

В.В. Шевченко

(ФИЦ ИУ РАН, Москва)

О ВОЗМОЖНОСТЯХ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ РЕШЕНИЙ В ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ КОРПОРАЦИЯХ

Аннотация: Предлагается основанный на отечественных и зарубежных достижениях и оригинальных разработках подход к разработке опережающей достигнутый уровень СППР (системы поддержки принятия решений) в процессе проведения проектно-конструкторских работ в высокотехнологичных корпорациях. Описываются доступный инструментарий, концепция и эскизный проект такой СППР.

Ключевые слова: поддержка принятия решений, САПР, проектно-конструкторские решения, высокотехнологичные корпорации

1. Введение

К настоящему моменту в полной мере автоматизированы рутинные процедуры разработки конструкторской документации (системы Autocad, Компас, Siemens NX, Solid Works, Siemens Teamcenter, ...). Но возможности компьютерной поддержки проектно-конструкторских работ этим далеко не ограничены. Во всём мире активно проводятся исследования, направленные на разработку и внедрение методов и инструментов более глубокой поддержки принятия как организационных, так и проектно-конструкторских решений в области развития технологий. Весьма интересен опыт создания ЕТП - европейских технологических платформ (которых к настоящему моменту насчитывается более 40), предназначение которых – консолидация усилий европейских государств, промышленников, учёных и конструкторов с целью прорывного технологического

развития. В плане развития компьютерной поддержки конструирования как такового из этих платформ следует отметить (в скобках указан год появления):

ECTP - European Construction Technology Platform (2004). Платформа ориентирована на поддержку организационных и проектно-конструкторских решений в области архитектуры и строительства.

eMobility - Mobile and Wireless Communications (2004). Цель ТП состоит в определении и реализации исчерпывающего плана исследований в секторе мобильных и беспроводных устройств путём аккумулирования мирового опыта.

SusChem - European Technology Platform for Sustainable Chemistry (2004). ТП стремится поднять химию, биотехнологию и химические технические исследования, разработку и инновации на принципиально новый уровень.

ESTP - European Space Technology Platform (2005). ТП ставит целью усиление координации и планирования европейских исследований для развития конкурентоспособной и независимой технологической базы в области исследования космического пространства.

EUROP - European Robotics Technology Platform (2005). Европейская ТП по робототехнике, призванная обеспечить использование результатов исследований и разработок в производстве робототехники.

EPoSS - European Technology Platform on Smart Systems Integration (2006). EPoSS (Европейская технологическая платформа по интеграции интеллектуальных систем) инициирована промышленностью и определяет научно-исследовательские, опытно-конструкторские и инновационные нужды, а также политические требования, относящиеся к интеграции интеллектуальных систем и интегрированным микро- и наносистемам.

EuMaT - Advanced Engineering Materials and Technologies (2006). EuMaT – европейская ТП по эффективным материалам и технологиям.

SNETP - Sustainable Nuclear Energy Technology Platform (2007). ТП в области ядерной энергетики.

Обобщающий анализ работ в рассматриваемом направлении за рубежом можно найти в [1-2]. О состоянии дел в России в части компьютерной поддержки принятия опытно-конструкторских решений и организационных решений в области технического конструирования и внедрения его результатов можно судить, в частности, по соответствующим материалам ежегодной многопрофильной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» [3-6], многим другим публикациям [7-11]. При этом следует отметить, что в большинстве как отечественных, так и зарубежных работ внимание акцентируется преимущественно на организационно-экономическом аспекте процессов разработки и внедрения принципиально новых технических устройств. Вопросы компьютерной поддержки принятия главных решений конструкторского характера если и затрагиваются, то весьма осторожно и поверхностно. В качестве исключения можно назвать опыт разработки и использования САПР ЛА для КБ «Сухой», первая работоспособная версия которой была реализована в СССР в 1980-е годы. САПР ЛА разрабатывалась с целью поддержки конструирования летательных аппаратов, но принципы, положенные в её основу, вполне универсальны и могут использоваться при создании САПР всех без исключения новых технических устройств.

