

**СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ
СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ
ТЕПЛО- И МАССООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**Е. Н. Малыгин¹, М. Н. Краснянский¹,
Е. Н. Туголуков², С. Ю. Алексеев³**

*Кафедры: «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении» (1),
«Техника и технологии производства нанопроductов» (2),
управление фундаментальных и прикладных исследований (3),
sergei.alexeev-dt@yandex.ru; ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия*

Ключевые слова: аналитические решения систем дифференциальных уравнений в частных производных; режимы функционирования тепло- и массообменного оборудования; система поддержки принятия решений.

Аннотация: Рассмотрен метод структурно-параметрического синтеза системы поддержки принятия решений, обеспечивающей расчет режимов функционирования тепло- и массообменного оборудования. Сформулирована структура связей системы поддержки принятия решений с системой поиска оптимальных конструктивных и режимных характеристик тепло- и массообменного оборудования. Определены основные функции системы поддержки принятия решений и сформулирована задача ее структурно-параметрического синтеза. Показано, что задача может быть решена при использовании аналитических решений систем дифференциальных уравнений в частных производных, вследствие чего появляется возможность синтеза системы поддержки принятия решений в терминах системных связей и закономерностей функционирования тепло- и массообменного оборудования.

Введение

В основе решений, принимаемых в настоящее время при эксплуатации и проектировании технологического оборудования, лежит разработка методов постановки и решения оптимизационных задач для определения конструктивных и режимных параметров технологического оборудования, соответствующих современным требованиям, на основе новейших научных достижений и использования возможностей вычислительной техники. Основные типы таких задач, где информация о режимах функционирования определяет результаты их решения, перечислены в работе [1]:

- определение размеров партий продуктов для периодических производств;
- выбор конструкций основного и вспомогательного производственного оборудования;

- определение режимов функционирования основного и вспомогательного производственного оборудования;
- нахождение вариантов размещения оборудования и трассировки коммуникаций;
- разработка систем контроля и управления производством.

Отдельным типом задач, где не требуются решения задач оптимизации, но в которых информация о режимах функционирования технологического оборудования, определяющих условия протекания в нем целевых и побочных процессов, имеет ключевое значение, является класс задач обеспечения функций дополненной реальности. Развитие средств и методов компьютерной графики, увеличение общей производительности компьютерных систем расширяет сферу присутствия технологий виртуальной/дополненной реальности в промышленности и повседневной жизни. Системы виртуальной/дополненной реальности – это почти всегда системы с обратной связью, которые сами управляют или управляются событиями внешнего мира. Использование в них результатов компьютерного моделирования позволяет расширить спектр предоставляемой пользователю информации о протекающих процессах в объектах предметной области, с которыми он работает. В этом случае, реализация компьютерного моделирования для систем виртуальной/дополненной реальности предполагает получение результатов в режиме реального времени. В зависимости от нормального функционирования системы компьютерного моделирования и точности получаемого результата оказывается большое количество людей и процессов. Отказ таких систем может привести к значительным экономическим потерям, авариям или создать угрозу человеческой жизни.

Для решения перечисленных выше задач может требоваться решение дополнительных задач:

- получение первичной информации о ходе технологического процесса и ее обработка, включая проверку достоверности;
- выработка комплексной оценки текущего состояния процесса;
- определение качества продукта по его теплофизическим характеристикам на основе решения обратной задачи теплопроводности;
- распознавание ситуации, требующей прогнозирования;
- выработка прогноза по результатам моделирования, выдача рекомендаций оператору либо запуск программы безаварийной остановки;
- определение адекватных управляющих воздействий и контроль их выполнения.

Описание проблемы

Особенность перечисленных задач, как основных, так и дополнительных, объединяет общая специфика – необходимость многократного решения задачи определения типов и конструкций единиц технологического оборудования, а также режимов их функционирования. Получение каждого варианта является сложной инженерной задачей, и ее стоимость может внести существенный вклад в стоимость решения общей задачи при проектировании или эксплуатации технологического оборудования.

