
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ МОДЕРНИЗАЦИИ КОРПУСОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ СУДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**А. А. Васильев, М. А. Долматов, А. М. Плотников, Д. О. Федотов
(Санкт-Петербург)**

В настоящее время для мировой практики разработки технологических проектов реконструкции судостроительных предприятий характерно применение методов имитационного моделирования с целью оптимизации схем материальных потоков, состава и характеристик технологического оборудования, производственных компоновочных схем. Это обусловлено необходимостью обеспечения высокой конкурентоспособности предприятий на рынке, что, в свою очередь, возможно только при внедрении современных технологий, позволяющих значительно сократить сроки и снизить трудоемкость постройки судов и кораблей.

Применение методологии имитационного моделирования позволяет выполнять качественный анализ и оценку эффективности функционирования предприятия, осуществлять обоснованный технико-экономический анализ вариантов реализации сложных производственных систем. Математический аппарат имитационных моделей позволяет, задавая вероятностные характеристики событий и производственных процессов, с необходимой степенью достоверности моделировать функционирование производственных систем в различных интервалах времени.

Специалистами ОАО «ЦТСС» (ФГУП «ЦНИИТС») разработано несколько проектов реконструкции судостроительных предприятий, включая корпусостроительное производство, на этапе отработки каждого из которых применялись технологии имитационного моделирования. Корпусостроительное производство – по определению – обеспечивает постройку корпуса судна, начиная от его формирования на построечном месте до спуска на воду, включая изготовление блоков корпуса. Корпусостроительное производство – наиболее важный период строительства судна, трудоемкость всех работ, выполняемых на построечном месте, достигает 40% общей трудоемкости постройки.

Разработке имитационных моделей (ИМ) предшествовал системный анализ корпусостроительных производств отечественных верфей как совокупности принципиальных организационно-технологических решений, технологических процессов и компоновочных схем. Были систематизированы и представлены в виде отдельной базы данных (БД) необходимые для разработки моделей все исходные материалы.

Анализ показал относительно слабую степень типизации компоновочных схем и организационно-технологических решений корпусостроения. Причины – в особенностях исторически сложившейся территориальной конфигурации верфей и ярко выраженной специализации отечественных предприятий, которая в значительной степени предопределяет применяемые организационно-технологические решения.

Несмотря на различия, есть и общие черты (характеристики) корпусостроительных производств верфей, исходя из которых можно выполнить упрощенную типизацию. Подобной типизации вполне достаточно для создания имитационных моделей и проведения серии необходимых экспериментов.

Общие характеристики корпусостроительных производств, на основе которых оказалось возможным выполнить типизацию, следующие:

- тип построечного места;
- тип используемого кранового оборудования (портальные краны, мостовые краны, козловые краны, перегружатели);

- тип используемого транспортного оборудования (судовозные тележки, судовозные поезда, трансбордерные системы, транспортные платформы);
- класс строящихся судов.

В отдельных случаях в моделях предусмотрен учет процессов монтажа отдельных единиц оборудования (особенно для заказов большого водоизмещения и насыщенных крупным оборудованием).

Под типовые корпусостроительные схемы были составлены алгоритмы функционирования корпусостроительных производств. Уже на основе алгоритмов разработан набор имитационных моделей. Для каждой ИМ создан свой пользовательский интерфейс для управления, корректировки модели, выполнения расчетов и визуализации результатов расчета (рис. 1). Пользовательский интерфейс имитационной модели ориентирован на специалистов предметной области – технологов, проектантов и конструкторов. Это позволяет, с одной стороны, использовать все ранее собранные статистические данные и инженерный опыт специалистов, а с другой – оперативно учитывать все изменения в проекте, отработку вариантов его исполнения и повысить адекватность имитационной модели для получения более качественных результатов экспериментов, чем при традиционно применяемом расчете.

При создании моделей использовался специализированный пакет имитационного моделирования AnyLogic Professional версии 6.3.1 (компания Xj Technologies).