После согласования проведения работ в данном направлении П.О. Сухим и А.А. Дородницыным была сформулирована концепция проведения НИОКР [12-14]. Далее была выстроена иерархия задач проектирования [5], были разработаны оптимизационные модели для решения задач проектирования ЛА, реализован и сдан в эксплуатацию программный комплекс формирования облика летательных аппаратов [16-23]. В то же время в НИО-15 ЦАГИ создавались и активно использовались комплексы полунатурного моделирования динамики полёта, САПР БЦВМ, был разработан на базе оригинальной нелокальной двухточечной аэрогидродинамики [24] и успешно апробирован универсальный

программный пакет «МАГР» для аэрогидродинамических расчётов (Зарегистрирован в РосАПО, рег. № 930043, 1993 г.). По своим возможностям пакет «МАГР», по сей день, значительно опережает аналоги.

В свете сказанного, весьма актуальной является разработка СППР, опирающейся на имеющиеся наработки и существенно дополняющие их исследования, позволяющей на опережающим мировой уровне полноценно и всесторонне поддерживать процессы технического конструирования самых различных образцов технических устройств военного и гражданского, двойного назначения. При этом могут и должны использоваться, наряду с указанным выше, наработки имитационного моделирования [25], наиболее глубокие подходы к формализации неформализованных областей знаний, связанных с техническим конструированием [26-28]. Необходимой составляющей разработки новых технических устройств являются также оценки затрат, требующие моделирования производственно-экономических процессов [3-11,25,31].

Иерархический подход к структурированию (использованный, в частности, при создании САПР ЛА для КБ «Сухой») приложим к самым разнообразным системам - коммерческим предприятиям, комплексам вычислительных программ, социальному устройству, техническим устройствам и т.п. Общие принципы использования такого подхода разработаны и представлены в [29,30]. Объекты, принадлежащие каждому структурному уровню той или иной системы, могут рассматриваться и как системы, образованные из подсистем (объектов более низких уровней), и как подсистемы, входящие в состав некоторой системы (объекта более высокого уровня). Что в полной мере относится и к техническим устройствам, и к процессам их производства и реализации. Наибольшего успеха удаётся достигнуть при использовании целостных и взаимоувязанных системных моделей. При этом в системной модели концептуального характера должны быть увязаны главные потоки: материальные, информационные, финансовые. Создание системной модели

проходит этапы: содержательная, описательная (дескриптивная), формальная математическая, компьютерная. И имеет различные режимы использования.

2. Инструментарий

В работе [12] сформулирована концепция человеко-машинного взаимодействия в процессе «проектирования конкретных объектов (например, самолёта, морского судна, прокатного стана и т.п.)». О задаче создания САПР сказано как о задаче «создания алгоритма, включающего участие не алгоритмизуемого звена – человека, со всеми присущими ему ограничениями в обработке информации и неопределённостями процесса принятия им решения». Принята за основу предложенная П.С. Краснощёковым схема иерархической организации процесса проектирования самолёта (или другого изделия) и отвечающая ей декомпозиция.

Ставится задача многокритериальной оптимизации эксплуатационных характеристик $\Phi_j(x) \Rightarrow \max, j = 1, \dots, n, x \in X$ – вектор конструктивных параметров проектируемого изделия. САПР должен помочь построить множество Парето в этой задаче (в идеале, если это трудно – то или иное подмножество множества Парето), из которого главный конструктор делает выбор, опираясь на свою интуицию. Из изучения деятельности конструкторов сделан вывод о том, что каждый конструктор мыслит «относительно небольшим набором лётно-технических и прочностных характеристик $F_1(x), \dots, F_m(x), m \ll n$, таких, как скороподъёмность, предельный потолок, радиус виража и т.д.» и о том, что эти характеристики являются легко вычислимыми функциями конструктивных параметров. В связи с чем, ставятся и решаются оптимизационные задачи $\max_{x \in X} F_i(x) = F_{i0}, i = 1, \dots, m$ (F_{i0} определяет предельные возможности самолёта (изделия) по i -й характеристике). Конструируется функционал относительного несоответствия идеалу данного самолёта с заданным вектором x конструктивных параметров по i -й характеристике

$\Delta_i(x) = \frac{F_{i0} - F_i(x)}{F_{i0}}$. Определяется функция максимума по всем характеристикам

