

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ОЦЕНКИ ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТОВ РАЗВИТИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНЫХ И СУДОРЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ РОССИИ

**М. А. Долматов, Р. С. Нисенбаум, А. М. Плотников, Д. О. Федотов
(Санкт-Петербург)**

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. Это сокращает сроки и снижает трудоемкость постройки судов и кораблей.

Использование инструментальных пакетов имитационного моделирования позволяет совмещать различные подходы для повышения адекватности создаваемых моделей реальным производственным системам. Для отдельных фрагментов производства (участков, цехов) могут использоваться методы дискретно-событийного моделирования. В случае моделирования сложного оборудования наряду с дискретно-событийными методами могут применяться и методы агентного моделирования для более точного отражения взаимодействия оборудования с инфраструктурой участка или цеха и обслуживающим персоналом.

Специалистами ОАО «ЦТСС» разработан ряд проектов реконструкции судостроительных предприятий России (ОАО «Адмиралтейские верфи», ОАО «СЗ «Северная верфь», ОАО «ПСЗ «Янтарь» и нек.др.). Особенностью этих проектов стало то, что в каждом из них применялось имитационное моделирование для анализа функционирования производств с целью оптимизации схем материальных потоков, состава и характеристик технологического оборудования. Рассмотрим кратко полученные результаты работ.

В проекте реконструкции предприятия ОАО «СЗ «Северная верфь» выполнено моделирование трех производств: корпусообработывающего, сборочно-сварочного и стапельного.

Цель реконструкции – обеспечить технико-экономические показатели реконструируемого производства предприятия на уровне ведущих верфей мира. Рассматривалось несколько вариантов, которые отличались габаритными размерами используемого проката (вариант листа 2х8 м и 3,2х12 м), а также комплектацией технологического оборудования и его компоновкой на участках. Объем обрабатываемого металла планировалось довести в перспективе до 30 тысяч тонн проката в год.

Цели моделирования:

- обоснование выбора проектантом наиболее оптимальной организационно-технологической схемы производства;
- проверка эффективности совместного функционирования сложного комплекса оборудования, расположенного в цехе;
- уточнение схемы материальных потоков и загрузки оборудования.

Созданная модель включала более 50 единиц оборудования на участках корпусообработывающего и сборочно-сварочного производств, участке предварительной обработки металлопроката, а также на открытом складе (рисунок 1).

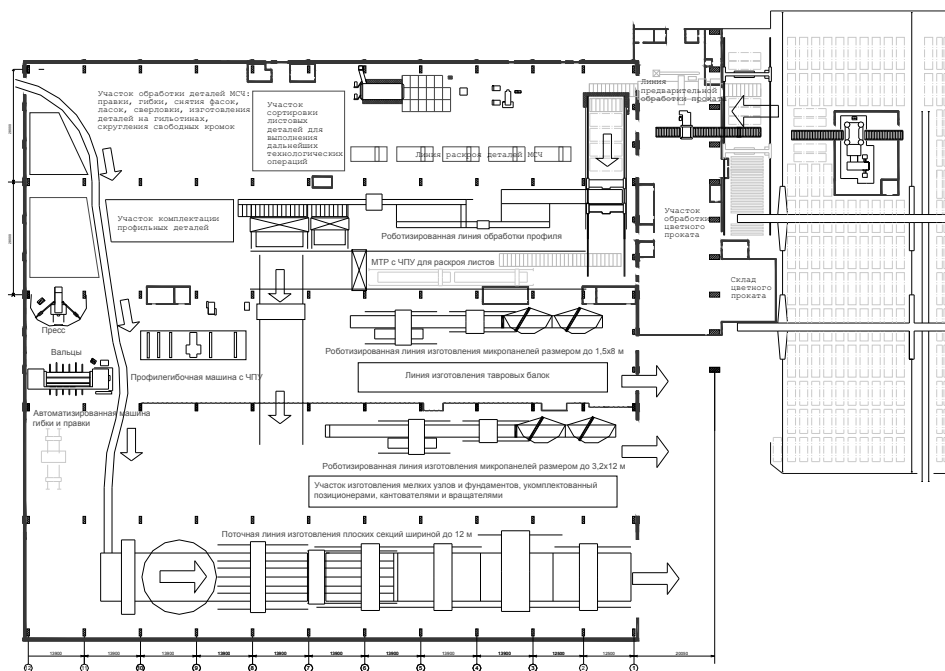


Рисунок 1 – Схема размещения оборудования

Для моделирования использовался пакет AnyLogic Professional. В качестве исходных данных использованы проектные данные по одному из предлагаемых вариантов модернизации производства, статистика по работе технологического оборудования и производственных линий, данные типовых технологических процессов, статистика по строящимся и планируемыми к постройке на верфи изделиям.

