

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ОРГТЕХПРОЕКТОВ МОДЕРНИЗАЦИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ СУДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

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

Применение методов имитационного моделирования при разработке технологических проектов модернизации и реконструкции судостроительных предприятий имеет целью оптимизацию схем материальных потоков, состава и характеристик технологического оборудования, что позволяет значительно сократить сроки и снизить трудоемкость постройки судов и кораблей.

Использование инструментальных пакетов имитационного моделирования дает возможность 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» за последние 10 лет разработан ряд проектов реконструкции судостроительных предприятий России (ОАО «Адмиралтейские верфи», ОАО «СЗ Северная верфь», ОАО ПСЗ «Янтарь» и др.). Особенностью этих проектов стало то, что в каждом из них применялось имитационное моделирование для анализа и оптимизации принимаемых проектных решений.

Рассмотрим кратко полученные результаты работ на примере проекта реконструкции предприятия ОАО СЗ «Северная верфь».

Цель реконструкции – обеспечить технико-экономические показатели реконструируемого производства на уровне ведущих верфей мира. Рассматривалось несколько вариантов, которые отличались габаритными размерами используемого проката (вариант листа 2x8 м и 3,2x12 м), а также комплектацией технологического оборудования и его компоновкой на участках. Объем обрабатываемого металла планировалось довести в перспективе до 30 тыс. т проката в год.

Было выполнено моделирование трех производств: корпусообрабатывающего, сборочно-сварочного и стапельного. 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 ед. оборудования на участках корпусообрабатывающего и сборочно-сварочного производств, участке предварительной обработки металлопроката, а также на открытом складе (рис. 1).

В качестве программного средства для моделирования использовался пакет AnyLogic Professional, в качестве исходных данных – проектные данные по одному из предлагаемых вариантов модернизации, статистика по работе оборудования и производственных линий, данные типовых технологических процессов, статистика по строящимся и планируемым к постройке на верфи заказам.

Создание модели выполнялось с учетом следующих требований:

- возможность поэтапной модернизации;
- выполнение реконструкции без остановки действующего производства;

- сохранение в процессе модернизации отдельных единиц оборудования;
- возможность размещения на существующих производственных площадях дополнительных производственных участков;
- проверка используемой принципиальной технологии постройки.

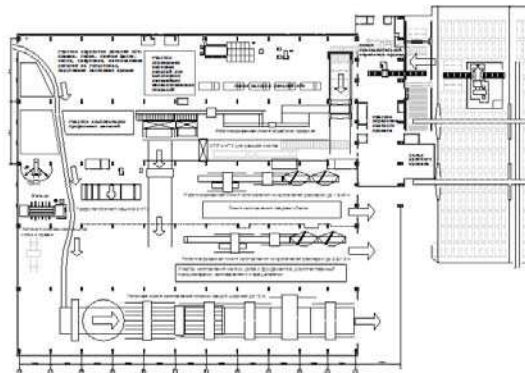


Рис. 1. Схема размещения оборудования

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. В модель также была включена упрощенная анимация материальных потоков цеха.

Для работы пользователя с моделью средствами пакета AnyLogic разработан графический пользовательский интерфейс (рис. 2). Пользовательский интерфейс позволяет отслеживать загрузку производственного оборудования в процессе эксперимента, выполнять регулировку основных параметров (производственной программы и режимов работы машин термической резки).



Рис. 2. Пользовательский интерфейс имитационной модели

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

Показано, 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.

При заданной расчетной программе и двухсменной работе роботизированные линии сборки и сварки плоских секций и микропанелей загружены почти полностью.

Моделирование подтвердило, что реконструируемое производство позволяет осуществить обработку до 30 тыс. т металлопроката в год. Подтверждена возможность выполнения годовой расчетной программы при двухсменной работе цеха.

Проект реконструкции корпусостроительного производства ОАО СЗ «Северная верфь» разрабатывался с целью создания современного производства, ориентированного на строительство широкой линейки заказов гражданского и военного назначения.

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

Были разработаны типовые имитационные модели корпусостроительных производств, описывающих процессы строительства ряда классов судов и кораблей. Выбор именно 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 ряда отечественных верфей (как совокупности принципиальных организационно-технологических решений, технологических процессов и компоновочных схем). Была систематизирована информация, необходимая для разработки моделей и представлена в виде отдельной базы данных.

