

ВОПРОСЫ ИМИТАЦИОННОГО (КОМПЛЕКСНОГО) МОДЕЛИРОВАНИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

А.М. Плотников, М.А. Долматов (Санкт-Петербург), В.В. Девятков (Казань)

Необходимость сохранения и повышения конкурентоспособности продукции российского судостроения, решения сложных задач импортозамещения (включая программное обеспечение всех видов) требует от предприятий отрасли проведения комплекса взаимосвязанных мероприятий с целью оптимизации производственных мощностей, организационных схем и технологических решений производства, автоматизации процессов управления ресурсами и мощностями, анализа выполнимости производственных программ, сокращения трудоемкости и продолжительности изготовления сложных наукоемких изделий.

Судостроительная отрасль имеет ряд особенностей, которые существенно влияют на организацию производственных процессов верфи. Эти особенности следующие:

- изделия, одновременно строящиеся на разных предприятиях, имеют значительные отличия (по назначению, используемым материалам, конструкции и внутреннему насыщению, составу оборудования, требованиям по условиям постройки, особенностям технологий строительства и пр.);
- предприятия отрасли расположены в различных регионах страны на значительном удалении друг от друга и в различных климатических зонах;
- судостроительное производство характерно привлечением для строительства изделий значительного объема ресурсов и концентрации их в определенный период на ограниченном пространстве предприятия и отдельных его цехов (в том числе стапельного производства);
- сложность изготавливаемых изделий;
- длительный срок проектирования и постройки сложных и наукоемких изделий судостроения;
- в значительной степени совмещение (запараллеливание) этапов проектирования, подготовки производства и строительства;
- развитая кооперация предприятий с поставщиками материалов и комплектующего оборудования, необходимых для создания изделий.

Эти особенности отрасли в сильной степени влияют на обеспечение планирования производственных процессов, поскольку объективно требуют оперативного учета значительного количества изменяющихся во времени факторов.

Планирование судостроительного производства – это довольно сложный и трудоемкий процесс. В этих условиях планирование и мониторинг судостроительного производства как на уровне групп предприятий, так и в целом на отраслевом уровне становятся существенно более сложной задачей макропланирования, при решении которой факторы учета являются производными от микропланирования на уровне программы строительства отдельной верфи и планирования строительства отдельного изделия на предприятии.

Повышение качества и оперативности планирования в целях эффективного управления отраслью возможно при условии внедрения развитых средств автоматизации и специализированного программного обеспечения планирования и мониторинга (контроля) производственных планов и различного рода графиков выполнения работ (график постройки судна, график технической готовности, график комплектации судна судовым оборудованием и др.) из единого центра управления судостроительной отраслью.

Системный анализ задач расчета, многокритериального оценивания и анализа основных характеристик и показателей качества выполнения производственных программ судостроительной верфи показал, что решение большинства задач предприятия должно базироваться на концепции системного моделирования сложных организационно-технических объектов, к числу которых, несомненно, относится и судостроительная верфь.

Акционерным обществом «Центр технологии судостроения и судоремонта» (АО «ЦТСС») накоплен значительный опыт в части комплексного и имитационного моделирования судостроительных производств. Профессиональные компетенции организации складывались в рамках выполнения НИР, ОКР и хозяйственных работ с предприятиями судостроительной и смежных отраслей промышленности. В числе предприятий, для которых выполнялись имитационные исследования – АО «Адмиралтейские верфи», АО «СЗ «Северная верфь», АО «Средне-Невский судостроительный завод» (Санкт-Петербург), АО «ПСЗ «Янтарь» (Калининград), ОАО «ОКБМ им. Африкантова» (Нижний Новгород).

В практике работ АО «ЦТСС» при создании имитационных моделей функционирования судостроительных производств (участков, цехов и в целом предприятий) использовались как инструменты низкоуровневого имитационного моделирования (GPSS World), требующие обязательного участия в имитационных исследованиях программиста, так и высокоуровневые специализированные пакеты (AnyLogic, eMPlant).

