

В статье рассматривается практический опыт Выборгского судостроительного завода, где решалась задача повышения эффективности проектирования оснастки путем применения T-FLEX CAD для автоматизации процесса по четырем ключевым направлениям (сборочные постели, строительные леса, металлоконструкции, сборочные постели). Подробно описан один из способов автоматизации – создание библиотек моделей типовых узлов и деталей, используемых на производстве.

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

Иван Черанёв, ведущий инженер-конструктор отдела ТПП (Выборгский судостроительный завод)

Мы живем в интересную эпоху – эпоху активного технического прогресса, который, подобно графику геометрической прогрессии, ускоряется с каждым шагом по шкале времени. Результирующий график складывается из отдельных кривых развития конкретных обществ, предприятий, людей. Эти кривые – кривые буквально: они колеблются волнами относительно общей, усредненной траектории развития технологий, то обгоняя, то отставая. И такими же волнами прогресс и технологии приходят в 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 работать в таком темпе, и спасает его автоматизация – в виде механизмов в цехе и в виде САПР в технических отделах.

Выборгский судостроительный завод (ВСЗ), как 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 следует отметить две особо крупные. Первая превратила кульманы в предметы мебели и вложила в руки специалистов компьютерные мышки вместо графитовых карандашей – то был приход двумерных САД-систем. Импульс этой волны сильно изменил работу человека, но его не хватило для изменения самой концепции проектирования – оно осталось в электронной плоскости чертежа. Вторая волна привнесла в процесс проектирования третью координату 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 вытекает требование универсальности к САПР, вследствие чего использование специализированных судостроительных программных



комплексов было признано нецелесообразным, и для “вооружения” отдела технологической подготовки производства (ОТПП) была выбрана универсальная машиностроительная система T-FLEX CAD.

Внедрение 3D-технологии на предприятии было несколько запоздалым (по мнению автора этих строк), а потому возникла необходимость ускоренного её освоения сотрудниками. При этом важно было добиться максимальной эффективности в работе с системой. И если эффективность выразить как сокращение затрат труда (и времени, как основного ресурса), то становится очевидно, что недопустимо использовать САПР просто как трехмерный кульман. Необходимо сократить до минимума выполнение пользователем типовых действий, снабдив его набором специальных инструментов для решения типовых задач (которые в общем объеме составляют большинство) и оставив за ним “руководящую” роль в процессе моделирования. Эти инструменты, созданные в среде самой САД-системы, должны переложить на нее основную часть типовой рутинной работы (построений, расчетов и т.п.). Конечной целью (идеальным результатом) внедрения в отделе системы T-FLEX CAD может служить реализация принципа “Нажми на кнопку – получишь результат”, то есть максимальная автоматизация процесса проектирования. В полной мере 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:

- работа с моделями корпуса судна, получаемыми от проектанта (просмотр, снятие размеров, получение сечений, расчет масс и центров тяжести);
- геометрическое моделирование сборочных корпусных ступеней на базе имеющихся разработок ступенчатой 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 методом конечных элементов воздействия нагрузок на оснастку (перспективная задача).

Указанные направления развиваются разными способами (и с разным успехом). Первый способ автоматизации процесса проектирования – создание библиотек готовых типовых моделей, которые в значительной степени упрощают работу конструктора. Пользовательские библиотеки в *T-FLEX CAD* могут включать в себя различные модели – как детали, так и сборки – а широкие параметрические возможности системы и использование встроенной табличной базы данных позволяет получить большое количество вариантов конфигураций в одной модели. Благодаря этому, а также быстрому доступу к этим моделям через специальное системное окно, процесс проектирования существенно ускоряется. На нашем заводе данный способ был применен к моделированию стапелей, лесов, металлоконструкций.

### Библиотека стапельной оснастки

Первым шагом стало создание библиотеки стапельной оснастки. На данный момент она включает в себя 30 моделей различной сложности: от простых, состоящих из одного или нескольких тел и не имеющих переменных параметров, до сборок с более чем десятком параметров, которые управляют не только размерами, но и конфигурацией (составом) моделей.

