

РАЗНОЕ

66.021.4+519.2

МЕТОД СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНЫХ АППАРАТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Канд. техн. наук, доц. М.Н. ГАМРЕКЕЛИ

Разработаны блок-схема и содержание этапов и процедур алгоритма системы выбора оптимальных технических решений (СОТР) комплексных установок на основе системного анализа рассматриваемого класса оборудования. Сформулированы теорема и следствие к ней, которые позволяют определять мощности множества технических решений комплексных установок и оценивать объем аналитических и расчетных процедур на этапах проектирования. Основные положения СОТР реализованы при разработке и анализе показателей промышленных распылительных установок для получения сухих молочных продуктов и окислов солей.

The block diagram and the stages and procedures contents of algorithm for synthesis system of optimum technical decisions (SOTD) are developed on the basis of the system analysis of the considered equipment class. The theorem and consequence to it which allows to determine capacities of technical decisions set of complex installations and to estimate volume of analytical and settlement procedures at design stages are formulated. Substantive provisions of SOTD are realized by development and the analysis of industrial spray drying installations parameters for produce of dry dairy products and salts oxides.

Выбор оптимального решения комплексной промышленной установки любого назначения возможен на основе применения обобщающих аппаратурно-функциональных схем для аппаратов, узлов и систем определенного класса оборудования, которые вбирают в себя все известные вероятные технические решения (ТР) в виде функциональных и конструктивных признаков. В зависимости от назначения и условия взаимодействия рабочих сред и элементов конструкций возможны различные варианты комбинаций этих признаков.

На примере класса широко распространенных в промышленности распылительных сушильно-прокалочных установок рассмотрен метод синтеза оптимальных технических решений (ОТР).

Под оптимальным техническим решением здесь и далее по тексту понимается установка с такими аппаратурно-технологической схемой, составом применяемых аппаратов, узлов и систем, а также их функциональными и конструктивными признаками, совокупность которых обеспечивает достижение заданных параметров работы и технико-экономических, ресурсосберегающих и экологических показателей.

Для реализации метода разработана система выбора оптимальных технических решений (СОТР). Она предусматривает применение блок-схемы алгоритма выбора, информационного обеспечения, разработку содержания этапов, процедур и порядка выбора ТР, требований при составлении технического задания на проектирование. Возникла также необходимость в разработке аналитических приемов для оценки числа исследуемых вариантов ТР сложных (комплексных) технологических установок и объема вычислительных операций при оптимизации.

