



ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ  
МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ  
METAL CONSTRUCTIONS**

2022, ТОМ 28, НОМЕР 3, 131–140

EDN: OZHTJV

УДК 622.67:621.547

(22)-0444-1

## **ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ НАКЛОННОГО МОСТА СКИПОВОГО ПОДЪЕМНИКА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**В. А. Пенчук<sup>1</sup>, В. А. Сидоров<sup>2</sup>**

*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.*

*E-mail: <sup>1</sup>v.a.penchuk@donnasa.ru, <sup>2</sup>v.a.sidorov@donnasa.ru*

*Получена 17 августа 2022; принята 09 сентября 2022.*

**Аннотация.** В работе рассмотрены вопросы оценки состояния металлоконструкций наклонного моста скипового подъемника, имеющего широкое применение в горнодобывающей, металлургической и строительной промышленности. Длительные сроки эксплуатации, воздействий циклических переменных нагрузок, вибрационное воздействие и влияние окружающей среды приводят к локальному повреждению элементов конструкции. Выполнено исследование двух подходов к анализу действующих сил и разрушающих факторов на элементы наклонного моста скипового подъемника доменной печи. Данные, полученные при визуальном осмотре металлоконструкций, позволяют косвенно оценить значения действующих сил и характер внешних воздействий. Разработана 3D модель наклонного моста скипового подъемника, проведен расчёт реакций в скатах скипов, рассмотрена динамическая математическая модель силового нагружения канатов. Полученные данные позволяют уточнить причины ускоренного износа элементов моста в точках усиления. На действующем оборудовании выполнены измерения параметров механических колебаний на различных уровнях металлоконструкции наклонного моста, при прохождении скипа – как основного источника нагрузки. Полученные значения временной реализации виброускорения позволяют на основании анализа полученных данных определить стабильность или деградацию состояния, выявить момент появления первых отклонений и предупредить развитие повреждений путём проведения восстановительного ремонта.

**Ключевые слова:** наклонный мост, скиповый подъемник, доменная печь, техническое состояние, вибрация.

## **ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ НАХИЛЕННОГО МОСТА СКІПОВОГО ПІДЙОМНИКА ДОМЕННОЇ ПЕЧІ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

**В. О. Пенчук<sup>1</sup>, В. А. Сидоров<sup>2</sup>**

*ДОН ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,  
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.*

*E-mail: <sup>1</sup>v.a.penchuk@donnasa.ru, <sup>2</sup>v.a.sidorov@donnasa.ru*

*Отримана 17 серпня 2022; прийнята 09 вересня 2022.*

**Анотація.** У роботі розглянуті питання оцінки стану металлоконструкцій нахилого моста скипового підйомника, що має широке застосування у гірничодобувній, металургійній та будівельній промисловості. Тривалі терміни експлуатації, вплив циклічних змінних навантажень, вібраційний вплив і вплив



навоколишнього середовища призводять до локального пошкодження елементів конструкції. Виконано дослідження двох підходів до аналізу діючих сил і руйнівних факторів на елементи нахилого моста скіпового підйомника доменної печі. Дані, отримані при візуальному огляді металоконструкцій, дозволяють побічно оцінити значення діючих сил і характер зовнішніх впливів. Розроблено 3D модель нахилого моста скіпового підйомника, проведено розрахунок реакцій в скатах скіпів, розглянута динамічна математична модель силового навантаження канатів. Отримані дані дозволяють уточнити причини прискореного зносу елементів моста в точках посилення. На діючому обладнанні виконані вимірювання параметрів механічних коливань на різних рівнях металоконструкції нахилого моста, при проходженні скіпа – як основного джерела навантаження. Отримані значення тимчасової реалізації віброприскорення дозволяють на підставі аналізу отриманих даних визначити стабільність або деградацію стану, виявити момент появи перших відхилень і попередити розвиток пошкоджень шляхом проведення відновлювального ремонту.

