

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО И ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОАССОРТИМЕНТНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

В. Г. Мокрозуб, Е. Н. Малыгин, С. В. Карпушкин

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»,
ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия; kafedra@mail.gaps.tstu.ru*

Ключевые слова: автоматизированное проектирование; дерево задач; математическое и программное обеспечение; химические производства.

Аннотация: Представлено дерево задач технологического проектирования (ТП) и дерево задач разработки информационного обеспечения (ИО) процесса ТП многоассортиментных химических производств (МХП). Построены функциональные модели процесса ТП МХП и определена структура информационных моделей задач ТП МХП. Представлена формальная постановка оптимизационной задачи разработки ИО процесса ТП МХП. Критериями оптимальности являются быстродействие операций обработки информации, стоимость и время разработки ИО. В качестве ограничений рассматривается структура базы данных, предназначенной для хранения и обработки информационных моделей.

Развитие перерабатывающих отраслей промышленности, к числу которых относится химическая, является одной из главных задач экономики РФ. Внедрение и модернизация действующих химических производств в современных условиях требуют разработки новых подходов к решению задач их проектирования.

Среди химических производств большой интерес представляют многоассортиментные химические производства (МХП), такие как производство лаков, красителей, химических добавок и лекарственных препаратов. Проектирование МХП более трудоемко по сравнению с однопродуктовыми производствами, которые можно рассматривать как частный случай многоассортиментных.

Разработка проекта сложных технических систем, к которым относятся МХП, – трудоемкая задача, решаемая большим коллективом специалистов разного профиля. В соответствии с системным подходом к решению сложных задач их декомпозируют на ряд более простых, которые в свою очередь могут быть также декомпозированы. Таким образом, получается дерево задач разработки проекта сложной технической системы.

В соответствии с принятыми в проектных организациях структурой проекта и этапами его разработки, проектирование МХП можно представить в виде дерева задач (рис. 1). Достоверность такой декомпозиции задачи проектирования МХП доказана многолетним опытом создания и эксплуатации этих производств.

Основным производственным элементом МХП является химико-технологическая система (ХТС), представляющая совокупность аппаратов, связанных между собой технологическими потоками сырья и полупродуктов. В аппаратах осу-

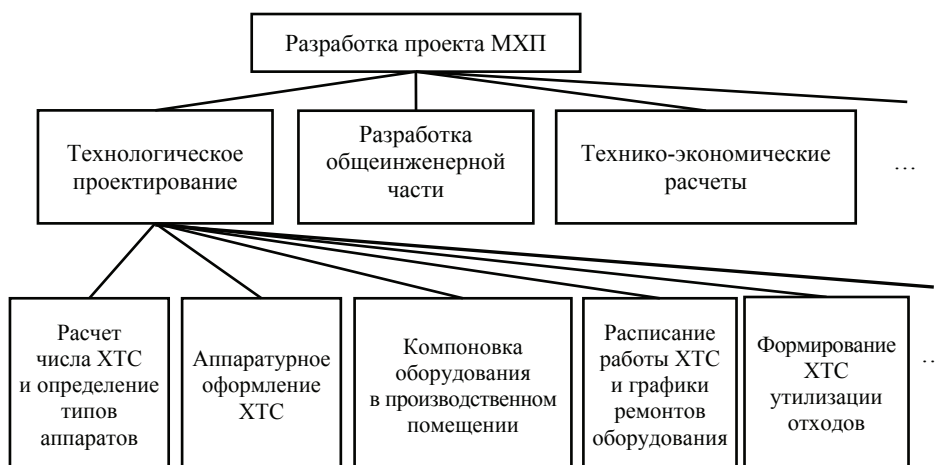


Рис. 1. Фрагмент дерева задач проектирования МХП

шествляется определенная последовательность технологических операций: подготовка сырья, химическое превращение, выделение целевого продукта, переработка отходов и др.

Анализ литературных источников показал, что теория, методы и алгоритмы автоматизированного проектирования МХП развиваются в следующих основных направлениях:

- 1) аппаратурное оформление ХТС, поиск определяющих размеров и количества основных и вспомогательных аппаратов ХТС на стадии проектирования или модернизации [1, 2];
- 2) поиск оптимальных конструктивных параметров и технологических режимов функционирования отдельных единиц оборудования ХТС [3, 4];
- 3) компоновка технологического оборудования (ТО) и трассировка трубопроводов в различных типах производственных помещений, включая помещения ангарного типа [5, 6];
- 4) календарное планирование МХП на стадиях проектирования и эксплуатации [7, 8];
- 5) разработка систем автоматизированного управления планированием выпуска и сбытом готовой продукции [9];
- 6) разработка систем автоматизированного составления месячных и годовых графиков ремонтов основного и вспомогательного оборудования на основании планов выпуска готовой продукции и технологии ее изготовления [10].

В вышеперечисленных направлениях исследователи основное внимание уделяют постановке задач проектирования объекта (направления 1–4) или управления объектом (направления 5, 6); разрабатывают математические модели, описывающие предметную область решаемых задач, и алгоритмы решения моделей и задач. При этом практически не затрагивают вопросы разработки информационного обеспечения процесса решения задач проектирования.