Создание модели выполнялось с учетом следующих требований:

- возможности поэтапной модернизации;
- проведение реконструкции без остановки действующего производства;
- сохранение в процессе модернизации отдельных единиц оборудования;
- возможности размещения на существующих производственных площадях дополнительных производственных участков;
- проверка используемой принципиальной технологии постройки.

Созданная модель поддерживает регулировку следующих параметров: период модельного времени, распределение толщин и габаритов заказного листа, распределение по типам деталей, режимы работы оборудования и циклы его «изъятия», длительность транспортных операций, численность персонала.

Для работы пользователя с моделью средствами AnyLogic разработан графический пользовательский интерфейс (рисунок 2).

Пользовательский интерфейс позволяет отслеживать загрузку производственного оборудования в процессе эксперимента, выполнять регулировку основных параметров (производственной программы и режимов работы МТР). В модель также была включена упрощенная анимация материальных потоков цеха.

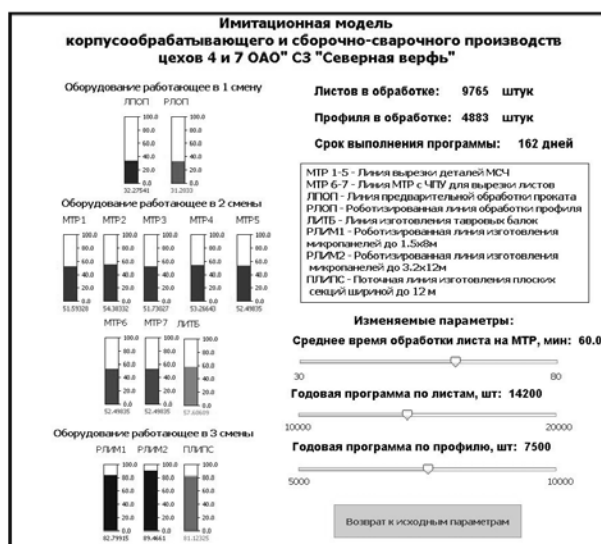


Рисунок 2 – Пользовательский интерфейс имитационной модели

В результате экспериментов подтверждена возможность выполнения расчетной программы и уточнена загрузка отдельных единиц оборудования.

Имитационная модель показала, что пропускная способность оборудования по обработке проката при работе в две смены может быть увеличена для линии предварительной обработки – до 2 раз; оборудования тепловой резки листов – до 1,5 раз; роботизированной линии обработки профильных деталей – до 2 раз.

При реализации заданной расчетной программы участки сборочно-сварочного производства будут полностью загружены. Следовательно, при увеличении производственной программы верфи потребуются загрузка других цехов или участков.

Моделирование подтвердило, что реконструируемое производство позволяет осуществить обработку до 30 тысяч тонн металлопроката в год. Подтверждена возможность выполнения годовой расчетной программы при 2-х сменной работе цеха.

При заданной расчетной программе и 2-х сменной работе роботизированные линии сборки и сварки плоских секций и микропанелей загружены почти полностью.

Проект реконструкции корпусостроительного производства ОАО «СЗ «Северная верфь» разрабатывался с целью создания современного производства, ориентированного на строительство широкой линейки судов и кораблей.

В состав интерфейса модели корпусостроительного производства включена анимация этапов формирования секций, блоков и другие сборочных единиц строящегося заказа на стапеле (рисунок 3).