относительного несоответствия для данного набора конструктивных параметров $x - f(x)$. Эта функция показывает максимальное доленое (процентное) отклонение от идеала при заданном x по определяющим для главного конструктора характеристикам. Главному конструктору предлагается определить (по интуиции) вектор концепции прототипа $\lambda = \{0 \leq \lambda_i \leq 1\}$, $\sum \lambda_i = 1$, определяющий веса главных характеристик. Исходя из заданного вектора концепции прототипа определяется вектор конструктивных параметров x , минимизирующий $\max_i \lambda_i \cdot \Delta_i(x)$. Так определялся облик самолёта в реализованной силами ВЦ АН СССР САПР ЛА. Данный подход вполне универсален и может использоваться при проектировании любых других технических устройств. В различных составляющих САПР ЛА [17-23] по возможности также использовался рассмотренный подход. При конструировании отдельных составляющих ЛА также могут быть названы конструктивные параметры и выделены определяющие характеристики.

Весьма важной составляющей поддержки принятия проектно-конструкторских решений являются программные пакеты аэрогидродинамических и прочностных расчётов. При разработке САПР нового поколения, опережающих достигнутый уровень, необходимо использовать самые развитые методы и программы проведения таких расчётов. Такой метод оценки сил и моментов, действующих на тела, движущиеся в газе, представлен в [24]. На основе этого метода разработан и апробирован на решении многих задач внешней аэродинамики программный пакет «МАГР» (Зарегистрирован в РосАПО, рег. № 930043, 1993 г.). При использовании данного подхода тело аппроксимируется многогранником (в проведенных расчётах – 700 и более граней), его движение описывается зависящим от времени индикатор-множеством (подобластью заданной трёхмерной области присутствия газа) отсутствия газа. В основе расчётов лежит оригинальная двухточечная аэродинамика, в соответствии с которой газ описывается как множество пар молекул, имеющих в каждый момент скорость движения центра масс и угловую скорость вращения вокруг центра масс. Распределения по скоростям и энергиям (каждой пары) описываются двухточечными

распределениями Гиббса. Задача решается в интегральной форме (используются законы сохранения энергии и квадрата кинетического момента для всего газа) и сводится к решению системы нелинейных алгебраических уравнений. В связи с чем, требуемое время расчёта на фиксированной ЭВМ на два порядка меньше, чем при использовании других методов. Делаются оценки, которые невозможны при использовании аналогов. Проводились и аналогичные гидродинамические расчёты. Развитие данного подхода имеет перспективу создания средств нового поколения проведения прочностных расчётов и оценок (возможны нелокальные термодинамические описания и твёрдых тел).

Уже на этапе проектирования нового технического устройства возможно испытание предполагаемых вариантов их конструкции с использованием имитационных [25] и полунатурных моделей. При полунатурном моделировании (это направление активно развивалось и использовалось, в частности, с конца 70-х годов в НИО-15 ЦАГИ) используются реальные кабины управления устройством, связанные через ЦАП и АЦП с комплексами ЭВМ, имитирующими в реальном времени поведение устройства на базе разностного описания его механики. Имитационное моделирование может проводиться и вне реального времени с заданием тех или иных сценариев управления устройством. Примером такого моделирования может служить разработанная в НИО-15 ЦАГИ с участием одного из авторов САПР БЦВМ. С использованием этой САПР моделировалось управление ЛА блоком дублирующих друг друга БЦВМ, отлаживалась система активного демпфирования упругих колебаний ИЛ-96, другие алгоритмы управления ЛА.

Область знаний, используемых в процессе технического конструирования, формализована лишь частично, многое имеет описательный характер. Вопросам формализации описательных наук уделял весьма серьёзное внимание А.А. Дородницын [26-28]. В частности, объекты и субъекты, с которыми мы имеем дело в процессе технического конструирования, необходимо упорядочивать и классифицировать по значениям признаков.

В [28] предложена процедура формальной классификации равнозначных признаков (понятие «равнозначности признаков» считалось интуитивным, устанавливаемым специалистом в данной предметной области). Суть этой процедуры состоит в следующем:

Пусть m – число классифицируемых объектов, а n – число признаков. В случае, если $m \gg 2^n$, множество объектов естественным образом разбивается на 2^n классов (к одному классу относятся объекты с одним набором признаков). Такую систему классификации А.А. Дородницын назвал тривиальной. В случае, если $m \ll 2^n$, предлагается пробовать различные системы классификации по сочетаниям значений двух, трёх и более признаков.

