

УДК 629.124.74: 622.242

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ОПОРНОГО БЛОКА ПРИ СПУСКЕ С ТРАНСПОРТНОЙ БАРЖИ

Савинов В.Н.

ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева Минобразования и науки РФ», Нижний Новгород, Россия (603950, Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24), e-mail: babanov@nntu.ru

Представлена методика определения напряженно-деформированного состояния опорного блока при спуске с транспортной баржи. Методика предусматривает последовательное определение: момента максимального нагружения конструкции блока; расчетной схемы поворотных аппарелей, адекватной конструктивной; схемы закрепления блока на аппарели баржи для решения квазистатической задачи; распределения сил в контактных элементах блока и аппарели, и, наконец, напряженно-деформированного состояния блока методом конечных элементов с использованием программного комплекса «Nastran». Внешние силы, действующие на спускаемый блок, находятся расчетом по программе «Sbros». Приводится пример расчета для натуральных объектов баржи и блока. Определены напряжения и деформации конструкции блока. Материалы статьи окажутся полезными для учебного процесса в ВУЗах по дисциплинам теории корабля и строительной механики, а также для специалистов, занимающихся проектированием и строительством стационарных буровых платформ.

Ключевые слова: опорный блок, стационарная платформа, методика, спуск, напряжения, деформации.

TECHNIQUE OF DEFINITION OF DURABILITY OF THE BASIC BLOCK AT DESCENT FROM THE TRANSPORT BARGE

Savinov V.N.

ФГБОУ ВПО «the Nizhniy Novgorod state technical university of R.E. Alekseeva Minобразования and sciences of the Russian Federation», Nizhni Novgorod, Russia (603950, Nizhni Novgorod, street Minina, d. 24), e-mail: babanov@nntu.ru

The technique of definition of the is intense-deformed condition of the basic block is presented at descent from the transport barge. The technique provides consecutive definition: the moment maximum load block designs; the settlement scheme rotary beams, the adequate constructive; schemes of fastening of the block on beam barges for the decision kvazistaticheskoy zadachi; distributions of forces in contact elements of the block and beam, and, at last, the is intense-deformed condition of the block a method of final elements with use of a program complex «Nastran». The external forces operating on the lowered block, are calculation under the program «Sbros». The example of calculation for natural objects of the barge and the block is resulted. Pressure and deformations of a design of the block are defined. Article materials will appear useful to educational process in high schools on disciplines of the theory of the ship and the building mechanics, and also for the experts who are engaged in designing and building of stationary chisel platforms.

Keywords: the basic block, a stationary platform, a technique, descent, pressure, deformations.

Добыча нефти и газа на континентальном шельфе осуществляется с морских сооружений, среди которых значительную часть составляют стационарные платформы. Многие из них в качестве опорного блока имеют стержневую пространственную конструкцию, состоящую из труб различных диаметров [1,2]. Доставка опорного блока к месту установки может осуществляться на специальной транспортной барже, которая оборудуется спусковыми устройствами. Такой способ доставки и сброса опорной части сооружения наиболее технологичен и позволяет заметно сократить время строительства буровой платформы [3].

Сброс блока с баржи, как и спуск судна с продольного стапеля, является весьма сложной и ответственной технической операцией, при которой необходимо обеспечить выполнение безаварийных условий спуска, как по проблемам теории корабля, так и по прочности взаимодействующих крупногабаритных конструкций [4]. В публикации рассматриваются методические аспекты по вопросам расчета прочности блока, спускаемого с баржи. При этом внешние для конструкции блока силы от взаимодействия с баржей и с водой при известном весе блока находятся по программе «Sbros» [5].

Цель и задачи исследования

Цель исследования заключается в определении местной прочности элементов стержневой конструкции опорного блока буровой платформы при спуске с транспортной баржи. Для реализации этой цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить момент, когда нагрузки на конструкцию блока достигнут максимальных значений.
2. Разработать расчетную схему поворотной аппарели адекватную конструктивной, а также схему закрепления блока на аппарели баржи и установить связь между двумя подвижными, друг относительно друга, объектами.
3. Найти распределение сил в контактных элементах, осуществляющих связь между блоком и аппарелью.
4. Рассчитать напряженно-деформированное состояние блока методом конечных элементов с использованием программного комплекса «Nastran».

