

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

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

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

Ключевые слова: автоматизированная разработка; декомпозиция; информационное обеспечение; технологическое оборудование.

Аннотация: Представлена декомпозиция задачи разработки технологического оборудования, в основе которой лежит разделение элементов данного оборудования на основные и вспомогательные. Установлено, что основным сдерживающим фактором решения задач разработки технологического оборудования является длительность процесса решения; на верхних уровнях декомпозиции используются математические модели, описывающие процессы в рабочей зоне технологического оборудования; на нижних уровнях применены информационные модели, в основе которых лежат производственные знания предметной области вида «Если ..., То ...».

Химическое производство представляет собой совокупность технологического оборудования (**ТО**), на котором в результате обработки сырья, заключающейся в выполнении определенной последовательности физико-химических превращений (стадий), производят готовую продукцию. Среди химических производств большой интерес представляют многоассортиментные химические производства (**МХП**), такие как производство лаков, красителей, химических добавок и лекарственных препаратов. Основной производственной единицей МХП является химико-технологическая система (**ХТС**), представляющая собой набор соединенного в определенной последовательности оборудования (аппаратов), предназначенный для выпуска заданного ассортимента продукции. Режим функционирования оборудования – периодический.

Отдельная единица оборудования предназначена для выполнения одной или нескольких стадий: химическое превращение, сушка, фильтрация, ректификация и др. В соответствии с выполняемыми функциями оборудование классифицируется по типам: реакторы (оборудование для осуществления химических превращений), фильтровальное оборудование, сушилки, ректификационные колонны и др. Разработка технологического оборудования – одна из основных задач создания МХП, от решения которой в значительной степени зависят показатели эффективности производства, такие как капитальные и эксплуатационные затраты, качество готовой продукции и ее себестоимость.

Целью решения задачи разработки ТО является создание благоприятных (наилучших) условий протекания процессов, для которых это оборудование предназначено; физико-химические превращения, осуществляемые в нестационарных температурных и гидродинамических условиях взаимодействия обрабатываемых веществ. Разнообразие и сложность процессов, протекающих в рабочей зоне технологического оборудования, в свою очередь, определяют сложность задач его разработки, которые невозможно решать без применения автоматизированных систем поддержки принятия решений (СППР), одна из составляющих – информационное обеспечение (ИО). Информационное обеспечение СППР включает:

- информацию, необходимую для решения задач разработки ТО, и ее структуру;
- представление и обработку информации в автоматизированной системе (где и как хранить и обрабатывать информацию, куда и как помещать результаты обработки).

Представим анализ процессов принятия решений при разработке ТО, результатом которого является перечень требований, предъявляемых к ИО СППР. Технологическое оборудование – элементы ХТС. Одна из задач разработки ХТС – аппаратурное оформление. Вербальная постановка задачи аппаратурного оформления ХТС формулируется следующим образом: необходимо найти такие режимные параметры ХТС и конструктивное оформление каждой стадии, которые обеспечили бы заданную производительность по предварительно заданному ассортименту при минимальных затратах. Режимные параметры: размер партии каждого выпускаемого продукта; расход сырья электроэнергии, пара, воды; температура и давление в аппаратах и др. Конструктивные параметры ХТС – конструкция каждого отдельного аппарата на определенной стадии (вся документация, достаточная для изготовления аппарата).

В зависимости от выполняемых процессов на стадиях ХТС могут устанавливаться различные аппараты: емкостные и трубчатые реакторы; ленточные, камерные, барабанные сушилки; колонные аппараты и т.д. Каждый аппарат имеет определенные режимные параметры (давление, температуру, скорости движения потоков в рабочей зоне) и состоит из элементов (обечайки, приводы, мешалки и др.), которые имеют множество параметров (размеров). Таким образом, число искоемых параметров в задаче аппаратурного оформления исчисляется тысячами. Как следствие, в данной постановке задача неразрешима на современном уровне развития вычислительной техники, так как ее решение с применением общедоступных компьютеров потребует чрезвычайно больших затрат времени.

В соответствии с принципами системного анализа исходная задача аппаратурного оформления ХТС (глобальная задача) декомпозируется на ряд подзадач (локальные задачи), согласованные решения которых должны привести к решению исходной задачи.