Под информационным обеспечением в настоящей работе понимается следующее:

- информация, необходимая для решения задач проектирования МХП, и ее структура;
- представление и обработка информации в автоматизированной системе (где и как хранить, способы обработки, куда и как помещать результат).

Цель работы: постановка задачи разработки информационного обеспечения процесса проектирования МХП.

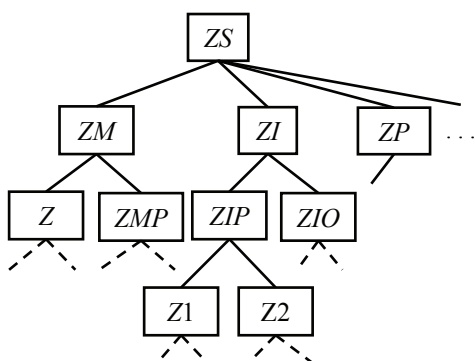


Рис. 2. Дерево задач разработки АИС

Современные автоматизированные информационные системы (АИС) включают математическое, информационное, программное, техническое и др. виды обеспечения. Соответственно, задача разработки и внедрения АИС ZS декомпозируется на задачи разработки математического (МО) ZM , информационного (ИО) ZI , программного (ПО) ZP , технического и других видов обеспечения, которые в свою очередь декомпозируются на более мелкие подзадачи. Таким образом, получается дерево задач разработки АИС, ZS (рис. 2).

Задача разработки МО АИС ZM включает в себя проблемно-ориентированные задачи $Z = \{z_i\}$, $i = \overline{0, I}$, и проблемно-независимые задачи ZMN (алгоритмы решения систем дифференциальных уравнений, алгоритмы поиска экстремума функций и др.).

Информационное обеспечение должно предоставить возможности ввода, хранения и обработки информации, необходимой для решения и накопления результатов решения задач $Z = \{z_i\}$, $i = \overline{0, I}$. Задача создания ИО ZI декомпозируется на задачу создания проблемно-ориентированного ZIP и проблемно-независимого ZIO (регистрация пользователей, разграничение прав доступа) информационного обеспечения.

В дальнейшем в работе рассматриваются только проблемно-ориентированные задачи $Z = \{z_i\}$, $i = \overline{0, I}$ и проблемно-ориентированное ИО.

Проблемно-ориентированная информация в свою очередь разделяется:

- на условно-постоянную информацию, которая необходима для решения задач z_i , $i = \overline{0, I}$ независимо от конкретного проектируемого объекта. Примерами такой информации являются база данных типовых аппаратов, содержащая данные о размерах аппаратов и их элементов, и база знаний, включающая правила (продукции) выбора элемента типового аппарата в зависимости от условий его эксплуатации;

- условно-переменную информацию – исходные данные и результаты решения задач z_i , $i = \overline{0, I}$ для конкретного проектируемого объекта.

Таким образом,

$$ZIP = \langle Z1, Z2 \rangle, \quad Z1 = \{z1_i\}, \quad Z2 = \{z2_i\}, \quad i = \overline{0, I},$$

где $Z1, Z2$ – задачи разработки условно-постоянного и условно-переменного ИО обеспечения решения задач проектирования $Z = \{z_i\}$, $i = \overline{0, I}$; $z1_i, z2_i$ – задачи разработки условно-постоянного и условно-переменного информационного обеспечения решения задачи проектирования z_i , $i = \overline{0, I}$.

Аналогично осуществляется декомпозиция задачи разработки программного и других видов обеспечения АИС, которые в данной работе не рассматриваются.

Для решения каждой проблемно-ориентированной задачи z_i , $i = \overline{0, I}$ необходимо разработать ее формальную постановку pz_i и алгоритм решения az_i . В свою очередь постановка задачи включает в себя множества:

- исходных данных iz_i , необходимых для решения задачи;
- варьируемых параметров vpz_i , которые определяются в процессе решения задачи и формируют множество результатов rz_i . Как частный случай, можно рассматривать равенство множеств варьируемых параметров и результатов $rz_i = vpz_i$;

– оценок (критериев) качества найденных результатов krz_i , которые зависят от варьируемых параметров vpz_i ;

– математическую модель mz_i , определяющую ограничения на исходные данные, варьируемые параметры и результаты решения задачи.

Таким образом, формально задачу z_i можно представить как

$$z_i = \langle p z_i, a z_i \rangle, \quad p z_i = \langle i z_i, v p z_i, r z_i, k r z_i, m z_i \rangle, \quad i = \overline{0, I}.$$

Каждая задача $z_i, i = \overline{0, I}$ определяет, какую информацию надо хранить. В формализованном виде данная информация представлена в информационных моделях $IM_i, i = \overline{0, I}$ решаемых задач.

Под информационной моделью здесь понимается формализованный набор фактов, понятий, инструкций, предназначенный для удовлетворения информационных требований решаемых задач.

Для обработки информационных моделей $IM_i, i = \overline{0, I}$ (хранения, извлечение информации) они трансформируются в элементы ИО, типы которых определяются принятой моделью хранения информации (реляционной, объектной, сетевой). Для реляционной модели данных такими элементами являются отношения (Table), представления (View), первичные и внешние ключи (Primary Key, Foreign Key), индексы (Index), триггеры (Trigger), хранимые процедуры (Stored Procedure).

