УДК 624.82/85 (075.8)

**Г. И. Богданов**
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

# НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ ГЛАВНЫХ БАЛОК ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ РАЗВОДНЫХ МОСТОВ РАСКРЫВАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЫ У ОСЕЙ ВРАЩЕНИЯ

Рассматриваются результаты натурных обследований пролетных строений разводных мостов раскрывающейся системы, направленных на исследование состояния главных балок у осей вращения. Описываются характерные дефекты рассматриваемых конструкций в виде трещин сварных швов крепления радиальных ребер жесткости к трубчатым втулкам у осей вращения. Приводятся результаты измерения напряжений в радиальных ребрах жесткости у осей вращения.

разводной мост, раскрывающаяся система разводных мостов, крыло, ось вращения, ребро жесткости, трещины, напряжения.

## Ведение

Конструкция и работа разводных мостов раскрывающейся системы входят в число наиболее сложных систем разводных мостов. Это в полной мере относится к раскрывающимся мостам с разгруженными осями вращения, когда в наведенном положении крыло опирается на положительные опорные части и физические оси вращения разгружены, а в процессе разводки наоборот – положительные опорные части разгружены, а вся нагрузка от крыла воспринимается осями вращения.

Независимо от способа разгрузки осей вращения положительные опорные части, по характеру работы являющиеся неподвижными, могут быть выполнены в виде либо стальных опорных частей, близкими по конструкции к неподвижным опорным частям неразводных мостов, либо качающихся стоек, установленных на одной вертикали с осями вращения.

В настоящее время основным способом разгрузки осей вращения стал способ с опиранием крыльев разводного пролетного строения на качающиеся стойки, установленные на одной вертикали с осями вращения (рис. 1).

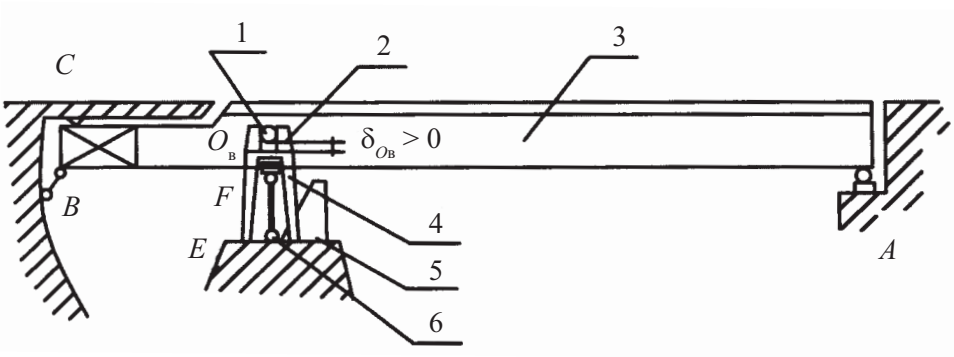


Рис. 1. Разводное пролетное строение раскрывающейся системы с разгруженной осью вращения и опиранием в наведенном положении на качающиеся стойки:
1 – ось вращения; 2 – вертикальные направляющие; 3 – крыло разводного пролетного строения; 4 – опорная стойка (рама); 5 – упор; 6 – качающаяся стойка

В такой конструкции главные балки крыла 3 разводного пролетного строения в наведенном положении опираются на качающиеся стойки 6, при этом между осью вращения 1 и стойкой (рамой) 4, на которую опирается ось вращения каждой балки, имеется зазор $\delta_{Ов} > 0$. Так как стойки шарнирно опираются на опору разводного пролета, а на стойки, в свою очередь, также шарнирно опираются главные балки крыла, для предотвращения продольных перемещений крыла на основании (опорных подушках) подшипников оси вращения установлены направляющие 2, которые обеспечивают только вертикальные перемещения оси вращения. Способ разгрузки осей вращения с помощью качающихся стоек впервые в отечественной практике был применен на мосту Александра Невского, а затем и на строившихся или реконструировавшихся мостах, в том числе на Володарском мосту, введенном в эксплуатацию после реконструкции в 1993 г. [1–3].

Так как при движении пространственное положение крыла изменяется при неизменном направлении силы тяжести, напряженно-деформированное состояние главных балок зависит от положения крыла в каждый момент времени. При этом в отдельных зонах конструкции в зависимости от угла подъема крыла могут изменяться и изменяются как величина, так и знаки напряжений [4, 5]. Это относится прежде всего к элементам главных балок крыла у осей вращения.