Вариантов выбора из n признаков двух $C_n^2 = \frac{n!}{2!(n-2)!}$, столько и различных систем классификации по двум признакам. При выборе одной из них с сочетанием признаков i и j объекты разбиваются на 4 класса: $i=0, j=0$; $i=1, j=0$; $i=0, j=1$; $i=1, j=1$. При классификации по трём признакам систем классификации $C_n^3 = \frac{n!}{3!(n-3)!}$, в рамках каждой из которых объекты разбиваются на 8 классов и т.д. Математик генерирует различные системы классификации, показывает их специалисту в предметной области и тот выбирает подходящую.

Необходимой составляющей разработки новых изделий является оценка ожидаемой себестоимости предполагаемого варианта изделия. Для получения достаточно точных оценок себестоимости необходимо проиграть ожидаемый производственно-экономический процесс опытного и серийного производства изделия, его реализации максимально точно, детально. При этом такие оценки должны проводиться неразрывно с конструированием. В связи с чем, в составе САПР должны присутствовать инструменты имитационного моделирования производственно-экономических процессов. В этой области имеются весьма значительные оригинальные наработки, апробированные на решении многих задач прикладного характера [3-11,25,29-31].

При анализе и конструировании САПР в целом, платформы генерации различных САПР, ориентированных на разработку изделий различных типов, может также использоваться представленная в [32] теория конструктивных логических систем (КЛС). В процессе развития этой теории (первая публикация – 1988 год) удалось совместить точность определения понятий и представлений с гибкостью живого языка.

При определении КЛС рассматривается движение системы S в пространстве состояний $P = \{p_1, \dots, p_n\}$ в дискретном времени T с тактом Δ . Логическим ограничением (ЛО) этого движения называется действующее в любой момент времени $t_i \in T$ ограничение вида:

$$(1) \quad LR \equiv \bigwedge_{k=1}^{\lambda} s(t_{i-l_k}) \in P_k \Rightarrow s(t_i) \in P_0, \quad P_k \subseteq P, \quad k = 0, 1, \dots, \lambda.$$

$\lambda, l_k, k = 1, \dots, \lambda$ - натуральные числа;

$s(t_j)$ - состояние системы S в некоторый момент t_j времени T ;

λ - порядок ЛО;

$l_{\max} = \max_{k \in \{1, \dots, \lambda\}} l_k$ - глубина ЛО;

$$\|LR\| = \frac{m_0 \cdot m_1 \cdot \dots \cdot m_{\lambda}}{n^{\lambda+1}}, \quad m_i - \text{число состояний в } P_i; \quad - \text{сила ЛО.}$$

В силу конечности числа состояний рассматриваемого пространства любое ЛО может быть многими способами представлено в виде логически эквивалентного ему множества ЛО большего порядка (разложено на такое множество ЛО). Для такого его представления в виде множества ЛО порядка $\lambda + 1$ достаточно взять любое $l_{k+1} > l_{\max}$, разбить пространство P на любое множество непересекающихся подмножеств $P_{k+1}^1, \dots, P_{k+1}^{\alpha}$ и составить искомое множество ЛО из ЛО вида (1), к левой части (части до знака $\Rightarrow$) которых добавлено условие $s(t_{i-l_{k+1}}) \in P_{k+1}^{\beta}, \beta = 1, \dots, \alpha$.

Естественным образом определяются операции над КЛС, равноценные по гибкости со средствами оперирования с образами живого языка: объединение и разложение, укрупнение и детализация, обобщение и конкретизация КЛС, отношение аналогии между КЛС. Эти

операции обладают весьма интересными свойствами. Вводится понятие счётного семейства КЛС (СС КЛС), операции над КЛС обобщаются как операции над СС КЛС. КЛС с простым числом состояний и СС КЛС с простым числом состояний при каждом значении параметра семейства являются не делимыми (атомарными).

3. Концепция

Любое техническое устройство естественным образом представляется с использованием операции объединения с взаимосвязями в виде иерархии взаимосвязанных узлов, подузлов и т.д. Процесс конструирования можно представить в виде формирования обликов изделия в целом, его узлов, подузлов и т.д. Формирование обликов можно проводить в соответствии с рассмотренной выше и представленной в [12,16] методологией определения вектора конструктивных параметров, перечня эксплуатационных характеристик, выделения перечня главных характеристик, согласования с разработчиками векторов концепций прототипов (изделия в целом, узлов, подузлов и т.д.).

