



# Автоматизация процесса проектирования в судостроительном производстве с помощью САПР T-FLEX CAD на опыте Выборгского судостроительного завода

Иван Черанёв

**В статье рассматривается практический опыт Выборгского судостроительного завода по повышению эффективности технологической подготовки производства (проектировании оснастки) за счет использования САПР T-FLEX CAD для автоматизации процесса проектирования по ключевым направлениям: сборочным стапелям, строительным лесам, металлоконструкциям и сборочным постелям. Описан один из способов автоматизации — создание библиотек моделей типовых узлов и деталей, используемых на производстве.**

**Мы живем в интересное время** — время активного технического прогресса, который подобен графику геометрической прогрессии, ускоряющегося с каждым

## Выборгский судостроительный завод



ПАО «Выборгский судостроительный завод» — одно из крупнейших судостроительных предприятий, расположенных в Северо-Западном регионе России. Верфь была основана в 1948 году. За 70 лет трудовой коллектив завода построил более 210

судов различного назначения, девять морских буровых платформ и 105 модулей верхних строений платформ для разработки нефтегазовых месторождений.

Основным направлением деятельности верфи является строительство различных судов гражданского назначения: судов ледового класса, судов снабжения, ледоколов, рыболовных траулеров, а также буровых платформ для разработки морских шельфовых месторождений.

Специалисты предприятия имеют сертификаты ведущих мировых классификационных обществ: Lloyd's Register of Shipping, Germanischer Lloyd, Bureau Veritas, RINA, Российского морского регистра судоходства.

Выборгский судостроительный завод является членом Общероссийского отраслевого объединения работодателей «Союз машиностроителей России», Межрегионального отраслевого некоммерческого Объединения промышленников и предпринимателей (работодателей) «Ассоциация судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области». С 2012 года ПАО «ВЗ» входит в состав АО «Объединенная судостроительная корпорация».

шагом по шкале времени. График общего технического прогресса сливается из отдельных кривых развития конкретных обществ, предприятий, людей. И эти кривые — кривые буквально, так как колеблются волнами относительно общей, усредненной траектории развития технологий, то обгоняя, то отставая. И такими же волнами приходит прогресс и технологии в конкретные стены конкретных производств и в головы работающих там людей. Развитие технологий в сфере производства дает экономию ресурсов, один из которых — время, за единицу которого необходимо выполнять всё больше работы. Человек не успевает трудиться в таком темпе. Спасает его автоматизация в виде механизма — в механическом цеху и в виде САПР — в технических отделах.

Выборгский судостроительный завод (ВЗ), как

### Иван Черанёв

Ведущий инженер-конструктор «Отдела технологической подготовки производства», Выборгский судостроительный завод.

современное предприятие, не остается в стороне от технического прогресса. Его (прогресса) волны неизбежно прокатываются и по кабинетам местных отделов конструкторской и технологической подготовки производства. Среди волн есть две самые крупные. Первая волна превратила кульманы в предметы мебели и вложила в руки специалистов компьютерные мышки вместо графитовых карандашей — то был приход двумерных CAD-систем. Импульс этой волны сильно изменил работу человека, но его не хватило для изменения самой концепции проектирования — оно осталось в электронной плоскости чертежа. Но вторая волна принесла с собой третью координату в процесс проектирования и расширила плоский чертеж до трехмерного пространства, внедрив в работу технологии 3D-моделирования.

Работа конструктора оснастки в судостроительном производстве имеет



свою специфику. В основном это, конечно, проектирование различной оснастки: от слесарного инструмента до технологического оборудования и крупных металлоконструкций, включая работу со сложной геометрией судового корпуса. Отсюда следует требование широкой универсальности к применяемой САПР, вследствие чего использование специализированных судостроительных программных комплексов было признано нецелесообразным, и для «вооружения» Отдела технологической подготовки производства (ОТПП) была выбрана «универсальная» машиностроительная САПР T-FLEX CAD.

