

DOI 10.15589/jnn20150202

УДК 629.5.02

К68

INFLUENCE OF THE LENGTH OF THE INTERRUPTED PART WITH
A CIRCULAR-SHAPED CONJUGATION ON THE STRESS CONCENTRATIONВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ ПРЕРЫВНОЙ ЧАСТИ
С КРУГОВОЙ ФОРМОЙ СОПРЯЖЕНИЯ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ
НАПРЯЖЕНИЙ В КОНСТРУКЦИЯХ СУДОВОГО КОРПУСА**Yurii M. Korobanov**

yuriy.korobanov@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0002-1017-3939

Anatolii I. Kuznietsov

anatolii.kuznietsov@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0001-5149-3181

Alla A. Korobanova

korobanova-alla@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-2841-1659

Ю. Н. Коробанов

д-р техн. наук, проф.

А. И. Кузнецов

канд. техн. наук, доц.

А. А. Коробанова

студ.

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv**Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев*

Abstract. The study of the stress state of a plate with conjugation along a circular arc, between the interrupted and uninterrupted parts, and under the simple strain has been carried out. The plate was put to the strain test. The results of calculation using the finite and boundary element methods in comparison with studies of other authors are accepted as the basis for the analysis.

The difference between the calculation results by the finite and boundary element methods made up about 1.5–6.0%. The reliable results of all other authors are similar at the relative length of the interrupted connections until their height is more than nine. In that case, the difference between the results is no more than 10%. When the ratio l/h is larger, the eighth stress concentration coefficient has a stability value of 1.85.

Keywords: interrupted connections; strain; stress concentration coefficient; ship constructions.

Аннотация. Выполнено исследование напряженного состояния пластины с сопряжением по дуге окружности между прерывной и непрерывной частями при простом растяжении. За основу анализа принимаются результаты расчетов методами конечных и граничных элементов в сравнении с работами других авторов.

Ключевые слова: прерывистые связи; растяжение; коэффициент концентрации напряжений; судовые конструкции.

Анотація. Виконано дослідження пружного стану пластини зі спряженням по дузі кола між перериваною та неперериваною частинами пластини при простому розтягненні. За основу аналізу приймаються результати розрахунків методами кінцевих і граничних елементів порівняно з роботами інших авторів.

Ключові слова: переривані в'язі; розтягнення; коефіцієнт концентрації напружень; судові конструкції.

REFERENCES

- [1] Korobanov Yu. N., Lishchuk O. M., Lishchuk I. M. Analiz predposylok ispolzovaniya metodov granichnykh elementov, v sudostroitelnykh sistemakh avtoma-tizirovannogo proektirovaniya [Analysis of the prerequisites of using the boundary element method in the shipbuilding CAD systems]. *Sbornik nauchnykh trudov NUK* [Collection of Scientific Publications of NUS], 2006, no. 2, issue 207, pp. 31–38.
- [2] Segal V. Ye. Vliyanie dliny preryvnoy chasti na kontsentratsiyu napryazheniy v preryvistykh svyazyakh [Influence of the length of the interrupted part on the stress in the interrupted connections]. *Sudostroenie — Shipbuilding*, 1967, no. 10, pp. 11–14.
- [3] Sivers N. L. *Raschet i konstruirovaniye sudovykh nadstroek* [Calculation and design of ship superstructures]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1966. 299 p.