Методика решения задач

Программа «Sbros» решает вопросы расчета внешних сил. К ним относятся силы тяжести элементов конструкции, силы поддержания погруженных стержней блока, гидродинамические силы сопротивления и силы контактного взаимодействия с баржей. Кроме того, рассчитываются координаты положения блока на аппарели, координаты центра масс и центра водоизмещения погруженной части блока. Внешние силы в синхронном расчете по программе «Sbros» представляются графически (рис.1).

R_a, R_b, F_c, R_x и R_z , кН

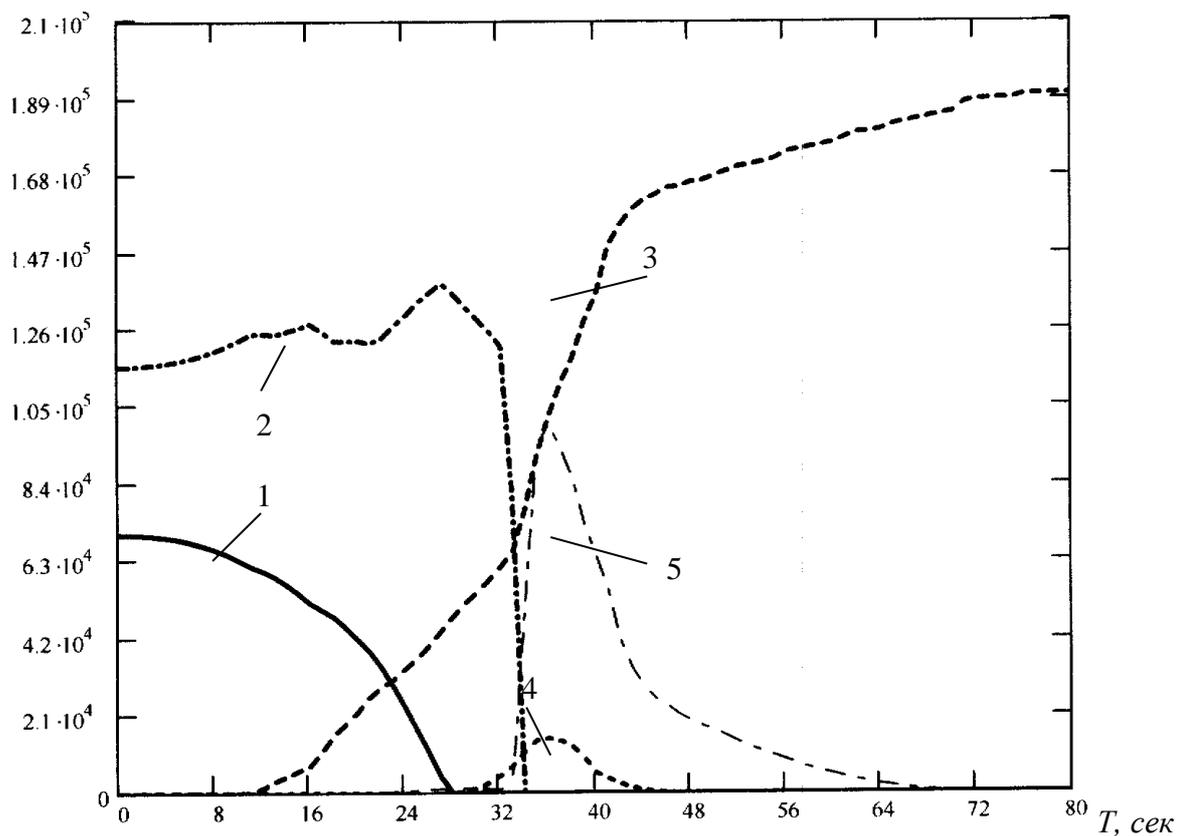


Рис.1. Изменение во времени внешних сил, действующих на блок в процессе сброса: 1 – реакции баржи; 2 – реакции аппарелей; 3 – силы поддержания; 4 – гидродинамическая сила по оси GX; 5 – гидродинамическая сила по оси GZ

Анализ графиков внешних сил позволят определить момент времени, в который блок наиболее нагружен. Это происходит тогда, когда реакция на аппарели достигает своего максимального значения (кривая 2 на рис.1).

Для установления связи между двумя подвижными, друг относительно друга, объектами в программе «Sbros» предусмотрено вычисление абсциссы $\xi_{АП}$, которая определяет положение блока на аппарели в любой момент времени его спуска (рис.2).

