

**МЕТОДОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
С ИЗМЕНЯЕМЫМ АССОРТИМЕНТОМ  
ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ**

**Е.Н. Малыгин, С.В. Карпушкин**

*Кафедра «Автоматизированное проектирование технологического  
оборудования», ГОУ ВПО «ТГТУ»*

*Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым*

**Ключевые слова и фразы:** задачи автоматизированного проектирования; информационные связи между задачами; методика совместного решения задач; многоассортиментные химические производства; системный анализ; химико-технологические системы.

**Аннотация:** Предложена методология реализации основного этапа разработки проекта многоассортиментного химического производства – технологических расчетов; рассмотрены иерархия задач, решаемых при их выполнении, информационные связи между задачами, итерационный процесс совместного решения задач.

---

Технические системы с изменяемым ассортиментом выпускаемой продукции характерны для многоассортиментных производств, которые широко распространены в химической и смежных отраслях промышленности. Это производства синтетических красителей и полупродуктов, фармацевтических препаратов, кинофотоматериалов, химических реактивов. Ассортимент продукции производств этого класса весьма широк, а объемы выпуска отдельных марок невелики (до 1000 т/год). Номенклатура продукции многоассортиментных химических производств (МХП) и объемы выпуска продуктов постоянно изменяются. Основным структурным элементом МХП являются химико-технологические системы (ХТС) – аппаратно-технологические комплексы, ориентированные на выпуск нескольких продуктов, сходных по способу получения. ХТС МХП функционируют чаще всего в периодическом режиме, однако используют и оборудование непрерывного действия.

Процесс проектирования МХП складывается из трех основных стадий: маркетинговые исследования (технико-экономическое обоснование), разработка проекта, разработка рабочей документации. В ходе маркетинговых исследований определяются ассортимент и объемы выпуска продуктов, обосновывается способ их производства. Проект производства включает технологические расчеты, общетеоретическую часть и технико-экономические расчеты. Рабочая документация – это документы, согласно которым ведется монтаж ХТС производства (включая строительство производственных зданий).

Наиболее важной и ответственной частью разработки проекта и процесса проектирования МХП в целом являются технологические расчеты, в ходе которых определяются число и структура ХТС, парк технологического оборудования

и его компоновка, календарный план работы производства, нормы расхода сырья и энергоресурсов, способы утилизации отходов. От качества принятых здесь проектных решений во многом зависит эффективность функционирования проектируемого производства.

Процесс выполнения технологических расчетов при разработке проекта МХП является итерационным: значения исходных данных предыдущих этапов уточняются по результатам выполнения последующих, и расчеты повторяются. Предлагаемый нами подход к автоматизации выполнения технологических расчетов базируется на принципах системного подхода и предусматривает математическое моделирование процессов принятия проектных решений, формулировку всех рассматриваемых задач как задач оптимизации, реализацию алгоритмов их решения с применением современных информационных технологий. Системное представление о содержании, взаимосвязях основных этапов технологических расчетов и задачах, решаемых при выполнении каждого этапа иллюстрирует рис. 1.

Координирующий сигнал  $K_{TR}$  включает основные исходные данные для выполнения расчетов: наименования продуктов и рекомендуемые производительности по каждому из них (месячные, квартальные или годовые объемы выпуска), технологические регламенты синтеза продуктов. Информационный сигнал  $I_{TR}$  содержит все основные результаты выполнения технологических расчетов: число ХТС производства, ассортименты и объемы выпуска их продукции за указанный период, расчеты основного и вспомогательного оборудования каждой ХТС, решения по компоновке оборудования в производственном помещении и трассировке технологических трубопроводов, календарный план работы ХТС производства, график планово-предупредительных ремонтов (ППР) оборудования, расходные нормы и графики потребления сырья и энергоресурсов, графики образования отходов производства и сведения о числе ХТС, осуществляющих утилизацию отходов, их оборудовании и режиме функционирования.

Рассмотрим более подробно содержание основных этапов технологических расчетов, задачи, решаемые в ходе их выполнения, и связи между ними.