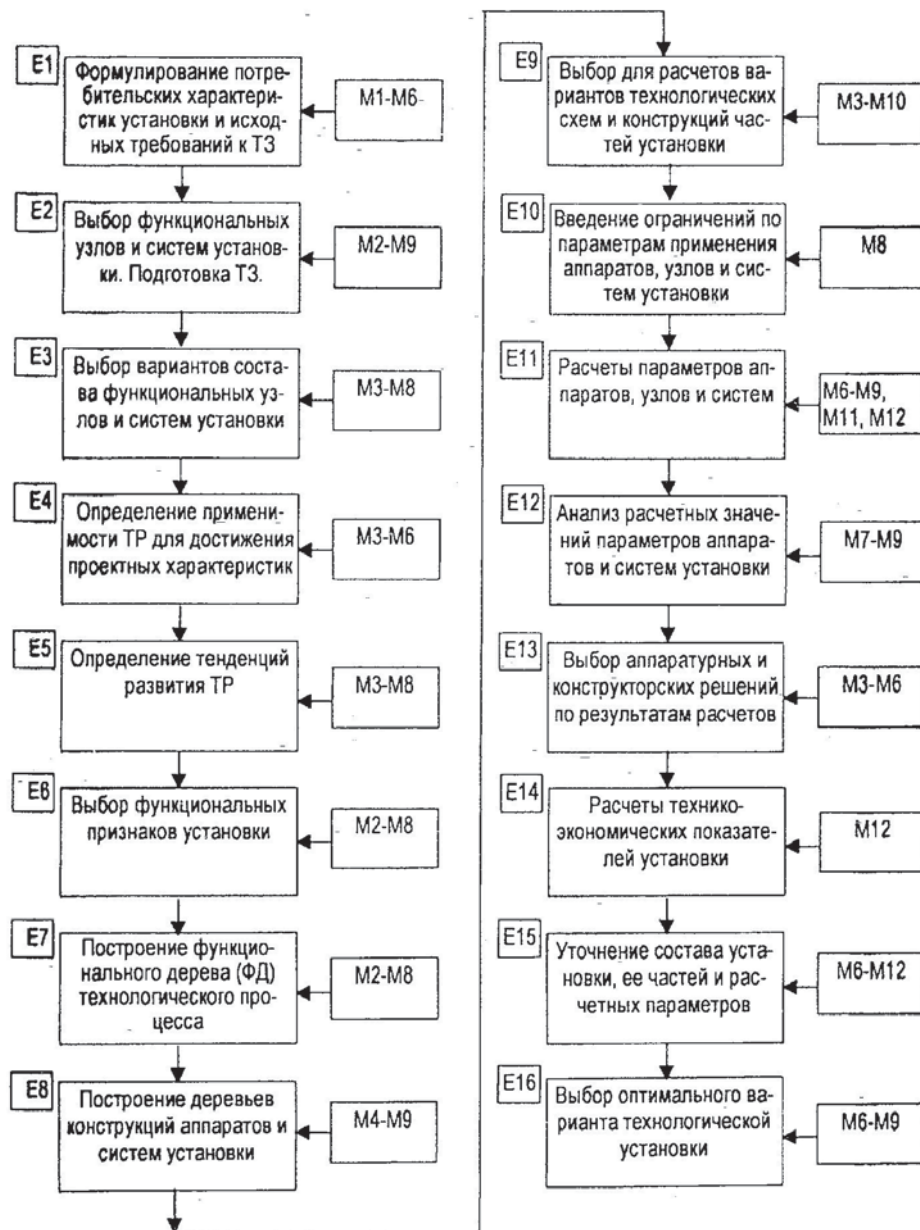


Рис. 1. Блок-схема алгоритма системы синтеза оптимальных аппаратурно-функциональных комплексных установок

Некоторые положения системы выбора оптимальных технических решений сложных технологических установок рассматривались ранее в выступлениях автора на научных конференциях [1—3].

1. Блок-схема и содержание этапов и процедур алгоритма СОТР

1.1. Алгоритм выбора оптимального ТР

Алгоритм состоит из этапов и процедур, используемых в определенном порядке. Формула алгоритма

$$A = E_1(P_1^1, P_1^2, \dots, P_1^i), E_2(P_2^1, P_2^2, \dots, P_2^i), \dots, E_j(P_j^1, P_j^2, \dots, P_j^i), \quad (1)$$

где E_1, E_2, E_j — этапы решения задачи; P_j^i — процедуры реализации этапа; j — порядковый номер этапа; i — порядковый номер процедуры.

1.2. Информационное обеспечение СОТР

Массивы информации содержат списки критериев выбора, функциональные требования и параметры, фонды аппаратурно-технологических и конструктивных решений. В них входят решения, требующие дополнительной экспериментальной проверки, методики расчета технологических характеристик и конструктивных параметров, методики анализа технико-экономических показателей. Кроме того, массивы содержат списки критериев оценки технических решений, поисковых процедур и ограничений по параметрам применения узлов аппаратов и систем.

В структуре алгоритма используются следующие массивы информации:

М1 — список критериев выбора и потребительских характеристик установок и входящих в их состав аппаратов и систем;

М2 — список функциональных требований и параметров основного и вспомогательных аппаратов и систем;

М3 — фонд аппаратурно-технологических решений, применяемых для достижения потребительских характеристик установки;

М4 — фонд классических технических решений по конструкциям основного аппарата и составных частей установок;

М5 — фонд конструкторских и аппаратурных технических решений из патентной литературы с выделением группы ТР, требующих дополнительной проверки;

М6 — список ограничений и противоречий при использовании технических решений из массивов М2—М5;

М7 — критерии оценки технических решений;

М8 — список ограничений по параметрам применения узлов, аппаратов и систем;

М9 — список поисковых процедур;

М10 — методики расчета технологических характеристик;

М11 — методики расчета конструкторских и технологических параметров оборудования;

М12 — методики анализа технико-экономических показателей установки и ее составных частей.

Перечень некоторых массивов информации универсален, поскольку может быть применен для многих классов технологического оборудования. В то же время содержание других массивов приобретет частный характер в зависимости от особенностей того класса оборудования, для которого будет адаптирована СОТР.

