

УДК 662.741

**Т. В. ЛУЦКО <sup>а</sup>, Ю. В. КРИКУНОВ <sup>б</sup>**<sup>а</sup> ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,<sup>б</sup> Филиал № 7 «Макеевкокс» ЗАО «ВНЕШТОРГСЕРВИС»

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАГРУЖЕНИЙ НА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЮ ДВЕРЕСЪЕМНОЙ МАШИНЫ, ПРИМЕНЯЕМОЙ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ КОКСОВЫХ БАТАРЕЙ**

**Аннотация.** В статье рассмотрены конструктивные особенности, принцип работы и условия безопасной эксплуатации двересъемной машины, применяемой для обслуживания коксовых батарей. Выявлено, что на работу данной машины существенно влияют высокие температуры. В качестве объекта рассмотрения принята металлоконструкция коксонаправляющей двересъемной машины, причем для сравнения рассматривались три марки сталей: 10Г2С, 10ХСНД и 08Х13. Выполнен анализ распределения температур в передней балке металлоконструкции, подвергающейся наибольшим воздействиям высоких температур. А также проведен численный анализ влияния температурных нагрузок на напряженно-деформированное состояние металлоконструкции для указанных сталей. Наилучшие результаты показала нержавеющая жаропрочная сталь 08Х13, однако вследствие ее трудносвариваемости предпочтение следует отдавать стали 10ХСНД, которая по прочностным и температурным характеристикам незначительно отличается от стали 08Х13, а свариваемость у нее без ограничений.

**Ключевые слова:** деформация, двересъемная машина, коксонаправляющая, металлоконструкция, напряжение, сталь, температура.

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Технологический процесс приготовления кокса сопровождается высокими температурными и значительными динамическими нагрузками в условиях сильной запыленности и загазованности производства. К коксовым машинам относятся: коксовыталькиватель, углезагрузочная машина, двересъемная машина, коксовозный вагон и электровоз [1]. Эти машины предназначены для обслуживания коксовых печей. Вследствие агрессивных и сложных условий работы машины и их механизмы достаточно часто выходят из строя. В связи с чем изучение влияния различных видов нагрузок на коксовые машины в процессе их эксплуатации, и в частности двересъемной машины, является актуальным, поскольку их надежность работы влияет на бесперебойное производство кокса.

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

Исследованием эксплуатационной надежности коксовых машин занимался А. С. Парфенюк, А. А. Булатов и др. [2]. Ими был проведен статистический анализ данных отказов коксового оборудования на Авдеевском коксохимическом заводе. Установлено, что доля относительного времени простоя коксового производства из-за отказов коксовых машин составляет 30,7 %. В свою очередь, доля относительного времени простоя из-за поломок двересъемной машины – 66,7 %. Наибольшую часть отказов механизмов и устройств двересъемной машины приходится на коксонаправляющую – 60,3 % [2]. В связи с этим принято решение провести исследование напряженно-деформированного состояния металлоконструкции коксонаправляющей двересъемной машины. В частности оценить влияние температурных нагрузок на металлоконструкцию двересъемной машины как объекта, безопасная эксплуатация которого существенно влияет на надежность технологического процесса коксового производства.

© Т. В. Луцко, Ю. В. Крикунов, 2018

**Целью** является определение максимальных напряжений и деформаций, возникающих в металлоконструкции коксонаправляющей двересъемной машины при воздействии высоких температурных нагрузений, и разработка рекомендаций по материалу металлоконструкции.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для достижения поставленной цели выполнены следующие задачи:

1. Анализ устройства двересъемной машины, обслуживающей коксовые батареи.
2. Определение наименее надежных узлов двересъемной машины.
3. Моделирование в программном комплексе металлоконструкции двересъемной машины.
4. Численный анализ влияния температурных нагрузок на напряженно-деформированное состояние металлоконструкции двересъемной машины.

Двересъемные машины предназначены для обслуживания коксовой стороны батареи [1, 3].