В работе [1] показано, что варианты конструктивных и режимных характеристик технологического оборудования могут быть получены лишь на основе расчетов, определяющих условия протекания в нем целевых и побочных процессов. Расчеты выполняются на основе фундаментальных знаний о кинетических закономерностях технологических процессов, протекающих в технологическом оборудовании или предусмотренных технологическим регламентом. Важное значение при этом имеет системный подход, заключающийся в комплексном расчете характеристик процессов, протекающих в технологическом оборудовании, с учетом их взаимного влияния [1].

Наиболее полное представление о закономерностях протекающих процессов и их особенностях может быть получено (кроме прямых измерений) на основе расчета полей ключевых параметров, значения которых определяются решениями дифференциальных уравнений, реализующих фундаментальные законы сохранения энергии или вещества [1]. Преимущества моделирования тепло- и массообменного оборудования на основе полей ключевых параметров следующие:

- расчеты стационарных, квазистационарных, нестационарных, периодических и переходных процессов могут выполняться по унифицированным методикам;
- поля определяющих параметров могут быть рассчитаны как для отдельных единиц оборудования, так и для групп совместно работающих аппаратов;
- возможен учет локальных значений характеристик исследуемых процессов;
- при известных полях определяющих параметров возможен расчет всех остальных параметров процессов, таких как потоки, градиенты, амплитуды, интегральные характеристики определяющих параметров.

При этом расчет нестационарных и квазистационарных процессов, как правило, является одной из самых сложных задач, возникающих при разработке аппаратурного оформления химического производства. При этом необходимая исходная информация имеется далеко не всегда. Кроме того, существующие методики расчета нестационарных процессов, как правило, являются упрощенными и оценочными [1].

Интенсивное развитие компьютерной техники определило огромные успехи и популярность численных методов. Для них характерна очень тесная связь между решением математической задачи и его компьютерной реализацией. Альтернативой численным методам, в соответствии с классификацией, представленной в работе [2], являются аналитические. Познавательные преимущества и надежность аналитических методов предопределили их предпочтительное применение в большинстве физических исследований по тепло- и массопереносу везде, где они доступны. При этом их прикладное использование затруднено сложностями, связанными с их программной реализацией, а именно с четким разделением процессов получения решений математических задач и их программной реализации.

Решение проблемы

Обоснованное принятие решения в перечисленных задачах требует от лица, принимающего решение на основе количественного анализа режимных характеристик технологического оборудования, большой ответственности. Ввиду того, что расчет закономерностей течения процессов в технологическом оборудовании на основе полей определяющих параметров является сложной задачей, ее целесообразно рассматривать как самостоятельную, обеспечивающую поддержку принятия решений в системе принятия решений, при определении оптимальных конструктивных и режимных характеристик технологического оборудования.

Таким образом, рассмотрение задач получения вариантов технологического оборудования с определенными конструктивными и режимными характеристиками и определения оптимального варианта, как единого целого, повышает сложность решаемой общей задачи и снижает надежность процесса получения решения. С точки зрения структуры задачи, в ней появляется большое количество перекрестных ссылок и взаимных зависимостей между элементами.

Разделение данной системы на две позволяет сократить структурную сложность общей системы принятия решений, обеспечивающей поиск оптимальных конструктивных и режимных характеристик технологического оборудования. Разделение возможно при определении для системы поддержки принятия решений набора входных данных для расчета каждого варианта в рамках процесса принятия решений и требований к выходным данным, которые система поддер-

ки принятия решений возвращает системе принятия решений. Структура связей между системами принятия решений и поддержки принятия решений представлена на рис. 1.

Дополнительные достоинства, кроме снижения сложности решаемой задачи, заключаются в наглядности промежуточных результатов, а также в возможности реализации разнообразных оптимизационных алгоритмов, решения отдельно взятой локальной производственной задачи, обновления и добавления локальных алгоритмов, уточнения взаимосвязей между ними. При отдельном рассмотрении система поддержки принятия решений является необходимым инструментом разработчика, являющегося лицом, принимающим решение.

