

УДК 621.878.2

Л. А. ХМАРА, д. т. н.

*ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»*

В. А. ТАЛАЛАЙ, к. т. н.

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУСТОТЕЛЫХ БАЛОК**

**Введение.** В настоящее время разработка методики определения рациональных геометрических параметров, а также создание прочных, долговечных рабочих органов и при этом с минимальным металлоемкостью, представляет значительный интерес. Анализ характера работы рабочего оборудования строительных машин подтверждает разрушительную способность статических и динамических нагрузок, которые со временем ослабляют конструкцию и разрушают ее в наиболее критических местах концентрации напряжений. В связи с этим особый интерес вызывает определение характера разрушения, его локальность, анализ которых позволил бы определить рациональное сечения (пустотной металлоконструкции), обладающей повышенными показателями прочности и надежности.

В статье рассматриваются экспериментальные исследования пустотелых балок круглого и квадратного сечения которые были подвержены статическим нагрузкам, при этом рассматривалась как качественная картина разрушения целостности балки, так и характер разрушения, поведения изгибающих моментов в зависимости от циклов нагружения.

Основная цель работы предопределила направление экспериментальных исследований, которое заключается в исследовании пустотелых балок на прочность с целью определения рационального сечения пустотелых балок.

### **Экспериментальная установка, оборудование и методика проведения экспериментальных исследований**

Экспериментальные исследования предусматривают решение следующих задач:

– исследование на физических моделях влияния геометрической формы сечения балки на прочностные параметры при различных: 1 - циклах нагружения; 2 – направления действия нагрузки.

– установление и изучение характера разрушения;

– установление зон разрушения и «опасных» сечений;

– анализ влияния геометрии сечения на его прочностные характеристики;  
– установление рациональных геометрических параметров сечения пустотелой балки как элемента рабочего оборудования строительной машины (разработка методики выбора рационального сечения пустотелой балки с учетом условий эксплуатации).

При проведении эксперимента балки с наполнителем примем условие, что реологическая модель балки, использовавшаяся при проведении эксперимента была представлена в виде смешанной трехэлементной модели.

Эта модель позволяет получить некоторую конечную деформацию при мгновенном и бесконечно длительном приложении нагрузки и может использоваться при исследовании динамических процессов связанных с удлинением или деформацией балки [2]. Математическая модель имеет вид [3]:

$$\frac{d\sigma}{dt} + \frac{E_1}{\eta} \sigma = (E_2 + E_1) \frac{d\varepsilon}{dt} + \frac{E_2 E_1}{\eta} \varepsilon, \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  – относительная деформация;  $t$  – время действия нагрузки.

Для проведения эксперимента в лабораторных условиях было использовано следующее оборудование и приборы: 1 – стенд для исследований прочностных параметров балок; 2 – комплект моделей пустотелых балок; 3 – измерительные приборы и приспособления: тензодатчики, преобразователь сигнала; компьютер с программным обеспечением.

Эксперимент на модели пустотелой балки и исследование ее прочностных параметров проведены на стенде физического моделирования процесса статического нагружения элементов рабочего оборудования строительных машин, который установлен в лаборатории кафедры ПТСДМО ДонНАСА.

Принцип работы таков (рис. 1, 2): Образец исследуемой балки 1 зажимается между неподвижным зажимом 7 и подвижным 6, который перемещается парой винт-гайка 8, 9 при вращении электродвигателя 11, через редуктор 10. Управление электродвигателем осуществляется с помощью частотного преобразователя, благодаря которому можно изменять частоту и направление вращения двигателя, а следовательно скорость и направление перемещения подвижного зажима. Нагрузка на образец фиксируется тензометрическими датчиками усилия 5. Для удобства проведения эксперимента тензометрические датчики были продублированы механическим динамометром 2. Деформация образца регистрировалось наклеенными на него тензометрическими датчиками деформации 4 и для наглядности дублировалось микрометром 3. Смонтирован стенд на металлической раме 12.

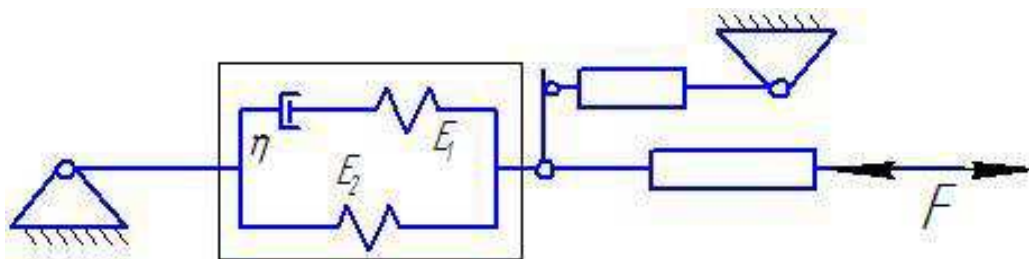


Рис. 1. Модель изготовленного стенда.

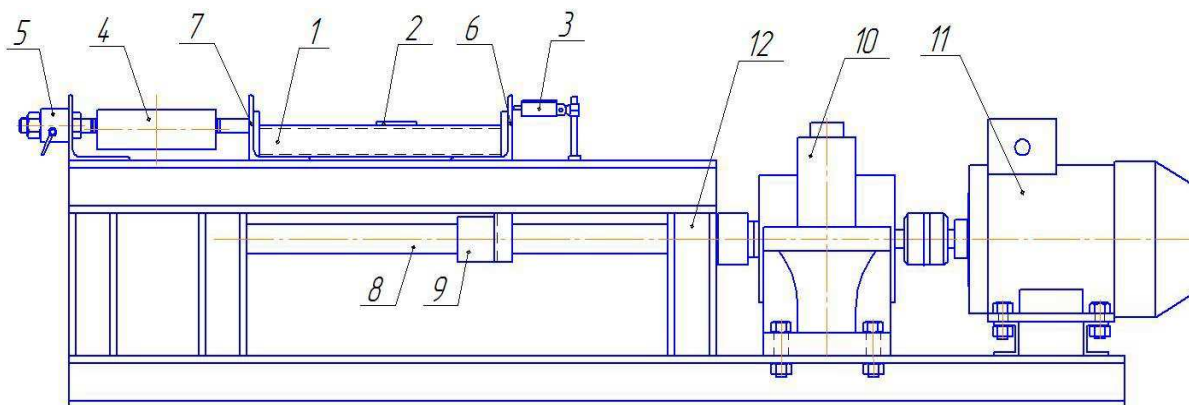


Рис. 2. Схема стенда физического моделирования процесса статического нагружения элементов рабочего оборудования строительных машин.

