и признакам его детализации.

## 5. Семантическая характеристика древовидных структур ТР

В качестве примера удачной реализации СОТР рассмотрен класс распылительных сушильных и сушильно-прокалочных установок. Весь класс оборудования обобщенно представлен функциональным деревом ФД. Множество ТР оборудования установок описывается пятью структурами. Они представляют сушильно-прокалочную камеру и вспомогательные системы: подачи и распыливания жидкости; подготовки и подачи теплоносителя — сушильного агента; улавливания дисперсного продукта; очистки газовых потоков сушильного и транспортирующего воздуха; охлаждения и транспортирования готового продукта. Первые три из них являются первичными графами конструктивных и аппаратурных ТР и имеют самостоятельные корни. Два последних — вторичные; их корни вырастают из элементов основного аппарата — сушильно-прокалочной камеры, которая имеет наиболее сложную иерархию (5 уровней).

### 5.1. Структурная схема функциональных признаков.

На рис. 1 представлена структурная схема функциональных признаков, обобщающая класс установок распылительной сушки и прокатки.

Схема (рис. 1) отражает известное многообразие технологических операций, которые должны быть реализованы в зависимости от исходных требований с применением аппаратов и систем различного типа и назначения. Использован опыт, накопленный автором настоящей работы за 30-летний период участия в исследовании и разработке данного класса оборудования. Структура отражает многообразие вариантов осуществления полного технологического цикла, в который входят процессы подготовки и подачи технологических сред, получения сухих и прокаленных продуктов, а также процессы утилизации тепла, очистки и дожигания газовых выбросов и операции с готовым продуктом, включая его охлаждение и выгрузку в бункеры хранения.

Операции (функциональные признаки) пронумерованы. Осуществляется подача и распыливание перерабатываемой жидкости (4, 6) в камере. При мокрой утилизации тепла отработанного сушильного газа (альтернативное решение газоочистки) (24) перед подачей жидкости (4) ее смешивают с продуктами мокрой утилизации (5).

Осуществляется подача холодного сушильного газа (1), его нагрев (2) с возможным предварительным подогревом за счет утилизации тепла отработанного сушильного газа (25, 2), подача сушильного газа в рабочую камеру (3), первичное взаимодействие распы-