Основной функцией системы поддержки принятия решений [3 – 6] является расчет режимов функционирования тепло- и массообменного оборудования и предоставление в систему принятия решений полученной информации о режимах его функционирования. Исходными данными для функционирования системы поддержки принятия решений является множество векторов конструктивных и режимных параметров, предоставляемое системой принятия решения; для процесса структурно-параметрического синтеза системы поддержки принятия решений – определяемые системой принятия решений требования к количеству и точности информации о режимных и конструктивных параметрах технологического оборудования, которую система поддержки принятия решений должна получить и предоставить системе принятия решений. Содержание математического обеспечения системы поддержки принятия решений определяется требованиями, предъявляемыми системой принятия решений в виде количества рассчитываемой информации, ее точности и времени получения результата.

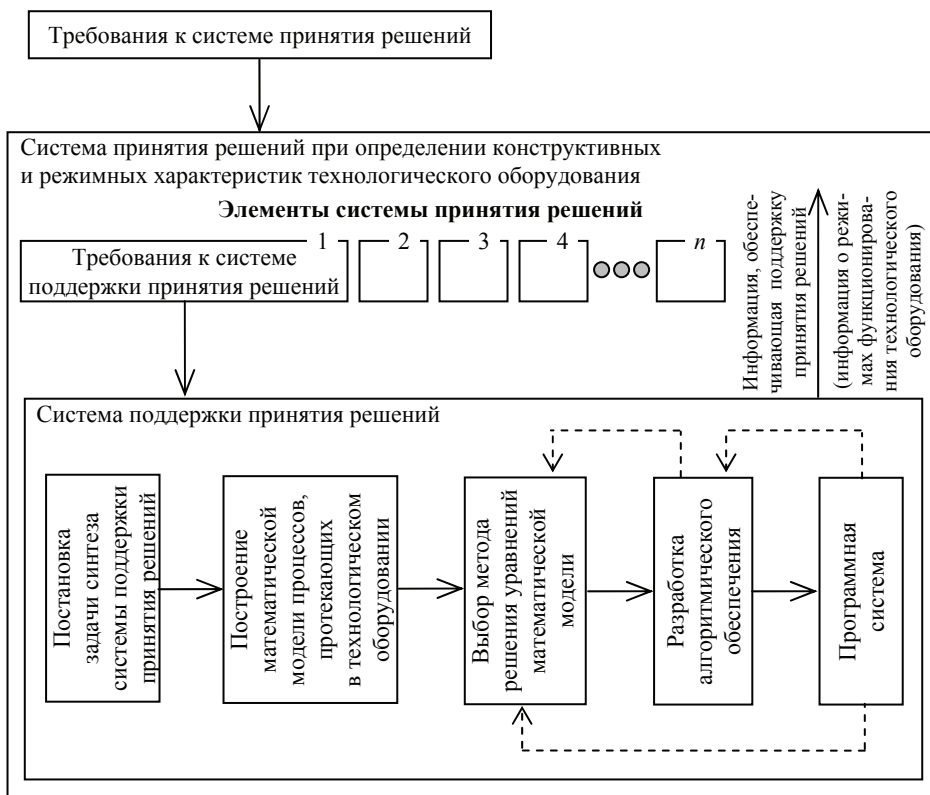


Рис. 1. Структура связей системы поддержки принятия решений и системы принятия решений

Программная система (см. рис. 1), реализующая алгоритмы решения уравнений математической модели и расчета по заранее известным математическим зависимостям количественных характеристик функционирования тепло- и массообменного оборудования рассматривается как компьютерная модель. Качество решения задачи компьютерного моделирования обеспечивается постановкой и решением математической задачи, а затем программной реализацией алгоритмов поиска решения и его использования. Современное программное обеспечение, моделирующее работу технических систем и функционирующее на цифровой вычислительной технике, всегда в том или ином виде реализует алгоритмы решения уравнений математических моделей. В литературе его функционирование определяется как выполнение действий с математически формализованной задачей для улучшения анализа поведения технических систем и оценки стратегий их функционирования в описательном или прогнозирующем режимах [7, 8].