Основные задачи, которые специалистам АО «ЦТСС» приходилось решать (в разное время и при различных целевых установках заказчиков) при моделировании судостроительных производств [1], следующие:

- оценка эффективности функционирования производства (группы цехов, цеха, участка) в заданные интервалы времени (с предварительным определением и согласованием с заказчиком показателей эффективности; показатели должны были иметь ясный физический и/или экономический смысл);
- поиск «узких мест» в производственной системе предприятия;
- оценка выполнимости перспективной производственной программы;
- возможные пути сокращения сроков строительства и сдачи судовых заказов;
- оценка возможности постройки новых заказов в заданные сроки;
- оптимизация загрузки производственных мощностей (прежде всего стапельных) при повышении эффективности их использования;
- оценка влияния на выполнение производственной программы возмущающих факторов (например, вывод из производственного цикла какой-либо единицы технологического оборудования либо срывы сроков поставки комплектующих);
- оценка влияния изменений в применяемых технологиях на сроки строительства изделий;
- оценка эффективности принимаемых решений по модернизации производства;
- обоснование необходимости в инвестициях, направленных на развитие производства.

Процесс имитационных исследований судостроительных производств всегда предполагает – как необходимое условие – обязательный учет при моделировании особенностей строящихся изделий и особенностей технологий строительства (по видам производств), а также специфики организации производства на конкретном предприятии. В ряде случаев возникают дополнительные требования, которые приходилось учитывать и реализовывать специалистам при создании промышленных имитационных моделей, в частности:

- формирование и визуализация схемы размещения сборочных и сборочно-монтажных единиц, заказов, технологического оборудования на производственных участках и в цехах предприятия в процессе моделирования и в реальном времени (после завершения моделирования);

- отображение схемы размещения сборочных и сборочно-монтажных единиц, заказов, технологического оборудования в виде графических иллюстраций с требуемой периодичностью – стапельных расписаний;

- формирование отчетов о загрузке основных производственных рабочих в составе бригад по месяцам, подразделениям (цехам) с возможностью представления сводной информации по отдельным заказам;

- учет и отслеживание состава и объемов работ, которые передаются на исполнение сторонним предприятиям и компаниям;

- учет так называемых «сезонных» факторов, ограничивающих выполнение работ на отдельных участках производства или использование отдельных единиц (групп) производственного оборудования;

- представление результатов имитационного моделирования в виде трехмерной интерактивной визуализации с параллельным формированием и выводом на экран по запросу пользователя массивов аналитических данных (статистики), отражающих динамику строительства заказов в различных разрезах.

Как правило, на практике специалистами АО «ЦТСС» проводилось имитационное исследование (в качестве инструмента использовался обычно зарубежный промышленный симулятор), после чего заказчику передавались только результаты имитационных экспериментов с соответствующими рекомендациями. Со временем пришло понимание, что необходимы специализированные судостроительные решения.

С 2010 года в АО «ЦТСС» были начаты работы по созданию собственных приложений для автоматизации разработки имитационных моделей и проведения с ними экспериментов. Первые версии таких приложений, разработанные в рамках Федеральной целевой программы, позволяли автоматизировать создание имитационных моделей для анализа отдельных производств судостроительного предприятия: построечных мест (стапелей, эллингов, доков) и цехов укрупнения и насыщения сборочных единиц.

В 2014–2016 годах были разработаны несколько версий полнофункционального (с охватом всех основных видов судостроительного производства) отечественного специализированного приложения АС «Сириус» [2]; промышленная версия системы именуется как АС «Сириус» 2.0. Это приложение было создано совместно с партнером АО «ЦТСС» – компанией ООО «Элина-Компьютер» (Казань).