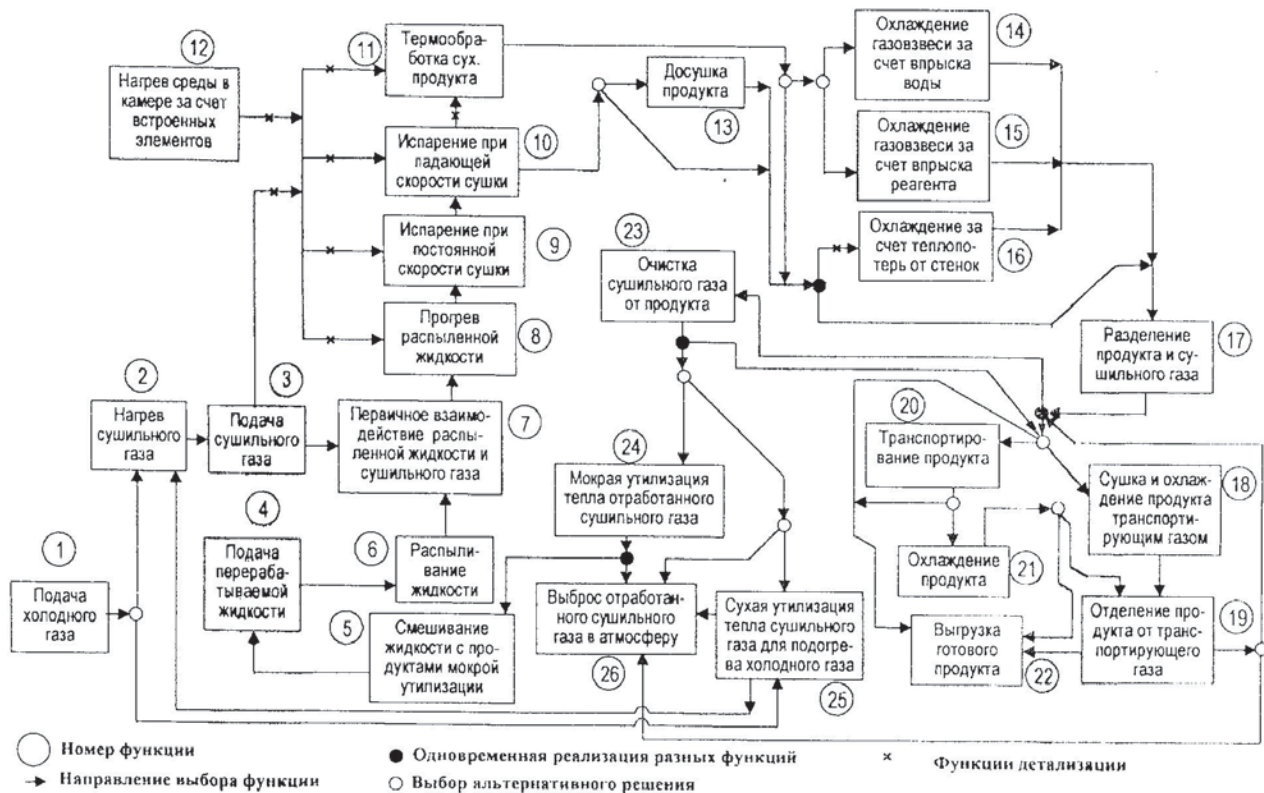


Рис. 1. Структурная схема функциональных признаков класса установок распылительной сушки и прокатки

ленной жидкости и сушильного газа (7), которое происходит при распыливании жидкости (6). Процесс сушки имеет стадии: прогрев распыленной жидкости (8), испарение влаги при постоянной (9) и при падающей (10) скорости сушки, а также в качестве варианта последующую высокотемпературную обработку полученного сухого дисперсного продукта при нагреве среды (1). Стадии могут осуществляться не только за счет первичного потока сушильного газа, но и за счет дополнительного потока из калорифера или при одновременном действии встроенных в камеру нагревательных элементов (12). Сухой продукт с повышенной влажностью может подвергаться подсушке (13), после чего он в кондиционном состоянии, также как полученный непосредственно в камере прокаленный продукт, охлаждается (16). После высокотемпературной обработки (11) продукт может быть охлажден за счет впрыска воды (14) или специального реагента (15) непосредственно в поток газовой взвеси. После этого происходит разделение продукта и сушильного газа (17) с последующей очисткой газа (23). Далее возможны альтернативные решения по использованию вторичного тепла: через мокрую утилизацию (24) или сухую утилизацию рекуперацией для подогрева холодного газа (25), подаваемого на сушку. Очищенные отработанные газы выбрасываются в атмосферу. После очистки сушильного газа от продукта (23) обязательными являются технологические операции с готовым продуктом. Они могут включать альтернативные решения по сушке и охлаждению продукта посредством транспортирующего газа с последующим его отделением от продукта и выбросом в атмосферу или возвратом газа на доочистку по вариантам: (18, 19, 26) или (18, 19, 23). После очистки сушильного газа (23) возможны варианты транспортирования продукта с его выгрузкой (20, 22) или охлаждением перед выгрузкой (20, 21, 22), а также с дополнительной операцией отделения продукта от транспортирующего или охлаждающего воздуха (20, 21, 19). После операции (19) возможны выброс газа в

атмосферу (26) непосредственно или после предварительной его очистки по перечисленным выше вариантам.

### 5.2. Структурные схемы конструктивных и аппаратурно-функциональных технических решений аппаратов, узлов и систем установки

Конструкция камеры для распылительной сушки и прокалики приведена на рис. 2.