**Ключові слова:** нахилений міст, скіповий підйомник, доменна піч, технічний стан, вібрація.

## STRUCTURAL ASSESSMENT OF THE METAL STRUCTURES OF THE HOIST INCLINE OF THE FURNACE HOISTING MACHINE OF THE BLAST FURNACE DURING OPERATION

Valentin Penchuk<sup>1</sup>, Vladimir Sidorov<sup>2</sup>

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.*

*E-mail: <sup>1</sup>v.a.penchuk@donnasa.ru, <sup>2</sup>v.a.sidorov@donnasa.ru*

*Received 17 August 2022; accepted 09 September 2022.*

**Abstract.** The paper considers the issues of assessing the condition of the metal structures of the hoist incline of the furnace hoisting machine, which is widely used in the mining, metallurgical and construction industries. Long service life, the effects of cyclic variable loads, vibration and environmental influences lead to local damage of the structural elements. The study of two approaches to the analysis of the acting forces and destructive factors on the elements of the hoist incline of the furnace hoisting machine of the blast furnace is carried out. The data obtained during the visual inspection of metal structures allow us to indirectly assess the values of the acting forces and the nature of external influences. A 3D model of the hoist incline of a furnace hoisting machine has been developed, reactions in the slopes of the skips have been calculated, and a dynamic mathematical model of the power loading of ropes has been considered. The data obtained make it possible to clarify the causes of accelerated wear of hoist incline elements at the points of reinforcement. On the existing equipment, measurements of the parameters of mechanical vibrations at various levels of the metal structure of the inclined bridge were carried out, during the passage of the skip - as the main source of load. The obtained values of the time realization of vibration acceleration make it possible, based on the analysis of the data obtained, to determine the stability or degradation of the state, to identify the moment of the appearance of the first deviations and to prevent the development of damage by carrying out restorative repairs.

**Keywords:** hoist incline, furnace hoisting machine, blast furnace, technical condition, vibration.

### Актуальность темы

В настоящее время скиповые подъёмники, как грузоподъёмное оборудование, широко используются для перемещения сыпучих и мелкокусковых грузов в специальной ёмкости по рельсо-

вым путям. Скиповые подъёмники применяются в горнодобывающей, металлургической и строительной промышленности, они служат для подъёма на поверхность угля, руды и других полезных

ископаемых. Оперативность изменения производительности, относительно низкие затраты на сооружение, высокий уровень ремонтпригодности и возможность использования скипов различных объёмов определяет эффективность их применения в меняющихся условиях рынка.

В настоящее время, производство чугуна осуществляется в доменных печах: большого объёма (3 500...5 500 м<sup>3</sup>) и малого объёма (1 033...2 200 м<sup>3</sup>). Подача шихтовых материалов для печей большого объёма осуществляется ленточным конвейером, для печей малого объёма - скиповым подъёмником. К машинам для подачи шихтовых материалов предъявляют жёсткие требования - задержка в загрузке материалов влечёт перевод доменной печи на тихий ход или полную остановку. Эти машины должны иметь высокую производительность, высокую надёжность при эксплуатации и обеспечивать возможность полной автоматизации процесса загрузки. В случаях значительного понижения уровня шихты в доменной печи машины обеспечивают форсированный режим подачи шихтовых материалов к загрузочному устройству с последующей загрузкой.

