

Государственные строительные нормы Украины.

2. Правила определения физического износа жилых зданий [Текст]: СОУ ЖКХ 75.11-35077234.0015:2009 Жилые здания. К.: 2009. Введен в действие 04.05.2009.

3. Кожемяка С.В., Мазур В.А. Влияние дефектов кровель промышленных зданий на технико-экономические показатели их ремонта. Технология, организация, механизация и геодезическое обеспечение строительства. [Текст]/ С.В.Кожемяка, В.А.Мазур/ — Вестник Донбасской Национальной Академии строительства и архитектуры. Выпуск 2012-5(85) с. (Строительство) — ISSN 18-14-3296.

4. Кожемяка С.В., Мазур В.А. Технико-экономические показатели ремонта кровель промышленных зданий с учетом выявленных групп дефектов. Современные строительные материалы, конструкции и инновации, технологии возведения зданий и сооружений. [Текст]/ С.В.Кожемяка, В.А. Мазур/ — Вестник Донбасской Национальной Академии строительства и архитектуры. Выпуск 2011— (Строительство) — ISSN 18-14-3296.

АНОТАЦІЯ

У статті запропонована методика, що дозволяє знайти варіанти, при яких досягається зниження трудових і матеріальних витрат, вибирається ефективний безремонтний термін експлуатації при ремонті покрівель промислових будівель.

Ключові слова: трудові та матеріальні витрати, безремонтний строк експлуатації.

ANNOTATION

The article shows a technique that allows you to find options that achieved by reducing labor and material costs, choose an effective maintenance-free service life in the repair of roofs of industrial buildings.

Keywords: labor and material inputs, rebuild term of operation.

УДК 624.072.2:69.059.32

С.В. Кожемяка к.т.н., профессор;
А.В. Крупенченко, ДНАСА, г. Макеевка

ВЫБОР СПОСОБОВ УСИЛЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК С УЧЕТОМ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДАЛЬНЕЙШЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

АННОТАЦИЯ

Авторами предложена методика выбора эффективного способа усиления стальных подкрановых балок с учетом их состояния и условий выполнения работ. Состояние подкрановых балок описывается совокупностью наиболее часто встречающихся дефектов и повреждений. Критерием эффективности метода усиления подкрановых балок принята относительная стоимость их усиления, определенная с учетом долговечности дальнейшей эксплуатации.

Ключевые слова — усиление, подкрановые балки, долговечность, усталостные трещины.

Постановка проблемы. Подкрановые балки относятся к конструкциям, работающим в сложных условиях многоцикловых динамических нагрузок. Обследование состояния фонда строительных металлических конструкций в Украине показывает низкую долговечность сварных составных подкрановых балок: средний срок службы 25 лет, а дефекты и повреждения появляются уже в первые три года эксплуатации [6].

Долговечность сварных подкрановых балок определяется усталостным ресурсом верхней зоны стенки у поясного шва. Именно в поясном шве и верхней зоне стенки появляются усталостные трещины.

Нормативные документы Украины запрещают работу стальных конструкций с трещинами. Для подкрановых балок тяжелого и особо тяжелого режимов работы, которые имеют усталостные трещины, возможен ремонт как временное средство для продления срока их эксплуатации. Практика показывает, что подкрановые конструкции, в том числе тяжелого и особо тяжелого режима работы, продолжают эксплуатироваться после ремонта довольно длительное время. Срок эксплуатации или допустимое число нагружений после ремонта, проведенного по той или иной технологии, не рег-

ламентируется. Однако этот показатель может быть очень важен для оценки и выбора вариантов усиления подкрановых балок.

Анализ публикаций. Проблема повышения долговечности сварных подкрановых балок исследуется уже давно. Для ее решения предлагаются, в основном, конструктивные на этапе проектирования подкрановых балок, в частности, использованием поясов из тавров, полученных роспуском прокатных двутавров. Евдокимов В.В., Щербаков Е.А. считают, что один из эффективных путей повышения долговечности элементов конструкции подкрановых балок — применение новых конструктивных решений узлов, обладающих более высоким расчетным сопротивлением усталости. В работе вышеуказанных авторов рассмотрены конструктивные решения узлов крепления поперечных ребер жесткости к стенке и верхней полке подкрановых балок, крепления "тормозного" листа к верхнему поясу и горизонтальных связей к нижнему поясу балок, а также монтажных стыков подкрановых балок, выполненных на высокопрочных болтах (сдвигоустойчивые соединения). В качестве поперечных ребер жесткости предлагается использовать неравнобокие уголки, устанавливаемые кососимметрично относительно стенки и приваренные к ней, а крепление ребер к верхнему поясу балки выполнять на высокопрочных болтах [2].