Обозначим $X_i = X_i(IM_i), X_i = \{x_{il}\}, l = \overline{1, L_i}$ – множество элементов информационного обеспечения, порождаемых информационной моделью IM_i задачи z_i .

Оценка результата решения задачи разработки информационного обеспечения ZI осуществляется с помощью множества критериев $KRZI = \{krz_j\}, j = \overline{1, J}$. Такими критериями могут быть стоимость и время разработки информационного обеспечения; время получения результатов запросов на предоставление информации для решения задач $Z = \{z_i\}, i = \overline{0, I}$; объем информации, вводимой конечным пользователем и др.

Поиск лучшего значения критериев $KRZI = \{krz_j\}, j = \overline{1, J}$ осуществляется с помощью варьируемых параметров $F = \{f_k\}, k = \overline{1, K}, f_k \in FD_k, FD_k$ – область допустимых значений k -го параметра. Примерами таких параметров являются: модель среды хранения информации (реляционная, объектная, сетевая), способы формального представления и способы обработки информации, рассмотренных далее.

Таким образом, задача разработки ИО автоматизированной системы может быть сформулирована следующим образом. Для множества задач $Z = \{z_i\}, i = \overline{0, I}$ найти такой вектор параметров ИО $F^* = \{f_k^*\}, k = \overline{1, K}$, при котором критерии оптимизации $krz_j(F^*) \rightarrow \text{extr}(krz_j(F)), j = \overline{1, J}$ при следующих ограничениях:

$$X_i = X_i(IM_i), i = \overline{0, I}, \quad X_i = \{x_{il}\}, l = \overline{1, L_i}, \quad f_k \in FD_k, \quad k = \overline{1, K}.$$

Задачу разработки ИО процесса проектирования МХП будем рассматривать на примере задач аппаратного оформления ХТС и компоновки оборудования в производственном помещении, которые являются подзадачами ТП МХП. Формальное представление дерева задач разработки АИС проектирования МХП (см. рис. 2) примет вид, представленный на рис. 3.



Рис. 3. Дерево задач разработки АИС технологического проектирования МХП

Основой разработки ИО являются информационные модели $IM_i, i = \overline{0,7}$, которые формулируются для каждой задачи проектирования. Для составления информационных моделей необходимо сначала определить последовательность решения задач, вид и количество информационных потоков, связывающих задачи друг с другом. Для этой цели воспользуемся методологией функционального моделирования IDEF0.

Процедурные модели технологического проектирования МХП. Аппаратурное оформление МХП включает в себя следующие задачи:

- расчет числа и размеров аппаратов для каждой стадии на основании регламента производства продукта и планируемой производительности;
- оптимизация конструктивных и режимных характеристик оборудования;
- разработка конструкторско-технологической документации отдельных единиц оборудования.

Задачи, информационные потоки и связи задач аппаратурного оформления представлены на функциональной диаграмме (рис. 4), где tz – техническое задание на проектирование, $tz = p \cup r$; p – перечень выпускаемых продуктов и требуемая производительность по каждому из них; r – регламенты выпуска продуктов (последовательность операций синтеза каждого продукта, типы оборудования для каждой операции, нормы расхода сырья, свойства сырья, продолжительность каждой операции и др.); $I_1 = I_{11} \cup I_{12} \cup I_{13}$; I_{11} – число и размеры аппаратов на каждой стадии, размеры партий продуктов; I_{12} – оптимальные технологиче-

