

## МОБИЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 004.925.8

### ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ ОБРАЗЦОВ МОРСКИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА СТАДИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

© 2023 г. Е. А. Назаров<sup>1</sup>, А. А. Кириченко<sup>1,\*</sup>, А. Ю. Билалов<sup>1</sup>, В. А. Сторожилов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Военный инновационный технополис «ЭРА», Анапа, Россия

\*E-mail: era\_1@mil.ru

Поступила в редакцию 10.10.2023 г.

После доработки 10.10.2023 г.

Принята к публикации 10.10.2023 г.

Проанализированы возможности распространенных на рынке систем автоматизированного проектирования (САПР) морской техники, которые позволяют решать проектные задачи на стадии исследовательского проектирования образцов морской техники и робототехнических комплексов. Использован новый подход к изучению возможностей САПР с точки зрения задач в рамках исследовательского проектирования. Определены наиболее доступные программные продукты для конкретного этапа проектирования, а также первоочередные задачи для разработки методологии проектирования морских робототехнических комплексов.

DOI: 10.56304/S2782375X23010096

#### ВВЕДЕНИЕ

Использование систем автоматизированного проектирования (САПР) разных уровней при разработке объектов морской техники (ОМТ) имеет важное место при принятии проектных решений на всех этапах жизненного цикла. Прибегая к использованию системного подхода при разработке образцов морской робототехники, отметим, что используемые САПР при разработке ОМТ могут найти свое применение в процессе разработки образцов морских робототехнических комплексов (МРТК).

Цель данной работы – анализ программных возможностей, распространенных на рынке САПР морской техники, возможности которых позволяют решать проектные задачи на стадии исследовательского проектирования (ИП) образцов морской техники и робототехнических комплексов.

ИП – это особая фаза разработки изделия, при которой применяются процедуры, относящиеся к актам поиска и принятия проектных решений. Как правило, фаза ИП затрагивает целиком внешнюю стадию проектирования, а также предэскизный и эскизный этапы проектирования внутренней задачи проектирования.

Рассматривая ИП как единый процесс, выделим три его основные задачи: формирование требований к МРТК, синтез его облика и анализ

проектных элементов. Эти задачи соответствуют отмеченным выше стадиям проектирования: требования к объекту проектирования формируются в процессе решения внешней задачи проектирования, облик изделия и его техническая концепция формируются на стадии предварительного проектирования, наконец, основная задача эскизного проектирования – это анализ элементов, уточнение параметров и характеристик проектируемого МРТК.

ИП в кораблестроении – динамично развивающаяся ветвь теории проектирования. Предметом теории ИП является совокупность тактико-технических характеристик (ТТХ) ОМТ, рассматриваемая с оперативно-тактической, технической и экономической точек зрения с целью выбора варианта (или вариантов) корабля, наиболее предпочтительного в смысле эффективности решения поставленных задач и возможностей создания и содержания корабля в составе флота.

Целью ИП в кораблестроении является решение следующих задач:

- обоснование направлений развития кораблей и судов на перспективу с учетом достижений научно-технического прогресса;
- разработка заданий на проектирование кораблей и судов;
- выявление областей, в которых должны разрабатываться общие требования к проектирова-