Специфика функционирования системы поддержки принятия решений обусловлена необходимостью многократного выполнения расчетов с количественной оценкой каждого варианта при определении оптимальных конструктивных и режимных характеристик технологического оборудования. При этом структура математического обеспечения определяется требованиями, предъявляемыми к системе поддержки принятия решений. Учет специфики функционирования системы поддержки принятия решений, обусловленную необходимостью многократного выполнения расчетов и передачей результатов системе принятия решения, в данном случае возможно в области ее алгоритмического и информационного обеспечения, а также при их программной реализации.

Общим для всех современных методов архитектурного проектирования программных систем является то, что они предусматривают декомпозицию отдельных программных элементов или фрагментов исходного кода. Почти все существующие методы разработки рассматривают программное обеспечение как систему, то есть совокупность взаимодействующих программных элементов, работающих совместно для достижения определенных целей.

Два вышеперечисленных фактора определяют форму постановки задачи структурно-параметрического синтеза системы поддержки принятия решений. Она формулируется для конкретного набора требований, предъявляемых к системе поддержки принятия решений, следующим образом:

– необходимо найти такие множества элементов системы поддержки принятия решений $\{E_i\}$, связей между элементами $\{L_j(E_j^s, E_j^e)\}$, алгоритмов функционирования $\{A_m\}_i$, для каждого элемента E_i , алгоритмов обмена информацией $\{M_j\}$ для связей $L_j(E_j^s, E_j^e)$, типов информационных сообщений $\{T_l\}_j$, передаваемых по каждой связи, при которых

$$\arg \min \tau(\{E_i\}, \{L_j(E_j^s, E_j^e)\}, \{\{A_k\}_i\}, \{M_i\}, \{\{T_l\}_i\}), \quad (1)$$

при ограничениях на количество информации, предоставляемой системе принятия решений,

$$\{P_1, \dots, P_r\}_{\text{расч}} = \{P_1, \dots, P_r\}_{\text{тр}} \quad (2)$$

и на точность

$$\{\varepsilon(P_s), \varepsilon_{\text{тр}}^s\}, s \in (1, \dots, r) \quad (3)$$

получаемой информации, а также:

$$A \in (\{A_a\}, \{A_p\}, \{A_r\}), E \in (\{E_t\}, \{E_m\}, \{E_s\});$$

$$L \in (\{L_t\}, \{L_m\}, \{L_p\}, \{L_d\}), T \in (\{T_t\}, \{T_m\}, \{T_s\}),$$

где τ – время выполнения расчетов; $\{A_a\}, \{A_p\}, \{A_r\}$ – множества алгоритмов решения систем дифференциальных уравнений в частных производных, параллельного и реактивного функционирования элементов системы поддержки принятия решений соответственно; $\{E_t\}, \{E_m\}, \{E_s\}$ – множества типов элементов, обеспечивающих представление возможных состояний элементов тепло- и массообменного оборудования, математических операторов, используемых для расчета полей ключевых характеристик, множество типов элементов, обеспечивающих целостность программной системы, соответственно; $L \in (\{L_t\}, \{L_m\}, \{L_p\}, \{L_d\})$ – множества связей между элементами, обеспечивающих передачу информации о состоянии элементов тепло- и массообменного оборудования, математических операторов, используемых для расчета полей ключевых характеристик, множества связей, обеспечивающих параллелизм вычислений и возможность функционирования системы поддержки принятия решений на основе распределенных вычислительных архитектур, соответственно; $\{M_p\}, \{M_d\}$ – множества алгоритмов обмена информацией между элементами, обеспечивающих возможность параллельных и распределенных вычислений соответственно; $\{T_t\}, \{T_m\}, \{T_s\}$ – множество типов информационных сообщений, циркулирующих в системе поддержки принятия решений, обеспечивающих передачу состояний элементов тепло- и массообменного оборудования, математических операторов, используемых для расчета полей ключевых характеристик, информации, обеспечивающей функционирование программной системы; E^s, E^e – элементы, между которыми проложена связь $\{L_j(E_j^s, E_j^e)\}$; $\{P_1, \dots, P_r\}_{\text{расч}}, \{P_1, \dots, P_r\}_{\text{тр}}$ – множества рассчитываемых параметров и параметров, определенных требованиями к расчету соответственно; $\varepsilon(P_s)$ – точность для s -го рассчитываемого параметра; $\varepsilon_{\text{тр}}^s$ – требования к точности для s -го параметра; r – количество рассчитываемых параметров.