**Внедрение 3D-технологии** на предприятии было несколько запоздалым (по мнению автора этих строк), а потому возникла необходимость ускоренного ее освоения сотрудниками. При этом важно добиться максимальной эффективности в работе с системой. И если эффективность трактовать как сокращение затрат труда (и времени, как основного ресурса), то становится очевидно, что недопустимо использовать эту технологию просто как трехмерный кульман. Необходимо сократить до минимума выполнение пользователем типовых действий, снабдив его набором специальных инструментов для решения типовых задач (каковых в общем объеме большинство) и оставив за ним «руководящую» роль в процессе моделирования. Эти инструменты, созданные в среде самой CAD-системы, должны переложить на нее основную часть типовой рутинной работы (построений, расчетов и т.п.). Конечной целью (идеальным результатом) внедрения T-FLEX CAD в работу отдела может быть реализация принципа «Нажми на кнопку — получишь результат» (максимальная автоматизация процесса проектирования). Эта цель недостижима, но на пути к ней могут быть решены вполне реальные задачи. В настоящее время на ВСЗ

эти задачи решаются по нескольким направлениям работы:

- работа с моделями корпуса судна, получаемыми от проектанта (просмотр, снятие размеров, получение сечений, расчет масс и центров тяжести);
- моделирование сборочных корпусных ступеней на базе имеющихся разработок ступенной оснастки;
- моделирование и проектирование различной оснастки и деталей;
- проектирование стоечных и лекальных сборочных постелей на основе 3D-модели секции;
- моделирование строительных лесов на основе 3D-модели корпуса;
- построение разверток, шаблонов и прочие потребности плаза;
- анализ нагрузки оснастки методом конечных элементов (перспективная задача).

Указанные направления развиваются различными способами (и с разным успехом). Первый способ автоматизации процесса проектирования — создание библиотек готовых типовых моделей, которые в определенной степени сводят работу конструктора к сборке «модели-конструктора». Пользовательские библиотеки в T-FLEX CAD могут включать различные модели — как детали, так и сборки, — а широкие параметрические возможности системы и использование встроенной табличной базы данных позволяют получить большое количество вариантов конфигураций в одной модели, благодаря чему, а также за счет быстрого доступа к этим моделям через специальное системное окно использование таких пользовательских библиотек существенно ускоряет моделирование. Данный способ был применен к моделированию ступеней, лесов, металлоконструкций.

**Библиотека ступенной оснастки** стала первой из внедренных. На данный момент она включает 30 моделей различной сложности: от простых, состоящих из одного или нескольких

тел и не имеющих переменных параметров, до сборок с более чем десятком переменных параметров, управляющих не только размерами, но и конфигурацией (составом моделей). В этой библиотеке большую часть составляют простые модели — без переменных или с одним-двумя переменными параметрами. Это различные модели ступенных опор и деталей, входящих в сборки, — пластин, скоб и пр. Они, как правило, не имеют специальных диалогов (окон) для задания параметров.

Самыми интересными (по мнению автора) из указанной библиотеки могут быть три наиболее сложные модели: модель ступенного узла на базе ступенной балки, модель кильблока и модель брусовой подушки.

Модель ступенного узла — это сборка, включающая ступенную балку со ступенными тележками и комплектом опор (внутренних и наружных). Все модели, кроме ступенной тележки, проработаны подробно. Для задания параметров этой сборки создан специальный диалог.

Диалог разбит на три логические части. Первая часть определяет параметры самой ступенной балки (это главный фрагмент сборки, он присутствует в ней всегда, в то время как все остальные фрагменты могут из нее исключаться по желанию пользователя): конструктивный тип (всего их три), высоту положения и наличие бруса. Эти переменные (особенно высота) являются ключевыми для вычислений, которые производятся в переменных сборки (о них ниже). Вторая часть определяет параметры ступенной судовозной тележки, на которую опирается ступенная балка, а точнее — ее расположение в сборке относительно балки. Кроме того, параметр «расположение ступеня» оказывает влияние на границы диапазона возможных высот положения балки (это связано с особенностями конструкции рельсового пути). Третья



часть управляет составом сборки (выключением фрагментов и изменением опор балки). Данный диалог позволяет сразу в полном объеме настроить модель стальной балки при вставке ее как фрагмента в сборку стапеля.