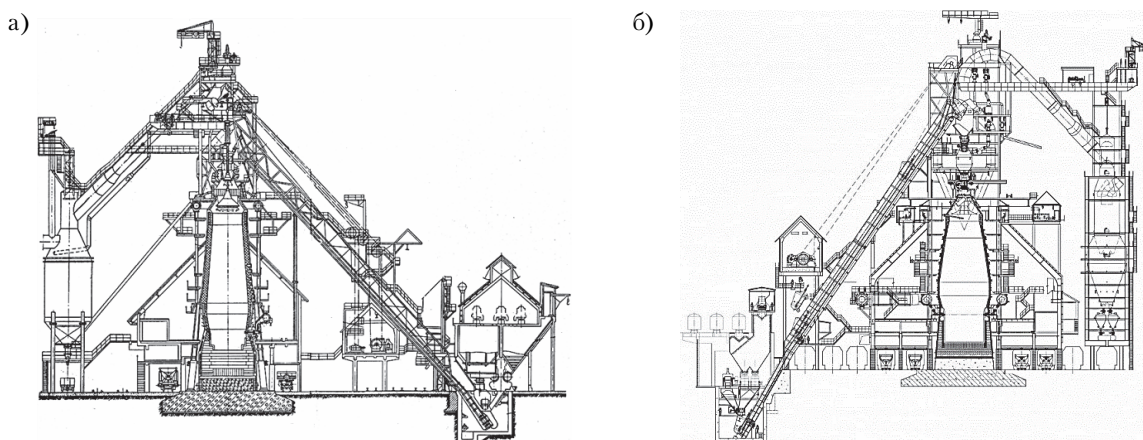
Суточное производство чугуна доменной печи объёмом 1 033 м<sup>3</sup> может составлять 1 700...3 500 т, что обеспечивается подъёмом на колошник 3 000...6 000 т. Производительность современных скиповых подъёмников позволяет обеспечить возрастающие потребности доменных печей 2 000...3 000 м<sup>3</sup>, при минимальной занимаемой площади, примыкающей к литейному двору.

Скиповый подъёмник включает лебёдку, скипы, наклонный мост, отклоняющие шкивы - эта схема не меняется с прошлого века, но позволяет работать как с типовыми, так и с лотковым загрузочными устройствами (рис. 1). Учитывая, что подача шихтовых материалов находится на критическом пути технологического процесса получения чугуна уровень надёжность элементов скипового подъёмника должен обеспечивать непрерывность технологического процесса. Это определяет актуальность задачи оценки технического состояния металлоконструкций наклонного моста скипового подъёмника доменной печи.

### Анализ публикаций

Конструкция наклонного моста скипового подъёмника доменной печи длительное время остаётся без существенных изменений [1, 2, 3]. В правилах технического обслуживания механического оборудования доменных цехов [4] основное внимание уделено состоянию рельсовых путей, износу рельсов, состоянию настила и совпадению осей моста и доменной печи. В практике эксплуатации доменных печей фиксируются отказы, связанные со сходом скипов [5], что опосредованно, в течение длительной эксплуатации, приводит к изменению состояния металлоконструкций наклонного моста.

Известно, что переменный и знакопеременный многократно повторяющийся цикл напряжений (соответствующий условиям работы



**Рисунок 1.** Разрез доменной печи по линии скипового подъёмника: а) объёмом 1 033 м<sup>3</sup> с конусным загрузочным устройством; б) объёмом 2 200 м<sup>3</sup> с лотковым загрузочным устройством.

наклонного моста), вызывает усталость металла [6]. При экспертном обследовании металлоконструкций наряду с визуальным [7, 8], для определения внутренних повреждений используются методы неразрушающего контроля: радиационный, магнитный, ультразвуковой [9]. Определяется прочностной резерв металла [10]. Однако проведение экспертизы должно быть обосновано предварительными наблюдениями в процессе эксплуатации [11–14] органолептическими и вибрационными методами, что составляет основное содержание статьи.

### Основной материал

Технология производства чугуна изменяется медленно, и основным становится длительный срок работы без капитального ремонта. В 1956 году на Донецком металлургическом заводе введена в эксплуатацию доменная печь № 1, а в 1957 г. – доменная печь № 2 полезным объёмом 1 033 м<sup>3</sup> каждая. В конце 50-х этот объём становится типовым, сменяя печи объёмом 930 м<sup>3</sup>. За это время печь несколько раз перестраивалась, проводился и ремонт наклонного моста. В начале 2000-х печи были модернизированы, полностью автоматизированы и стали соответствовать современным требованиям. В этот же период был проведен ремонт наклонного моста и выполнено усиление элементов конструкции.

Наклонный мост (рис. 2) опирается на пилон и на стенку скиповой ямы и представляет собой пространственную металлоконструкцию, состоящую из двух боковых вертикальных ферм, соединённых между собой поперечными связями. Консольная часть моста у колошника не имеет связи с копром доменной печи.