Проведен системный анализ процессов принятия решений при разработке аппаратурного оформления ХТС. В результате глобальная задача «Аппаратурное оформление ХТС» декомпозирована на ряд локальных подзадач, разбитых на 11 уровней (рис. 1):

- 1) расчет определяющих размеров и числа аппаратов на каждой стадии;
- 2) разработка аппаратов ХТС;
- 3) разработка аппарата для определенной стадии;
- 4) выбор типов основных элементов аппарата;
- 5) расчет теплообменных и гидродинамических процессов в аппарате;
- 6) прочностной расчет основных элементов аппарата;
- 7) выбор типов вспомогательных элементов аппарата;
- 8) расчет основных размеров вспомогательных элементов;

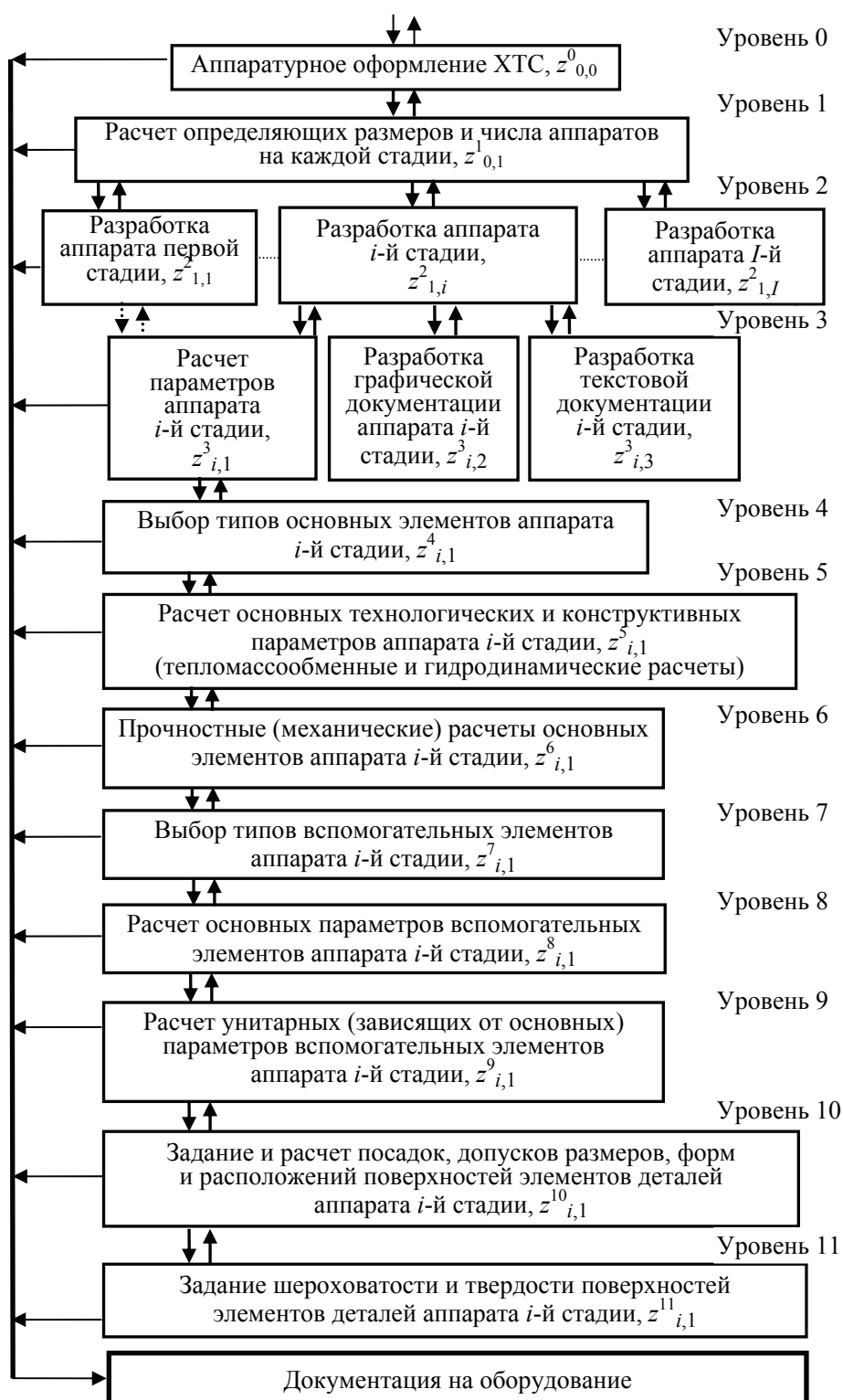


Рис. 1. Структура задач принятия решений при разработке ТО

9) расчет унитарных (зависящих от основных) размеров вспомогательных элементов аппарата;

10) задание и расчет посадок, допусков размеров, форм и расположений поверхностей элементов деталей аппарата;

11) задание шероховатости и твердости поверхностей элементов деталей аппарата.

