

ВЛИЯНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА РЕДУКЦИОННЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ РЕБЕР ЖЕСТКОСТИ

INFLUENCE OF RESIDUAL STRESS ON REDUCTION FACTORS OF REINFORCEMENT RIBS

Предложена методика расчета редукционных коэффициентов ребер жесткости с учетом сжимающих остаточных напряжений, которые возникают при ремонте корпусов судов. Построен график для определения изменения редукционного коэффициента в зависимости от относительного удлинения и уровня сжимающих усилий.

The technique for the calculation of reduction factors of reinforcement ribs considering compressive residual stresses that occur when repairing ship hulls was proposed. The diagram that deals with determining the changes of reduction factors depending on relative elongation and the level of compressive strains was developed.

Ключевые слова: остаточные напряжения, редукционные коэффициенты.
Key words: residual stress, reduction factors.

3

А время эксплуатации обшивка корпуса судна сильно изнашивается. Для поддержания его технического состояния на заданном уровне необходимо производить плановый ремонт. Но при этом в корпусе судна возникают сжимающие остаточные напряжения. Это происходит из-за того, что корпус всегда находится в напряженном состоянии при ремонте, так как на него действуют силы веса и силы поддержания воды или реакции кильблоков. В этом случае корпус судна будет рассматриваться как эквивалентный брус, нагруженный на участке ремонта изгибающим моментом. После удаления ремонтируемого участка напряжения по сечению изменяются из-за изменения момента инерции и смещения нейтральной оси [2, с. 87–91; 4].

При замене участка новым металлом на этом участке напряжения не действуют, хотя в окружающих связях они есть. Поэтому, когда изгибающий момент в рассматриваемом сечении будет устранен, в корпусе появятся сжимающие остаточные напряжения. Они пропорциональны напряжениям в конструкции до ремонта и изменению момента инерции при вырезке ремонтируемого участка. Поэтому необходимо выяснить, как влияют сжимающие остаточные напряжения на редукционный коэффициент продольных ребер жесткости при вырезанной части корпуса.

При проектировании транспортных судов Правила Российского речного регистра [5] не допускают потерю устойчивости продольных ребер жесткости, но в процессе эксплуатации геометрические характеристики ребра уменьшаются из-за износа и вследствие этого при воздействии одних и тех же усилий ребро может потерять устойчивость. Редукционный коэффициент для них в этом случае можно определить по формуле

$$\Phi_p = \frac{\sigma_{кр}}{|\sigma_{ж}|}, \quad (1)$$

где $\sigma_{кр}$ — критические напряжения сжатого ребра жесткости; $\sigma_{ж}$ — абсолютное значение сжимающих напряжений в жестких связях.

Критические напряжения Правилами РРР рекомендуется определять по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{кр} &= \sigma_3 \text{ при } \sigma_3 \leq R_{сн}; \\ \sigma_{кр} &= \left(1,12 - \frac{0,312 R_{сн}}{\sigma_3} \right) R_{сн}; \\ \text{при } 0,6 R_{сн} < \sigma_3 < 2,6 R_{сн}; \\ \sigma_3 &= R_{сн} \text{ при } \sigma_3 \geq R_{сн} \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где $\sigma_{кр}$ — критические напряжения при сжатии продольных ребер жесткости с присоединенным пояском, МПа;

$$\sigma_3 = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{b^2 \cdot (f + at)}, \quad (3)$$

где E — модуль нормальной упругости, МПа;

J — момент инерции площади сечения ребра с присоединенным пояском $0,5a$, но не более $25t$, см⁴;

b — пролет ребра, см;

f — площадь поперечного сечения ребра жесткости без присоединенного пояса, см²;

a — расстояние между продольными ребрами, см;

t — толщина пластины, см;

$R_{сн}$ — предел текучести материала, МПа.

Профессором, д-ром техн. наук С. О. Барышниковым были получены зависимости для редуционных коэффициентов сжатых продольных ребер жесткости в зависимости от их относительной гибкости [1, с. 110–116]:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_p &= \frac{2,6}{n} \cdot \left(\frac{\lambda_{\min}}{\lambda} \right)^2, \text{ при } \left(\frac{\lambda_{\min}}{\lambda} \right) \geq 0,48 \\ \varphi_p &= \frac{1}{n} \cdot \left(1,12 - \left(\frac{\lambda_{\min}}{\lambda} \right)^2 \right), \text{ при } 0,48 < \left(\frac{\lambda_{\min}}{\lambda} \right) < 1 \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

где $\left(\frac{\lambda_{\min}}{\lambda} \right)$ — относительная гибкость ребра;

$\lambda_{\min}$ — минимальная гибкость ребра, при которой оно не будет терять устойчивость даже при сжимающих напряжениях, равных $R_{сн}$, определяемая по формуле

$$\lambda_{\min} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{2,6 \cdot R_{сн}}}, \quad (5)$$

λ — гибкость продольного ребра жесткости:

$$\lambda = \sqrt{\frac{b^2}{J / (f + at)}}, \quad (6)$$

n — уровень действующих сжимающих напряжений:

$$n = \frac{|\sigma_{ж}|}{R_{сн}}. \quad (7)$$

Уровень сжимающих напряжений от внешней нагрузки в связях с остаточными сжимающими напряжениями можно представить в виде:

$$n = n_d + n_{ост}. \quad (8)$$

где $n_{\text{ост}}$ — уровень сжимающих остаточных напряжений:

$$n_{\text{ост}} = \frac{|\sigma_{\text{ост}}|}{R_{\text{сН}}}, \quad (9)$$

$n_{\text{д}}$ — уровень действующих сжимающих напряжений.

