

At working of Podgorodnyanskiy sands mine the «shallow dredge – pipeline – classifier plant» complex of mining and processing on the base of classifier hydraulic horizontal KGG is firstly applied. Technology foresees the shallow dredge soil extraction, hydrotransportation on the processing plant, processing on a classifier KGG 250–0,16, dehydration and warehousing of the prepared products, lighting up of water and plums to shallow dredge reservoir. The ground of rational technological and structural parameters of KGG 250–0,16 with the use of the developed models of solid particle motion trajectories in a horizontal classifier is executed. Planning and development of classifier KGG 250–0,16 designer document with the use of Solidworks and Mathcad software is executed. The executed project-designer works allowed to define setting, application, requirement to the engineering providing, advantage domain, and also to build description of classifier.

Key words: mining complex, processing of raw material, classifier hydraulic horizontal.

REFERENCES

1. Bessonov E.A (1999), Technology and mechanization of the hydraulic mechanization works: Certificate manual for engineers and technicians, Tsentr, Moscow, RU.
2. Рабочий проект разработки Подгороднянского месторождения песка: Рабочий проект/ Национальный горный университет (НГУ); Руководитель А.А.Бондаренко. - №ГР 0108U004592-Днепропетровск, 2008.
3. Bondarenko A.A. (2013), « Theoretical bases of solid particle co-operation process with the stream of liquid», Sbornik nauchnix trudov DDTU no.3(23), pp. 151 – 158.
4. Bondarenko A.A. (2013), «Mathematical design of solid particle motion under influence of speed pressure», [Metallurgical and mining industry] no.1, pp. 66 – 68.
5. Обоснование параметров гидравлического классификатора для обогащения строительного песка Подгороднянского месторождения: НИР / Национальный горный университет (НГУ); Научный руководитель А.А.Бондаренко. - №ГР 0108U004590-Днепропетровск, 2008.

Стаття надійшла 24.04.2014.

УДК 624:620.19:622.791.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРОПИЛЬНОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ФЕРМЫ

А. П. Иванова

ГВУЗ «Национальный горный университет»

просп. К. Маркса, 19, г. Днепропетровск, 4900, Украина.

E-mail: shivatro@yandex.ru

Рассмотрена задача оптимального проектирования стропильной стальной фермы в программном комплексе Autodesk Robot Structural Analysis (три проекта весовой оптимизации), актуальность которой обусловлена тем, что последнее время у многих сооружений изменяются функциональные назначения, произво-

дится их реконструкция, часто с увеличением нагрузок. С течением времени несущая способность, надежность и остаточный ресурс металлических конструкций понижаются вследствие накопления повреждений или появления и развития дефектов. Учтено влияние эксплуатационных нагрузок на конструкцию с повреждениями отдельных элементов. Выявлен резерв несущей способности. Получен оптимальный проект, учитывающий как экономию металла, так и удобство монтажа.

Ключевые слова: стальная ферма, оптимизация, несущая способность, моделирование, напряжение, коррозионные повреждения, площадь сечения, стержневые элементы.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ І ОПТИМАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ КРОКВЯНОЇ МЕТАЛЕВОЇ ФЕРМИ

Г. П. Іванова

ДВНЗ «Національний гірничий університет»

просп. К. Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, Україна.

E-mail: shivatro@yandex.ru

Розглянуто завдання оптимального проектування кроквяної сталеві ферми в програмному комплексі Autodesk Robot Structural Analysis (три проекти вагової оптимізації), актуальність якої обумовлена тим, що останнім часом у багатьох споруд змінюються функціональні призначення, здійснюється їх реконструкція, часто зі збільшенням навантажень. Несуча здатність, надійність і залишковий ресурс металевих конструкцій знижуються внаслідок накопичення ушкоджень або появи і розвитку дефектів. Урахований вплив експлуатаційних навантажень на конструкцію з ушкодженнями окремих елементів. Виявлений резерв несучої здатності. Отриманий оптимальний проект, що враховує як економію металу, так і зручність монтажу.

Ключові слова: сталева ферма, оптимізація, несуча здатність, моделювання, напруження, корозійні ушкодження, площу перерізу, стержневі елементи.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. В последнее время у многих сооружений изменяются функциональные назначения, производится их реконструкция, часто с увеличением нагрузок. Для предупреждения аварий и разрушений конструкций, для продления времени эксплуатации необходимо владеть информацией об уровне их надежности и резерве несущей способности. Вопросы оптимального проектирования таких конструкций и длительной их эксплуатации являются актуальными.

