



УДК 629.12+625+628.971+004.9

**Гордлеев Сергей Дмитриевич**, руководитель конструкторского бюро ВГУВТ, заместитель директора Института инноваций в судостроении и судоремонте, старший преподаватель кафедры Теории конструирования инженерных сооружений Волжский государственный университет водного транспорта 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

**Старкова Татьяна Владимировна**, студентка третьего курса специальности кораблестроение и океанотехника, факультета Кораблестроения и защиты окружающей среды Волжский государственный университет водного транспорта 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

### ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ МАЧТЫ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ

*Аннотация.* На примере некоторых стержневых систем берегового и морского исполнения приводится оценка различных методик проектирования и расчета в части использования современных программных средств. Рассматриваются алгоритмы решения с помощью классических методик и через компьютерные приложения, а также смешанные варианты. Дается оценка использования тех или иных методик.

*Ключевые слова:* Расчет мачт, расчет опор, МКЭ, методики проектирования, стержневые системы, прочность балок.

В процессе изобретения нового устройства каждый инженер приходит к задаче размещения его на конструкции, при этом большинство проектантов не относится серьезно к данному этапу и в результате могут выходить разные казусы.

Поэтому следует принимать во внимание то, что одним из основных направлений инженерной деятельности всегда было закрепление предмета (устройства) на опоре или консоли, которая устанавливалась либо на другую опору, либо непосредственно на поверхность (строительную площадку, землю и т.д.). В разные периоды данному вопросу уделялось большое количество внимания, и уже к 20 веку был накоплен колоссальный опыт проектирования. В списке литературы представлен ряд работ, которые авторы принимали во внимание при выполнении исследований и написании публикаций. Особое внимание уделялось опыту проектирования вертикальных стержневых систем, которые можно было бы применить к морским и речным условиям. Это объяснялось тем, что в отличие от стационарного размещения на твердой поверхности земли опоры и мачты на судах имеют иное количество внешних нагрузок.

Ниже приведена сравнительная таблица нагрузок от сил которые могут возникать в случае размещения в стационарном и морском исполнении (Таблица 1).

## Нагрузки, действующие в опорах

Нагрузка	Стационарное исполнение	Морское исполнение
От установленных устройств	+	+
От раскрепления	+	+
Ветровая постоянная	+	+
Ветровая динамическая	+	+
От обледенения	+	+
Снеговая	+	+
Сейсмическая	+	<b>нет</b>
Термическая	+	+
Монтажная	+	+
Ударная (столкновение)	+	+
От собственных колебаний*	+	+
От подвешенного груза	<b>нет</b>	+
Инерционная (качка)	<b>нет</b>	+

Известно, что для расчета и проектирования опор применяются типовые методики, часть из которых имеет ряд допущений. Например, расчет конструкций из балок разных сечений допускает использование упрощенных методик сопротивления материалов. Однако далеко не все опоры поддаются классическим «формульным» методикам. Для наиболее точного расчета предлагается произвести структурный анализ каждой из проектируемых опор (консоль, мачту, стойку) по структуре указанной на рисунке 1. Данные сведения можно найти в ГОСТах и СНИПах и в техническом задании.



Рис. 1. – Структурный анализ проектируемого объекта

Далее применяются различные методики проектирования, которые дополняют друг друга. В статье рассмотрено два типа:

- исследование прочности мачты водолазного судна в программе APM FEM (модуль Компас 3D);
- расчет световых опор в электронных таблицах.

В основе расчёта лежит метод конечных элементов (МКЭ). При создании сетки устанавливаются следующие параметры: форма конечных элементов (4 либо 10 узловых тетраэдры), максимальная длина элемента, коэффициент разряжения в объёме и коэффициент сгущения на поверхности. К минусам можно отнести то, что программа позволяет задавать параметры сетки конечных элементов для модели, не предоставляя пользователю возможности укрупнения или уменьшения сетки в определённых местах конструкции, вызывающих наибольший интерес.