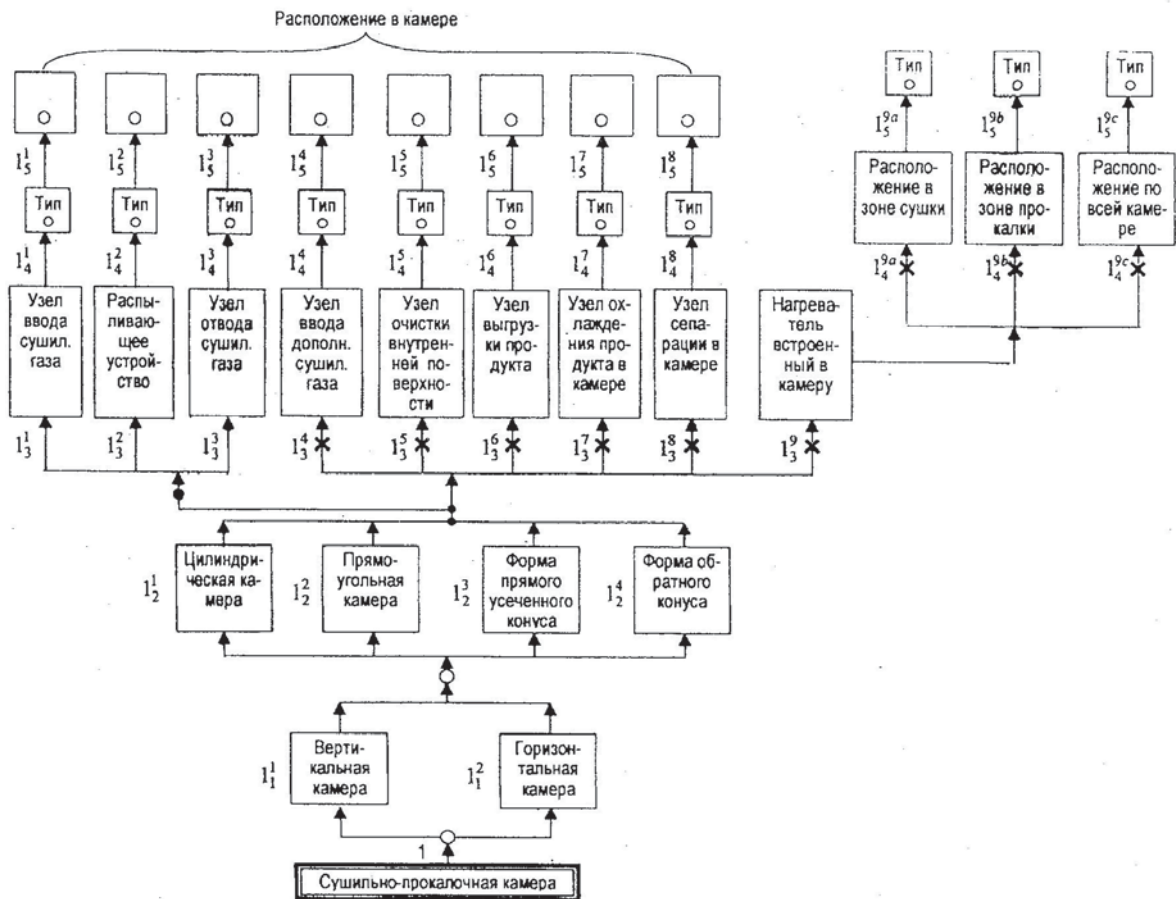


Рис. 2. Структура конструкций камеры для распылительной сушки и прокалики

Сушильно-прокалочная камера (1) может быть выполнена (альтернативные элементы — «О») вертикальной ( $1^1$ ) или горизонтальной ( $1^2$ ); форма камеры может быть цилиндрическая ( $1_2^1$ ), прямоугольная ( $1_2^2$ ), в виде прямого усеченного ( $1_2^3$ ) или обратного ( $1_2^4$ ) конуса. Обязательными элементами (●) в конструкции камеры являются: узел ввода теплоносителя ( $1_3^1$ ), распыливающее устройство ( $1_3^2$ ), узел отвода сушильного газа ( $1_3^3$ ). Камера может содержать элементы детализации (⊗): узлы ввода вторичного теплоносителя ( $1_3^4$ ), очистки внутренней поверхности ( $1_3^5$ ), выгрузки ( $1_3^6$ ), охлаждения ( $1_3^7$ ), сепарации ( $1_3^8$ ), а также встроенный нагреватель, который может быть (⊗) расположен в зоне сушки ( $1_4^{9a}$ ), в зоне прокалики ( $1_4^{9b}$ ), или по всей камере ( $1_4^{9c}$ ). Обязательные, альтернативные и детализирующие элементы конструкции камеры на пятом уровне иерархии графа имеют альтернативные признаки детализации по типу исполнения. Число вариантов типов будет зависеть от обеспеченности известных конструкторских решений методиками расчета, что может быть установлено на стадии системного анализа (раздел 3 статьи).

Система подачи и распыливания жидкости в камере дана на рис. 3.



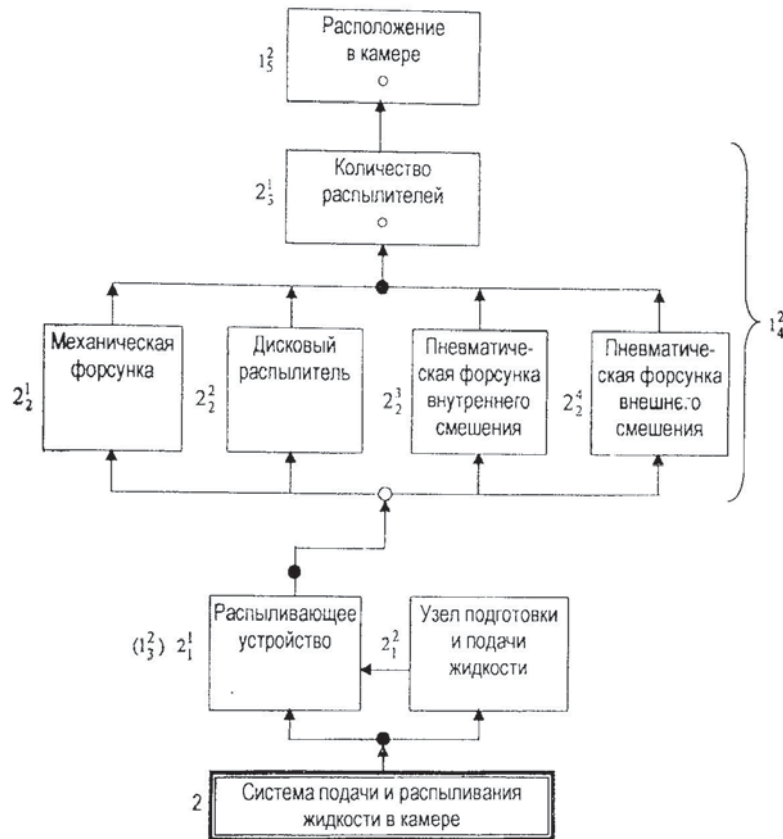


Рис.3. Структура системы подачи и распыливания жидкости в камере

Для сопряжения признаков необходимо рассмотреть также схему камеры (рис. 2).