1.3. Содержание этапов и процедур

Этапы синтеза оптимальных ОТР включают определение технических и потребительских характеристик установки, ее функций и условий работы, состава функциональных узлов, установление соответствия известным техническим решениям, определение структуры наиболее часто встречающихся сочетаний составных частей. На последующих этапах происходит уточнение характеристик состава установки по результатам предыдущих этапов, подбор методик расчета технологических и конструктивных параметров аппаратов и систем, выбор технико-экономических характеристик для оценки ТР на всех расчетных этапах, включая этап выбора оптимального варианта аппаратурно-технологической схемы установки и конструктивных решений оборудования. Предусмотрено там, где это возможно, воспроизводить графическое изображение получаемых результатов. Процедуры отражают последовательность поэтапных действий. В перечне процедур указываются массивы используемой информации.

На рис. 1 приведена блок-схема алгоритма СОТР, на которой отражено содержание этапов, состоящих из последовательно выполняемых процедур. Для каждой процедуры рекомендовано использовать соответствующие массивы информации.

Ниже приведены перечень и содержание поэтапных действий и применяемых массивов информации.

Этап Е1. Формулирование потребительских характеристик установки и исходных требований к техническому заданию (ТЗ).

P_1^1 — определяют технические и потребительские характеристики технологической установки (М1—М6);

P_1^2 — устанавливают и ранжируют критерии выбора характеристик установки (М1);

P_1^3 — выявляют устранимые и неустранимые недостатки установки (М1, М2, М6);

P_1^4 — составляют перечень потребительских характеристик и формулируют исходные требования (М3—М8).

Этап Е2. Выбор функциональных узлов и систем установки, подготовка технического задания.

P_2^1 — определяют функции узлов и систем установки (М2—М5);

P_2^2 — задают аппаратные решения и конструктивные параметры установки (М2—М9);

P_2^3 — задают значения проектных параметров и показателей установки;

P_2^4 — определяют условия, при которых можно реализовать функциональное назначение, проектные параметры и показатели установки (М6—М8);

P_2^5 — проектные характеристики располагают в порядке значимости;

P_2^6 — выбирают варианты основных функций оборудования установки (М2—М9).

Этап Е3. Выбор вариантов состава функциональных узлов и систем установки (М3—М8).

P_3^1 — перечисляет возможные функциональные признаки установки;

P_3^2 — составляют множество вариантов взаимодействия функциональных признаков.

Этап Е4. Определение применимости технических решений для достижения проектных характеристик (М—М6).

P_4^1 — исследуют и классифицируют ТР из монографий и периодической литературы;

P_4^2 — выявляют ТР из фондов патентной информации;

P_4^3 — проводят предварительный отбор ТР, которые можно использовать в качестве структурных признаков установки;

P_4^4 — расщепляют ТР на определяющие, альтернативные и детализирующие признаки.

Этап Е5. Определение тенденций развития технических решений (М3—М8)

P_5^1 — выясняют повторяемость ТР в технике;

P_5^2 — определяют наиболее часто встречающиеся сочетания составных частей;

P_5^3 — определяют перечень достоверных ТР, в наибольшей степени соответствующих потребительским характеристикам, функциональному назначению установки и ее частей.

Этап Е6. Выбор функциональных признаков установки.

P_6^1 — уточняют потребительские характеристики установки

(М2, М6—М8);

P_6^2 — устанавливают определяющие функциональные признаки частей установки (М2—М8);

P_6^3 — задают определяющие (обязательные), альтернативные и детализирующие признаки функциональных частей.

При выполнении операций этапа Е6 последовательно используют результаты предыдущих операций.

Этап Е7. Построение функционального дерева (ФД) технологического процесса (М2—М8).

Этап Е8. Построение деревьев конструкций аппаратов и систем установки (М4—М9).

Этап Е9. Выбор для расчетов вариантов технологических схем и конструкций частей установки. Используют массивы М3—М10 по результатам этапа Е4.

P_9^1 — классифицируют функциональные и конструктивные признаки составных частей установки по степени достоверности;

P_9^2 — выбирают варианты функциональных ТР для расчета технологических характеристик;

P_9^3 — устанавливают порядок и условия поверочных расчетов конструктивных ТР;

P_9^4 — производят усечение функционального дерева и структурных схем систем установки.