Большую часть библиотеки составляют простые 3D-модели – без переменных или с одним-двумя параметрами. Это различные модели стапельных опор и деталей, входящих в сборки (пластин, скоб и пр.), которые, как правило, не имеют специальных диалоговых окон для задания параметров.

Наибольший интерес, по мнению автора, представляют три наиболее сложные:

- модель стапельного узла на базе стапельной балки;
- модель кильблока;
- модель брусовой подушки (рис. 2).

Рассмотрим первую из них. Модель стапельного узла – это сборка, включающая в себя стапельную балку со стапельными тележками и комплектом опор (внутренних и наружных). Все модели, кроме стапельной тележки, проработаны подробно.

Для задания параметров этой сборки был создан специальный диалог, разбитый на три логические части. Первая часть определяет параметры самой стапельной балки (это главный фрагмент сборки, он присутствует в ней всегда, тогда 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

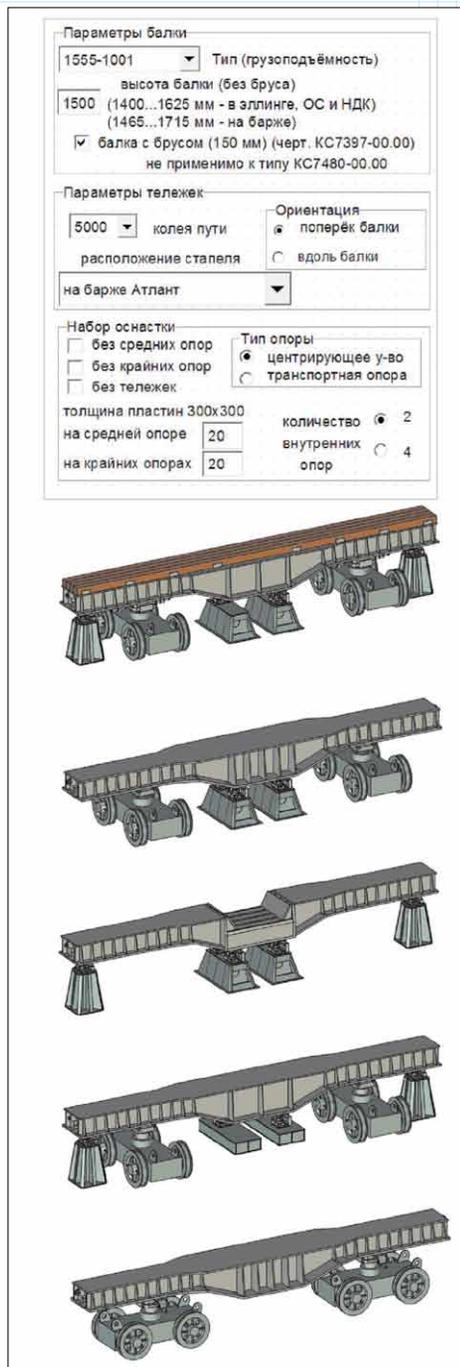


Рис. 1. Диалоговое окно для ввода параметров и варианты конфигурации модели стапельной балки



Рис. 2. Диалоговое окно для ввода параметров и варианты конфигурации модели брусовой подушки