Система состоит из двух обязательных элементов (●); узла подготовки и подачи жидкости ( $2^2_1$ ) и распыливающего устройства ( $2^1_1$ ), которое в камере имеет обозначение ( $1^2_3$ ). Устройство может быть выполнено в одном из четырех альтернативных (○) вариантов: в виде механической форсунки ( $2^1_2$ ), дискового распылителя ( $2^2_2$ ), пневматической форсунки внутреннего ( $2^3_2$ ), или внешнего ( $2^4_2$ ) смешения. Количество распылителей ( $2^1_3$ ), тип ( $1^2_4$ ) и расположение в камере ( $1^2_5$ ) являются альтернативными признаками.

Система подготовки и подачи сушильного газа приведена на рис. 4.

Корневой элемент — узел подачи холодного газа ( $3^1_1$ ), который нагревается (обязательный признак ●) в паровом ( $3^1_2$ ) или газовом ( $3^2_2$ ) калорифере (альтернативные варианты ○). С целью утилизации тепла отработанного сушильного газа, поступающего из камеры после очистки ( $4^1_5$ ) холодный газ может быть подан (○) в узел предварительного подогрева ( $3^2_1$ ), из которого сушильный газ через вытяжную трубу ( $4^3_6$ ) выбрасывается в атмосферу.

Система сепарации продукта и очистки газовых потоков приведена на рис. 5.

Через узлы отвода  $\left[ \left( 1^3_3, 1^3_4, 1^3_5 \right) \left( 1^8_3, 1^8_4, 1^8_5 \right) \right]$  отработанный сушильный газ подается из камеры на первую ступень газоочистки: в циклон ( $4^1_1$ ), в группу циклонов ( $4^2_1$ ) или в фильтр-камеру ( $4^3_1$ ). Типы этих устройств могут иметь альтернативные решения ( $4^1_2, 4^2_2, 4^3_2$ ). Затем сушильный воздух поступает (●) на дальнейшую газоочистку (вторая ступень) в дополнительную фильтр-камеру ( $4^4_1$ ) или в циклонный очиститель ( $4^4_1$ ). Полученный дополнительно продукт через узел выгрузки ( $4^2_5$ ) и продукт из первой ступени подаются ( $4^2_3$ ) в систему

охлаждения и транспортирования. Очищенный сушильный воздух после второй ступени, также как в случае передачи непосредственно после первой ступени ( $4_3^1$ ), направляется на дальнейшую обработку. Здесь возможно несколько альтернативных (O) решений: подача с целью утилизации низкотемпературного тепла в узел упаривания исходной жидкости ( $4_6^1$ ), аппарат мокрой газоочистки ( $4_6^2$ ) или узел предварительного подогрева холодного газа ( $3_1^2$ ). Далее воздух выбрасывается через вытяжную трубу ( $4_6^3$ ), а исходная жидкость после дополнительного концентрирования ( $4_6^1, 4_6^2$ ) поступает в узел подготовки и подачи жидкости ( $2_1^2$ ). Все узлы могут иметь альтернативные исполнения.