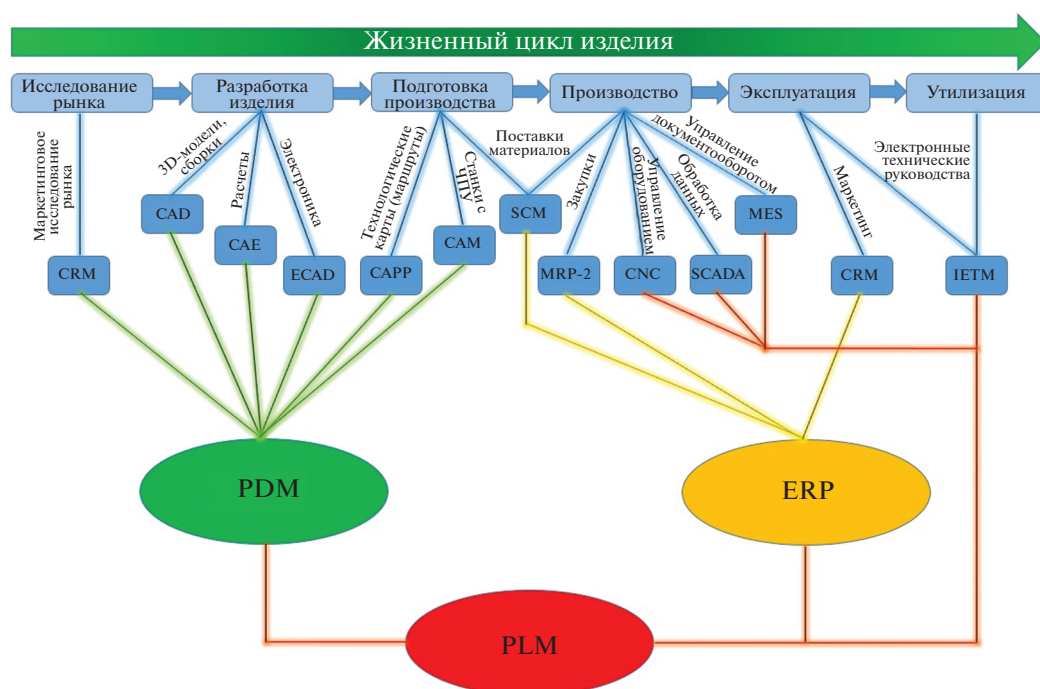


Рис. 1. Общая классификация САПР в привязке к этапам жизненного цикла разрабатываемых изделий.

нию кораблей и судов и обоснование этих требований;

– обоснование направлений развития корабельной и судовой техники, а для кораблей также оружия и вооружения.

Таким образом, ИП характеризуется общей методологией решения задач, связанных с созданием кораблей, их оружия, вооружения и технических средств. Основой этой методологии является комплексное исследование ТТХ корабля как сложной технической системы и поиск оптимального варианта с учетом использования корабля в составе соединения и в совокупности с боевой техникой других родов сил [1].

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Чтобы обеспечить выполнение задач в рамках ИП, необходимо иметь представление об используемых в проектировании ОМТ САПР. В соответствии с типовой схемой применения различных видов САПР [2] для разрабатываемых изделий, представленной на рис. 1, на начальных стадиях проектирования в рамках этапа разработки цифрового макета изделия интересны САПР уровня CAD, CAM и CAE.

Сегодня в морских конструкторских бюро (КБ) наиболее распространены самые разные по уровню и специфике САПР, такие как MATLAB, Mathcad, Auto CAD, Rhino, Bentley Maxsurf, DELFT Ship или Free Ship, Диалог Статика, Ком-

пас 3D, CATIA, Siemens NX, SolidWorks, PTC Creo, T-Flex CAD, ANSYS, Open Foam, FlowVision, Shipconstructor, Nupas-Cadmatic, AVEVA Marine. Опираясь на существующий опыт использования САПР в КБ, все представленные выше пакеты программ в зависимости от стадии разработки и поставленной задачи могут применяться как самостоятельно, так и в связке с другими САПР. Учитывая многообразие рынка программных продуктов, перечисленные САПР для наглядности удобно сгруппировать по следующим категориям: пакеты инженерного анализа (CAE), САПР с функциями автоматической разработки конструкторской документации и создания управляющих программ для станков с числовым программным управлением, универсальные машиностроительные САПР для применения в разных отраслях производства. Данные о них представлены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что в морских КБ широко распространено использование машиностроительных САПР среднего уровня благодаря простоте их использования и приобретения в сравнении с тяжелыми САПР инженерного анализа и узкоспециализированными пакетами для судостроения с поддержкой САМ-модулей и расширенными функциями для производства. Для удобства в табл. 2 отдельно рассмотрены машиностроительные САПР в трех категориях: геометрического моделирования, с поддержкой специальных расчетов и общемашиностроительные САПР.

**Таблица 1.** Наиболее распространенные в КБ САПР

САПР инженерного анализа	Узкоспециализированные САПР с поддержкой разработки конструкторских документов	Машиностроительные САПР
ANSYS Flow vision Open Foam FEMAP	Ship Constructor Aveva Marine Foran	T-Flex CAD, CATIA Компас 3D SolidWorks PTC Creo Siemens NX Auto CAD, Rhino Bentley Maxsurf DELFT Ship Free Ship Диалог Статика

**Таблица 2.** Машиностроительные САПР

САПР геометрического моделирования	САПР с поддержкой специальных расчетов	Общемашиностроительные САПР
Auto CAD Rhino	Orca 3D (плагин к Rhino) Bentley Maxsurf DELFT Ship Free Ship Диалог Статика	T-Flex CAD CATIA Компас 3D SolidWorks Siemens NX PTC Creo

Для решения основных задач ИП необходимо определиться с выбором подходящих САПР. Для этого в табл. 3 рассмотрена возможность применения обшемашиностроительных САПР из табл. 2. В качестве критериев для сравнения различных САПР рассмотрим те, которые характеризуют потенциальные возможности системы и позволят предварительно определиться с выбором наиболее подходящего продукта:

- наглядность интерфейса, которая совокупно определяется понятным интерфейсом программы и представлением основных элементов для человека, не знакомого с системой ранее;

- простота создания базовых элементов, определяемая простотой создания элементарных геометрических элементов и других базовых объектов;

- специализация по отраслевому признаку, т.е. наличие специализированных судостроительных модулей (приложений) в данной САПР;

- наличие инструментов для импортирования и/или создания сложных поверхностей;

- наличие возможностей создания каталогов типовых элементов корпусных конструкций, систем, оборудования;

- производительность при работе с большими сборками;

- использование САПР на предприятиях и в проектных организациях судостроения.