Нормативные документы Российской Федерации допускают временную эксплуатацию подкрановых балок с усталостными трещинами в верхней зоне стенки подкрановой балки [7]. При этом циклический ресурс балок на стадии роста усталостных трещин сопоставим с ресурсом от начала эксплуатации до появления визуально обнаруживаемых усталостных трещин. В европейских нормах проектирования также упоминается о том, что появление трещины не обязательно означает конец срока эксплуатации подкрановых балок, они должны ремонтироваться [3].

Цель статьи. Цель данной работы — разработка методики выбора способов усиления стальных подкрановых балок с учетом долговечности дальнейшей эксплуатации.

Основной материал. Одним из важнейших факторов, влияющих на выбор способа усиления подкрановых балок, является показатель долговечности.

Долговечность — это свойство объекта длительное время сохранять рабочее состояние при уста-

новленной системе технического обслуживания и принятом порядке проведения ремонтов [1].

Для конструкций, работающих в условиях циклического нагружения, определяется усталостная долговечность. Усталостная долговечность — прогнозируемый период времени нагружения, который должен вызывать усталостное разрушение под воздействием расчетного спектра напряжений [3].

Оценка долговечности сварных подкрановых балок может быть получена из усталостного (или циклического) ресурса верхней зоны стенки у поясного шва. Именно в поясном шве и верхней зоне стенки появляются усталостные трещины.

Ресурс — это суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние. Применительно к подкрановым конструкциям ресурс можно выражать в виде числа циклов загрузки кранами (числа проездов катков крана) — циклический ресурс, количества выпущенной (обработанной) продукции — технологический ресурс.

Многолетним опытом эксплуатации, теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено, что возможна временная безопасная эксплуатация подкрановых балок на стадии роста горизонтальных усталостных трещин в верхней зоне стенки до значительных размеров, сопоставимых с размерами отсека стенки балки. При этом циклический ресурс балок на стадии роста усталостных трещин сопоставим с ресурсом от начала эксплуатации до появления визуально обнаруживаемых усталостных трещин [7].

Усталостный ресурс подкрановых балок определяется при расчете на выносливость числом циклов загрузки кранами до возникновения усталостного разрушения.

Усиление подкрановых балок выполняется для уже частично выработавших ресурс конструкций. Определить остаточный ресурс в этом случае можно, зная историю нагружения конкретной конструкции. При отсутствии этих данных — зная режим работы мостового крана и нормативное число циклов загрузки (в сутки) n_c . Для мостовых кранов режима 7К $n_c = 420$. Выработанный ресурс определяется умножением нормативного числа циклов загрузки (в сутки) n_c на количество суток эксплуатации подкрановой балки.

При выполнении усиления не только восстанавливается сечение, но и повышается остаточный предел выносливости за счет увеличения или вос-

становления поперечного сечения подкрановой балки и изменения конструктивной формы.

При расчетах на выносливость стальных конструкций [1] определяется накопление усталостных повреждений за определенное время. При определении предельно допустимого количества циклов — по формуле:

$$N_i = \frac{A_p}{\ln \left[\frac{2\sigma_i}{(1-\rho_i)R_p} \right]} - B_p,$$

где значения коэффициентов A_p и B_p и расчетное R_p значение зависят от группы элемента, схемы элемента и расположения расчетного сечения.

Оценка сопротивления усталости выполняется по пределу выносливости для номинальных размахов напряжений цикла, определяемых по графикам сопротивления усталости, приведенным в [3]. Предел выносливости и предел повреждаемости определяется по категории элемента, которая в свою очередь зависит от описания элемента конструкции и характера соединения.