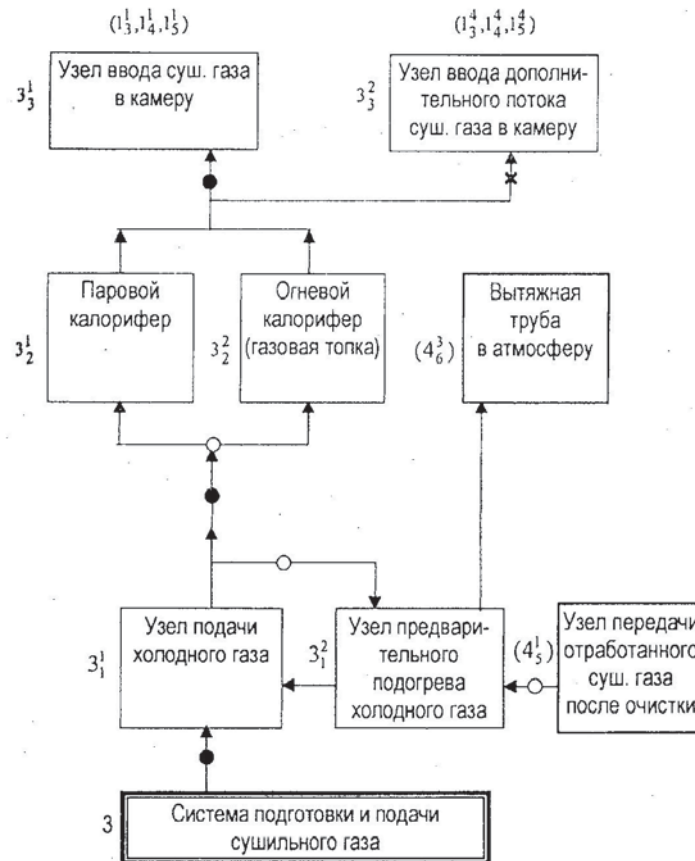


Рис.4. Структура системы подготовки и подачи сушильного агента

Система охлаждения и транспортирования продукта приведена на рис. 6.

Через узел выгрузки ( $1_3^6, 1_4^6, 1_5^6$ ) продукт из сушильной камеры поступает в охладитель-транспортер ( $5_1^1$ ), непосредственно в транспортер ( $5_1^2$ ) или в охладитель ( $5_1^3$ ), из которого поступает в транспортер ( $5_2^2$ ). Охлажденный продукт поступает в узел выгрузки ( $5_5^2$ ), а транспортирующий охлаждающий воздух направляется для газоочистки в циклон ( $5_3^1$ ), группу циклонов ( $5_3^2$ ) или фильтр-камеру ( $5_3^3$ ). Предварительно воздух может быть очищен за счет сепарационного эффекта сушильно-прокалочной камеры (рис.2). Каждый аппарат системы может быть выполнен в альтернативных вариантах. Полученный дополнительный продукт добавляется к основному продукту в узле выгрузки ( $5_5^2$ ). Очищенный газ может быть направлен в систему сепарации и очистки газовых потоков на первую или вторую ступень очистки.