На основании данных из табл. 3 можно сделать вывод о том, что наиболее подходящей машиностроительной программой для проектирования ОМТ является CATIA. PTC Creo, несмотря отличное соответствие поставленным критериям, на отечественных предприятиях применяется крайне редко. Также слабо распространено использование T-Flex CAD, САПР среднего уровня в различных отраслях машиностроения на территории стран СНГ, по причине слабой производительности при работе с большими сборками, что не отвечает требованиям при работе с детально разработанными сборками судовых секций и блоков. Программный пакет SIEMENS NX, так же как и CATIA, находит широкое применение на крупных предприятиях по всему миру благодаря надежным программным решениям, особенно в области создания управляющих программ для станков с ЧПУ. Для более подробного определения функциональных возможностей программ сравним САПР SIEMENS NX и Dassault CATIA в табл. 4.

Анализ показал, что САПР SIEMENS NX является более предпочтительным продуктом при разработке морской техники, что также подтверждается выбором крупных судостроительных

**Таблица 3.** Критериальный анализ общемашиностроительных САПР

Критерий	T-Flex CAD	CATIA	Компас 3D	SolidWorks	PTC Creo	SIEMENS NX	Auto CAD
Наглядность интерфейса	+	+	+	+	+	+	+
Простота создания базовых элементов	+	+	+	+	+	+	+
Наличие специализированных модулей (корпус/системы)	-/+	+/+	-/+	-/+	+/+	+/+	-
Наличие инструментов для импортирования /создания судовой поверхности	+/-	+/+	+/-	+/-	+/+	+/+	-
Наличие возможностей создания каталогов типовых элементов корпусных конструкций	+	++	-	-	+	+	+/-
Производительность при работе с большими сборками	-	+	-	-+	+	+	-
Применяемость на отечественных предприятиях	-	+	+/-	+/-	-	+/-	+

предприятий. Однако, учитывая дороговизну продукта и трудоемкость обучения персонала, в случае с использованием САПР в научно-исследовательской работе стоит отдать предпочтение нескольким разнородным пакетам программ одного уровня, которые более доступны по цене и в освоении работниками.

Как показывает практика использования САПР в небольших проектных и научно-исследовательских организациях, оставшиеся программные пакеты в табл. 2 используются в связке с такими CAD-системами легкого уровня, как, например, Autodesk AutoCAD или Компас 3D, позволяющими достаточно просто создавать эскизы, которые могут быть использованы в качестве исходных данных в создании 3D-моделей ОМТ. Данные пакеты программ используются для разработки формы корпуса ОМТ, расчетов гидростатики и мореходных качеств ОМТ, а также позволяют получать данные о нагрузке масс, вместимости и остойчивости, с помощью которых можно выявить определители и неизвестные величины в уравнениях проектирования на этапе эскизного проекта. Для наглядного представления возможностей данных САПР в выполнении проектных расчетов, геометрических операциях с кривыми и поверхностями, необходимо провести сравнительный анализ. Критерии для сравнения определены по наиболее востребованным функциям для эскизного и последующих этапов проектирования. Данные функции обеспечивают конструктора необходимыми инструментами моделирования, преобразования судовой поверхности, получения искомого данных для выполнения проектных расчетов, составления отчетов и экс-

порта данных и графической информации. Результаты анализа представлены в табл. 5.

Отсутствие в указанных выше САПР возможности проводить комплексный инженерный анализ может быть компенсировано применением пакетов CAE инженерного анализа. В судостроении хорошо зарекомендовали себя такие пакеты инженерного анализа, как ANSYS, FlowVision, Open Foam и SIEMENS FEMAP (табл. 1). Их применение позволяет комплексно исследовать явления сложной физической природы, такие как, например, взаимодействие корпуса судна и жидкости “на тихой воде” или на волнении, ледовые и ветровые нагрузки, прочностные характеристики корпусных конструкций, шум и вибрация на судне.

Несмотря на широкую доступность вычислительных средств и высокие достижения в области численного моделирования сложных физических процессов, экспериментальное подтверждение результатов моделирования с использованием опытовых бассейнов не утратило свою популярность при решении научных задач численными методами. Полученные в опытовых бассейнах экспериментальные результаты могут использоваться не только в целях подтверждения теоретических гипотез, но и для выработки различных подходов к мало изученным физическим явлениям.