В состав имитационных моделей корпусостроительного производства включены следующие виды объектов: транспортное и крановое оборудование, плавучие доки, достроечные набережные, производственные участки.

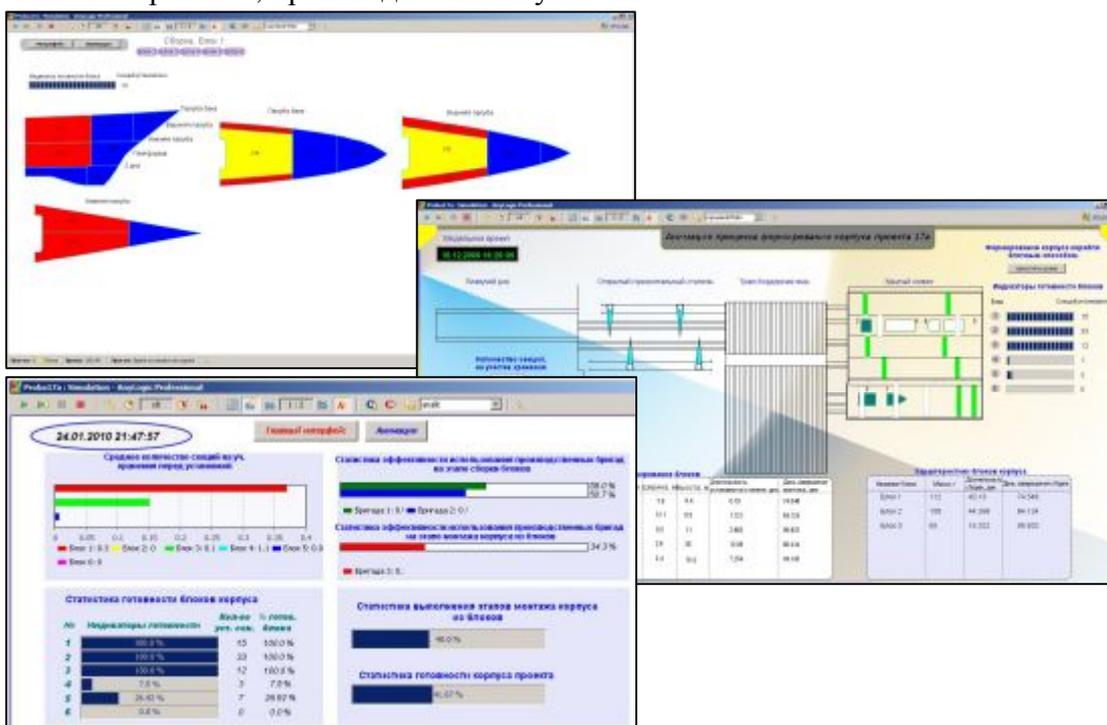


Рис. 1. Пользовательский интерфейс имитационной модели

Для каждого из производственных участков в модель вносились максимальная вместимость, количество кранов, обслуживающих участок. Для кранового и транспортного оборудования в моделях учитывались их «скоростные» показатели: длительность перемещения составных элементов оборудования, перемещения в полете цеха и длительность выполнения типовых погрузочно-разгрузочных операций.

При наличии участков, на которых выполняется формирование сборочно-монтажных единиц, в модель вносилась информация об алгоритме их формирования, а средства технологического оснащения учитывались как отдельная позиция со своими специфическими характеристиками.

Разработанные пользовательские интерфейсы имитационных моделей обеспечивают:

- оперативную корректировку основных параметров и отслеживание изменений значений параметров имитационной модели;
- проведение экспериментов на модели, запись статистики, полученной в ходе экспериментов, во внешний файл;
- синхронное изменение визуализации процесса функционирования производства, при изменении критичных параметров в процессе выполнения модели;
- моделирование различных технологических схем выполнения корпусостроительных работ.

Авторами выполнены эксперименты на имитационной модели для стадии разработки производственных компоновочных схем производства и стадии принятия организационно-технологических решений.