Тогда, используя выражение (8), редуционный коэффициент при $\left(\frac{\lambda_{\text{min}}}{\lambda}\right) \leq 0,48$ будет равен:

$$\varphi'_p = \frac{2,6}{n_{\text{д}} + n_{\text{ост}}} \cdot \left(\frac{\lambda_{\text{min}}}{\lambda}\right)^2. \quad (10)$$

Используя выражения (4) и (10), можно получить формулу при $\left(\frac{\lambda_{\text{min}}}{\lambda}\right) \leq 0,48$:

$$\Delta\varphi_p = \varphi_p - \varphi'_p = \frac{2,6}{n_{\text{д}}} \left(\frac{\lambda_{\text{min}}}{\lambda}\right)^2 - \frac{2,6}{n_{\text{д}} + n_{\text{ост}}} \left(\frac{\lambda_{\text{min}}}{\lambda}\right)^2. \quad (11)$$

После преобразования выражения (11) получим окончательный вид изменения редуционного коэффициента:

$$\Delta\varphi_p = -2,6 \cdot \left(\frac{\lambda_{\text{min}}}{\lambda}\right)^2 \cdot \frac{n_{\text{ост}}}{n_{\text{д}}(n_{\text{д}} + n_{\text{ост}})}. \quad (12)$$

В результате аналогичных преобразований, выполненных для $0,48 < \left(\frac{\lambda_{\text{min}}}{\lambda}\right) < 1$, получена формула

$$\Delta\varphi_p = - \left[1,12 - \frac{0,12}{\left(\frac{\lambda_{\text{min}}}{\lambda}\right)^2} \right] \cdot \frac{n_{\text{ост}}}{n_{\text{д}}(n_{\text{д}} + n_{\text{ост}})} \text{ при } 0,48 < \left(\frac{\lambda_{\text{min}}}{\lambda}\right) < 1. \quad (13)$$

По полученной зависимости (12) и (13) построен график для определения изменения редуционного коэффициента $\Delta\varphi_p$ в зависимости от уровня сжимающих остаточных напряжений $n_{\text{ост}}$ и относительной гибкости, представленный на рис. 1.

В [3, с. 150–154] произведены расчеты изменения относительного удлинения для недеформированных ребер жесткости при различных степенях износа, в расчетах величина пролета принята 1,8 м. По этим расчетам видно, что износ незначительно влияет на относительное удлинение ребер жесткости. Следовательно, из этого можно сделать вывод, что для полосообразных меньше № 12 и если пролет без распорок, то на изменение редуционного коэффициента влияют только остаточные напряжения.

Используя данные, полученные в [3], построены графики изменения редуционного коэффициента в зависимости от остаточных напряжений для определенных видов полосообразных и несимметричных уголков, наиболее часто применяемых в судостроении. Данные графики представлены на рис. 2 и 3.

Изменение редуционного коэффициента зависит от остаточных напряжений. По графикам, представленным на рис. 2 и 3, можно сделать вывод, что при увеличении остаточных напряжений поправки на редуционный коэффициент растут только до определенной величины, а при достижении суммарного уровня (действительных и остаточных) напряжений, равного единице, сохраняются постоянными. Расчеты показали, что для профилей с малой высотой поправки могут достигать значительной величины $\Delta\varphi_p = 0,1 \div 0,4$.

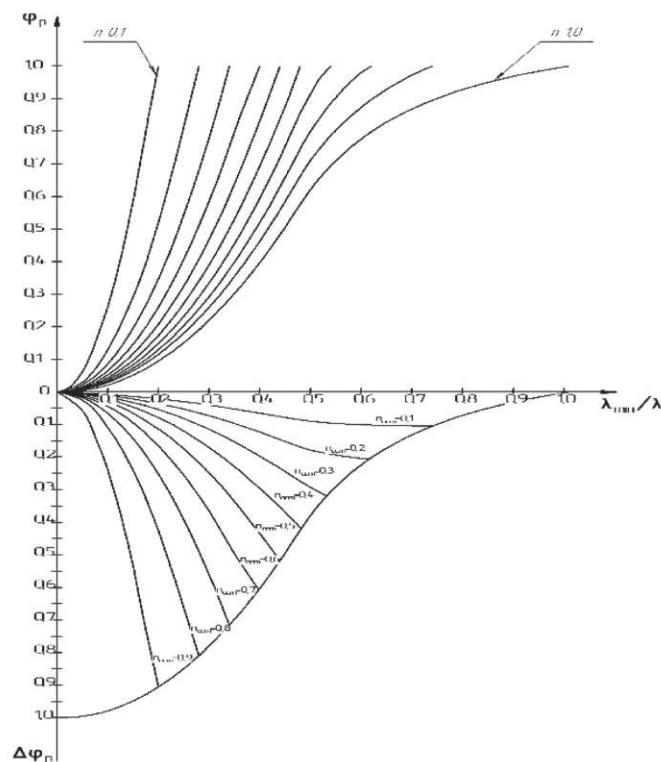


Рис. 1. Изменение редуцированного коэффициента в зависимости от уровня сжимающих напряжений и относительного удлинения