Для определения напряженно-деформированного состояния элементов опорного блока рассмотрим плоскую задачу. При этом приостановим на время вращения блока в момент, когда он опирается на аппарель баржи, и начинает вращаться вместе с аппарелью. В этом положении на конечно-элементную модель натурального блока будут действовать силы тяжести, силы инерции, соответствующие линейным и угловым ускорениям узлов, силы гидростатического давления на погруженные объемы стержней, гидродинамические силы сопротивления и опорные реакции аппарелей. Конечно-элементная процедура в статике, предполагает закрепление конструкции от перемещения как твердого тела. Выполнение этого условия требует предварительной разработки расчетной схемы поворотной аппарели, адекватной конструктивной, а также схемы закрепления блока на аппарели баржи.

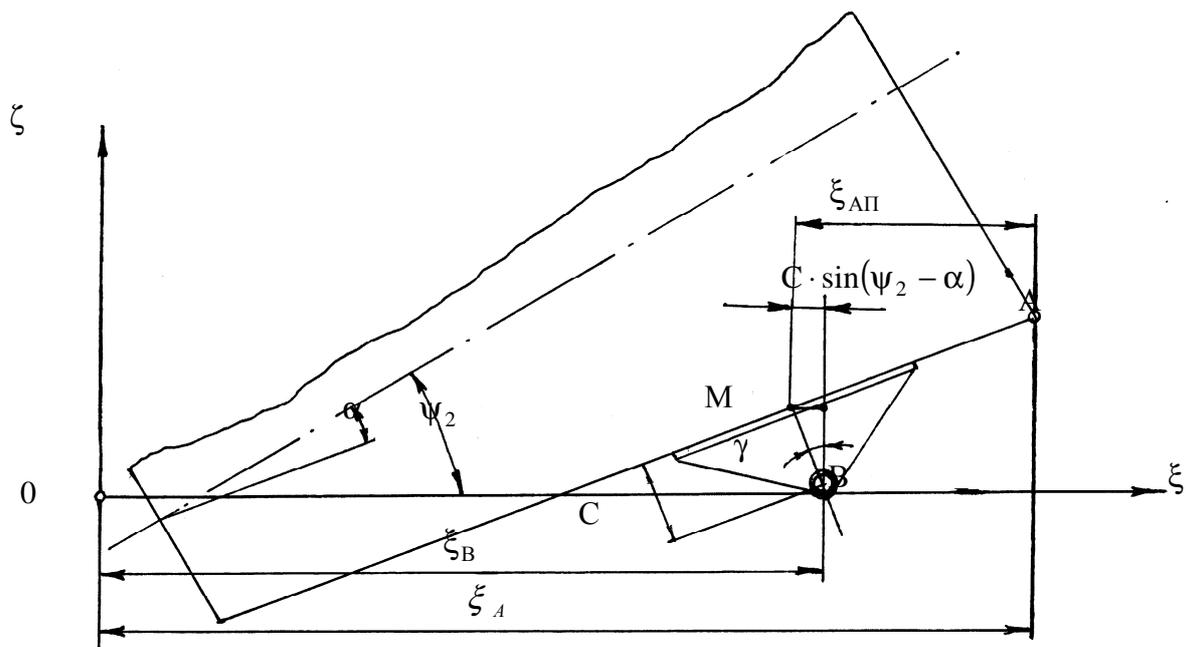


Рис.2. Положение блока на аппарели в момент его отрыва от спусковых дорожек баржи

При решении плоской задачи исключаются три степени свободы путем закрепления от одного до трех узлов. Так как под действием сил тяжести концы блока свисают с аппарели, то блок в целом изгибается как балка, выпуклостью вверх. В данной задаче касательные усилия, соответствующие силам трения, пропорциональны нормальным и коэффициенту трения, а распределение нормальных контактных усилий вдоль аппарели неизвестно. Сумма контактных усилий по нормали должна равняться проекции контактной силы на нормаль, а сама сила находится из расчета динамики спуска блока (рис.1). Поэтому опоры следует разместить на концах аппарели.

Переходя от распределенных контактных усилий между блоком и аппарелью баржи к опорным закреплениям, производим замену аппарели условной стержневой конструкцией, основной узел М которой, совпадает с осью вращения аппарели (рис.3) и является неподвижной опорой. Опоры N и P, соединенные с блоком пружинами в одной из удаленных от аппарели точек конструкции, исключают вращение блока. Их жесткость в осевом направлении имеет малую величину, жесткость верно расположенных стержней между опорой М и линией EF задается большой. Стержни между линиями узлов CD и EF – элементы, работающие только на сжатие. Неподвижность оси аппарели согласно квазистатической постановке, является условной. Так как блок опирается на баржу, то горизонтальное ускорение баржи является переносным для всех масс блока. Вводя силы инерции переносного движения для узловых масс конечно-элементной модели, учитываем совместность движения блока и баржи.