**Этап определения числа ХТС и ассортимента их продукции** представлен на рис. 1 в виде двухуровневой иерархии задач: на верхнем уровне решается задача  $TS$  определения числа ХТС, ассортимента и объемов выпуска их продукции, на нижнем – задачи  $SS_s$  определения числа аппаратурных стадий каждой ХТС, структуры материальных потоков при выпуске каждого продукта, типов и исполнений основных и вспомогательных аппаратов каждой стадии. Исходные данные для решения этих задач являются элементами координирующего сигнала  $K_{TS}$ : наименования продуктов, планируемые объемы и период их выпуска, наименования стадий синтеза каждого продукта и рекомендации по типу и исполнению основных аппаратов, пригодных для реализации стадий. Целью решения задачи  $TS$  является обеспечение выпуска всех продуктов в плановых объемах с помощью минимального числа ХТС, причем не исключается возможность выпуска одних и тех же продуктов разными ХТС.

Координирующий сигнал  $K_{SS_s}$  с верхнего уровня к каждой конкретной ХТС №  $s$  включает ассортимент ее продуктов, наименования стадий их синтеза, указания по типам и исполнениям основных и вспомогательных аппаратов стадий, перечень технологических операций каждой стадии и материальные индексы операций (объем или масса веществ, перерабатываемых в ходе операций согласно регламенту). Целью решения задачи  $SS_s$  является обеспечение возможности реализации всех стадий синтеза всех продуктов ХТС №  $s$  с помощью минимального числа аппаратурных стадий.

На верхнем уровне иерархии осуществляется анализ содержания информационных сигналов  $I_{SS_s}$ : число аппаратурных стадий ХТС №  $s$ , число продуктов,