Задачи оптимизации стержневых систем делятся на две большие группы [1, 2]. К *первой* относятся задачи оптимизации внешних воздействий на систему. В качестве примеров могут быть названы задачи поиска оптимального статического или динамического нагружения системы. *Вторая* группа включает в себя задачи параметрической оптимизации систем. В таких задачах осуществляется

управление основными характеристиками системы, например, распределением массы, жёсткости, площади поперечных сечений.

Значительное развитие теории оптимального проектирования стержневых конструкций связано с совершенствованием вычислительной техники. Применительно к расчёту конструкций наиболее эффективным и удобным вычислительным методом является метод конечных элементов (МКЭ).

Анализ работ по оптимальному проектированию стержневых конструкций [4, 5] показывает, что к настоящему времени сформировались следующие постановки задач оптимизации стержневых конструкций:

- минимизация массы конструкции с фиксированной геометрией решётки или срединной поверхности (распределение масс по элементам заданной осевой схемы или вдоль срединной поверхности заданных очертаний);
- оптимизация формы и упругих свойств материала конструкции;
- поиск оптимального распределения внешних нагрузок.

В настоящее время теория оптимального проектирования является одним из важных и развивающихся разделов в механике деформируемого твёрдого тела, на котором базируются проектные расчёты строительных конструкций [6, 7].

Целью работы является исследование влияния эксплуатационных нагрузок на надёжность стропильной стальной фермы с уже накопившимися повреждениями, определение ее резерва несущей способности.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Одним из определяющих показателей качества оптимальных многоэлементных металлических стержневых конструкций остаётся минимум массы. Моделирование заключается в следовании направлениям потоков основных напряжений, возникающих в элементах конструкции от действия заданных нагрузок и последующем перераспределении материала таким образом, чтобы сконцентрировать его в направлениях и областях действия наибольших напряжений и, наоборот, – ослабить малонапряженные участки.

В данной работе для математического моделирования был использован расчётный комплекс Robot Structural Analysis, реализующий процедуру МКЭ и ориентированный на строительные конструкции. Этот комплекс имеет развитый модуль, позволяющий рассматривать отказы несущих элементов в динамической постановке с учётом геометрических и физических нелинейностей.

Задача весовой оптимизации (1) стропильной фермы формулируется как сменная оптимизационная задача, т.е. варьируются как параметры элементов фермы, так и координаты некоторых ее узлов. Несущая способность конструкции в течение заданного срока эксплуатации обеспечивается ограничениями по прочности (2) и устойчивости (3) элементов фермы, а также ограничениями по жёсткости (4) и конструктивными ограничениями (5).

Постановка задачи весовой оптимизации:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 F = F_i(\bar{x}) \rightarrow \min \quad (1) \\
 g_1 = [\sigma] - \sigma_i(\bar{x}) \geq 0, \quad i = 1, N \quad (2) \\
 g_2 = \sigma_j^*(\bar{x}) - \sigma_j(\bar{x}) \geq 0, \quad j \in J \quad (3) \\
 g_3 = [f] - f_k(\bar{x}) \geq 0, \quad k \in K \quad (4) \\
 g_4 = (x_m^+ - x_m)(x_m - x_m^-) \geq 0, \quad m = 1, M, \quad (5)
 \end{array} \right.$$

где \bar{x} – вектор варьируемых параметров; $F_i(\bar{x})$ – площадь сечения i -го элемента; $[\sigma]$ – предельно допустимое значение напряжения; $\sigma(\bar{x})$ – текущее напряжение в i -ом конечном элементе; $\sigma^*(\bar{x})$ – критические напряжения потери устойчивости (для сжатых элементов); $[f]$ – предельное значение прогиба; $f_k(\bar{x})$ – текущее значение перемещения; N – количество конечных элементов в модели; J – количество элементов, в которых возможна потеря устойчивости; K – количество узлов, в которых проверяется условие жёсткости; M – количество варьируемых параметров.

В качестве объекта исследования принята металлическая 47-ми элементная ферма, аналогом которой является стропильная ферма прокатного цеха Днепропетровского трубопрокатного завода (рис. 1). Ферма имеет следующие параметры: максимально допустимый прогиб $[f] = 2,5$ см; $[\sigma] = 250$ МПа; суммарная нагрузка на верхнем поясе фермы 15,5 т. При расчёте учитывались коррозионные повреждения некоторых ее элементов. Моделирование коррозионных повреждений выполнено аналогично [7]. Масса конструкции пересчитывалась на каждом шаге оптимизации.