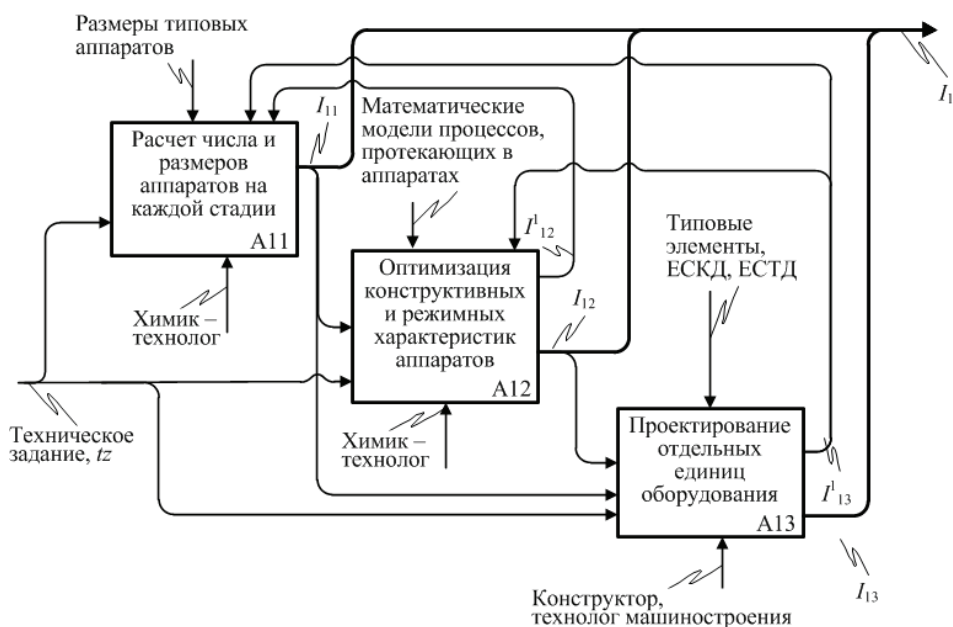


Рис. 4. Функциональная диаграмма аппаратного оформления МХП

ские и конструкционные параметры отдельных аппаратов; I_{13} – проект отдельного аппарата; I_{12}^1 – проблемные конструкционные или технологические характеристики аппаратов при оптимизации; I_{13}^1 – проблемные характеристики или элементы аппаратов при проектировании аппарата.

Компоновка оборудования декомпозируется на задачу размещения оборудования в производственном помещении и задачу трассировки трубопроводов. Функциональная диаграмма размещения оборудования и трассировки трубопроводов представлена на рис. 5, где $I_2 = I_{21} \cup I_{22}$ – компоновочные чертежи и чертежи трасс; I_{21} – координаты аппаратов в производственном помещении, планы размещения аппаратов; I_{22} – координаты трубопроводов, чертежи трубопроводов; I_{22}^1 – аппараты, к которым невозможно подвести трубопроводы.

На основании функциональной диаграммы (см. рис. 4) процедурную модель аппаратного оформления FM_1 представим в виде:

$$FM_1 = \langle FM_{11}, FM_{12}, FM_{13} \rangle;$$

$$FM_{11}: tz \cup I_{12}^1 \cup I_{13}^1 \xrightarrow{IM_{11}} I_{11};$$

$$FM_{12}: tz \cup I_{11} \cup I_{13}^1 \xrightarrow{IM_{12}} I_{12} \cup I_{12}^1;$$

$$FM_{13}: tz \cup I_{11} \cup I_{12} \xrightarrow{IM_{13}} I_{13} \cup I_{13}^1,$$

где FM_{11} – процедура определения числа и размеров аппаратов на каждой стадии; FM_{12} – процедура оптимизации конструктивных и режимных характеристик отдельных аппаратов; FM_{13} – процедура разработки конструкторской и технологической документации отдельных единиц оборудования; IM_{11} – информацион-

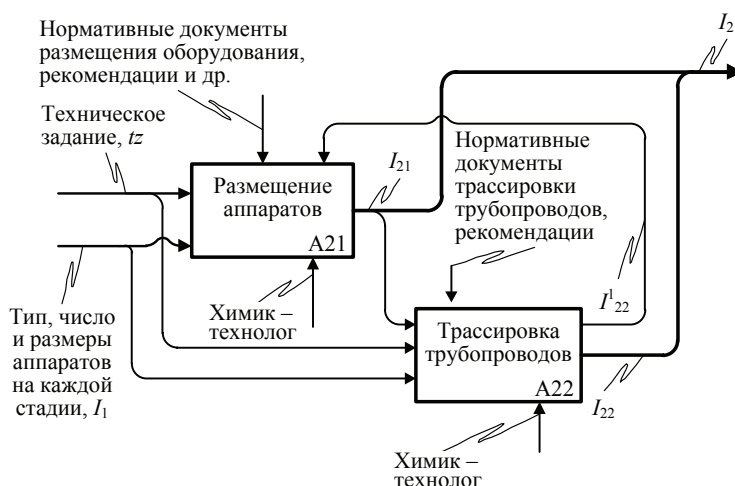


Рис. 5. Функциональная диаграмма компоновка оборудования и трассировки трубопроводов ХТС

ная модель определения числа и размеров аппаратов на каждой стадии; IM_{12} – информационная модель оптимизации конструктивных и режимных характеристик отдельных аппаратов; IM_{13} – информационная модель проектирования отдельного аппарата.

Процедурную модель компоновки оборудования и трассировки трубопроводов FM_2 представим в виде:

$$FM_2 = \langle FM_{21}, FM_{22} \rangle;$$

$$FM_{21}: tz \cup I_3 \cup I_{22}^1 \xrightarrow{IM_{21}} I_{21};$$

$$FM_{22}: tz \cup I_{21} \xrightarrow{IM_{22}} I_{22} \cup I_{22}^1;$$

$$I_2 = I_{21} \cup I_{22},$$

где FM_{21} , FM_{22} – процедуры распределения аппаратов и трассировки трубопроводов соответственно; IM_{21} , IM_{22} – информационные модели размещения аппаратов и трассировки трубопроводов соответственно.

Информационная модель задачи определения числа и размеров аппаратов на каждой стадии IM_{11} . В работах [1, 2] задача нахождения числа и определяющих размеров аппаратов на каждой стадии технологической системы ставится и решается в следующем виде. Исходные данные:

- ассортимента продуктов $P = \{p_i\}$, $i = \overline{1, I}$, i – номер продукта;
- объемов выпуска каждого продукта $Q = \{q_i\}$, $i = \overline{1, I}$;
- периода выпуска всех продуктов T ;
- перечня стадий (основных аппаратов ХТС) $Y = \{y_j\}$, $j = \overline{1, J}$, j – номер стадии;
- перечня стадий (аппаратов), используемых для выпуска каждого продукта $YP = \{yp_{ik}\}$, $i = \overline{1, I}$, $k \in \overline{1, J}$, $YP \subseteq Y$;
- времени работы каждого аппарата в ходе выпуска одной партии продукта $TA = \{ta_{ij}\}$, $i = \overline{1, I}$, $j = \overline{1, J}$.