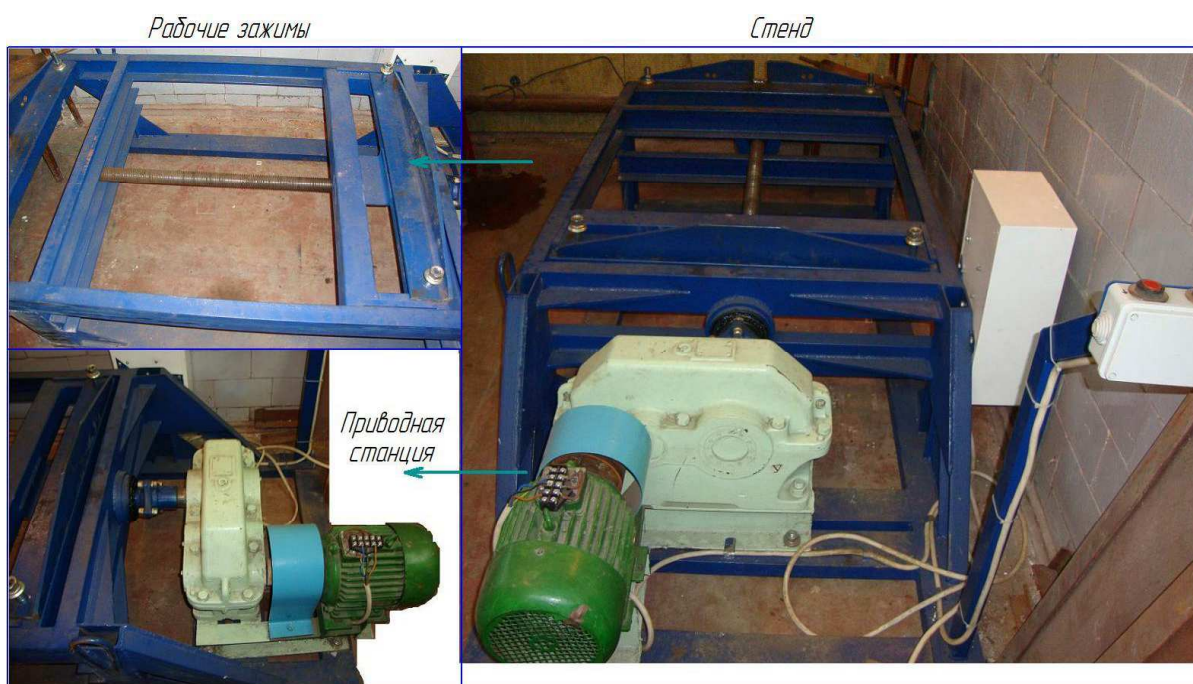


Рис. 3. Общий вид стенда физического моделирования процесса статического нагружения элементов рабочего оборудования строительных машин.

При исследовании сечения балки постоянным фактором была площадь поперечного сечения, а также длина модели и усилие действующее на балку. Изменяемыми факторами были: угол наклона балки (угол  $\varphi=0...7^\circ$ ), сечение балки (рис. 4). При проведении каждого эксперимента значение нагружения балки

фиксируются компьютером, а также для анализа, исследования и изучения характера разрушения и определения зон разрушения процесс нагружения модели балки фиксировался на фото пленку.

Главным критерием, по которому оценивались исследуемые балки, являлась целостность конструкции зависящая от фактора нагружения балки.

В ходе проведения эксперимента постоянными были следующие параметры: температура исследуемой балки и окружающей среды  $t=+25^{\circ}$ , скорость перемещения подвижного зажима (скорость нагружения)  $v=const$ .

Экспериментальные исследования проводились на основании анализа существующих методов планирования [1, 2, 3, 4, 5] и предварительных экспериментов.

Выходными параметрами и показателями оптимизации принимались: средние значения нагружение балки в момент разрушения целостности конструкции, а также напряжение в балке.



Рис. 4. Схема установки исследуемой балки (схема нагружения балки).

Экспериментальные исследования проводились на основании анализа методов планирования [1, 2, 3, 4, 5]. Выбранным методом являлся метод 2-х факторного планирования экспериментов.

Для построения стандартной план-матрицы эксперимента были переведены натуральные факторы в безразмерные величины, для чего заполнена таблица кодирования переменных на 1-м уровне (табл. 1).

После этого проверяли воспроизводимость эксперимента по критерию Кохрена, затем проверяли значимость коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента, определяли доверительный интервал и в заключении проверяли гипотезу адекватности модели по критерию Фишера.

После окончательной проверки уравнения регрессии производился переход от кодированных величин к озаглавленным и осуществлялось графическое построение и анализ полученных регрессионных зависимостей процесса нагружения балок.

Таблица 1.

Кодирование факторов

Факторы	Размерность	Уровни факторов			Интервал варьирования
		-1	0	+1	
$X_1$ – сечение балки	-	труба	квадрат	многогранник	-
$X_2$ - угол нагружения балки, $\varphi$	град.	0	3,5	7	3,5

### Анализ качественной картины влияния геометрической формы

При проведении эксперимента на моделях пустотелых балок и исследования их прочностных параметров, для создания качественной картины велось фотографирование, что позволило создать фотограммы представленные на рис. 5 - 11.

