



ISSN 1819-432X print / ISSN 1993-3495 online

**СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО**  
**СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО**  
**MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION**

ТОМ 6, №3, 2010, 159-168

УДК 621.878.2

## **ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ФОРМ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ РОБОЧОГО УСТАТКУВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН НА ПІДСТАВІ АНАЛІЗУ ЇХ МІЦНІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ**

**В. О. Талалай**

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,  
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.  
E-mail: vtalalay@rambler.ru*

*Отримана 18 серпня 2010; прийнята 24 вересня 2010.*

**Анотація.** У роботі розглянуті питання підвищення міцнісних властивостей металоконструкцій робочого устаткування будівельних і дорожніх машин, які піддаються впливу як статичних, так і динамічних навантажень, що руйнівню позначається на конструкції. Автором розкриті особливості конструювання металоконструкцій коробчастої форми (пустотілих балок), характерних для будівельних і дорожніх машин. У роботі проведений аналіз міцнісних властивостей металоконструкцій різних геометричних форм із використанням програмного забезпечення CAD Solid Works Simulation 2010, що дозволив одержати епюри та діаграми напруження і запасу міцності досліджуваних металоконструкцій з різними геометричними формами. Також моделювання дозволило одержати велику кількість даних про зміну досліджуваних факторів від сприйманих навантажень, на підставі яких були встановлені шляхи підвищення їх міцнісних властивостей. Запропоновано конструкцію робочого устаткування, що володіє підвищеними міцнісними параметрами, що була сформована на підставі представленого в роботі аналізу й методиці заповнення порожнини трубчастої форми фібробетоном.

**Ключові слова:** металоконструкція, навантаження, напруження, міцність, властивості, геометрична форма.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФОРМ МЕТАЛОКОНСТРУКЦИЙ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН НА ОСНОВАНИИ АНАЛИЗА ИХ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ**

**В. А. Талалай**

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,  
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.  
E-mail: vtalalay@rambler.ru*

*Получена 18 августа 2010; принята 24 сентября.*

**Аннотация.** В работе рассмотрены вопросы повышения прочностных свойств металлоконструкций рабочего оборудования строительных и дорожных машин, которые подвергаются воздействию как статических, так и динамических нагрузок, что разрушительно сказывается на конструкции. Автором раскрыты особенности конструирования металлоконструкций коробчатой формы (пустотелых балок), характерных для строительных и дорожных машин. В работе проведен анализ прочностных свойств металлоконструкций различных геометрических форм с использованием программного обеспечения CAD Solid Works Simulation 2010, который позволил получить эпюры и диаграммы напряжений и запаса прочности исследуемых металлоконструкций с различными геометрическими формами. Также

моделирование позволило получить большое количество данных об изменении исследуемых факторов от воспринимаемых нагрузок, на основании которых были установлены пути повышения их прочностных свойств. Предложена конструкция рабочего оборудования, обладающая повышенными прочностными параметрами, которая была сформирована на основании представленного в работе анализа и методике заполнения полости трубчатой формы фибробетоном.

**Ключевые слова:** металлоконструкция, нагрузки, напряжение, прочность, свойства, геометрическая форма.

## DETERMINATION OF RATIONAL GEOMETRY OF METALWORKS OF OPERATIONAL EQUIPMENT OF BUILDING MACHINES ON ANALYSIS OF THEIR STRENGTH PROPERTIES

V. O. Talalay

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.*

*E-mail: vtalalay@rambler.ru*

*Received on August 18, 2010; accepted on September 24, 2010.*

**Abstract.** The paper deals with the problems of strength properties improvement of metalworks of operational equipment of construction and road-building machines exposed both to the effect of static and dynamic loads destructively impacting on the structures. The author has revealed the peculiarities of designing of box-type metalworks (hollow beams) typical for construction and road-building machines. The analysis of strength properties of metalworks of various geometry with CAD Solid Works Simulation 2010 software having enabled to get stress diagrams and safety factor of the investigated metalworks of various geometry has been made. The simulation has enabled to get a data file of modification of investigated factors from the received loads on the basis of which the ways of improvement of their strength properties have been received. The operational equipment structure with increased strength parameters formed on the basis of analysis and design of hollow beam filling with fibrous concrete has been offered.

**Keywords:** metalworks, loads, stress, strength, properties, geometry.

### Введение

Металлоконструкции строительных и дорожных машин должны удовлетворять требованиям не только прочности, но и экономичности. Одной из главных целей при проектировании современных машин является максимальное уменьшение металлоемкости конструкции, применение и интеграция более дешевых по стоимости материалов, без потери несущей способности, прочностных свойств и ряда других физико-механических характеристик.

### Особенности конструирования металлоконструкций строительных машин

Расчет конструкций обычно ведется, исходя из внешних воздействий на нее и ее сопротивления этим воздействием, а также специфики и особенностей проектируемого узла машины.