Для заданных исходных данных необходимо найти:
 – определяющие геометрические размеры (рабочие объемы, поверхности) $V = \{v_j\}$, $j = \overline{1, J}$ основных аппаратов каждой стадии. Причем $V \subset V1 = \{v1_j\}$, $j = \overline{1, J}$, где $V1$ множество допустимых значений основных размеров аппаратов (каталог аппаратов);

– число основных аппаратов каждой стадии $N = \{n_j\}$, $j = \overline{1, J}$;

– размеры партий готового продукта $W = \{w_i\}$, $i = \overline{1, I}$;

– время начала и конца обработки каждой партии продукта на каждой стадии $TN_{ij} = \{tn_k\}$, $TK_{ij} = \{tk_k\}$, $i = \overline{1, I}$, $j = \overline{1, J}$, $r = \overline{1, K_i}$, k – номер партии выпуска i -го продукта.

Задача ставится как оптимизационная, в которой критерием оптимизации являются капитальные и эксплуатационные затраты $S1$, то есть

$$I_{11}^* = \arg \min(S1(I_{11}), \quad I_{11} = \langle V, N, W, TN, TK \rangle, \quad I_{11} = M_{11}(tz),$$

$$tz = \langle P, Q, T, Y, YP, TA \rangle,$$

где M_{11} – математическая модель, которая позволяют по множеству исходных данных tz найти множество результатов I_{11} .

На основании сказанного, информационную модель IM_{11} можно представить в виде

$$IM_{11} = \langle tz, M_{11}, X1, S1, I_{11} \rangle.$$

Информационная модель задачи оптимизации конструктивных и режимных характеристик отдельных аппаратов IM_{12} . Исходные данные для решения задачи оптимизации конструктивных и режимных характеристик отдельных аппаратов определены в техническом задании tz и множеством результатов решения задачи определения числа и размеров аппаратов на каждой стадии I_{11} .

Формальная постановка задачи оптимизации конструктивных и режимных параметров отдельных аппаратов выглядит следующим образом. Для заданных исходных данных $\langle tz, I_{11} \rangle$ найти вектор конструктивных параметров аппарата $KP^* = \{kp_k^*\}$, $k = \overline{1, K}$, $KP^* \subset KP$ и вектор режимных параметров аппарата $RP^* = \{rp_r^*\}$, $r = \overline{1, R}$, $RP^* \subset RP$, которые доставляют экстремум критерию оптимизации $S2$.

$$S2(KP^*, RP^*) = \text{extr}(S2(KR, RP)), \quad \{KR, RP\} = M_{12}(tz, I_{11}), \quad KR \subset D_{kr}, \quad RP \subset D_{rp},$$

где KR, RP – множество допустимых конструктивных и режимных параметров аппарата соответственно; M_{12} – математическая модель, позволяющая по известным исходным данным найти множество допустимых конструктивных и режимных параметров аппарата; D_{kr}, D_{rp} – множества (домены) возможных значений конструктивных и режимных параметров аппарата соответственно.

Математическая модель M_{12} описывает процессы, протекающие в аппаратах, которые подчиняются основными законами сохранения материи и энергии. Критерием оптимизации может быть стоимость аппарата при заданной производительности или производительность при заданных размерах аппарата. Примеры таких моделей представлены в [3, 4].

Таким образом, информационную модель IM_{12} можно представить кортежем

$$IM_{12} = \langle tz, I_{11}, M_{12}, S2, D_{kr}, D_{rp}, I_{12} \rangle.$$

Информационная модель задачи проектирования отдельных единиц оборудования IM_{13} . Технологическое оборудование представляет собой систему взаимосвязанных элементов (сборочных единиц и деталей). Конструирование ТО состоит из двух основных стадий:

- структурный синтез, где определяется из каких элементов будет состоять объект;
- параметрический синтез, где определяются все характеристики элементов, в первую очередь, геометрические параметры (размеры);
- сборка конструкции (позиционирование элементов в пространстве).

Информационную модель IM_{13} можно представить в виде кортежа

$$IM_{13} = \langle tz, I_{11}, I_{12}, E, M_{13}, I_{13}, S3 \rangle,$$

где $E = \{e\}$ – множество возможных элементов, проектируемого ТО; $S3$ – критерий оптимальности конструкции ТО, например его себестоимость; M_{13} – математическая модель, позволяющая подобрать необходимый элемент в зависимости от условий эксплуатации ТО, найти все размеры элементов и осуществить их взаимное позиционирование в пространстве.