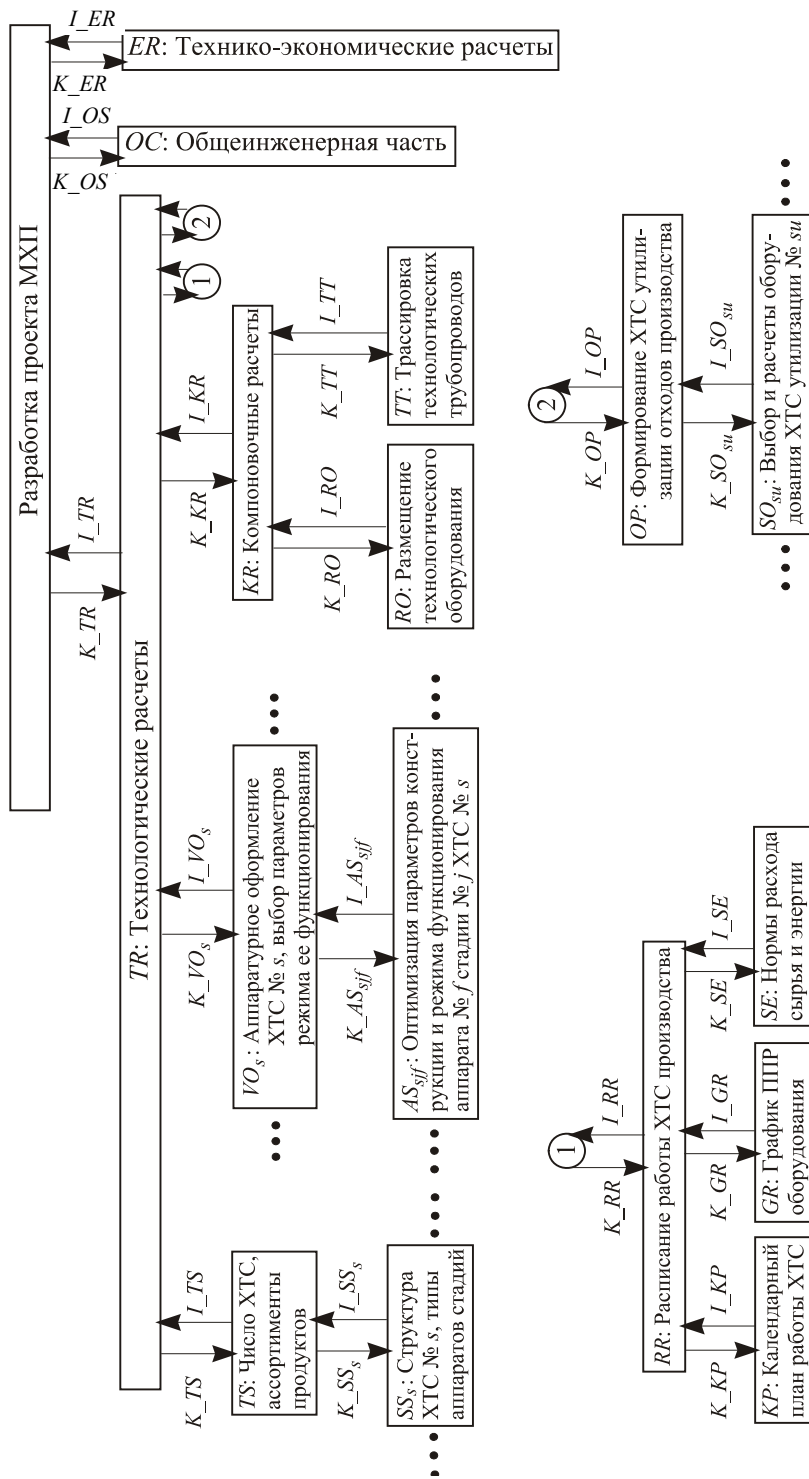


Рис. 1. Основные этапы технологических расчетов и задачи, решаемые при их выполнении

партии которых перерабатываются на каждой аппаратурной стадии, типы основных и вспомогательных аппаратов стадий, соотношение материальных индексов операций синтеза продуктов на стадиях. В результате может быть принято решение о необходимости изменения числа ХТС или ассортимента их продукции и повторного решения задач  $SS_s$ . Информационный сигнал  $I_{TS}$  – это объединение сигналов  $I_{SS_s}$  для всех ХТС производства, формирование которых признано целесообразным.

**Этап расчетов технологического оборудования ХТС производства.**

Двухуровневая иерархия задач этого этапа включает аппаратурное оформление (АО) каждой из ХТС (№  $s$ ) производства, то есть выбор определяющих геометрических размеров и числа основных и вспомогательных аппаратов ее стадий, выбор параметров режима функционирования ХТС и оборудования ее стадий, в том числе способов переработки партий продуктов на стадиях (решение задачи  $VO_s$ ), а также поиск оптимальных параметров конструкции и режима работы каждого основного и вспомогательного аппарата (№  $f$ ) каждой стадии (решение задач  $AS_{sif}$ ).

К числу основных характеристик режима функционирования конкретной ХТС при выпуске каждого продукта относятся размер партии продукта (масса партии, прошедшей все стадии переработки) и длительность цикла выпуска продукта (минимальный промежуток времени между моментами начала или окончания процессов получения двух его партий). Для определения значения длительности цикла необходимо составить пооперационное расписание циклов переработки партий продукта на стадиях ХТС (определить моменты начала и окончания всех операций циклов работы основных аппаратов всех ее стадий) и рассчитать продолжительности циклов переработки партий продукта на стадиях (промежутков времени между моментами начала первой и окончания последней операции).

Координирующий сигнал  $K_{VO_s}$  включает наименования, плановый период и объемы выпуска продуктов ХТС №  $s$ , число ее аппаратурных стадий и маршруты следования партий продуктов по стадиям, типы и исполнения аппаратов стадий (основных и вспомогательных) и данные регламентов выпуска продуктов: материальные индексы и длительности операций синтеза продуктов, реализуемых на стадиях, диапазоны допустимых значений степени заполнения емкостных аппаратов.

Задача  $VO_s$  – это задача выбора значений размеров партий продуктов ХТС №  $s$ , числа и определяющих геометрических размеров основных и вспомогательных аппаратов ее стадий, способов переработки партий продуктов на стадиях (целиком, равными долями параллельно или последовательно, с объединением нескольких партий), а также составления пооперационного расписания циклов переработки партий продуктов аппаратами стадий ХТС, обеспечивающего плановую производительность системы по каждому продукту. В качестве критерия оптимальности ее решения чаще всего используется минимум приведенных затрат за период выпуска продуктов в плановых объемах, например сумма амортизации стоимости оборудования и затрат на основные виды потребляемых энергоресурсов.

Разработанная нами методология АО ХТС МХП предусматривает представление задачи  $VO_s$  в виде двухуровневой иерархии задач: на верхнем уровне решается задача оптимизации параметров режима функционирования ХТС в целом и оборудования ее аппаратурных стадий (задача  $AO_s$ ), а на нижнем уровне – задачи АО аппаратурных стадий ХТС, то есть выбора определяющих геометрических размеров и числа основных и вспомогательных аппаратов (задачи  $AO_{sj}$ ) (рис. 2).