Некоторые варианты конфигурации сборки стальной балки показаны на

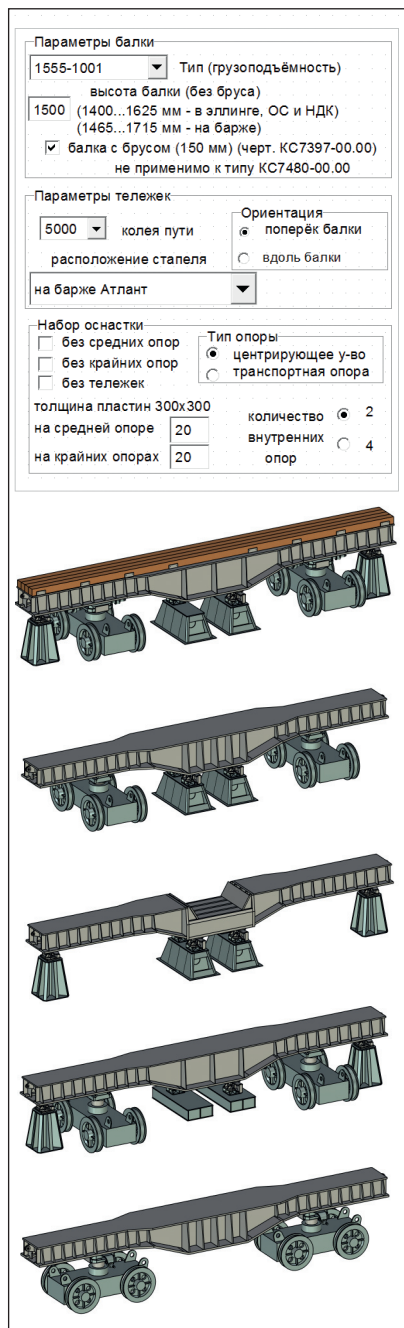


Рис. 1. Диалог параметров и варианты конфигурации модели стальной балки

рис. 1. Кроме параметров, задаваемых пользователем, в сборке также автоматически производится расчет количества подкладных пластин и высоты клиновой опоры (она регулируется в пределах 40 мм), а также определяется необходимость замены пластин на проставыш высотой 100 мм (при большой заданной высоте балки). Все расчеты в сборке производятся с помощью штатных функций работы с переменными без использования специальных плагинов. На настоящий момент варианты конфигурации этой сборки охватывают практически все состояния, в которых может применяться данный стальной узел в составе корпусного стапеля или стапеля для монтажа оборудования.

Второй аналогичной сборкой в составе библиотеки моделей стальной оснастки является модель подушки из деревянного бруса. Такие подушки используются для опирания лекальных обводов корпуса на кильблок или другую стальную опору, при этом брус подрезается по обводу корпуса. Сборка включает массив моделей бруса, деревянные клиновые пары и детали креплений (пластины, скобы). Для задания параметров также разработан диалог (рис. 2).

Здесь также выделяются несколько разделов. Первая часть содержит параметры массива бруса: размеры и количество (по двум направлениям), высота бруса задается отдельно по каждому ряду (для более удобного подбора общей высоты подушки). Ширина бруса для всех случаев принята 150 мм. Вторая часть содержит параметры пластин крепления: их наличие, размеры и расположение (за пользователем сохранена возможность создания пластины любого размера — для особых случаев). Третья часть содержит управление параметрами дополнительных элементов — деревянных клиновых пар и скрепляющих скоб. При этом клинья выбираются из базы данных. Также имеются параметры для выбора единиц измерения количества бруса и



Рис. 2. Диалог параметров и варианты конфигурации модели брусовой подушки



гвоздей в структуре сборки (и спецификации соответственно). При этом брус может учитываться в кубических метрах или штуках (брус разного размера при этом учитывается отдельно), а гвозди — в килограммах или штуках. На рис. 2 изображены некоторые варианты конфигурации сборки подушки из бруса.