На основании анализа качественной картины исследования квадратной балки можно сделать выводы:

- при изменении угла наклона квадратной балки (угла действия нагрузки) разрушение протекает более интенсивнее, чем больше угол  $\varphi$ , тем более интенсивнее процесс разрушения: при  $\varphi=7^\circ$  - 5 циклов нагружения до разрушения конструкции, против 6 циклов при  $\varphi=0^\circ$  ;

- при изменении угла наклона квадратной балки (угла действия нагрузки) исследуемая модель деформировалась и изгибалась в разных направлениях: при  $\varphi=7^\circ$  - строго вниз, а при  $\varphi=0^\circ$  - приоритетно – вверх, однако наблюдались случаи и противоположного направления, в сторону наиболее слабой грани);

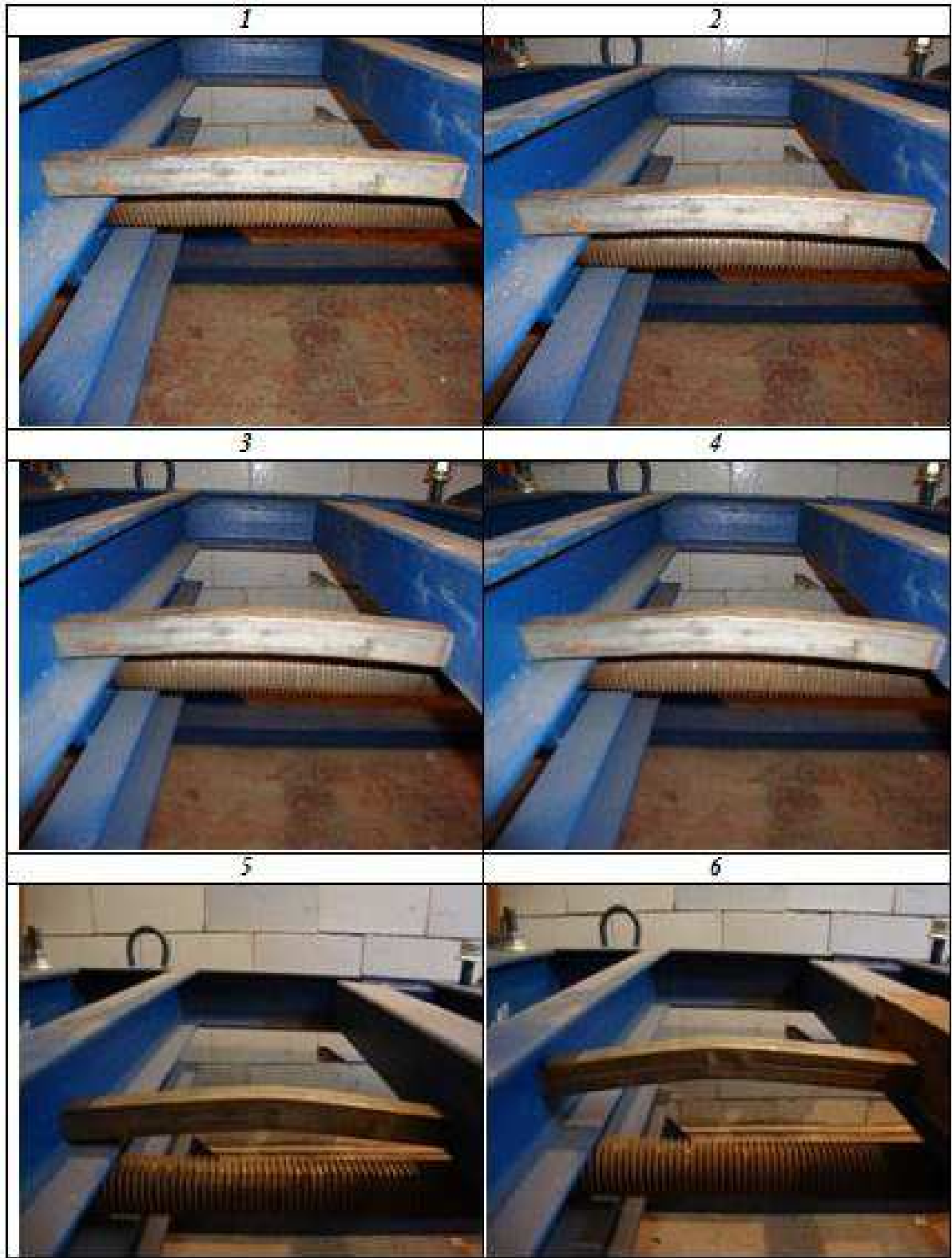
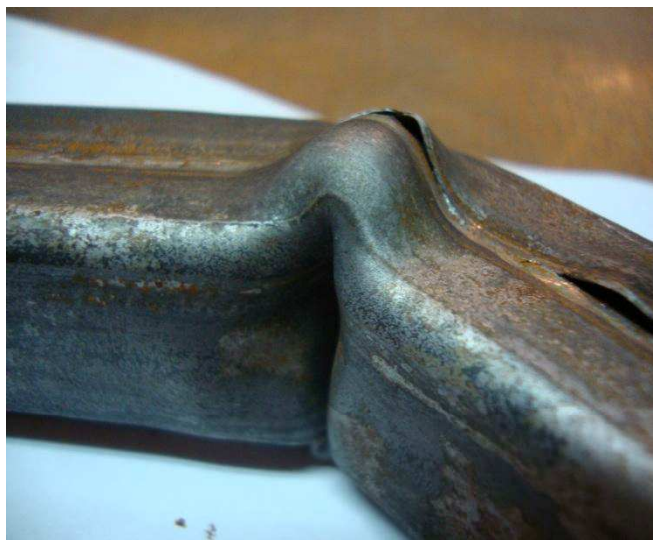


Рис. 5. Фотограмма процесса нагружения квадратной балки под углом  $\varphi=0^\circ$ .



а



б

Рис. 6. Разрушение целостности квадратной балки под углом  $\varphi=0^\circ$ : а - при 3 циклах нагружения; б - при 6 циклах нагружения.



Рис. 7. Деформации торцевой части квадратной балки под углом  $\varphi=0^\circ$  при 2 циклах нагружения.