3D модель рассчитываемой конструкции должна быть построена качественно, все совпадающие поверхности должны быть правильно сопряжены, все точки касания верно установлены. Также возникают сложности при разбивке длинных стержневых элементов, находящихся в составе массивных и больших конструкций. Так как сетка делается

оптимальной для большей части конструкции, имеющей значительные размеры во всех направлениях, она может и не подходить для длинных стержневых элементов. Внешний вид конечно элементной сетки с заданными нагрузками показан на рисунке 2.



Рис. 2. – Внешний вид КЭ сетки и распределение нагрузки 480 Па на боковую поверхность элементов

удобный профиль.

Как правило, на суда проектируются и монтируются мачты под специальные средства (освещение, знаки, антенны) и поэтому главенство технологических и эксплуатационных аспектов над прочностными явно выражено. А значит не требуется использование сложных расчетов и достаточно проверить по простым (классическим расчетным схемам).

В ином случае, при установке стержневой конструкции на местности требуется конкретный расчет по всем требованиям и нормам. На примере световой опоры авторами был разработан, согласованный с действующими нормами алгоритм расчета, который учитывает:

а) Постоянные нагрузки:

- собственный вес ствола опоры;
- вес оборудования;

Модуль дает возможность провести следующие виды расчетов:

- статический расчет;
- расчет на устойчивость;
- расчет собственных частот и форм колебаний;
- тепловой расчет.

В результате можно получить следующую информацию:

- карту распределения нагрузок, напряжений, деформаций в конструкции;
- коэффициент запаса устойчивости конструкции;
- частоты и формы собственных колебаний конструкции;
- карту распределения температур в конструкции;
- массу и момент инерции модели, координаты центра тяжести.

Программа позволяет пользователю автоматически сохранить отчет в текстовом документе, в котором отражены все параметры модели, характеристики КЭ сетки, материала и карты результатов.

Очевидно, что можно использовать классические методики определения параметров конструкции опоры на начальных этапах проектирования. Например в варианте с мачтой водолазного судна в части подбора геометрических характеристик была применена схема, показанная на рисунке 3. В результате был получен момент сопротивления вертикального стержня, равный  $5\text{см}^3$ .

В данном случае балка такого сечения являлось бы очень тонкой для монтажа необходимого оборудования (сигнально-отличительных фонарей), откуда было принято решение подобрать наиболее

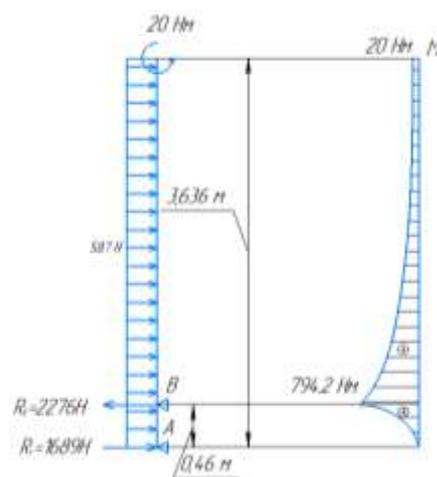


Рис. 3. – Расчетная схема мачты

## б) Временные нагрузки:

- снеговая нагрузка;
- гололедная нагрузка;
- ветровое воздействие (статическое и резонансное вихревое);

В исходных данных задаются основные параметры опоры, в выводах заключение о годности.

Касательно использования современных программных средств, таких как ПК ЛИРА, SCAD, Компас 3D и проч. имеет место разработка баз данных типовых задач и шаблонов их решения. Опыт проектирования стержневых систем для берегового и морского исполнения показал эффективность разных подходов. Одним из главных отличий является требование контролирующих организаций: Ростехнадзор, Регистры (Российский речной регистр, Морской регистр судоходства). Их разные подходы к получению отчетной документации накладывают соответствующие требования к разработчику. Например в одном случае для Регистра может быть достаточен расчет в сертифицированном ПО или заключение о годности (см. рисунок 4). В случае предъявления заказа световых опор организации, застройщику города будет затребован «полновесный» отчет со всеми выкладками, формулами и пр.