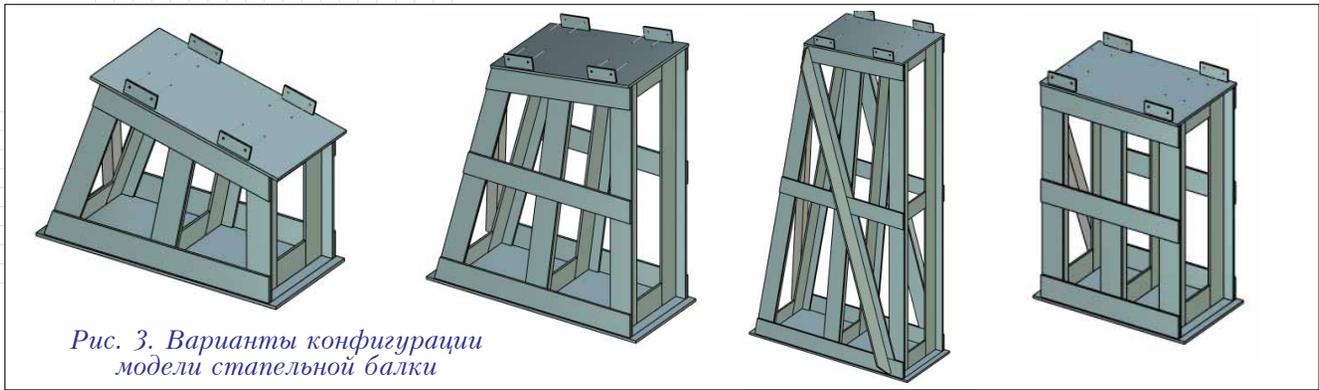


Рис. 3. Варианты конфигурации модели стальной балки

для вычислений, которые производятся в переменных сборки (о них ниже).

Вторая часть определяет параметры стальной судовозной тележки, на которую опирается стальная балка, а точнее – её расположение в сборке относительно балки. Кроме того, параметр “расположение стапеля” оказывает влияние на границы диапазона возможных высот положения балки (это связано с особенностями конструкции рельсового пути).

Третья часть диалога управляет составом сборки (выключением фрагментов и изменением опор балки).

Таким образом, этот диалог позволяет сразу в полном объеме настроить модель стальной балки при вставке её как фрагмента в сборку стапеля. Некоторые варианты конфигурации сборки стальной балки показаны на рис. 1.

Кроме ввода параметров, обеспечивается возможность автоматически рассчитать количество подкладных пластин и высоту клиновидной опоры (она регулируется в пределах 40 мм), а также определить необходимость замены пластин на *проставки* высотой 100 мм (при большой заданной высоте балки). Все расчеты в сборке производятся с помощью штатных функций системы для работы с переменными, без использования специальных плагинов. На настоящий момент варианты конфигурации охватывают практически все состояния, в которых может применяться данный стапельный узел в составе корпусного стапеля или стапеля для монтажа оборудования.

Моделирование стапеля с использованием библиотеки моделей стальной оснастки в настоящее время состоит из следующих шагов:

1) разметка на рабочей плоскости (создание 3D-узлов для привязки фрагментов);

2) вставка фрагментов из библиотеки (а также моделей корпуса,

дополнительных раскреплений и нетиповых опор – при необходимости);

3) отсечение моделей деревянных подушек по модели корпуса;

4) моделирование дополнительных элементов (связей, раскреплений и пр.) – при необходимости.

Пример стапеля для сборки корпуса траулера в эллинге приведен на рис. 4, 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