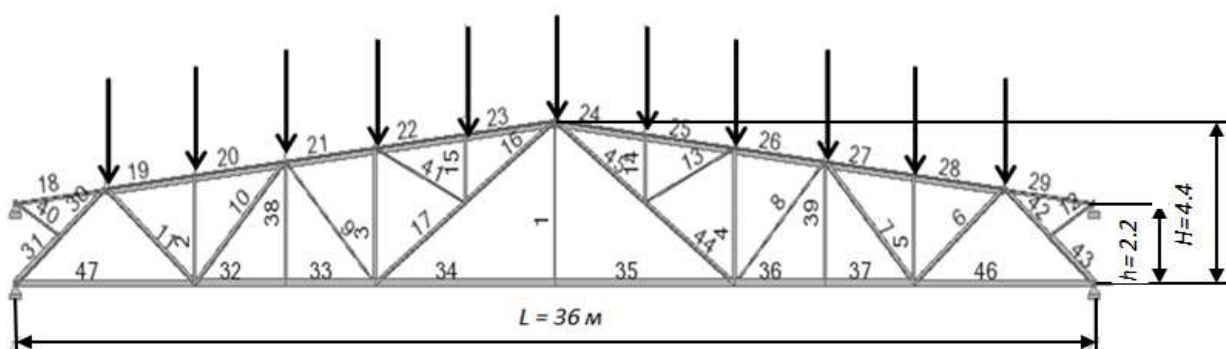


Рисунок 1 – Схема стропильной фермы

По результатам сбора нагрузок произведён расчёт фермы с определением эксплуатационных усилий в стержнях. После чего осуществлён подбор сечений ее элементов и проведена параметрическая оптимизация.

В исходном проекте фермы стержневые элементы были выполнены из уголков профиля (ГОСТ 8509–85 и 8510–86) табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристики сечень елементів вихідного проекту ферми

Номера елементів	Размери сечень, уголок, мм
1, 8	160x100x10
2–7, 10–19, 21, 45	200x200x14
22, 23, 25, 41, 43, 44	140x140x10
9, 20, 24, 42	90x90x8
26, 29, 33, 37, 40	63x63x6
27, 30, 36, 39, 46, 47	75x75x6
28, 38	125x125x12
31, 32, 34, 35	125x80x8

Оптимізація ферми представлена трьома проектами.

1. Удалення елементів.

Исходя из полученных карт напряжений (рис. 2) определялись малонагруженные элементы, которые затем удалялись (на рисунке указаны стрелками).

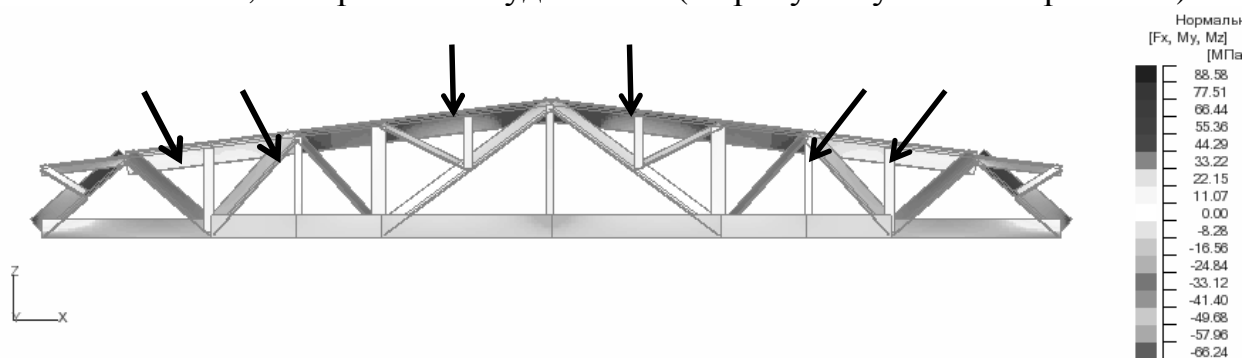


Рисунок 2 – Карта напряжений в исходной ферме

Это позволило достичь более равномерного распределения напряжений в элементах фермы и снизило расход металла на 4,2 %. Дальнейшее удаление элементов нецелесообразно, т.к. может привести к потере устойчивости верхнего пояса фермы (рис. 3).