Следует отметить, что декомпозиция задачи аппаратурного оформления ХТС осуществлялась и ранее. Например, в работах [1 – 3] рассматривается трехуровневая декомпозиция задачи аппаратурного оформления. В работах [4 – 6] представлена двухуровневая декомпозиция задачи оптимального проектирования ТО, «в основе которой лежит концепция двух этапов жизненного цикла промышленного аппарата: этапа проектирования и этапа эксплуатации». Результаты, представленные в указанных работах, не позволяют получать всю документацию, необходимую для изготовления разрабатываемого оборудования.

Обозначим множество решаемых задач $Z = \{z_{i,j}^k\}, k = \overline{1, K}, i = \overline{1, I_k}, j = \overline{1, J_i}$, где k – номер уровня; i – номер задачи верхнего уровня (родительская задача); j – номер подзадачи, родительской задачи i ; $z_{i,j}^k$ – j -я подзадача k -го уровня i -й задачи.

В соответствии с теорией иерархических систем задачи верхнего и нижнего уровней имеют следующие связи:

– информационную: передаются результаты решения нижестоящих задач вышестоящим (стрелка вверх, см. рис. 1);

– координирующую: информация, передающаяся от вышестоящей задачи нижестоящей (стрелка вниз, см. рис. 1).

На верхнем уровне решается задача расчета числа и определяющих размеров оборудования каждой стадии ХТС $z_{0,1}^1$ (рабочие объемы, поверхности), позволяющие обеспечить заданную производительность по каждому выпускаемому продукту с минимальными затратами. *Исходные данные* для решения задачи: перечень выпускаемых продуктов; объем выпуска каждого продукта; период выпуска всех продуктов; перечень стадий (основных аппаратов ХТС); перечень стадий (аппаратов), используемых для выпуска каждого продукта и др.

Требуется найти: определяющие геометрические размеры (рабочие объемы, поверхности) основных аппаратов каждой стадии; число основных аппаратов на каждой стадии; размеры партий готового продукта; время начала и окончания обработки каждой партии продукта на каждой стадии. Критерием оптимизации являются капитальные и эксплуатационные затраты для выпуска всех продуктов. В основе математической модели, содержащей ограничения на искомые параметры, лежат алгебраические уравнения [7 – 9], решение которых не требует больших затрат времени.

Получаемое решение можно считать лишь условно оптимальным, так как капитальные и эксплуатационные затраты ХТС являются суммой капитальных и эксплуатационных затрат каждой стадии по каждому продукту. Не имея конструкции каждого отдельно взятого аппарата стадии и его технологических характеристик, данные затраты можно посчитать лишь по обобщенным удельным показателям – расходу электроэнергии, тепла, холода, необходимых для выпуска одного килограмма готового продукта в аппарате заданного типа [7 – 9]. Естественно, что говорить в данном случае можно лишь о первом приближении решения задачи расчета числа и определяющих размеров оборудования ХТС.

Низкие затраты времени решения задачи $z_{0,1}^1$ (расчет числа и определяющих размеров оборудования ХТС) обусловлены снижением точности расчета, а следовательно найденные параметры не являются оптимальными.

Повысить точность решения задачи $z_{0,1}^1$ можно за счет расчета капитальных и эксплуатационных затрат каждой стадии ХТС, для чего необходимо знать конструктивные и технологические параметры оборудования, позволяющие осуществлять технологические процессы стадии. Данные параметры получают в результате решения задач разработки конструкции отдельных аппаратов стадии $z_{1,i}^2, i = \overline{1, I}$ (I – число стадий), представленные на уровне 2 и ниже (см. рис. 1).

Результат решения задач $z_{1,i}^2, i = \overline{1, I}$, комплект документов, необходимых для изготовления оборудования, а также технологические параметры его эксплуатации (температуры и расходы теплоносителей, скорости движения сред в рабочей зоне и др.).