Оценка долговечности сварных подкрановых балок может быть получена из усталостного ресурса верхней зоны стенки у поясного шва по формуле:

$$N_r = N_0 \cdot 10^{\frac{\sigma_r - \bar{\sigma}_{\text{экс}}}{m}},$$

где N_r — допустимое число нагружений расчетного сечения сварной подкрановой балки (расчетный ресурс);

$N_0 = 9,5 \cdot 10^6$ — количество нагружений, соответствующее точке перелома кривой усталостных отказов сварных подкрановых балок;

$\sigma_r = 450 \text{ кгс/см}^2$ — предельное напряжение сварных подкрановых балок, характеризующее неограниченную долговечность балок;

$m = 761,39$ — параметр кривой усталостных отказов сварных подкрановых балок;

$\bar{\sigma}_{\text{экс}}$ — среднестатистическое напряжение в верхней зоне стенки от эксплуатационной крановой нагрузки [5].

В нашей работе анализировалось изменение долговечности подкрановых балок при одном из наиболее распространенных повреждений — поверхностном коррозионном износе сечения подкрановой балки [4]. В исследованиях рассмотрен коррозионный износ всего сечения, стенки, поясов. В расчетах влияние коррозии отражено изменением сечения, а именно уменьшением толщины элементов.

В качестве вариантов усиления принимались такие методы, как увеличение сечения листом и установка вертикальных ламелей. Для оценки долговечности рассчитывался усталостный ресурс верхней зоны стенки у поясного шва по методике, предложенной в [5].

В результате выполненных расчетов были получены расчетные значения числа нагружений, срок эксплуатации усиленных подкрановых балок и построены графики изменения долговечности подкрановых балок в зависимости от степени их коррозионного износа.

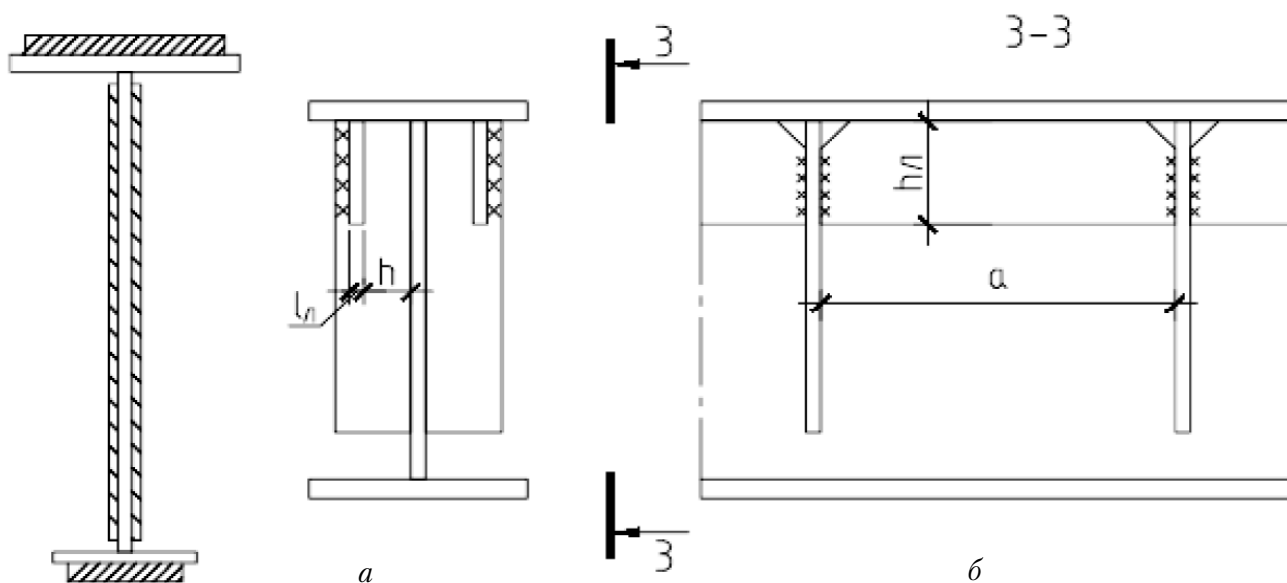


Рис. 1. Схемы усиления подкрановой балки: а — увеличение сечения листом; б — постановкой ламелей

Таблица 1. Допустимое число нагружений сечения N_г при коррозионном износе и усилении вертикальными ламелями и листом