Сопротивление представляет собой основную функцию несущей конструкции; оно определяется физическими характеристиками и геометрическими параметрами элементов и их соединений. Воздействие в отличие от сопротивления обычно имеет случайный характер, поэтому расчет конструкций обычно проводится по предельным значениям воздействующих сил [1].

Конфигурация металлоконструкций строительных и дорожных машин (МК СДМ) (рис. 1) в процессе работы не является постоянной, а внешние силы, воздействующие на рабочий орган и другие узлы универсальных машин (т. е. машин, имеющих комплектацию не менее 4 видов рабочего оборудования) непрерывно изменяются, будь-то машина циклического или постоянного действия, следовательно, вопросы выбора оптимального конструктивного решения в этом случае особо актуальны.

Очередной особенностью работы металлоконструкций МЗР является динамический режим, при котором конструкции испытывают переменные во времени напряжения (рис. 2, 3).

Такие напряжения ведут к фактору усталости материала, а следовательно, уменьшению долговечности конструкции, что можно наблюдать рассмотрев:

– Расчет по допускаемым напряжениям [1, 2, 3]:

$$\sigma \leq [\sigma] = \frac{\sigma_{II}}{n}, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – от действия основных и случайных или аварийных нагрузок;

$[\sigma]$  – допускаемое напряжение;

$\sigma_{II}$  – предельное напряжение для данного материала;

$n$  – коэффициент запаса прочности.

При расчете на устойчивость или усталость формула (1) принимает вид:

$$\sigma \leq \varphi \cdot [\sigma] \text{ или } \sigma \leq \gamma \cdot [\sigma], \quad (2)$$

где  $\varphi$  и  $\gamma$  – коэффициенты, учитывающие соответственно снижение допускаемого напряжения

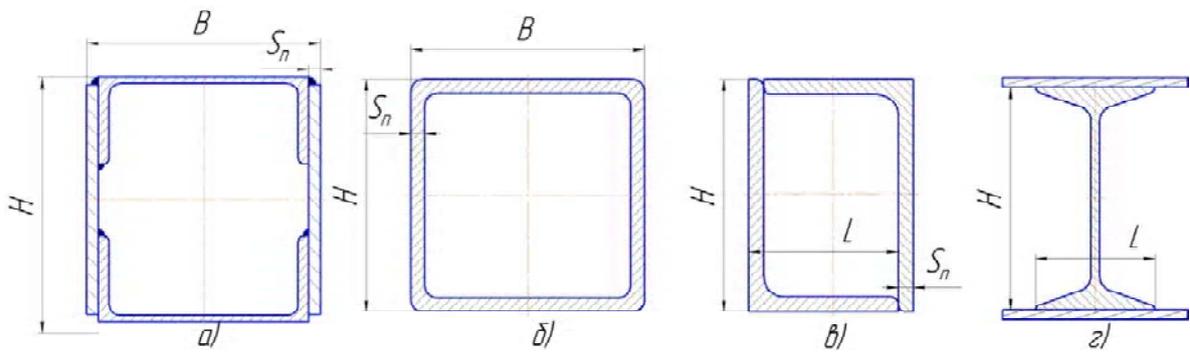


Рисунок 1. Металлоконструкции, применяемые в СДМ: а – балка с усиливающими пластинами, выполненная из 2-х швеллеров; б – балка коробчатого сечения; в – балка, выполненная из 2-х уголков; г – двутавр с усиливающими пластинами.