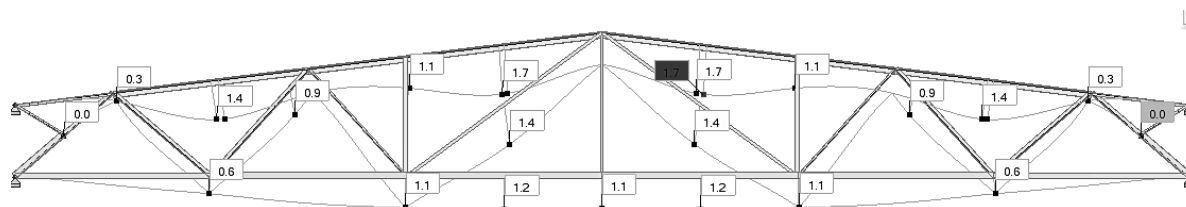


Рисунок 3 – Прогибы фермы при удалении элементов

2. Уменьшение площади поперечного сечения элементов фермы.

Сечения стержней представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Характеристики элементов второго проекта оптимизации фермы

Номера элементов	Размеры сечений, уголок, мм
18–29	125x80x8
32, 33, 36, 37, 47, 47	90x8
11, 30, 34, 35, 6, 42	140X10
31, 43	200x14
1–5, 8, 9, 1–17, 38, 39, 41, 44, 45	63x6

Как и в предыдущем проекте оптимизации, была достигнута экономия металла по сравнению с исходным на 55,2 %, а по сравнению с первым – на 53,3 %.

Уменьшение площади конструкции, контактирующей с агрессивной средой позволяет снизить коррозионные повреждения и сэкономить на антикоррозионных мероприятиях.

3. Изменение формы поперечного сечения.

Элементы фермы имеют трубчатые сечения, их характеристики представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Характеристики элементов третьего проекта оптимизации фермы

Номера элементов	Размеры сечений, мм
18–29, 32–37, 46, 47	108x5
2, 10–12, 6, 7, 40	95x5
30, 31, 42, 43	121x8
3, 4, 8, 9, 13–17, 1, 41, 44, 45, 39	68x5

Трубчатое сечение обладает наиболее благоприятным распределением материала относительно центра тяжести и большим радиусом инерции, одинаковым во всех направлениях, что обеспечивает, по сравнению с открытыми профилями той же площади, высокую общую и местную устойчивость стержней. Также сечение в виде трубы является, в силу своей формы, коррозионностойким.

Сравнение проектов оптимизации приведено в табл. 4.

Таблица 4 – Результаты проектов оптимизации

Оптимизация	Вес конструкции, кг	Площадь окраски, м ²	Максимальный прогиб, см
Исходный проект	4216	87,85	1,3
Вырезание стержней	4040	81,25	1,7
Изменение формы сечения	1888	58,52	2,3
Изменение площади сечения	1794	46,59	2,4

Изменение веса фермы на этапах оптимизации для трёх проектов показано на рис. 4.