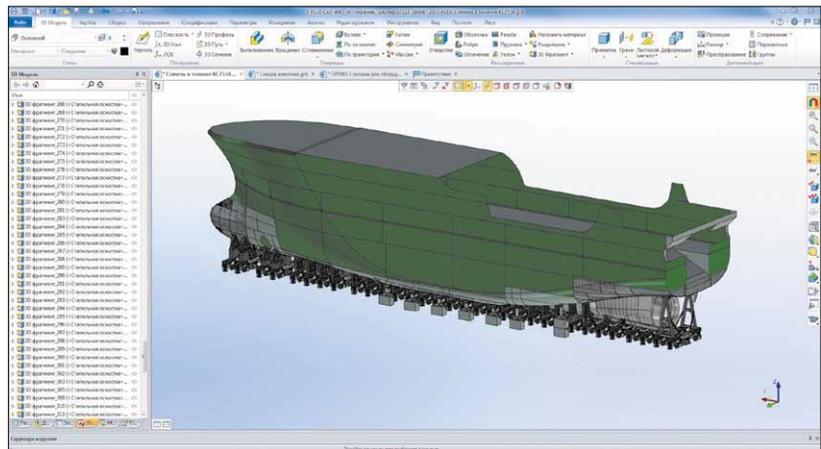


Рис. 4. Общий вид судового сборочного стапеля

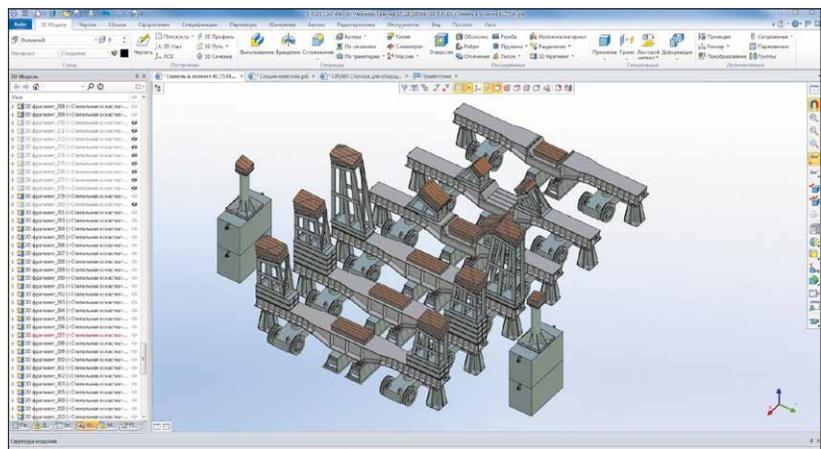


Рис. 5. Фрагмент модели судового сборочного стапеля



Рис. 6. Примеры моделей узлов строительных лесов

решениям, чтобы избежать излишней сложности при 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

Аналогичным образом разрабатывалась библиотека моделей строительных лесов различных типов, применяемых на предприятии (рис. 6). Большая часть из них – 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, применяемых при строительстве корпуса судна, – количество фрагментов в них может измеряться тысячами. Пример лесов (носовой части) показан на иллюстрации (рис. 7). К тому же чертеж лесов представляет собой практически схему, и детализация модели не требуется.

Подетальная 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 (число 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” с различной высотой. 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. Помимо 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 решить 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):

- большие затраты времени на создание сборки;
- “слабость” компьютера;
- сложность последующего изменения лесов, так как все фрагменты оказываются связанными друг с другом.

На основе полученного практического опыта можно сделать вывод, что способ автоматизации моделирования лесов с помощью библиотеки типовых моделей применим лишь к относительно небольшим сборкам местных лесов, в которых число фрагментов не измеряется тысячами. Что же касается больших по площади строительных лесов, то здесь автоматизация требует выхода на новый, недоступный для автора этих строк уровень: разработка 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 был привлечен разработчик *T-FLEX CAD* – компания “Топ Системы”, постоянно

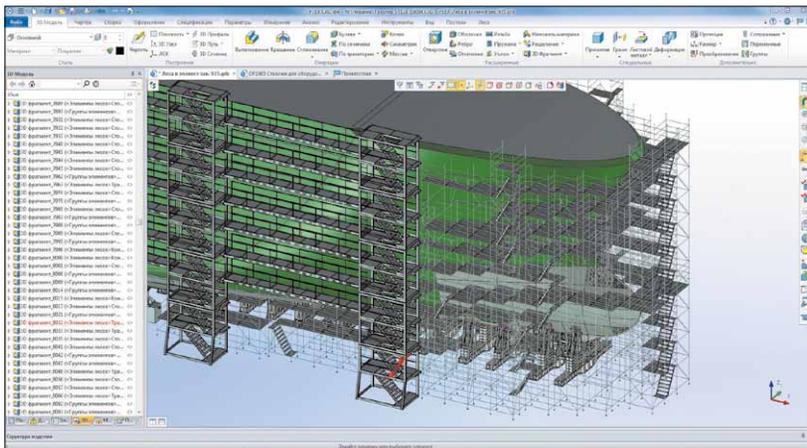


Рис. 7. Общий вид носовой части строительных лесов при строительстве корпуса судна

сотрудничающая с ВСЗ и оказывающая нам неоценимую помощь в освоении системы и решении актуальных задач предприятия. В настоящее время разрабатывается специальный плагин, который призван существенно сократить трудозатраты на проектирование сложных строительных лесов (об этом планируется рассказать в отдельной статье).