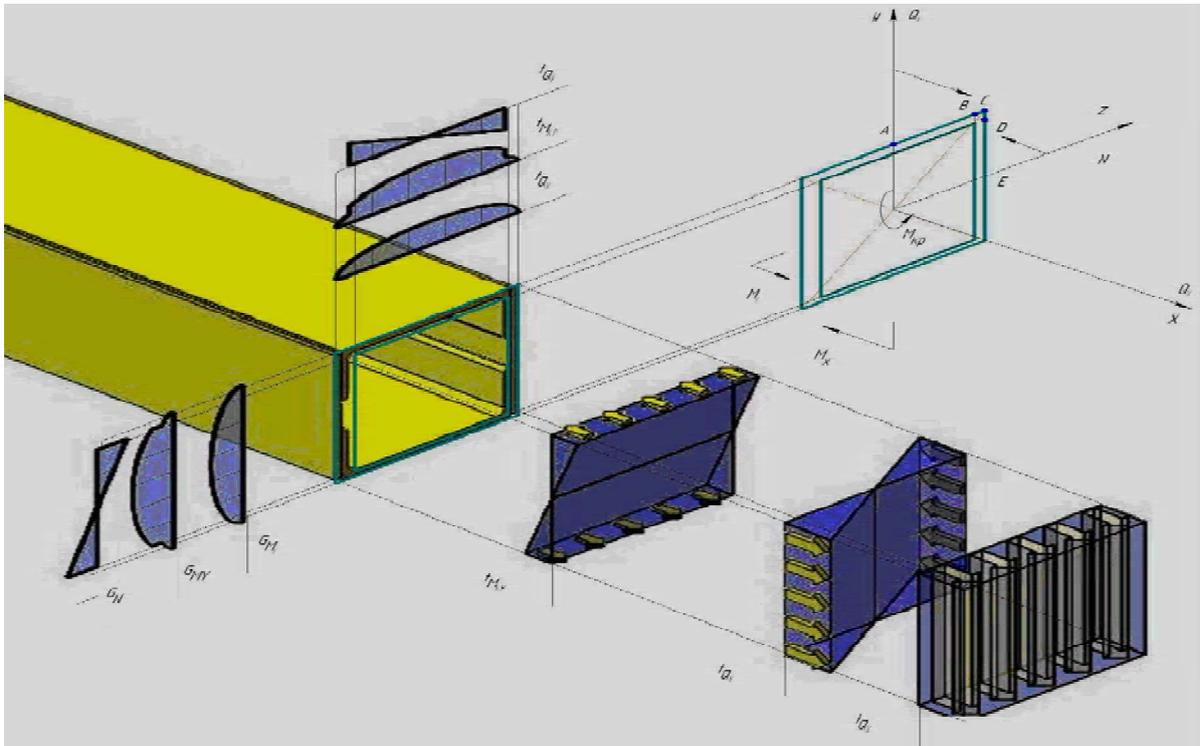


Рисунок 2. Схемы возникающих напряжений в МК коробчатого сечения (толкающий брус бульдозера).

в задачах устойчивости и усталостного разрушения конструкции.

- Расчет для оценки предельного состояния металлоконструкций по несущей способности [1, 2, 3]:

$$\sum \sigma_I n_I \leq \sigma_T k k_y = R k_y, \quad (3)$$

где  $\sigma_I$  – напряжение в данной точке, вызываемое действием одной из расчетных нагрузок;

$n_I$  – коэффициент возможного превышения расчетной нагрузки;

$\sigma_T$  – нормативный предел прочности (для стали предел текучести);

$k$  – коэффициент, учитывающий случайное изменение сопротивления материала;

$R$  – расчетное сопротивление материала;

$k_y$  – коэффициент условий работы конструкций.

- Расчет на надежность МК СДМ:

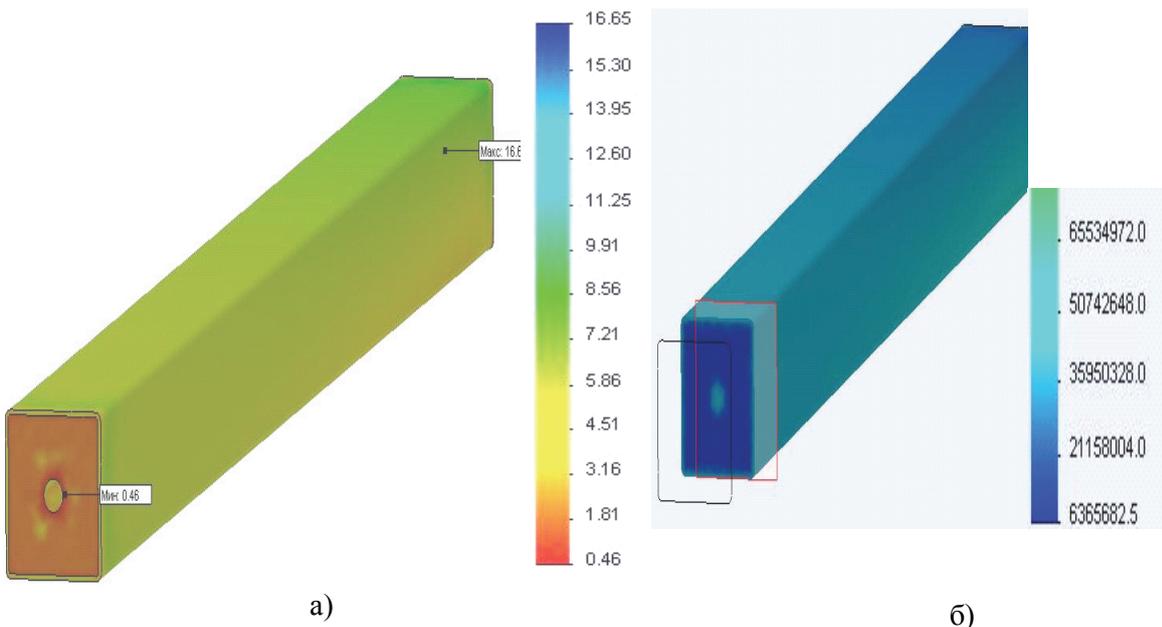
$$P(\sigma \leq R)_{T_{сл}} > P_{T_{сл}}, \quad (4)$$

где  $T_{сл}$  – срока службы.