При выпуске готовой продукции в МХП используют самые разнообразные процессы (химические превращения, фильтрование, сушку, выпаривание и др.). Естественно, что спектр типов оборудования, предназначенного для осуществления данных процессов, очень велик. Соответственно задачи $z_{1,i}^2, i = \overline{1, I}$, существенно отличаются друг от друга, так как направлены на разработку различного технологического оборудования (емкостного, фильтровального, сушильного и др.). Постановка и решение данных задач определены технологическими процессами, протекающими в ТО. Системный анализ процессов принятия решений при разработке ТО позволил выявить общие решаемые задачи, не зависящие от типа ТО, которые представлены на уровнях 3 – 11 (см. рис. 1).

В основе декомпозиции задач разработки ТО лежит разделение всех его элементов на основные и вспомогательные: основные элементы определяют рабочую зону ТО (геометрию и условия протекания процессов), вспомогательные элементы не влияют непосредственно на рабочую зону, но без них ТО не может функционировать. Например, для емкостного аппарата основные элементы: обечайка, днище (крышка), рубашка, мешалка; вспомогательные элементы: опоры, фланцы, люк, привод и др.

Конструктивные и режимные параметры ТО отдельных стадий должны обеспечить оптимальные условия протекания технологических процессов в данном оборудовании. Нахождение оптимальных конструктивных и режимных параметров осуществляется на уровне 5, в основе решения задач которого лежат тепломассообменные и гидродинамические расчеты процессов в ТО. Анализ задач на уровне 5 позволил сделать следующие выводы:

– для поиска оптимальных конструктивных и технологических параметров ТО необходимо использовать поля параметров протекающих в ТО и его элементах процессов (температур, скоростей, напряжений и др.);

– в зависимости от результатов решений задач на уровне тепломассообменных и гидродинамических расчетов (уровень 5) осуществляется возврат на верхний уровень (уровень 4) и новое решение задачи выбора типов основных элементов оборудования с учетом результатов, полученных на нижнем уровне (уровне 5);

– недостающие для решения задач данные, получаемые при решении задач более низкого уровня, в первом приближении задаются экспертом;

– первое решение задач на верхнем уровне не является окончательным и уточняется по мере решения задач более низкого уровня.

Получен итерационный процесс согласования решений локальных задач, который выполняется далеко не всегда из-за его большой трудоемкости, и, как следствие, длительного времени решения. В результате находится допустимое реше-

ние (возможно не оптимальное). Математические модели, позволяющие получить поля параметров процессов, протекающих в ТО и его элементах, включают в себя уравнения фундаментальных законов сохранения материи и энергии – сложные дифференциальные уравнения с частными производными в скалярной и векторной формах:

- для конвективного теплообмена – уравнение Фурье–Кирхгофа, по которому рассчитывают температурное поле в жидких и твердых телах;
- движения вязкой жидкости – уравнение Навье–Стокса, позволяющее получить поля скоростей;
- процессов диффузии – дифференциальное уравнение массопереноса;
- магнитного поля – уравнение Максвелла;
- напряженно-деформированного состояния объекта моделирования – уравнение Ламе, по которому рассчитывают поля перемещений и напряжений.

Наиболее точным методом для расчета полей параметров процессов, протекающих в рабочей зоне ТО, является метод конечных элементов, но данный метод имеет существенный недостаток – длительное время решения поставленных задач, на общедоступных компьютерах.

Вспомогательные элементы ТО разрабатывают на уровнях 7–9. Расчет их параметров должен осуществляться так же, как и основных, то есть:

- задача поиска параметров ставится в экстремальной форме;
- на искомые параметры накладываются ограничения, определяющие область их допустимых значений;
- составляются математические модели протекающих в них процессов;
- разрабатываются алгоритмы решений оптимизационной задачи и математической модели и т.д.

Такой подход к разработке вспомогательных элементов ТО в современных условиях невозможен из-за длительного времени решения оптимизационных задач, большого числа вспомогательных элементов, еще большего числа их параметров и взаимного влияния элементов друг на друга.

Вспомогательные элементы ТО, как правило, стандартные или типовые, и разработчик ТО принимает решение об их наличии и типах, опираясь на нормативные документы, свой собственный опыт, опыт коллег, рекомендации справочной литературы. Параметры стандартных или типовых элементов представлены в таблицах типоразмеров [10].

Проведенный анализ процессов принятия решений при разработке вспомогательных элементов ТО позволяет сделать вывод, что задачи расчета вспомогательных элементов сводятся к разрешению условий вида «Если ..., то ...». Подобные условия представляют собой правила (продукции) и являются способом хранения знаний предметной области [10]. Они могут опираться на результаты научных исследований или предшествующий положительный опыт их применения, а также содержаться в технической литературе, справочниках или стандартах и носить рекомендательный или обязательный характер. Таким образом, принципиальным отличием задач, решаемых при разработке вспомогательных элементов (уровни 7–9), от задач уровня 5 (расчет основных конструктивных и режимных параметров ТО), является использование для их решений знаний предметной области, представленных правилами вида «Если ..., то ...».

На уровне 5 используются математические модели, описывающие физико-химические процессы, протекающие в рабочей зоне ТО, и связывающие параметры процессов с параметрами ТО. Правила вида «Если ..., то ...», используемые при решении задач на уровнях 7–9, также связывают между собой параметры процессов в ТО и параметры его элементов, например, «Если температура в емко-

стном аппарате от минус 40 до 300° С и давление менее 2 МПа, то фланец аппарата – плоский приварной». Кроме того, правила связывают параметры элементов между собой. Например «Если диаметр аппарата равен ..., то диаметр фланца равен ...». Учитывая сказанное, отметим, что процессы принятия решений при разработке ТО на уровнях 7–9 осуществляются с помощью онтологии предметной области или с помощью информационной модели ТО, понимая под информационной моделью формальный и ограниченный набор фактов, понятий или инструкций, предназначенный для удовлетворения конкретному требованию (ИСО 10303-1–1994, статья 3.2.21), а именно:

- конкретное требование – разработка ТО;
- понятия – температура, давление, фланец, обечайка, диаметр, объем, толщина;
- факты – температура 150 °С, давление 1 МПа;
- инструкции «Если температура равна ... и давление равно ..., то тип фланца ...», «Если диаметр аппарата равен ..., то диаметр фланца равен ...».

Отличие ИО СППР на уровнях 7–9 от ИО СППР на уровнях 1 и 5 заключается в том, что в его основе лежат не справочники данных, как на уровнях 1 и 5, а информационная модель ТО, содержащая знания предметной области, которая фактически заменяет математическую модель. Информационное обеспечение в виде справочников не позволяет получать решение задач разработки ТО и носит вспомогательный характер. Однако ИО СППР, содержащее информационную модель, опирающуюся на знания предметной области, позволяет получать решения задач и поэтому играет не вспомогательную, а основную роль при разработке ТО.

Так же как и при расчете основных элементов, время получения решения играет определяющую роль и при расчете вспомогательных элементов. Информационное обеспечение СППР, используемое в настоящее время на данных уровнях, как правило, представляет собой справочники типоразмеров. Режим работы с данными системами следующий. Разработчик задает тип элемента, отрывает справочник и, используя навигационное меню, находит необходимую таблицу размеров элементов; в ней по определяющим (основным) параметрам элемента находит строку, которая содержит информацию об искомом элементе. То есть на уровнях 7–9 разработчик ТО практически «роется» в компьютере для получения необходимой информации, что, естественно, требует затрат времени. Подобная технология использования ИО СППР отчасти является причиной многочисленности сотрудников отделов организаций, занимающихся разработкой ТО.

На основании сказанного можно сделать вывод, что основным требованием, предъявляемым к ИО СППР при разработке ТО, является сокращение времени принятия решения, которое складывается:

- из времени работы компьютера при решении задачи;
- времени, которое затрачивает сам разработчик ТО на ввод и поиск информации.

Само ИО СППР, так же как и ТО, требует разработки и изготовления. При этом время и затраты на эту разработку должны минимизироваться.

Таким образом, ИО СППР при разработке ТО должно удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечение хранения, поддержки и обработки информационной модели ТО, содержащей знания предметной области и позволяющей принимать решения с минимальным участием разработчика, за счет чего сокращается время разработки ТО;
- максимально быстрому проведению поддержки и обработки информационной модели;
- обеспечение минимальных времени и затрат на создание ИО СППР.

На основании проведенного анализа процессов принятия решений при разработке ТО осуществлена декомпозиция глобальной задачи его разработки на ряд локальных, разбитых по уровням, задач. Выявлено, что основным сдерживающим фактором при разработке ТО, вне зависимости от уровня решаемой задачи, является длительное время получения результатов на общедоступных компьютерах. На верхних уровнях иерархии задач разработки ТО при расчете оптимальных конструктивных и режимных параметров ИО СППР выполняет вспомогательную роль; основную роль играют математические модели, описывающие массообменные, тепловые и гидродинамические процессы в рабочей зоне ТО. При решении задач нижних уровней, на которых разрабатываются вспомогательные элементы, используются информационные модели, содержащие знания предметной области, что позволяет принимать решения с минимальным участием разработчика, где ИО СППР играет решающую роль.

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

Список литературы

1. Malygin, E. N. Technical Equipment Configuration and Functioning Mode Optimizing for Chemical-Engineering Systems of Multi-Product Plants / E. N. Malygin, S. V. Karpushkin, M. N. Krasnyanskiy, A. V. Ostroukh // American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences. – 2015. – Vol. 15, No. 3. – P. 447 – 453. doi: 10.5829/idosi.aejaes.2015.15.3.12559
2. Малыгин, Е. Н. Методология автоматизированного проектирования технических систем с изменяемым ассортиментом выпускаемой продукции / Е. Н. Малыгин, С. В. Карпушкин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2008. – Т. 14, № 4. – С. 778 – 788.
3. Борисенко, А. Б. Иерархия задач аппаратурного оформления технологических систем многоассортиментных химических производств / А. Б. Борисенко, С. В. Карпушкин // Изв. Рос. акад. наук. Теория и системы управления. – 2014. – № 3. – С. 113 – 123.
4. Новый подход к оптимальному проектированию промышленных аппаратов химической технологии / Д. С. Дворецкий [и др.] // Теоретические основы химической технологии. – 2012. – Т. 46, № 5. – С. 501 – 510.
5. Новые подходы к интегрированному синтезу гибких автоматизированных химико-технологических систем / Д. С. Дворецкий [и др.] // Теоретические основы химической технологии. – 2010. – Т. 44, № 1. – С. 69 – 77.
6. Островский, Г. М. Проектирование оптимальных химико-технологических систем в условиях неопределенности // Г. М. Островский, Т. В. Лаптева, Н. Н. Зиядинов // Теоретические основы химической технологии. – 2014. – Т. 48, № 5. – С. 527 – 537.
7. Карпушкин, С. В. Выбор основной аппаратуры для оснащения технологических систем многоассортиментных химических производств // С. В. Карпушкин, В. И. Зацепина, Е. П. Зацепин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2012. – Т. 18, № 3. – С. 552 – 557.
8. Малыгин, Е. Н. Выбор вспомогательного технологического оборудования многоассортиментных химических производств / Е. Н. Малыгин, С. В. Карпушкин, П. Г. Михайлова // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2011. – Т. 17, № 2. – С. 483 – 487.
9. Система автоматизированного расчета и конструирования химического оборудования / Е. Н. Малыгин [и др.] // Информационные технологии. – 2000. – № 12. – С. 19 – 21.
10. Гаврилова, Т. А. Инженерия знаний. Модели и методы / Т. А. Гаврилова, Д. В. Кудрявцев, Д. И. Муромцев. – СПб. : Лань, 2016. – 324 с.

System Analysis of Decision-Making Processes in the Development of Process Equipment

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: information support; automated development; technological equipment; decomposition.

Abstract: The paper presents the decomposition of the problem of the development of process equipment (PE), which is based on division of the PE elements into main and auxiliary ones. The main elements determine the working area of the PE and the conditions of the processes in it. The auxiliary elements (flanges, supports, etc.) do not directly affect the working area, but the operation of the PE is impossible without them. It was found that the main hindrance to solving the problems of the PE development is the duration of the decision process. At the upper levels of decomposition, mathematical models are used that describe processes in the work area of the PE; at the lower levels, the information models are used, which are based on the product knowledge of the subject area of the “If ..., that ...” type.