Рис. 2. Задачи определения АО ХТС МХП

Задача  $AO_s$  формулируется как задача нелинейного программирования, а задачи  $AO_{sj}$  – как задачи дискретной оптимизации. Такой подход позволяет избежать затруднения, многократно упоминаемого в научных публикациях по рассматриваемой проблеме, – необходимости решать задачу смешанного дискретно-нелинейного программирования, эффективные методы решения которой до настоящего времени не предложены.

Для решения задачи  $AO_s$  необходимы значения параметров, являющихся результатами решения задач  $AO_{sj}$ : число основных аппаратов стадий ХТС, необходимое для переработки партий каждого продукта, указатели способа переработки партий продуктов на стадиях и коэффициенты изменения их размеров, определяющие размеры основных аппаратов некоторых стадий. Поэтому методика совместного решения задачи  $AO_s$  и задач  $AO_{sj}$  предусматривает прогноз и итерационное уточнение значений этих параметров.

Задачи  $AS_{sif}$  подразделяются на задачи технологического и механического расчета аппарата. Координирующий сигнал  $K_{AS_{sif}}$  включает исходную информацию для решения этих задач для конкретного аппарата №  $f$  стадии №  $j$  ХТС №  $s$  (основного или вспомогательного). Сигнал  $K_{AS_{sif}}$  содержит тип аппарата, определяющий геометрический размер, перечень реализуемых операций (возможно, различных при выпуске разных продуктов), их регламентные длительности и материальные балансы, рекомендации по режиму реализации операций (температура, давление, гидродинамическая обстановка), физико-химические характеристики рабочих сред, виды тепло-хладагентов, а также перечень составных частей аппарата, подлежащих механическому расчету, материалы, из которых они изготовлены, и способы их соединения.

В ходе технологического расчета уточняется определяющий размер аппарата (рабочий объем, рабочая поверхность) и выбирается оптимальный режим реализации операций рабочего цикла при выпуске всех продуктов. Критерием оптимальности решения задачи технологического расчета может быть максимум выхода целевого продукта, минимум затрат на энергоресурсы, минимальная длительность операции, минимальный рабочий размер аппарата при необходимом уровне эффективности. В результате решения этих задач могут быть уточнены регламентные значения материальных индексов и длительностей операций переработки партий продуктов на стадиях, что может потребовать повторного решения задачи  $VO_s$ .

Механический расчет основного или вспомогательного аппарата – это определение геометрических размеров его элементов (толщин стенок, диаметров валов), обеспечивающих выполнение условий их прочности, устойчивости, жесткости и др. при реализации всех операций переработки партий каждого продукта на соответствующей стадии ХТС. Критерий оптимальности решения этой задачи – минимальная материалоемкость составных частей аппарата. Для стандартных аппаратов выполняются поверочные механические расчеты.

Информационный сигнал  $I_{AS_{jff}}$  включает уточненный определяющий размер аппарата №  $f$  стадии №  $j$  и уточненные характеристики режима реализации операций при выпуске каждого продукта: материальные балансы, длительности, температурный режим, давление и кинетические характеристики, а также геометрические размеры составных частей аппаратов, обеспечивающие выполнение условий их прочности, устойчивости и др. (для стандартных аппаратов – сведения о выполнении или невыполнении этих условий при фиксированных размерах составных частей).

Информационный сигнал  $I_{VO_s}$  включает данные о числе и определяющих геометрических размерах основных и вспомогательных аппаратов стадий ХТС №  $s$ , способах переработки партий продуктов аппаратами стадий, пооперационном расписании циклов переработки партий всех продуктов аппаратами всех стадий ХТС, а также рассчитанных на его основе значениях длительностей циклов переработки партий продуктов на стадиях системы, длительностей циклов выпуска продуктов, продолжительностей их выпуска.

