

**ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ПРОГРАММНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ИМИТАЦИОННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ И ОЦЕНКИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ К ПОСТРОЙКЕ ЗАКАЗОВ**

**М.А. Долматов, А.М. Плотников, В.А. Харитонов (Санкт-Петербург),
М.В. Федотов, Т.В. Девятков (Казань)**

В настоящее время в российском судостроении одним из основных и важных факторов в конкурентной борьбе становится возможность оперативной и обоснованной оценки возможности реализации планируемых и востребованных заказчиками производственных программ, в т.ч. технологической готовности и достаточности имеющихся производственных мощностей предприятий, а также определение возможных ограничивающих факторов.

Решение данной задачи возможно посредством применения методов имитационного моделирования и специализированных программных решений, реализующих эти методы.

Однако применение в отрасли промышленных симуляторов требует наличия в штате организации специалистов, владеющих методами имитационного моделирования и специализированными языками программирования.

Оптимальным решением этой проблемы является разработка и применение специализированных программных решений, изначально ориентированных на специалистов предметной области.

В 2016 году специалистами АО «Центр технологии судостроения и судоремонта» – АО «ЦТСС» (Санкт-Петербург) и ООО «Элина-Компьютер» (Казань) было завершено создание первого в России специализированного приложения для имитационного моделирования судостроительных производств – Автоматизированная система «Сириус» (АС «Сириус») [1].

АС «Сириус» является специализированным и ориентированным на применение специалистами судостроительной отрасли программным инструментом для проведения имитационных исследований процессов функционирования производственных комплексов судостроительных предприятий. Результатом работы приложения являются количественные показатели (такие как, верифицированные длительности выполнения производственной программы, коэффициенты использования ресурсов предприятия, и т.д.), которые технолог или проектант может использовать для оценки принимаемых проектных, планировочных и технологических решений, проверки возможности выполнения производственной программы, определения загрузки кранового, транспортного и технологического оборудования и производственных площадей, а также для определения других «узких мест» производственной системы.

АС «Сириус» является развитием совместных исследований и базируется на программных разработках АО «ЦТСС» и ООО «Элина-Компьютер», полученных в рамках выполнения ряда НИОКР, результаты которых представлялись на конференциях ИММОД и ИКМ МТМТС.

АС «Сириус» функционирует как самостоятельное программное решение, а также может функционировать в комплексе с внешними программными системами, взаимодействие с которыми осуществляется посредством встроенного в приложение SOAP сервиса.

Моделирующим ядром АС «Сириус» является коммерческий симулятор GPSS World.

Процесс создания имитационных моделей автоматизирован – введенные пользователем исходные данные преобразуются специальными алгоритмами в код на языке GPSS World, который исполняется моделирующим ядром.

При разработке приложения учитывался тот факт, что системой будут пользоваться специалисты судостроительной отрасли (технологи и проектанты), не знакомые с технологиями и специализированными языками имитационного моделирования и программирования. Поэтому при вводе исходных данных в пользовательском интерфейсе используется применяемая в отрасли специальная терминология, а результаты моделирования представляются в понятной для восприятия специалистами графической и табличной формах.

АС «Сириус» позволяет выполнять параллельную разработку нескольких имитационных моделей судостроительных предприятий, формировать и использовать при разработке единую библиотеку производственного оборудования и проектов судов.

В перечень исходных данных имитационной модели входят: параметры заказов; разбивка заказов на сборочные единицы (СЕ) и сборочно-монтажные единицы (СМЕ), их характеристики; «дерево» формирования корпуса заказа на построечном месте; генплан предприятия и планировки отдельных производств, цехов и участков; перечень и характеристики технологического, кранового и транспортного оборудования; технология строительства; статистические данные и т.д. Для удобства пользователя все данные разделены на группы, взаимосвязанные между собой и вводимые последовательно. Таким образом, формируется четкая непротиворечивая структура исходных данных. Например, характеристики заказов и разбивка их корпусов на СЕ/СМЕ являются справочными данными и используются при формировании производственных программ. Для ввода исходных данных разработаны специализированные элементы пользовательского интерфейса.

По окончании ввода данных пользователь может запустить моделирование технологических процессов судостроительного предприятия с заданными исходными данными (одиночный эксперимент) или серию экспериментов, состоящую из набора одиночных экспериментов с различными параметрами.