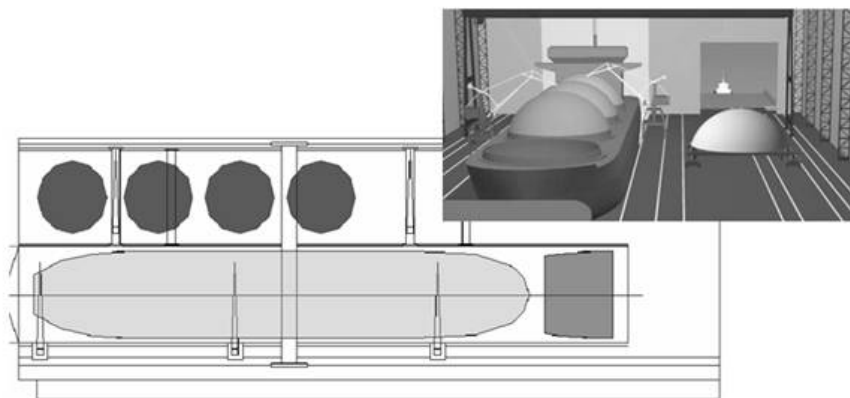


Рисунок 3 – Формирование заказа на стапеле (фрагменты интерфейса модели)

С использованием пакета AnyLogic специалистами ОАО «ЦТСС» разработаны типовые имитационные модели корпусостроительных производств, описывающих процесс строительства ряда классов судов и кораблей. Выбор для разработки типовых моделей корпусостроительного производства обусловлен тем, что это наиболее важный период строительства судна, трудоемкость всех работ, выполняемых на построечном месте, достигает 40 % общей трудоемкости постройки.

Разработке имитационных моделей 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 необходимые для разработки моделей материалы.

Общие характеристики корпусостроительных производств, на основе которых оказалось возможным выполнить типизацию, следующие: тип построечного места, тип используемого кранового и транспортного оборудования, класс строящихся судов.

В отдельных случаях в моделях предусмотрен учет процессов монтажа крупных единиц оборудования (особенно для заказов большого водоизмещения). Для каждой из моделей разработан свой пользовательский интерфейс (рисунок 4).

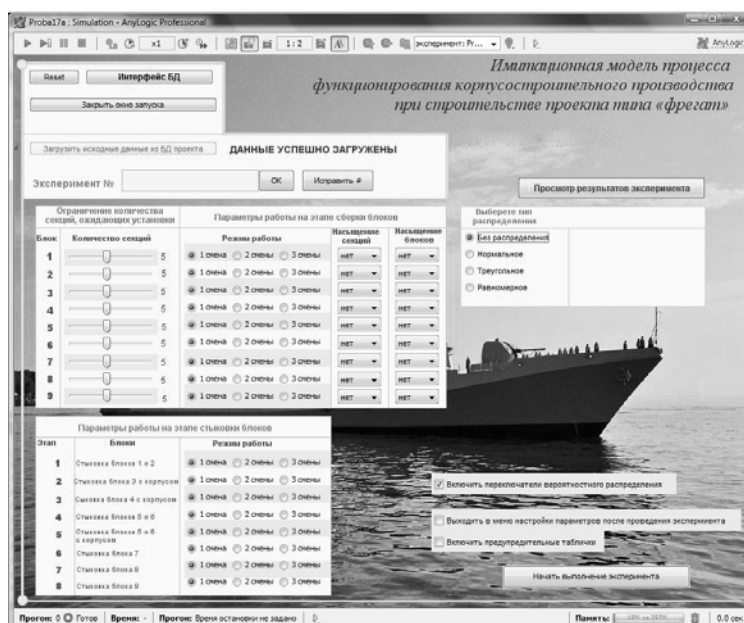


Рисунок 4 – Интерфейс типовой имитационной модели

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

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 (планируемых к созданию) производствах. Все варианты разнятся классами и типами планируемых к строительству судов и кораблей (фрегат, корвет, танкер, газовоз, сухогруз, катер), их водоизмещением и объемом обрабатываемого металла в год (до 120, 46 и 5 тыс. тонн).

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

(среднестатистические значения; математические распределения различного рода);

- информация о последовательности формирования корпуса на построечном месте из секций и блоков;

- 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);

- номенклатура основных зданий и сооружений (здания, построечные места), основные их характеристики;

- данные по складским площадкам (месторасположение, вместимость).

Разработка моделей выполнена с учетом следующих особенностей:

- участки могут размещаться как в различных пролетах одного цеха, но 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.