- [4] Sivers N. L., Rizinashvili O. M. Eksperimentalnoe issledovanie kotsentratsii napryazheniy v rayone nadstroek na krupnomasshtabnykh modelyakh [Experimental study of the stress concentration in the area of superstructures on large-scale models]. *Sudostroenie — Shipbuilding*, 1969, no. 7, pp. 12–16.
- [5] Turmov G. P. *Raschet preryvistykh svyazey na prochnost s uchetom kotsentratsii napryazheniy* [Strength calculation of interrupted connections taking into account the stress concentration]. Vladivostok, Izdatelstvo Dalnevost. un-ta, 1984. 152 p.
- [6] Shimanskiy Yu. A. *Proektirovanie preryvistykh svyazey sudovogo korpusa* [Design of interrupted connections of a ship hull]. Leningrad, Sudpromgiz Publ., 1949. 160 p.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Усилия, действующие на прерывистую связь судовых корпусных конструкций, вызывают в местах обрыва ее прерывной части концентрацию напряжений. Величина коэффициента концентрации напряжений зависит от многих факторов состава и конструкции прерывистой связи, в том числе длины прерывной части. Это обстоятельство имеет важное практическое значение, поскольку результаты исследования используются при проектировании прерывистых связей судовых корпусных конструкций. Исследования по оценке влияния длины прерывной части на напряженно-деформативное состояние различных судовых конструкций в работах некоторых авторов имеют значительные расхождения.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В теории деформаций прерывистых связей судовых корпусных конструкций, разработанной акад. Ю. А. Шиманским [6], даются приближенные выражения для наибольшего значения коэффициента концентрации напряжений в прерывистых связях. Рекомендуемые значения поправочного коэффициента, учитывающего влияние длины прерывной части, приведены также в работе [2], где значения поправочного коэффициента получены методом теории упругости. В исследовании [3] представлены поправочные коэффициенты с учетом отношения высоты прерывной части к ее длине, а в статье [4] показаны результаты растяжения прерывистой связи с участком сечения полушироты палубы судна. Последующие изыскания должны уточнить эти зависимости, поскольку они значительно разнятся между собой.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ состоит в определении напряжений в прерывистой связи при простом растяжении и оценке напряженно-деформативного состояния в районе окончания прерывистых связей. Задача исследования — установить зависимость изменения коэффициента концентрации напряжения в прерывистых связях судового назначения от ее длины на примере пластины постоянной толщины. Считается, что пластина подвергнута растяжению, при этом целесообразно радиус дуги сопряжения принять равным высоте прерывной части пластины. Такое допущение

позволяет свести задачи различных авторов к сопоставимым результатам. Выводы по такой задаче могут быть распространены на более сложные и разнообразные конструкции судового назначения.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Общая схема прерывистой пластины, у которой прерывная часть сопряжена по дуге окружности с радиусом, равным высоте прерывной части пластины, приведена на рис. 1. В основу расчетных процедур положены методы конечных и граничных элементов (авторский вариант программ основан на методе фиктивных нагрузок [1]). Результаты расчетов выполнены для следующих отношений: $l/h = 1–7$, где l — полудлина прерывной части пластины, h — ее высота (рис. 1).

Приближенное выражение для наибольшего значения коэффициента концентрации напряжения α в прерывистой связи, имеющей форму сопряжения оконечности прерывной связи в виде дуги окружности, согласно [6] равно:

$$\alpha = 1 + \chi \sqrt{\frac{h}{r}}, \quad (1)$$

где h — высота прерывной части; r — радиус кривизны торцевой кромки в начале ее образования; χ — поправочный коэффициент, учитывающий влияние длины прерывной части (значения представлены в [6] графически).

В принятых допущениях $r=h$ выражение (1) преобразуется к виду:

$$\alpha = 1 + \chi.$$

Графики в [6] отображают зависимости коэффициента χ в функции от отношения l/h при различных

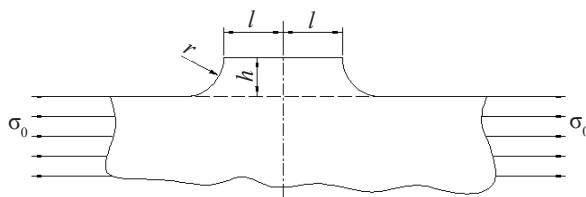


Рис. 1. Растяжение прерывистой пластины, имеющей прерывную часть ограниченной длины со скругленными по радиусу окружности концевыми поперечными кромками

значениях отношения c/h , где c — отстояние торцевой кромки от начала ее образования. Другие авторы эту величину, кроме [3], не используют. Таким образом, с целью достоверного сравнительного анализа влияния длины прерывной части рассмотрению подлежат пластины с высотой прерывной части, равной радиусу сопряжения с прерывистой частью. Тогда справедливо равенство:

$$c = h = r.$$

В этом случае возможно сравнение результатов и анализ коэффициентов концентрации напряжений в пластине, подверженной растяжению, с радиусом сопряжения, равном ее высоте. Выражение (1) приобретает значение, отличающее коэффициент концентрации напряжений от поправочного коэффициента χ на единицу. Это обстоятельство позволяет беспрепятственно сопоставлять результаты, полученные другими авторами.