Этап Е10. Введение ограничений по параметрам применения аппаратов, узлов и систем установки. Используют массив М8.

P_{11}^1 — выбирают методики расчета технологических и конструктивных параметров аппаратов и систем для различных вариантов установки (М6—М9, М11);

P_{11}^2 — для каждого уровня структур аппаратов, узлов и систем установки рассчитывают технологические и конструктивные параметры и технико-экономические показатели (М10—М12);

P_{11}^3 — сравнивают одноименные технические параметры и показатели расчетных вариантов технологической установки;

P_{11}^4 — сравнивают показатели ресурсосбережения и экономические показатели вариантов установки;

P_{11}^5 — производят усечение структурных схем аппаратов и систем.

Этап Е11. Расчеты параметров аппаратов, узлов и систем.

Этап Е12. Анализ расчетных значений параметров аппаратов и систем установки (сопоставляют расчетные и заданные характеристики установки) (М7, М10—М12).

Этап Е13. Выбор аппаратурных и конструкторских решений по результатам расчетов (М3—М5).

P_{13}^1 — выбирают рациональный вариант аппаратурно-технологической схемы установки;

P_{13}^2 — воспроизводят графическое изображение аппаратурно-технологической схемы и ее составных частей;

P_{13}^3 — перечисляют расчетные значения характеристик установки, соответствующие проектным параметрам.

Этап Е14. Расчеты технико-экономических показателей установки.

Рассчитывают показатели ресурсосбережения и другие технико-экономические показатели аппаратов, систем и установки в целом (М12).

Этап Е15. Уточнение состава установки, ее частей и расчетных параметров. По результатам этапов Е13, Е14 перерасчет параметров составных частей установки для достижения значений характеристик, близких к проектным значениям в пределах допустимых отклонений (М6—М12).

Этап Е16. Выбор оптимального варианта технологической установки (М6—М9).

P_{16}^1 — по результатам этапов E13—E15 определяют оптимальный аппаратный состав установки, который соответствует техническому заданию;

P_{16}^2 — выполняют графическое построение аппаратурно-технологической схемы установки и схем систем, эскизы конструкций аппаратов;

P_{16}^3 — строят оптимальные варианты функционального дерева и деревьев систем и аппаратов.

1.4. Последовательность выбора оптимального ТР

В соответствии с техническими требованиями, в которые входят свойства исходных и конечных продуктов, конструкционных материалов, параметры физических условий процессов:

Ограничивают каждую структуру вариантами скелетных ветвей, которые обеспечены в достаточной мере методиками технологических расчетов.

Анализируют аппаратурные и конструктивные ТР основного и вспомогательного аппаратов, узлов и систем установки, оставляя те ветви древовидных структур в качестве вариантов расчета ТР, которые обеспечены расчетно-методической базой. Таким образом, число альтернативных комплексов технологических решений значительно сокращается.

Поэтапно выполняют расчеты показателей составных частей установки для каждого уровня деревьев, в том числе сопряженные расчеты по взаимозависимым элементам конструкций, которые позволяют получить параметрические и технико-экономические показатели установки, ее составных частей, на основании которых разработчик ограничивает число альтернативных ТР.

После уточнения критериев выбора и ограничений при необходимости выполняют повторные расчеты, по результатам которых разработчик определяет оптимальное техническое решение (ОТР).

2. Мощность множества технических решений сложных технологических установок

Анализ структурных образований позволяет сформулировать теорему.

Т е о р е м а. Множество вариантов структурного иерархического образования равно произведению чисел альтернативных признаков и сумм сочетаний каждого уровня структуры из числа элементов, в которое входят число группы определяющих признаков и число признаков детализации.

Мощность множества можно рассчитать по формуле

$$N_c = a_1 a_2 a_3 \dots a_i \sum_{e_1=1}^{e_1=d_1} C_{(b_1+d_1)-e_1}^{e_1} \sum_{e_2=1}^{e_2=d_2} C_{(b_2+d_2)-e_2}^{e_2} \dots \sum_{e_i=1}^{e_i=d_i} C_{(b_i+d_i)-e_i}^{e_i}, \quad (2)$$

где C — математическая процедура определения числа сочетаний; a_1, a_2, \dots, a_i — числа альтернативных признаков соответствующих уровней (могут принимать значения чисел натурального ряда, при отсутствии альтернативы $a_i = 1$); b_1, b_2, \dots, b_i — число групп определяющих признаков (на любом уровне b_i может принимать одно из двух значений — «0» или «1»; группа образуется из любого числа определяющих, обязательных для этого уровня признаков); d_1, d_2, \dots, d_i — число признаков детализации; e_1, e_2, \dots, e_i — параметр, определяющий число признаков $[(b_i + d_i) - e_i]$, из которых получается соответствующее сочетание; параметр принимает последовательно значения чисел натурального ряда; выполняется условие $[(b_i + d_i) - e_i] = 1$; d_i — принимают значения «0» и чисел натурального ряда.