## 1 Особенности конструкции главных балок крыльев раскрывающихся мостов у осей вращения

Оси вращения прикрепляют к стенкам главных балок таким образом, чтобы при монтаже была возможность выверки и регулировки их положения (рис. 2).

Это достигается устройством в стенке балки 2 круглого отверстия для пропуска с некоторым припуском оси вращения 8. После регулировки высотного и планового положения ось фиксируется с помощью двух кольцевых

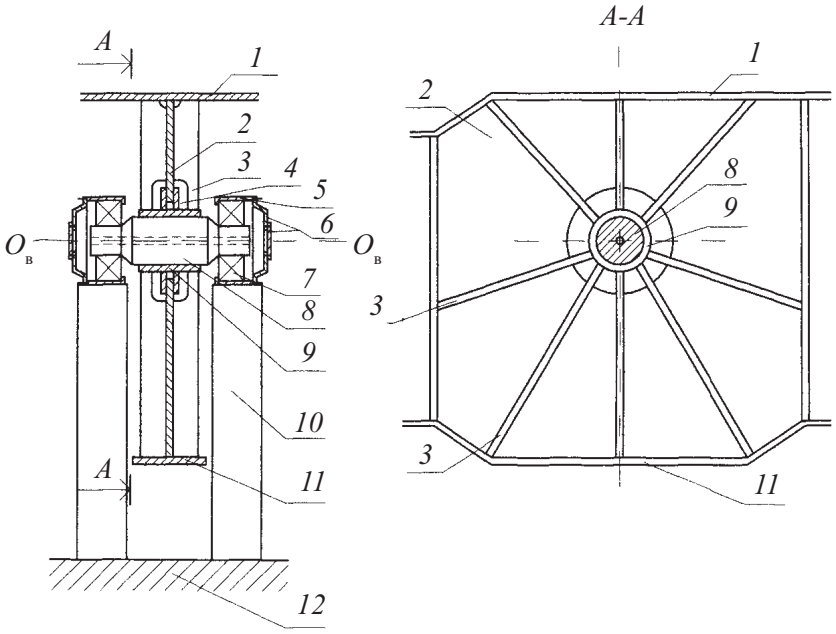


Рис. 2. Конструкция узла опирания главных балок на оси вращения:
1 – плита проезжей части; 2 – стенка главной балки; 3 – радиальное ребро жесткости; 4 – кольцевая диафрагма; 5 – корпус подшипника оси вращения; 6 – крышка; 7 – подшипник оси вращения; 8 – ось вращения; 9 – трубчатая втулка; 10 – стойка; 11 – нижний пояс главной балки; 12 – опора

диафрагм 4, устанавливаемых с обеих сторон стенки балки и привариваемых к стенке и трубчатой втулке 9, устанавливаемой с целью предотвращения наложения сварных швов непосредственно на металл оси вращения. В некоторых случаях приварка осуществляется непосредственно к оси вращения, при этом трубчатая втулка не требуется.

Так как в процессе движения пространственное положение крыла и направление опорной реакции меняются, стенка балки у оси вращения подкрепляется установкой радиальных ребер жесткости 3, привариваемых к упоминавшейся выше трубчатой втулке 9, стенке балки 2 и покрывающему листу ортотропной плиты 1. Схема расположения радиальных (в том числе вертикальных) ребер жесткости определяется при проектировании расчетом устойчивости стенки. По концам ось вращения 8 опирается на подшипники 7, устанавливаемые на стойках 10.

## 2 Особенности физического состояния элементов главных балок у осей вращения

Многочисленные обследования разводных пролетных строений мостов раскрывающейся системы позволили выявить характерный дефект таких конструкций в виде разрушения (трещины) сварных швов крепления радиальных ребер жесткости к трубчатой втулке оси вращения [3]. Трещины начинаются с торца ребер жесткости и распространяются на различную длину. В одних случаях трещины распространяются на всю длину шва (рис. 3), в других отмечены только на начальном участке ребра, где возникает и откуда начинается рост трещин (рис. 4). Трещины могут располагаться в ребрах, расположенных как с одной стороны стенки главной балки, так у двух симметрично установленных ребер по обе стороны стенки балки.

В качестве примера на рис. 5–8 показаны трещины в сварных швах крепления радиальных ребер жесткости, выявленных при обследовании большого городского разводного моста раскрывающейся системы с величиной разводного пролета 51,5 м.