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

В моделях предусмотрен учет процессов монтажа крупных единиц оборудования (особенно для заказов большого водоизмещения). Для каждой из моделей разработан свой пользовательский интерфейс (рис. 3).

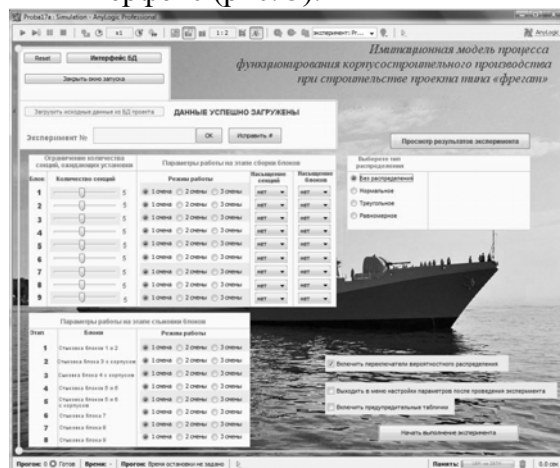


Рис. 3. Интерфейс типовой имитационной модели

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. 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. т).

По каждому проекту в модель включались следующие данные:

- количество сборочных блоков и количество секций в составе блоков;
- укрупненные данные по трудоемкости сборочных операций (среднестатистические значения; математические распределения различного рода);
- последовательность формирования корпуса из секций и блоков;
- планируемая годовая производственная программа.

В качестве производственных данных в моделях использовались:

- 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 верфи могут быть построечные места различного типа; 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 оборудования, устанавливаемого на заказах, значительно влияющих на длительность стапельных работ.

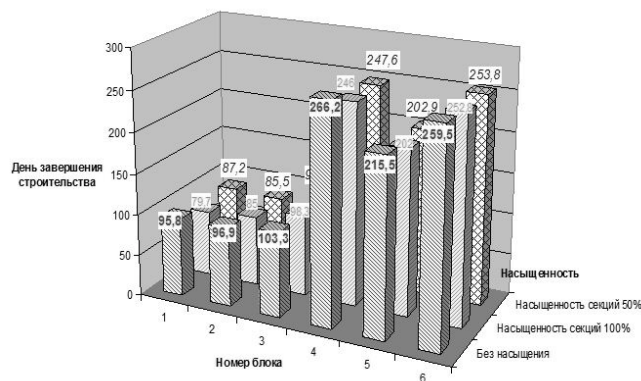
Перечень основных управляющих параметров включал только те, влияние которых (по экспертной оценке) на производственные процессы и длительность стапельного периода наиболее заметно. Такими параметрами были: насыщенность секций и сменность работы.

Выполнение экспериментов на имитационной модели осуществлялось в целях:

- получения статистики 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 производственных бригад при выполнении сборочных и сварочных работ, а также при формировании корпуса из блоков на стапеле. 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 (рис. 4) и первоначальной насыщенности секций, поступающих на стапельную позицию. Статистика позволила сделать выводы об оптимальных значениях регулируемых параметров и дать рекомендации по оптимальным режимам функционирования участков в составе производства.

Характер кривой показывает, что при повышении насыщенности поступающих на стапельную позицию секций выше рекомендуемого значения это 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.



**Рис. 4. График продолжительности формирования сборочно-монтажных единиц и сборки корпуса**

Созданная имитационная модель производства позволяет автоматически определять значения 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, а также получить более точные значения необходимых параметров по сравнению с традиционными подходами.

Опыт ОАО «ЦТСС» показал, что применение 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. Некоторые российские верфи уже осознали важность проведения предварительного имитационного моделирования при выполнении проектных работ для анализа принимаемых проектных решений.

Результаты и опыт, полученные в рамках вышеперечисленных работ, будут использованы при разработке проектов реконструкции производственных мощностей предприятий ОАО ДВЗ «Звезда» (Большой Камень) и ОАО «Адмиралтейские верфи» (о. Котлин), разрабатываемых в настоящее время ОАО «ЦТСС».

### 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. 2007. № 3 (6).
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 // IV Международная конференция ИММОД-2009. Сб. докладов. Т. 2. СПб, 2009.
3. **Карпов Ю. Г.** Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб.: БХВ-Петербург, 2005.