Из теоремы вытекает следствие:

С л е д с т в и е. Множество вариантов функциональных систем одного класса равно произведению множеств иерархических древовидных структур его составных частей.

Применительно к классам технологического оборудования следствие приобретает конкретную форму:

«Множество вариантов технических решений комплексной технологической установки ($N_{\text{ТУ}}$) равно произведению множеств иерархических древовидных структур ($N_{\text{С1}}, N_{\text{С2}}, \dots, N_{\text{Сn}}$), группа которых совместно описывает заданный класс оборудования».

Следствие записывается в виде формулы

$$N_{\text{ТУ}} = N_{\text{С1}} \cdot N_{\text{С2}} \cdot \dots \cdot N_{\text{Сn}}. \quad (3)$$

Следствие позволяет определить мощность множества ТР комплексной (сложной) технологической установки.

Для ограничения множества альтернативные признаки и признаки детализации ранжируют в порядке убывания значимости. Производят усечение структуры, ограничивая число признаков, для чего предварительно определяют факторы выбора и ограничения. Теорема и следствие позволяют оценивать число исследуемых вариантов ТР сложных комплексов и объем вычислительных операций при оптимизации в зависимости от степени усечения иерархических структур.

3. Составление технического задания на проектирование технологической установки

На стадии подготовки технического задания для составления программы выбора оптимального ТР технологической установки при использовании СОТР выполняют следующие действия:

- исследуют структуру функциональных признаков технологических решений установки, определяя вероятные функциональные схемы, соответствующие исходным требованиям заказчика;
- определяют скелетные ветви деревьев аппаратов установки, состоящих из функциональных и конструктивных признаков, при которых могут быть реализованы функциональные схемы;
- проводят усечение скелетных ветвей, ограничивая рост дерева условием достижения заданных проектных показателей;
- технические параметры показателей и ограничения разбивают на опции по реализуемым функциям составных частей скелетных ветвей;
- анализируют содержание информационных массивов, определяют перечень расчетных методик, показателей и ограничений, а также граничные условия;
- устанавливают порядок выполнения расчетов и диалоговых пауз;
- определяют условия повторных расчетов;
- задают формы представления промежуточной информации и итоговых результатов при выборе ОТР;
- определяют форму представления ТЗ;
- на основе общей блок-схемы, представленной на рис. 1, разрабатывают модифицированную блок-схему частного алгоритма, соответствующую заданным исходным требованиям.

4. Требования к программе реализации алгоритма выбора оптимального ТР

Автоматизированная система выбора ОТР, помимо разработки комплекса программ расчета на ЭВМ частных технических решений, предусматривает создание ведущей программы анализа на ЭВМ с участием оператора в диалоговом режиме. Ведущая программа определяет порядок последовательного прохождения аналитических этапов и процедур. Во время диалоговых пауз, задаваемых разработчиком на определенных ступенях, происходит анализ расчетных результатов, вводятся и корректируются пределы ограничений и значений критериев выбора. Таким образом, сочетаются две формы анализа информации: формализованный автоматизированный выбор по однозначно заданным критериям и выбор, определяемый разработчиком на основе интуиции и экспертных оценок.

Комплексные технические решения для технологических установок целесообразно представлять в следующей форме:

- описание физических процессов в технологической последовательности с перечнем значений параметров и граничных условий;
- в виде алгоритма — задается последовательность применения расчетных процедур, методик расчета и фондов информации;
- в текстовой форме — в виде указаний об иерархии уровней и взаимном расположении первичных признаков;
- в виде структурных формул с применением перечня соответствующих конструктивных и аппаратурно-функциональных признаков;
- в виде матричного описания структур (при необходимости автоматизации выбора оптимального алгоритма поиска);
- в графической форме — в виде схем, рисунков, графических структур, чертежей аппаратов, узлов и систем.