Третья рассматриваемая модель из библиотеки моделей стапельной оснастки — это модель кильблока. Она построена по-другому: в ней только один параметр, задаваемый пользователем, — это обозначение исполнения кильблока (номер чертежа), все остальные переменные задаются на основе базы данных, включающих тридцать три варианта, которые отличаются не только размерами, но и конфигурацией (составом модели). При этом разработка нового варианта кильблока сводится к внесению новой строки в базу данных (конечно, с проверкой полученного результата). Некоторые варианты кильблоков приведены на рис. 3.

Моделирование стапеля с использованием библиотеки моделей стапельной оснастки в настоящее время состоит из:

1. Разметки на рабочей плоскости (создание 3D-узлов для привязки фрагментов).
2. Вставки фрагментов из библиотеки (а также моделей корпуса, дополнительных раскреплений и нетиповых опор — при необходимости).
3. Отсечения моделей деревянных подушек по модели корпуса.
4. Моделирования дополнительных элементов (связей, раскреплений и пр. — при необходимости).

Пример стапеля для сборки корпуса траулера в эллинге приведен на рис. 4 и 5. Успехи в данном направлении в дальнейшем могут быть развиты за счет автоматизации размещения фрагментов, но это потребует задания определенных правил и введения ограничений по конструктивным решениям, чтобы избежать излишней

сложности в задании параметров сборки и фрагментов. В настоящее время это неактуально, так как нет необходимости наращивать скорость разработки за счет сокращения конструктивного «разнообразия».

**Библиотека моделей строительных лесов** разрабатывалась аналогичным образом. В ней собраны модели различных типов применяемых на предприятии лесов (рис. 6). Большая часть — это модели элементов сборно-разборных стержневых лесов: стойки, горизонтальные связи, раскосы, настилы, трапы и т.д. Эти модели сильно упрощены и представляют собой простые стержни (в основном). Такое упрощение необходимо из-за сложности сборок лесов — количество фрагментов в них может измеряться тысячами. На рис. 7 показан пример лесов (носовой части), применяемых при строительстве корпуса судна. К тому же чертеж лесов практически представляет собой схему и детализация модели не требуется. Подetailная сборка модели лесов — очень трудоемкий процесс, поэтому в библиотеке имеются и несколько типовых сборок. Среди них — модель каркаса лесов шириной в одну ячейку с параметрами длины (количество ячеек в горизонтальном ряду) и количества ярусов. Эта модель позволяет быстро построить прямую «стенку» сборных лесов, но при обстройке сложного обвода корпуса приходится пристраивать друг к другу несколько таких «стенок» различной высоты. К типовым сборкам также относится модель ограждения — набор горизонтальных стержней и стоек (с опцией их отключения для ограждения не на верхних ярусах), применяемый к прямоугольному контуру, и модели металлического настила из трех и шести щитов. Кроме сборных стержневых лесов, есть и модели элементов лесов других типов — башенных и навесных, а также модели деревянных трапов.