Решение данной задачи может быть выполнено при использовании аналитических методов решения систем уравнений математических моделей тепло- и массообменного оборудования. В этом случае оно представляется как совокупность элементов канонической формы и контактирующих с ними фрагментов потоков жидкости. Для каждого элемента конструируется локальная задача моделирования, включающая одномерные уравнения переноса тепла или массы жидкостью, движущейся в режиме идеального вытеснения, и многомерные уравнения тепло- или массопереноса для элементов оборудования. Представление на основе взаимосвязанных элементов канонической формы, в объемах которых располагаются фрагменты потоков жидкости, может быть выполнено для кожухотрубчатых и колонных аппаратов, емкостного и ленточного оборудования, а также для их разновидностей.

Такая точка зрения на тепло- и массообменное оборудование определяет его как техническую систему и позволяет выполнить структурно-параметрический синтез системы поддержки принятия решений в терминах системных связей и закономерностей функционирования ее элементов. Проведенный анализ структуры и временных диаграмм функционирования элементов технической системы показал, что данные элементы:

- представляют собой законченные конструктивные единицы или сборки, связанные между собой;
- оказывают влияние друг на друга, в результате чего меняются их состояние и свойства;
- могут функционировать одновременно (параллельно) или последовательно;
- их взаимодействие осуществляется без каких-либо ограничений на его время и порядок;
- обладают возможностью существовать независимо, вне контекста технической системы.

Использование в основе решения задачи (1) аналитических методов решения систем дифференциальных уравнений в частных производных позволяет определить такие же свойства для системы поддержки принятия решений. В этом случае система поддержки принятия решений имеет такое же количество подсистем, что и техническая, и такие же связи между своими подсистемами. Она состоит из элементов, имеющих аналоги в технической системе. Каждый элемент системы поддержки принятия решений представляет множество состояний соответствующего ему элемента технической системы, а структура информационных связей элементов системы поддержки принятия решений эквивалентна структуре связей элементов технической системы. Элементы системы поддержки принятия решений обеспечивают решение локальных задач математического моделирования процессов, протекающих в соответствующих элементах технической системы.

Такое соответствие основывается на методах системного анализа. Оно определяет множество допустимых вычислительных операций, составляющих основу функционирования системы поддержки принятия решений, их сложность, необходимые вычислительные ресурсы.

Структурное соответствие программной и технической систем позволяет определить единое правило представления их состояний. Для технической системы оно представляется как совокупности количественных и качественных характеристик процессов, протекающих в ее конструктивных элементах; характеристик самих конструктивных элементов и характеристик, описывающих взаимодействие элементов:

$$S = S_1(\{s_1^c, \dots, s_{a_1}^c\}, \{s_1^p, \dots, s_{b_1}^p\}), \dots, S_n(\{s_1^c, \dots, s_{a_n}^c\}, \{s_1^p, \dots, s_{b_n}^p\}),$$

$$\{I_1(i_1, \dots, i_{c_1}), \dots, I_m(i_1, \dots, i_{c_m})\},$$
(2)

где $S_i(\{s_1^c, \dots, s_{a_i}^c\}, \{s_1^p, \dots, s_{b_i}^p\})$ – состояние i -го вектора характеристик протекающих в нем процессов; n – число элементов в системе; $I_1(i_1, \dots, i_{c_1})$ – связь элементов системы; i_1, \dots, i_{c_1} – вектор характеристик взаимодействия для i -й связи; m – число связей элементов в системе, посредством которых элементы взаимодействуют.

Для системы поддержки принятия решений правило определяется аналогично и включает совокупность количественных и качественных характеристик процессов, конструктивных элементов технической системы, представляемых программными элементами, и совокупность характеристик, описывающих взаимодействие элементов. Выражение (2) при этом является справедливым как для технической, так и программной систем. Различие заключается только в том, что в технической системе процессы протекают, а в программной – представляется их течение.

