

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГАКА ДЛЯ СПУСКОПОДЪЕМНОГО УСТРОЙСТВА МАЛОМЕРНЫХ СУДОВ

Володин В.А.

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Ключевые слова: гак, напряженное состояние, метод конечных элементов, контактное взаимодействие, маломерный флот, судостроение.

Аннотация. В статье автор рассматривает исследование, напряженного состояния гака для спускоподъемного устройства маломерных судов, представляющего собой механизм захвата грузоподъемного кольца. Исследование проводится методом конечных элементов с учетом контактного взаимодействия деталей и узлов гака, а также физической нелинейности материала. Для нормирования характеристик напряженного состояния гака автор обращается к требованиям Правил Российского Морского Регистра Судоходства. Автор акцентирует внимание на необходимости импортозамещения в области производства устройств для подъема вспомогательных плавучих средств судов и кораблей. Автором на основании результатов исследования делается вывод о том, что запас прочности гака соответствует требованиям Правил Российского Морского Регистра Судоходства. В заключении автор акцентирует внимание на необходимости учета контактного взаимодействия.

INVESTIGATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE BOOM FOR THE LAUNCHING DEVICE OF SMALL VESSELS

Volodin V.A.

Don State Technical University, Rostov-on-Don

Keywords: hook, stress-strain state, finite element method, contact interaction, small fleet, shipbuilding.

Abstract. In the article, the author examines the study of the stress-strain state of the hook for the launching and lifting device of small vessels, which is a lifting ring gripping mechanism. The investigation is carried out by the finite element method, taking into account the contact interaction of the parts and assemblies of the hook. To normalize the characteristics of the stress-strain state of the hook, the author uses the Rules of the Russian Maritime Register of Shipping. The author focuses on the need for import substitution in the field of production of devices for lifting auxiliary floating means of vessels and ships. Based on the results of the study, the author concludes that the safety margin of the hook complies with the Rules of the Russian Maritime Register of Shipping. In conclusion, the author focuses on the need to take into account contact interaction.

Введение

Современные суда и корабли в составе своего снабжения имеют вспомогательные плавучие средства, такие как спасательные шлюпки и разъездные катера. Спуск на воду и подъем на борт осуществляется спускоподъемным устройством, которое представляет из себя кран с гидравлической лебедкой, а также включает в себя ложемент для установки вспомогательного плавучего средства. Для захвата грузоподъемного кольца, шлюпки и катера должны быть оборудованы разобщающим устройством, о котором идет речь в данной статье.

В настоящее время остро стоит вопрос импортозамещения в области производства разобщающих устройств, особенно в случае постройки кораблей специального назначения.

Ранее на отечественных шлюпках и катерах устанавливались гаки Норвежского производства фирмы Henriksen [1], однако в настоящее время в условиях санкций, поставка данных устройств практически невозможна.

В Российской Федерации существует нормативная документация, содержащая требования к разобщающим устройствам – Правила Российского Морского Регистра Судоходства [2].

Основываясь на информации представленной в [1] и [2], был проведен процесс проектирования гака, включающий в себя расчет напряженного состояния методом конечных элементов с учетом контактного взаимодействия.

В данном случае особую роль играет учет контактного взаимодействия, так как гаки представляют из себя механизм, в основе работы которого лежит соприкосновение деталей [3, 4]. Следовательно, расчетная модель должна быть построена максимально приближенно к реальной работе гака.

Материалы и методы исследований

В качестве материалов для проведения исследования были приняты;

- CAD модель гака;
- рабочая нагрузка – 4 тонны, соответствующая спусковой массе многоцелевого катера проекта «РИФ75СК» производства АО «РИФ» (г. Ростов-на-Дону) [5].

Согласно требованиям п. 6.20.1.7 [2] конструктивные элементы и все блоки, лопасти, обухи, звенья, крепежные устройства, а также все другие приспособления, используемые совместно со спусковыми механизмами, должны быть спроектированы по крайней мере с минимальным запасом прочности относительно предполагаемой максимальной рабочей нагрузки и предела прочности применяемых для изготовления материалов. Все конструктивные элементы шлюпбалок и лебедок должны иметь запас прочности не менее 4,5, а лопасти, цепи, подвески, звенья и блоки – не менее 6, относительно предела прочности материала.

