



УДК 629.5.023

Горохова Марина Венидиктовна, доцент, к.т.н., доцент кафедры теории конструирования инженерных сооружений
Волжский государственный университет водного транспорта
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

Шоркина Ирина Николаевна, старший преподаватель кафедры теории конструирования инженерных сооружений
Волжский государственный университет водного транспорта
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОПЕРЕЧНОЙ НАГРУЗКИ НА ВЕЛИЧИНУ КРИТИЧЕСКОЙ СЖИМАЮЩЕЙ СИЛЫ БАЛКИ СУДОВОГО КОРПУСА С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ И ФИЗИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS

Аннотация. Рассмотрено численное решение задачи сложного изгиба сжато-изогнутого стержня с учетом геометрической и физической нелинейности с использованием системы ANSYS. Выполнено исследование влияния поперечной нагрузки на величину критической сжимающей силы тонкостенной однопролетной балки судового корпуса, приложенной к продольному ребру жесткости, участвующему в общем изгибе корпуса.

Ключевые слова: сложный изгиб балки, предельная нагрузка, геометрическая и физическая нелинейность, программный комплекс ANSYS.

Задача по оценке несущей способности продольных балок судового корпуса, испытывающих как осевое сжатие, так и изгиб, является в настоящее время весьма актуальной. Продольные ребра жесткости корпуса располагаются в верхней и нижней части эквивалентного бруса и оказывают значительное влияние на общую прочность корпуса, поэтому важно правильно оценить их несущую способность.

В настоящее время стали появляться работы, решающие эту задачу с использованием современных вычислительных программных комплексов и пакетов. Например, в статье профессора Гирина С.Н. рассматривается предельное состояние сжато-изогнутого ребра судового корпуса с использованием программного комплекса Abaqus [1]. Там же авторами справедливо отмечено, что при расчете устойчивости продольных ребер жесткости судового корпуса определять нагрузку, при которой ребра теряют устойчивость, по классической формуле Эйлера не совсем корректно. Так как продольные балки судового корпуса, как правило, нагружены еще и поперечной нагрузкой, а также они могут иметь начальный изгиб, который возникает при сборке судовых конструкций, то есть находятся в условиях сложного изгиба. «В этом случае сжимающая нагрузка приводит к увеличению стрелки прогиба балки» [1]. То есть по факту для решения мы получаем усложненную нелинейную задачу устойчивости, где имеет место, как геометрическая, так и физическая нелинейности.

Решение такой задачи аналитически является сложным и его можно реализовать только для узкого круга задач, поэтому в настоящее время выполняется численное

решение таких практических задач с использованием современных вычислительных комплексов. Такие исследования были выполнены с использованием программного комплекса Abaqus [1], [2]. В настоящей работе проводились аналогичные исследования с использованием другого вычислительного комплекса, а именно ANSYS, а еще более точнее – его вычислительной платформы ANSYS Workbench, который позволяет решать сложные краевые задачи, учитывая в решении геометрическую и физическую нелинейность.

Средствами программного продукта ANSYS Workbench выполнено численное решение свободно опертой двух опорной тонкостенной балки, длиной 2,4 м, испытывающей сложный изгиб и нагруженной поперечной нагрузкой. Исследовалось влияние величины поперечной нагрузки на величину критической сжимающей силы.

Создание расчетной модели балки начиналось с задания механических характеристик и свойств материала балки. Так как материал рассчитываемого продольного ребра жесткости – это обычная конструкционная сталь, то основные константы материала выбирались из библиотеки моделей материала, которая присутствует в программном комплексе ANSYS. Поведение материала за пределом текучести, для учета в расчетах физической нелинейности, задавалось кривой деформирования (рис.1)