Применение профилей коробчатого сечения (рис. 1 а, б, в) не всегда является рациональным решением при проектировании металлоконструкций СДМ. Составные части этих балок – уголки, швеллеры были изготовлены с ориентацией на строительную отрасль. Альтернативным вариантом может стать применение круглых полых профилей, т. е. труб, воспринимающих действие динамических и статических нагрузок менее разрушительно и обладающих большим запасом прочности (рис. 4).

Также применение труб позволяет снизить влияние коррозионной среды за счет уменьшения удельной поверхности конструкций. Коэффициент влияния типа сечения на скорость коррозии для труб равен 1,0; для замкнутого коробчатого сечения – 1,1; для листа одиночного проката или гнутого профиля – 1,4; для составного профиля – 2,0 [4]. Значит, такое решение теоретически позволит снизить скорость коррозии в 2 раза, так как наиболее распространены составные профили. Использование труб в МК СДМ обеспечивает следующие преимущества [5, 6]:

- снижение расхода стали на 30–50 % по сравнению с аналогичными конструкциями, выполненными из профилей;
  - повышение технологичности антикоррозионных покрытий и снижение их площади на 30–50 %;
  - повышение долговечности конструкции на 40 %.
- Но нельзя не отметить и ряд недостатков:
- относительно высокую цену труб по сравнению с горячекатаным профилем (если учесть, что стоимость материалов составляет 75 % цены конструкции, а стоимость монтажа и затраты на проектирование – 25 %. Отношение зависит от размеров труб и профиля, но в среднем составляет 1,2. Значит применение труб дороже на 15 %);
  - усложнение процессов изготовления деталей и сварки, сложность выявления дефектов внутренней поверхности при монтаже и обследовании.



**Рисунок 3.** Моделирование процесса действия нагрузок на МК коробчатого сечения (толкающий брус бульдозера): а – распределение запаса прочности; б – концентрация напряжений.

Однако: 1 – с учетом экономии металла и повышения долговечности можно сделать вывод, что цена конструкции из труб будет ниже цены конструкции из профиля; 2 – совершенствование контрольно-измерительной аппаратуры позволит исключить недостаток, связанный со сложностью изготовления детали [4].

**Анализ прочностных свойств металлоконструкций различных геометрических форм с применением программного обеспечения CAD Solid Works Simulation 2010**

Для проведения прочностного анализа в CAD Solid Works Simulation 2010 зададимся некоторыми начальными условиями:

- $P_1 = 400$  кН,  $P_2 = 10$  кН,  $L_{\text{стержня}} = 3\,000$  мм,
- $L_{p2} = 700$  мм,  $B_{p2} = 150$  мм,  $S_{\text{пс}} = 6063,39$  мм<sup>2</sup> (рис. 5);

- материал – простая углеродистая сталь;
- форма: коробчатый стержень (рис. 6), трубчатый стержень (рис. 7).

В данной CAD системе при прочностном и других расчётах используется метод конечных элементов (МКЭ) [7] – численный метод решения задач прикладной физики.

Метод широко используется для решения задач механики деформируемого твёрдого тела. С точки зрения вычислительной математики, идея метода конечных элементов заключается в том, что минимизация функционала (числовая функция, заданная на векторном пространстве) вариационной задачи осуществляется на совокупности функций, каждая из которых определена на своей подобласти, для численного анализа системы позволяет рассматривать его как одну из конкретных ветвей диакоптики – общего метода исследования систем путём их расчленения [8].

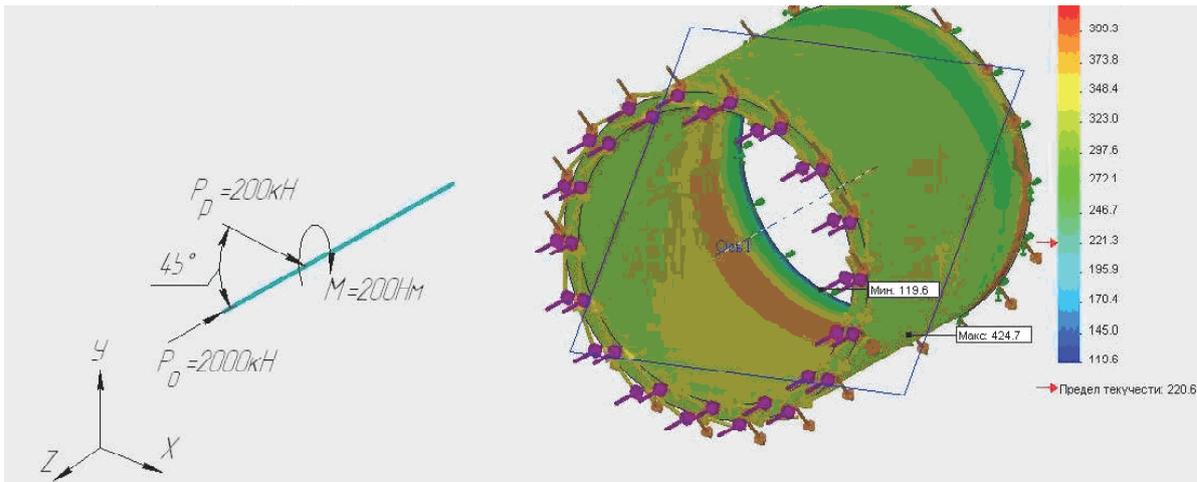


Рисунок 4. Схема нагрузок, действующих на профиль – труба.