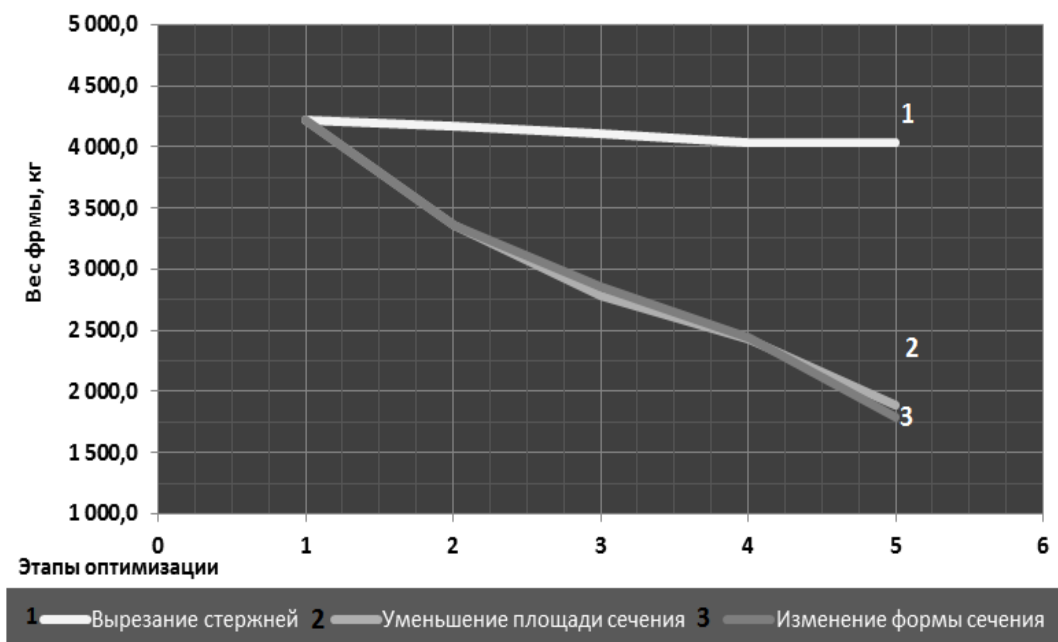


Рисунок 4 – Результаты оптимизации фермы

Во многих работах показано преимущество стержневых элементов металлоконструкций с круглым или трубчатым сечением [2, 7]. Но круглые или трубчатые стержни трудно соединять в узле при изготовлении или монтаже металлоконструкций.

Применение прокатного профиля (второй проект оптимизации) с уменьшенным сечением превышает по расходу металла (3) проект на 5 %, но при этом достигается простота монтажа, что в итоге более экономично.

Разница в прогибах оптимизированной конструкции, полученная при сравнении результатов расчёта в Robot и Лира составила в пользу Robot для наиболее экономичных второго и третьего проектов 23 и 25% соответственно, что иллюстрирует рис. 5.

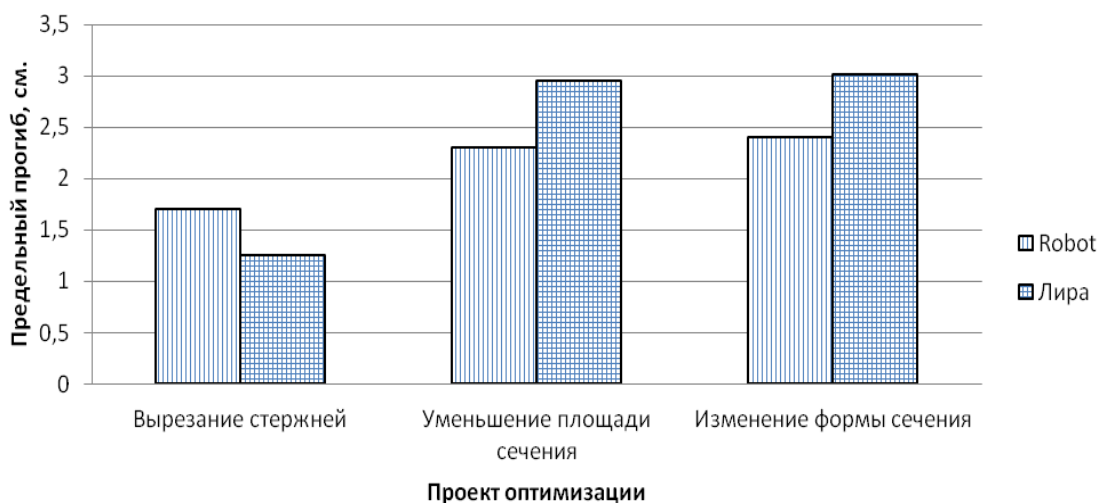


Рисунок 5 – Сравнение результатов расчёта в Лире и Robot

ВЫВОДЫ. В виду того, что элементы реальных конструкций, имеющие в большинстве своём постоянные геометрические и физические характеристики, нагружены с разной интенсивностью и поэтому различаются напряжениями, конструктивные схемы с постоянными характеристиками элементов заведомо нерациональны.

Следует учесть, что необоснованные изменения расчётной схемы могут привести к разрушению конструкции или повлиять на ее живучесть. Установлено, что исключение из работы некоторых элементов фермы приводит к росту моментов и поперечной силы, что влечёт обрушение всей конструкции.

В последнее время распространена тенденция реконструкции существующих сооружений. В связи с этим результаты выполненной работы могут быть полезны при оценке несущей способности эксплуатируемых стальных конструкций и в определении возможности устройства надстроек и других видов реконструкции. Также для выявления резерва несущей способности стержневых металлоконструкций с повреждениями отдельных элементов.

