

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

УДК 658.512.22.011.56:004(076.5)

А. В. БОРОДУЛЯ¹, А. Н. СОЛОВЬЕВ², В. В. НАПРАСНИКОВ¹, М. А. МИРЗАВАНД¹

ПОСТРОЕНИЕ СПЕКТРА КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ РЕМОНТЕ МОРСКИХ ПЛАТФОРМ

¹Белорусский национальный технический университет,
²Донской государственный технологический университет

(Поступила в редакцию 19.04.2013)

Потребности современного индустриального общества в углеводородном сырье постоянно растут. Одной из возможностей их удовлетворения является разведка и добыча углеводородов на морском шельфе. В настоящее время подобные работы ведутся в таких странах, как Российская Федерация, Исламская Республика Иран, Социалистическая Республика Вьетнам, Боливарианская Республика Венесуэла и других государствах, с которыми Республика Беларусь поддерживает и развивает отношения долгосрочного партнерства и сотрудничества.

При выполнении работ по проектированию, установке, эксплуатационным ремонтам и демонтажу соответствующего оборудования возникают задачи, специфика которых предполагает необходимость разработки специальных моделей, позволяющих оценивать работоспособность, долговечность, ремонтпригодность сложных технических систем добычи и транспортировки углеводородов с учетом современных требований экологии.

Цель исследований – разработка спектра конечно-элементных моделей, позволяющих принимать обоснованные решения по рациональному проектированию компонентов конструкций морских платформ с учетом эксплуатационных нагрузок. Для этого потребовалось решение следующих основных задач:

создание параметрических геометрических моделей компонентов конструкций морских платформ и систем транспортировки углеводородов с использованием специальных встроенных языков систем конечно-элементного моделирования;

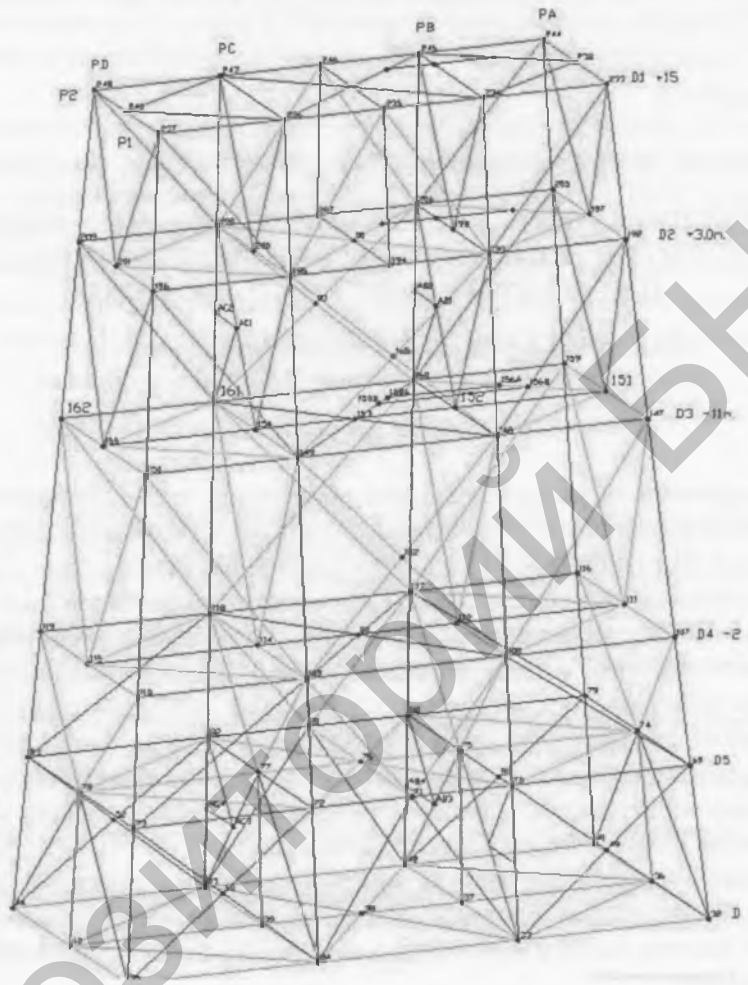
создание конечно-элементных моделей вспомогательных конструкций для выполнения ремонта компонентов конструкций морских платформ;