## 3 Исследование положения геометрической оси вращения и характера опирания крыла на положительные опорные части

Опирание балочных пролетных строений на опорные части априорно предполагает, что все угловые перемещения опорных сечений

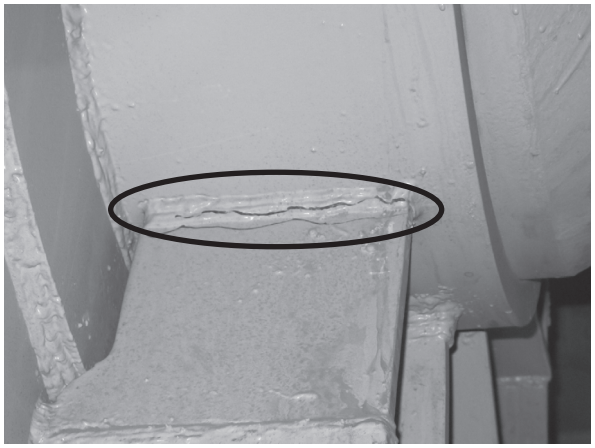

Рис. 3. Характерный вид полного разрушения сварного шва крепления радиального ребра жесткости к трубчатой втулке оси вращения

Рис. 4. Трещина на начальном участке сварного шва крепления радиального ребра жесткости к трубчатой втулке оси вращения