В программу разработчик вводит ограничения по показателям и параметрам проектируемой технологической установки и ее составных частей в виде:

- допустимых значений параметров и показателей $F_i(W_i)$

$$f_i' \leq F_i(W_i) \leq f_i'', \quad (i = \overline{1, m}); \quad (4)$$

- упорядоченного набора ограничений $G_l(W_i)$, каждое из которых может служить критерием выбора

$$g_l' \leq G_l(W_i) \leq g_l'', \quad (l = \overline{1, n}); \quad (5)$$

- ограничений $R_j(W_i)$ по косвенным показателям, не оказывающих прямого влияния на F_i и G_l

$$r_j' \leq R_j(W_i) \leq r_j'', \quad (j = \overline{1, p}), \quad (6)$$

где W_i — расчетное или анализируемое конструктивное и аппаратурное решение технологической установки и ее составных частей, соответствующее определенной технологической функции; $f_i', f_i'', g_l', g_l'', r_j', r_j''$ — заданные предельные значения параметров, показателей и ограничений; $(i = \overline{1, m}), (l = \overline{1, n}), (j = \overline{1, p})$ — интервалы изменения порядкового номера от единицы до m, n и p .

Для рассмотренного класса распылительных сушильных и сушильно-прокалочных установок к перечню параметров следует отнести производительность, расход сушильного агента, начальную и конечную температуру, дисперсность, к показателям — термический к.п.д., удельные расходы тепла и электроэнергии, удельную потерю продукта, удельный расход сушильного воздуха и др.

5. Критерии выбора ТР

Если задача синтеза новых технических решений, сформулированная в [4–6], состояла в создании ТР на уровне изобретений, то в СОТР к разрабатываемым комплексным технологическим установкам, помимо требований получения продукта заданного качества и необходимой производительности, выдвигаются требования экологического характера, которые напрямую связаны с ресурсосбережением. Оптимальное техническое решение должно также соответствовать экологическим требованиям, которые оцениваются по таким показателям как:

- содержание вредных веществ в газовых выбросах (в сравнении с ПДК);
- удельные затраты исходных материалов на единицу произведенного продукта;
- термический к.п.д. установки, характеризующий эффективность использования тепловых ресурсов и тепловое загрязнение окружающей среды;
- суммарное токсическое и тепловое воздействие одной технологической установки на окружающую среду, характеризуемое количеством выбросов в единицу времени.

Эти показатели являются критериями выбора ОТР.

Предлагаемая некоторыми авторами [7–11] эксергетическая и стоимостная оценка при оптимизации имеет обобщающий характер и приемлема преимущественно при проектных изысканиях. Она не отражает всех перечисленных выше экологических и ресурсосберегающих требований, которые следует учитывать при аппаратурно-технологической и конструкторской оптимизации.

6. Множество ТР установок распылительной сушки и прокалки

Применение СОТР при разработке структурных схем комплексных установок для распылительной сушки и прокалки на основе накопленной автором информации позволила оценить достоинства разработанной системы. Порядок расчетов и выбора ОТР определялся разработчиком. Ведущая программа расчета на ЭВМ не применялась. Использовались частные методики расчета и анализа. Экспертный анализ структурных схем позволил значительно упростить выбор направлений поиска ОТР. При реализации алгоритма с использованием списка ограничений и противоречий, критериев оценки поисковых процедур резко сократилось число вариантов, требующих детальных расчетов и анализов. Так, для установок конвективной распылительной сушки биологических продуктов (сухое молоко, кормовые дрожжи и т.п.) число вариантов для детального анализа сокращается до 5–6. Для установок высокотемпературной распылительной сушки и прокалки (термическая переработка радиоактивных отходов, получение прокаленных технологических продуктов из растворов солей и суспензий и др.) число вариантов выбора сокращается до 2–3-х. Окончательный выбор оптимального варианта аппаратурно-технологической схемы и конструктивных решений узлов аппаратов установки осуществляется путем сопоставимой оценки по вариантам расчетных значений параметров и экологических, ресурсосберегающих показателей.