Коэффициент концентрации напряжений в судовых корпусных конструкциях равен отношению наибольших нормальных напряжений в зоне их концентрации σ_{max} к среднему номинальному напряжению σ_0 , действующему в сечении:

$$\alpha = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_0}. \quad (2)$$

На рис. 2 изображены кривые значений коэффициентов концентрации напряжений α в функции от отношения l/h , а также использованы результаты расчетов, в основу которых положен метод граничных элементов (авторский вариант программ основан на методе фиктивных нагрузок [1] для отношений $l/h=1-7$). Кроме того, приведены результаты согласно выражению (2) по определению значения α . Из рис. 2 видно, что значения коэффициента χ , указанные в работе [2], нуждаются в уточнении.

В статье [4] сделана попытка сравнить результаты теоретических исследований с экспериментальными данными, что привело к появлению двух зависимостей, отображающих влияние протяженности прерывной части к ее высоте.

На рис. 3 приведена зависимость поправочного коэффициента χ в функции от отношения l/h , рассчитанная по результатам авторов данной работы в сравнении с результатами работ [2–6]. Кривые 6 и 7 рассмотрены в [4] как теоретическая и экспериментальная кривые.

На рис. 3 видны значительные различия в данных, характеризующих значения поправочного коэффициента χ , учитывающего влияние длины прерывной части в функции от отношения l/h . В диапазоне $l/h=7,0-8,0$ значения стабилизируются и стремятся к среднему — $\chi=0,85$.

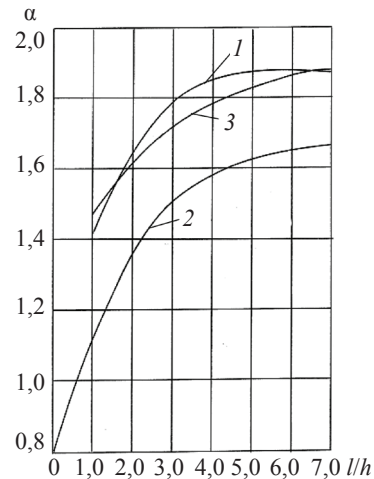


Рис. 2. Зависимости коэффициентов концентрации напряжений α в функции от отношения l/h : 1 — согласно расчетам по методу фиктивных нагрузок, 2 — по результатам работы [5], 3 — по работе [6]

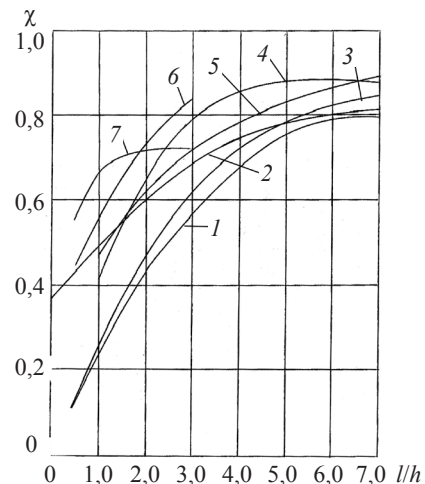


Рис. 3. Кривые значения поправочного коэффициента χ , учитывающего влияние длины прерывной части в функции от отношения l/h : 1 — согласно работе [5], 2 — по работе [2], 3 — по работе [3], 4 — по методу конечных элементов (ANSYS), 5 — по результатам метода граничных элементов, 6 — теоретическая кривая, соответствующая результатам работы [4], 7 — экспериментальная кривая по [4]