Исходя из вышесказанного, в качестве расчетной нагрузки при проведении исследования принимается растягивающая нагрузка, соответствующая массе 24 тонны, то есть 6-ти кратной рабочей нагрузке.

Исследование напряженного состояния гака было проведено методом конечных элементов с учетом геометрической нелинейности, а также с учетом контактной нелинейности, реализованным в программном комплексе Ansys.

На рисунке 1 представлен общий вид гака с указанием его основных составляющих.

В качестве материала гака принята нержавеющая сталь марки 08X18H10 с пределом текучести 196 МПа [6].

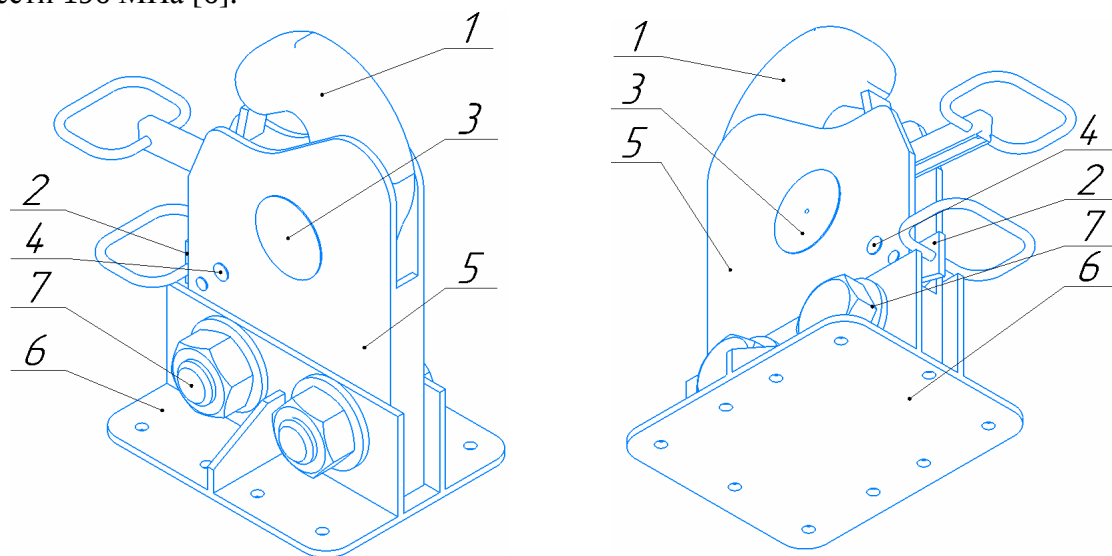


Рис. 1. Общий вид гака: 1 – крюк, 2 – фиксатор, 3 – палец крюка, 4 – упор фиксатора, 5 – корпус гака, 6 – фланец крепления к катеру, 7 – болт М48

Учет контактной нелинейности

Особенностью контактных задач является присущая им нелинейность, следовательно, подобные задачи требуют большой вычислительной мощности для решения.

Контактное взаимодействие тел определяется контактными парами. Контактные тела могут быть деформируемыми или жесткими [7, 8].

Первоначально на взаимодействующие тела накладывается сетка материальных конечных элементов. После этого на предполагаемые контактные поверхности этих тел, а точнее на узлы, принадлежащие этим поверхностям, накладываются контактные конечные элементы. Поверхности делятся на контактные, состоящие из контактных элементов, и

целевые, состоящие из целевых элементов. Контакт происходит, когда контактная и целевая поверхность пересекаются. Каждый элемент контактной пары имеет собственную нормаль, конечные элементы (КЭ) при контакте перемещаются вдоль этих нормалей, до тех пор, пока не выполнится условие равновесия [9,10]. Схема контактного взаимодействия приведена на рисунке 2.