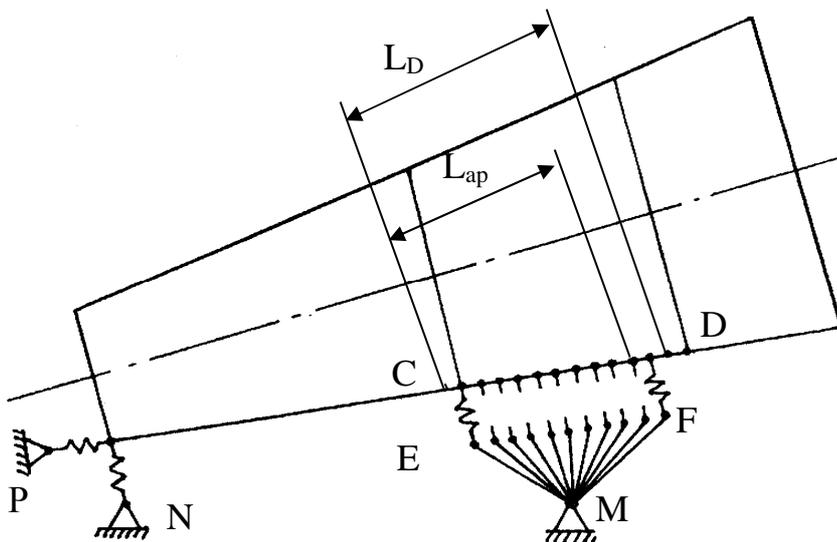


Рис.3. Схема закрепления блока на аппарели

Пример расчета

Следуя данной методике, были проведены расчеты для натуральных объектов. Транспортно-спусковая баржа имела следующие основные технические характеристики: $L=163$ м, $B=45$ м, $H=12$ м, $T=7,26$ м. На палубе размещены две направляющие дорожки длиной 127 м. В кормовой части баржи направляющие дорожки заканчиваются 30-ти метровыми поворотными аппаратами.

Опорный блок – пирамидальный, восьмистоечный, квадратный в плане. Его высота 238 метров, а масса 19800 т. Габариты оснований блока: нижнего 85,2 x 85,2 м, а верхнего 49,1 x 49,1 м. Толщины металла труб составляли 12...45 мм. Сечения стоек в узловых соединениях имели диаметр $D=1820$ мм и толщину стенки $d=50$ мм.

Анализ изменения внешних сил, рассчитанных по программе «Sbros» (рис.1) показывает, что наиболее значимыми силами, действующими на блок при спуске, являются сила веса (реакции баржи и аппарелей R_a и R_b) и гидростатическая сила поддержания F_c . Гидродинамические составляющие сил сопротивления R_x , R_z , сила трения $F_{тр}$ и силы инерции малы. Стержневые элементы блока наиболее нагружены в момент раскрытия аппарелей.

Продольные стойки опорного блока между диафрагмами разделены на 12 стержневых конечных элементов, при этом аппаратль по длине контактирует с 10-ю узлами конечно-элементной модели (рис.3). При этом положение блока на аппарели соответствует координате $S_{ар}=\xi_{ар}/\cos\psi$, а длина аппарели соизмерима с расстоянием между диафрагмами опорного блока L_D ($L_{ар}=0,834L_D$). Для случая, когда $S_{ар}=77$ м, было рассчитано распределение сжимающих сил F в пружинах, имитирующих сжатие деревянного бруса стойки стапельной фермы, по длине аппарели $L_{ар}$. Распределение сил в контактных элементах,

осуществляющих связь между блоком и аппарелью, показано на рис. 4, из рассмотрения которого видно, что эти силы сжимающие. Наибольшие из них действуют в крайних стержнях, максимально деформируя их. В средней части аппарели действие этих сил более равномерно и величина их заметно меньше. Некоторая асимметрия нагрузки наблюдается из-за имеющего место перераспределения сил в стержнях шпренгельной решетки.