Использование 3D-моделей лесов при их проектировании должно было

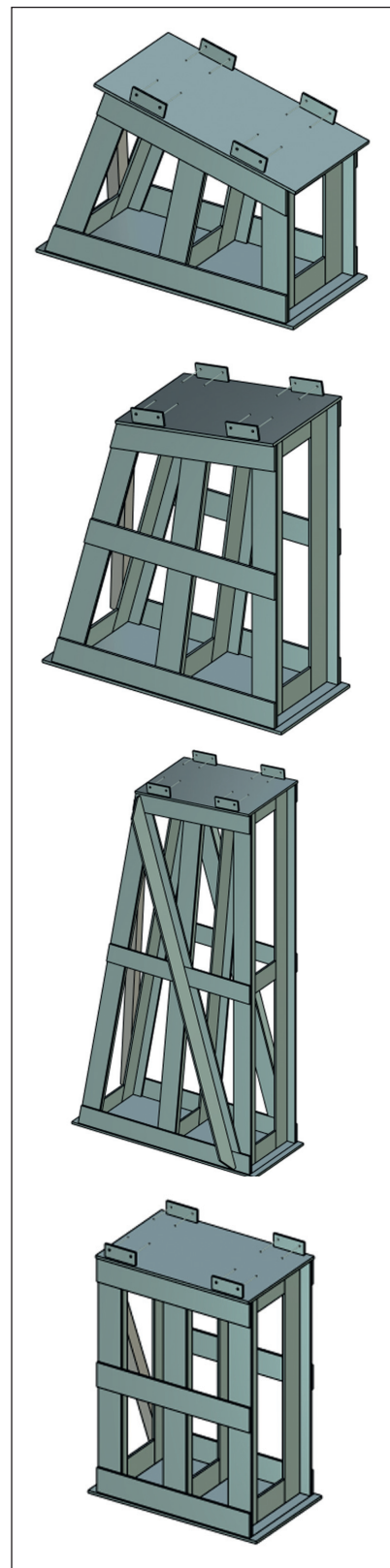


Рис. 3. Варианты конфигурации модели стапельной балки

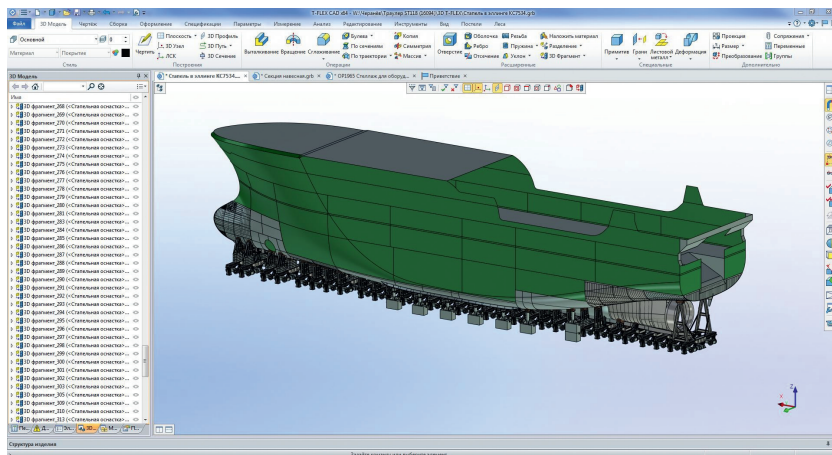


Рис. 4. Общий вид судового сборочного стапеля

решать две задачи: оптимизировать конструкцию лесов при обстройке сложных обводов судового корпуса и облегчить подсчет количества элементов сборно-разборных лесов. В целом обе задачи были решены, но эти скромные достижения были практически перечеркнуты суровой реальностью, поставившей перед пользователем три проблемы (при проектировании больших по площади стержневых лесов): существенные затраты времени на создание сборки, «слабость» компьютера и сложность последующего изменения лесов (все фрагменты оказываются связанными друг с другом). На основе полученного практического опыта можно сделать вывод, что автоматизация моделирования лесов с помощью библиотеки типовых моделей возможна лишь для

относительно небольших сборок — моделей местных лесов, без тысяч фрагментов. Автоматизацию моделирования больших по площади строительных лесов необходимо выводить на новый, недоступный лично для автора этих строк уровень, — создание специального приложения в среде T-FLEX CAD, которое обеспечит генерацию фрагментов в сборке по заданным правилам, создание проекций для чертежа и подсчет элементов. Для решения этой задачи была привлечена компания-разработчик T-FLEX CAD «Топ Системы», постоянно сотрудничающая с ВЗ и оказывающая неоценимую помощь в освоении системы и решении актуальных задач предприятия. В настоящее время разрабатывается специальный плагин, использование которого должно су-