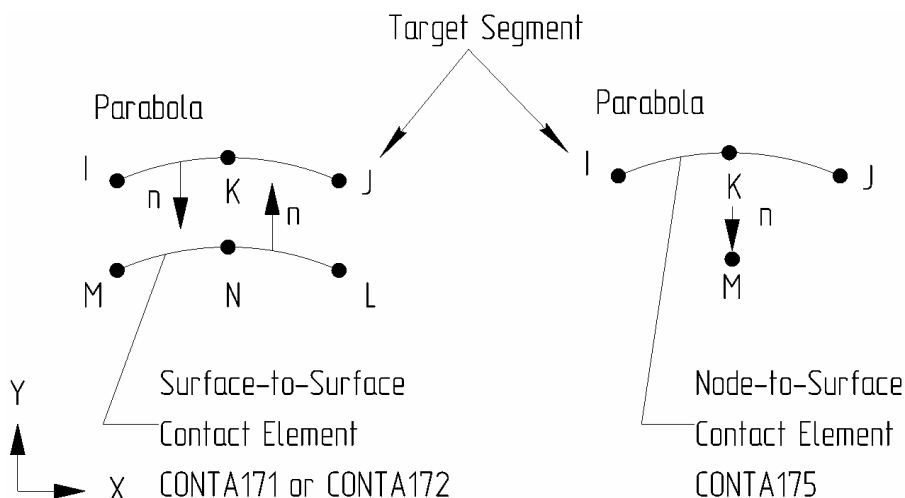


Рис. 2. Схема контактного взаимодействия

В рамках проведенного исследования были учтены следующие контактные пары: 1) фиксатор – крюк (рис. 3); 2) крюк – палец (рис. 4); 3) фиксатор – палец фиксатора (рис. 5); 4) фиксатор – упор (рис. 6); 5) болт – фланец (рис. 7); 6) болт – корпус (рис. 8); 7) палец – корпус (рис. 9).