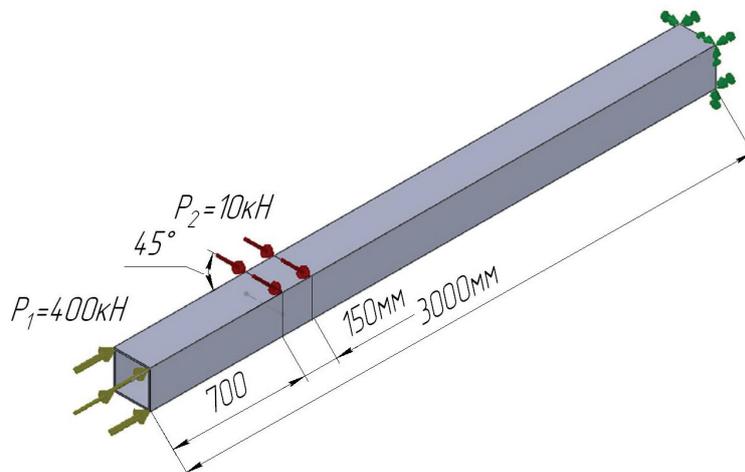


Рисунок 5. Общая схема нагружения стержней.

На основании проведенного анализа были получены эпюры напряжений и эпюры запаса прочности исследуемых элементов (рис. 8–11) и данные об изменении исследуемых факторов от воспринимаемых нагрузок, которые представлены в таблице, детальное рассмотрение которых позволило построить диаграммы нагружения (рис. 12) и запаса прочности стержней (рис. 13).

### Конструкция повышенной прочности, построенная на основании проведенного анализа

Суть создания новой конструкции заключается в: 1 – придании профилю МК трубчатой формы, а также с целью уменьшения металлоемкости (труба с меньшей толщиной стенки); 2 – по-

вышения прочности – методом заполнения полости трубы фибробетоном, создавая при этом трубобетонную конструкцию (рис. 14).

Особенностью трубобетонных конструкций является относительно простая технология их изготовления и существенная экономия металла при высокой несущей способности [9].

### Выводы

В результате рассмотренного в статье прочностного анализа МК СДМ, а также метода повышения прочности путем применения трубобетона становится очевидным:

1 – придание профилю МК СДМ трубчатой формы способствует повышению прочности и долговечности конструкции;

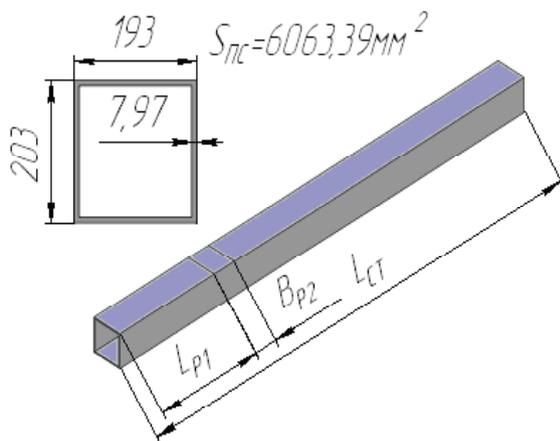


Рисунок 6. Коробчатый стержень.

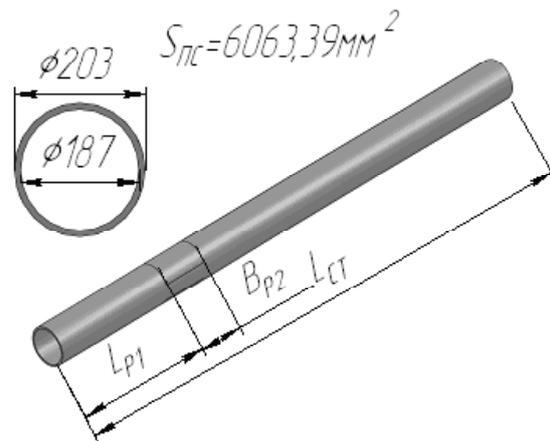


Рисунок 7. Трубчатый стержень.