Поэтому достаточно наглядно будет продемонстрировать на примере крупнейшего в России исследовательского комплекса в Крыловском научном центре (КГНЦ) [3] имеющиеся научные комплексы (табл. 6) и проводимые с их помощью виды научных исследований, которые будут выступать в качестве критериев для сравни-

**Таблица 4.** Критериальный анализ САПР SIEMENS NX и Dassault CATIA

Критерий	Siemens NX	Dassault CATIA
Наглядность интерфейса	Простой интуитивно понятный интерфейс	Интерфейс системы нагляден и прост для обучения
Простота создания базовых 3D-элементов	Твердотельные модели с гибкими настройками изменяемых геометрических параметров	Создание элементов в несколько щелчков мыши, каждый элемент может быть создан несколькими способами
Наличие специальных модулей (корпус/системы)	Специализированные модули для судостроения: модуль проектирования общего расположения, конструирования корпуса, модуль размещения оборудования и работы с судовыми системами	
Наличие возможностей создания каталогов типовых элементов корпусных конструкций	Поддержка в подключаемом модуле	Поддержка каталогов типовых элементов Создание параметрических типовых элементов Наличие удобных инструментов прикладного программирования для создания каталогов типовых элементов
Наличие инструментов для импортирования /создания судовой поверхности	Создание плоскостных и твердотельных поверхностей Поддержка форматов IGES, STEP	Создание поверхностей любой сложности Инструменты для импортирования поверхности из сторонних приложений в форматах IGES, STEP и др. Поддерживается импорт твердотельных моделей во всех основных форматах
Производительность при работе с большими сборками	Высокая производительность обеспечивается значительными ресурсами компьютера	Высокая производительность поддерживается в режиме “кэша”, при котором в память загружаются только активные на данный момент элементы
Применяемость на предприятиях	Машиностроительные предприятия страны по отраслям: автомобилестроение, станкостроение, энергетические установки	«ОАО» Адмиралтейские верфи“, ОАО «Центр судостроения “Звездочка”», ОАО “Центр технологии судостроения и судоремонта”, ОАО «ЦКБ МТ “Рубин”», ОАО “Северное проектно-конструкторское бюро” и др.

тельного анализа возможностей САЕ – программных пакетов в табл. 7.

Из рассмотренных САПР в табл. 7 наиболее функциональным будет пакет ANSYS с подключенными дополнительными пакетами. Важным моментом в работе с данной программой является возможность моделировать геометрию объектов в САПР от Autodesk. Из недостатков можно отметить сложности в моделировании объектов и расчетных сеток. Пакет FEMAP при решении конструкторских задач различной сложности в сравнении с САПР ANSYS проще в освоении, не

требует значительных вычислительных ресурсов от автоматизированного рабочего места и поддерживает интеграцию с САПР среднего и тяжелого уровня от Siemens.

Пакет FlowVision является отечественным продуктом инженерного анализа в области гидро- и газодинамики, имеет обширную русскоязычную библиотеку знаний и обучающих материалов, а также тесно интегрирован с программными решениями от Dassault Systems. По заверениям разработчика имеются дополнительные расчетные модули для

**Таблица 5.** Сравнительный анализ САПР геометрического моделирования и расчетов

№	Критерии	Rhino (с плагином Orca 3D)	Bentley Maxsurf	DELFT Ship (Free Ship)	Диалог Статика
1		Проектные расчеты			
1.1	Оптимизационные расчеты обоснования технико-экономических характеристик	–	–	–	–
1.2	Составление уравнений нагрузки масс	–	–	–	–
1.3	Решение уравнений проектирования	–	–	–	–
1.4	Деление корпуса на отсеки, цистерны	+	+	+	+
1.5	Создание схем распределения нагрузки	+	+	+	+
1.6	Калибровка цистерн и таблицы вместимости	+	–	–	+
1.7	Предварительная оценка скорости и мощности по расчетам буксировочного сопротивления	+	+	+	+
1.8	Расчет мореходных качеств в ледовых условиях	–	–	–	+
1.9	Подбор главного двигателя	+	+	+	–
1.10	Расчет гребного винта	+	+	+	–
1.11	Расчеты плавучести: гидростатические кривые, пантокарены и строевая по шпангоутам	+	+	+	+
1.12	Таблицы углов крена и дифферента, расчет посадки судна	+	+	+	+
1.13	Остойчивость судна (статическая, динамическая, аварийная) в различных случаях загрузки	+	–	–	+
1.14	Продольная прочность	–	+	–	–
1.15	Расчет непотопляемости	+	+	+	+
1.16	Расчет шума и вибрации корпуса судна, гребного винта	–	–	–	–
2		Операции с поверхностями			
2.1	Стандартные операции	+	+	+	–
2.2	Моделирование плоских поверхностей	+	+	+	–
2.3	Nurbs-моделирование	+	–	–	–
2.4	Поддержка т-сплайнов	+	–	–	–
2.5	Контроль кривизны	+	–	+	–
3		Операции с кривыми			
3.1	Стандартные операции	+	+	+	–