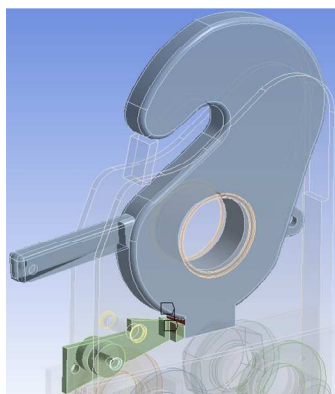


Рис. 3. Фиксатор – крюк

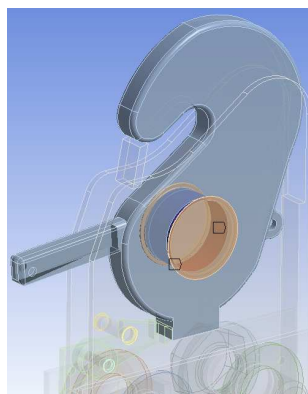


Рис. 4. Крюк – палец

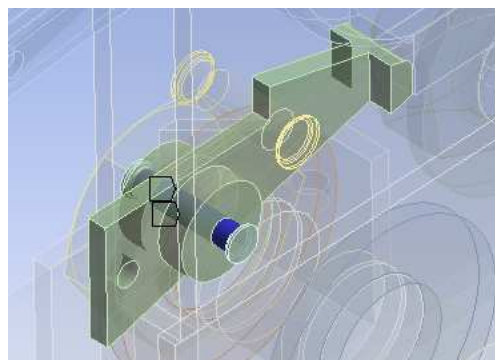


Рис. 5. Фиксатор – палец фиксатора

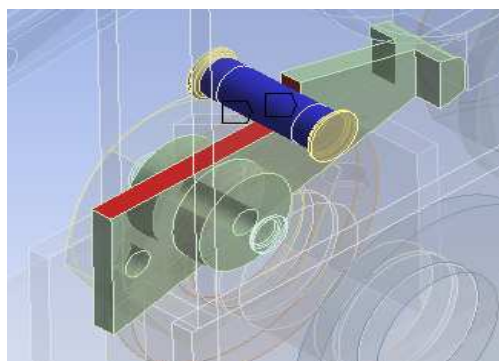


Рис. 6. Фиксатор – упор

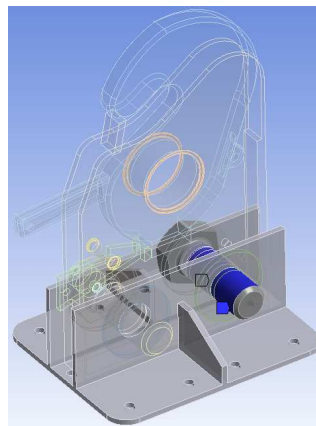


Рис. 7. Болт – фланец

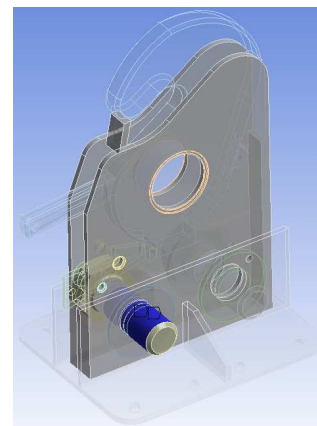


Рис. 8. Болт – корпус

В качестве граничных условий приняты: жесткая заделка фланца, ограничение перемещений шайб вдоль осей болтов. Также некоторые граничные условия сформулированы с помощью условия совпадения некоторых поверхностей, которые также связаны с ограничением перемещений.

В качестве нагружения принята распределенная по рабочей поверхности крюка растягивающая сила величиной 235 360 Н.

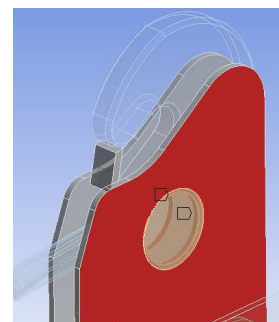


Рис. 9. Палец – корпус

Результаты

Общее поле эквивалентных напряжений гака в данном случае не является информативным, ввиду высоко градиентного отображения результатов.

Для более детального анализа напряжений, возникающих при растяжении, необходимо рассматривать составляющие гака по отдельности.

На рисунке 10 представлено поле эквивалентных напряжений фиксатора

Из рисунка 10 видно, что максимальные напряжения достигают порядка 25 МПа и находятся в зоне острой кромки детали, следовательно, их возникновение может быть обусловлено концентрацией напряжений. Рассматривая остальную картину, можно видеть, что наибольшие напряжения достигают величины 19,5 МПа.

На рисунке 11 представлено поле эквивалентных напряжений пальца. Максимальные напряжения возникают в верхней точке соприкосновения пальца с корпусом гака и составляют по величине 61,3 МПа.

Рассматривая рисунок 12, на котором представлено поле эквивалентных напряжений корпуса гака, можно наблюдать влияние взаимодействия корпуса в составе нескольких контактных групп, а именно с болтами и пальцем. Максимальные напряжения в корпусе гака составили 189 МПа.