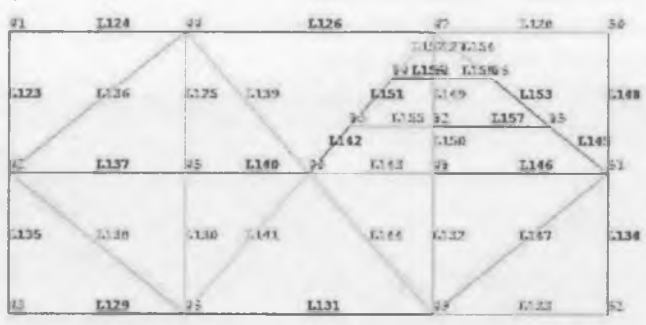
Рис. 1. Пример дефекта в подводной части конструкции морской платформы

исследование возможностей учета взаимодействия подводной части конструкции с жидкостью при динамических нагружениях, соответствующих сейсмическому воздействию со стороны грунта;

исследование возможности подключения пользовательских оптимизационных алгоритмов к моделям, создаваемым на основе готовых конечно-элементных комплексов для выявления рациональных вариантов конструкций.



а



б

Рис. 2. Параметрическая геометрическая модель остова (а) и его подводного уровня, на котором возник дефект (б)

Рассмотрим примеры реализации этих задач для ситуации, когда необходимо оценить ремонтпригодность подводной части конструкции морской нефтедобывающей платформы. Пример дефекта в результате возникновения разрыва в одной из секций подводного уровня этой платформы представлен на рис. 1. Как видно, конструкция частично ослаблена. Ремонт предполагает замену ее поврежденной части путем удаления дефектного участка с помощью вырезания и приваривания накладки. Для проверки прочности и устойчивости остова морской платформы при проведении ремонтных работ создана параметрическая геометрическая модель (рис. 2).

Каркас остова изготовлен из шести типов труб, диаметр которых изменяется от 4,26 до 8,208 м, а соответствующие толщины труб – от 0,12 до 0,206 м. В модели данные величины и длина базовой части, ширина нулевого и пятого уровней, добавочная длина на пятом уровне, высоты всех уровней, массы рабочего оборудования на верхнем уровне остова платформы являются параметрами.

В результате численных экспериментов на основе предложенной модели можно отметить, что для расчета устойчивости достаточно применять балочные модели, значительно сокращающие время и ресурсы численного эксперимента, особенно для более сложных фрагментов (например, при исследовании возможности проведения ремонтных мероприятий для поврежденного компонента конструкции, соединяющего узлы 161-160);

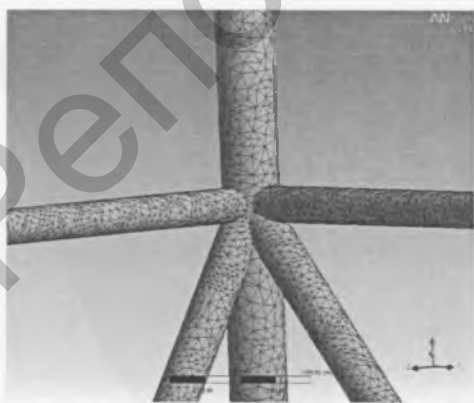
при удалении компонента, соединяющего узлы 162-161, происходит незначительное уменьшение критической нагрузки (не более 3%), при которой фрагмент теряет устойчивость;

возможно проведение ремонтных мероприятий для поврежденного компонента конструкции, в которых предполагается удаление поврежденного компонента между узлами 162-161.

Предварительно выполнено исследование возможности использования расчетных схем на основе различного типа конечных элементов (рис. 3) с целью выявления наименее затратной по вычислительным ресурсам схемы. Результаты сравнения представлены в таблице. Как видно, в этом случае может быть с успехом использована балочная расчетная схема. Первая форма потери устойчивости для блока с удаленным дефектным компонентом на основе балочной расчетной схемы представлена на рис. 3. При этом значение критической силы составило 82,8 МН.