Выбор того или иного технологического процесса корпусостроительного производства выполнялся в зависимости от ряда факторов, в частности, от класса строящегося проекта. Были проработаны несколько вариантов принципиальных технологий, ориентированных на реализацию во вновь создаваемых производствах. Все варианты различаются по классам и типам строящихся заказов.

По каждому проекту в имитационную модель включались следующие данные:

- количество сборочных блоков и количество секций в составе блоков;
- укрупненные данные по трудоемкости выполнения сборочных операций;
- последовательность формирования корпуса на построечном месте;
- планируемая годовая производственная программа.

В качестве производственной информации в моделях использовались:

- данные по технологии изготовления корпусов на стапельных позициях;
- усредненные временные характеристики функционирования транспортного и кранового оборудования (нормативные и статистические данные);
- данные по организации работ на построечном месте;
- данные по складским площадкам (месторасположение, вместимость).

Проведение экспериментов позволило определить значения критических параметров производства при заданных начальных условиях. При традиционных подходах эти параметры определялись методами прямого расчета, на основе нормативной и проектной документации. Разработка моделей выполнена с учетом следующих особенностей:

- участки могут размещаться как в различных пролетах одного цеха, так и в отдельных зданиях;
- на предприятии могут быть построечные места различного типа и варианта исполнения;
- заказы, строящиеся на стапельных площадках, могут относиться к разному классу (т.е. иметь различный алгоритм формирования корпуса);
- строительство судов определенного класса может требовать учета взаимодействия стапеля с другими производственными цехами;
- задержки в поставке различного оборудования, устанавливаемого на строящихся заказах, значительно влияющих на длительность стапельных работ.

В состав моделей включены объекты и группы объектов, описывающие различные варианты построечных мест. Такой подход позволяет закреплять отдельные произ-

водственные участки за различными зданиями в составе корпусостроительного производства.

В процессе создания имитационных моделей апробирована технология взаимодействия системы имитационного моделирования с системами проектирования в части использования проектных данных непосредственным экспортом из САД системы. В качестве таких экспортируемых из данных САД системы данных использовались схемы планировок корпусостроительных производств судостроительных предприятий, а также данные по разбивке проектов на сборочные единицы.

Перечень основных управляющих параметров модели определялся в процессе анализа технологии постройки. Он включал параметры, влияние которых по экспертной оценке на производственные процессы и длительность стапельного периода было бы наиболее заметно. Это следующие параметры:

1. насыщенность секций, поступающих на сборочные участки;
2. сменность работы на участках формирования блоков и на стапельном участке.

При выборе насыщенности секций возможными вариантами являются «без насыщения» и процент насыщенности от 10 до 100 с шагом 10. Выбор насыщенности секций в процессе моделирования должен напрямую оказывать влияние на трудоемкость выполнения сборочно-сварочных операций. При выборе сменности работы бригад на участках сборки и на стапеле возможными вариантами являются 1, 2 или 3 смены.

Выполнение экспериментов на имитационной модели осуществлялось в целях:

1. получения статистики по работе модели для оценки влияния регулируемых параметров на длительность стапельного периода;
2. анализа «узких» мест и выявления возможных путей их ликвидации;
3. оценки влияния насыщенности секций, поступающих на сборку блоков, на длительность стапельного периода и определения оптимальной их насыщенности.

Вкратце изложим результаты эксперимента применительно к технологии постройки заказа типа фрегат. При проведении эксперимента единичными принимались технология постройки и используемое крановое и транспортное оборудование. В качестве основных регулируемых параметров были выбраны:

1. режим работы на каждом из производственных участков, где производится сборка блоков перед передачей на основную стапельную позицию;
2. насыщенность сборочно-монтажных единиц (секций), поступающих на стапельную позицию для сборки блоков корпуса.

Эксперименты по оценке влияния насыщенности секций на длительность формирования блоков на стапеле выполнялись для вариантов, когда секции подаются на стапель без насыщения, со 100 % и 50 % насыщением.