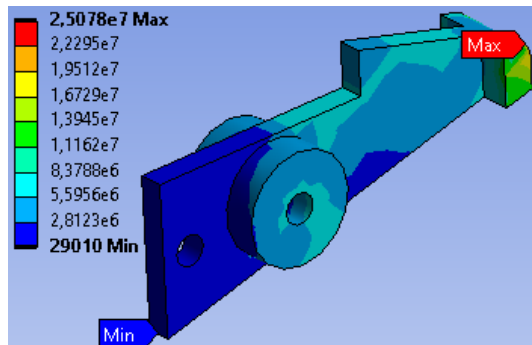


Рис. 10. Поле эквивалентных напряжений фиксатора, Па

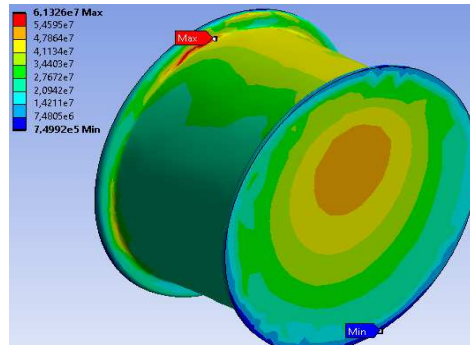


Рис. 11. Поле эквивалентных напряжений пальца, Па

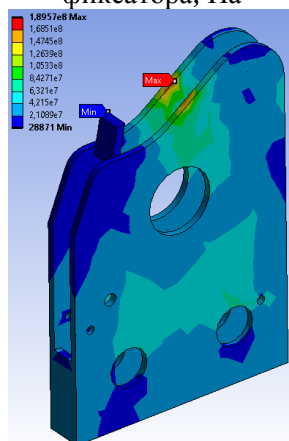


Рис. 12. Поле эквивалентных напряжений корпуса, Па

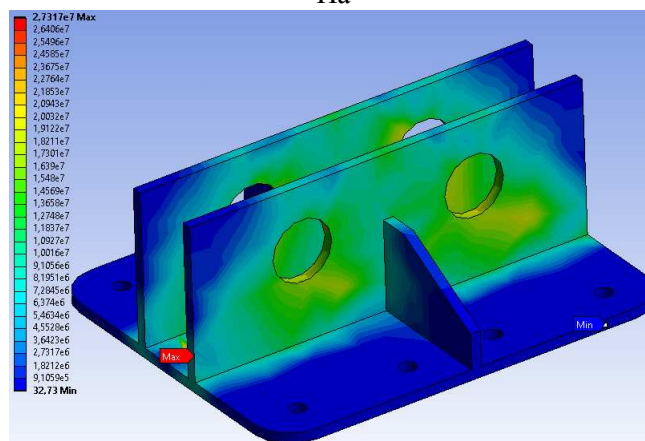


Рис. 13. Поле эквивалентных напряжений фланца, Па

На рисунке 14 приведено поле эквивалентных напряжений крюка, максимальные напряжения возникают в области приложения нагрузки и достигают 439 МПа. Однако, рассматривая поле напряжений в других областях гака, а также в зонах вероятного разрушения, то можно видеть, что на удалении 10-15 миллиметров от зоны приложения нагрузки напряжения не превышают предела текучести материала. Возникновение напряжений в области приложения нагрузки может быть обусловлено концентрацией.

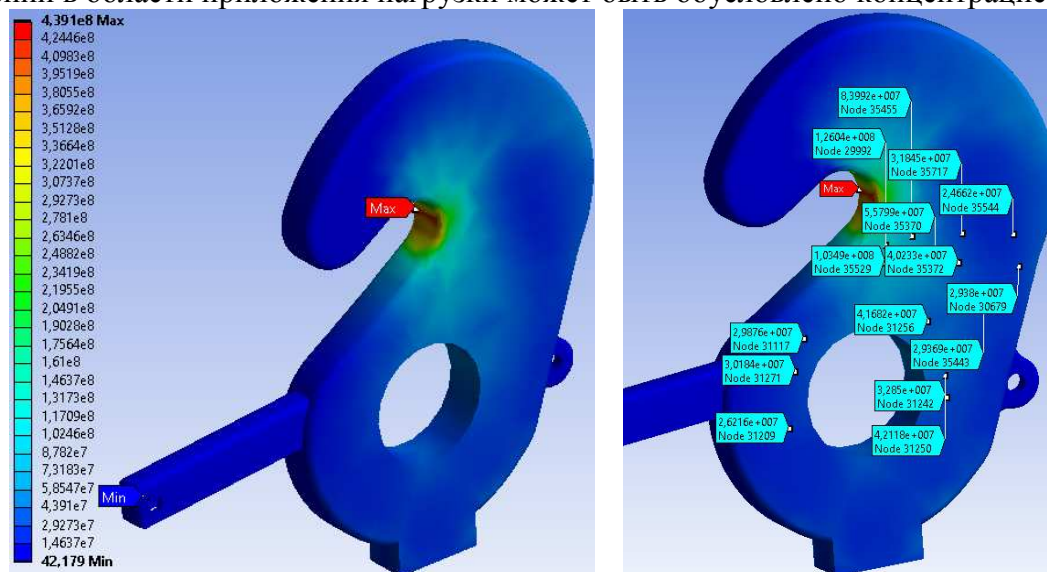


Рис. 14. Поле эквивалентных напряжений крюка, Па

Выводы. Наиболее нагруженными узлами гака являются: крюк, корпус, палец. Напряжения, возникшие в узлах гака, не превышают предела текучести. Гак соответствует требованиям Правил РМРС [2] в части запаса прочности.

Заключение. Проведенное исследование демонстрирует, что учет контактного взаимодействия позволяет по отдельности оценить напряженное состояние ответственных узлов входящих в состав механизмов и конструкций.