Результаты сравнения различных расчетных схем

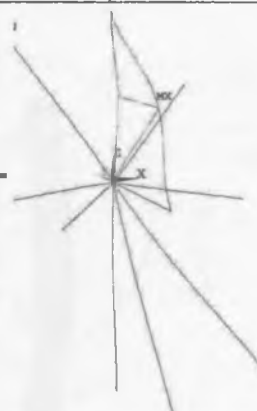
Возможность использования расчетных схем на основе различного типа конечных элементов	Критическое давление при потере устойчивости, МПа		Погрешность, %
	Балочная теория	Трехмерная модель	
Фрагмент в исходной конфигурации	536,2	552	2,9
Фрагмент с удаленным компонентом	522,2	542	3,7
Уменьшение критической нагрузки, при которой происходит потеря устойчивости, %	2,6	1,8	



а

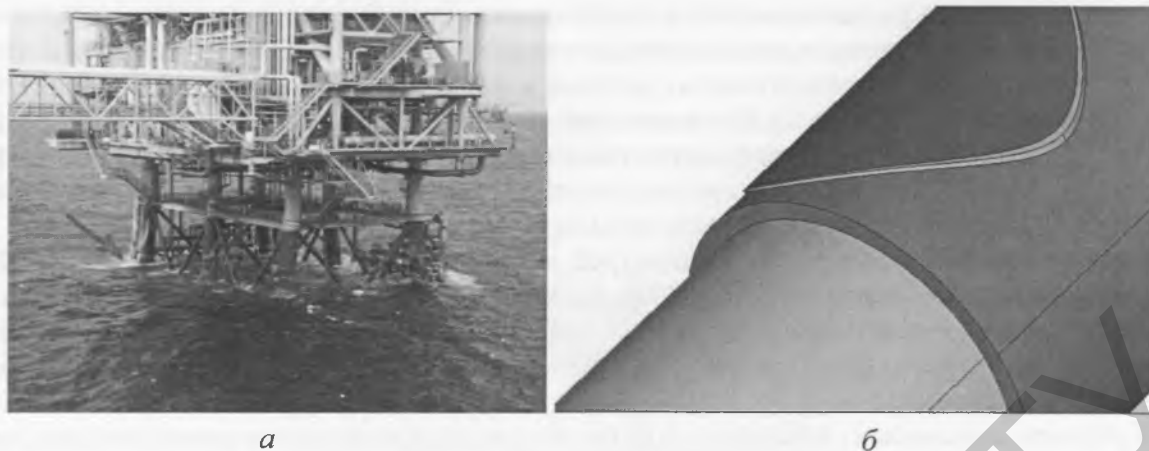


б



в

Рис. 3. Модели с использованием тетраэдральных элементов (а), балочных элементов (б) и первая форма потери устойчивости для блока с удаленным дефектным элементом (в)



a

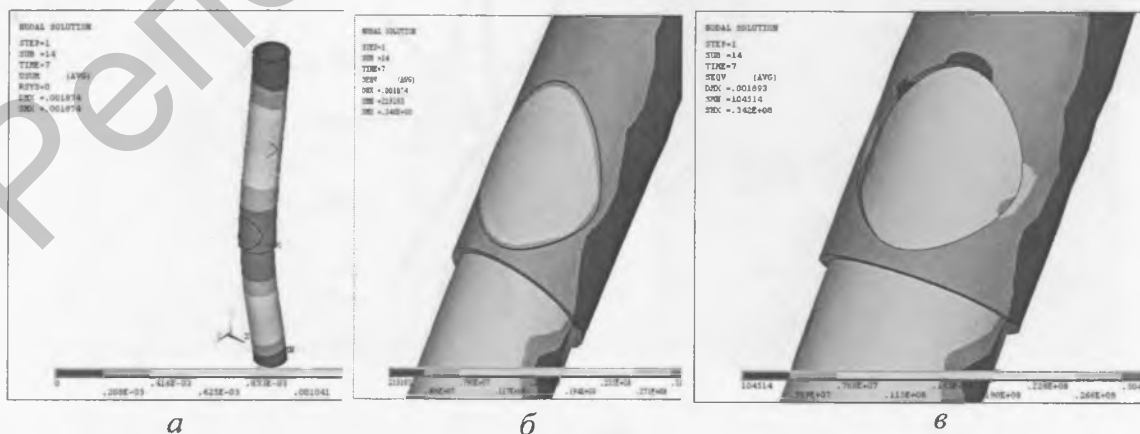
б

Рис. 4. Поврежденная стойка морской платформы рядом с причальным устройством (*a*) и ее параметрическая геометрическая модель с учетом сварного шва и накладки (*б*)

Уменьшение критической силы после удаления дефектного компонента 161-160 составляет 0,6%. Результаты расчета позволяют сделать вывод, что удаление дефектного компонента 161-160 на этапе ремонта практически не влияет на работоспособность конструкции под действием вертикальной нагрузки.

Аналогичная трехмерная модель построена для случая повреждения горизонтальной переемычки, прилегающей к причальному устройству морской платформы (рис. 4). Модель переемычки содержит отверстие, размеры которого в плане 0,54 на 0,29 м соответствуют характеру повреждения в виде рваного отверстия горизонтальной трубы, приваренную на отверстие накладку толщиной 0,019 м и сварной шов по ее внешнему краю. При задании нагрузки в модели предусмотрен учет гидростатического давления и волновой нагрузки от приливно-отливных течений. Максимальные напряжения, возникающие в конструкции с вырезанным дефектным участком при рабочем нагружении, составляют 34,2 МПа (рис. 5) и не превышают допустимых значений для материала конструкции.

Ремонтные работы для восстановления конструкции предусматривают выполнение сухой сварки. Для этого необходимо спроектировать погружаемый бокс, заполняемый воздухом, внутри которого должна быть расположена часть конструкции, подвергающаяся ремонту. Виды геометрии конструкций двух возможных вариантов таких боксов, подготовленных с использованием соответствующих параметрических моделей, представлены на рис. 6, 8. Первый вариант, расчетная схема которого представлена на рис. 6, изготавливается с каркасом из уголков. Основные геометрические параметры модели это высоты уровней обвязки уголками и размеры пластин, указан-



a

б

в

Рис. 5. Суммарные перемещения в конструкции с приваренной накладкой (*a*), напряжения по Мизесу в этой конструкции (*б*) и в конструкции без наклейки с вырезанным дефектом (*в*)

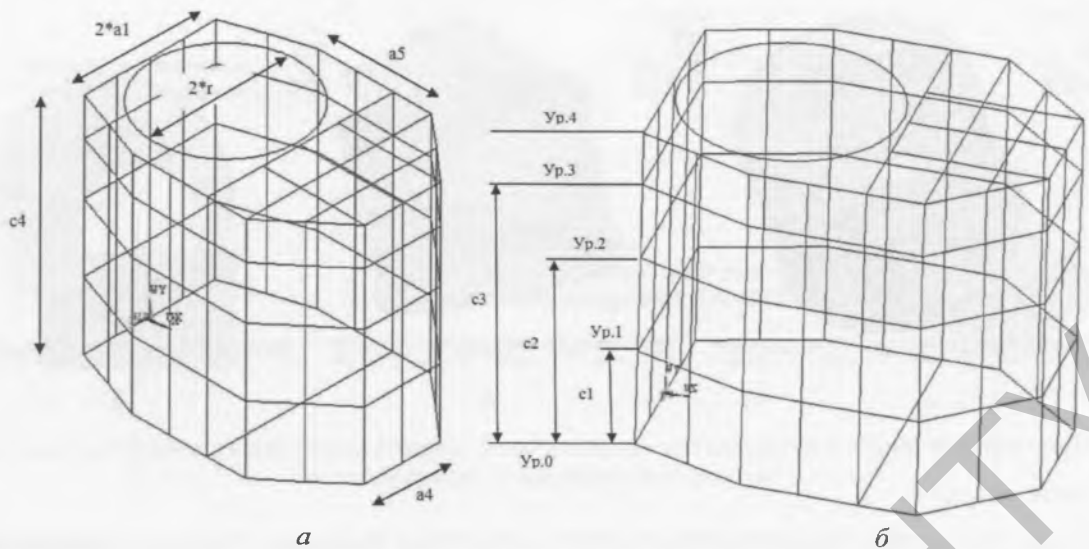


Рис. 6. Размеры пластин (а) и высоты уровней обвязки (б) для первого варианта модели бокса

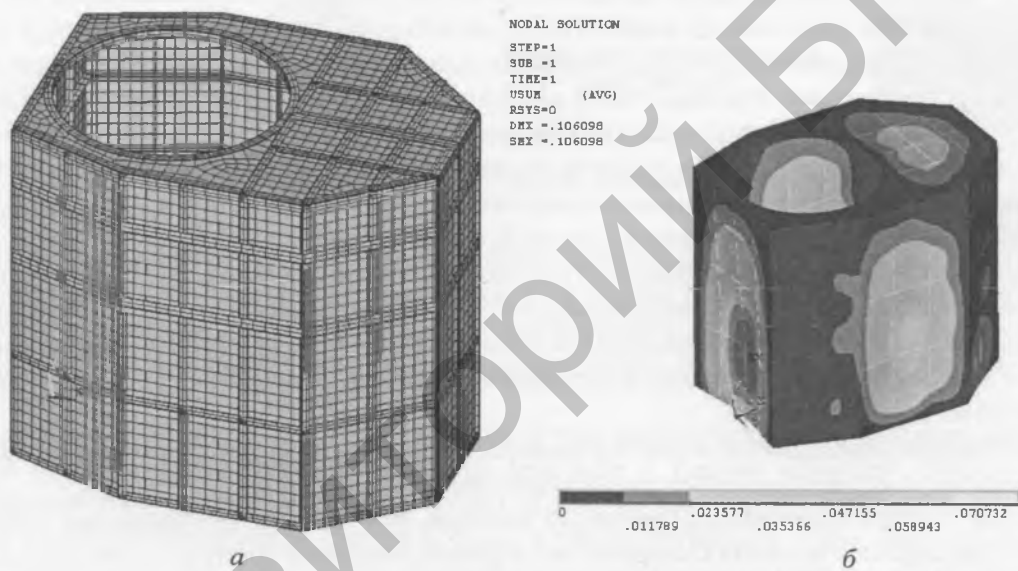


Рис. 7. Конечно-элементная расчетная схема конструкции первого варианта модели бокса (а) и суммарные перемещения в ней при погружении на рабочую глубину (б)

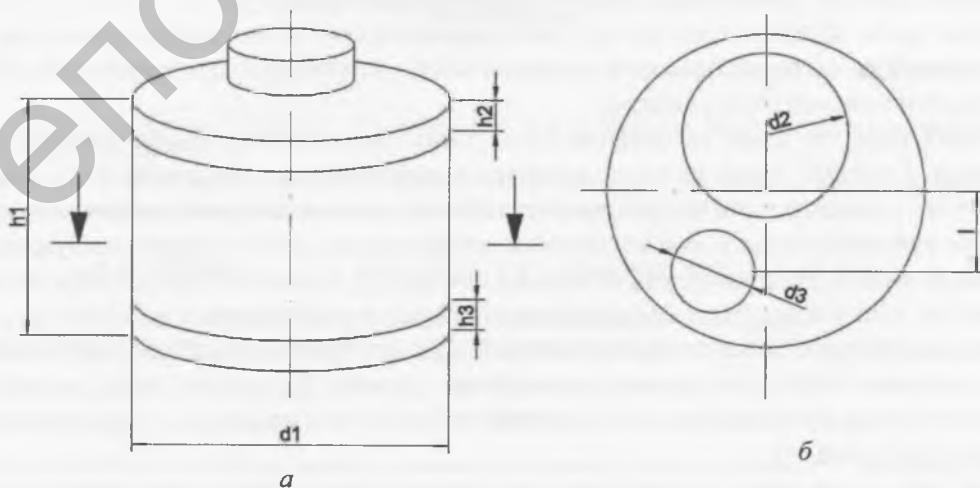


Рис. 8. Толщины пластин, высота кессона (а) и радиусы отверстий (б) второго варианта модели бокса