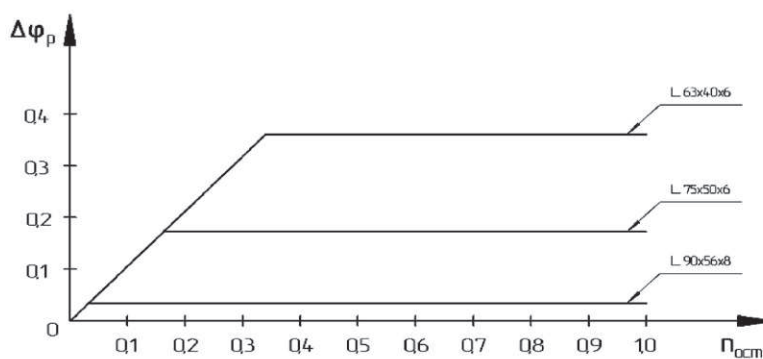


Рис. 2. Изменение редуцированного коэффициента в зависимости от остаточных напряжений для несимметричного уголка

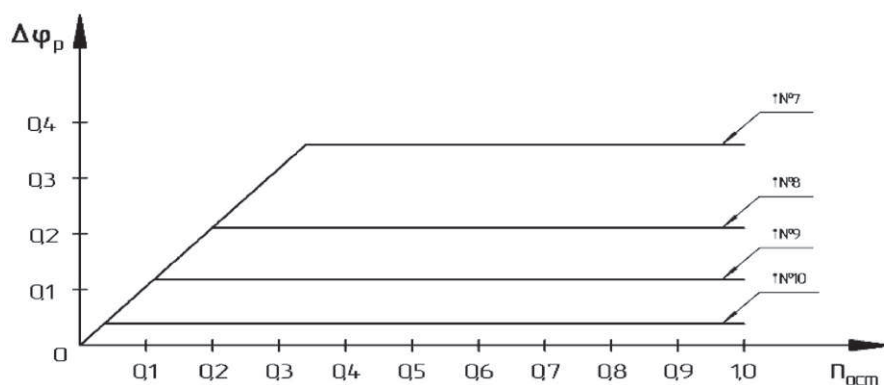


Рис. 3. Изменение редуцированного коэффициента в зависимости от остаточных напряжений для полосуобульбов

При традиционных методах ремонта остаточные напряжения не учитываются. Это может привести к тому, что на корпус начнут действовать чрезмерные нагрузки, при которых ребра жесткости могут потерять устойчивость.

Список литературы

1. Барышников С. О. Расчет редуционных коэффициентов элементов корпуса судна по Правилам Российского речного регистра / С. О. Барышников // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2010. — Вып. 3 (7).
2. Барышников С. О. Общие остаточные деформации корпусов судов / С. О. Барышников, Т. О. Карклина // Речной транспорт. — 2010. — № 6.
3. Павлов А. В. Влияние износа на относительную гибкость продольных ребер жесткости / А. В. Павлов // Современные тенденции и перспективы развития водного транспорта России: материалы V Межвуз. науч.-практ. конф. асп., студ. и курсантов, 14 мая 2014 г. — СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2014.
4. Чистов В. Б. Технология ремонта корпусов судов. Конспект лекций / В. Б. Чистов. — Л.: ЛИВТ, 1978. — 66 с.
5. Российский речной регистр. Правила: в 4 т. — 2008. — Т. 2.

УДК 629.12, 697.9

К. А. Васильев,

аспирант,

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет»

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ МЕСТНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СОВРЕМЕННОМ СУДОСТРОЕНИИ

IMPROVE THE EFFECTIVENESS OF THE SYSTEM OF LOCAL VENTILATION DURING MECHANICAL PROCESSING OF POLYMER MATERIALS USED IN MODERN SHIPBUILDING

В статье освещены проблемы, возникающие при вентилировании рабочих мест механической обработки композиционных полимерных материалов, применяемых в современном судостроении. Выделены основные негативные факторы образования отходов в виде крупных фрагментов — стружки и пыли разной фракции. Приведены методики контроля и экспресс-испытаний элементов вентиляции. Намечены технические пути решения частных проблем.

The article highlights the problems that occur when the ventilation of workplaces machining of composite polymer materials used in modern shipbuilding. Main negative factors of waste large pieces of shavings and dust with different factions. The above methods of control and rapid testing of the ventilation. Planned technical solutions to particular problems.