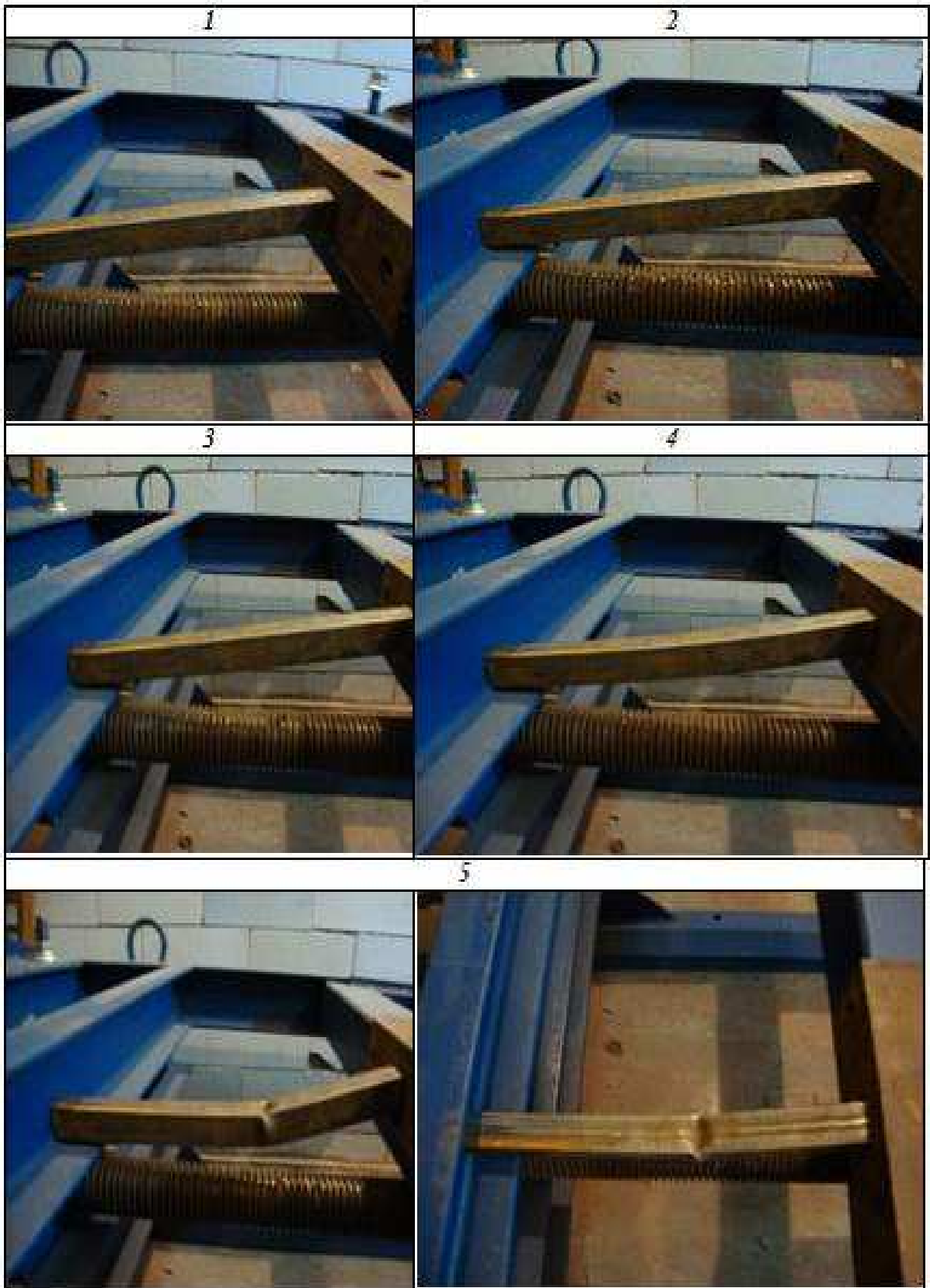


Рис. 8. Фотограмма процесса нагружения квадратной балки под углом  $\varphi=7^\circ$ .



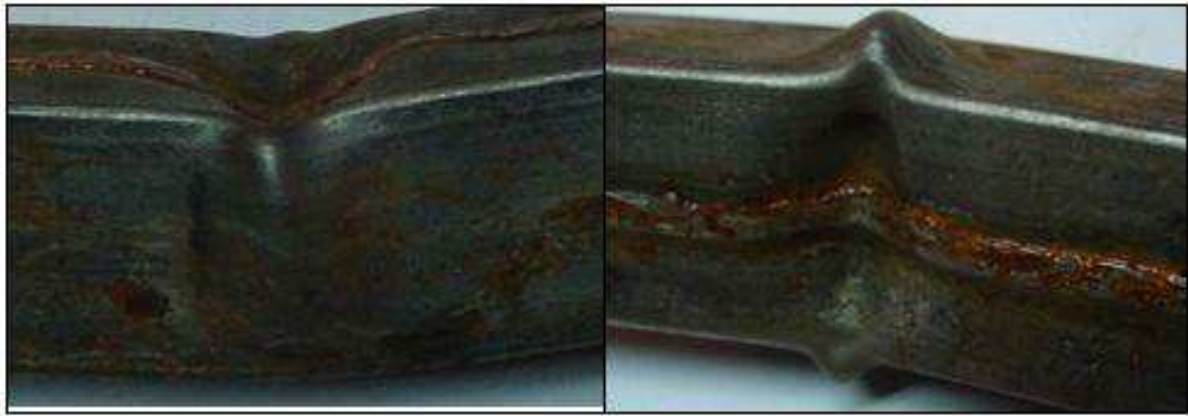


Рис. 9. Разрушения целостности квадратной балки под углом  $\varphi=7^\circ$  при 5 циклах нагружения.



Рис. 10. Деформации торцевой части квадратной балки под углом  $\varphi=7^\circ$  при 2 циклах нагружения.



а

б

Рис. 11. Сравнение разрушения целостности квадратной балки под углом: а -  $\varphi=0^\circ$  при 6 циклах нагружения; б -  $\varphi=7^\circ$  при 5 циклах нагружения.