По окончании моделирования АС «Сириус» предоставляет пользователю следующие результаты:

- данные по срокам выполнения производственной программы и диаграмму выполнимости производственной программы – сравнение планируемого срока и полученного в результате моделирования;
- данные по загрузке и использованию производственных площадей;
- данные по загрузке и использованию кранового, транспортного и технологического оборудования;
- сводные графики результатов (при проведении серии экспериментов);
- 2D анимация технологического процесса строительства изделий;
- журнал событий.

Результаты моделирования могут быть экспортированы в форматы MS Word и MS Excel.

Возможности разработанного приложения (на примере анализа проекта модернизации одного из крупных судостроительных предприятий Санкт-Петербурга, разработанного АО «ЦТСС») были продемонстрированы специалистам ряда организаций судостроительной отрасли (АО «СЗ «Северная верфь», АО «Выборгский СЗ», АО «Зеленодольский СЗ», АО «Объединенная судостроительная корпорация» и др.). По результатам собранных в ходе демонстраций предложений был сформирован план по доработке и расширению функциональных возможностей АС «Сириус», который был реализован в 2017 году за счет собственных средств АО «ЦТСС».

Выполнение доработки приложения под требования потенциальных потребителей (предприятий судостроительной отрасли, заинтересованных в его внедрении) включала, в том числе, расширение существующих библиотек типового технологического оборудования и средств технологического оснащения. Новая версия приложения получила название АС «Сириус» 2.0 [2].

В 2017-2018 г.г. было создано программное решение для предварительной экспресс-оценки готовности предприятия к строительству заказа, выполняемой перед разработкой имитационной модели – модуль «Оценка» [3].

Необходимость создания данного решения обусловлена тем, что для обеспечения точности результатов моделирования требуется аккумуляция в имитационной модели огромного количества данных (краткий перечень которых представлен выше). В ряде случаев такая детализация исходных данных является избыточной. Так, для оценки технологической готовности предприятия к строительству заказа, количество исходных данных может быть сокращено в разы. К тому же практика показывает, что работа по разработке имитационных моделей предприятий часто связана

с дефицитом исходных данных и/или их получением в трудно формализуемой форме, требующей дополнительных трудозатрат на обработку.

В этих случаях уместно выполнение «укрупненной» оценки, которая местами грубо и неточно, но зато с гораздо меньшими усилиями способна показать отсутствующие или недостаточные компетенции предприятия по строительству изделий определённых классов, или недостаточность производственных мощностей предприятия.

Модуль «Оценка» является клиент-серверным приложением, допускающим одновременную работу нескольких пользователей и может использоваться в качестве самостоятельного решения или, при необходимости, может быть интегрировано в состав АС «Сириус» 2.0. Ввод данных осуществляется в ручном режиме посредством пользовательского интерфейса, а автономность обеспечивается за счет наличия собственной базы данных.

При работе в составе АС «Сириус» 2.0 появляется возможность импорта данных из БД АС «Сириус» 2.0, которая позволяет автоматически загрузить основной объем характеристик заказов и предприятий.

Оценка технологической готовности предприятия к строительству заказа выполняется путем сопоставления характеристик заказа с компетенциями предприятия, конструктивно-технологическими характеристиками цехов, участков и оборудования. Во время оценки выполняется проверка различных критериев готовности по всем основным видам производства, а затем результаты отдельных критериев собираются вместе. В текущей версии приложения оценка выполняется по 40 критериям.

Критерии делятся на основные и дополнительные. Основные критерии строго говорят о готовности или неготовности предприятия к строительству определённого заказа по определённой причине. Дополнительные критерии только указывают на наличие некоторых преимуществ, относительно других предприятий, или наоборот, отсутствию каких-либо некритичных компетенций и/или характеристик цехов, оборудования и т.п., которые можно относительно несложно восполнить.

Критерии могут сильно отличаться по сложности. Простые критерии, например, «Возможность поставки материалов» просто проверяет наличие на предприятии подъездных путей разных видов (железнодорожный, морской и т.д.). Более сложные критерии проверяют, например, наличие и характеристики построечных мест СЕ/СМЕ; наличие в сборочно-сварочных цехах вывозных ворот, достаточных по габаритам для транспортировки СЕ/СМЕ с учетом высоты транспортных средств, разности длины и ширины СЕ/СМЕ, и требованиям по минимальным отступам между СЕ и краем ворот.

Результаты краткой экспресс-оценки отображаются в табличной форме, где каждому критерию ставится в соответствие одно из трех значений (выполнен, не выполнен, не запускался по причине отсутствия исходных данных).