Информационная модель задачи размещения аппаратов IM_{21} . В работах [5, 6] задача размещения аппаратов ставится как оптимизационная, критерием оптимизации являются капитальные и эксплуатационные затраты. Исходными данными для решения задачи являются tz и результаты решения задачи аппаратного оформления ХТС I_1 .

Постановка задачи размещения аппаратов формулируется следующим образом. Для заданных значений исходных данных $\langle tz, I_1 \rangle$ найти такое пространственное расположение оборудования ХТС A_1^* и такие габариты производственного помещения A_2^* , при которых капитальные и эксплуатационные затраты $S2$ на проектируемый объект минимальны [5]:

$$A^* = \arg \min(S3(A)), \quad A^* \subset A, \quad A = A_1 \cup A_2,$$

где A – множество допустимых вариантов расположения аппаратов A_1 и габаритов производственного помещения A_2 . При этом должны выполняться ограничения, которые описываются математической моделью размещения M_{21} (зоны обслуживания аппаратов, минимальные расстояния до строительных конструкций и др.).

Таким образом, информационную модель размещения аппаратов IM_{21} можно представить в виде

$$IM_{21} = \langle tz, I_1, M_{21}, I_{21}, S3 \rangle.$$

Информационная модель задач трассировки трубопроводов IM_{22} . Исходная информация для решения задачи трассировки получается в результате решения задачи выбора и размещения технологического оборудования. Это в первую очередь координаты центров аппаратов, размеры аппаратов, размеры производственных помещений (информационные потоки I_{21} и I_1 на рис. 4). Кроме того из технического задания поступает информация о связях аппаратов и свойствах веществ.

В работах [5, 6] задача трассировки ставится как оптимизационная в следующем виде. Найти такие координаты трасс TR^* , при которых эксплуатационные

затраты, стоимость трубопроводов и стоимость насосов $S5$ минимальны. При этом должны выполняться ограничения на расположение трасс, которые описываются математической моделью трассировки M_{22}

$$TR^* = \arg \min(S5(TR)), \quad TR^* \in TR,$$

где TR – множество допустимых вариантов трасс.

Информационную модель трассировки можно представить в виде

$$IM_{22} = \langle tz, I_1, I_{21}, M_{22}, S5, I_{22} \rangle.$$

Информационные модели задач z_0, z_1, z_2 . Задачи z_0 – технологическое проектирование МХП, – z_1 аппаратное оформление, ХТС; z_2 – компоновка оборудования – это задачи верхнего уровня. Их назначение – координация решения задач нижнего уровня z_3, z_4, z_5, z_6, z_7 , таким образом, чтобы получать решение доставляющее экстремум критерию оценки качества решения более высокого уровня, например, эксплуатационным и капитальным затратам цеха по производству группы заданных продуктов. В настоящее время вопросы автоматизации указанной координации недостаточно формализованы. В качестве координатора выступает лицо принимающее решение. Информация для принятия решения поступает от задач нижнего уровня z_3, z_4, z_5, z_6, z_7 . На основании сказанного информационную модель задачи z_1 можно представить в первом приближении, как $IM_1 = IM_{11} \cup \cup IM_{12} \cup IM_{13}$, задачи $z_2 - IM_2 = IM_{21} \cup IM_{22}$, задачи $z_0 - IM_0 = IM_1 \cup IM_2$.

Постановка задачи разработки информационного обеспечения АИС технологического проектирования МХП ZI . В качестве критериев оценки качества решения задачи ZI примем стоимость информационного обеспечения St , продолжительность его разработки T_1 и быстродействие выполнения операций обработки информации T_2 . Снизить стоимость и продолжительность разработки ИО можно за счет использования унифицированных методов.

Параметрами, влияющими на эти критерии, являются: модель среды хранения информации f_1 , способы формального представления информации f_2 , способ проверки ограничений параметров решаемых предметно-ориентированных задач f_3 . Под способом формального представления информации понимается такое представление решаемой задачи, которое позволяет использовать унифицированные методы.

Постановку задачи разработки математического и информационного обеспечения процесса проектирования МХП запишем в следующем виде.

Для множества задач $Z = \{z_i\}$, $i = \overline{0,7}$ найти f_1^*, f_2^*, f_3^* , при которых

$$St(f_1^*, f_2^*, f_3^*) \rightarrow \min(St(f_1, f_2, f_3)), \quad T_1(f_1^*, f_2^*, f_3^*) \rightarrow \min(T_1(f_1, f_2, f_3)), \\ T_2(f_1^*, f_2^*, f_3^*) \rightarrow \min(T_2(f_1, f_2, f_3))$$