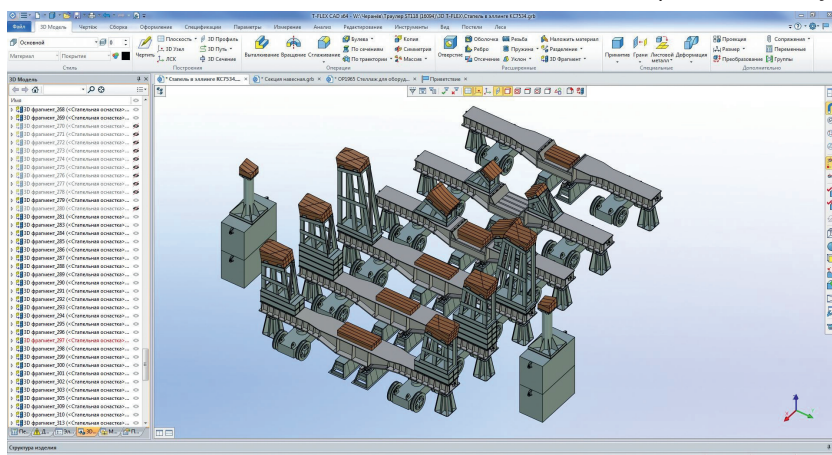


Рис. 5. Фрагмент модели судового сборочного стапеля

щественно сократить трудозатраты на проектирование сложных строительных лесов (об этом будет рассказано в отдельной статье).

**Библиотека моделей металлоконструкций**, третья из числа используемых в работе и, наверное, самая актуальная. Она дополняет штатные библиотеки T-FLEX CAD и содержит в себе модели часто используемого

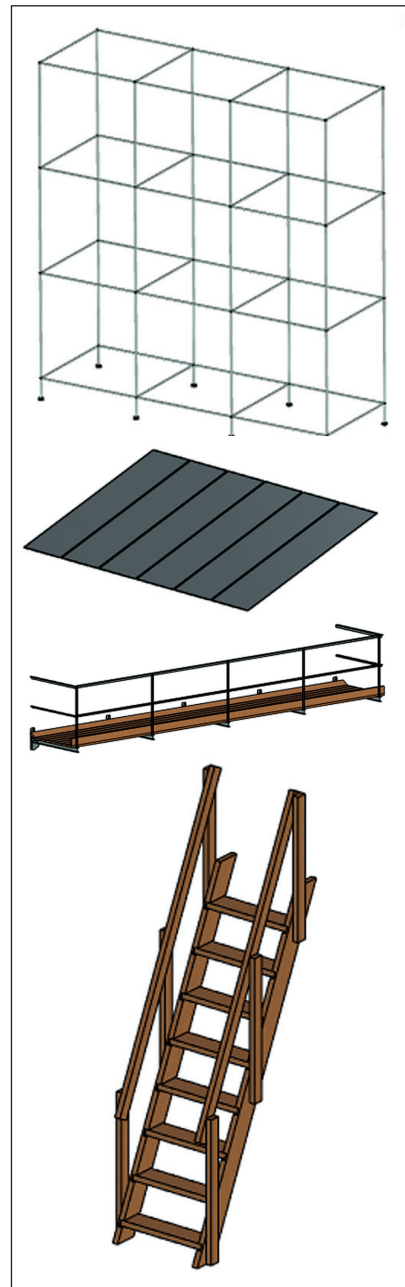


Рис. 6. Примеры моделей узлов строительных лесов



сортамента металлопроката. Модели из этой библиотеки используются при моделировании различных металлоконструкций: технологических опорных и транспортных рам, каркасов различного назначения, стеллажей и т.д.

Наиболее сложной моделью в этой библиотеке является модель стандартного стального катаного уголка. Ее особенностью является создание подрезки концов уголка при вставке в сборку. Подрезка возможна двумя способами: на угол (задается пользователем без ограничений) и под примыкание к другому уголку (параметры профиля подрезки задаются пользователем). Подрезаны могут быть оба конца уголка, причем разными способами — на каждом конце подрезается только одна полка. Модель содержит в себе базу данных, в которую включены наиболее часто используемые на предприятии типоразмеры как равнополочных, так и неравнополочных уголков. Эта модель позволяет быстро собирать каркасы из уголка без дополнительных операций в сборке по оформлению мест примыкания уголков.