Двересъемная машина выполняет следующие операции:

1. Съем и установку дверей коксовых печей.
2. Поворот дверей.
3. Чистку дверей.
4. Направление коксового пирога в тушильный вагон.
5. Чистку, передвижение вдоль батареи и транспортировку дверей для ремонта.
6. Регулировку пружин анкерных стяжек.

Условия эксплуатации данной машины весьма тяжелые. В частности повышенные температурные нагрузения как на металлоконструкцию коксонаправляющей, так и на двересъемную машину в целом. В связи с этим температурные нагрузки на металлоконструкцию повышаются в несколько раз и составляют более 500 °С. Исходя из этого повышается количество ремонтных работ коксонаправляющей, повышается вероятность деформации металлоконструкции коксонаправляющей, что в свою очередь приводит к непредвиденным поломкам, которые могут повлечь за собой срыв производства кокса.

Двересъемная машина состоит из двух основных частей, соединенных между собой сцепкой – двересъемная часть и коксонаправляющая.

Двересъемная часть состоит из следующих основных узлов и механизмов: двересема; поворота; передвижения машины; чистки дверей; чистки рам; гидросистемы. Коксонаправляющая состоит из следующих узлов: металлоконструкции; корзины; механизма передвижения корзины.

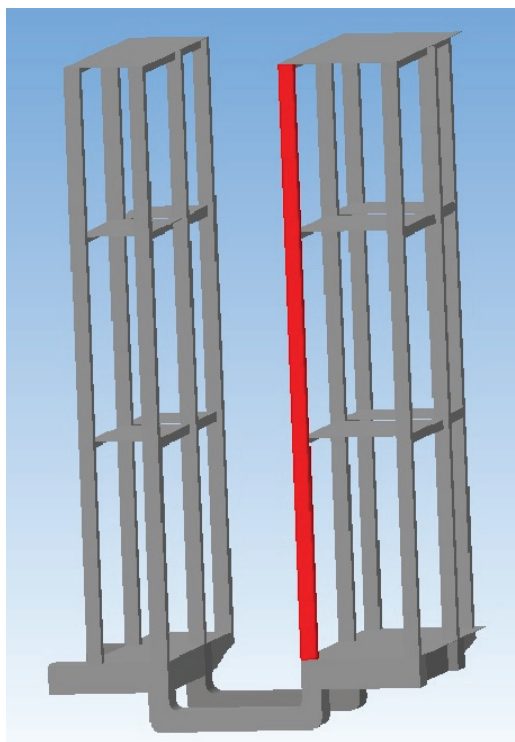


**Рисунок 1** – Металлоконструкция коксонаправляющей двересъемной машины.

На рисунке 1 представлена металлоконструкция коксонаправляющей двересъемной машины, а на рисунке 2 – схема данной металлоконструкции. Наибольшему воздействию температурных нагрузок подвергаются передние балки коксонаправляющей двересъемной машины. На рисунке 2 красным цветом выделена передняя балка.

Материал металлоконструкции коксонаправляющей двересъемной машины, которая эксплуатируется на предприятии «Макеевкокс», – сталь 10Г2С. Ее рекомендуется использовать при температурах от –70 до +475 °С [4].

Была поставлена задача, сравнить влияние температуры на металлоконструкцию, изготовленную из разных типов сталей по жаропрочности, таких как стали конструкционные низколегированные для сварных конструкций 10Г2С и 10ХСНД, а также сталь коррозионно-стойкая жаропрочная 08Х13. Сталь 10ХСНД работает при температуре от –70 до +450 °С, в течение ограниченного времени – до +600 °С. Сталь 08Х13 работает при температуре до +580 °С, в течение ограниченного времени – до +650 °С.



**Рисунок 2** – Схема металлоконструкции коксонаправляющей двересъемной машины.

Для численного анализа использовался программный комплекс «Система прочностного анализа». В таблице приведены исходные данные для исследования напряженно-деформированного состояния металлоконструкции.