Коррозия, %	Конструктивный элемент, подверженный коррозии								
	Верхний пояс			Стенка			Все сечение		
	Число нагружений неусиленного сечения, шт.	Число нагружений при усилении ламелями, шт.	Число нагружений при усилении листом, шт.	Число нагружений неусиленного сечения, шт.	Число нагружений при усилении ламелями, шт.	Число нагружений при усилении листом, шт.	Число нагружений неусиленного сечения, шт.	Число нагружений при усилении ламелями, шт.	Число нагружений при усилении листом, шт.
30	7,89 E+05*	6,2 E+05*	2,01 E+06*	7,78 E+05*	1,93 E+06*	4,33 E+06	3,27E+05	1,09 E+06	2,01 E+06
40	6,24 E+05	1,89 E+06	1,66 E+06	5,48 E+05*	1,42 E+06*	3,93 E+06	1,52E+05	**	2,01 E+06
50	4,93 E+05	1,66 E+06	1,49 E+06	3,45 E+05*	9,46 E+05*	3,51 E+06	5,69E+04	**	2,01 E+06
60	3,89 E+05	1,49 E+06	1,35 E+06	1,80 E+05	5,30 E+05	3,07 E+06	1,49E+04	**	2,01 E+06

Таблица 2. Срок эксплуатации при коррозионном износе и усилении вертикальными ламелями и листом

Коррозия, %	Конструктивный элемент, подверженный коррозии								
	Верхний пояс			Стенка			Все сечение		
	Срок эксплуатации неусиленного сечения, лет	Срок эксплуатации при усилении ламелями, лет	Срок эксплуатации при усилении листом, лет	Срок эксплуатации неусиленного сечения, лет	Срок эксплуатации при усилении ламелями, лет	Срок эксплуатации при усилении листом, лет	Срок эксплуатации неусиленного сечения, лет	Срок эксплуатации при усилении ламелями, лет	Срок эксплуатации при усилении листом, лет
30	2,58*	7,21*	6,55*	2,54*	6,31	14,1	1,07	3,54	10,52
40	2,03	6,15	5,42	1,79*	4,64	12,8	0,50	**	8,11
50	1,61	5,40	4,85	1,13*	3,09	11,4	0,19	**	6,36
60	1,27	4,86	4,40	0,59	1,73	10,0	0,05	**	4,89

Примечания:

* – при коррозионном износе выполняются требования при расчете на выносливость неусиленной балки; усиление необходимо при расчете на прочность;

** – не приводятся значения, т.к. при общем коррозионном износе всего сечения 40% и более усиление вертикальными ламелями неэффективно, не выполняются требования при расчете на выносливость;

не рассматривался коррозионный износ нижнего пояса, т.к. не влияет на циклический ресурс подкрановой балки.

Коррозия нижнего пояса не влияет на усталостный ресурс подкрановой балки, а при коррозионном износе стенки усиление необходимо только при 60%. Усиление ламелями целесообразно при коррозионном износе всего сечения до 30%. При общей коррозии более 40% при усилении ламелями не выполняются требования при расчете на выносливость[5].

Установлено, что изменение толщины ламели от 14 до 30 мм незначительно влияет на допустимое число нагружений.

Из графиков рис. 2 видно, что усиление подкрановой балки ламелями повышает работоспособное состояние балки на 4...5 лет по сравнению с ре-