ВЫВОДЫ. В данной работе обобщены и систематизированы данные по коэффициентам концентрации напряжений в функции от отношения длины прерывной части к ее высоте l/h , встречающиеся в различных литературных источниках. Для сравнительного анализа выбрана прерывистая пластина с круговой формой сопряжения прерывной и непрерывной частей. Пластина была подвергнута растяжению. Принятие радиуса сопряжения равным высоте прерывной части позволило сопоставлять результаты исследований различных авторов в области прерывистых связей судовых корпусных конструкций.

Было установлено, что по мере возрастания отношения прерывной части к ее высоте значения коэффициентов концентрации, предлагаемые различными авторами, сближаются и разнятся между собой примерно на 10%. В то время как при равенстве длины

прерывной части ее высоте расхождения в значениях коэффициентов концентрации напряжений достигают 45–47%. При отношении l/h более восьми коэффициенты концентрации напряжений принимают стабильное значение 1,85.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Коробанов, Ю. Н.** Анализ предпосылок использования методов граничных элементов в судостроительных системах автоматизированного проектирования [Текст] / Ю. Н. Коробанов, О. М. Лищук, И. М. Лищук // 36. наук. праць НУК. — Миколаїв : НУК, 2006. — №2 (407). — С. 31–38.
- [2] **Сегаль, В. Е.** Влияние длины прерывной части на концентрацию напряжений в прерывистых связях [Текст] / В. Е. Сегаль // Судостроение. — 1967. — №10. — С. 11–14.
- [3] **Сиверс, Н. Л.** Расчет и конструирование судовых надстроек [Текст] / Н. Л. Сиверс. — Л. : Судостроение, 1966. — 299 с.
- [4] **Сиверс, Н. Л.** Экспериментальное исследование концентрации напряжений в районе надстроек на крупномасштабных моделях [Текст] / Н. Л. Сиверс, О. М. Рижинашвили // Судостроение. — 1969. — №7. — С. 12–16.
- [5] **Турмов, Г. П.** Расчет прерывистых связей на прочность с учетом концентрации напряжений [Текст] / Г. П. Турмов. — Владивосток : Изд-во Дальневост. ун-та, 1984. — 152 с.
- [6] **Шиманский, Ю. А.** Проектирование прерывистых связей судового корпуса [Текст] / Ю. А. Шиманский. — Л. : Судпромгиз, 1949. — 160 с.

© Ю. М. Коробанов, А. И. Кузнецов, А. А. Коробанова
Надійшла до редколегії 06.02.2015
Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. *Л. І. Коростильов*



Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова
**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
АЭРОГИДРОДИНАМИКИ И ПРОЧНОСТИ**

ПРОЕКТ РЕЧНОГО ТРАМВАЯ



каб. 455, просп. Героев Сталинграда, 9,
г. Николаев, Украина, 54025
тел.: +38 (0512) 70-91-05
e-mail: valery.nekrasov@nuos.edu.ua

Подробная информация:
nuos.edu.ua/science/

Преимущества проекта:

- ◆ судно имеет высокую остойчивость;
- ◆ энергетическая установка судна экономична и допускает использование энергосберегающих технологий для эксплуатации в зонах отдыха и прибрежных районах сплошной городской застройки;
- ◆ судно имеет ограниченную осадку с возможностью высадки пассажиров на необорудованный берег;
- ◆ минимальное негативное влияние на окружающую среду от эксплуатации судна.

Основные размерения и характеристики проекта:

Длина наибольшая — 17,61 м
Ширина наибольшая — 6,40 м
Ширина корпуса — 2,10 м
Высота борта — 2,20 м
Борт надводный — 1,45 м
Осадка — 0,75 м
Водоизмещение — 31,0 т
Пассажировместимость максимальная — 72 чел.
Экипаж — 3 чел.
Скорость максимальная — 19,5 км/ч (10 уз)
Мощность максимальная — 38,3 кВт (52 к.с.)