**Таблица** – Исходные данные

Наименование	Единицы измерения	Значения
Температура, действующая на металлоконструкцию 10Г2С 10ХСНД 08Х13	°С	$T = 475...500$ $T = 500...600$ $T = 500...650$
Длина балки	м	$l = 6,5$
Коэффициент теплопроводности стали 10Г2С 10ХСНД 08Х13	$\frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$	$\lambda = 36$ $\lambda = 31$ $\lambda = 26$
Коэффициент температурного (линейного) расширения 10Г2С 10ХСНД 08Х13	$1/^\circ C$	$\alpha = 14,6 \cdot 10^{-6}$ – $\alpha = 12,3 \cdot 10^{-6}$

Нормальная сила от воздействия температурных нагрузок, действующих на балку, определяется по следующей формуле,  $N$ :

$$N = \frac{E \cdot \alpha \cdot \Delta T \cdot l}{l} = E \cdot A \cdot \alpha \cdot \Delta T, \quad (1)$$

где  $E$  – модуль упругости стали, Па;

$\alpha$  – коэффициент температурного (линейного) расширения,  $1/^\circ C$  [5];

$T$  – изменения температуры,  $1/^{\circ}\text{C}$ ;  
 $l$  – длина балки, м;  
 $A$  – площадь поперечного сечения балки,  $\text{м}^2$ .

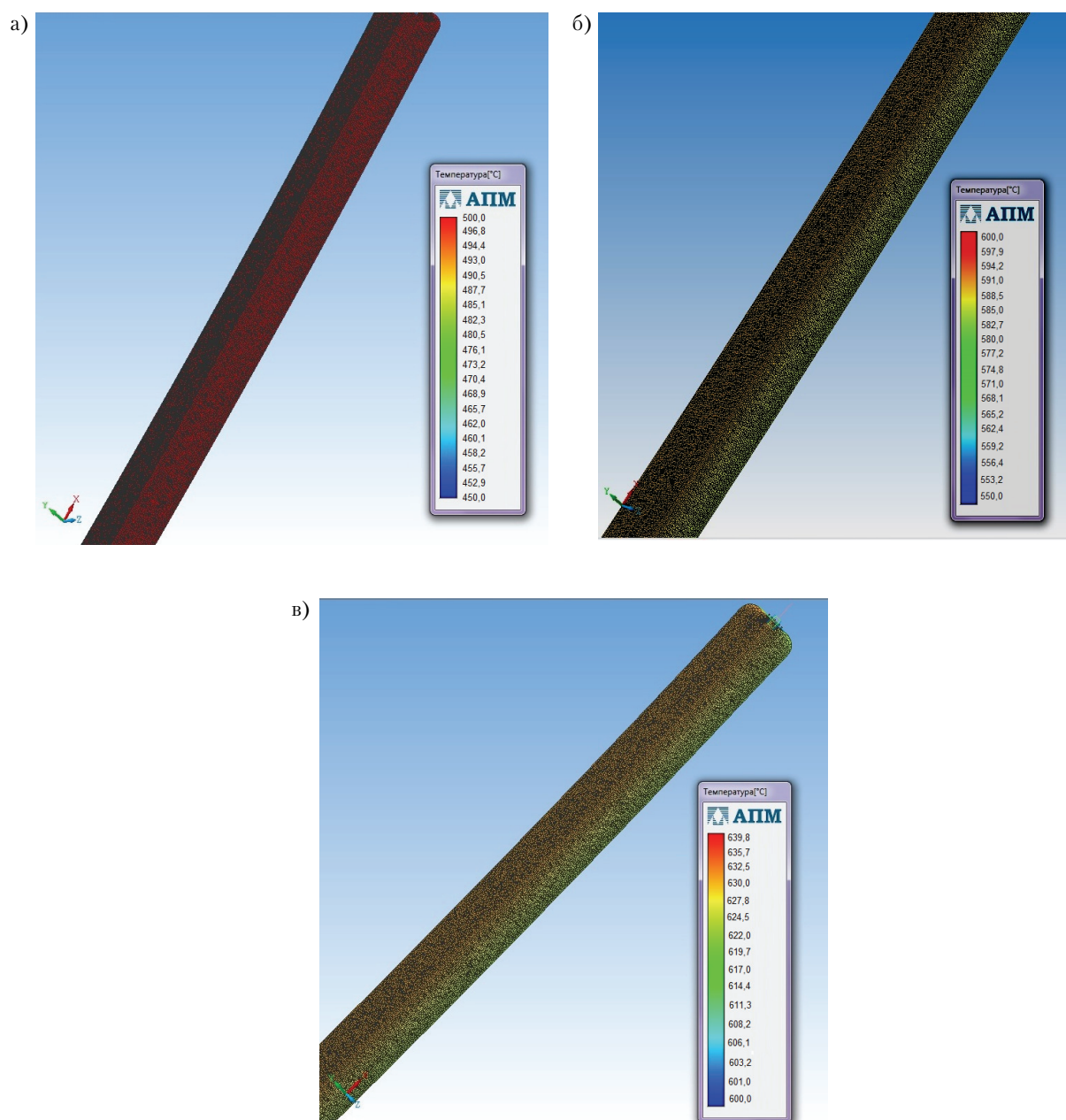
Деформация балки от воздействия температурных нагрузок, м:

$$\Delta l = \frac{N \cdot l}{E \cdot A} \quad (2)$$

Напряжения, возникающие в балке от температурных нагрузжений, МПа:

$$\sigma = \frac{N}{A} = E \cdot \alpha \cdot \Delta T. \quad (3)$$

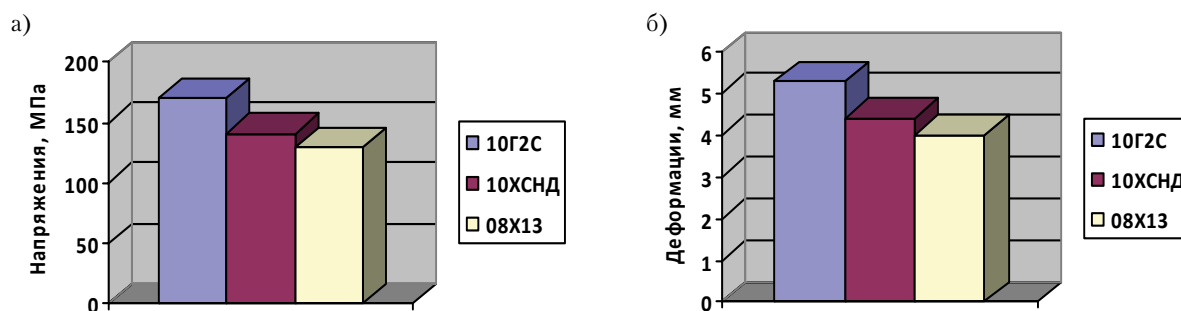
На рисунке 3 изображены распределения температур в балке металлоконструкции для разных сталей при воздействии температуры (данные максимальной температуры в таблице). Согласно



**Рисунок 3** – Распределение температуры в балке металлоконструкции для сталей: а) 10Г2С; б) 10ХСНД; в) 08Х13.

полученным результатам расчета наибольшую температуру выдерживает сталь 08X13, на втором месте сталь 10XСНД и наименьшую температуру из рассматриваемых сталей выдерживает сталь 10Г2С.

На рисунке 4 представлены результаты расчета в программном комплексе напряжений и деформаций, возникающих в балке металлоконструкции при воздействии температуры 475 °С для стали 10Г2С и 500 °С для сталей 10XСНД и 08X13. Из полученных данных можно сделать вывод, что по прочности сталь 10XСНД и сталь 08X13 практически одинаковые с небольшим преимуществом у стали 08X13 (на 8 % ниже напряжения). Наибольшие значения напряжений у стали 10Г2С (170 МПа) – на 17 % выше, чем у стали 10XСНД, и на 24 % выше, чем у стали 08X13 (гистограмма, изображенную на рис. 4а). Что касается деформаций, то они во всех сталях незначительны и не превышают 6 мм, причем наибольшие значения у стали 10Г2С (5,3 мм), а наименьшие значения у стали 08X13 (4,0 мм). На гистограмме, изображенной на рис. 4б видно, что удлинение металлоконструкции балки из стали 08X13 меньше на 10 % по сравнению со сталью 10XСНД и на 25 % – со сталью 10Г2С.