В составе формируемых САПР должны присутствовать основанные на самых современных методах утилиты

- оценки сил и моментов, действующих на тела, движущиеся в газах или жидкостях;
- расчётов тензоров напряжений различных конструкций при различных внешних силовых и моментных воздействиях и соотнесения напряжений с прочностными характеристиками;
- оценки надёжности, отказоустойчивости, безопасности деталей, узлов, изделий;
- моделирования производственно-экономических процессов и оценки себестоимости опытного и серийного производства деталей, узлов, изделий.

Для многопрофильных корпораций, производящих изделия многих типов, следует ставить и решать задачу разработки и реализации платформы генерации различных САПР, ориентированных на конструирование принципиально различающихся изделий. При этом

может использоваться одно и то же управляющее ядро функционирования САПР в целом. Наборы же утилит могут и должны существенно различаться.

4. Заключение

Изложенные соображения позволяют говорить о разработке ТЗ на проектирование и программную реализацию платформы генерации САПР, предназначенных для поддержки принятия проектно-конструкторских решений с использованием современных методов и алгоритмов аэрогидродинамических и прочностных расчётов, оптимизации облика в целом и узлов проектируемых технических устройств. При этом такая платформа может и должна ориентировать генерируемые САПР на специфику проектируемых изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Phiri, Michael.* [Information Technology in Construction Design. \(англ.\)](#) — London: Thomas Telford Publishing, 1999. — P.52 — 228 p. — [ISBN 0-7277-2673-0](#).
2. *Madsen, David A.* [Engineering Drawing & Design](#). — Clifton Park, NY: Delmar. — 2012. — [ISBN 978-1111309572](#)
3. [Цвиркун А.Д. Проблемы управления развитием крупномасштабных систем. 1-е изд. М.: ИрГУПС, 2011. – 623 с.](#)
4. *Васильев С.Н., Цвиркун А.Д.* [Разработка методологии и инструментальных средств управления развитием крупномасштабных систем](#). В сборнике: [Управление развитием крупномасштабных систем](#) Материалы второй международной конференции. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова; Общая редакция - С.Н. Васильев, А.Д. Цвиркун. 2008. С. 11-16.
5. *Vasilyev, Stanislav; Tsvirkun, Anatoliy.* [Problems of managing the development of large-scale systems in modern conditions](#). 10th International Conference on Management of Large-Scale System Development (MLSD): V A Trapeznikov Inst Control Sci, Moscow, RUSSIA публ.: OCT 02-04, 2017.

6. *Васильев С.Н., Цвиркун А.Д.* [Проблемы управления развитием крупномасштабных систем в современных условиях.](#) В сборнике: [Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2016](#) труды девятой международной конференции. 2016. С. 13-22.
7. *Цвиркун А.Д., Акинфиев В.К.* [Бизнес-план. Анализ инвестиций. Методы и инструментальные средства.](#) М.: Ось-89, 2009. – 320 с.
8. *Чурсин А.А.* Управление конкурентоспособностью в условиях инновационного развития экономики. – М.: Экономика, 2017. – 607 с.
9. *Baranov, V.V.; Tsvirkun, A.D.* [Development Control: Structural Analysis, Problems, Stability. Automation and Remote Control.](#) Том: 79 Выпуск: 10 Стр.: 1780-1796 OCT 2018.
10. *Ereshko, F.I.; Turko, N.I.; Tsvirkun, A.D.* Чурсин А.А., [Design of Organizational Structures in Large-Scale Projects of Digital Economy. Automation and Remote Control.](#) Том: 79 Выпуск: 10 Стр.: 1836-1853: OCT 2018
11. *Topka V., Tsvirkun A. D.* A Planning and Scheduling Method for Large-Scale Innovation Projects. Adv Syst Sci Appl 2019; 04; 66-78 Published online at <http://ijassa.ipu.ru/index.php/ijassa/article/view/827>
12. *Дородницын А.А., Моисеев Н.Н.* Использование ЭВМ в разработках крупных проектов // Октябрь и наука. 1917-1977. М.: Наука, 1977. С. 187-204.
13. *Краснощеков П.С.* Математика и проектирование, Вестн. Моск. ун.-та, Сер. выч. мат. и киберн., №4, 1979, 22-29 с.
14. *Краснощеков П.С., Морозов В.В., Федоров В.В.* Декомпозиция в задачах проектирования, Изв. АН СССР, сер. Техн. Кибернетика, 1979, №2, с. 7-17.
15. *Краснощёков П.С., Флёров Ю.А.* Иерархия задач проектирования. В сборнике «Задачи и методы автоматизированного проектирования в авиастроении». М. ВЦ АН СССР, 1991. С. 3-25.