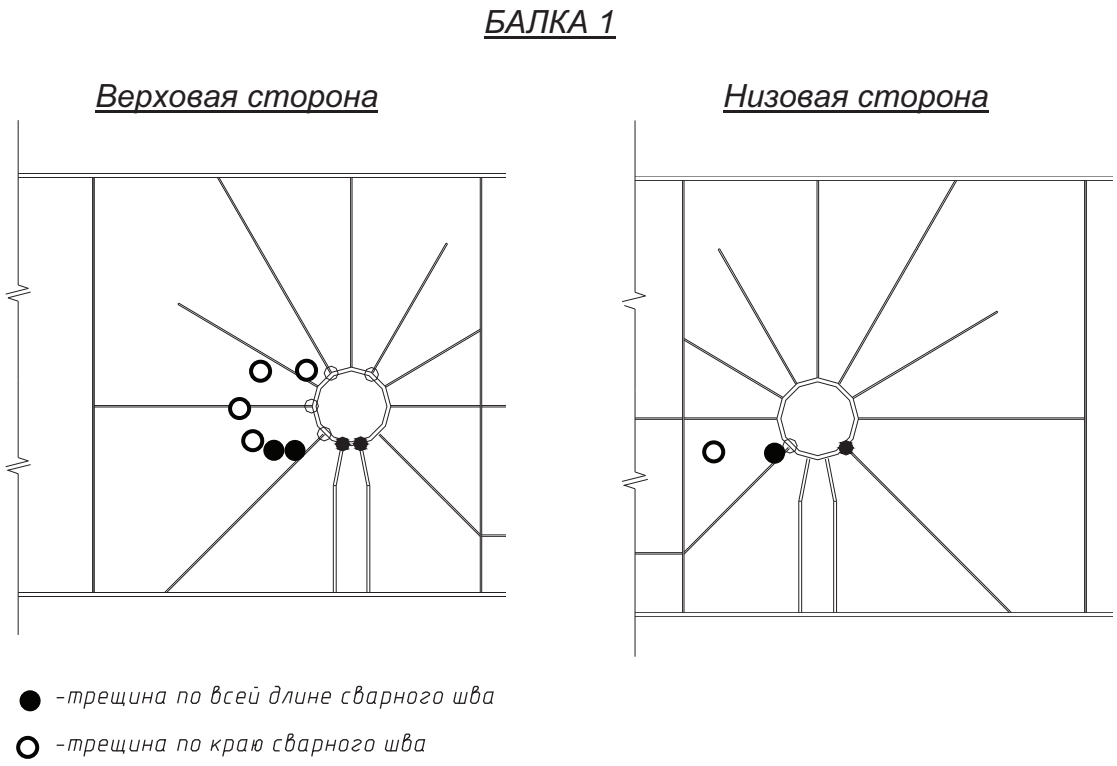


Рис. 5. Схема трещин у главной балки Б1

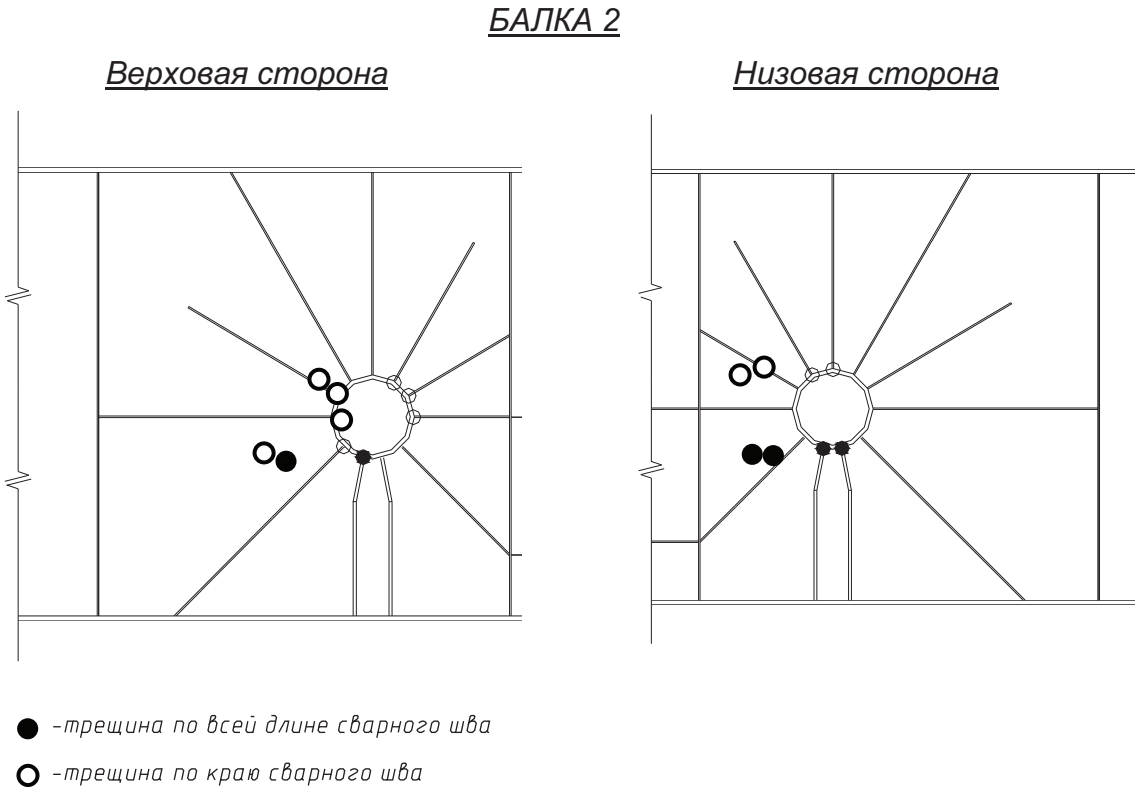


Рис. 6. Схема трещин у главной балки Б2

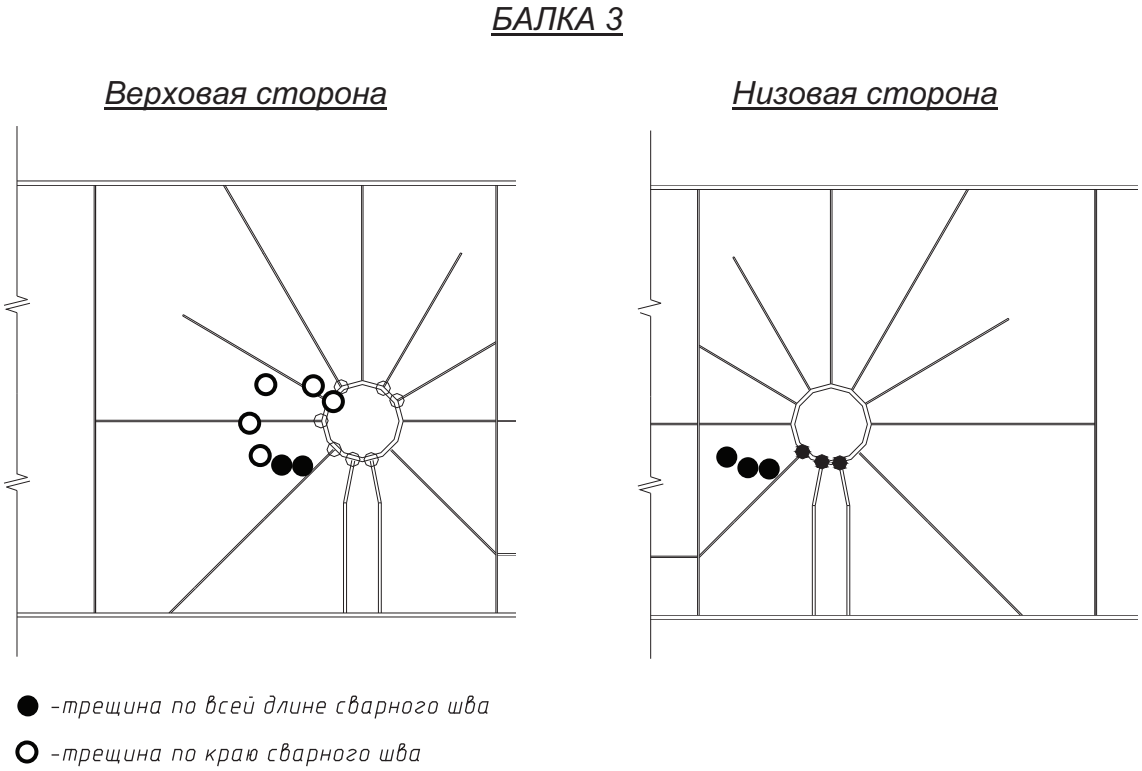


Рис. 7. Схема трещин у главной балки Б3

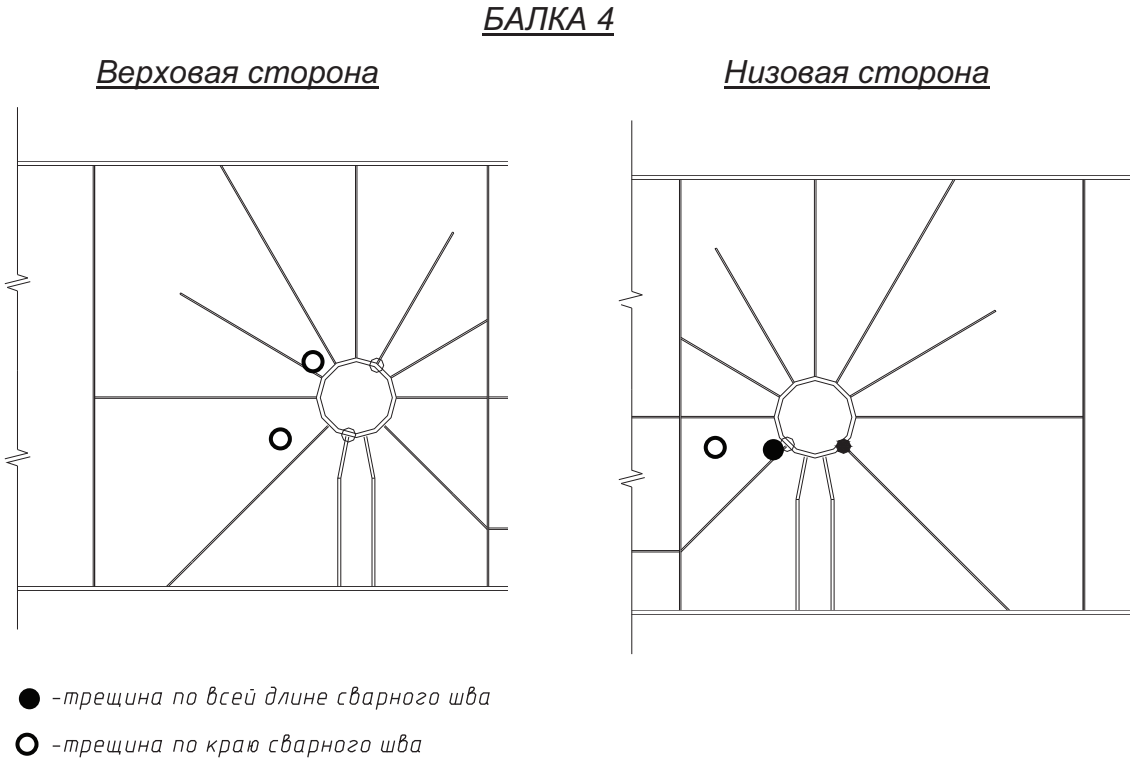


Рис. 8. Схема трещин у главной балки Б4

происходят относительно единой для всех главных балок оси, на которой располагаются шарнирные узлы всех опорных частей, расположенных в каждом опорном сечении. Фактически из-за погрешностей монтажа и индивидуальных особенностей каждого конкретного комплекта опорных частей шарнирные узлы опорных частей у каждой главной балки занимают свое индивидуальное положение. Однако из-за малости деформаций неразводных пролетных строений под нагрузкой и малой величины угловых перемещений опорных сечений это не оказывает заметного влияния на напряженно-деформированное состояние пролетных строений, поэтому при расчетах несоосностью опорных частей пренебрегают.