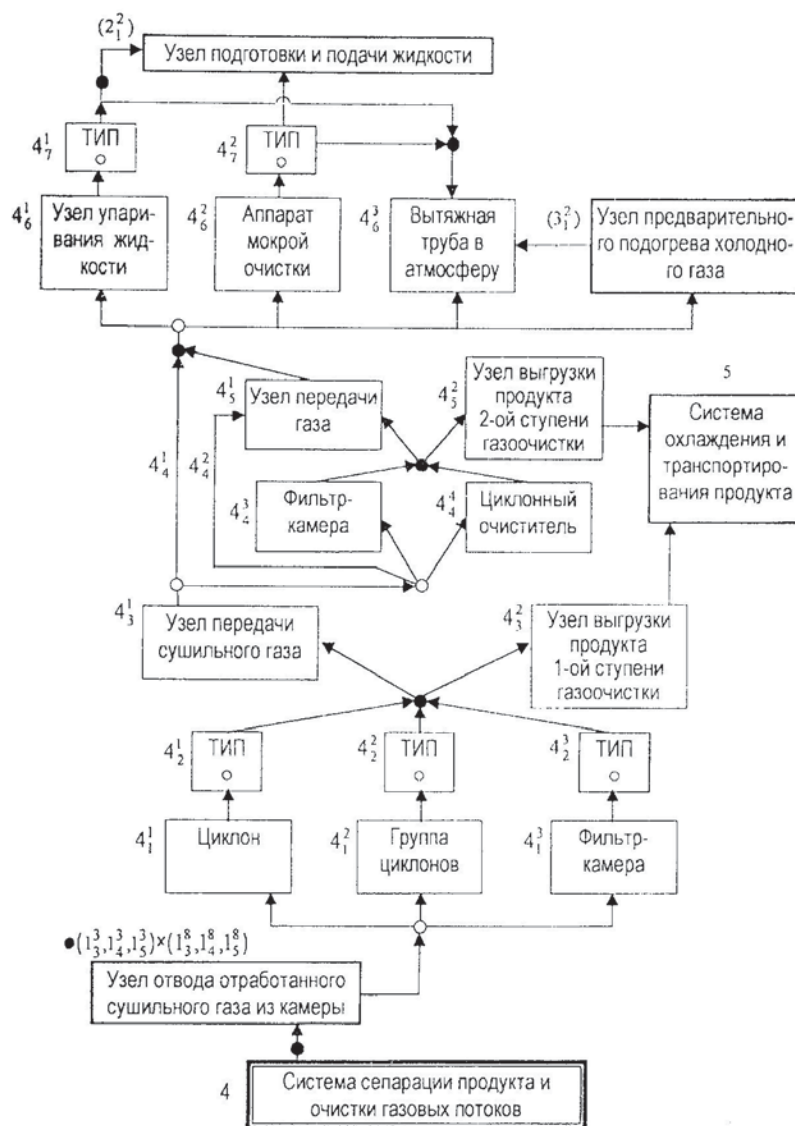


Рис.5. Структура системы сепарации продукта и очистки газовых потоков

## 6. Соответствие графических структур системы СОТР принятым представлениям теории графов

Предложенные структуры можно считать полными связными ориентированными конечными графами [19-21]. Рассматривать эти графы как деревья можно с некоторыми допущениями, поскольку формулировки в специальной литературе содержат противоречия. Так, Харари [19] говорит, что «дерево — это связный ациклический граф» и подчеркивает, что существует «большой разнобой в терминологии и обозначениях в современной литературе» в области графов. Также формулирует понятие «дерева» и Оре [20]. В то же время Басакар и Саати [21] строго определяют что «граф является деревом тогда и только тогда, когда каждая пара различных вершин соединена только одной и только одной цепью». Из этого следует, что предложенные в настоящей работе графы, в которые есть альтернативные признаки, т.е. альтернативные цепи, нельзя считать деревьями. В соответствии с формулировкой В.В. Кафарова [17] их можно назвать «мультиграфами». Однако если учитывать, что эти графы получены совмещением деревьев, имеющих оди-

наковые корневые и висячие вершины (элементы и признаки), то для их наименования можно ввести термин «комплексное дерево». Совмещая деревья подобным образом, А.М. Дворянкин и А.И. Половинкин [2] и для образованного множества ТР сохраняют наименование «дерево». При этом они также используют альтернативные («или») элементы и признаки на различных уровнях графа.

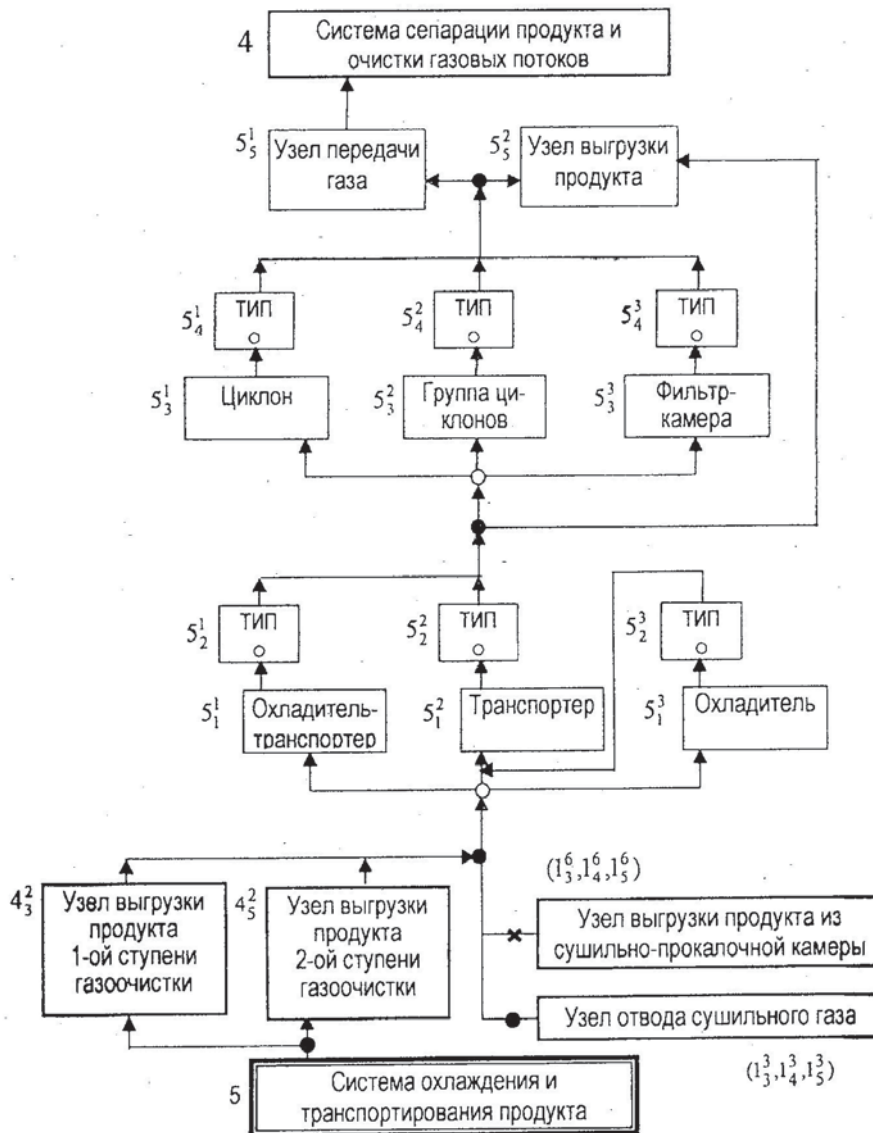


Рис.6. Структура системы охлаждения и транспортирования продукта

В теории графов [17, 18, 19] применяется понятие «лес», из которого следует, что лес — это «компоненты» или «деревья», имеющие один корень. Такое определение можно считать семантическим парадоксом, поскольку каждое дерево по логике должно иметь свой корень. Возможно, объяснение этому кроется в неточности перевода или в том, что в теории графов не рассматривалась совместно подчиненная одной цели совокупность деревьев, имеющих свои собственные корни. В то же время такую совокупность автономных деревьев, объединенных в своеобразном «симбиозе» с помощью функциональной схемы сложной технологической установки, можно с большим основанием называть