Долговечность подкрановой балки

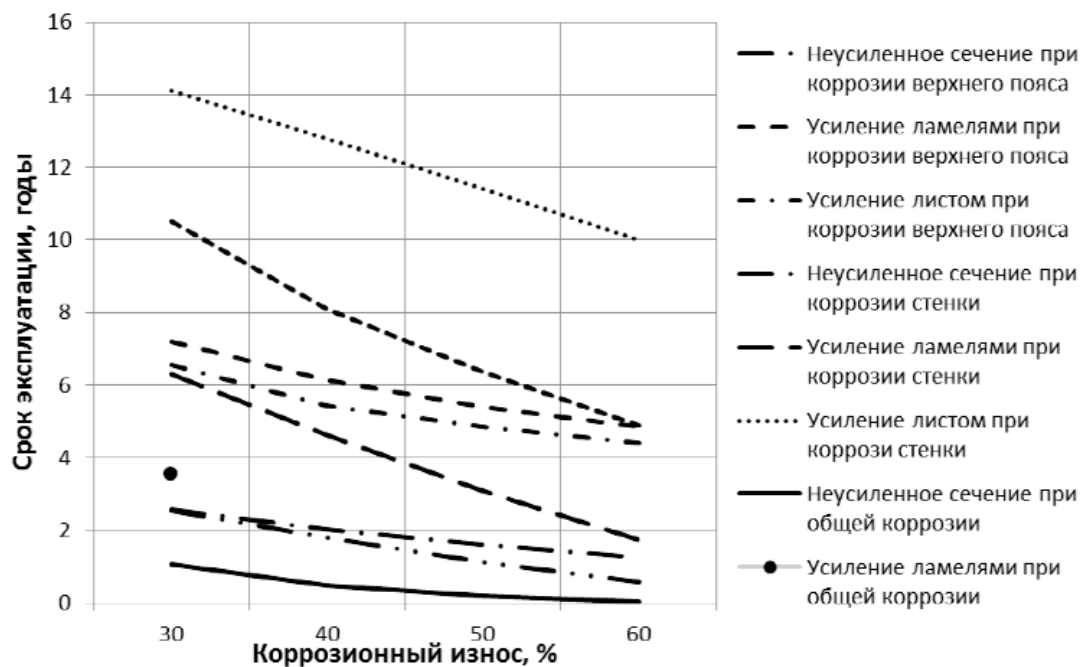


Рис. 2. Изменение долговечности подкрановой балки в зависимости от коррозионного износа

сурсом в поврежденном состоянии. Однако долговечность усиленной балки снижается с увеличением процента коррозионного износа за счет применения ламелей одинаковых размеров.

Значительное увеличение долговечности подкрановых балок при усилении верхнего пояса листом связано с конструктивными требованиями значения толщины металла усиления.

Не каждое технологическое решение по усилению приведет к повышению долговечности поврежденных подкрановых балок. Не всегда использование дополнительного металла положительно отражается на работе конструкции. Например, применение накладок на трещины не повысит общей усталостный ресурс балки.

При оценке долговечности рассматривалось изменение металлоемкости методов усиления. При усилении ламелями показатель металлоемкости не зависит от коррозионного износа, т.к. высота ламели назначается исходя из шага поперечных ребер жесткости, а толщина зависит от соотношения модуля упругости и расчетного сопротивления стали по пределу текучести. При усилении листом металлоемкость незначительно растет.

Увеличение металлоемкости нельзя связать напрямую с повышением долговечности. Рационально использовать усиление дополнительным

металлом, сечение которого не превышает проектных значений.

Для оценки эффективности усиления подкрановых балок различными технологиями предложен показатель относительной стоимости K_{OC} , который определяется по формуле:

$$K_{OC} = C/D, \text{ грн./год эксплуатации,}$$

где C — сметная стоимость усиления, грн;

D — усталостная долговечность подкрановой балки, лет.

Усталостная долговечность подкрановой балки определяется из отношения усталостного ресурса верхней зоны стенки, выраженной числом циклов нагружений N_r , к количеству нагружений в сутки n_c :

$$D = N_r / n_c.$$

Выводы

Предложенная методика позволяет оценить эффективность усиления подкрановых балок по показателям долговечности и относительной стоимости, выбрать метод усиления по показателю долговечности дальнейшей эксплуатации. При выборе эффективного метода усиления учитывается состояние конструкции, выявленные дефекты, возможность использования технологии усиления в конкретных условиях.