Принципиальным отличием работы разводного пролетного строения от работы стационарного является поворот опорных сечений, в которых располагается ось вращения, при разводке-наводке крыла на значительный угол, составляющий несколько десятков градусов. В этом случае несоосность осей вращения может оказать значительное влияние на напряженно-деформированное состояние конструкции. Указанная несоосность обнаруживается практически при всех обследованиях раскрывающихся мостов. На рис. 9, 10 в качестве примера приведено изменение высотного положения подшипников осей вращения одного из разводных мостов при наведенном и разведенном положениях крыла. При

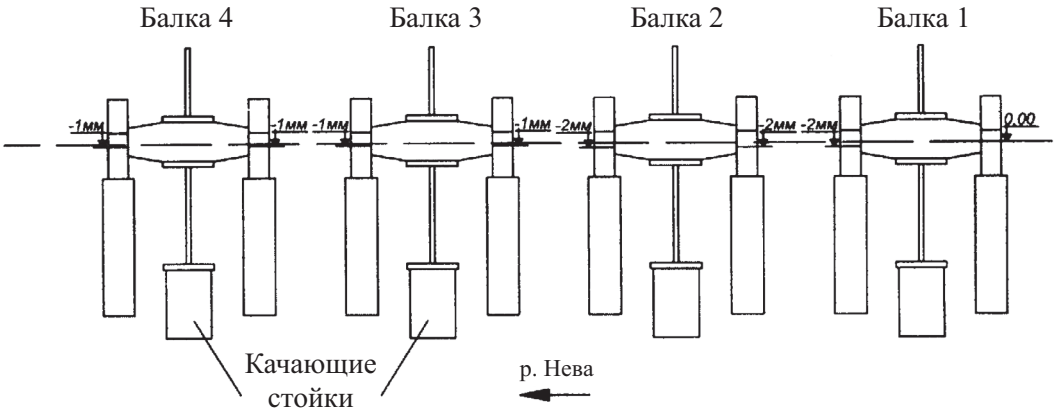


Рис. 9. Высотное положение подшипников осей вращения при опирании крыла на качающиеся стойки

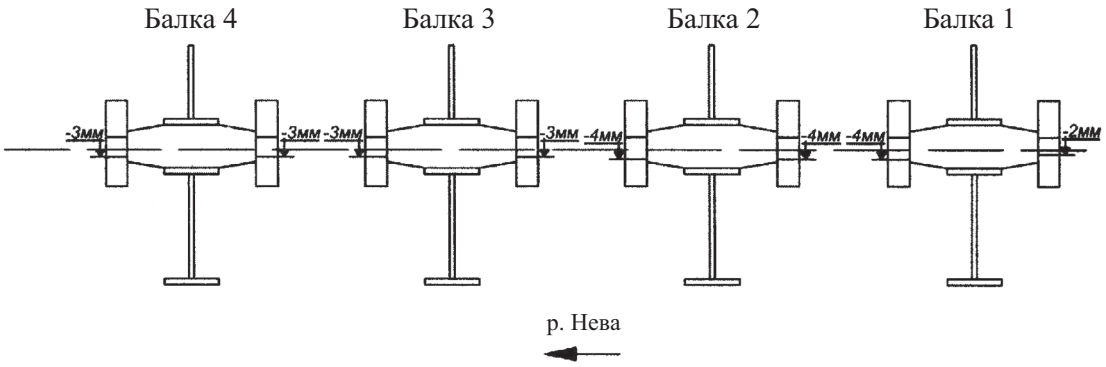


Рис. 10. Высотное положение подшипников осей вращения при разведенном положении крыла

этом положение подшипников изменялось и при промежуточных углах подъема крыла. Аналогичный характер имеют особенности и планового положения осей вращения.

В качестве положительных опорных частей в разводных мостах раскрывающейся системы в настоящее время, как правило, используют качающиеся стойки, длина которых может доходить до 3–4 м. При столь значительной длине качающихся стоек и разновысотном положении нижних шарнирных узлов и балансиров верхних узлов стоек, на которые опираются главные балки крыла, отмечается также неравномерность опирания главных балок на качающиеся стойки, что видно из результатов определения положения крыла большого разводного моста (рис. 11, табл. 1).