Таблица 5. Окончание

№	Критерии	Rhino (с плагином Orca 3D)	Bentley Maxsurf	DELFT Ship (Free Ship)	Диалог Статика
3.2	Nurbs-моделирование	+	-	-	-
3.3	Поддержка т-сплайнов	+	-	-	-
3.4	Контроль кривизны	+	-	+	-
4		Инструментальные средства			
4.1	Моделирование килей	+	+	+	-
4.2	Формирование выступающих частей	-	+	-	-
4.3	Моделирование надстроек	-	-	-	+
4.4	Инструменты для создания сеток	+	-	-	-
5		Геометрические преобразования			
5.1	Параметрическое моделирование корпуса	+	-	-	-
5.2	Автоматическое построение сложных криволинейных поверхностей, в том числе лопастей гребных винтов	-	+	-	-
5.3	Перестроение теоретического чертежа по строевой	-	-	-	-
5.4	Аффинные преобразования корпуса	+	+	+	+
5.5	Моделирование многокорпусных судов	+	+	-	+
5.6	Шаблоны и инструменты для создания упрощенных обводов корпуса	-	-	+	-
5.7	Создание разверток корпуса на плоскость, в том числе плоскостей двойной кривизны	+	+	+	-
6		Вывод отчетов и графических материалов			
6.1	Автоматическое составление отчетов формата .doc, .pdf	+	+	+	+
6.2	Отчеты на русском языке	+	-	- (+ для Free Ship)	+
6.3	Экспорт чертежей и схем в формате ".dxf"	+	+	+	-
6.4	Поддержка формата ".dwg" в качестве основного	-	-	-	-
6.5	Автоматическое оформление конструкторских документов по ГОСТ	-	-	-	-
7		Тип лицензии			
7.1	Открытая лицензия	-	-	- (+ для Free Ship)	-
8		Поддержка операционных систем			
8.1	Linux	+	-	-	-
8.2	Windows	+	+	+	+

**Таблица 6.** Лабораторные комплексы КГНЦ и возможные с их помощью исследования

Лабораторный комплекс	Возможные проводимые исследования
Глубоководный бассейн	Вариативные исследования влияния характеристик формы корпуса (соотношения главных размерений: длина, ширина, осадка, высота борта, а также коэффициенты полноты и их соотношения) на буксировочное сопротивление судна, природа взаимодействия корпуса судна с жидкостью (волнообразование в различных частях корпуса) без учета влияния морского дна в водоизмещающем, переходном и глиссирующих режимах
Мелководный бассейн	Вариативные исследования влияния характеристик формы корпуса на буксировочное сопротивление судна с учетом влияния мелководья в водоизмещающем, переходном и глиссирующих режимах
Мореходный бассейн	Исследование характеристик мореходных качеств судна (ходкость, остойчивость, качка, мореходность, непотопляемость в условиях регулярного и нерегулярного морского волнения)
Циркуляционный бассейн	Определение элементов управляемости судна на циркуляции
Маневренный бассейн	Комплексные исследования характеристик модели при сочетании преимуществ циркуляционного, мореходного и глубоководного бассейнов в условиях, соответствующих открытой воде
Комплекс кавитационных труб	Определение гидродинамических характеристик движителей: гребных винтов, импеллеров для водометов, гребных колес и крыльчатых движителей, промысловых тралов и сетей (гидродинамические качества, кавитация, шум и вибрация)
Комплекс аэродинамических труб	Определение рациональной формы рубок, надстроек скоростных судов, круизных лайнеров, танкеров, газозовов и контейнерных судов. Экспериментальное определение влияния ветровой нагрузки на мореходные качества судна
Ледовый бассейн	Экспериментальное определение ходкости морских судов и ледостойких платформ, а также формы влияния ледового покрова на конструктивные элементы объектов морской техники, определение характеристик формы корпуса судов с ледовым усилением. Хладогенераторы обеспечивают возможность наращивать несколько различных видов льда
Оффшорный бассейн с изменяемой глубиной дна	Научные эксперименты по моделированию технологических операций морской техники, участвующей в процессах добычи, переработки и транспортировки полезных ископаемых на шельфе. К ним относятся модельные эксперименты по транспортировке добывающих платформ, определению устойчивости платформ в условиях волнения и ветра, швартование судов на волнении и т.д.
Комплекс тренажеров	Оборудование со специальным программным обеспечением, имитирующее основные посты на судне, в том числе рулевую рубку. Применением оборудования, точно копирующего как органы управления, так и их взаимодействие на уровне физических процессов обеспечивает проведение обучающих семинаров и тренировок для обслуживающего персонала
Элинг ресурсных и статических испытаний	Реализация системы внешних сил, обеспечивающей напряженно деформированное состояние опытной конструкции, максимально приближенное к расчетному (эксплуатационному)
Комплекс наземных гидробарических испытаний	Имитация погружения корпусов глубоководных аппаратов и забортного оборудования в целях исследования их прочностных характеристик. Испытательное оборудование позволяет имитировать погружение на предельные глубины Мирового океана

расширения своего функционала, поддерживаются сторонние решатели и генераторы сеток.