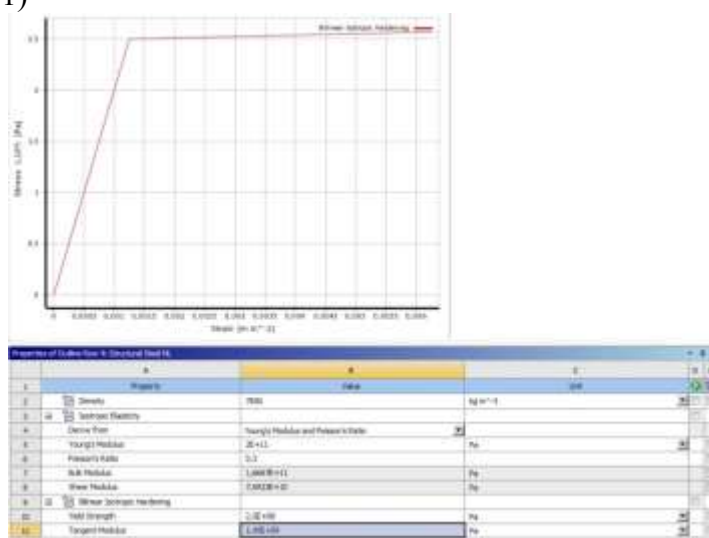


Рис.1. Задание модели материала при решении задачи в программном комплексе ANSYS с учетом физической нелинейности

Затем создавалась геометрическая модель рассчитываемой балки длиной 2,4 м и поперечным сечением в виде двутаврового профиля со стенкой 4x80 мм и полкой 4x20 мм. Для этого средствами ортогонального проектирования Geometry ANSYS были созданы 5 элементов, составляющих двутавровое сечение балки. Используя команду Extrude, созданное из отдельных элементов поперечное сечение было «протянуто» на длину 1200 мм, а затем создана зеркальная симметрия полученной конструкции. Таким образом, для расчета была создана геометрическая модель балки заданного сечения и длиной 2,4 м (рис.2).

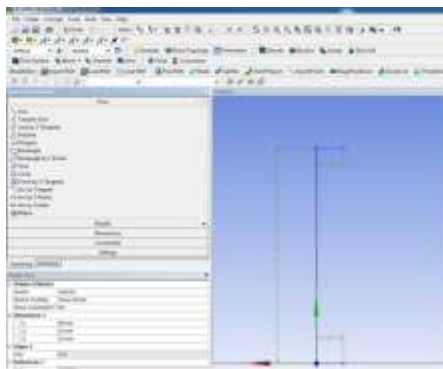


Рис.2. Создание геометрической модели конструкции

Полученная в результате твердотельная модель балки средствами Mesh была разделена на конечные элементы. По всей длине балки была создана регулярная вычислительная сетка размерами 10x10 мм, которая в расчетах дает более достоверные результаты. Сетка была составлена из четырех узловых элементов SELL 181(рис.3).

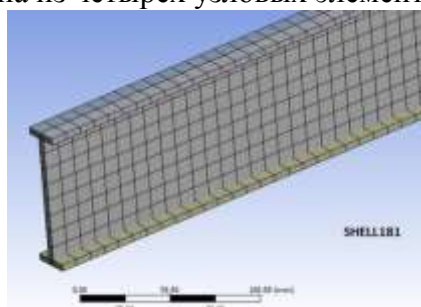


Рис. 3 Регулярная сетка твердотельной модели балки

Взятый из библиотеки программного комплекса ANSYS Workbench для создания конечно-элементной модели балки элемент SELL 181 имеет форму тонкой четырехугольной пластины и позволяет моделировать тонкостенные конструкции, к которым и относится поперечное сечение рассматриваемой балки. Данный элемент подобен элементу SELL 43, но в отличие от него может использоваться в расчетах с большими деформациями. Четыре узла в этом элементе находятся по его углам (рис.4) и в каждом узле у элемента имеется шесть степеней свободы. Элемент относится к группе элементов оболочечного типа. Четких правил о границах применения элементов оболочки в инструкциях по расчету в комплексе ANSYS не дается. Тем не менее, если конструкция демонстрирует поведение, подобное оболочке, для ее расчета можно использовать элемент оболочки» [3].

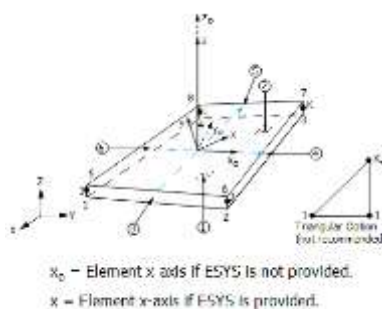


Рис.4. Элемент SHELL 181

Граничные (краевые) условия, накладываемые на балку, в системе ANSYS Workbench задаются в модуле Mechanical. Так, командой Displacement были заданы ограничения по перемещениям – закреплены концы балки (сечения А и В) от линейных перемещений в направлении осей Y и X, а на оси симметрии балки (сечение С) были запрещены линейные перемещения в направлении оси Z. Кроме этого, стенкам

поперечного сечения было запрещено перемещение по оси X. Командой Force (Сила) по концам балки были приложены горизонтальные усилия величиной в 1Н (рис.5).