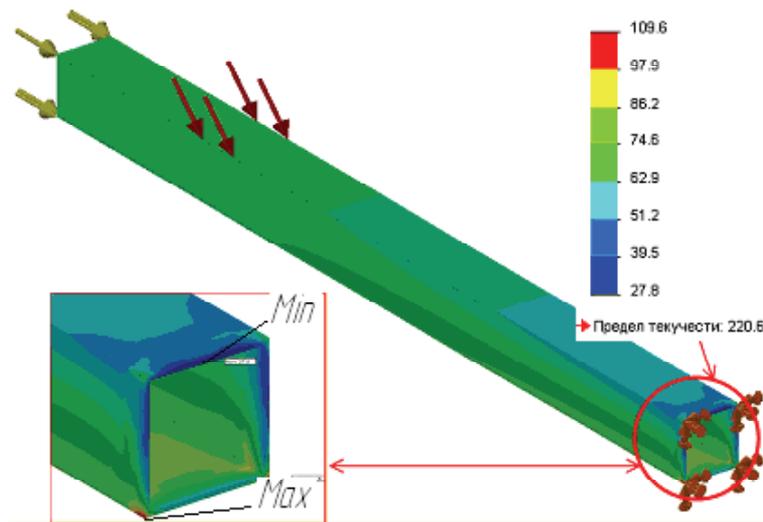


Рисунок 8. Эпюра напряжений коробчатого стержня.

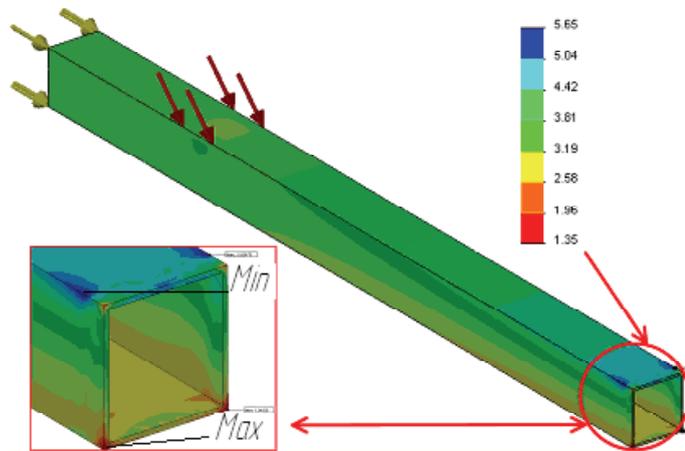


Рисунок 9. Эпюра запаса прочности коробчатого стержня.

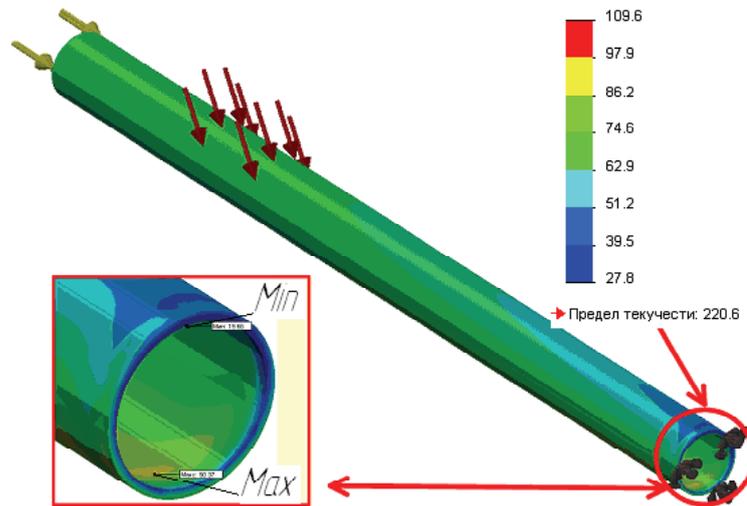


Рисунок 10. Эпюра напряжений трубчатого стержня.

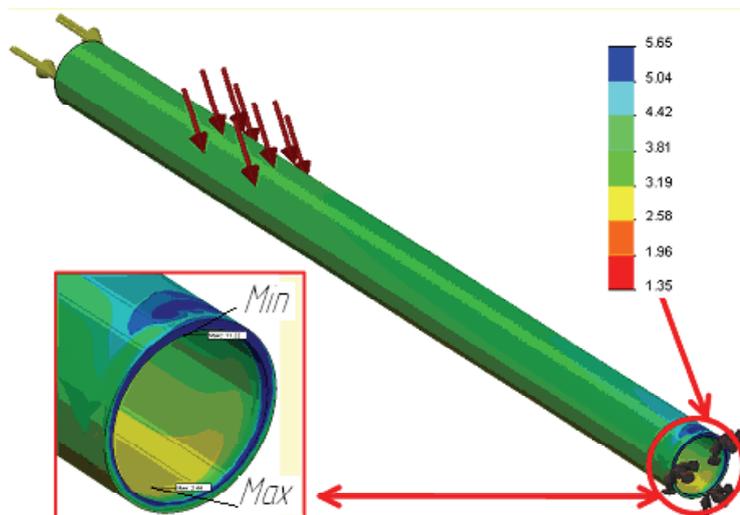


Рисунок 11. Эпюра запаса прочности трубчатого стержня.