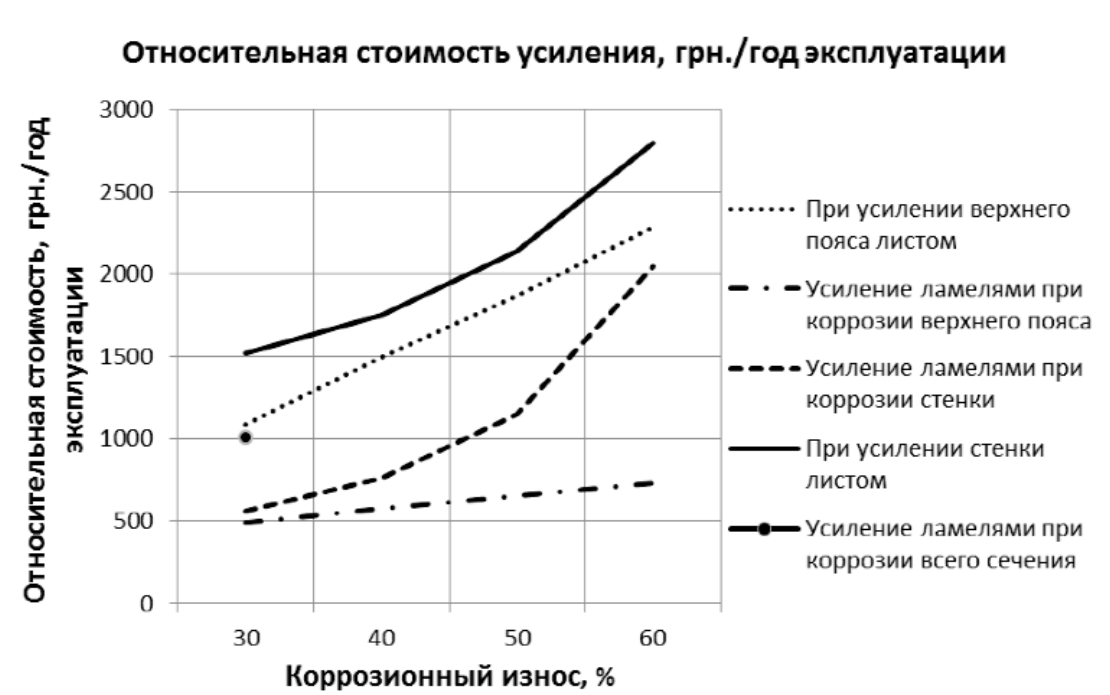


Рис. 3. Изменение относительной стоимости усиления подкрановой балки различными методами

ЛИТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.6-163:2010. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу / Мінірегіонбуд України. — К.: Укрархбудінформ, 2011.
2. Евдокимов В.В., Щербаков Е.А. К вопросу повышения расчетной долговечности элементов конструкции подкрановых балок. / В.В.Евдокимов, Е.А. Щербаков //Промышленное и гражданское строительство, 2008. — № 5 — С. 18-21.
3. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-9 Усталостная прочность. Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. Минск, 2010.— 43с.
4. Кожемяка С.В., Крупенченко А.В., Величко И.И. Выбор технологии усиления стальных подкрановых балок/ С.В. Кожемяка, А.В. Крупенченко, И.И. Величко//Вестник ДонНАСА "Технология, организация, механизация и геодезическое обеспечение строительства", 2010.— №3(83) — С. 47-53.
5. Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к СНиП II-23-81*). — М.: Стройиздат, 1989. — 159 с.
6. Стан та залишковий ресурс фонду будівельних металевих конструкцій в Україні. /А.В. Перельмутер, В.М. Гордеев, Є.В. Горохов та ін. — К.: Сталь, 2002.-167с.
7. СТО 22-05-04. Руководство по определению индивидуального ресурса стальных подкрановых балок с усталостными трещинами в стенках для

допущения их временной эксплуатации. Часть 1. Основные положения (предназначено для экспертов) Новосибирск, 2004 — 32с.

АНОТАЦІЯ

Авторами запропонована методика вибору ефективного способу підсилення сталевих підкранових балок з їх станом та умов виконання робіт. Стан підкранових балок описується сукупністю дефектів та пошкоджень, що найчастіше зустрічаються. За критерій ефективності методу підсилення підкранових балок прийнята відносна вартість їх підсилення.

Ключові слова: підсилення, підкранові балки, довговічність.

ANNOTATION

Authors offered a technique of a choice of an effective way of strengthening of steel subcrane beams taking into account their condition and conditions of performance of work. The condition of subcrane beams is described by set of most often meeting defects and damages. The criterion of efficiency of a method of strengthening of subcrane beams accepted the relative cost of their strengthening determined taking into account durability of further operation.

Keywords: strengthening, subcrane beams, durability, fatigue cracks.