Наличие смещений главных балок при опирании на качающиеся стойки определяет сложный характер работы и главных балок, и качающихся стоек, которые в этом случае работают на внецентренное сжатие, что вызывает изгиб стоек и приводит к дополнительной неравномерности опирания главных балок на стойки. О наличии значительной неравномерности в опирании главных балок можно судить и по характеру отпечатков на контактных поверхностях верхних балансиров главных балок и нижних балансиров качающихся стоек. Неравномерность опирания главных балок на качающиеся стойки, связанная со сложностью монтажа конструкций разводных пролетных строений характерна практически для всех раскрывающихся мостов с опиранием главных балок на качающиеся стойки.

Рассмотренные выше факторы, задающие сложный характер напряженно-деформированного состояния узла опирания главных балок на оси вращения, определяют возможность появления чрезмерных напряжений в отдельных зонах, что подтверждается разрушением сварных швов крепления радиальных ребер жесткости. Положение зон чрезмерных напряжений, а также углы подъема крыла, при которых они возникают, определяются конкретными погрешностями в установке осей

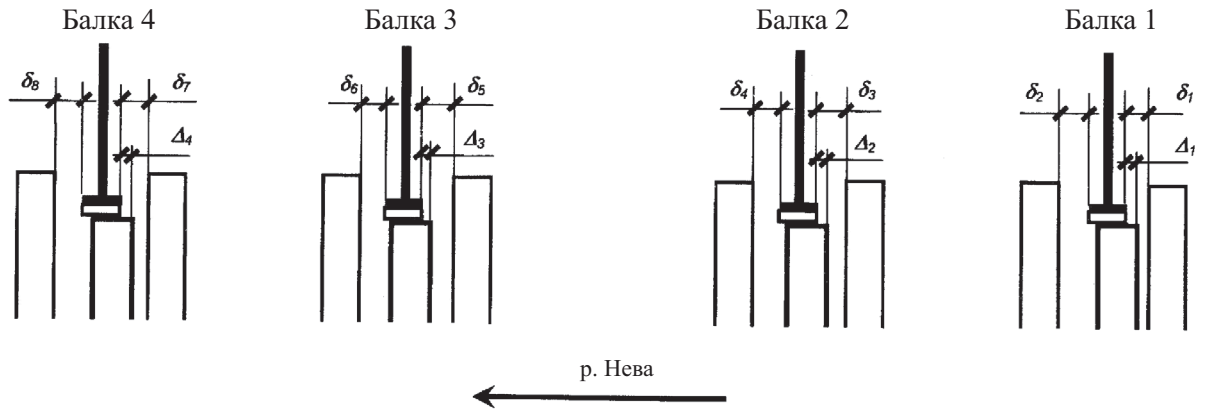


Рис. 11. Взаимное положение главных балок крыла разводного пролетного строения раскрывающегося моста, качающихся стоек и стоек подшипников осей вращения

ТАБЛИЦА 1. Взаимное положение главных балок, стоек подшипников осей вращения, верхних балансиров и качающихся стоек, мм

| Главная балка № 1 | | Главная балка № 2 | | Главная балка № 3 | | Главная балка № 4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Delta_1$ | 15 | $\Delta_2$ | 20 | $\Delta_3$ | 5 | $\Delta_4$ | 10 |
| $\delta_1$ | 75 | $\delta_3$ | 150 | $\delta_5$ | 117 | $\delta_7$ | 68 |
| $\delta_2$ | 125 | $\delta_4$ | 77 | $\delta_6$ | 108 | $\delta_8$ | 135 |

вращения и особенностями опирания подшипников осей вращения.

Натурные измерения напряжений в элементах разводных пролетных строений раскрывающихся мостов подтверждают возникновение в отдельных ребрах напряжений, превышающих расчетные сопротивления металла. Примером могут служить результаты измерения напряжений в радиальных ребрах жесткости главной балки крыла у оси вращения разводного моста (рис. 12). Результаты измерений приведены в табл. 2.

Как видно, напряжения в ребрах зависят от угла подъема крыла, причем напряжения в процессе движения крыла не только изменяются по величине, но и могут менять знак. В одном из ребер напряжения приблизились к пределу текучести стали 15ХСНД, из которой изготовлено пролетное строение.