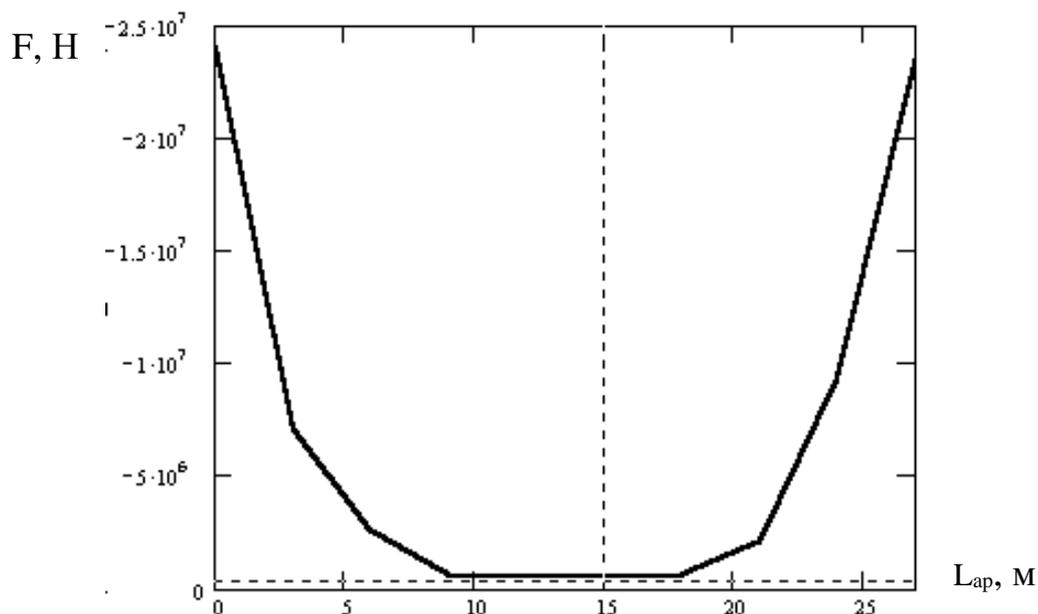


Рис.4. Распределение сжимающих сил F в пружинах, имитирующих деревянный брус спускной балки, по длине аппарели L_{ap}

Расчет напряженно-деформированного состояния блока как стержневой конструкции с использованием модели упругого балочного элемента выполнялся по программному комплексу «Nastran» [6]. На рис.5 представлены результаты одного из вариантов расчета. Их рассмотрение показывает, что максимальные величины этих напряжений составляют: на растяжение 406 МПа и на сжатие – 520 МПа. Максимальные перемещения и деформации конструктивных элементов в момент достижения ими максимальных напряжений имеют место в наиболее удаленных от аппарели концах блока и достигают 0,50 м. Напряжения в стержнях достигают максимальных значений в элементах, прилегающих к опорам. Эти напряжения приближаются к пределу текучести материала. Усилия сжатия в раскосах и стойках шпренгельной решетки таковы, что требуется проверка на потерю устойчивости. Поэтому, в численном эксперименте был рассмотрен вариант местного усиления узлового соединения, что соответствует реальной конструкции. Имеется в виду, что узлы соединения продольных стержней блока между собой на диафрагмах, а также с раскосами и стойками фермы выполняются из труб с более толстой стенкой. Утолщение стенки элементов, подходящих к диафрагме в два раза, приводит к снижению напряжений в них от 520 МПа до 254 МПа. Расчеты также показали, что силы инерции массы конструкции не меняют уровень

деформаций и напряжений существенно, однако, их учет, как и учет сил сопротивления, необходим.