Интересным с научной точки зрения будет применение Open Foam при решении нестан-

дартных задач гидро- и газодинамики. Программа имеет широкое распространение в зарубежных университетах и крупных КБ, пакет обладает большими вычислительными возможностями, но



**Таблица 7.** Сравнительный анализ возможностей CAE программных продуктов

№	Критерии	ANSYS	Flow vision	Open Foam	SIEMENS FEMAP
1		Виды исследований			
1.1	Ходкость без учета влияния морского дна	+	+	+	-
1.2	Ходкость на мелководье	+	+	+	-
1.3	Ходкость в узкостях (канале)	+	+	+	-
1.4	Ледовая ходкость	+	-	-	-
1.5	Ходкость подводных аппаратов	+	+	+	-
1.6	Ходкость на волнении	+	+	+	-
1.7	Статическая остойчивость	+	+	+	-
1.8	Динамическая остойчивость	+	+	+	-
1.9	Исследование ветровой нагрузки	+	-	-	+
1.10	Моделирование штормовой мореходности	+	-	-	-
1.11	Элементы управляемости	+	+	+	-
1.12	Исследование характеристик судовых движителей	+	+	+	+
1.13	Шум	+	-	-	-
1.14	Вибрационные исследования	+	-	-	+
1.15	Моделирование кавитации	+	+	+	+
1.16	Качка судна	+	+	+	-
1.17	Погружение подводных аппаратов	+	+	+	+
1.18	Общая прочность корпуса судна	+	-	-	+
1.19	Прочность корпусных конструкций	+	-	-	+
2		Состав пакетов			
2.1	Препроцессорная подготовка	+	+	+	+
2.2	Получение решения	+	+	+	+
2.3	Постпроцессорная обработка	+	+	+	+
2.4	Компоновка процессоров и решателей пакета	По пакетам	В одном пакете		
2.5	Наличие дополнительных расчетных модулей	+	-	-	-
2.6	Поддержка сторонних решателей	+	+	+	+
3		Методы расчетов			
3.1	Метод конечных элементов	+	-	-	+
3.2	Метод конечных объемов	+	+	+	-
4		Особенности работы			
4.1	Инструменты создания геометрических моделей	+ -	+	-	-
4.2	Работа с оболочками (плоские поверхности)	+	+	-	+
4.3	Создание и редактирование расчетных сеток	+	+	-	-
4.4	Развитие в рамках концепции “Цифровой двойник”	+	-	-	-
4.5	Поддержка операционных систем	Windows Linux	Windows Linux	Linux	Windows Linux
4.6	Интеграция с другим ПО	Autodesk	Dassault Systems	-	Siemens PLM

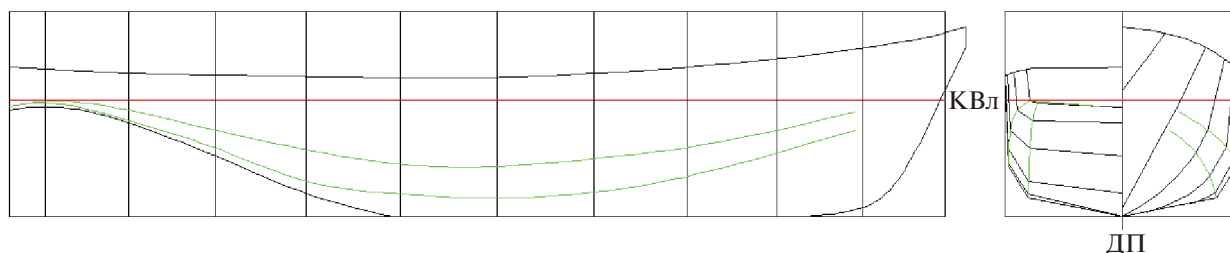


Рис. 2. Теоретический чертеж модели буксира, выполненный в Auto CAD.

крайне слабой графической оболочкой, а большинство функций программы выполняется с помощью командной строки в терминале.

По результатам анализа применяемых в судостроении различных САПР представляется возможным в первом приближении определиться с наиболее подходящими пакетами программ в соответствии с решаемыми в рамках ИП задачами. Таким образом, для выполнения расчетов и анализа элементов МРТК применяются следующие САПР:

- математический пакет MATLAB применим для составления и решения систем уравнений проектирования на начальной стадии разработки проекта, разработки математических моделей оптимизации характеристик как для внешней задачи (тем самым формируя требования к МРТК), так и для внутренней задачи проектирования, аналитических моделей описания мореходных качеств ОМТ;

- программный продукт DELFT Ship позволит с использованием предварительно разработанных эскизов создать 3D-модель корпуса судна и проводить с ее помощью расчеты кривых элементов теоретического чертежа, статики корабля и расчетов мореходных качеств в наглядной форме;