Для детального анализа полученных результатов модуль «Оценка» формирует итоговый отчет в формате MSWord, в котором информация представлена в текстовой и табличной формах. В начале отчета приводятся основные конструктивно-технологические характеристики заказа и предприятия. Затем следуют краткие выводы о возможности строительства заказа на предприятии. Далее приводится детальная информация о результатах выполнения критериев, сгруппированных по отдельным видам производства. Для каждого критерия выводятся качественные и количественные показатели, подтверждающие, что критерий действительно выполнен или показывающие причину, из-за которой заказ, или его часть не могут быть построены. Также в отчет выводятся сведения об отсутствии исходных данных, что отражает качество результатов оценки выполнимости критерия. В конце отчета приводятся таблицы с данными, неудовлетворяющими тем или иным критериям, например, список СЕ/СМЕ, для которых отсутствует подходящее транспортное оборудование. Форма и содержание отчета практически повторяет существующую отчетность при технологическом аудите предприятий.

Учитывая постоянно возникающую проблему, связанную с неполнотой необходимых для создания имитационной модели исходных данных о заказах, планируемых к строительству на предприятии, специалистами АО «ЦТСС» в 2018 году были начаты работы по созданию специализированного приложения для автоматизированного формирования информационного массива (разбивки), описывающего строящийся заказ на основе имеющихся прототипов судов аналогичных проектов. Приложение получило название «Заказ-Генерация».

Как и в АС «Сириус» 2.0 исходные данные вводятся последовательно.

На первом этапе вводятся все имеющиеся данные по проекту, включая разбивку на СЕ и перечень основных СМЕ. При этом могут быть использованы как данные, полученные от проектной организации, так и данные судна-прототипа.

На втором этапе выбирается предполагаемое предприятие-строитель из имеющихся в БД или вводятся данные по новому предприятию. Выбор предприятия определяет распределение общей трудоемкости по видам производства и далее по видам работ. Пользователь может выбрать либо базовые коэффициенты, либо задать свои.

Завершающим этапом на основе данные о проекте и предприятии автоматически генерируется разбивка заказа на основе введенных данных о трудоемкости работ. Полученная разбивка может быть экспортирована в формат MS Excel для дальнейшего импорта в АС «Сириус» 2.0.

Созданные программные решения уже доказали свою эффективность в период с 2018 по 2019 годы при создании имитационной модели предприятия Goa Shipyard Limited (Гоа, Индия) в рамках работ для Инозаказчика по созданию принципиальной технологии строительства кораблей после планируемой модернизации[4].

С 2019 по 2020 годам планируется использовать данные программные решения в рамках проекта «Строительство, реконструкция и техническое перевооружение (глубокая модернизация) производственных мощностей АО «Онежский судостроительно-судоремонтный завод» для проверки выполнимости планируемой производственной программы и верификации расчетов пропускной способности по видам производств.

Права на созданные программные решения закреплены за АО «ЦТСС». В настоящее время решается вопрос об их включении в Единый реестр отечественного ПО и БД.

АО «ЦТСС» и ООО «Элина-Компьютер» в настоящее время продолжают работы по развитию созданных решений.

В перспективе, на базе данных решений, планируется создание комплексного решения для оценки выполнимости группой предприятий отрасли перспективных производственных программ. Это позволит сократить время на проведение технологического аудита в части оценки технологической исполнимости заказов в производственной системе группы предприятий.

Применение описанных в статье специализированных и ориентированных на специалистов предметной области приложений может считаться универсальным подходом. Благодаря единому подходу к описанию строящихся заказов, объектов производственных систем и производственных технологий, формированию имитационных моделей в рамках единого программного решения возможна «быстрая» разработка и последующая корректировка (актуализация) имитационных моделей процессов функционирования любого судостроительного предприятия (верфи).

Данный подход применим как для анализа функционирования существующих предприятий судостроительной отрасли, так и для проверки проектных решений и проведения технологического аудита разрабатываемых проектов реконструкции и модернизации предприятий и отраслевых программ по судостроению и кораблестроению. Также он может быть реализован (с небольшими доработками) применительно к другим отраслям промышленности.

Литература

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016610247 от 11.01.2016 г.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № № 2018614213 от 03.04.2018 г.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018614215 от 03.04.2018 г.
4. М.В. Федотов, Т.В. Девятков, А.М. Плотников, М.А. Долматов. Опыт создания и перспективы развития российского специализированного программного обеспечения для автоматизации моделирования процессов функционирования судостроительных производств и оценки технологической готовности предприятий к реализации перспективных производственных программ // Пятая международная научно-практическая конференция «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем» (ИКМ МТМТС-2019). Труды конференции. – М. Издательство Перо, 2019. С. 186-190.