В 2017 году в состав системы был включен специализированный модуль «Оценка». Модуль предназначен для выполнения оценки технологической исполнимости (технологической возможности строительства) судового заказа на конкретном судостроительном предприятии на основе данных технического проекта судна. Т.е. модуль выполняет своего рода технологический аудит производственной системы. Такой аудит может производиться до этапа проведения имитационных исследований.

Правовая защищенность всех созданных объектов интеллектуальной собственности подтверждена свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ, выданными Федеральной службой по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам [3].

Автоматизированная система «Сириус» 2.0 (правообладатель – АО «ЦТСС», Санкт-Петербург) предназначена для автоматизации процесса создания имитационных

моделей судостроительных производств, проведения экспериментов с моделями и оценки выполнимости производственных судостроительных программ.

Наличие собственного судостроительного приложения для имитационных исследований способствует не только расширению объема оказываемых услуг по имитационным исследованиям предприятий, но и выполнению поставок на судостроительные предприятия программных решений «под ключ». Такие поставки включают базу данных исходной информации по оборудованию, изделиям и технологиям, собственно имитационные модели, а также доработанный (при необходимости) под требования предприятия пользовательский интерфейс приложения с обязательным при этом проведением первичного обучения специалистов предприятия.

Основные функциональные возможности АС «Сириус» 2.0 (с учетом внешних модулей):

- формирование и поддержание баз данных по судовым изделиям, технологиям постройки (по видам судостроительного производства), ресурсам и производственной среде предприятия;
- задание расписаний работ производственных участков и производства в целом, задание расписаний обслуживания оборудования;
- автоматическая генерация имитационной модели предприятия;
- оценка выполнимости производственной программы предприятия;
- оценка технологической исполнимости строительства судовых заказов;
- оценка производственных мощностей верфи;
- 2D визуализация процессов строительства заказов по результатам имитационного моделирования с выдачей соответствующей статистики;
- генерация выходной отчетной документации;
- импорт/экспорт данных и моделей.

В числе ключевых особенностей АС «Сириус» 2.0 можно выделить:

- возможность моделирования основных видов судостроительного производства: корпусообработывающего (включая склад металла и участки предварительной обработки металлопроката), сборочно-сварочного, окрасочного, корпусостроительного, механомонтажного, трубозаготовительного, достроечного;
- поддержка библиотек производственного оборудования (технологического, кранового и транспортного) и технологической оснастки;
- возможность задания расписания работы отдельных участков и обслуживания оборудования (ремонт, переналадка, временный вывод из эксплуатации);
- автоматическая генерация имитационной модели на основе описаний принципиальных технологий постройки (по видам производства), производственной программы и данных по строящимся заказам;
- возможность задания синхронной работы транспортного и кранового оборудования;
- поддержка моделирования производств как металлического судостроения, так и композитного;
- гибкая работа с разбивками изделий на сборочные и сборочно-монтажные единицы и технологиями их строительства.

Общесистемные требования для функционирования АС «Сириус» следующие: ОС Windows, СУБД Microsoft SQL Server 2017, компоненты Microsoft .NET Framework 4.6 или выше. Система может функционировать как в локальном, так и в сетевом варианте. Использование программного комплекса предполагает наличие лицензии на отечественный промышленный симулятор GPSS World Core (до 2023 года

использовался зарубежный симулятор GPSS World) [4]. Поддерживаемые в системе парадигмы имитационного моделирования – дискретно-событийные.

Одним из перспективных направлений развития АС «Сириус» 2.0 является интеграция в систему программных средств оптимизации. Включение в прикладные системы поддержки принятия решений (а АС «Сириус» 2.0 развивается именно как классическая система поддержки принятия решений) оптимизационных модулей – это устойчивый общемировой тренд развития прикладных программных приложений. В том числе активно этим занимаются и ведущие разработчики промышленных пакетов и систем имитационного моделирования (Siemens Industry Software, Simio LLC, Rockwell Automation Inc., The AnyLogic Company и др.).

Состав ограничений для решения оптимизационных задач должен обязательно учитывать отраслевые особенности, в том числе: межзаводскую кооперацию при строительстве заказов, территориальные предпочтения при распределении программы строительства, предпочтения по верфям, их производственные мощности, социальные факторы, а также сложившуюся специализацию судостроительных предприятий по продуктовому ряду. При этом обязательно должна приниматься во внимание текущая производственная загрузка предприятий.

На сегодняшний день выполнена математическая постановка ряда оптимизационных задач, в том числе:

- оптимизации распределения производственной программы между предприятиями с учетом их организационно-технологических характеристик, текущей и перспективной загрузки, численности и специализации основных производственных рабочих, внедренных технологий постройки и имеющихся ресурсов;

- оптимизации загрузки стапельных мощностей верфи перспективными к постройке изделиями на заданный (планируемый) период производственной программы.

Обе задачи относятся к классу задач многокритериальной линейной оптимизации и могут быть решены методами линейного программирования.

Важное направление развития АС «Сириус» – это 3D визуализация результатов имитационного моделирования. Практика работы с предприятиями показала, что все больший интерес у заказчиков вызывает представление результатов моделирования с использованием средств именно 3D визуализации (с сопутствующим выводом статистики в различных временных срезах). Реализованное нами программное решение базируется на представлении результатов моделирования в виде упрощенной 3D визуализации в среде платформы Unity [5], где для пользователя отображается вся динамика моделируемых процессов. В качестве исходной информации для формирования трехмерной визуализации используется:

- в части визуализации перемещений – журнал событий, формируемый при расчете (прогоне) имитационной модели;

- в части объемной визуализации планировок – 2D планировка верфи, задаваемая при формировании массива исходной информации для моделирования.

Создание сцены трехмерной визуализации выполняется из набора геометрических примитивов на основе сформированного описания объектов из базы данных имитационной модели. Имеются развитые возможности добавления в сцену как подвижных объектов (секции, сборочно-монтажные единицы, транспортные телеги, спусковые устройства, краны, оснастка и т.п.), так и статичных объектов (здания, сооружения, участки, помещения и т.п.).

Разработка имитационной модели судостроительного предприятия требует значительного объема исходных данных. Пользовательский интерфейс системы обеспечивает формирование, контроль и обработку всей необходимой

для имитационного исследования исходной информации. Вместе с тем в составе АС «Сириус» 2.0 реализованы (и продолжают развиваться) интерфейсные программные средства для связи с информационными системами предприятий для получения из последних (как основного первоисточника) в автоматическом режиме части исходных данных. К числу подобных данных относятся:

- производственная программа верфи;
- проектные данные по изделиям (для моделирования достаточно в объеме данных технического проекта судна);
- графики строительства заказов, включая технологию строительства;
- данные по строящимся заказам: основные периоды строительства, распределение трудоемкости по видам работ и по основным цехам;
- статистика по сборочным и основным сборочно-монтажным единицам;
- перечни чертежей на проект с привязкой к сборочным единицам;
- данные о производственных мощностях (оборудовании);
- данные о трудовых ресурсах (бригадах, производственных участках) и их доступности;
- графики поставки комплектующих на судовые заказы.

Ключевым направлением развития АС «Сириус» является распространение методологии имитационного и комплексного моделирования применительно к задачам анализа производственных комплексов в целом на уровне судостроительной отрасли. Это диктуется необходимостью быстрой реакции на изменение запросов рынка, смены приоритетов и объемов выполнения заказов на общенациональном (федеральном) уровне, а также растущими требованиями заказчиков в части сокращения сроков строительства заказов и вывода продукции на рынок. В сопоставлении с отдельным предприятием часть решаемых задач при этом несколько видоизменяется. Основной состав задач системы видится в этом случае таким:

- проверка выполнимости (в заданные сроки) перспективных отраслевых судостроительных программ;
- оценка производственного потенциала группы предприятий в части возможностей реализации ими перспективной судостроительной программы;
- планирование производственной программы в рамках группы предприятий с учетом производственных структур, оборудования, технологий постройки и ресурсов, а также возможных кооперационных связей;
- анализ влияния различных негативных и возмущающих факторов на выполнимость перспективной судостроительной программы;
- оценка и обоснование перспектив развития научно-производственного потенциала судостроительной отрасли;
- анализ и планирование сетей кооперации и кооперационных связей;
- подготовка предложений по реструктуризации межзаводской кооперации, перераспределению производства судов и их компонентов между предприятиями и сетями кооперации;
- мониторинг и контроль производственной деятельности предприятий, перепланирование судостроительного производства, синхронизация планов производства и графиков поставок внутри групп предприятий и сети кооперации;
- оперативное выявление «узких» мест производственной системы, цепочек кооперации, рисков срыва сроков выполнения заказов и обязательств по всей сети кооперации.

На этапе практической реализации АС «Сириус» 2.0 был решен ряд вопросов, связанных с определенной гетерогенностью применяемого прикладного программного

обеспечения и организацией информационного взаимодействия между различными расчетными модулями. Автоматизированная система была построена таким образом, чтобы обеспечить беспрепятственный обмен согласованными исходными данными и выходным результатом между всеми модулями системы.

На сегодняшний день наиболее хорошо зарекомендовавшим себя подходом к построению гетерогенных модульных систем является сервис-ориентированная архитектура (Service Oriented Architecture, SOA) [6, 7]. Такой подход ориентирован на слабую связность и распределенность используемых расчетных модулей. Вместе с тем SOA требует использования стандартизированных интерфейсов модулей и работы по стандартизированным протоколам с последующим созданием интегрированного пользовательского интерфейса, что позволяет удаленно использовать все возможности автоматизированной системы. При этом в базе данных хранятся необходимые исходные данные для имитационного и аналитического моделирования, а также сведения о конфигурациях АС «Сириус» 2.0 и возможных сценариях моделирования. Сведения эти позволяют пользователю создавать различные вычислительные схемы для моделирования производственных процессов в разной комбинации исходных данных и с различной степенью детализации.

Реализованная архитектура позволяет для преодоления проблем гетерогенности, а также для удобства развертывания АС «Сириус» 2.0 разместить все модули с несовместимыми требованиями к среде исполнения на разных виртуальных машинах в составе одного физического сервера. Кроме того, с учетом перспектив дальнейшего развития системы в направлении создания территориально-распределенных архитектур, такое построение обеспечивает необходимое взаимодействие модулей посредством сетевого обмена данными. Для этих целей было предложено создавать программные «обертки», преобразующие частную систему ввода-вывода отдельного модуля в стандартизированный интерфейс обмена данными, а также кроссплатформенный интегрированный пользовательский интерфейс, позволяющий удаленно использовать все возможности АС «Сириус» 2.0 [8].

При проектировании и создании системы особое внимание было уделено обеспечению робастности автоматически порождаемых в системе имитационных моделей, с упором на полное «покрытие» основных производственных и технологических бизнес-процессов. Под робастностью здесь понимается способность имитационной модели сохранять свое качество работы при различных изменениях входных данных. Иными словами, обеспечить свойство статистического метода, характеризующее независимость влияния на результат имитационного исследования различного рода выбросов, устойчивость к возможным помехам.

В основу АС «Сириус» 2.0 при ее создании были положены следующие принципы: а) единого исследовательского пространства, б) стандартизации процесса имитационных исследований, в) коллективных исследований и г) распределенных вычислений.

Принцип единого исследовательского пространства заключается в интеграции в рамках одного программного комплекса АС «Сириус» 2.0 всех расчетных и модельных процедур, что необходимо для проведения полного цикла исследования процесса функционирования судостроительного производства. Такое исследование включает не только создание собственно имитационной модели и работу с ней, но и различные аналитические, технологические и иные (в перспективе экономические) расчеты, необходимые в ходе исполнения проекта. Например, при моделировании в целом производственной системы верфи – это использование геоданных карты (генплана) предприятия, расчеты нормативов трудоемкости судовых заказов, расчеты технологической разбивки судового заказа по его проектным параметрам,

оптимизационные расчеты и т.д. Реализация этого принципа позволяет «приблизить» специалистов предметной области к имитационной модели и в целом расширить границы применения метода имитационных исследований, повысить точность имитационных экспериментов.

Принцип стандартизации процесса имитационных исследований. Исполнение различных этапов имитационного исследования требует от исследователя выполнения разнотипных операций и действий. Систематизировать сложившийся «производственный хаос» и сбалансировать исследование возможно используя стандартизацию при описании структур данных и результатов, а также путем реализации унифицированного языка взаимодействия пользователя с системой. В АС «Сириус» 2.0 это достигается за счет высокой степени систематизации (типизации) технологий строительства (в пределах отдельных видов судостроительных производств), положенных в основу автоматической генерации имитационной модели. Кроме того, унифицирован подход к представлению судовых изделий и их составляющих (сборочных и сборочно-монтажных единиц). Все это позволяет не только ускорять процесс исследования, но и сделать его более простым в использовании, управляемым и доступным более широкому кругу специалистов. Системную основу унификации данных имитационного исследования в АС «Сириус» 2.0 составляет структурно-логистическая цепочка, сопровождающая любой процесс имитационного исследования судостроительного производства.

Суть принципа **коллективных исследований** – в возможности проведения коллективных имитационных экспериментов. Реализация этого принципа в АС «Сириус» 2.0 позволяет обеспечить доступ к одному и тому же исследованию нескольких специалистов в соответствии с уровнем их полномочий, синхронизировать их работу, предоставить возможность управления версиями модели и изменениями данных. Либо иной вариант: когда за отдельные этапы исследований (ввод данных, подготовка и проведение экспериментов, анализ и обобщение результатов) отвечают разные специалисты. Механизм регулирования прав доступа пользователей реализуется в приложении в соответствии с матрицей прав доступа.

В современной архитектуре организации вычислительного процесса принцип **распределенных вычислений** предполагает перенос части вычислений с одного вычислительного устройства на другие компьютеры. Например, размещение интерфейса пользователя на мобильных устройствах (ноутбуки, планшеты), а организация сложных вычислений (например, параллельный прогон нескольких вариантов имитационной модели) – на облачных сервисах. Все это упрощает процесс исследований. Такая архитектура органично реализуется и средствами АС «Сириус» 2.0 при проведении имитационных исследований, поскольку функционально они разделены на отдельные этапы. Наиболее сложные в вычислительном плане действия на этих этапах могут выполняться в облаке, в частности, работа с базой данных, планирование экспериментов, само моделирование, анализ и интерпретация результатов имитационного моделирования.

Необходимо отметить весьма актуальную в настоящее время проблему проактивного мониторинга и управления сложными техническими системами, к которым, безусловно, относится судостроительное производство. Проактивный мониторинг и управление такими системами в отличие от традиционно используемого на практике «реактивного» управления предприятиями, ориентированного на оперативное реагирование и последующее недопущение инцидентов, предполагает предотвращение их возникновения за счет создания принципиально новых прогнозирующих и упреждающих возможностей при формировании и реализации управляющих воздействий. Подобные воздействия основываются на «парировании»

не следствий, а причин, вызывающих возможные нештатные, аварийные и кризисные ситуации на предприятии. При этом такие прогнозирующие и упреждающие возможности должны базироваться прежде всего на результатах комплексного моделирования рассматриваемых процессов проактивного мониторинга и управления [8, 9, 10]. Развитие АС «Сириус» 2.0 изначально мыслилось как развитие составной части системы проактивного мониторинга и управления предприятием.