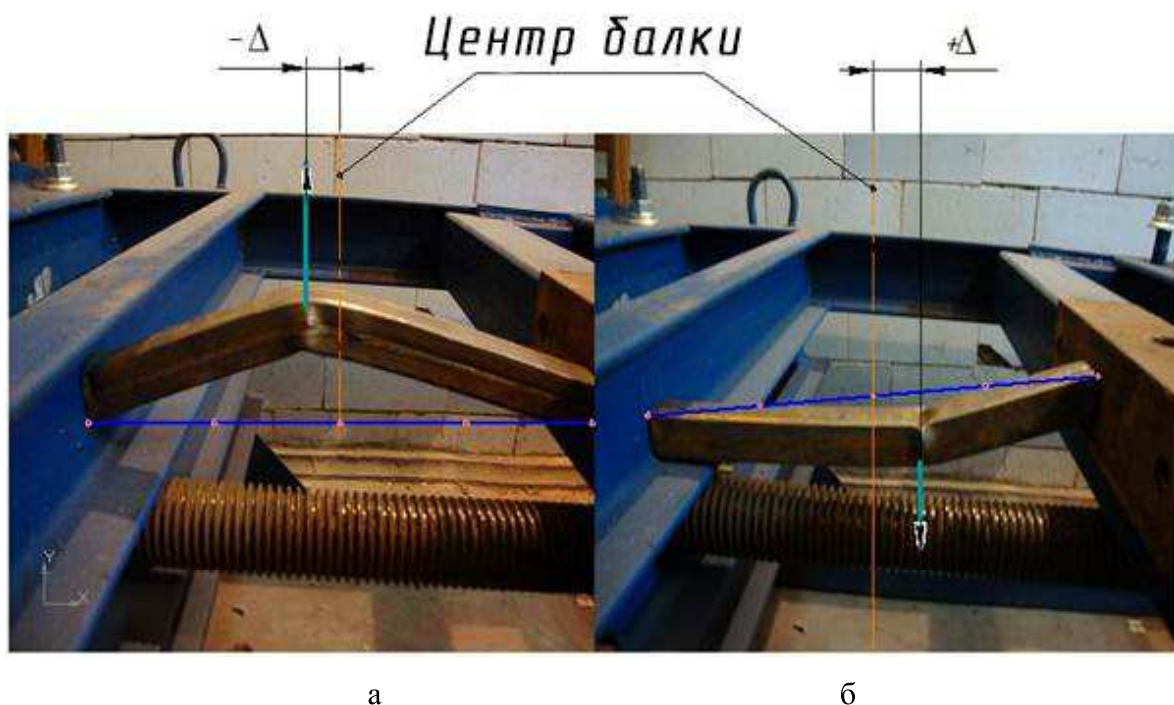


Рис. 12. Направление изгиба квадратной балки и место зоны разрушения: а – при  $\varphi=0^\circ$  - смещение  $-\Delta$ ; б - при  $\varphi=7^\circ$  - смещение  $+\Delta$ .

- при начальном этапе нагружения первоначальному деформированию подвергаются торцевые грани квадратной балки, максимально деформируются грани до полного контакта всего периметра с сопрягаемыми поверхностями (рабочими зажимами стенда);

- зона разрушения целостности квадратной балки, по ее длине, напрямую зависит от угла наклона  $\varphi$ : при  $\varphi=0^\circ$  - зона разрушения смещается от центра балки в сторону конца балки ( $-\Delta$ ), при  $\varphi=7^\circ$  - зона разрушения смещается от центра балки в сторону начала балки ( $+\Delta$ ) рис. 12.

На основании анализа качественной картины исследования круглой балки (трубы) можно сделать выводы:

- при изменении угла наклона круглой балки (угла действия нагрузки) разрушение протекает, аналогично квадратной, т.е. более интенсивнее при  $\varphi=7^\circ$ :  $\varphi=7^\circ$  - 7 циклов нагружения до разрушения конструкции и 10 циклов при  $\varphi=0^\circ$ ;

- при изменении угла наклона круглой балки (угла действия нагрузки) исследуемая модель деформировалась и изгибалась аналогично квадратной, т.е. в разных направлениях: при  $\varphi=7^\circ$  - строго вниз, а при  $\varphi=0^\circ$  - приоритетно – вверх, однако так же как и в случае с квадратной балкой встречались эпизоды и противоположного направления, в сторону наиболее слабой грани;

- зона разрушения целостности круглой балки, по ее длине, напрямую зависит от угла наклона  $\varphi$ : при  $\varphi=0^\circ$  - зона разрушения смещается от центра балки в сторону конца