«лесом». При дальнейшем изложении материала статьи, учитывая вышесказанное, и в то же время, не отступая от традиционной терминологии наряду с терминами «структурные схемы» и «графы», в зависимости от контекста, применяются термины «дерево», а при нескольких графах в описании установки — термин «группа деревьев».

## 7. Структурные формулы древовидных образований

Древовидные графические структуры предложено описывать также в виде структурных формул, составленных из обозначений определяющих (●), альтернативных (○) и детализирующих (x) признаков разных уровней. Действие этих знаков распространяется на выражение в скобках одной конфигурации, перед которым знак расположен.

Класс установок распылительной сушки и прокалки, обобщенно представленный приведенной выше группой деревьев, может быть описан в форме компактных структурных формул.

Функциональное дерево (ФД)

$$(1) \bullet (2) \circ (25, 2) \bullet (3, 7, 8, 9, 10) \circ (12) [x(8), (9), (10), (11)] [\circ(14, 17), (15, 17), (16, 17), (17), (13, 17)] \bullet (17, 23) [\circ(24, 5, 4, 26), (26), (25, 26, 2), (20, 22), (20, 21, 22), (20, 21, 19, 22, 26), (18, 19, 22, 26), (18, 19, 23), (18, 19, 20), (18, 19)]. \quad (1)$$

Камера для распылительной сушки и прокалки

$$(1) \circ [(1_1^1) (1_1^2)] \circ [(1_2^1) (1_2^2) (1_2^3) (1_2^4)] \bullet [(1_3^1, 1_4^1, 1_5^1) (1_3^2, 1_4^2, 1_5^2) (1_3^3, 1_4^3, 1_5^3)] x \\ [(1_3^4, 1_4^4, 1_5^4) (1_3^5, 1_4^5, 1_5^5) (1_3^6, 1_4^6, 1_5^6) (1_3^7, 1_4^7, 1_5^7) (1_3^8, 1_4^8, 1_5^8)] x (1_3^9) x \\ \{[(1_4^{9a}) (1_5^{9a})], [(1_4^{9b}) (1_5^{9b})], [(1_4^{9c}) (1_5^{9c})]\}. \quad (2)$$

Система подача и распыливания жидкости в камере

$$(2) \bullet (2_1^1, 2_1^2) \circ [(2_2^1) (2_2^2) (2_2^3) (2_2^4)] \bullet (2_3^1, 2_4^1). \quad (3)$$

Система подготовки и подачи сушильного газа

$$(3) \bullet (3_1^1) \bullet [\circ(3_2^1) (3_2^2)] \bullet (3_3^1) \circ (3_3^2) \circ (3_1^2, 4_5^1) \bullet (4_6^3). \quad (4)$$

Система сепарации продукта и очистки газовых потоков

$$(4) \bullet [(1_3^1, 1_4^1, 1_5^1) x (1_3^8, 1_4^8, 1_5^8)] \circ [(4_1^1, 4_2^1) (4_1^2, 4_2^2) (4_1^3, 4_2^3)] \bullet (4_3^1, 4_3^2) \\ \circ [(4_4^1) (4_4^2) (4_4^3) (4_4^4)] \bullet (4_5^1, 4_5^2) \circ [(4_6^1, 4_7^1, 2_1^2) (4_6^2, 4_7^2, 2_1^2) (3_2^2)] \bullet (4_6^3). \quad (5)$$

Система охлаждения и транспортирования продукта

$$(5) \circ [(1_3^1, 1_4^1, 1_5^1), (1_3^6, 1_4^6, 1_5^6)] \circ [(5_1^1, 5_2^1) (5_1^2, 5_2^2) (5_1^3, 5_2^3)] \\ \circ [(5_3^1, 5_4^1) (5_3^2, 5_4^2) (5_3^3, 5_4^3)] \bullet (5_5^1) \bullet (5_5^2) \bullet (4). \quad (6)$$

Структурные формулы в отличие от матричного описания отражают функциональный состав и иерархию признаков. Они полностью соответствуют структурным образо-

ваниям, отражая аппаратурно-технологическое и конструктивное содержание сложных графических схем. Разработанные автором графические древовидные образования в виде обобщающей функциональной схемы и соответствующих аппаратурных схем или структурных формул описывают практически все известные основные встречающиеся в практике распылительной сушки технические решения. Основа этих разработок может быть применена при создании системы оптимизации для различных типов теплообменного и другого сложного оборудования.