**Этап компоновочных расчетов** включает размещение технологического оборудования всех ХТС в производственном помещении (решение задачи  $RO$ ) с определением его габаритов, если предполагается строительство нового здания, и трассировку технологических трубопроводов (решение задачи  $TT$ ) с учетом рекомендаций по способам транспорта веществ между аппаратами. Координирующий сигнал  $K_{KR}$  содержит идентификационные номера и типы, габариты размещаемых аппаратов, координаты установленных аппаратов (входящих в состав действующих ХТС и жестко размещенных предварительно), индексы штуцеров начала и окончания каждого технологического трубопровода, возможные виды транспорта веществ по каждому трубопроводу и сведения о размещаемой на нем трубопроводной арматуре, требования к материалу трубопроводов.

Задача  $RO$  заключается в определении типа (многоэтажное, ангарное), этажности и габаритов производственного здания (если планируется его строительство), координат размещаемых аппаратов. В состав исходных данных для ее решения (координирующий сигнал  $K_{RO}$ ) входят типы, номера и габариты размещаемых аппаратов, сведения об уже установленном оборудовании, связи каждого аппарата при выпуске разных продуктов (номера аппаратов, подающих сырье и полуфабрикаты, и аппаратов, принимающих продукты переработки), указания по видам транспорта веществ между аппаратами. Критерий оптимальности решения задачи  $RO$  – минимальный производственный объем, занимаемый размещаемыми аппаратами.

Информационный сигнал  $I_{RO}$  включает координаты размещенных аппаратов и штуцеров относительно аппаратов, сведения о типе и габаритах производственного здания. Эти данные вместе с координатами начала и окончания каждого трубопровода, возможными видами транспорта веществ и данными о размещаемой на каждом трубопроводе арматуре, требованиями к материалу трубопроводов формируют координирующий сигнал  $K_{TT}$ . Информационный сигнал  $I_{TT}$  содержит результаты решения задачи  $TT$ : пространственное расположение трасс всех технологических трубопроводов производства (координаты начал и окончаний, всех точек изменения направления), диаметры и материалы трубопроводов,

способ транспорта веществ по каждому из них (если не указан заранее), длительности транспортных операций, типы и координаты размещения трубопроводной арматуры на каждой трассе. Критерий оптимальности решения задачи  $TT$  – минимальные совокупные затраты на технологические трубопроводы, трубопроводную арматуру и транспорт веществ по трубопроводам.

Информационный сигнал  $I_{KR}$  представляет собой объединение сигналов  $I_{RO}$  и  $I_{TT}$ . Анализ его содержания может привести к выводу о необходимости уточнения числа аппаратурных стадий некоторых ХТС и структуры их материальных потоков (введение дополнительных стадий для обеспечения условий транспорта веществ), а также может потребовать корректировки результатов АО ХТС и выбора параметров режима его функционирования в связи с уточнением продолжительностей транспортных операций.

**Этап составления расписания работы ХТС производства** включает разработку календарного плана выпуска продукции – числа выпускаемых партий каждого продукта и календарного срока выпуска каждой партии в течение планового периода эксплуатации. Разработку календарного плана необходимо увязывать с графиком технического обслуживания и планово-предупредительных ремонтов оборудования: техобслуживание и ремонты, по возможности, следует совмещать с периодами технологических простоев оборудования. На основе календарного плана выпуска продукции определяются графики потребления и расходные нормы производства по сырью и энергоресурсам (тепло, холод, электричество) на единицу массы готовых продуктов. Здесь также определяется количество, состав и графики образования отходов производства (сточных вод, газовых выбросов в атмосферу).

Координирующий сигнал  $K_{RR}$  содержит: размеры партий, пооперационное расписание циклов их переработки и значения длительностей циклов выпуска для всех продуктов каждой ХТС производства; возможные последовательности выпуска продуктов на каждой ХТС (например, с точки зрения цвета) и нормативные длительности очистки оборудования при переходах с выпуска одних продуктов на другие; плановые сроки, объемы поставок продуктов в течение указанного периода эксплуатации и запасы продуктов в начале периода; пробег каждого аппарата каждой стадии каждой ХТС на начало периода, периодичность и нормативную продолжительность технического обслуживания, текущих и капитальных ремонтов аппаратов; виды сырья, необходимые для выпуска каждого продукта и пооперационные материальные балансы стадий процессов выпуска продуктов; виды и нормы потребления энергоресурсов при реализации каждой операции каждой стадии выпуска каждого продукта.