Вторая модель также относится к катаному стальному профилю — это модель швеллерной балки. При этом в модели реализован выбор трех конструктивных вариантов: одиночный швеллер, два швеллера «в коробку», два швеллера «в двутавр». Кроме того, возможен выбор типа швелле-

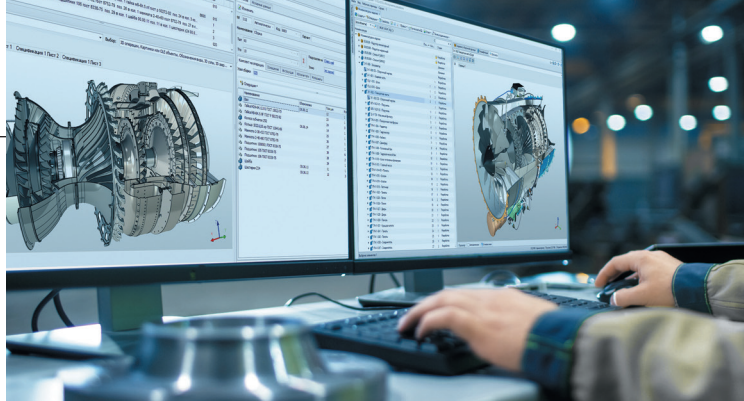
ра — с уклоном полок или с параллельными полками, а также задание номера (типоразмера) и длины. Эта модель применяется при моделировании различных технологических рам и каркасов.

Кроме профилей есть две модели листовых материалов для нескользящих настилов: лист с ромбовидным рифлением и лист просечно-вытяжной. Эти модели используются ограниченно — в основном для создания изображений с высокой детализации модели, из-за наличия в них больших массивов мелких элементов. Для облегчения работы модель рифленого листа имеет опцию исключения рифления.

Описанные модели приведены на рис. 8.

Остальные модели в данной библиотеке — относительно простые модели профильного проката, книц и т.д. В перспективе планируется расширение данной библиотеки набором адаптивных фрагментов для построения металлоконструкций по ранее созданным 3D-узлам, с внедрением в них возможности автоматической подрезки по профилю сопрягаемых деталей, что должно существенно уменьшить количество действий пользователя при создании сборки, а значит и сократить трудоемкость моделирования.

**Проектирование стоечных и лекальных сборочных постелей** — это одно из ключевых направлений, в котором требовалось внедрение 3D-моделей для



## T-FLEX PLM

### РОССИЙСКОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛНЫМ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИЗДЕЛИЯ

- ✓ Сквозное управление требованиями;
- ✓ Инструменты коллективной разработки изделий;
- ✓ Уникальные возможности параметризации;
- ✓ Встроенные средства инженерного анализа;
- ✓ Управление конфигурациями электронного макета изделия;
- ✓ Многоуровневое управление проектами и программами;
- ✓ Технологическая подготовка производства;
- ✓ Подготовка программ для станков с ЧПУ;
- ✓ Ведение архива предприятия;
- ✓ Корпоративное MDM решение и ведение НСИ;
- ✓ Проектирование в среде виртуальной реальности;
- ✓ ... и другие возможности, построенные на единой информационной платформе T-FLEX PLM.