- САПР “Диалог Статика” используется в эскизном проектировании для расчета кривых элементов теоретического чертежа, статики корабля и расчетов устойчивости с использованием геометрических координат точек судовой поверхности (плазовых ординат) по методикам, одобренным классификационными сообществами;

- пакет FlowVision отлично подходит для решения распространенных задач в гидромеханике, тогда как пакет Open Foam позволит реализовать решение нестандартных задач альтернативными способами в рамках исследований;

- САПР SIEMENS FEMAP достаточно удобно использовать при решении задач строительной механики корабля, расчетов общей прочности для получения необходимых значений остаточных толщин наружной обшивки и размеров поперечных и продольных связей;

- машиностроительные САПР Компас 3D и SolidWorks можно применять при разработке

3D-моделей энергетической установки и валогребной линии, общесудовых устройств и систем, устройств специального назначения (захваты, манипуляторы, грузовые порталы).

Для решения задач синтеза облика МРТК достаточно использовать САПР, поддерживающие разработку кривых линий теоретического чертежа ОМТ с последующими работами над созданием 3D-модели с разделением внутреннего пространства на отсеки в соответствии с эскизными разработками на стадии обоснования архитектурно-конструктивных решений. Из рассмотренных ранее САПР можно отметить:

- Компас 3D или пакет Auto CAD для создания эскизов, оформления теоретического чертежа, чертежей общего расположения, конструкции корпуса и прочих конструкторских документов;

- Rhino с плагином Orca 3D по совокупности предоставляемых возможностей предлагает инструменты для разработки 2D-эскизов и чертежей и 3D-моделирования плоскостных поверхностей и кривых на этапе эскизного проектирования модели корпуса ОМТ, моделирования наружной обшивки корпуса судна с внутренним делением на отсеки, расчетов гидростатики, устойчивости и других мореходных качеств.

Наряду с выбранными ранее САПР необходимо отметить пример удачного использования программных пакетов в ИП применительно к разработке ОМТ. В [3] выполнена работа по созданию методики оценки статей нагрузки масс, составляющих водоизмещение портовых буксиров для Республики Вьетнам. С этой целью с помощью данных по нескольким судам-прототипам разработана “проектная сетка” из 135 проектов судов выбранного типа с использованием САПР Auto CAD для разработки эскизов теоретического чертежа (рис. 2), САПР Rhino для разработки геометрических моделей наружной обшивки корпусов 135 проектов буксиров (рис. 3) с последующим экспортом полученных 3D-моделей в САПР ShipConstructor для разработки корпусных конструкций и листов наружной обшивки (рис. 4). По окончании работы получены статистические данные по статьям нагрузки масс и координатам центров тяжести основных весов с помощью ста-

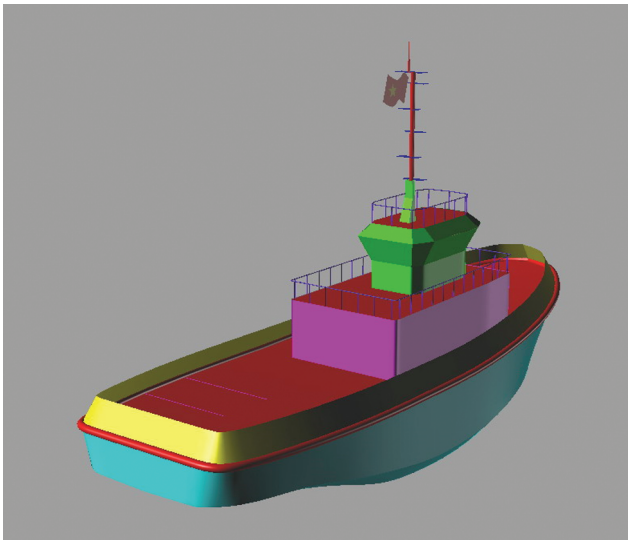


Рис. 3. 3D-модель буксира в Rhino.

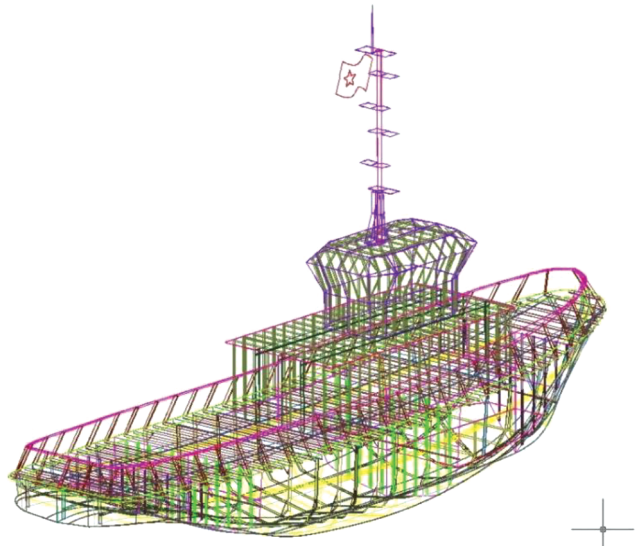


Рис. 4. 3D-модель буксира в ShipConstructor.