Составление расписания работы ХТС производства (решение задачи  $RR$ ) представляет собой итерационный процесс последовательного решения задач  $KP$  и  $GR$  – составление календарного плана работы каждой ХТС, определение на его основе пробега каждого аппарата в течение указанного периода и составление графика ППР оборудования стадий системы. На каждой следующей итерации календарный план корректируется с учетом простоев оборудования, связанных с проведением ППР, причем в ходе этой коррекции сроки проведения ППР могут изменяться в допустимых пределах так, чтобы, по возможности, совместить их с технологическими простоями оборудования (с периодами ожидания подачи следующей партии на переработку и периодами переходов с выпуска одного продукта на другой).

Координирующий сигнал  $K_{KP}$  включает плановые сроки, объемы поставок и запасов продуктов, размеры партий продуктов и пооперационное расписание циклов их переработки, возможные последовательности выпуска продуктов и нормативные длительности переходов с выпуска одного на другой, график ППР

оборудования, составленный в результате решения задачи *GR*. Цель решения задачи *KP* – наиболее эффективное использование технологического оборудования производства, то есть минимальные совокупные простои аппаратов стадий ХТС и затраты времени на переходы с выпуска одних продуктов на другие. Информационный сигнал *I\_KP*, кроме собственно календарного плана работы ХТС производства, содержит графики работы аппаратов каждой стадии каждой ХТС на указанный период эксплуатации.

Заметим, что учет графика ППР оборудования ХТС, необходимость организации переходов с выпуска одних продуктов на другие в соответствии с графиком их поставок могут понизить производительность выбранного оборудования системы. Если в результате ХТС не сможет обеспечить плановую производительность по продуктам, то необходимо вернуться к этапу расчетов технологического оборудования ХТС, скорректировав фонды рабочего времени ХТС, ассортимент или объемы выпуска продуктов.

Координирующий сигнал *K\_GR* включает данные о пробеге каждого аппарата каждой стадии каждой ХТС на начало периода эксплуатации, значения нормативной периодичности и продолжительности технического обслуживания и плановых ремонтов аппаратов, графики функционирования аппаратов стадий ХТС в соответствии с календарным планом их работы. Задача *GR* состоит в определении календарных сроков начала и окончания мероприятий по обслуживанию и ремонту каждого конкретного аппарата в течение указанного периода с учетом штата и квалификации ремонтного персонала, возможностей варьирования нормативных сроков и продолжительностей техобслуживания и ремонтов. Информационный сигнал *I\_GR* содержит график ППР оборудования производства, то есть сроки, виды и продолжительности обслуживания и ремонтов всех основных и вспомогательных аппаратов стадий всех ХТС производства в течение указанного периода его эксплуатации.

Координирующий сигнал *K\_SE* включает окончательный вариант календарного плана работы ХТС производства и графики функционирования аппаратов их стадий, полученные в результате решения задач *KP* и *GR*, а также пооперационные материальные балансы стадий процессов выпуска продуктов, информацию о видах сырья, необходимого для выпуска каждого продукта, видах и нормах потребления энергоресурсов при реализации каждой операции каждой стадии выпуска каждого продукта. На основе этих данных решается задача *SE* определения расходных норм каждого вида сырья и энергоресурсов на выпуск единицы массы (обычно 1 т) каждого продукта. В ходе решения этой задачи дополнительно формируются графики потребления сырья и энергоресурсов в течение указанного периода эксплуатации производства, определяется количество, состав и графики образования сточных вод и газовых выбросов в атмосферу.

Информационный сигнал *I\_SE* содержит результаты решения задачи *SE*, а сигнал *I\_RR* – календарный план работы ХТС производства, график ППР их оборудования, расходные нормы сырья и энергоресурсов по продуктам, графики потребления сырья и энергоресурсов, образования отходов в течение указанного периода эксплуатации.