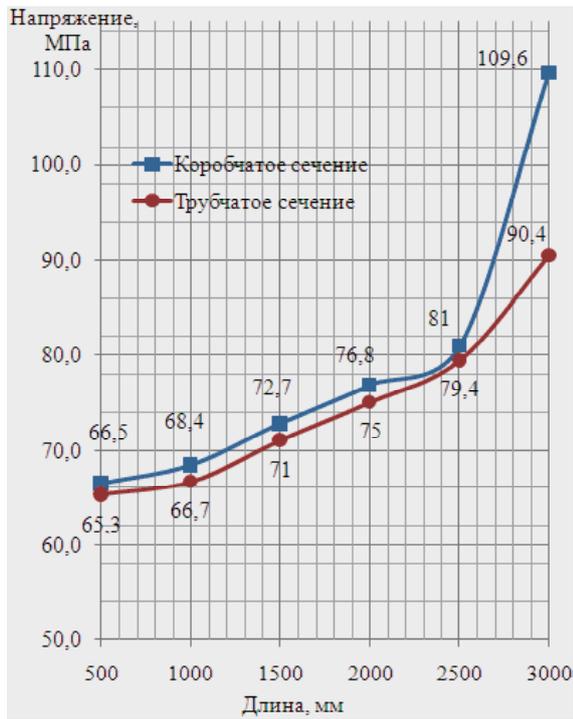


Рисунок 12. Диаграмма напряжений стержней.

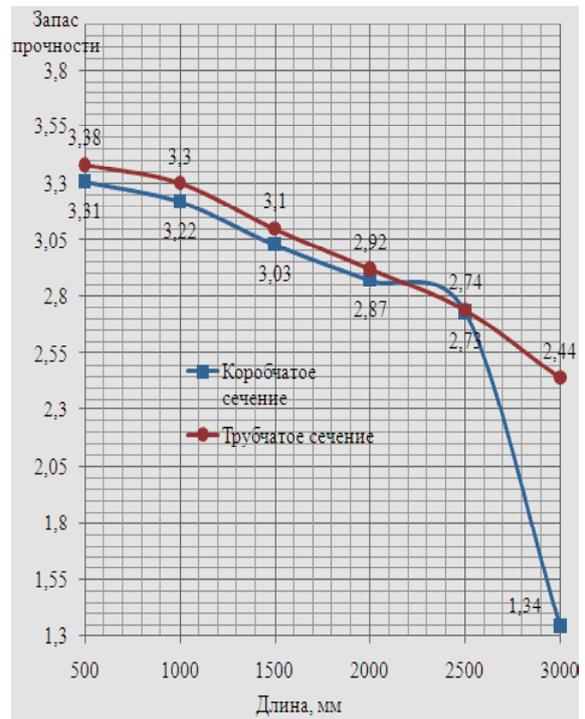


Рисунок 13. Диаграмма запаса прочности стержней.

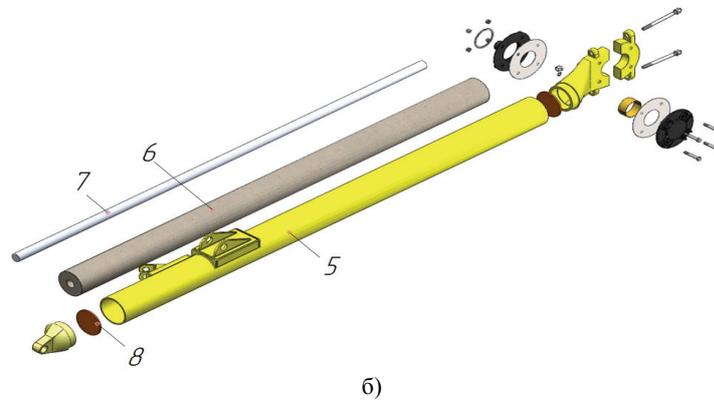
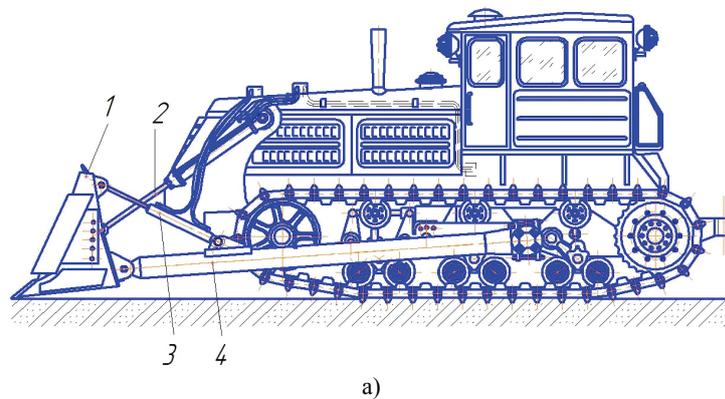


Рисунок 14. Бульдозерное рабочее оборудование с брусом повышенной прочности: а – общий вид бульдозера; б – изометрический вид толкающего бруса в разнесенном состоянии: 1 – отвал; 2 – гидроцилиндр подъема; 3 – гидроцилиндр изменения угла; 4 – толкающий брус; 5 – труба; 6 – наполнитель; 7 – стержень; 8 – стопорная крышка.