16. *Вышинский Л.Л., Самойлович О.С., Флёров Ю.А.* Программный комплекс формирования облика летательных аппаратов. В сборнике «Задачи и методы автоматизированного проектирования в авиастроении». М. ВЦ АН СССР, 1991. С. 26-46.
17. *Вышинский Л.Л.* Структура моделей в задачах проектирования. В сборнике «Задачи и методы автоматизированного проектирования в авиастроении». М. ВЦ АН СССР, 1991. С. 47-55.
18. *Вышинский Л.Л., Гринёв И.Л., Шилenko В.И., Широков Н.И.* Инструментальные средства САПР. В сборнике «Задачи и методы автоматизированного проектирования в авиастроении». М. ВЦ АН СССР, 1991. С. 56-68.
19. *Гринёв И.Л., Широков Н.И.* Средства управления данными в САПР. В сборнике «Задачи и методы автоматизированного проектирования в авиастроении». М. ВЦ АН СССР, 1991. С. 68-78.
20. *Катунин В.П.* Основы построения программного комплекса летно-технических характеристик в САПР ЛА. В сборнике «Задачи и методы автоматизированного проектирования в авиастроении». М. ВЦ АН СССР, 1991. С. 79-90.
21. *Скобелев С.И., Широков Н.И.* Весовой анализ и контроль в САПР ЛА. В сборнике «Задачи и методы автоматизированного проектирования в авиастроении». М. ВЦ АН СССР, 1991. С. 90-99.
22. *Шапиро М.Ю., Шилenko В.И.* Автоматизация проектирования электросхем. В сборнике «Задачи и методы автоматизированного проектирования в авиастроении». М. ВЦ АН СССР, 1991. С. 101-105.
23. *Прибытков Ю.Д., Шилenko В.И.* Программный комплекс ЭЛМОН В сборнике «Задачи и методы автоматизированного проектирования в авиастроении». М. ВЦ АН СССР, 1991. С. 106-119.

24. *Медведев М.М.* Об оценке сил и моментов, действующих на тело, движущееся в газе. Естественные исследования: Сборник работ. – М.: Компания Спутник+, 2003. С. 88-98.
25. *Павловский Ю.Н.* Имитационные модели и системы. – М.: ФАЗИС: ВЦ РАН, 2000.
26. *Дородницын А.А.* Математика и описательные науки. Российская академия наук. Вычислительный центр. А.А. Дородницын. Избранные научные труды. Том 2. М.: ВЦ РАН, 1997. стр. 330-336.
27. *Дородницын А.А.* Проблема математического моделирования в описательных науках. Российская академия наук. Вычислительный центр. А.А. Дородницын. Избранные научные труды. Том 2. М.: ВЦ РАН, 1997. стр. 337-345.
28. *Дородницын А.А.* Об одном подходе к формализации классификации (совместно с М.Ф. Каспицкой и И.В. Сергиенко). Российская академия наук. Вычислительный центр. А.А. Дородницын. Избранные научные труды. Том 2. М.: ВЦ РАН, 1997. стр. 294-309.
29. *Berezner A.S., Ereshko F.I.* Coordination of Models in Software Systems for Large Scale Water Resources Projects, Water Supply&Management, vol.4, 1980, 253-262 p.
30. *Ерешко Ф.И.* Иерархические декомпозиции в водохозяйственных задачах, М., ВЦ АН СССР, 1984, – 45 с.
31. *Кононенко А.Ф., Шевченко В.В.* Операционные игры. Теория и приложения. М.: ВЦ РАН, 2013, - 136 с.
32. *Шевченко В.В.* Конструктивные логические системы и их приложения. М.: ВЦ РАН, 2003. 51 с.