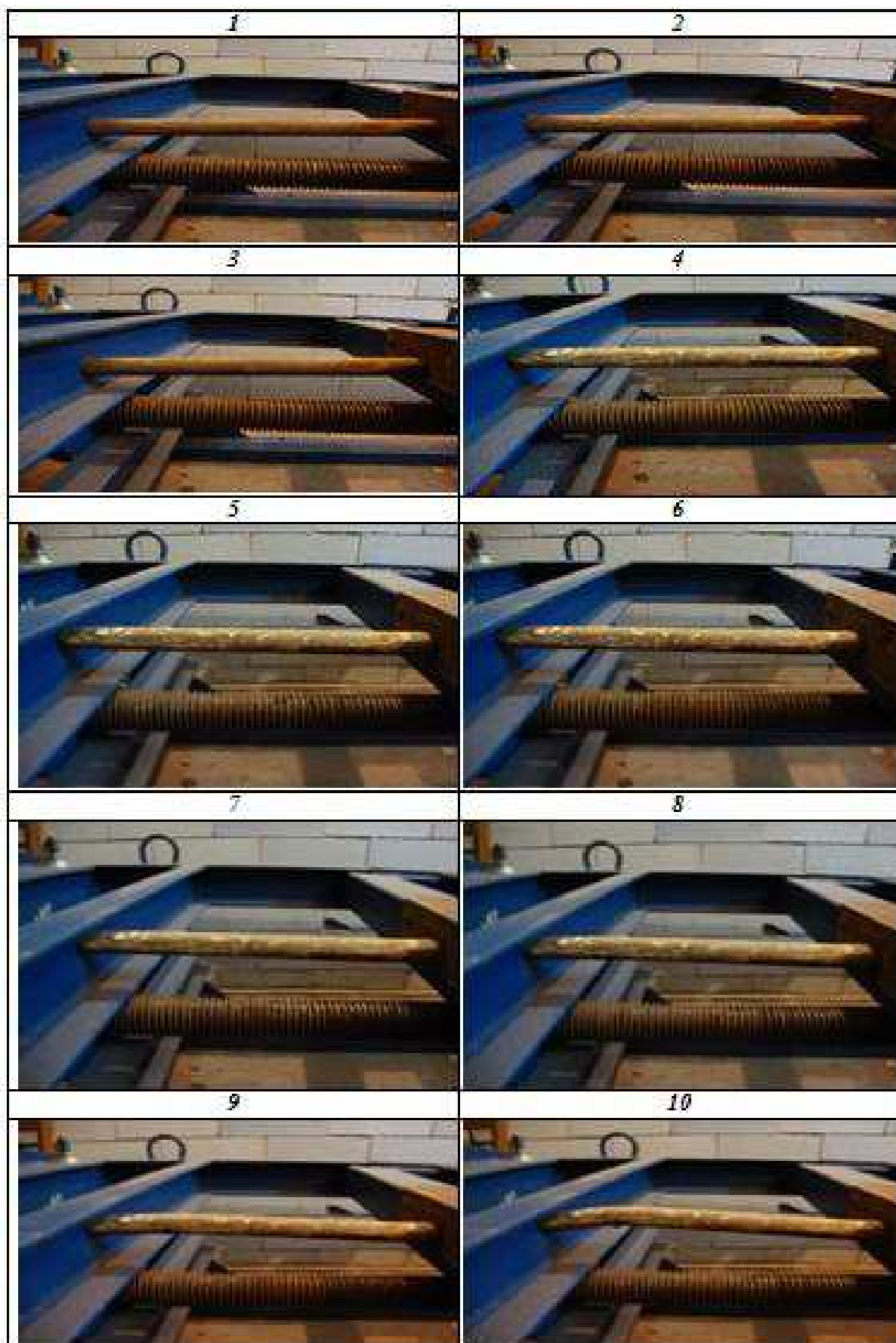


Рис. 13. Фотограмма процесса нагружения квадратной балки под углом  $\varphi=0^\circ$ .



Рис. 14. Разрушение целостности круглой балки под углом  $\varphi=0^\circ$ .

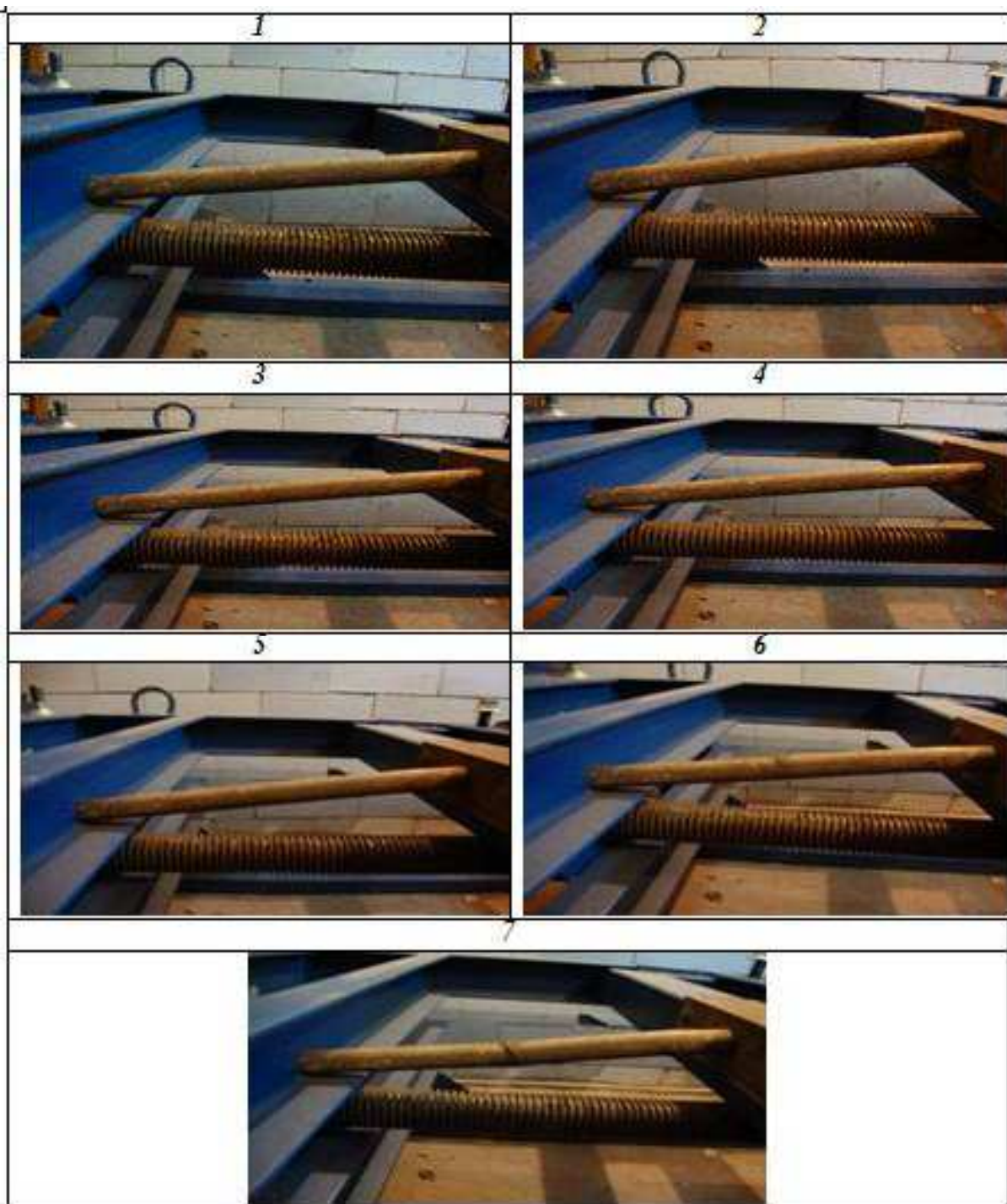


Рис. 15. Фотограмма процесса нагружения круглой балки под углом  $\varphi=7^\circ$ .