при следующих ограничениях:

$$X_0 = X_0(IM_0), \quad X_1 = X_1(IM_1), \quad X_2 = X_2(IM_2), \quad X_3 = X_3(IM_{11}), \quad X_4 = X_4(IM_{12}),$$

$$X_5 = X_5(IM_{13}), \quad X_6 = X_6(IM_{21}), \quad X_7 = X_7(IM_{22}), \quad IM_0 = IM_1 \cup IM_2,$$

$$IM_1 = IM_{11} \cup IM_{12} \cup IM_{13}, \quad IM_2 = IM_{21} \cup IM_{22}, \quad IM_{11} = \langle tz, M_{11}, X1, S1, I_{11} \rangle,$$

$$IM_{12} = \langle tz, I_{11}, M_{12}, S2, D_x, D_y, I_{12} \rangle, \quad IM_{13} = \langle tz, I_{11}, I_{12}, E, M_{13}, I_{13}, S3 \rangle,$$

$$IM_{21} = \langle tz, I_1, S4, M_{21}, I_{21} \rangle, \quad IM_{22} = \langle tz, I_1, M_{21}, S5, I_{22} \rangle,$$

$$X_i = \{x_{il}\}, \quad l = \overline{1, L_i}, \quad i = \overline{0,7}, \quad x_{il} \in EB,$$

$$EB = \{Table, View, Primary Key, Foreign Key, Index, Trigger, Stored Procedure\},$$

$$f_1 \in F_1, \quad f_2 \in F_2, \quad f_3 \in F_3,$$

$$F_1 = \{\text{реляционная, объектная, сетевая}\},$$

$$F_2 = \{\text{без использования формализации, с использованием формализации}\},$$

$$F_3 = \{\text{средствами пользователя, средствами базы данных}\}.$$

Заключение. В классической форме поставлена оптимизационная задача совместной разработки математического и программного обеспечения процесса проектирования МХП, которая является основой разработанных АИС проектирования и управления для ПАО «Пигмент», ОАО «Экохимпроект» и АО «Тамбов-полимермаш».

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках базовой части (проект 8.7082.2017/8.9).

Список литературы

1. Карпушкин, С. В. Оптимизация функционирования оборудования действующего многоассортиментного производства при реализации заказа на выпуск нового продукта / С. В. Карпушкин, М. Н. Краснянский, А. Б. Борисенко // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2016. – Т. 22, № 2. – С. 238 – 254. doi: 10.17277/vestnik.2016.02.pp.238-254
2. Борисенко, А. Б. Иерархия задач аппаратурного оформления технологических систем многоассортиментных химических производств / А. Б. Борисенко, С. В. Карпушкин // Изв. РАН. Теория и системы упр. – 2014. – № 3. – С. 113 – 123.
3. Выбор оптимальных параметров механического перемешивающего устройства при ламинарном перемешивании / С. В. Карпушкин [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2011. – Т. 17, № 2. – С. 488 – 492.
4. Система автоматизированного расчета и конструирования химического оборудования / Е. Н. Малыгин [и др.] // Информ. технологии. – 2000. – № 12. – С. 19 – 21.
5. Егоров, С. Я. Автоматизированная информационная система поддержки проектных решений по компоновке промышленных объектов Часть 1. Аналитические и процедурные модели (часть 2 см. № 1, 2010 г.) / С. Я. Егоров, В. Г., Мокрозуб, В. А. Немтинов, И. В. Милованов // Информ. технологии в проектировании и производстве. – 2009. – № 4. – С. 3 – 11.
6. Егоров, С. Я. Автоматизированная информационная система поддержки проектных решений по компоновке промышленных объектов Часть 2. Структура и функционирование системы (часть 1 см. В ИТПП № 4, 2009 г.) / С. Я. Егоров, В. Г., Мокрозуб, В. А. Немтинов, М. С. Громов // Информ. технологии в проектировании и производстве. – 2010. – № 1. – С. 33 – 39.
7. Новые информационные технологии в открытом инженерном образовании : учеб. пособие / Е. Н. Малыгин [и др.] – М. : Машиностроение-1, 2003. – 124 с.
8. Малыгин, Е. Н. Проектирование многоассортиментных химических производств: определение длительностей циклов обработки партий продуктов / Е. Н. Малыгин, С. В. Карпушкин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 1999. – Т. 5, № 2. – С. 201 – 212.
9. Мокрозуб, В. Г. Процедурные и информационно-логические модели планирования выпуска продукции и ремонтов технологического оборудования многоассортиментных производств / В. Г. Мокрозуб, С. Я. Егоров, В. А. Немтинов // Информ. технологии в проектировании и производстве. – 2009. – № 2. – С. 72 – 76.
10. Автоматизированное составление графиков ремонтов химического оборудования / В. Г. Мокрозуб [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2012. – Т. 18, № 3. – С. 593 – 597.

Statement of the Problem of Mathematical and Information Support for the Design of Multi-Product Chemical Plants

V. G. Mokrozub, E. N. Malygin, S. V. Karpushkin

*Department of Computer-Integrated Systems in Mechanical Engineering,
TSTU, Tambov, Russia; kafedra@mail.gaps.tstu.ru*

Keywords: computer-aided design; chemical production; mathematical support and software; task tree.

Abstract: The task tree of process design (PD) and the task tree of information support (IS) of multi-product chemical plants (MPCP) are presented. Functional models of the PD process for MPCPs are constructed and the structure of information models of the MPCP PD tasks is determined. A formal statement of the optimization problem for the development of the IS of the PD process for MPCP is presented. The optimality criteria are: the speed of the information processing operations, the cost and time of the IS design. The structure of the database for storing and processing of information models is considered as a limitation.