Список литературы

1. Каталог подъемных крюков Henriksen [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hhenriksen.com/hooks/>
2. Российский Морской Регистр Судоходства. Правила по оборудованию морских судов. Часть II «Спасательные средства». – СПб.: Изд-во «Российский морской регистр судоходства», 2016. – 66 с.
3. Максименко А.А., Котенева Н.В., Борисова А.Д. Анализ динамических характеристик контактного взаимодействия твердых тел с применением расчетно-программного комплекса // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2019. – №2. – С. 135-142. – DOI: 10.15593/pern.mech/2019.2.10.
4. Гусакова Л.В. К вопросу о контактном взаимодействии поверхностей твердых тел // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – №1(78). – С. 136.
5. Официальный сайт судостроительного завода А ФО «РИФ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zao-rif.com>.
6. Марочник сталей и сплавов. – 4-е изд., переработ. и доп. / Ю.Г. Драгунов, А.С. Зубченко, Ю.В. Каширский и др. Под общей ред. Ю.Г. Драгунова и А.С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2014. – 1216 с.
7. Володин В.А., Миронов М.Ю. Моделирование контактного натяжения полиэтиленовой оболочки стальными шпангоутами // Конференция по строительной механике корабля, посвященная 125-летию основания «Крыловского государственного научного центра». – СПб.: ФГУП «Крыловский государственный научный центр», 2018. – С. 180-182.
8. Иванов А.С., Ермолаев М.М., Куралина Н.Н., Муркин С.В. Расчет деформаций фрикционного соединения, нагруженного сжимающей силой и произвольной системой моментов // Вестник машиностроения. – 2013. – №7. – С. 17-19.
9. Бураго Н.Г., Кукуджанов В.Н. Обзор контактных алгоритмов // Известия РАН. Механика твердого тела. – 2005. – №1. – С. 45-87.
10. Си Ту Хтет. Математическое моделирование контактного взаимодействия упругопластических тел: дисс. ... канд. техн. наук. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана 2013. – 137 с.

References

1. Henriksen lifting hook catalog [Electronic resource]. – Access mode: <https://hhenriksen.com/hooks/>
2. Russian Maritime Register of Shipping. Rules for the equipment of marine vessels. Part II "Life-saving means". – SPb.: Publ. house "Russian Maritime Register of Shipping", 2016. – 66 p.
3. Maksimenko A.A., Koteneva N.V., Borisova A.D. Analysis of dynamic characteristics of contact interaction of solids using a computational software package // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Mechanics. 2019, no. 2, pp. 135-142. DOI: 10.15593/perm.mech/2019.2.10.
4. Gusakova L.V. On the issue of contact interaction of surfaces of solids // News of SFU. Technical sciences. 2008, no. 1(78), p. 136.
5. The official website of the shipyard A FO "RIF" [Electronic resource]. – Access mode: <https://zao-rif.com>.
6. Vintage of steels and alloys. 4th ed., revised. and additional materials / Yu.G. Dragunov, A.S. Zubchenko, Yu.V. Kashirsky and others. Under the general editorship of Yu.G. Dragunov and A.S. Zubchenko. – M.: Mechanical Engineering, 2014. – 1216 p.
7. Volodin V.A., Mironov M.Yu. Modeling of the contact tension of a polyethylene shell with steel frames // Conference on ship construction mechanics dedicated to the 125th anniversary of the founding of the Krylov State Scientific Center. – SPb.: FSUE Krylov State Scientific Center, 2018. – P.180-182.
8. Ivanov A.S., Ermolaev M.M., Kuralina N.N., Murkin S.V. Calculation of deformations of a friction joint loaded with a compressive force and an arbitrary system of moments // Bulletin of Mechanical Engineering. 2013, no. 7, pp. 17-19.
9. Burago N.G., Kukudzhnikov V.N. Review of contact algorithms // News of RAS. Mechanics of Solids. 2005, no. 1, pp. 45-87.
10. Si Tu Htet. Mathematical modeling of contact interaction of elastoplastic bodies: diss. ... cand. of tech. sc. – M.: Bauman Moscow State Technical University, 2013. – 137 p.

Сведения об авторах:

Володин Виктор Александрович – преподаватель кафедры «Техника и технология кораблестроения и водного транспорта»
vik25vol@bk.ru

Information about authors:

Volodin Viktor Alexandrovich – lecturer of the Department «Engineering and technology of shipbuilding and water transport»

Получена 06.02.2025