Таблица 1. Результаты статического исследования в CAD Solid Works Simulation 2010.

| № п/п<br>Вид сечения   | Напряжение, МПа |         |                     | Перемещение, мм |      |                     | Запас прочности |       |                     |
|--|-----------------|---------|---------------------|-----------------|------|---------------------|-----------------|-------|---------------------|
|  | Max             | Min     | Средне-квадратичное | Max             | Min  | Средне-квадратичное | Max             | Min   | Средне-квадратичное |
| 1 Коробчатое   | 109,6           | 27,8    | 68,3                | 2,49            | 0,01 | 1,29                | 5,65            | 1,35  | 3,39                |
| 2 Трубчатое  | 90,3            | 19,7    | 66,1                | 2,64            | 0,01 | 1,34                | 11,22           | 2,44  | 3,44                |
| Сравнительный процентный показатель отношения величин соответствующих характеристик трубчатого сечения |                 |         |                     |                 |      |                     |                 |       |                     |
|  | +17,6 %         | +29,1 % | 3,2                 | -6 %            | -    | -3,8 %              | +98 %           | +80 % | +1,47               |

2 – метод применения заполнителя (трубо-бетона) как по всему объему полой конструкции, так и в отдельных зонах избыточного напряжения является наиболее эффективным и актуальным путем повышения прочности и снижения металлоемкости МК.

**Литература**

1. Живейнов Н. Н. Строительная механика и металлические конструкции строительных и дорожных машин / Н. Н. Живейнов, Г. Н. Карасев, И. Ю. Цвей. – М. : Машиностроение, 1988.
2. Вершинский А. В. Строительная механика и металлические конструкции / А. В. Вершинский, М. М. Гохберг, В. П. Семенов. – Л. : Машиностроение, 1984.
3. Карасев Г. Н. Методы определения усилий и деформаций в элементах металлических конструкций / Г. Н. Карасев. – М. : МАДИ, 1997.
4. Брудка Ян. Трубчатые стальные конструкции / Брудка Ян; Пер. с польск. – М. : Стройиздат, 1985. – 207 с.
5. Агеев А. И. Конструктивные методы повышения надежности и безопасности конвейерных галерей на коксохимическом заводе // Экологические проблемы индустриальных мегаполисов. Материалы пятой Международной научно-практической конференции-выставки в г. Донецке 21–23 мая 2008 г. Донецк, 2008.
6. Кикин А. И. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном / А. И. Кикин, Р. С. Санжаровский, В. А. Труаль. – М. : Стройиздат, 1974. – 144 с.
7. <http://www.solidworks.ru/products/solidworks>
8. <http://ru.wikipedia.org>
9. Хмара Л. А., Талалай В. А. Повышение прочностных характеристик металлоконструкций СДМ Интерстроймех-2010: сб. докл. Междунар. научно-практ. конференции. – Белгород : Изд-во БГТУ, 2010. – Т. 2. – С. 205–214.

**Талалай Віктор Олександрович** – к.т.н., доцент кафедри підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх машин та обладнання Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: підвищення ефективності роботи будівельних і дорожніх машин шляхом удосконалювання параметрів робочого обладнання на підставі теоретичних та експериментальних досліджень, а також за рахунок формування багатофункціональних робочих органів; удосконалювання металоконструкцій будівельних і дорожніх машин на підставі аналізу динамічних моделей, застосування методики заповнення порожнеч у місцях критичного напруження.

**Талалай Виктор Александрович** – к.т.н., доцент кафедры подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: повышение эффективности работы строительных и дорожных машин путем совершенствования параметров рабочего оборудования на основании теоретических и экспериментальных исследований, а также за счет формирования многофункциональных рабочих органов; совершенствование металлоконструкций строительных и дорожных машин на основании анализа динамических моделей, применения методики заполнения пустот в местах критического напряжения.

**Victor A. Talalay**, a Ph. D. (Engineering) – an Assistant Professor of the Hoisting-and-Conveying, Construction, Road and Building Machines and Equipment Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: the efficiency increase of construction and road-building machines operation by the improvement of operational equipment parameters by research and investigations, and also by means of the multifunctional working unit formation; the improvement of metalworks of construction and road-building machines by dynamic simulation analysis and pore filling methods in ultimate stress points.