Анализ функциональной структуры показывает, что общее число вариантов аппаратурных схем сушильно-прокалочных установок, отличающихся хотя бы одним функциональным признаком, составляет 47616. Число вариантов схем установок без термической обработки полученных после сушки дисперсных продуктов — 8192. Значения мощности множеств ТР для основного аппарата и систем установки рассчитаны по формуле (2). При условии, что в сушильно-прокалочной камере типы узлов, из которых она может состоять, и их расположение приняты в одном варианте, множество ТР камеры — 3648. Число возможных вариантов для систем подачи и распыливания жидко-

сти в камере, подготовки теплоносителя, улавливания продуктов, его охлаждения и транспортирования, соответственно 4; 8; 36; 18. Тогда множество вариантов комплексной установки, которые отличаются хотя бы одним конструктивным или аппаратурным признаком, рассчитанное по (3), содержит 75644928 технических решений. При дополнительной детализации и выборе альтернативных решений из нескольких вариантов для типов и месторасположения узлов ввода основного и вторичного потоков теплоносителя, распыливания жидкости, устройств для очистки внутренней поверхности, узлов сепарации, выгрузки и охлаждения продукта, отвода теплоносителя, встроённых нагревателей число возможных решений возрастет на несколько порядков.

Системный анализ позволяет объективно выявлять тупиковые структурные сочетания первичных признаков, а также устанавливать при планировании востребование определенных направлений научных исследований и прикладных разработок.

Эффективность СОТР значительно вырастет при полномасштабном использовании ЭВМ с применением программ, которые связывают этапы и процедуры алгоритма поиска ОТР. Для повышения достоверности выбора технического решения необходимо провести системный анализ огромного числа источников информации, создать массивы информации, программы поиска и расчета ТР, оценить пределы применения существующих расчетных методик, осуществлять текущее пополнение информации. Эта системная работа по силам только большому коллективу специалистов по разделам техники и программистов. Алгоритм СОТР и порядок создания блоков информации и расчетных методик имеют общий характер, они могут быть использованы при создании систем синтеза в разных классах технологического оборудования, при выборе оптимальных технических решений в конкурирующих классах и модернизации действующего оборудования.

СОТР является развивающейся системой, поскольку предусматривает постоянное пополнение современной информацией и расчетными методиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гамрекели 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.
2. Гамрекели М. Н. Внедрение системы синтеза оптимальных технических решений — стратегический путь в решении проблемы защиты биосферы от промышленных выбросах / Материалы Всероссийского научного молодежного симпозиума «Безопасность биосферы-2000» (Екатеринбург, 10—12 окт. 2000г.). — Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2000. — С. 28—29.
3. Гамрекели М. Н. Системная оптимизация технологических и аппаратурных решений тепломассообменных установок по показателям термической эффективности / Доклад на 5-ом Минском Международном форуме по тепломассообмену (24-28 мая 2004г.). — Минск: Ин-т ТМО, 2004. — 10. — 11 с.
4. Альтшулер Г. С. Алгоритм изобретения. — М.: Московский рабочий, 1973. — 296 с.
5. Дворянкин А. М., Половинкин А. И., Соболев А. Н. Методы синтеза технических решений — М.: Наука, 1977. — 103 с.
6. Альтшулер Г. С. Найти идею. Введение в теорию решения изобретательских задач. 2-ое изд. дополненное. АН СССР Сиб. Отд. Серия «Наука и технический прогресс». Новосибирск: Наука. Сиб отд., 1991. — 225 с.
7. Клименко А. П., Канавец Г. Е. Расчет теплообменных аппаратов на электронно-вычислительных машинах. — М.—Л.: Энергия, 1966. — 272с.
8. Niculishin V., Andreev L. Exergy Efficiency of Complex Systems. Proceedings of International Conference of Ocean Technology and Energy. OTEC/DOWA, 99, Jinari, Japan. — 1999. — P. 161—162.
9. E — Saue Y. Revealing the cost efficiency trends of the design concerts of energy — intensive systems — Energy Conversion and Management. — 1999. — 40. — P. 1599—1615.
10. Niculishin V., Wu C. Thermodynamics analysis of intensive systems on exergy topological models. Proceedings of 12-th International Symposium of transport phenomena. ISTP-Istanbul, Turkey. — 2000. — P. 341—349.
11. Casarosa G., Franco A. Thermodynamic optimization of the operative parameters for heat recovery incobined plants. Proc. of ECOS 2000. Twente, Netherlands. — 2000. — P. 565—577.