Заключение

Представленный подход к структурно-параметрическому синтезу системы поддержки принятия решений не ограничен возможностями какого-либо одного метода или языка разработки и позволяет выразить в программной системе логику функционирования технических систем в терминах прикладной области. Его использование в прикладном плане обеспечивает возможность синтеза системы поддержки принятия решений специалистами в прикладной области, а не профессиональными разработчиками программного обеспечения, позволяет сократить затраты в процессе структурно-параметрического синтеза системы поддержки принятия решений и в процессе ее функционирования. Дальнейшее развитие методов формального представления соответствий системы поддержки принятия решений и технической системы определяет возможности создания структуры проблемно-ориентированного языка программирования, обеспечивающего повышение гибкости синтеза системы поддержки принятия решений при сокращении затрат на ее синтез, и развития методов автоматизированного синтеза системы поддержки принятия решений.

Список литературы

1. Туголуков, Е. Н. Математическое моделирование технологического оборудования многоассортиментных химических производств / Е. Н. Туголуков. – М. : Машиностроение-1, 2004. – 100 с.
2. Дильман, В. В. Методы модельных уравнений и аналогий в химической технологии / В. В. Дильман, А. Д. Полянин. – М. : Химия, 1988. – 304 с.
3. Новиков, А. М. Методология : словарь системы основных понятий / А. М. Новиков, Д. А. Новиков. – М. : Либроком, 2013. – 208 с.
4. Поспелов, Д. А. Прикладная семиотика и искусственный интеллект / Д. А. Поспелов // Программные продукты и системы. – 1996. – № 3. – С. 14 – 28.
5. Острейковский, В. А. Теоретико-множественное и динамическое описание систем : конспект лекций по курсу «Основы теории систем» / В. А. Острейковский. – Обнинск : Обнинский институт атомной энергетики, 1987. – 102 с.
6. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д. А. Поспелова. – М. : Наука; Физ., мат., лит., 1986. – 312 с.
7. Abar S. Agent Based Modelling and Simulation Tools : a Review of the State-of-Art Software / S. Abar [et al.] // Computer Science Review. – 2017. – Vol. 24. – P. 13 – 33.
8. Bandini, S. Agent Based Modeling and Simulation: an Informatics Perspective / S. Bandini, S. Manzoni, G. Vizzari // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. – 2009. – Vol. 12, No. 4. – P. 1 – 4.

Structural and Parametric Synthesis of a Decision Support System in the Design and Operation of Heat and Mass Transfer Equipment

E. N. Malygin¹, M. N. Krasnyansky¹,
E. N. Tugolukov², S. Yu. Alekseev³

*Departments of Computer-Integrated Systems in Mechanical Engineering (1),
Equipment and Manufacturing Technologies of Nanoproducts(2),
Department of Basic and Applied Research (3), sergei.alexeev-dt@yandex.ru;
TSTU, Tambov, Russia;*

Keywords: analytical solutions of systems of partial differential equations; modes of functioning of heat and mass transfer equipment; decision support system.

Abstract: The method of structural and parametric synthesis of a decision support system, which provides the calculation of the functioning modes of heat and mass transfer equipment, is considered. The structure of relations of the decision support system with the search system for the optimal design and operational characteristics of heat and mass transfer equipment is formulated. The main functions of the decision support system are identified and the problem of its structural and parametric synthesis is formulated. It is shown that the problem can be solved by using analytical solutions of systems of differential equations in partial derivatives, as a result of which it becomes possible to synthesize a decision support system in terms of system connections and patterns of functioning of heat and mass transfer equipment.

References

1. Tugolukov Ye.N. *Matematicheskoye modelirovaniye tekhnologicheskogo oborudovaniya mnogoassortimentnykh khimicheskikh proizvodstv* [Mathematical modeling of technological equipment of multi-assortment chemical plants], Moscow: «Izdatel'stvo Mashinostroyeniye-1», 2004, 100 p. (In Russ.)

2. Dil'man V.V., Polyanin A.D. *Metody model'nykh uravneniy i analogiy v khimicheskoy tekhnologii* [Methods of model equations and analogies in chemical technology], Moscow: Khimiya, 1988, 304 p. (In Russ.)