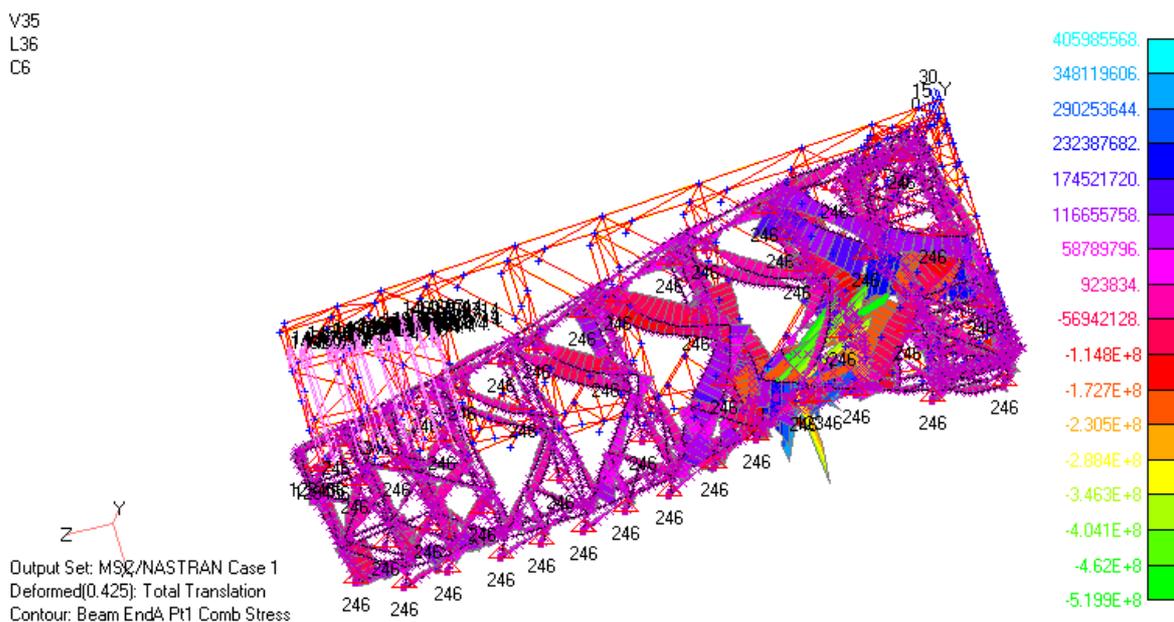


Рис.5. Деформация блока и распределение напряжений в элементах стальной фермы

Характер деформации блока в районе аппарели показан на рис. 5, из которого видно, что аппаратель ведет себя как абсолютно твердое тело, в то время как стержневые элементы конструкции подвержены деформации. На момент раскрытия аппарелей конец блока, входящий в воду, из-за деформации стержней опустился на 0,425 м. При этом, общая длина свисающей части блока составляла 120 м. Учитывались силы веса и поддержания. В общей постановке эта деформация будет изменяться в соответствии с изменением ряда факторов (объема навешенных дополнительных плавучестей, их массы, места расположения и др.).

Выводы

Методика расчета прочности, представленная в работе, и содержащая раздел логики решения поставленных теоретических задач для достижения поставленной цели, адекватно воспроизводит физическую картину квазистатического процесса спуска блока.

Пример расчета напряженно-деформированного состояния опорного блока показал, что оно главным образом определяется действием сил веса и поддержания (рис.5). Наибольшие напряжения растяжения-сжатия имеют место в элементах шпренгельной решетки стальной фермы, которые достигают своих максимальных значений в момент раскрытия аппарелей.

Эпюра сжимающих сил (рис. 4), действующих в контактных элементах блока и аппарели, полученная расчетом, показывает симметричное их распределение по длине

аппарели, что свидетельствует об уравновешенности системы по силам и моментам, а также правильности выбранной схемы и метода вычисления.

Список литературы

1. Доусон, Т. Проектирование сооружений морского шельфа. – Л.: Судостроение, 1986. – 288 с.
2. Носков, Б.Д. Сооружения континентального шельфа.: МИСИ, 1986. – 306 с.
3. Океанотехника и морские операции на шельфе. Учеб. для ВУЗов. /Р.Н. Караев, В.Н. Разуваев, А.С. Портной; под общ. ред. Р.Н. Караева, П.А. Шауба. – СПб.: МОРИНТЕХ, 2008. – 301 с.
4. Попов, А.Н., Савинов, В.Н. К расчету прочности опорного блока при спуске с транспортной баржи //Тез. докл. конф. по строительной механике корабля, посвященной памяти акад. Ю.А. Шиманского. СПб, 2003. – с.43 – 44.
5. Савинов, В.Н. Разработка алгоритма процесса спуска пространственного решетчатого опорного блока с транспортно-спусковой баржи. //Современные технологии в кораблестроительном образовании, науке и производстве: Сб. докл. Всероссийской науч.-техн. конф. 24 – 26 сентября 2002 г., Н.Новгород, 2002. – с. 571 – 578.
6. Шимкович, Д.Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows. – М.: ДМК Пресс, 2003. – 448 с.

Рецензенты:

Волков И.А., д.т.н., профессор, зав. кафедрой теоретической и прикладной механики, ФГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта», г. Нижний Новгород;

Панов А.Ю., д.т.н. профессор, директор института промышленных технологий машиностроения (ИПТМ) Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород.