

УДК 629.5.045:629.5.018.4

С. Н. Гирин, к.т.н, профессор, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
К.Н. Пряничников, к.т.н, доцент, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

ОЦЕНКА ПРЕДЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ УЗЛА КРЕПЛЕНИЯ КОНТЕЙНЕРА НА ПАЛУБЕ СУДНА

Ключевые слова: палуба судна, крепление контейнера, прочность, пластическое деформирование материала, нормирование напряжений и перемещений

Приводится обоснование расчетных моделей для конструкций крепления контейнеров на палубе судна. Показано, что при расчете конструкции на предельную нагрузку, в два раза превышающую эксплуатационную, необходимо учитывать упруго-пластическую работу материала. Обосновывается нормирование уровня напряжений.

Крепление контейнеров к палубе судна осуществляется замками «Твистлок», которые соединяют угол контейнера (фитинг) со специальным гнездом, сваренным в палубу судна. Фирмой «Нижегородское Предприятие Судового Оборудования» (ООО «НПСО») предложены конструкции крепления контейнеров на одно, два, три и четыре гнезда. На рис.1 и 2 показаны схемы крепления на одно и два гнезда.

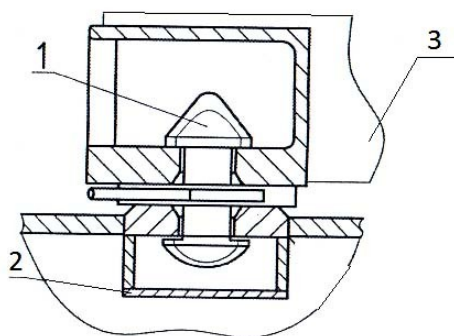


Рис. 1 Крепление контейнера 3 замком 1 к одинарному гнезду 2

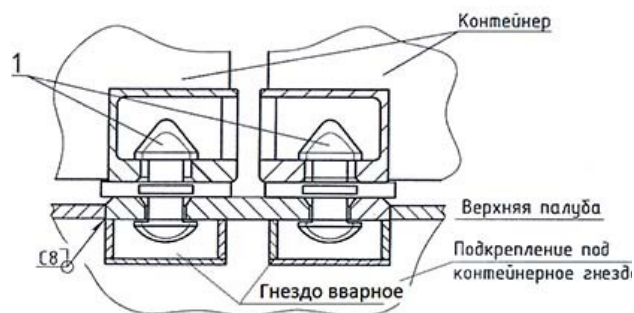


Рис. 2 Крепление контейнеров замком 1 к двойному гнезду

Для сертификации конструкции Российским морским регистром судоходства необходимо подтвердить ее прочность на действие рабочей и предельной нагрузки. Предельная нагрузка превышает рабочую в два раза, при этом в конструкции гнезда допускается появление упруго-пластических деформаций.

Выполнение расчетов прочности с учетом упруго-пластического деформирования материала является сложной задачей не только с точки зрения определения напряженно-деформированного состояния конструкции, но с точки зрения оценки полученных результатов. Важная роль в решении подобных задач отводится экспериментальным

исследованиям. ООО «НПСО» выполнила экспериментальное исследование прочности натурального образца конструкции на одно гнездо в лаборатории Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. Крепление гнезда к станине разрывной машины осуществлялось с помощью шести болтов. Вначале была приложена рабочая нагрузка 200 кН, после которой был произведен осмотр конструкции, в ходе которого не было выявлено остаточных деформаций. После чего была приложена нагрузка 400 кН. Под действием этой нагрузки конструкция гнезда получила видимые остаточные деформации, однако конструкция сохранила свою несущую способность. Осмотр конструкции после снятия нагрузки не выявил повреждений в виде трещин и разрывов металла (рис.3).



Рис. 3 Вид экспериментального образца после приложения предельной нагрузки

ООО «НПСО» обратилось на кафедру теории конструирования инженерных сооружений (ТКИС) Волжского государственного университета водного транспорта (ВГУВТ) с просьбой выполнить теоретическое обоснование прочности конструкций гнезд. Очевидно, что приемлемое решение задачи можно получить только с использованием современных компьютерных программ. Кафедра ТКИС имеет значительный опыт работы с отечественным программным комплексом «ИСПА», реализующим метод конечных элементов, который позволяет решать довольно широкий круг задач, в том числе задачи деформации конструкций с учетом геометрической и физической нелинейности [1], [2]. На рис.4 показана модель конструкции с учетом наличия двух осей симметрии. В качестве конечного элемента выбран пространственный конечный элемент №134 из библиотеки конечных элементов «ИСПА».

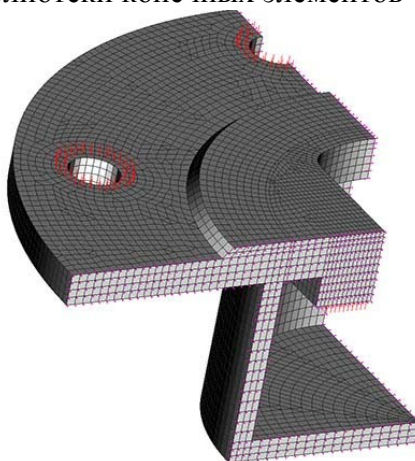


Рис. 4 Конечно-элементная модель конструкции

В соответствии с техническими условиями конструкция изготавливается из стали 09Г2С, имеющей предел текучести 345 МПа, временное сопротивление разрыву 490 МПа.

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

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

Поскольку механические характеристики материала не всегда соответствуют нормативным значениям, а результат расчета при упруго-пластическом деформировании может в значительной мере зависеть от их конкретных значений, было принято решение испытать несколько образцов металла, из которого был изготовлен и испытан образец. На рис.5 показана осредненная диаграмма деформирования образцов металла.

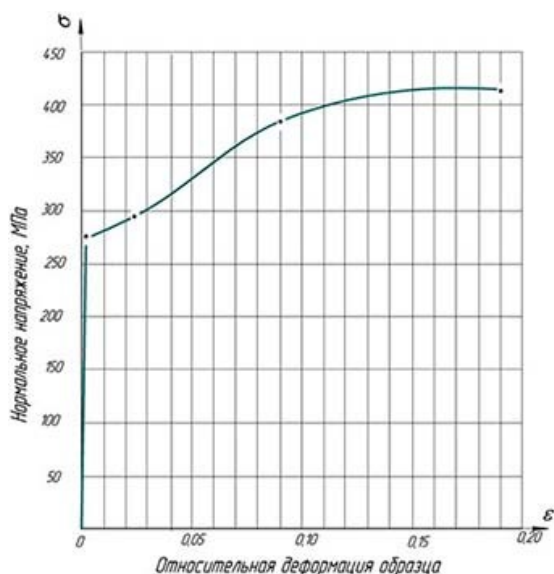


Рис.5 Экспериментальная диаграмма растяжения образцов материала

На рис.6 показан вид модели после приложения предельной нагрузки и поля вертикальных перемещений. Из рисунка следует, что максимальное вертикальное перемещение модели относительно отверстия болта составляет 28,3 мм. Аналогичный расчет модели в линейной постановке с учетом закона Гука дал 0,8 мм. Таким образом, расчетное значение остаточного прогиба модели составило 27,5 мм, что очень хорошо совпадает с результатами измерения деформации образца после испытаний (рис.3), которые находились в диапазоне 24 – 28 мм вследствие некоторого нарушения симметрии. Это свидетельствует об адекватности теоретической модели и ее расчета.

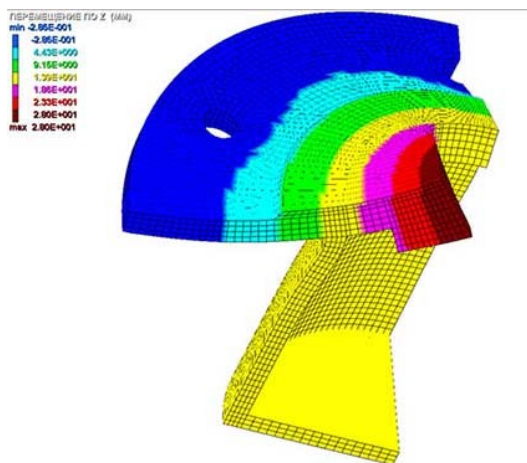


Рис.6 Поля вертикальных перемещений модели

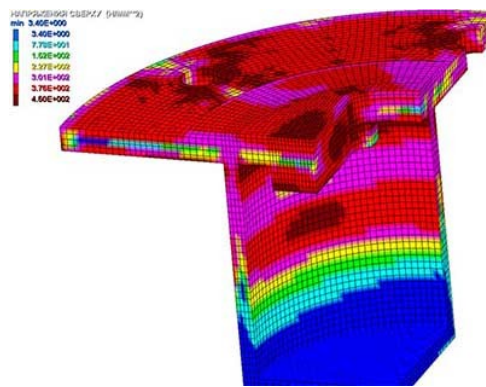


Рис.7 Поля эквивалентных напряжений модели

На рис.7 показаны поля эквивалентных напряжений. Как видно, значительные объемы материала конструкции находятся в состоянии пластического деформирования, при этом в некоторых точках напряжения превышают предел прочности материала, однако, как отмечено выше, в результате испытаний образца не отмечено разрушений в виде разрывов и трещин.

Полученные результаты испытания и теоретического расчета образца конструкции крепления фитинга контейнера позволяют перейти к расчету натурной конструкции, испытание которой практически не реализуемо.

Выше было показано, что ООО «НПСО» разработало несколько конструктивных вариантов крепления: на один, два, три и четыре фитинга. Анализ крепления их к конструкции палубы показал, что наиболее опасным с точки зрения прочности является конструкция крепления, состоящая из четырех гнезд. Такую конструкцию с некоторыми допущениями можно рассматривать как симметричную с одной осью симметрии. В этом случае расчетную модель можно упростить, рассматривая половину конструкции (рис.8).

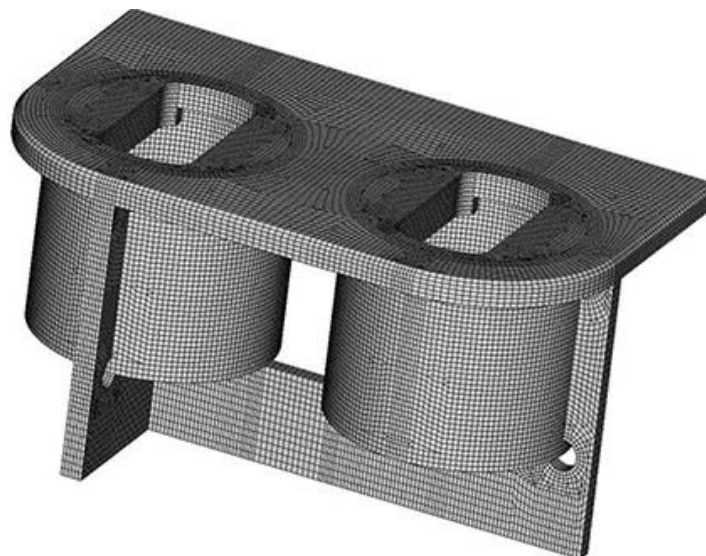


Рис.8 Расчетная схема модели на четыре гнезда

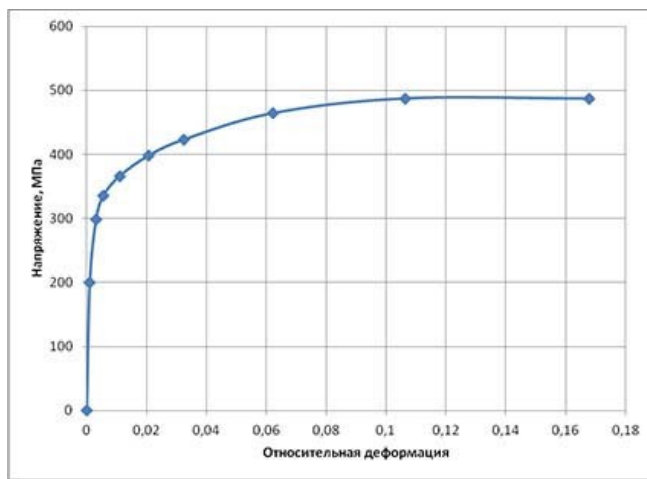


Рис. 9 Диаграмма σ - ϵ для стали 09Г2С

Выше было отмечено, что конструкция крепления фитингов изготавливается из стали 09Г2С, поэтому для расчета использовалась диаграмма деформирования материала, показанная на рис.9.

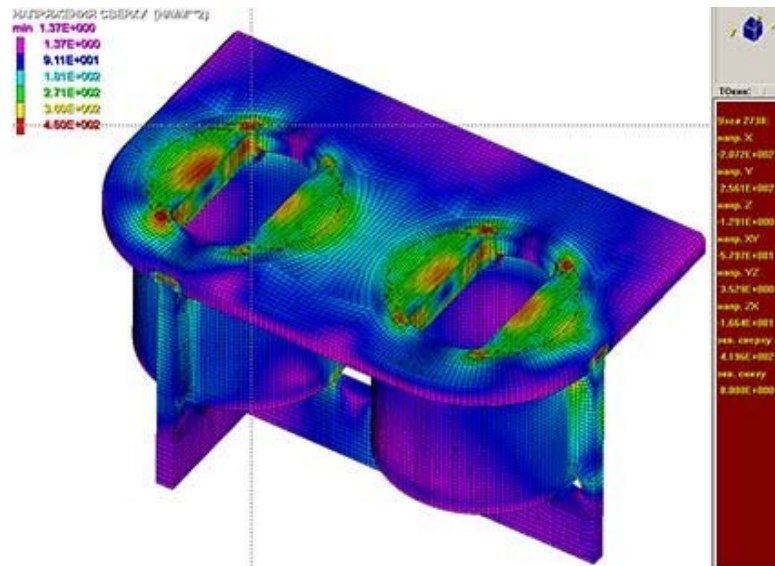


Рис. 10 Поля эквивалентных напряжений модели на четыре гнезда (вид 1)

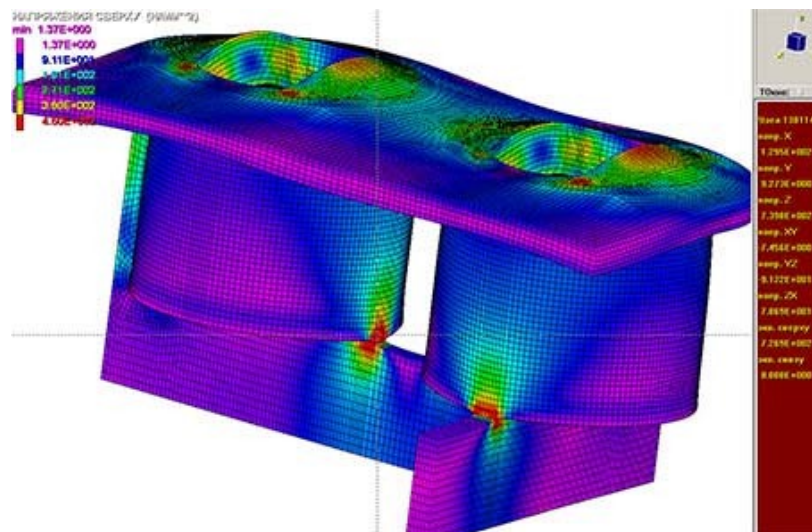


Рис. 11 Поля эквивалентных напряжений модели на четыре гнезда (вид 2)

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

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

На рис. 10 и 11 показаны поля эквивалентных напряжений, действующих в конструкции. Видно, что имеется некоторая несимметрия, вызванная несимметричностью граничных условий. В макрообъемах материала уровень напряжений примерно соответствует уровню напряжений образца, рассмотренного выше, однако, в районах пересечения стаканов с набором судового корпуса возникают зоны повышенных напряжений. Они не представляют опасности с точки зрения предельной прочности, однако при многократных эксплуатационных нагрузках могут быть источниками трещин малоциклового усталости. Очевидно, что наличие таких зон является следствием неудачной конструкции (наличием «жестких точек»).

Для устранения жестких точек в конструкции был предложен вариант модернизации конструкции. В модернизированной конструкции все гнезда в блоке соединяются между собой вертикальными ребрами, которые привариваются к рамным и холостым балкам набора палубы. В этом случае нагрузка с гнезда на балки палубы передается через стенку стакана, а не через донышко, как в первоначальном варианте.

Предложенный вариант конструкции из четырех гнезд имеет две оси симметрии, поэтому расчетная схема содержит одно гнездо с двумя плоскостями симметрии в качестве граничных условий. На рис.12 показана расчетная модель конструкции с маркерами закрепления узлов. По двум плоскостям закрепления узлов соответствуют условиям симметрии, а по остальным граничным плоскостям узлы закреплены от вертикальных перемещений.

На рис.13 приведены поля вертикальных перемещений узлов модели при действии предельной нагрузки. Как видно, максимальное перемещение составляет 1,24 мм, что практически в 20 раз меньше перемещений испытанной модели, следовательно, конструкция обладает достаточной жесткостью, обеспечивающей работу замка при предельном нагружении.

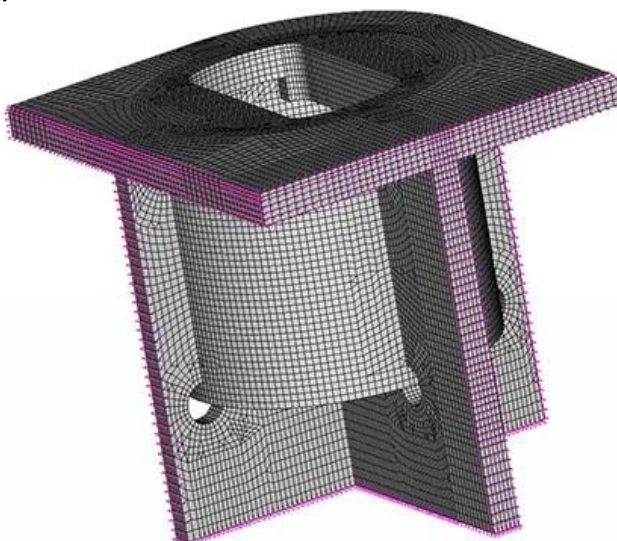


Рис.12 Модель крепления модернизированной конструкции гнезда к конструкции палубы

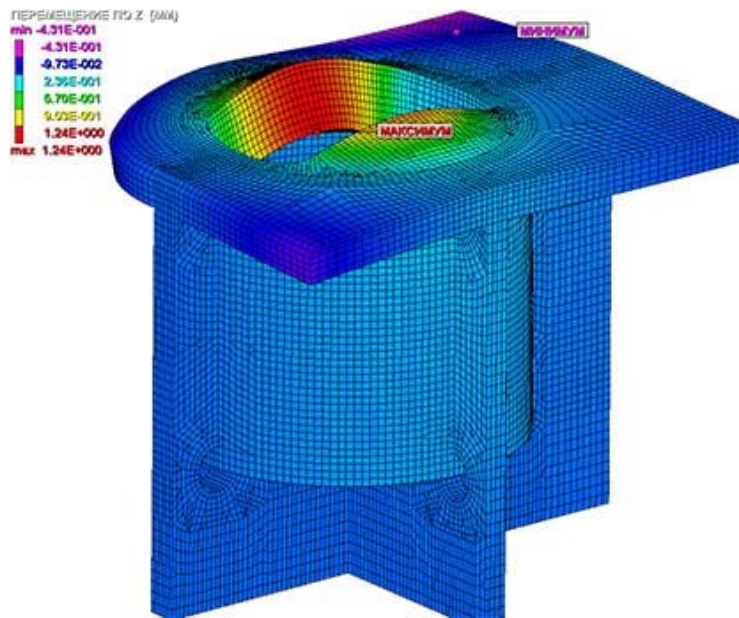


Рис.13 Поля вертикальных перемещений гнезда в составе конструкции палубы

На рис.14 и 15 показаны поля эквивалентных напряжений конструкции. Из рис.14 следует, что уровень напряжений в основной массе материала не превышает 450 МПа. По углам выреза имеются сравнительно небольшие зоны, в которых уровень эквивалентных напряжений составляет 460 МПа. Таким образом, уровень напряжений примерно соответствует уровню напряжений испытанного на аналогичную нагрузку образца. Следовательно, можно утверждать, что прочность узла крепления контейнеров на палубе судна на действие предельной нагрузки обеспечена.

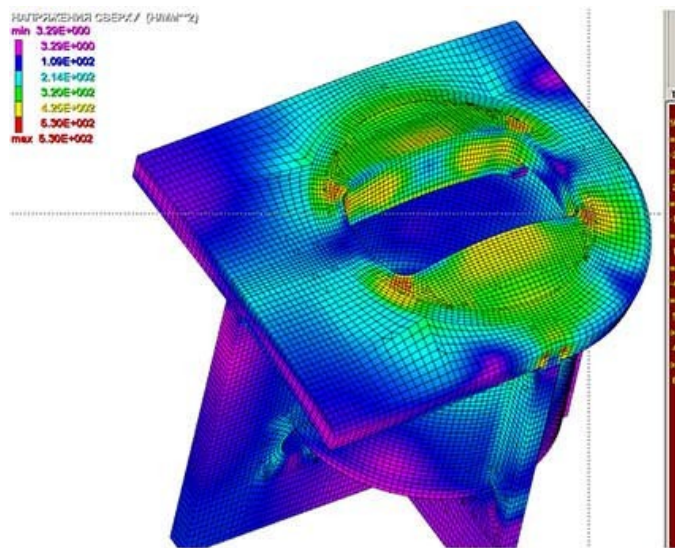


Рис.14 Поля эквивалентных напряжений (вид 1)

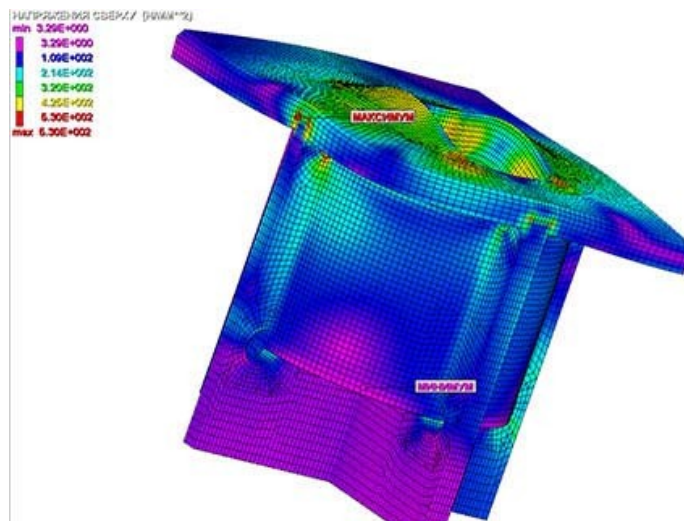


Рис.15 Поля эквивалентных напряжений (вид 2)

На рис.15 показана зона крепления гнезда к рамному набору палубы судна. Видно, что практически весь объем материала испытывает напряжения, не превышающие 320 МПа, и только в отдельных точках напряжение достигает 530 МПа. Очевидно, что повышенный уровень напряжений в столь незначительном объеме материала не представляет опасности с точки зрения прочности.

Список литературы:

- [1] Гирин, С.Н. Проблемы прочности модульной самоподъемной платформы для разведочного бурения/ С.Н. Гирин, К.Н. Пряничников// Труды 14 международного научно-промышленного форума «Великие реки» Материалы науч. метод. конференции «Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек. Том 1.- Н.Новгород: изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2012.- с.253-256.
- [2] Гирин, С.Н. Анализ напряженного состояния автомобильной цистерны для перевозки жидких грузов при квазистатических нагружениях/ С.Н. Гирин, С.Д. Гордлеев// Вестник Волжской государственной академии водного транспорта.- Изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2012.- Вып31.- с.131-135

ESTIMATION OF THE LIMIT STRENGTH OF THE CONTAINER ASSEMBLY ON THE DECK OF THE SHIP

S.N. Girin, K.N. Pryanichnikov

Keywords: ship deck, container fixation, strength, plastic deformation of the material, stress and displacement normalization

The justification of the calculation models for the structures of fixing containers on the deck of the vessel is given. It is shown that when calculating the structure for the ultimate load, which is twice the operational load, it is necessary to take into account the elastic-plastic work of the material. The normalization of the level of stresses is justified