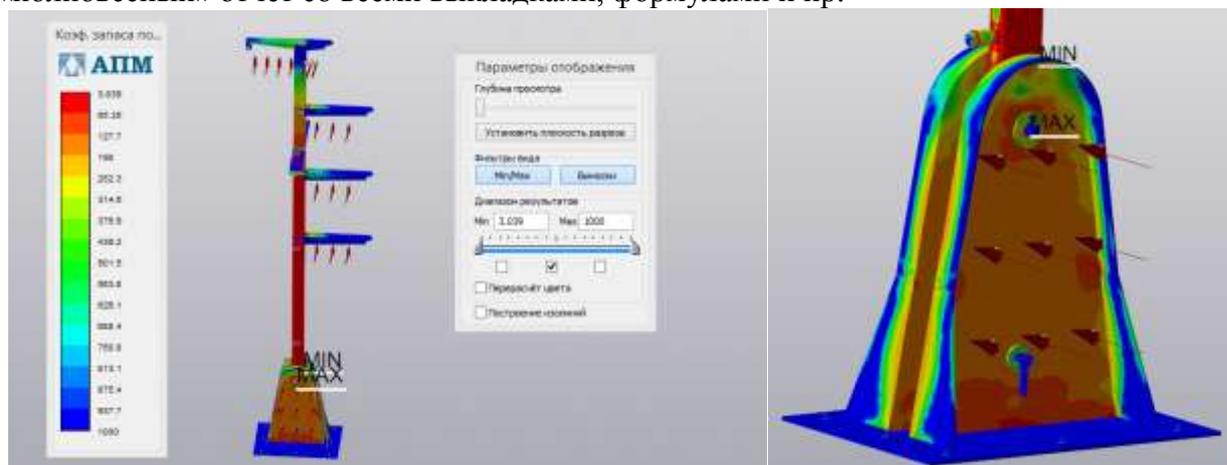


Рис. 4. – Результаты расчета мачты и устройства крепления-«стандеса»

В заключение стоит отметить, что использование 3D-конструирования в совокупности с навыками прочностного анализа позволяют реализовать достаточно сложные задачи. Например, возможность параметрического изменения габаритов стержневых систем и их характеристик позволяют существенно сэкономить время на проработку вариантов конструкции.

## Список литературы:

1. Гирин С.Н. Сопротивление материалов. Конспект лекций : студентам оч. и заоч. формы обучения по специальностям 180101 и 280202 / С. Н. Гирин ; Федер. агентство морского и речного трансп., Федер. гос. образоват. учреждение высш. проф. образования, Волж. гос. акад. вод. трансп., Каф. сопротивления материалов, конструкций корпуса и строит. механики корабля. Нижний Новгород, 2008. Том Ч. 2
2. Новиков С.П. Моделирование в системе компас -3D. самоучитель по дисциплине "Автоматизация проектно-конструкторских работ для студентов специальности 180403 "Эксплуатация судовых энергетических установок" / С. П. Новиков ; Федеральное агентство морского и речного трансп., Федеральное гос. образовательное учреждение высш. проф. образования Волжская гос. акад. водного трансп.. Нижний Новгород, 2008.
3. Расчет башен и мачт [электронный ресурс] // <https://buildsam.ru> (Дата обращения 27.04.2020).
4. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* (с Изменениями N 1, 2).

5. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\* (с Поправкой, с Изменением N 1).
6. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\* (с Изменениями N 1, 2).
7. Перельмутер А.В. SCADOffice. Расчет мачт на оттяжках. К.: Издание ООО SCADsoft, 2004.-46с.
8. Справочник проектировщика. Металлические конструкции (в 3-ёх томах).Том 3.- М.:Издательство АСВ, 1999.

## **FEATURES OF CALCULATION AND DESIGN OF VERTICAL ROD SYSTEMS ON THE EXAMPLE OF A MAST, USING MODERN SOFTWARE TOOLS**

Sergey D. Gordleev, Tatyana V. Starkova

*Annotation. On the example of some rod systems of onshore and offshore execution, various design and calculation methods are evaluated in terms of using modern software tools. Algorithms for solving problems using classical methods and computer applications are considered, as well as mixed variants. The assessment of the use of certain methods is given.*

*Keywords: The calculation of the masts, the calculation of the bearings, FEM, design procedures, rod system, the strength of the beams*