**Рисунок 4** – Гистограммы напряжений (а) и деформаций (б), возникающих в балке металлоконструкции коксонаправляющей от температурных нагрузок.

Таким образом, результаты исследования напряженно-деформированного состояния металлоконструкции коксонаправляющей двересъемной машины показали, что высокие температуры влияют на возникновение напряжений, при этом деформации в элементах металлоконструкции для рассматриваемых сталей незначительны. Из трех сталей наиболее прочная и выдерживающая максимальную температуру это сталь 08X13, однако она относится к классу нержавеющей, коррозионно-стойких, жаропрочных, трудносвариваемых. Поэтому предпочтение следует отдавать стали 10XСНД, которая показывает удовлетворительные результаты как по прочности и распределению температуры (отличие от стали 08X13 не более 10 %), так и по свариваемости. Причем, как видно из проведенного анализа, сталь 10XСНД в течение ограниченного времени может работать при температуре до +600 °С, что в свете возможности возникновения температур более 500 °С является необходимостью применения более жаропрочных сталей. Необходимо отметить, что в данном рассмотрении не проводился экономический анализ.

## ВЫВОДЫ

1. Наибольшее число отказов в процессе производства кокса приходится на двересъемную машину.
2. Анализ устройства и условий эксплуатации двересъемной машины показал, что она эксплуатируется в агрессивных условиях и подвержена воздействию высоких температур.
3. Проведенный численный анализ влияния температурных нагрузок на металлоконструкцию коксонаправляющей двересъемной машины показал, что из рассматриваемых сталей 10Г2С, 10XСНД и 08X13 как по прочности, так и по распределению температуры сталь 08X13 показывает наилучшие результаты. Однако из-за того, что нержавеющая сталь 08X13 трудносвариваемая, предпочтение следует отдавать стали 10XСНД, у которой анализируемые параметры незначительно отличаются от стали 08X13.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кауфман, А. А. Отечественные и зарубежные коксовые печи : конструкции и оборудование [Текст] : учеб. пособие / А. А. Кауфман, Ю. Я. Филоненко / М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2013. – 88 с.: ил.



2. Оценка влияния механизмов коксовых машин на надежность производства [Текст] / А. С. Парфенюк, А. А. Булатов, Н. А. Хромов, С. П. Веретельник, Г. А. Власов, Е. П. Романенко // Кокс и химия. – 1990. – № 2. – С. 28–32.
3. Крикунов, Ю. В. Анализ устройства и безопасной эксплуатации двересъемной машины, применяемой для коксовой печи [Текст] / Ю. В. Крикунов // Сборник тезисов докладов по материалам конференции «Научно-технические достижения студентов строительной-архитектурной отрасли», 20 апреля 2018, г. Макеевка. – Макеевка : ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», 2018. – С. 96–97.
4. Металлы и сплавы [Текст] : справочник / Под ред. Ю. П. Солнцева. – С.-Пб. : АНО НПО «Профессионал», АНО НПО «Мир и Семья», 2003. – 1066 с.
5. Крайнов, А. Ю. Основы теплопередачи. Теплопередача через слой вещества [Текст] : учеб. пособие / А. Ю. Крайнов. – Томск : STT, 2016. – 48 с.