**На этапе утилизации отходов производства** осуществляется выбор способа переработки сточных вод и газовых выбросов, обеспечивающих экологическую безопасность производства, а также расчеты технологического оборудования ХТС, предназначенных для переработки отходов. Координирующий сигнал *K\_OP* содержит информацию о видах и совокупных количествах отходов производства за указанный период, видах и содержании вредных веществ в отходах, фоновых и предельно допустимых значениях их концентраций, а также графики образования отходов. На основе этой информации решается задача *OP* формирования ХТС



утилизации отходов производства, то есть выбирается технология утилизации каждого вида отходов (наименования стадий утилизации, материальные индексы их операций, рекомендуемые типы основных и вспомогательных аппаратов), определяется число ХТС утилизации и виды отходов, перерабатываемые на каждой из них, типы основных и вспомогательных аппаратов стадий. Цель решения задачи *OP* – обеспечение возможности приведения отходов в экологически безопасное состояние с помощью минимального совокупного числа аппаратурных стадий.

На основе результатов решения задачи *OP* формируются координирующие сигналы  $K_{SO_{su}}$ , содержащие исходные данные для решения задач  $SO_{su}$  расчетов технологического оборудования отдельных ХТС утилизации отходов. В состав сигнала  $K_{SO_{su}}$  входят виды отходов, перерабатываемые на каждой ХТС утилизации № *su*, графики их переработки (моменты начала и окончания процессов основного производства, связанных с образованием отходов, количества перерабатываемых отходов с учетом возможностей их накопления), типы основных и вспомогательных аппаратов стадий ХТС, материальные индексы и длительности операций утилизации, удельные производительности основных аппаратов некоторых стадий ХТС. Цель решения задач  $SO_{su}$  – выбор числа и определяющих геометрических размеров основных и вспомогательных аппаратов стадий ХТС утилизации и параметров режима их функционирования, обеспечивающих переработку указанных видов отходов в соответствии с графиками их образования при минимальных затратах на технологическое оборудование этих ХТС.

Информационные сигналы  $I_{SO_{su}}$ , кроме значений числа и определяющих размеров аппаратов стадий ХТС утилизации, включают расписание их функционирования. Анализ содержания этих сигналов на верхнем уровне может привести к выводу о необходимости коррекции числа ХТС утилизации и (или) видов отходов, перерабатываемых на каждой из них, то есть повторного решения задачи *OP*. Информационный сигнал  $I_{OP}$  – это совокупность сигналов  $I_{SO_{su}}$ .

Вопросы разработки теории и методов автоматизации технологических расчетов при проектировании и модернизации МХП являются одним из основных направлений деятельности научной школы «Разработка теории и методов автоматизированного проектирования химических производств», созданной в Тамбовском государственном техническом университете (ТГТУ) и зарегистрированной в списке ведущих научных школ Тамбовской области под № 37. В рамках разработки теории, методов и алгоритмов автоматизированного проектирования, оптимального функционирования и модернизации МХП сотрудники школы развивают следующие направления исследований:

- АО ХТС и поиск параметров режима их функционирования при проектировании и модернизации МХП, связанной с изменениями планов выпуска продукции [1–3];
- автоматизация технологических и механических расчетов машин и аппаратов на основе нормативных документов, исследований полей определяющих параметров реализуемых процессов [4, 5];
- компоновка технологического оборудования в производственном помещении, трассировка технологических трубопроводов [6, 7];
- календарное планирование МХП на стадии проектирования или модернизации с параллельным формированием графика технического обслуживания и планово-предупредительных ремонтов оборудования [8, 9];
- разработка теории, методов и информационных технологий обеспечения экологической безопасности МХП [10, 11].

За последние 25 лет по тематике автоматизации технологических расчетов при проектировании и модернизации МХП сотрудниками школы, большинство которых являются преподавателями кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования» ТГТУ, выполнены 14 НИР (по заказам МНПО «НИОПиК» и его Тамбовского филиала, ОАО «Экохимпроект», предприятий г. Тамбова), защищены 5 докторских и 13 кандидатских диссертаций. Научные результаты и разработанные на их основе программные продукты использовались при проектировании и модернизации нескольких десятков ХТС реальных производств (цех отбеливателей Заволжского ХК, цеха азокрасителей Сивашского АКЗ, цеха полупродуктов, азокрасителей и дисперсных красителей ОАО «Пигмент», г. Тамбов, экспортные предложения МНПО «НИОПиК» и др.).