Перечень основных управляющих параметров включал параметры, влияние которых по экспертной оценке на производственные процессы и длительность стапельного периода было бы наиболее заметно. Такими параметрами были: насыщенность секций и сменность работы.

Выполнение экспериментов на имитационной модели осуществлялось в целях:

- получения статистики по работе модели для оценки влияния регулируемых параметров на длительность стапельного периода;

- анализа «узких» мест и выявления возможных путей их ликвидации;

- оценки влияния насыщенности секций, поступающих на сборку блоков, на длительность стапельного периода и определения оптимальной их насыщенности.

Результаты экспериментов позволили сформулировать и обосновать рекомендации по оптимальной загрузке бригад как при выполнении сборки и сварки блоков, так и при формировании корпуса из блоков. Получена статистика по длительности формирования сборочно-монтажных единиц, длительности стапельного периода, сформирован график постройки заказа. Построены кривые, отражающие зависимость общей продолжительности формирования сборочно-монтажных единиц и сборки корпуса от режима работы производственных участков и первоначальной насыщенности секций (рисунок 5), поступающих на стапельную позицию. Полученная статистика позволила сделать выводы об оптимальных значениях регулируемых параметров и, следовательно, дать рекомендации по оптимальным режимам функционирования производства.

Характер кривой показывает, что повышение насыщенности поступающих на стапельную позицию секций выше рекомендуемого значения не приводит к сколько-нибудь значимому сокращению длительности стапельного периода. Данный вывод применим только к исследованному производству, и обусловлен ограничениями и особенностями конкретной производственной системы предприятия.

Созданная имитационная модель производства позволяет автоматически определить значения тех или иных производственных параметров, которые при традиционных подходах определялись (и определяются до сих пор) методами прямого расчета, с

использованием нормативной и проектной документации. Это позволяет, с одной стороны, использовать все ранее собранные статистические данные и инженерный опыт специалистов, а с другой – оперативно учитывать все изменения в проекте и отработку вариантов его исполнения, получить более точные значения необходимых параметров, чем при традиционно применяемом расчете.

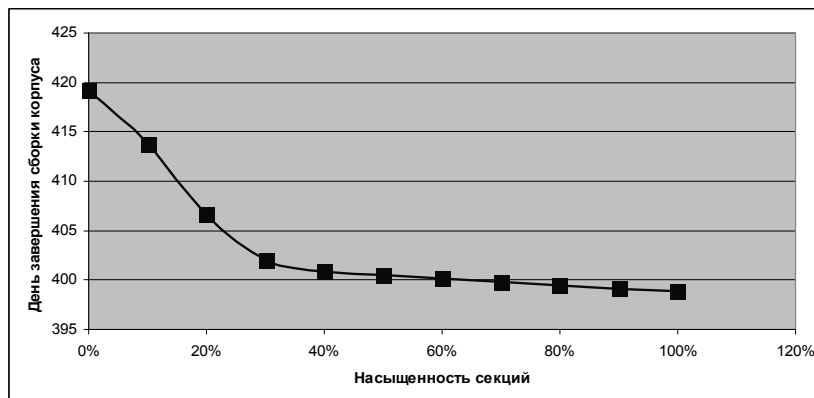


Рисунок 5 – Зависимость стапельного периода от насыщенности секций

Опыт ОАО «ЦТСС» показал, что использование имитационных моделей при разработке проектов модернизации и реконструкции как существующих, так и новых производств способствует более эффективному решению задач оптимизации производственных систем и технологических процессов. Ряд российских верфей уже осознали всю важность предварительного «виртуального» моделирования. Поэтому практика включения в состав выполняемых проектных работ создание имитационных моделей для анализа функционирования модернизируемых производств воспринимается сейчас как вполне необходимая к решению проектантом задача.

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

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 № 3 (6), Санкт-Петербург, 2007.
2. **Васильев А. А., Долматов М. А., Плотников А. М., Федотов Д. О.** Опыт применения программных средств имитационного моделирования при разработке технологических проектов модернизации корпусостроительных производств судостроительных предприятий. Сборник докладов четвертой научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности конференции «ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА» ИММОД-2009. Том 2, Санкт-Петербург, 2009.
3. **Карпов Ю. Г.** Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. Санкт-Петербург, БХВ-Петербург, 2005.