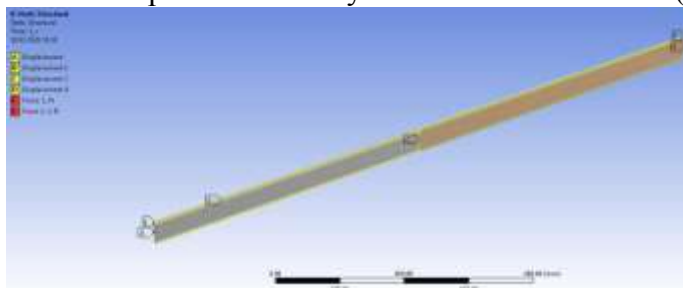


Рис.5. Задание граничных условий

С использованием программного комплекса ANSYS был выполнен анализ потери устойчивости рассматриваемой балки и определена для нее критическая сила ($F=145$ кН). Такая же сила была определена расчетом по формуле Эйлера, в этом случае значение силы, при которой балка теряет устойчивость составило 155 кН.

На первом этапе вычислений выполнялся расчет только с учетом геометрической нелинейности. Балка нагружалась равномерно распределённой поперечной нагрузкой (P , H – равнодействующая поперечной нагрузки) и сжималась усилием F . При каждом нагружении определялась величина изменения стрелки прогиба (u , мм). Результаты данных расчетов при различных значениях поперечной нагрузки представлены в виде графика, показанного на рис.6.

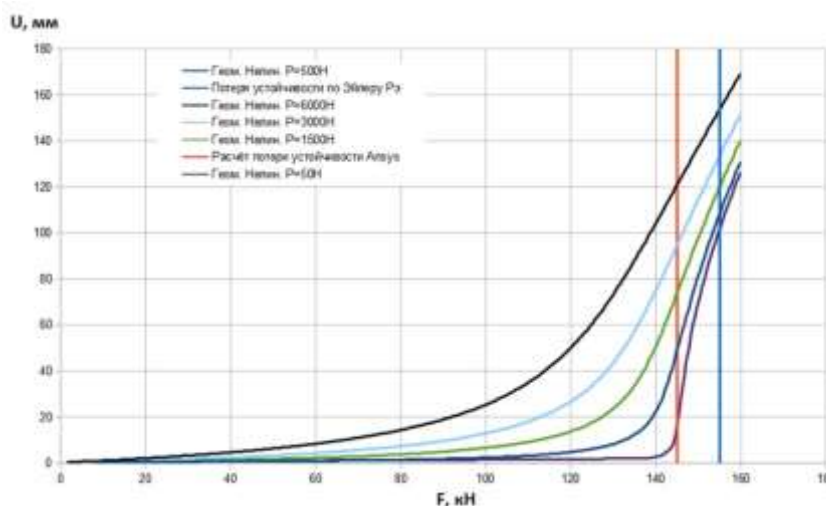


Рис.6. График, показывающий изменение стрелок прогиба свободно опёртой балки длиной 2,4 м, изготовленной из двутавра со стенкой 4x80 мм и полками 4x20 мм при различной по величине поперечной нагрузке и с учетом геометрической нелинейности, решаемой задачи

Результаты расчетов для аналогичной балки при тех же величинах поперечной нагрузки, но уже с учетом не только геометрической, но и физической нелинейности решаемой задачи приведены на рис.7.