## Библиотека моделей металлоконструкций

Эта библиотека – третья из числа используемых в нашей работе, и, наверное, самая актуальная. Она дополняет собой штатные библиотеки T-FLEX CAD и содержит в себе 3D-модели часто используемого сортамента металлопроката, которые находят применение при моделировании различных металлоконструкций: технологических опорных и транспортных рам, каркасов различного назначения, стеллажей и т.д.

Наиболее сложной в этой библиотеке является модель стандартного стального катанного уголка.

Её особенностью является возможность подрезки концов уголка при вставке в сборку. Подрезка осуществляется двумя способами:

- на угол (задается пользователем без ограничений);
- под примыкание к другому уголку (пользователь задает параметры профиля подрезки).

Подрезаны могут быть оба конца уголка, притом разными способами – на каждом конце подрезается только одна полка. Следует отметить, что модель уголка содержит в себе базу данных, в которую включены наиболее часто используемые на предприятии типоразмеры как равнополочных, так и неравнополочных уголков. Таким образом, эта модель позволяет быстро собирать каркасы из уголка без дополнительных операций по оформлению мест примыкания уголков.

Вторая модель также относится к катанному стальному профилю – это модель швеллерной балки. Её особенность заключается в том, что реализован выбор трех конструктивных вариантов:

- одиночный швеллер;
- два швеллера “в коробку”;
- два швеллера “в двутавр”.

Помимо этого, возможен выбор типа швеллера – 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 в библиотеке есть две модели листовых материалов для нескользящих настилов: лист с ромбовидным рифлением и лист проресно-вытяжной. Эти модели используются ограниченно – в основном для создания изображений с высокой детализацией – 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 библиотеке металлоконструкций – относительно простые модели профильного проката, книц и т.д. В перспективе планируется расширить библиотеку набором адаптивных фрагментов для построения металлоконструкций по ранее созданным 3D-узлам, с включением 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.

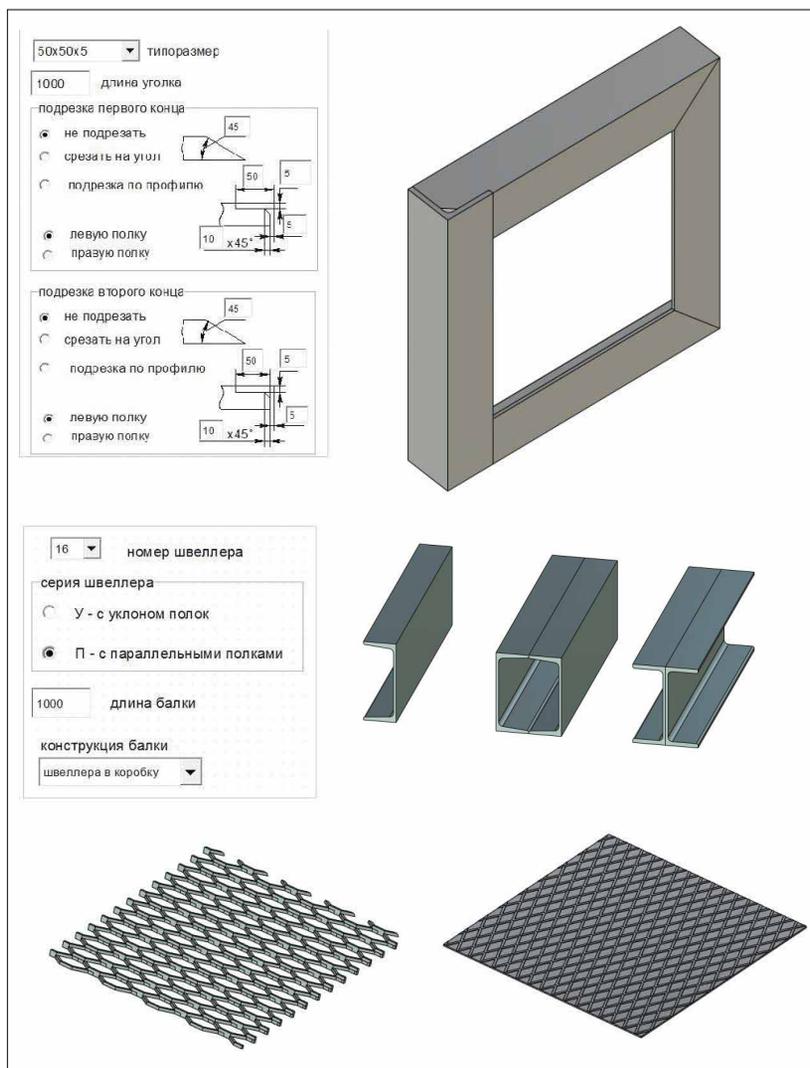


Рис. 8. Примеры моделей металлоконструкций

## Проектирование стоечных и лекальных сборочных постелей

Одно из ключевых направлений, требовавшее внедрения 3D-моделей для сокращения трудоемкости, это проектирование стоечных и лекальных сборочных *постелей*. Постель в судостроении – это комплект опор (стоек или лекал), на которых производится сборка секции корпуса. Проектирование постели при этом состоит в определении мест расположения опор и расчета их точной высоты. Использование для этой работы двумерных проекций чертежа накладывает ограничения на возможные пространственные положения секции при сборке, а также требует повышенного внимания и аккуратности при выполнении построений. Таким образом, когда появилась возможность взять 3D-модель как первоисточник геометрии корпуса, минуя двумерный чертеж, была поставлена задача по автоматизации процесса проектирования постели.

Эта задача была успешно решена с помощью разработчиков *T-FLEX CAD*, создавших для ВСЗ плагин, выполняющий все построения для расчета высоты опор (об этом будет рассказано в отдельной статье). Задача пользователя заключается в подготовке 3D-модели секции, размещении её нужным образом и указании точек размещения опор. На предприятии разработана методика, включающая в себя описание всего процесса: подготовку модели, работу с плагином, моделирование лекал. Эта

методика была освоена сотрудниками и успешно применена уже на нескольких заказах, что дало существенное сокращение трудоемкости при проектировании. Большая часть времени при этом может расходоваться на подготовку модели (при сложной геометрии и разбивке обшивки на листы). Сокращение затрат времени на подготовку модели является отдельной задачей, связанной с импортированием готовых моделей секций корпуса. Решаться эта задача должна, скорее всего, уже не в рамках предприятия, а во взаимодействии с проектантом, разрабатывающим модель судна средствами судостроительной САПР и передающим её через нейтральный формат.

Завершая рассказ, можно сделать вывод, что с момента внедрения *T-FLEX CAD* нашему предприятию удалось существенно автоматизировать процесс разработки технологической оснастки по некоторым основным направлениям, сократить трудоемкость и повысить производительность ОТПП. Часть работ по автоматизации выполняется своими силами, но важно отметить огромную помощь со стороны сотрудников ЗАО “Топ Системы”, оказывающих нам поддержку еще с начала опытной эксплуатации. Коллектив ОТПП ВСЗ надеется на дальнейшее взаимовыгодное сотрудничество, что обеспечит повышение качества и производительности работы в конечном итоге! 😊

◆ Выставки ◆ Конференции ◆ Семинары ◆

# XII Международная специализированная выставка КИЕВСКАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ ЯРМАРКА



**IEC** МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР

Украина, г. Киев, Броварской пр-т, 15  
тел.: (044) 201-11-58, 201-11-65, 201-11-56  
e-mail: alexk@iec-expo.com.ua,  
plast@iec-expo.com.ua  
www.iec-expo.com.ua, www.tech-expo.com.ua

**24–27 ноября  
2020**

Генеральный  
информационный партнер:

**Инструмент**

Эксклюзивный  
медиа партнер:

**ГОЛОВНОГО  
ИНЖЕНЕРА**

Технический  
партнер:

**Reni Media**