3. Novikov A.M., Novikov D.A. *Metodologiya: slovar' sistemy osnovnykh ponyatiy* [Methodology: a dictionary of a system of basic concepts], Moscow: Librokom, 2013, 208 p. (In Russ.)

4. Pospelov D.A. [Applied Semiotics and Artificial Intelligence], *Programmnyye produkty i sistemy* [Software products and systems], 1996, no. 3, pp. 14-28. (In Russ.)

5. Ostreykovskiy V.A. *Teoretiko-mnozhestvenoye i dinamicheskoye opisaniye sistem: konspekt lektsiy po kursu «Osnovy teorii sistem»* [Set-theoretic and dynamic description of systems: lecture notes on the course "Fundamentals of Systems Theory"], Obninsk: Obninskiy institut atomnoy energetiki, 1987, 102 p. (In Russ.)

6. Pospelov D.A. [Ed.] *Nechetkiye mnozhestva v modelyakh upravleniya i iskusstvennogo intellekta* [Fuzzy sets in control models and artificial intelligence], Moscow: Nauka. Fiz., mat., lit., 1986, 312 p. (In Russ.)

7. Abar S., Theodoropoulos G.K., Lemarinier P., O'Hare G. Agent Based Modelling and Simulation Tools: a Review of the State-of-Art Software, *Computer Science Review*, 2017, vol. 24, pp. 13-33.

8. Bandini S., Manzoni S., Vizzari G. Agent Based Modeling and Simulation: an Informatics Perspective, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2009, vol. 12, no. 4, pp. 1-4.

Strukturell-parametrische Synthese der Entscheidungsunterstützungssysteme bei der Konstruktion und dem Betrieb der Wärme- und Stoffaustauschgeräte

Zusammenfassung: Es ist die Methode der strukturell-parametrischen Synthese der Entscheidungsunterstützung, die die Berechnung der Betriebsarten der Wärme- und Massenaustausch-Ausrüstung ermöglicht, betrachtet. Die Struktur der Verbindungen des Entscheidungsunterstützungssystems mit dem Suchsystem für die optimalen Konstruktions- und Betriebsparameter von Wärme- und Massenaustausch-Ausrüstungen ist formuliert. Die Hauptfunktionen des Entscheidungsunterstützungssystems sind identifiziert und die Aufgabe seiner

strukturell-parametrischen Synthese ist formuliert. Es ist gezeigt, dass das Problem durch analytische Lösungen der partiellen Differentialgleichungssystemen gelöst werden kann, wodurch es möglich wird, ein Entscheidungsunterstützungssystem in Bezug auf Systemverbindungen und Funktionsmuster von Wärme- und Stofftransfereinrichtungen zu synthetisieren.

Synthèse structurale et paramétrique d'un système d'aide des décisions lors de la conception et de l'exploitation d'équipements d'échange de chaleur et de masse

Résumé: Est examinée la méthode de la synthèse structurale et paramétrique d'un système d'aide des décisions permettant de calculer les modes du fonctionnement des équipements d'échange de chaleur et de masse. Est formulée la structure des liens entre le système d'aide des décisions et le système de la recherche des caractéristiques de la conception et de son fonctionnement optimales de l'équipement de chaleur et de masse. Sont définies les principales fonctions du système d'aide des décisions; est formulée la tâche de sa synthèse structurale et paramétrique. Il est démontré que le problème peut être résolu par l'utilisation des solutions analytiques des systèmes d'équations différentielles en dérivées partielles ce qui permet de synthétiser le système d'aide des décisions dans les termes des liaisons systémiques et des schémas du fonctionnement de l'équipement d'échange de chaleur et de masse.

Авторы: *Малыгин Евгений Николаевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»; *Краснянский Михаил Николаевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении», ректор ФГБОУ ВО «ТГТУ»; *Туголуков Евгений Николаевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Техника и технологии производства нанопроductов»; *Алексеев Сергей Юрьевич* – кандидат технических наук, научный сотрудник управления фундаментальных и прикладных исследований, ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

Рецензент: *Литовка Юрий Владимирович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Системы автоматизированной поддержки принятия решений», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.