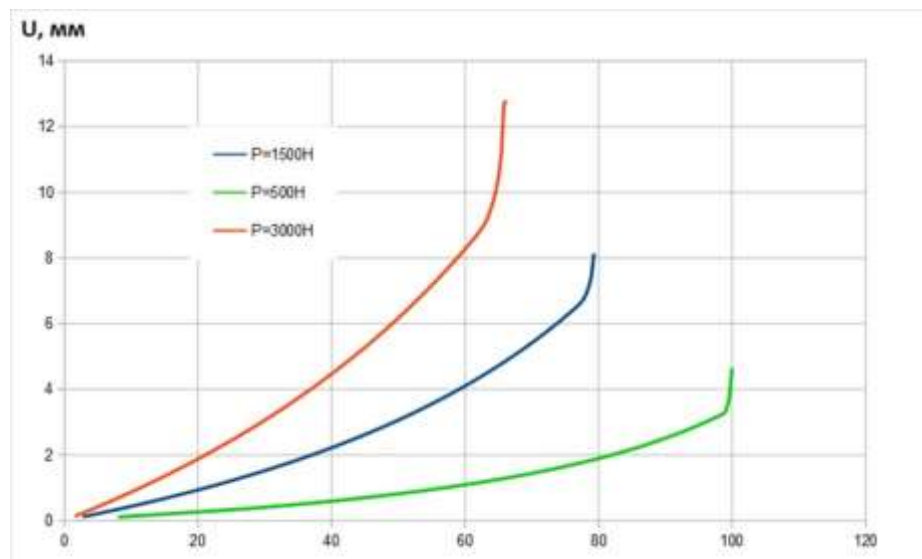


Рис. 7. График, показывающий изменение стрелок прогиба свободно опёртой балки длиной 2,4 м, изготовленной из двутавра со стенкой 4x80 мм и полками 4x20 мм при различной по величине поперечной нагрузке и с учетом геометрической и физической нелинейности, решаемой задачи

Для проверки точности проведенных исследований были выполнены расчеты при более мелкой регулярной сетке (8x8 мм). Однако эти расчеты показали, что более мелкая сетка в этом случае существенно не влияет на количественную и качественную сторону получаемых результатов.

Все численные исследования, выполненные, с использованием программного комплекса ANSYS показали, что поперечная нагрузка, приложенная к балке, снижает величину сжимающей силы, которая приводит балку в предельное состояние, то есть состояние, когда в одном из ее сечений начинает образовываться «пластический шарнир». Таким образом, для сжатых балок судового корпуса, воспринимающих поперечную нагрузку, значение критической сжимающей силы необходимо определять с учетом этой нагрузки. Кроме этого, представляется интересным продолжение численного исследования влияния поперечной нагрузки на величину сжимающей силы для многопролетных балок с использованием программного комплекса ANSYS.

Список литературы:

1. Гирин С.Н., Исаева Т.А. Предельное состояние сжато-изогнутого ребра судового корпуса // Труды Крыловского государственного научного центра, 2020. Специальный выпуск 1. С.24-27.
2. Гирин С.Н., Исаева Т.А. Оценка устойчивости ребер судового корпуса с потерявшей устойчивость обшивкой, 2019. Специальный выпуск 1. С.38-43.
3. Горохова М.В., Пылаева А.Н. Численное моделирование в системе ANSYS напряженно-деформированного состояния прямоугольной мембраны, находящейся под действием равномерно распределенной нагрузки // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. Выпуск 31. – Н.Новгород ФБОУ ВПО «ВГАВТ». – 2012. – С.162-170.
4. Иванов Д.В., Доль А.В. Введение в ANSYS Workbench. Учебно-методическое пособие. Саратов: Америк, 2016. – 56 с..
5. Применение системы ANSYS к решению задач механики сплошной среды. Практическое руководство, под ред. проф. А.К. Любимова. – Н.Новгород ННГУ, 2006. – 227с.

STUDY OF THE INFLUENCE OF TRANSVERSE LOAD ON THE SIZE OF CRITICAL COMPRESSIVE POWER OF THE SHIP BODY BEAM TAKING INTO ACCOUNT THE GEOMETRIC AND PHYSICAL NONLINEARITY IN THE ANSYS SOFTWARE COMPLEX

Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов

Секция I Технические и экологические аспекты эксплуатации флота, водных путей и гидросооружений

Marina V. Gorokhova, Irina N. Shorkina

The article considers a numerical solution to the problem of complex bending of a compressed-bent rod taking into account geometric and physical nonlinearity using the ANSYS system. A study was made of the influence of the transverse load on the critical compressive force of a thin-walled single-span beam of a ship's hull applied to a longitudinal stiffener participating in the general bending of the hull.

Keywords: complex beam bending, ultimate load, geometric and physical nonlinearity, ANSYS software package.