Для обеспечения требуемого уровня показателей адекватности, достоверности и точности моделирования процессов функционирования судостроительного производства необходимо базироваться на современной методологии и технологиях комплексного моделирования предприятий [10]. Основное преимущество данного вида моделирования состоит в том, что за счет полимодельного (многомодельного) описания исследуемой предметной области (вида производства) и соответствующего согласования разнотипных моделей, методов и алгоритмов анализа и синтеза сложной производственной системы на формализованном (глубинном) уровне описания удается взаимно компенсировать недостатки и ограничения, присущие каждому отдельному классу моделей, методов и алгоритмов. При этом достигается определенный синергетический эффект от их интегративного применения [8], выражающийся в формировании новых знаний о производственной системе и ее поведении.

Литература

1. **Долматов М.А., Плотников А.М.** Особенности разработки и внедрения имитационных моделей функционирования производственных систем судостроительных предприятий // Десятая всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2021). Труды конференции (электронное издание), 20–22 октября 2021 г., СПб.: АО «ЦТСС», 2021. 694 с. ISBN 978-5-905526-05-3. С. 183–186.
2. **Долматов М.А., Плотников А.М., Федотов М.В., Нифантьев Е.А.** Опыт разработки на базе GPSS World специализированного программного обеспечения для решения задач моделирования функционирования производственных комплексов и оценки выполнимости перспективных производственных программ предприятий судостроения // Седьмая всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2015): Труды конф., 21–23 окт. 2015 г., Москва: в 2 т. / Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова Рос. акад. наук ; под общ. ред. С.Н. Васильева, Р.М. Юсупова. Т. 1. М.: ИПУ РАН, 2015. ISBN 978-5-91450-172-0. С.208-213.
3. Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016610247 от 11.01.2016 г., № 2018614213 от 03.04.2018 г., № 2018614215 от 03.04.2018 г., № 2021665808 от 30.09.2021 г., № 2022660098 от 07.12.2021 г.
4. Единый реестр российских программ для ЭВМ и БД (реестровый № 4615, 2023 г.).
5. **Девятков Т.В., Федотов М.В., Долматов М.А.** Опыт и перспективы применения методов трехмерной визуализации результатов имитационного моделирования функционирования производственных систем // Шестая международная научно-практическая конференция. «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем» (ИКМ МТМТС-2021). Труды конференции. (ISBN 978-5-00189-175-8). М.: Перо, 2021. С. 51–54.
6. **Vasiliev Y.:** SOA and WS-BPEL: Composing Service-Oriented Solution with PHP and ActiveBPEL. Packt Publishing (2007).

7. **Власов С.А., Девятков В.В., Девятков Т.В.** Универсальная моделирующая среда для разработки имитационных приложений // Информационные технологии и вычислительные системы. 2009. № 2. С. 5–12.
8. **Охтилев М.Ю., Павлов А.Н., Плотников А.М., Потрясаев С.А., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.** Комплексное моделирование сложных объектов: основные особенности и примеры практической реализации // Седьмая всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2015): Труды конф., 21-23 окт. 2015 г., Москва: в 2 т. / Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова Рос. Акад. наук ; под общ. ред. С.Н. Васильева, Р.М. Юсупова. Т. 1. Пленарные доклады. М.: ИПУ РАН, 2015. ISBN 978-5-91450-172-0. С.58–81.
9. **Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М., Стыскин М.М., Джао В.Ю.-Д.** Концепция и технологии проактивного управления жизненным циклом изделий // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2020. Т. 63. Номер: 2, С 158–163.
10. **Соколов Б.В., Зеленцов В.А., Пиманов И.Ю., Юсупов Р.М.** Комплексное моделирование и проактивное управление сложными объектами в условиях чрезвычайных ситуаций // Десятая всероссийская научно-практическая конференция «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2021). Труды конференции (электронное издание), 20–22 октября 2021 г., СПб.: АО «ЦТСС», 2021. 694 с. ISBN 978-5-905526-05-3. С. 65–76.