Получено 11.10.2018

Т. В. ЛУЦЬКО <sup>а</sup>, Ю. В. КРИКУНОВ <sup>б</sup>

ОЦІНКА ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА  
МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЮ ДВЕРЕЗНІМНОЇ МАШИНИ, ЩО  
ЗАСТОСОВУЄТЬСЯ ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ КОКСОВИХ БАТАРЕЙ

<sup>а</sup> ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», <sup>б</sup> Філія № 7  
«Макіївкокс» ЗАТ «ВНЕСШТОРГСЕРВІС»

**Анотація.** У статті розглянуті конструктивні особливості, принцип роботи та умови безпечної експлуатації дверезнімної машини, застосовуваної для обслуговування коксових батарей. Виявлено, що на роботу даної машини істотно впливають високі температури. Як об'єкт розгляду прийнята металлоконструкція коксонаправівної дверезнімної машини, причому для порівняння розглядалися три марки сталей: 10Г2С, 10ХСНД і 08Х13. Виконано аналіз розподілу температур в передній балці металлоконструкції, що піддається найбільшим впливам високих температур. А також проведено числовий аналіз впливу температурних навантажень на напружено-деформований стан металлоконструкції для зазначених сталей. Найкращі результати показала нержавіюча жаростійка сталь 08Х13, однак внаслідок її важкозварюваності перевагу слід віддавати сталі 10ХСНД, яка за міцністю і температурними характеристиками незначно відрізняється від сталі 08Х13, а зварюваність у неї без обмежень.

**Ключові слова:** деформація, дверезнімна машина, коксонаправівна, металлоконструкція, напруження, сталь, температура.

TATYANA LUTSKO <sup>а</sup>, YURI KRIKUNOV <sup>б</sup>

ANALYSIS OF THE EFFECT OF THERMAL LOADINGS ON THE METAL  
CONSTRUCTION DOOR OF REMOVABLE MACHINE USED FOR  
MAINTENANCE OF COKE OVEN BATTERIES

<sup>а</sup> Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, <sup>б</sup> Filial No 7, Makeevka  
Coke Plant CJSC «VNESHTORGSERVIS»

**Abstract.** The article describes the design features, principle of operation and conditions of safe operation of the door of the removable machine used for servicing coke oven batteries. It is revealed that the operation of this machine is significantly affected by high temperatures. As the object of consideration is adopted the metal construction of the coke guide of the removable door of the machine, and for comparison there were three grades of steel: 10G2S, 10KHSND and 08KH13 (10G2S, 10KHSND and 08KH13). It has been Carried out the analysis of the temperature distribution in the front beam of the metal structure exposed to the greatest impact of high temperatures. A numerical analysis of the influence of temperature loads on the stress-strain state of the metal structure for these steels. The best results were shown by stainless heat-resistant steel 08KH13 (08KH13), but due to its difficult weld ability, preference should be given to steel 10KHSND (10KHSND), which strength and temperature characteristics slightly different from steel 08KH13 (08KH13), and weld ability it without restrictions.

**Key words:** deformation, door removable machine, metal construction, strain, steel, temperature.

**Луцко Татьяна Васильевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации и сервиса автомобилей, технологических машин и оборудования ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: статика и динамика грузоподъемных кранов.

**Крикунов Юрий Васильевич** – мастер по ремонту оборудования коксового цеха филиала № 7 «Макеевкок» ЗАО «ВНЕСШТОРГСЕРВИС». Научные интересы: исследование напряженно-деформированного состояния металлоконструкций грузоподъемных машин.

**Луцко Тетяна Васильвна** – кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации та сервису автомобілів, технологічних машин та обладнання ДДУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: статика і динаміка вантажопідійомних кранів.

**Крикунов Юрий Васильович** – майстер з ремонту обладнання коксового цеху філії «Макіївкок» ЗАТ «ВНЕСШТОРГСЕРВИС». Наукові інтереси: дослідження напружено-деформованого стану металоконструкцій вантажопідійомних машин.

**Lutsko Tatyana** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor; Technical Exploitation and Service of Automobiles, Technological Machines and Equipment Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: static's and dynamics of lifting cranes.

**Krikunov Yuri** – foreman of equipment of the coke shop, Filial No 7, Makeevka Coke Plant CJSC «VNESHTORGSERVIS». Scientific interests: research of stress-strain state of metal structures of lifting machines.