Некоторые положения СОТР докладывались автором на научно-технических конференциях [22—24].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методы поиска новых технических решений / Н.К. Бобков, Г.Я. Буш, Н. С. Гаврилюк. Под ред. А.И. Половинкина. — Йошкар-Ола: Марийское кн. изд-во, 1976. — 192 с.
2. Д в о р я н к и н А. М. Методы синтеза технических решений. — М.: Наука, 1977. — 103 с.
3. К р и к Э. Введение в инженерное дело. Пер. с англ. — М.: Энергия, 1970. — 176 с.
4. Б у ш Г. О. Методы технического творчества. — Рига: Лиезма, 1972. — 94 с.
5. А л ь т ш у л е р Г. С. Алгоритм изобретения. — М.: — Московский рабочий. — 1973. — 296 с.
6. Д ж о н с Дж. Инженерное и художественное конструирование. Современные методы проектирования. Пер. с англ. — М.: Мир, 1976. — 376 с.
7. А л ь т ш у л е р Г. С. Найти идею. Введение в теорию решения изобретательских задач. 2-е издание дополненное. Сиб. отд. АН СССР. Серия «Наука и техн. прогресс». — Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1991. — 225 с.
8. П у ш к и н В. Н. Эвристика — наука о творческом мышлении. — М.: Политиздат, 1967.
9. М и н д л и н Я. З. Логика конструирования. — М.: Машиностроение, 1969. — 123 с.
10. П о л о в и н к и н А. И. Алгоритм поиска глобального экстремума при проектировании инженерных конструкций. // Автоматика и вычислительная техника. — 1970. — 2. — С. 31—37.
11. В о л к о в и ч В. Л., Г о р ч и н с к и й А. П. Построение переговорного множества и принятие сложного решения на заданном множестве вариантов. — Киев: Ин-т кибернетики АН УССР, 1971. Препринт 71-30. — 19 с.
12. Б е ш е л е в С. Д., Г у р о в и ч Ф. Г. Экспертные оценки. — М.: Наука, 1973. — 160 с.
13. Б а т и щ е в Д. И. Поискные методы оптимального проектирования. — М.: — Сов. Радио, 1975. — 216 с.
14. Алгоритмы оптимизации проектных решений. Под ред. А.И. Половинкина. — М.: Энергия, 1976. — 264 с.
15. Методы и алгоритмы автоматизированного проектирования сложных систем управления / В.Л. Волкович, А.Ф. Волошин, Т.М. Горлова и др. — Киев.: Наукова думка, 1984. — 214 с.
16. Опыт построения эффективных алгоритмов машинного проектирования специальных сверлильных приспособлений. Под ред. Г.Н. Горанского. Ин-т кибернетики АН БССР. — Минск: Наука и техника. — 1970. — 116 с.
17. К а ф а р о в В. В., М е ш а л к и н В. П. Анализ и синтез химико-технологических систем. — М.: Химия, 1991. — 442 с.
18. Д о л и н с к и й А. А., Д р а г а н о в Б. Х. Методы оптимизации энергетических систем, основанные на теоретико-графовых построениях. // Труды 1-ой международной научно-практической конференции «СЭТТ-2002». — М.: МГАУ, 2002. — Т.4. — С. 124—129.
19. О р е О. Графы и их применение. Пер. с англ. — М.: Мир, 1965. — 174 с.
20. Х а р а р и Ф. Теория графов. Пер. с англ. — М.: Мир, 1973. — 300 с.
21. Б а с а к е р Р., С а а т и Т. Конечные графы и сети. Пер. с англ. — М.: Наука, Гл. ред. физико-матем. литературы, 1974. — 366 с.
22. Г а м р е к е л и М. Н. Применение системного структурно-морфологического анализа для оптимизации технических решений по экологическим и ресурсосберегающим критериям // Материалы VII Международного экологического симпозиума «Урал атомный. Урал промышленный». — Екатеринбург: Институт промышленной экологии УрО РАН, 1999. — С. 25—27.
23. Г а м р е к е л и М. Н. Внедрение системы синтеза оптимальных технических решений — стратегический путь в решении проблемы защиты биосферы от промышленных выбросов // Материалы Всероссийского научного молодежного симпозиума «Безопасность биосферы-2000» (Екатеринбург, 10—12 окт. 2000 г.). — Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2000. — С. 28—29.
24. Г а м р е к е л и М. И. Системная оптимизация технологических и аппаратурных решений теплообменных установок по показателям термической эффективности. Доклад на 5-ом Минском Международном форуме по теплообмену (24—28 мая 2004 г.). — Минск: Ин-т ТМО, 2004. — 10. — 11 с.