Резерв можно объяснить тем обстоятельством, что конструкции, введённые в эксплуатацию несколько десятилетий назад, имели более высокий запас прочности а, следовательно, имеют запас несущей способности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хог Э., Арора Я. Прикладное оптимальное проектирование // Механические системы и конструкции. – М.: Мир, 1983. – 479 с.
2. Овчинников И.Г., Дворкин М.С., Сабитов Х.А. Банк математических моделей коррозионного износа, применяемых для прогнозирования поведения металлоконструкций // Проблемы прочности материалов и конструкций, взаимодействующих с агрессивными средами: Межвуз. научн. сбор. – Саратов: СГТУ, 1993. – С. 141–150.
3. Алексеенко Б.Г. Расчет и оптимальное проектирование рамных систем, подверженных коррозионному износу // Математические методы в задачах расчета и проектирования сложных механических систем: сбор. научн. трудов. – К., 1992. – С. 4–10.
4. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций. – М.: АСВ, 2007. – 256 с.
5. Юрьев А.Г. Основы проектирования рациональных несущих конструкций. – Белгород: БТИСМ, 1988. – 94 с.
6. Павлова Т.А. Развитие метода расчета строительных конструкций на живучесть при внезапных структурных изменениях: автореф. дис. ... канд. техн. наук; ОГТУ, Орел, 2006. – 22 с.
7. Зеленцов Д. Г. Расчет конструкций с изменяющейся геометрией в агрессивных средах. Стержневые системы. – Днепропетровск: УГХТУ, 2002. – 168 с.

СУЧАСНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РОЗРОБКИ КОРИСНИХ КОПАЛИН
**RESEARCH OF LONGEVITY AND OPTIMAL PLANNING
OF RAFTER METAL TRUSSES**

A. Ivanova

State Higher Education “National Mining University”

Prosp. K. Marksa, 19, Dnipropetrovsk, Ukraine. E-mail: shivatro@yandex.ru

The task of the optimal planning of стропильной steel farm is considered in a programmatic complex Autodesk Robot Structural Analysis (three projects of gravimetric optimization), actuality of that is conditioned by that the last time the functional setting change at many building, their reconstruction is produced, often with the increase of loading. In time bearing strength, reliability and remaining resource of metallic constructions, fall down because of accumulation of damages or appearance and development of defects. Influence of the operating loading is taken into account on a construction with the damages of separate elements. Reserve of bearing strength is reduced. An optimal project taking into account is got, both economy of metal and comfort of editing.

Key words: steel farm, optimization, bearing ability, design, tension, corrosive damages, area of section, cored elements.

REFERENCES

1. Hog E. and Arora Ya. (1983), *Prikladnoe optimalnoe proektirovanie* [Applied optimal planning], Mir, Moscow, Russia.
2. Ovchinnikov I. G., Dvorkin M. S. and Sabitov KH. A. (1993), “Bank of mathematical models of corrosive wear, applied for forecasting of metallic constructions behavior”, *Problems of durability of materials and constructions, cooperating with aggressive environments : Mezhhvuzovskiy nauchnyy sbornik, Saratov: SGTU*, pp. 141 - 150.
3. Alekseenko B.G. (1992), “Calculation and optimal planning of the frame systems subject to the corrosive wear”, *Matematicheskie metody v zadachakh raschyeta i proektirovaniya slozhnykh mekhanicheskikh sistem, Zbirnyk naukovykh prac, Kiev*, pp.4-10.
4. Perelmuter A. V. (2007), *Izbrannyye problemy nadezhnosti i bezopasnosti stroitelnykh konstruksiy* [Select problems of reliability and safety of building constructions], ASV, Moscow, Russia.
5. Yuryev A.G. (1988), *Osnovy proektirovaniya ratsionalnykh nesushchikh konstruksiy* [Bases of planning of rational load carrying structures], BTISM, Belgorod, Russia.
6. Pavlova T.A. (2006), "Development of method of calculation of building constructions on vitality at sudden structural changes", Thesis abstract for Cand.Sc. (Engineering), OGTU, Orel, Russia.
7. Zelentsov D. G. (2002), *Calculation of constructions with changing geometry in aggressive environments. Cored systems* [Calculation of constructions with changing geometry in aggressive environments. Cored systems], UGKHTU, Dnipropetrovsk, Ukrainian.

Стаття надійшла 14.05.2014.