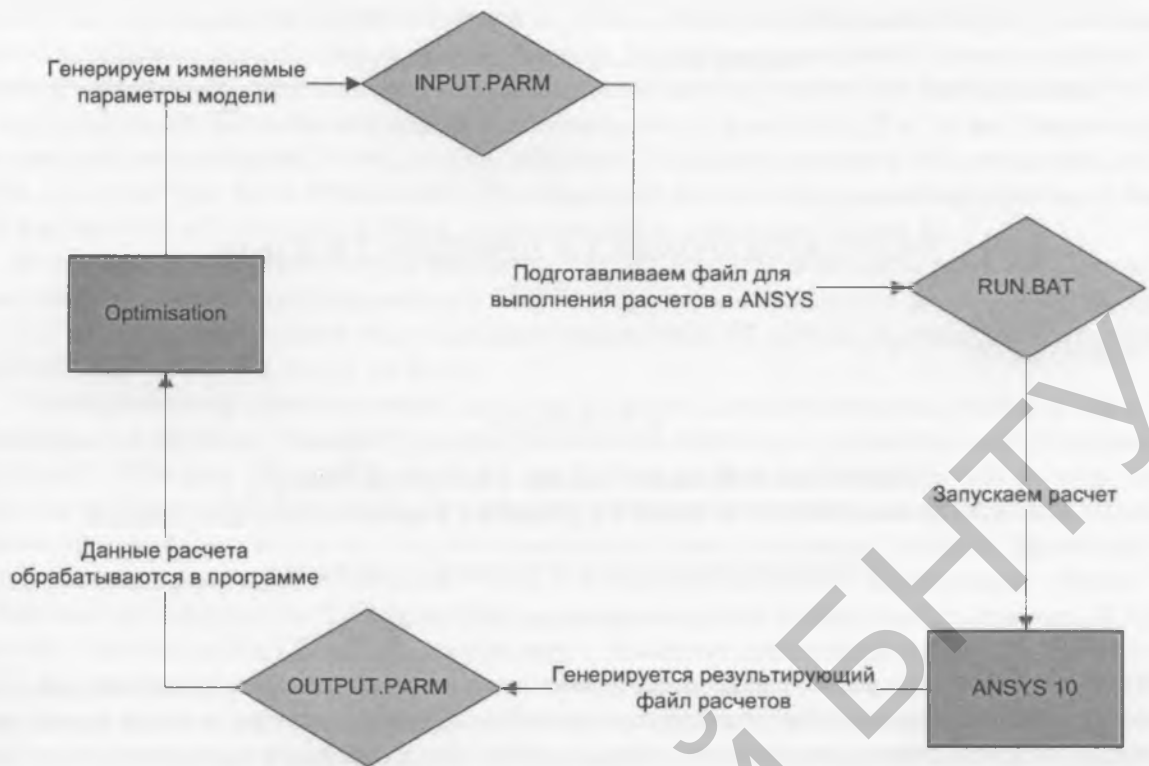


Рис. 10. Схема взаимодействия модулей оптимизационной модели

ного доступа на суперкомпьютере СКИФ с целью дальнейшей обработки этих результатов на стороне локального компьютера. Для решения этой задачи разработана схема взаимодействия программ и файлов (рис. 10). Методика прошла апробацию при решении различных тестовых задач [3] и обладает новизной, позволяющей генерировать оптимизационные модели сложных технических систем.

Изложенные результаты частично получены в ходе выполнения работ в рамках научно-технической программы Союзного государства Беларуси и России «Триада». Представленный спектр конечно-элементных моделей позволяет обоснованно выбирать рациональные варианты проектов сложных технических систем добычи и транспортировки углеводородов на морском шельфе. Полученные результаты используются в учебном процессе кафедры САПР БНТУ и могут быть применены в учебном процессе для других инженерных специальностей.

Литература

1. Кочуров В. А., Бородуля А. В., Напрасников В. В., Галко А. В. // Весті НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 2010. № 2. С. 86–96.
2. Алямовский А. А., Харитонович А. И., Пономарев Н. Б. и др. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике. СПб., 2006. С. 52.
3. Напрасников В. В., Напрасникова Ю. В., Соловьев А. Н., Скалиух А. С. // Матер. междунар. науч.-техн. конф. «Совершенствование систем автоматизации технологических процессов». Мн., 2010. С. 45.

A. V. BORODULYA, A. N. SOLOVIYOV, V. V. NAPRASNIKOV, M. A. MIRZAVAND

DESIGN OF A SET OF FINITE ELEMENTS MODELS FOR MAKING RATIONAL ENGINEERING SOLUTIONS AT REPAIRING OF OFFSHORE PLATFORMS

Summary

Parametric modeling of offshore structure components and repairing systems features are considered. The results of structure analysis are also included. The article provides a possible scheme of interaction between the user optimization unit and the existing finite element analysis programs.