В результате эксперимента получена статистика по длительности формирования сборочно-монтажных единиц, длительности стапельного периода, сформирован график постройки заказа. Построены графики, отражающие зависимость общей продолжительности формирования сборочно-монтажных единиц и сборки корпуса от режима работы производственных участков и первоначальной насыщенности секций, поступающих на стапельную позицию. Полученная статистика позволила сделать заключение о наиболее приемлемых значениях регулируемых параметров и, следовательно, дать рекомендации по режимам функционирования производства. Показано, что насыщенность секций, поступающих на сборку блоков, существенно влияет на длительность формирования блоков в сторону ее уменьшения. При этом увеличение насыщенности секций до максимума не для каждого блока является целесообразной. Насыщенность секций в 100 % приводит лишь к незначительному сокращению длительности постройки. Насыщенность секций в 50 %

приведет практически к идентичным результатам по времени стапельной сборки, что и 100 % насыщенность.

Для определения более точной зависимости влияния насыщенности секций каждого из блоков на длительность стапельного периода была выполнена серия экспериментов для вариантов, когда секции подаются на стапель с насыщением от 10 до 100% с шагом 10. По результатам эксперимента построен график зависимости стапельного периода от величины насыщенности подаваемых на сборку секций (рис. 2), при работе в 1 смену.

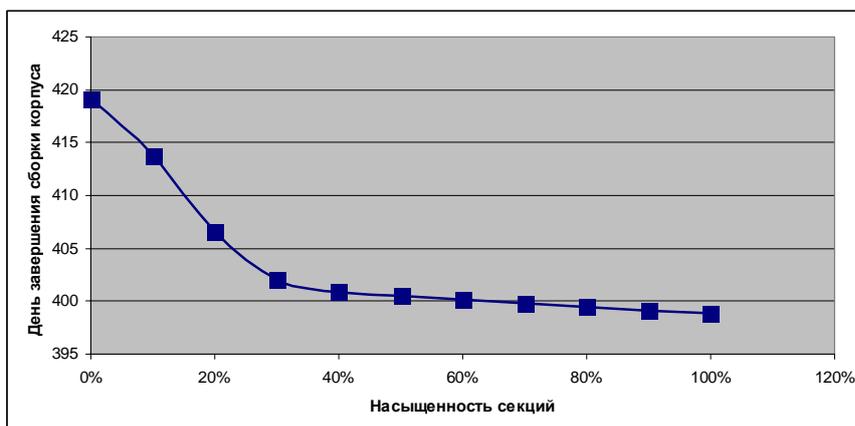


Рис. 2. Зависимость длительности стапельного периода от насыщенности секций

Характер кривой подтверждает выводы, сделанные в ходе экспериментов: рекомендуемая насыщенность секций для проекта варьируется в диапазоне от 40 % до 60 %. Дальнейшее повышение насыщенности в условиях текущей организации работ на рассматриваемом стапельном производстве не приводит к сколько-нибудь значимому изменению сроков постройки корпуса заказа.

Результаты серии экспериментов также позволили сформулировать и обосновать рекомендации по загрузке бригад как при выполнении сборки и сварки блоков, так и при формировании корпуса из блоков.

Применение имитационного моделирования на этапах проектирования становится одним из эффективных средств верификации принимаемых организационно-технических и проектных решений и оптимизации затрат на реконструкцию предприятия.

В настоящее время в ОАО «ЦТСС» ведется разработка проектов реконструкции производств ряда отечественных и зарубежных предприятий. В рамках этих проектов планируется использование ранее полученных наработок в области имитационного моделирования производственных процессов судостроительных предприятий.

Литература

1. Принципиальная технология производства ОАО «ПСЗ «Янтарь». Пояснительная записка. 702038 – 3210 – ТП (договор 1211 от 27.02.2009), СПб. 2009.
2. **Карпов Ю. Г.** Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
3. **Васильев А. А., Долматов М. А., Плотников А. М.** Применение программных средств имитационного моделирования при проектировании новых производств на предприятиях судостроительной промышленности// Третья научно-практическая конференция «Имитационное моделирование. Теория и практика. ИММОД-2007». Сб. докладов. СПб.: ФГУП ЦНИИТС, 2007. Т. 2.