## Заключение

Проанализированы причины возникновения трещин в швах крепления радиальных ребер жесткости главных балок разводных пролетных строений раскрывающейся системы. Отмечено, что в разводных мостах, поворачивающихся в процессе разводки-наводки на значительный угол, большое значение

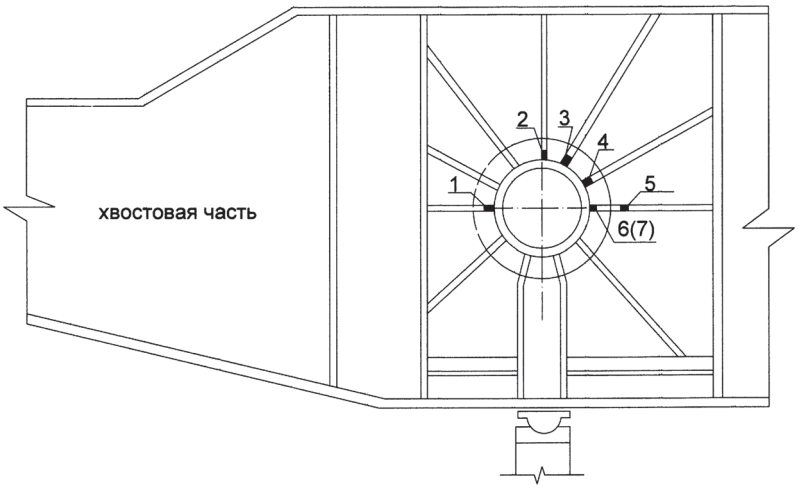


Рис. 12. Схема расположения датчиков на радиальных ребрах жесткости у оси вращения крыла раскрывающегося моста

ТАБЛИЦА 2. Напряжения в радиальных ребрах жесткости, МПа

| № датчика | Угол подъема крыла φ, град. | | |
|---|---|---|---|
| | 0 (наведенное положение) | 5 (загружение осей вращения) | 78 (разведенное положение) |
| 1 | 0 | 80 | 110 |
| 2 | 0 | –170 | 8 |
| 3 | 0 | –265 | –218 |
| 4 | 0 | –63 | –105 |
| 5 | 0 | 6 | 127 |
| 6 | 0 | –82 | –341 |
| 7 | 0 | 8 | 135 |

имеют погрешности монтажа, отклонения в положении подшипников осей вращения, несоосность осей вращения с геометрической осью вращения крыла и особенности опирания в наведенном положении на качающиеся стойки. Выполненные измерения подтвердили возможность возникновения в радиальных ребрах жесткости напряжений, близких к прочностным характеристикам стали, из которой изготовлена конструкция пролетного строения.

**Библиографический список**

1. **Учет** деформаций при оценке напряженно-деформированного состояния конструкций раскрывающихся мостов / Г. И. Богданов // Изв. Петербург. ун-та путей сообщения. – 2011. – Вып. 4 (29). – С. 29–36.

2. **Способы** разгрузки осей вращения раскрывающихся мостов и стабильность их пространственного положения / Г. И. Богданов // Украинский межотраслевой науч.-практич. семинар «Сучасні проблеми проектування, будівництва та експлуатації споруд на шляхах сполучення», 30 червня – 1 липня 1998 р., Київ : сб. докл. – Киев, 1998. – С. 13–16.

3. **Техническая** диагностика раскрывающихся мостов / Г. И. Богданов // Украинский межотраслевой науч.-практич. семинар «Сучасні проблеми проектування, будівництва та експлуатації споруд на шляхах сполучення», 30 червня – 1 липня 1998 р, Київ : сб. докл. – Киев, 1998. – С. 23–27.

4. **Оценка** долговечности разводных мостов раскрывающейся системы при отсутствии подклинки противовеса / В. В. Кондратов, Г. И. Богданов // Изв. Петербург. ун-та путей сообщения. – 2013. – Вып. 1 (34). – С. 96–99.

5. **Особенности** динамической работы пролетных строений разводных мостов раскрывающейся системы / В. В. Кондратов, Г. И. Богданов // Изв. Петербург. ун-та путей сообщения. – 2013. – Вып. 1 (34). – С. 100–108.

УДК 629.4.07

**О. И. Копытенкова, О. Т. Алиев**
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТРЕНАЖЕРНО–ОБУЧАЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ЛОКОМОТИВНЫХ БРИГАД

В статье приведены примеры функциональных железнодорожных тренажеров и результаты их сравнительного анализа. Более того, рассмотрены модули построения обучающих комплексов на основе проблемно-ситуационного подхода, например, тренажеры, которые ориентированы на обучение специалиста с дальнейшей наработкой определенных навыков и умений. Современная тренажерная система должна включать в себя помимо средств зрительной симуляции также средства чувствительной симуляции, которые в основном формируют опыт и умение действовать в определенной обстановке.

железнодорожные тренажеры, обучающие системы, машинист, мультиплеер, интерфейс, симулятор, внешние факторы, внутренние факторы.