

## **ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОЦЕНИВАНИЯ И АНАЛИЗА ВЫПОЛНИМОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПЛАНОВ СУДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ВЕРФИ**

**М. А. Долматов, А. М. Плотников, Б. В. Соколов,  
А. Е. Пашенко, С. А. Потрясаев (Санкт-Петербург),  
Т. В. Девятков, Е. А. Нифантьев, М. В. Федотов (Казань)**

### **Введение**

Проведенный анализ показывает, что при организации производственных процессов на современной судостроительной верфи (ССВ) одной из актуальных проблем была и остаётся проблема автоматизации принятия решений (ПрР), в том числе, и проблема автоматизации процессов формирования, оценивания и анализа различных сценариев реализации планов производства (ремонта) судов [1–3]. Данная проблема в еще большей степени усложняется, когда речь идет уже о координации производственных планов уже в масштабах судостроительной корпорации (ССК).

Далее, говоря о планировании в широком смысле, будем предполагать, что оно представляет собой целенаправленный, организованный и непрерывный процесс выделения различных элементов, подсистем и аспектов функционирования ССВ, определения их состояния и взаимодействия в данное время, прогнозирования их развития на некоторый период времени в будущем, а также составление и программирования набора действий и планов, направленных на достижение желаемых результатов [1–2].

В общем случае при планировании приходится решать следующие классы задач [4–9]: 1) определение целей и задач, стоящих перед ССВ, т.е. определение состояний, желательных для данной организации, и определение времени, к которому должны быть достигнуты данные цели и задачи; 2) определение средств достижения этих целей и задач; 3) определение ресурсов и источников получения ресурсов для реализации планов, а также разработка принципов, методов и методик распределения ресурсов между элементами и подсистемами ССВ; 4) разработка (синтез) облика ССВ (и, прежде всего, её основных структур), а также механизмов (алгоритмов) её функционирования, обеспечивающих непрерывность комплексного процессов планирования и реализации плановых решений.

Проведенный анализ показал, что для повышения оперативности, обоснованности и качества формирования производственных планов (ПрП) ССВ в условиях их большой размерности, нестационарности, нелинейности и высокой степени неопределенности реализации в условиях различного рода возмущающих воздействий, целесообразно использовать соответствующие интегрированные системы поддержки принятия решений (ИСППР). Важное место в данных ИСППР занимает соответствующее специальное программно-математическое и информационное обеспечение (СПМИО) комплексного и имитационного моделирования (КИМ). В докладе основное внимание уделяется разработанным к настоящему времени методологическим и программно-технологическим основам создания и использования специального программного обеспечения (СПО) решения задач оценивания и анализа выполнимости ПрП на ССВ.

## 1. Концепция и структура имитационной системы для решения задач оценивания и анализа выполнимости производственных планов судостроительной верфи

В качестве основных объектов исследования в рамках представленного доклада будут рассматриваться ССВ и соответствующие *производственные процессы* (ПП), состоящие из основных производственных процессов (*технологических процессов* – (ТП)) и *вспомогательных производственных процессов* (ВПП). При этом под судостроительной верфью понимают промышленное предприятие, располагающее средствами производства (средствами труда и предметами труда) и рабочей силой, способными создавать судостроительную продукцию [1, 3]. На рис. 1 представлена обобщенная организационно-технологическая структура ССВ.

На рис. 1 приняты следующие условные обозначения – КОП: корпусообрабатывающее производство; ССП: сборочно-сварочное производство (сборочные единицы); КСП: корпусостроительное производство (стапель); ОК: окрасочное производство; ТО: трубообрабатывающее производство; ММ: механо-монтажное производство. Из анализа данного рисунка следует, что современная ССВ представляет собой сложный производственно-технический и организационно-технологический комплекс (объект), проблемы создания, эксплуатации и развития которого представляют весьма актуальные проблемы. Кроме того, системный анализ задач расчета, многокритериального оценивания и анализа основных характеристик и показателей качества выполнения производственных планов ССВ показал, что решение данных задач должно базироваться на концепция системного моделирования сложных организационно-технических объектов (СОТО), к числу которых относится и рассматриваемая ССВ [1].

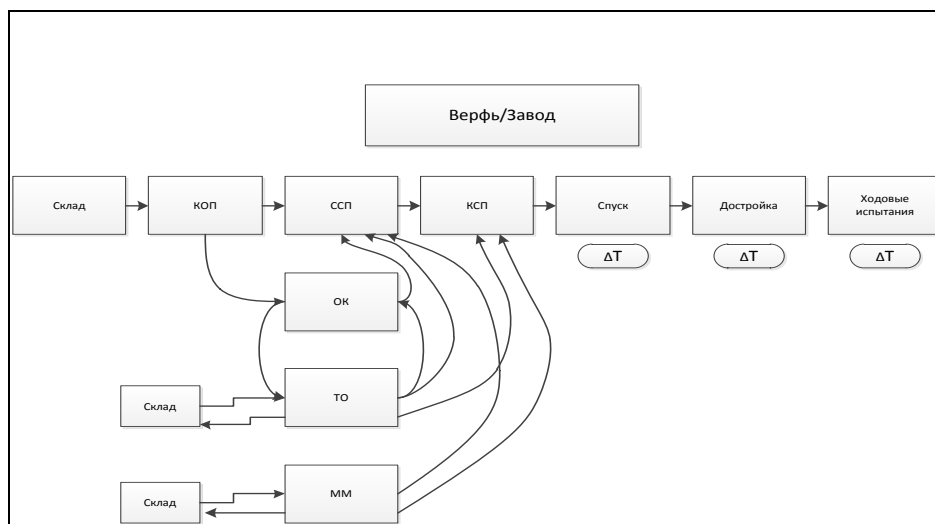


Рис. 1. Обобщенная организационно-технологическая структура ССВ

Далее под системным моделированием (СМ) сложных объектов (СЛО) любой природы (естественных, искусственных, реально существующих и виртуальных и т.п.) будем понимать методологию и технологию полимодельного описания указанных объектов, а также комбинированного использования методов, алгоритмов и методик многокритериального анализа, синтеза и выбора наиболее предпочтительных управленческих решений, связанных с созданием и использованием рассматриваемых СЛО в раз-

личных условиях. Основное достоинство СМ состоит в том, что комбинированное использование альтернативных моделей, методов и алгоритмов позволяет взаимно компенсировать их объективно существующие недостатки и ограничения одновременно усилив их положительные качества. При этом основная (главная) проблема СМ состоит в необходимости согласования (координации) на концептуальном, модельно-алгоритмическом, информационном и программном уровнях используемых моделей, методов и алгоритмов.

Авторами доклада в ходе совместно выполняемого в настоящее время проекта (см. <http://litsam.ru> раздел проекты) было предложено реализовать концепцию и технологию СМ применительно к ССВ в рамках соответствующей имитационной системы (ИМС). С момента зарождения концепции имитационной системы до настоящего времени она претерпела существенную эволюцию. Современное представление концепции имитационной системы дается следующим определением.

**Определение** [5–8]: Имитационной системой (ИМС) называется специальным образом организованный моделирующий комплекс, состоящий из следующих элементов: а) имитационных моделей (иерархии имитационных моделей), отражающих определенную проблемную область; б) аналитических моделей (иерархии аналитических моделей), дающих упрощенное (агрегированное) описание различных сторон моделируемых явлений; в) информационной подсистемы, включающей базу (банк) данных, а в перспективе базу знаний, основанную на идеях искусственного интеллекта; г) системы управления и сопряжения, обеспечивающей взаимодействие всех компонент системы и работу с пользователем (лицом, принимающим решения – ЛПР) в режиме интерактивного диалога.

Обобщенная структурная схема приведена на рис. 2. Кратко остановимся на основных положениях, определяющих построение имитационной системы в соответствии с данным определением. Структура математического обеспечения современных ИМС является иерархической. В основании данной иерархии моделей лежит базовое описание изучаемого объекта (в нашем случае ССВ), которое состоит из независимых (т. е. несвязанных между собой) моделей отдельных частей исследуемого объекта. Эти модели могут быть заданы как в формализованном виде (в математической форме), так и в неформализованном виде (в виде содержательной постановки на естественном либо на профессиональном ориентированном языке).



Рис. 2. Обобщенная структурная схема имитационной системы

При создании моделей базового описания объекта разработчики стремятся максимально использовать наиболее адекватные способы представления отдельных аспектов функционирования изучаемой системы, не учитывая, имеется ли для указанных моделей соответствующая исходная информация и возможно ли проведение исследований с их помощью. Модели базового описания объекта применяют при генерации исходных и последующих версий ИмС с учетом опыта эксплуатации. На следующем уровне иерархии моделей находится описание основной модели изучаемого объекта (или, по-другому, модели имитационного уровня). На этом уровне модели отдельных подсистем объекта и процессов, протекающих в них, должны быть согласованы как по входной, так и по выходной информации, обеспечены исходной информацией для проведения имитационных экспериментов. В данных моделях с большой степенью детализации должны быть описаны все стороны процесса функционирования объекта в различных условиях обстановки. Описание объекта с помощью моделей имитационного уровня является необычайно сложным, и единственный метод изучения поведения исследуемого объекта с использованием данных моделей состоит в проведении имитационных экспериментов, которые требуют больших затрат машинного времени. В условиях реального масштаба времени использование ИмС в таком виде не представляется целесообразным. Поэтому в ИмС, как уже указывалось ранее, кроме основной модели строят вспомогательные (упрощенные) модели, предназначенные для предварительного агрегированного оценивания поведения объекта в различных условиях обстановки, предварительного оценивания эффективности принятия решений, связанных с управлением объектом. При этом, как правило, строят не одну упрощенную модель, а иерархию упрощенных моделей. В данной иерархии моделей при переходе к верхним уровням модели становятся все более простыми и удобными для человеко-машинного исследования, а процесс решения задач анализа, оценивания и выбора варианта функционирования объекта в интерактивном режиме облегчается.

Математической основой упрощения моделей ИмС является теория агрегирования. Анализ упрощенных моделей с использованием разнообразных алгоритмов позволяет ЛПР в режиме оперативного использования ИмС из всего многообразия возможных вариантов выдачи управляющих воздействий на объект отобрать небольшое число, проверить и уточнить их далее более подробно с помощью имитационного эксперимента. Таким образом, результаты расчетов, проводимых ЛПР на упрощенных моделях, позволяют компенсировать основной недостаток моделей имитационного уровня, состоящий в возможности изучить с их помощью лишь ограниченное число воздействий на исследуемый (либо управляемый) объект. Кроме проблемно-ориентированных вычислительных модулей в состав программного обеспечения (ПО) ИмС включаются стандартные вычислительные модули, с помощью которых реализуются на ЭВМ стандартные алгоритмы исследования: имитационные, оптимизационные (одно- и многокритериальные). Модульное построение математического обеспечения ИмС оказывается очень удобным, так как позволяет с помощью относительно небольшого числа вычислительных модулей строить большое число вычислительных программ (совокупности вычислительных модулей) для моделирования объекта с различной степенью детализации в рамках одной и той же ИмС. Кроме того, модульная структура ИмС позволяет при оперативном режиме ее использования (в реальном масштабе времени) решать в каждом звене системы управления активными подвижными объектами не только собственные задачи моделирования, но и задачи моделирования вышестоящих и нижестоящих звеньев при наличии соответствующих исходных данных и модулей имитационных моделей.

## **2. Предлагаемая архитектура программной среды, реализующей задачи многокритериального оценивания и анализа выполнимости**

Рассмотрим конкретные пути реализации описанной выше ИмС. Проведённый анализ используемых в настоящее время на отечественных ССВ программных средств автоматизации моделирования их основных элементов и подсистем на различных этапах жизненного цикла показал, во-первых, существенную гетерогенность применяемого СПО, во-вторых, сложность или невозможность непосредственной организации взаимодействия между имеющимися в наличии программными средствами автоматизации моделирования [5–9]. Упомянутые выше программные средства моделирования представляют собой унаследованные программные системы в виде законченных решений (например, имитационная модель в среде AnyLogic, GPSS), реализующих имитационные модели судостроительного предприятия, прошедшие валидацию и верификацию. Такие подсистемы целесообразно использовать в составе создаваемого программно-методического комплекса (ПМК). Кроме того, в рамках выполняемого проекта ведется разработка новых программных модулей, предназначенных для решения следующих прикладных задач: расчет статистических, оптимистических и пессимистических оценок показателей выполнимости производственных планов; расчет показателей критичности отказов при выполнении производственных планов; многокритериальное оценивание и анализ показателей выполнимости производственных планов; автоматизированное формирование, реализация и анализ сценариев моделирования.

Анализ показывает, что разработка подобных подсистем «с нуля» представляет собой экономически не выгодный процесс как с точки зрения трудозатрат, так и времени выполнения проекта. В связи с этим, необходимо организовать ПМК таким образом, чтобы обеспечить беспрепятственный обмен согласованными исходными данными и выходным результатом между готовыми и создаваемыми программными средствами.

Наиболее хорошо зарекомендовавшим себя подходом к построению гетерогенных модульных систем на сегодняшний день является сервис-ориентированная архитектура (Service Oriented Architecture, SOA) [10]. Данный подход эффективен при слабой связности и распределённости используемых модулей. В то же время SOA требует использования стандартизированных интерфейсов модулей и работы по стандартизированным протоколам, что не было реализовано во всех унаследованных программных продуктах. Связующее программное обеспечение, обеспечивающее централизованный и унифицированный событийно-ориентированный обмен сообщениями между различными информационными системами, носит название сервисная шина предприятия (Enterprise Service Bus, ESB) [11–12].

В соответствии с требованиями технического задания в выполняемом проекте целесообразно сервисную шину реализовать на свободно распространяемом программном обеспечении с открытым исходным кодом, например, на программном каркасе Zato, системах OpenESB или Mule. Подсистему управления данными планируется реализовать в виде СУБД PostgreSQL, свободно распространяемой с открытыми исходными кодами. В базе данных должны храниться наборы исходных данных для имитационного и аналитического моделирования, а также сведения о конфигурациях ПМК и сценариях моделирования. Указанные сведения позволяют технологу судостроительного предприятия строить различные вычислительные программы для моделирования производственных процессов с различной степенью детализации.

Подсистема управления моделированием, визуализации и интерпретации результатов представляет собой программный модуль, реализованный в виде клиент-серверного приложения. Клиентская часть выполнена в виде тонкого клиента, например, веб-интерфейса пользователя (отображается в браузере) и может быть основана на сво-

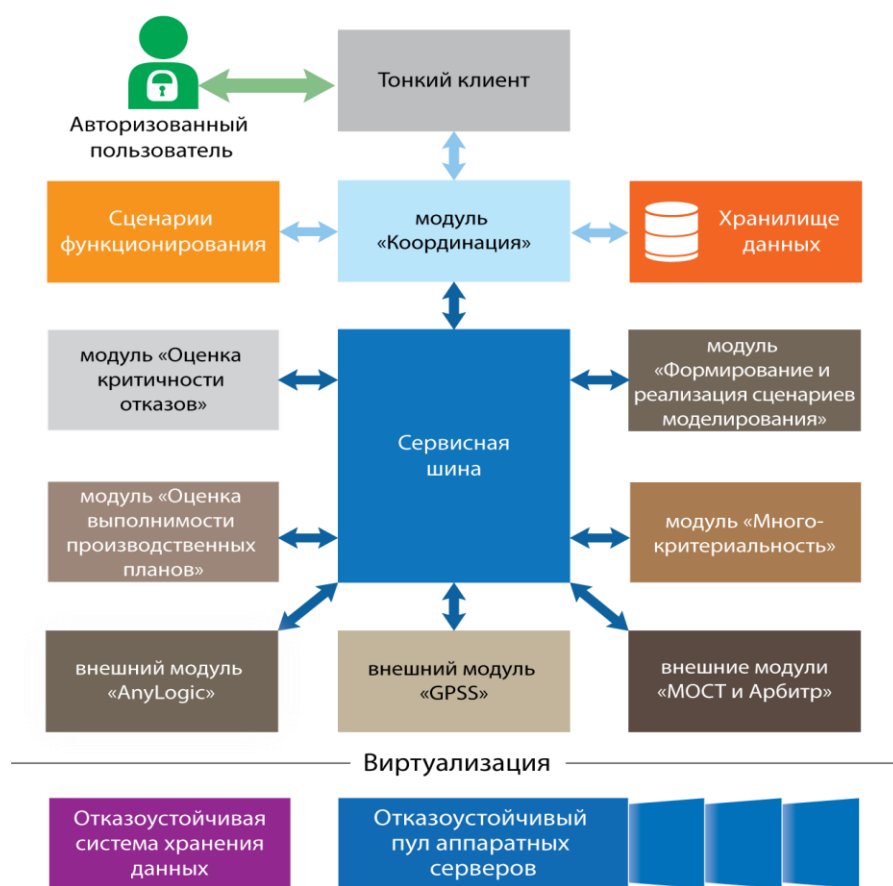
бодно распространяемых программных каркасах DHTMLX, ExtJS, jQuery и других, которые предоставляют возможность быстрого создания эргономичных пользовательских интерфейсов из набора готовых графических компонентов. Клиентская часть фактически реализуется на языках HTML и Javascript, что позволяет использовать её в большинстве современных операционных систем без необходимости преобразования исходного кода. Для повышения наглядности результатов моделирования в проекте предлагается использовать свободно распространяемые библиотеки, в частности, PhiloGL (ориентирована на визуализацию данных на основе развивающейся технологии WebGL на стороне клиентской части подсистемы визуализации) и Matplotlib (входит в состав математических библиотек языка программирования Python).

С учётом обозначенных ранее особенностей используемых унаследованных программных комплексов предлагается следующая архитектура создания ПМК (см. рис.3). Данная архитектура позволяет, во-первых, для преодоления проблем гетерогенности с одной стороны, и удобства развёртывания ПМК с другой стороны, разместить все модули с несовместимыми требованиями к среде исполнения на различных виртуальных машинах в рамках одного аппаратного сервера. Во-вторых, с учётом перспектив дальнейшего развития ПМК в направлении создания территориально-распределённых архитектур, обеспечить взаимодействие модулей посредством сетевого обмена данными. Для этих целей предлагается создать программные «обёртки», преобразующие частную систему ввода-вывода каждого модуля в стандартизированный интерфейс обмена данными. В-третьих, разработать центральную часть ПМК: программный комплекс, обеспечивающий вызов всех остальных модулей, снабжение их согласованными исходными данными, сбор и интерпретацию результатов, и, в-четвёртых, создать кроссплатформенный интегрированный пользовательский интерфейс, позволяющий удалённо использовать все возможности ПМК.

### **Заключение**

Результаты выполненных исследований планируется в дальнейшем реализовать в рамках распределённых интегрированных систем поддержки принятия судостроительной корпорации при решении следующих прикладных задач: многокритериальное оценивание, анализ и выбор планов проведения реконструкции и технического перевооружения ССВ; выбор наиболее предпочтительной организационно-технологической схемы производства; оценивание различных производственных технологий, используемых на ССВ; уточнение схемы материальных потоков и загрузки оборудования ССВ; определение необходимого числа и номенклатуры используемого на ССВ оборудования; проверка эффективности совместного функционирования сложного комплекса оборудования, расположенного в цехах ССВ; проверка выполнимости производственных планов ССВ.

Кроме того, анализ показывает, что экономическая эффективность данной разработки по виду эффекта относится к классификационной группе управленческие эффекты. Основными факторами, влияющими на эффективность процессов автоматизации проектирования технологических процессов на судостроительном предприятии, являются повышение оперативности и обоснованности выработки проектных решений, связанных с анализом и синтезом облика данного предприятия за счет применения автоматизированных технологий имитационного и комплексного моделирования и многокритериального оценивания значительно большего числа альтернативных управленческих решений по сравнению с подходами, используемыми в настоящее время на практике.



**Рис. 3. Обобщенная архитектура создаваемого экспериментального образца специального программного обеспечения**

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации: СПбГПУ (мероприятие 6.1.1), ИТМО (субсидия 074–U01), Программы НТС Союзного государства «Мониторинг СГ» (проект 1.4.1–1), РФФИ №№15-07-08391, 15-08-08459, 13-07-00279, 13-08-00702, 13-08-01250, 13-07-12120, 13-06-0087, Программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН (проект №2.11), проекта ESTLATRUS 2.1/ELRI-184/2011/14, проекта ESTLATRUS/1.2./ELRI-121/2011/13 «Baltic ICT Platform».

### Литература

1. **Васильев А. А., Долматов М. А., Плотников А. М., Попов В. И.** Разработка организационно-технологических проектов технического перевооружения и реконструкции судостроительных предприятий Санкт-Петербурга с применением методов имитационного моделирования//Морской вестник. СПб., 2007. № 3 (6).
2. **Карпов Ю. Г.** Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
3. **Васильев А. А., Долматов М. А., Любимова И. Е., Плотников А. М.** Опыт применения методов имитационного моделирования в задачах разработки оргтехпроектов модернизации действующих производств судостроительных предприятий//Сб. докладов второй научно практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика. ИММОД-2005». Том 1. СПб., 2005.

4. **Ackoff, R. L.**, 1978. The Art of Problem Solving. Wiley-Interscience, New York.
5. **Павловский Ю. А.** Имитационные модели и системы. – М.: Фазис, 2000.
6. Имитационное моделирование производственных систем / А.А. Вавилов, Д.Х. Имаев, В.И. Плескунин и др. – М.: Машиностроение; Берлин: Ферлаг Техник, 1983.
7. **Пешель М.** Моделирование сигналов и систем. – М.: Мир, 1981.
8. **Полляк Ю. Г.** Вероятностное моделирование на электронных вычислительных машинах. – М.: Сов. радио, 1971.
9. **Охтилев М. Ю., Соколов Б. В., Юсупов Р. М.** Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006.
10. OASIS Standard: Web Services Business Process Execution Language (2007).
11. **Simon St. Laurent, Joe Johnson, Edd Dumbill.** (June 2001) Programming Web Services with XML-RPC. O'Reily. First Edition.
12. **Vasiliev, Y.:** SOA and WS-BPEL: Composing Service-Oriented Solution with PHP and ActiveBPEL. Packt Publishing (2007).