статистически обработанных “синтетических” данных смоделированных портовых буксиров из разработанной проектной сетки, что позволило подобрать функциональные зависимости, наиболее точно определяющие связь конкретной статьи нагрузки масс с характеристиками судна. Полу-

ченные зависимости определялись для составления системы уравнений проектирования и определения главных размерений буксиров, а также для оценки остойчивости и посадки судна на начальных стадиях проектирования.

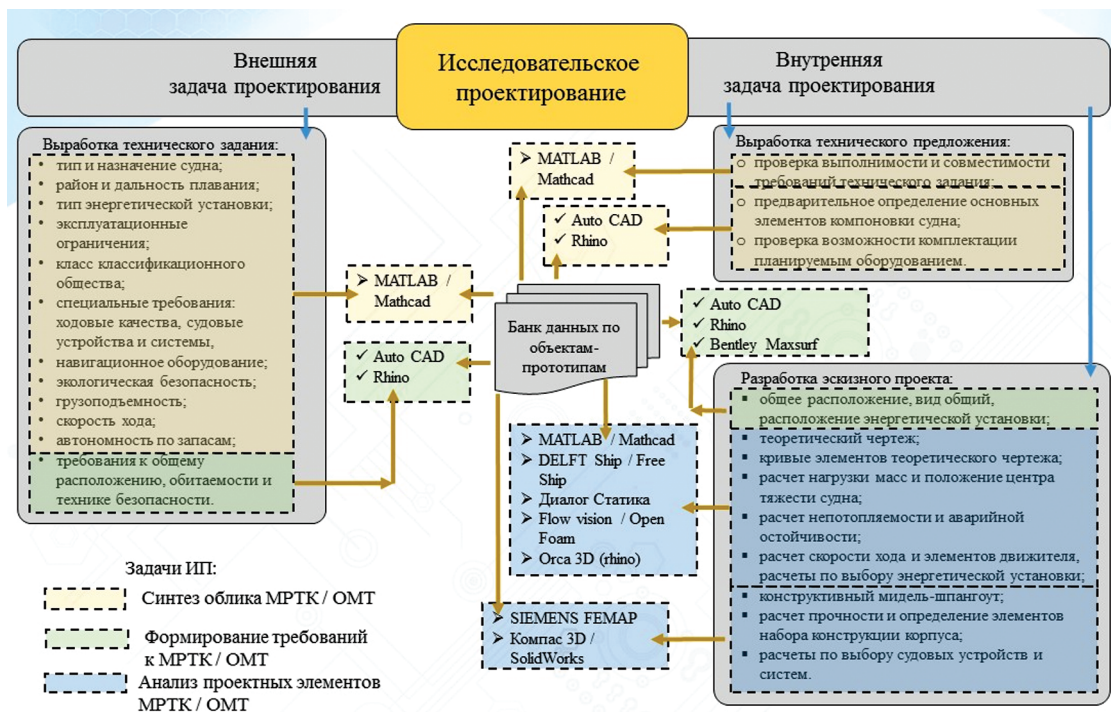


Рис. 5. Место ИП в проектировании ОМТ/МРТК и взаимосвязь применяемых САПР с банком данных по объектам – прототипам.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение САПР в процессе ИП позволяет восполнить недостающую информацию об исследуемом ОМТ и улучшить его характеристики на начальных стадиях проектирования. Рассмотренные САПР, а также, как один из возможных, подход успешно решенной задачи ИП актуальны для решения задач ИП в целях обоснования методологии проектирования МРТК и позволят разрабатывать математический аппарат для оптимизационных и имитационных моделей как безэкипажных катеров, так и автономных необитаемых подводных аппаратов. Однако выполнение подобной работы затруднительно без собственного банка данных по судам-прототипам, что видно из рис. 5, где схематично показано применение САПР в ИП в соответствии с решаемыми в рамках данного направления задачами.

Чтобы справиться с задачей создания современных и конкурентоспособных образцов МРТК, требуется творческий и разносторонний подход на начальных стадиях проектирования, для чего желательно применение подходов исследовательского проектирования и начального набора доступных САПР.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Оганесян О.В., Бурлаченко О.В., Абрамян С.Г.* // The Scientific Heritage. 2020. № 57–1. С. 20.
2. Крыловский государственный научный центр. Экспериментальная база. <https://krylov-centre.ru/experimental/>
3. *Франк М.О., Овчинников К.Д.* // Труды Крыловского государственного научного центра. 2020. № S2 С. 160.