#### *Список литературы*

1. Малыгин, Е.Н. Методика определения аппаратурного оформления многопродуктовых химико-технологических систем / Е.Н. Малыгин, С.В. Карпушкин, А.Б. Борисенко // Хим. пром-сть сегодня. – 2003. – № 5. – С. 43–50.
2. Малыгин, Е.Н. Методология определения аппаратурного оформления многоассортиментных химических производств / Е.Н. Малыгин, С.В. Карпушкин, Е.Н. Туголуков // Хим. пром-сть. – 2004. – № 3. – С. 148–156.
3. Малыгин, Е.Н. Математическая модель функционирования многопродуктовых химико-технологических систем / Е.Н. Малыгин, С.В. Карпушкин, А.Б. Борисенко // Теорет. основы хим. технологии. – 2005. – Т. 39, № 4. – С. 455–465.
4. Малыгин, Е.Н. Методика автоматизированного выбора и расчета фильтров для разделения суспензий / Е.Н. Малыгин, С.В. Карпушкин, С.Н. Маковеев // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2003. – Т. 9, № 4. – С. 659–668.
5. Малыгин, Е.Н. Выбор конструкции механического перемешивающего устройства вертикального емкостного аппарата / Е.Н. Малыгин, С.В. Карпушкин, Н.Н. Афанасьева // Хим. пром-сть. – 2004. – № 5. – С. 253–259.
6. Малыгин, Е.Н. Методика решения задачи компоновки в цехах ангарного типа / Е.Н. Малыгин, С.Я. Егоров, М.С. Громов // Хим. пром-сть сегодня. – 2006. – № 6. – С. 46–55.
7. Егоров, С.Я. Методология автоматизированного поиска объемно-планировочных решений химических производств / С.Я. Егоров // Хим. пром-сть сегодня. – 2006. – № 10. – С. 47–56.
8. Малыгин, Е.Н. Календарное планирование работы многоассортиментных производств / Е.Н. Малыгин, Т.А. Фролова, М.Н. Краснянский // Теорет. основы хим. технологии. – 1998. – Т. 32, № 5. – С. 568–576.
9. Малыгин, Е.Н. Обеспечение надежности функционирования многоассортиментных химических производств / Е.Н. Малыгин, М.Н. Краснянский, В.А. Ахмедов // Хим. пром-сть. – 2002. – № 6. – С. 33–39.
10. Малыгин, Е.Н. Автоматизированный синтез сооружений биохимической очистки сточных вод / Е.Н. Малыгин, В.А. Немтинов, С.Я. Егоров // Теорет. основы хим. технологии. – 2002. – Т. 36, № 2. – С. 188–195.
11. Малыгин, Е.Н. Автоматизированный синтез системы очистки газовых выбросов для многоассортиментных малотоннажных химических производств / Е.Н. Малыгин, В.А. Немтинов, Ю.В. Немтинова // Теорет. основы хим. технологии. – 2003. – Т. 37, № 6. – С. 613–621.

## **Methodology of Computer-Aided Designing of Technical Systems with Changeable Range of Products**

**E.N. Malygin, S.V. Karpushkin**

*Department "Systems of Computer-Aided Designing", TSTU*

**Key words and phrases:** chemical technological systems; information links between the tasks; multi-ranged chemical production; system analysis; tasks of computer-aided designing; techniques of combined problem-solving.

**Abstract:** The paper proposes the technique of implementation of the main stage of project design for multi-ranged chemical production; it includes technological calculations, hierarchy of tasks solved in the course of project implementation, information links between the subjects, iterative process of combined problem-solving.

---

## **Methodologie der automatisierten Projektierung der technischen Systeme mit dem geänderten Sortiment der ausgegebenen Produktion**

**Zusammenfassung:** Es ist die Methodologie der Realisierung des Hauptentwicklungsstadiums des Projektes der vielsortimentischen chemischen Produktion – der technologischen Berechnungen angeboten. Es ist die Hierarchie der Aufgaben, die bei ihrer Ausführung gelöst werden, die informativen Beziehungen zwischen den Aufgaben, den iterativen Prozess der gemeinsamen Lösung der Aufgaben betrachtet.

---

## **Méthodologie de la conception automatisée des systèmes techniques avec un assortiment variant des produits lancés**

**Résumé:** Est proposée la méthodologie de la réalisation de l'étape essentielle de l'élaboration du projet de la production chimique multiassortiment – des calculs technologiques; est examinée l'hierarchie des problèmes résolus lors de l'exécution, les liens entre les problèmes, le processus itérationnel de la solution commune des problèmes.

---