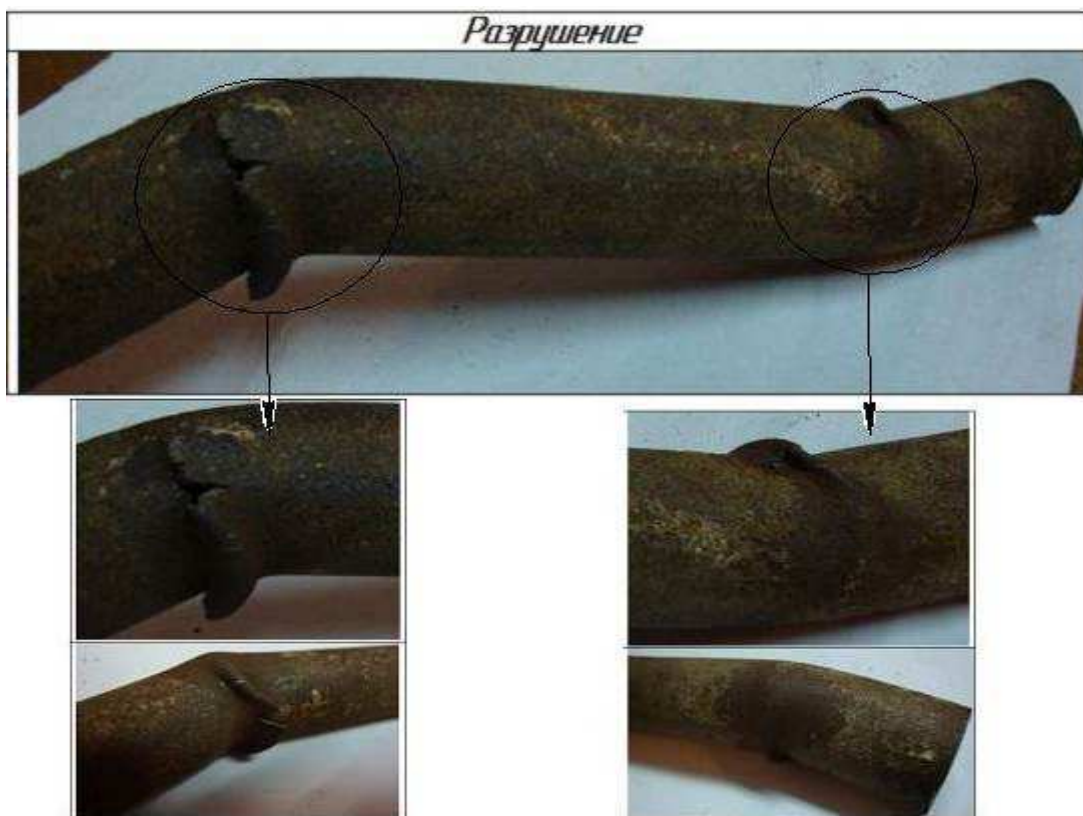


Рис. 16. Разрушения целостности круглой балки под углом  $\varphi=7^\circ$  при 7 циклах нагружения.

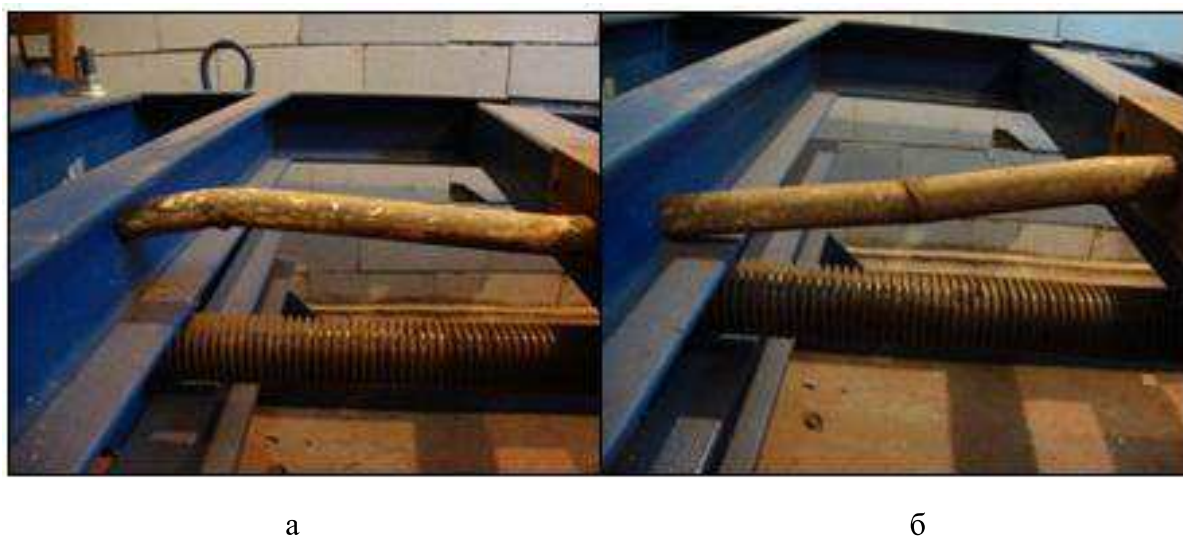


Рис. 17. Сравнение разрушения целостности круглой балки под углом: а -  $\varphi=0^\circ$  при 10 цикле нагружения; б -  $\varphi=7^\circ$  при 7 циклах нагружения.