References

1. Karpushkin S.V., Krasnyanskii M.N., Borisenko A.B. [Optimization of Existing Equipment for Multiproduct Batch Plants in New Product Release], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2016, vol. 22, no. 2, pp. 238-254. (In Russ., abstract in Eng.), doi: 10.17277/vestnik.2016.02.pp.238-254
2. Borisenko A.B., Karpushkin S.V. Hierarchy of Processing Equipment Configuration Design Problems for Multiproduct Chemical Plants, *J. Comp. & Sys. Sci. Int.*, 2014, vol. 53, no. 3, pp. 410-419.
3. Karpushkin S.V., Serzhantova N.A., Istomin V.V., Posysaev I.A. [The Choice of Optimal Parameters of Mechanical Mixing Devices under Laminar Mixing], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2011, vol. 17, no. 2, pp. 488-492. (In Russ., abstract in Eng.)
4. Malygin E.N., Karpushkin S.V., Mokrozub V.G., Krasnyanskii M.N. [The system of automated calculation and design of chemical equipment], *Informatsionnye tekhnologii* [Information technologies], 2000, no. 12, pp. 19-21. (In Russ.)
5. Egorov S.Ya., Mokrozub V.G., Nemtinov V.A., Milovanov I.V. [Automated information system for industrial object layout decision. Part I. Analytical and procedural models], *Informatsionnye tekhnologii v proektirovanii i proizvodstve* [Information technology of CAD/CAM/CAE], 2009, no. 4, pp. 3-11. (In Russ., abstract in Eng.)
6. Egorov S.Ya., Mokrozub V.G., Nemtinov V.A., Gromov M.S. [Automated information system for industrial object layout decision. Part 2. Structure and operation of the system], *Informatsionnye tekhnologii v proektirovanii i proizvodstve* [Information technology of CAD/CAM/CAE], 2010, no. 1, pp. 33-39. (In Russ., abstract in Eng.)
7. Malygin E.N., Krasnyanskii M.N., Karpushkin S.V., Mokrozub V.G., Borisenko A.B. *Novye informatsionnye tekhnologii v otkrytom inzhenernom obrazovanii* [New information technologies in open engineering education], Moscow: Mashinostroenie-1, 2003, 124 p. (In Russ.)
8. Malygin E.N., Karpushkin S.V. [Multi-Product Chemical Production Design: Calculation of Processing Cycle Duration of Product Batches], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 1999, vol. 5, no. 2, pp. 201-212. (In Russ., abstract in Eng.)

9. Mokrozub V.G., Egorov S.Ya., Nemtinov V.A. [Procedural and information-logical model planning production and repair of equipment multicommodity production], *Informatsionnye tekhnologii v proektirovanii i proizvodstve* [Information technology of CAD/CAM/CAE], 2009, no. 2, pp. 72-76. (In Russ., abstract in Eng.)

10. Mokrozub V.G., Serdyuk A.I., A. Polyakov N., Ovechkin M.V., Marusich K.V. [Automated Generation of the Schedule of Repairs of Chemical Equipment], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2012, vol. 18, no. 3, pp. 593-597. (In Russ., abstract in Eng.)

Aufgabestellung der Entwicklung der mathematischen und informativen Versorgung des Prozesses der Projektierung der vielsortimenten chemischen Produktionen

Zusammenfassung: Es ist der Baum der Aufgaben der technologischen Projektierung (TP) und der Baum der Aufgaben der Entwicklung der informativen Versorgung (IV) des Prozesses der TP der vielsortimenten chemischen Produktionen (VChP) dargelegt. Es sind die funktionalen Modelle des Prozesses der TP von VChP aufgebaut und es ist die Struktur der informativen Modelle der Aufgaben der TP von VChP bestimmt. Es ist die formale Stellung der Optimierungsaufgabe der Entwicklung von IV des Prozesses der TP von VChP dargelegt. Die Kriterien der Optimalität sind: die Schnelligkeit der Operationen der Bearbeitung der Informationen, der Wert und die Zeit der Entwicklung der IV. Als Beschränkung wird die Struktur der Datenbank, die für die Aufbewahrung und die Bearbeitungen der informativen Modelle vorbestimmt ist, betrachtet.

La mise du problème de l'élaboration du traitement mathématique et informatique du processus de la conception des industries chimiques de multiples assortiments

Résumé: Est présentée une arborescence des tâches de la conception technologique (CT) et l'arbre des objectifs de l'élaboration de l'assurance l'informatique (AI) du processus CT des industries chimiques de multiples assortiments (ICMA). Sont multiples construits les modèles fonctionnels du processus CT ICMA; est déterminée la structure des modèles informatiques des tâches CT ICMA. Est présentée la mise formelle du problème d'optimisation de l'élaboration de AI du processus CT ICMA. Les critères d'optimalité sont: rapidité des opérations du traitement de l'information, coût et temps de l'élaboration de AI. En qualité de limites est examinée la structure de la base de données destinée au stockage et au traitement des modèles d'information.

Авторы: *Мокрозуб Владимир Григорьевич* – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»; *Малыгин Евгений Николаевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»; *Карпушкин Сергей Викторович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

Рецензент: *Подольский Владимир Ефимович* – доктор технических наук, профессор, директор Тамбов ЦНИТ, ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.