References

1. Malygin E.N., Karpushkin S.V., Krasnyanskiy M.N., Ostroukh A.V., Technical Equipment Configuration and Functioning Mode Optimizing for Chemical-Engineering Systems of Multi-Product Plants, *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 2015, vol. 15, no. 3, pp. 447-453.
2. Malygin E.N., Karpushkin S.V. [Methodology of automated design of technical systems with a variable range of products], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2008, vol. 14, no. 4, pp. 778-788. (In Russ., abstract in Eng.)
3. Borisenko A.B., Karpushkin S.V. [The hierarchy of tasks of hardware design of technological systems of multi-assortment chemical plants], *Izv. Ros. akad. nauk. Teoriya i sistemy upravleniya* [Izv. Ros. acad. sciences. Theory and control systems], 2014, no. 3, pp. 113-123. (In Russ.)
4. Dvoretiskii D.S., Dvoretiskii S.I., Ostrovskii G.M., Polyakov B.B. [A new approach to the optimal design of industrial devices for chemical technology], *Teoreticheskie osnovy khimicheskoi tekhnologii* [Theoretical basis of chemical technology], 2012, vol. 46, no. 5, pp. 501-510. (In Russ.)
5. Dvoretiskii D.S., Dvoretiskii S.I., Mishchenko S.V., Ostrovskii G.M. [Designing optimal chemical-technological systems in conditions of uncertainty], *Teoreticheskie osnovy khimicheskoi tekhnologii* [Theoretical basis of chemical technology], 2010, vol. 44, no. 1, pp. 69-77. (In Russ.)
6. Ostrovskii G.M., Lapteva T.V., Ziyatdinov N.N. [Designing optimal chemical-technological systems in conditions of uncertainty], *Teoreticheskie osnovy khimicheskoi tekhnologii* [Theoretical basis of chemical technology], 2014, vol. 48, no. 5, pp. 527-537. (In Russ.)
7. Karpushkin S.V., Zatsepina V.I., Zatsepin E.P. [The choice of basic equipment for equipping technological systems of multi-assortment chemical plants], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2012, vol. 18, no. 3, pp. 552-557. (In Russ., abstract in Eng.)
8. Malygin E.N., Karpushkin S.V., Mikhailova P.G. [Selection of auxiliary technological equipment for multi-assortment chemical plants], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2011, vol. 17, no. 2, pp. 483-487. (In Russ., abstract in Eng.)

9. 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 Technology], 2000, no. 12, pp. 19-21. (In Russ.)

10. Gavrilova T.A., Kudryavtsev D.V., Muromtsev D.I., *Inzheneriya znanii. Modeli i metody* [Knowledge engineering. Models and methods], St. Petersburg: Lan', 2016, 324 p. (In Russ.)

Systemanalyse der Entscheidungsverfahren zur Entwicklung der technologischen Ausrüstung

Zusammenfassung: Es ist die Zersetzung des Problems der Entwicklung der technologischen Ausrüstung (TA) vorgestellt, die auf der Teilung der TA-Elemente in Haupt- und Hilfsmittel beruht. Die Hauptelemente bestimmen den Arbeitsbereich der TA und die Bedingungen des Verlaufs der Prozesse darin. Hilfelemente (Flansche, Stützen usw.) wirken sich nicht direkt auf den Arbeitsbereich aus, aber ohne sie ist die Wartung der TA nicht möglich. Es ist festgestellt, dass die Hauptabschreckung zur Lösung der Probleme der Entwicklung der TA die Dauer des Entscheidungsprozesses ist, dass in den oberen Zerlegungsstufen mathematische Modelle verwendet werden, die Prozesse im Arbeitsbereich der TA beschreiben, dass auf den unteren Ebenen Informationsmodelle verwendet werden, die auf dem Produktwissen des Themenbereichs des Formulars "If ..., Then ..." ("Wenn ... Dann...") basieren.

Analyse systémique du processus de la prise des décisions lors de l'élaboration de l'équipement technologique

Résumé: Est présentée la décomposition du problème de l'élaboration de l'équipement technologique (ET), qui repose sur la séparation des éléments ET sur les éléments principaux et ceux auxiliaires. Les éléments principaux définissent l'espace de travail ET et les conditions du déroulement des processus. Les éléments auxiliaires (brides, supports, etc.) n'affectent pas directement le domaine de travail, mais sans eux, le fonctionnement est impossible. Est constaté que l'obstacle majeur à la solution du problème de l'élaboration de ET est la durée du processus de la prise des décisions; sur les hauts niveaux de la décomposition on utilise les modèles mathématiques qui décrivent le processus dans la zone de travail; sur les niveaux inférieurs sont utilisés les modèles d'information, fondées sur les connaissances de production du domaine de type «Si ..., Alors ...».

Авторы: *Мокрозуб Владимир Григорьевич* – кандидат технических наук, 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 ТамбовЦНИТ, ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.