балки  $-\Delta$ , при  $\varphi=7^\circ$  - зона разрушения находится практически в центральной части балки с незначительными отклонениями в сторону начала балки (т.е. можно утверждать что  $+\Delta=0$ ) рис. 18, что аналогично квадратной балке;

- проведенные исследования однозначно свидетельствуют о преимуществе круглой балки над квадратной, как при  $\varphi=0^\circ$  так и при  $\varphi=7^\circ$ , на что указывает количество циклов нагружения (т.е. устойчивость балки от разрушения при последовательном увеличении нагрузки сжатия на 1 цикл). Так, круглая балка оказалась более устойчивой: при  $\varphi=0^\circ$  на 4, а при  $\varphi=7^\circ$  на 2 цикла нагружения.

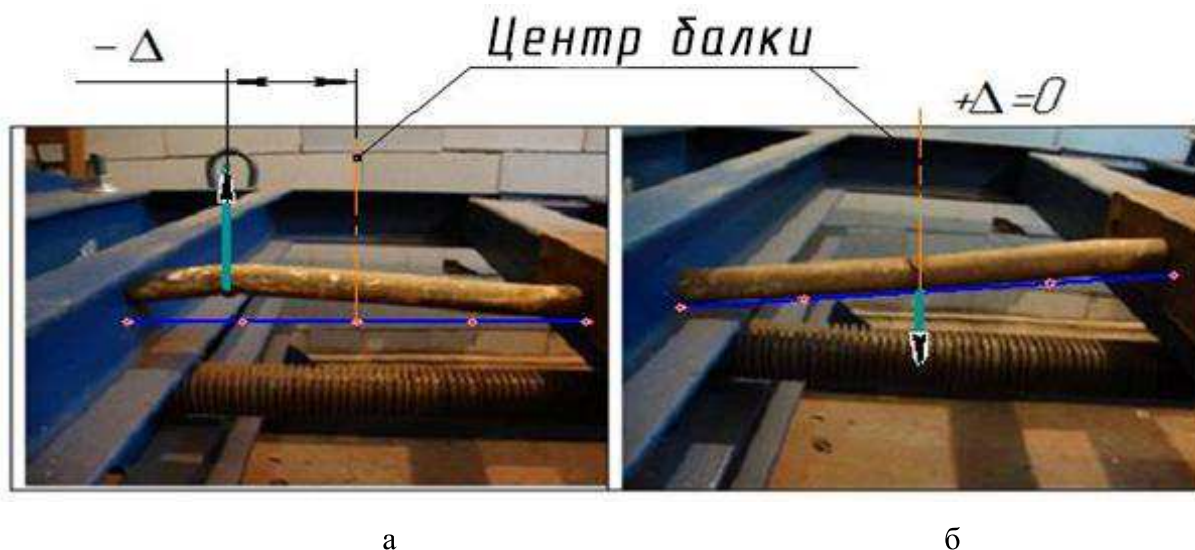


Рис. 18. Направление изгиба круглой балки и место зоны разрушения: а – при  $\varphi=0^\circ$  - смещение  $-\Delta$ ; б - при  $\varphi=7^\circ$  - смещение  $+\Delta$ .

**Выводы.** При проектировании м/к РО СДМ, которые подвержены постоянному воздействию как статических так и динамических нагрузкам целесообразно использовать тип полых (пустотных) конструкций - круглого сечения.

Выбор рационального типа сечения (круглой формы) пустотной конструкции позволяет повысить прочность, надежность и долговечность конструкции на 25-30%, а также способствует, за счет особенностей геометрических форм, уменьшению деформации в металлоконструкции, изменению зоны напряжений, что в совокупности повышает работоспособность конструкции.

Основываясь на проведенных экспериментальных исследованиях, можно констатировать, что конструкции круглой формы преобладают над квадратными, а также утверждаем, что изменение угла действия нагрузки  $\varphi$  приводило к изменению протекания процесса разрушения целостности конструкции, как по развитию зоны разрушения так и по направлению изгиба балки в данной зоне.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Максименко А. Н. Диагностика строительных дорожных и подъёмно-транспортных машин: учеб. пособие / А. Н. Максименко, Г. Л. Анипенко, Г. С. Лягушев. – СПб.:БХВ - Петербург, 2008. – 302 с.
2. Хмара Л. А. Повышение прочностных характеристик элементов рабочего оборудования строительно-дорожных машин путем применения заполнителя / Л. А. Хмара, В. А. Талалай // Научно-технічний журнал «Техніка будівництва» Київського національного університету будівництва і архітектури. – Київ: Кнуба, 2010. – Вип. 25. – С. 4 – 12.
3. Талалай В. А. Определение рациональных геометрических форм металлоконструкций рабочего оборудования строительных машин на основании анализа их прочностных свойств / В. А. Талалай // Современное промышленное и гражданское строительство. – Донецк : ДонНАСА, 2010. – Т. 6, номер 3. – С. 159 – 168.
4. Хмара Л. А. Эффективные методы повышения прочности металлоконструкций строительных и дорожных машин заполнителя / Л. А. Хмара, В. А. Талалай, В. А. Гринюк // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – Дн–вск. : ПГАСА, 2010. – Вып. 57. – С. 248 – 258.
5. Машини для земляних робіт: Навчальний посібник / [Хмара Л. А., Кравець С. В., Нічке В. В. та ін.] ; під заг. ред.проф. Хмари Л. А. та проф. Кравця С. В. Ровно – Дніпопетровськ –Харків. – 2010 – 557 с.

**УДК 621.225:69.002.51**

**Л. А. ХМАРА, д. т. н.**

*ГВУЗ «Придніпровська державна академія будівництва і архітектури»*

**А. П. ХОЛОДОВ, к. т. н.**

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

### **ГИБРИДИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН И ПОВЫШЕНИЕ ИХ ТОПЛИВНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ**

**Актуальность проблемы.** Эксплуатация двигателей внутреннего сгорания, как бензиновых, так и дизельных в дорожно-строительном хозяйстве характеризуется большими мощностями и как следствие большим расходом топлива и выбросом