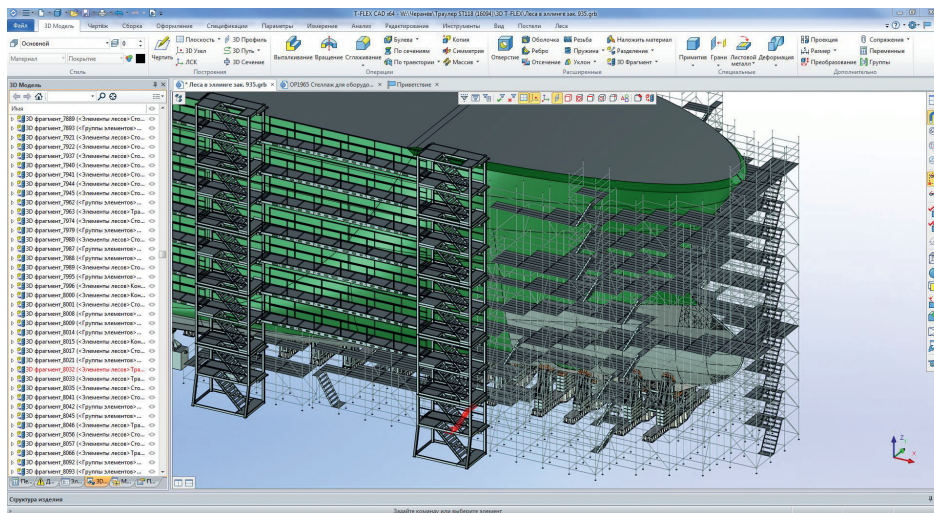


Рис. 7. Общий вид носовой части строительных лесов при строительстве корпуса судна

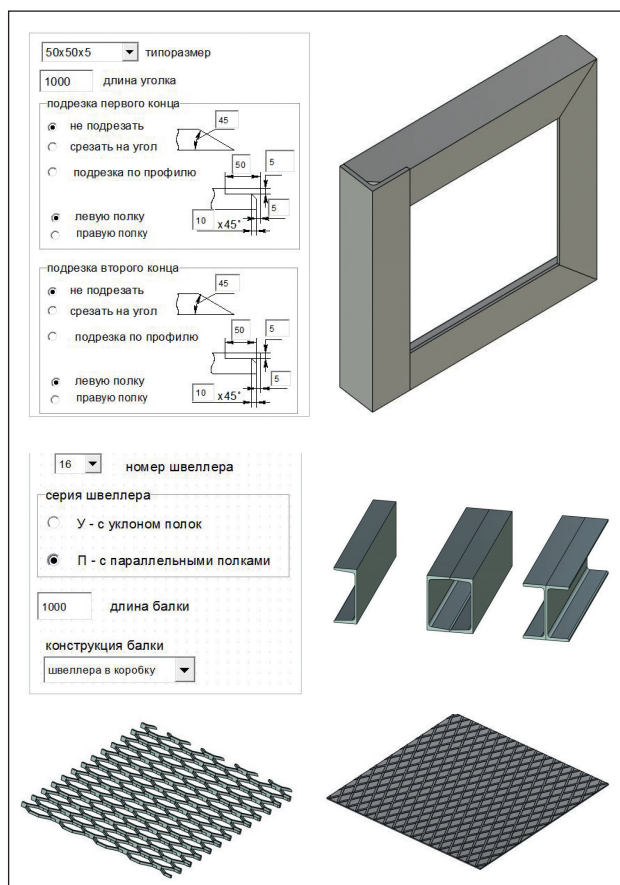


Рис. 8. Примеры моделей металлоконструкций

методика была освоена и сегодня успешно применяется уже на нескольких заказах, при этом достигнуто существенное сокращение трудоемкости при проектировании. Большая часть времени при этом может расходоваться на подготовку модели (при сложной геометрии и разбивке обшивки на листы). Сокращение времени на подготовку модели является отдельной задачей и связано с импортом моделей секций корпуса. Решаться эта проблема

должна скорее всего уже не в рамках предприятия, а при взаимодействии с проектантом, разрабатывающим модель судна в судостроительной САПР и передающим ее через нейтральный формат. В заключение можно сделать вывод, что с момента внедрения T-FLEX CAD на предприятии удалось существенно автоматизировать процесс разработки технологической оснастки по направлениям, сократив трудоемкость и повысив производительность ОТПП. Важно также отметить, что часть работ по автоматизации выполняется своими силами, но огромная помощь была оказана сотрудниками ЗАО «Топ Системы», оказывающими поддержку еще с начала опытной эксплуатации. Коллектив ОТПП ВСЗ надеется на дальнейшее развитие системы T-FLEX CAD, последующее взаимовыгодное сотрудничество и, в конечном счете, на повышение качества и производительности работы! ➤