Внутри боковых ферм моста проложены два рельсовых пути, по которым перемещаются скипы. На мосту смонтированы площадки, на которых устанавливают направляющие и главные блоки скипового каната. На продольные нижние балки моста устанавливают железнодорожные рельсы, которые в верхней части переходят в разгрузочные кривые (в которых скорость движения скипа снижается), а в нижней опускаются в скиповую яму. При движении скипа на разгрузочном участке необходимо обеспечить: плавное изменение усилия в канате; постоянное прижатие задних колёс к рельсам; полное высыпа-

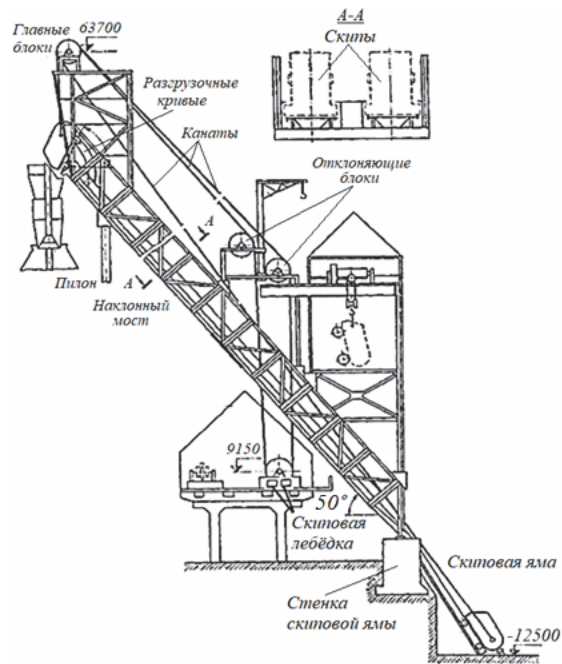


Рисунок 2. Основные элементы скипового подъёмника.

ние шихтовых материалов; возврат скипа под действием собственного веса с любого положения на разгрузочных кривых.

Передвижение скипов по наклонному мосту создаёт переменные силовые нагрузки неопределённость которых определяется техническим состоянием рельсов, металлоконструкций, подшипников колёс скипов и др. На этапе проектирования отсутствует спектр реальных рабочих и развивающихся паразитных нагрузок. Это приводит к необходимости использования повышенных коэффициентов запаса прочности. Унификация элементов конструкции и неравномерное их нагружение в процессе эксплуатации приводит к необходимости выполнения восстановительных операций на отдельных участках. Наличие данных о наиболее изношенных участках наклонного моста позволяет уточнить исходные положения при проведении проектного расчёта, что обеспечит снижение рисков при работе доменной печи.

*Анализ конструкции наклонного моста.* Наклонный мост выполнен решётчатым, сварным и включает две боковые вертикальные фермы, соединённые поперечными связями. Ферма (рис. 3) состоит из нижнего 1 и верхнего 2 пояса,



**Рисунок 3.** Схема боковой фермы наклонного моста.

стоек 3, раскосов 4 и накладок 5. Элементы (за исключением накладок, выполненных из полосы) выполняются из сдвоенного уголка № 16. Боковые фермы в нижнем поясе соединяются швеллерами, в верхнем – уголками и стяжками из полосы.

Проезжая часть моста состоит из поперечных балок, связанных с нижними поясами вертикальных ферм. На поперечные балки укладываются двутавровые балки, на которых закрепляют рельсы. Нижнюю часть моста подшивают стальными листами для защиты от материалов, которые могут высыпаться из скипа. Верхнюю опорную колонну (пилона) выполняют плоской в виде решетчатой фермы. Материал элементов наклонного моста Ст.3.

Среди наиболее характерных причин повреждений элементов наклонного моста следует отметить появление трещин в результате усталостного разрушения, коррозия и деформация, дефекты и повреждения сварных швов и др. Анализ длительности простоев доменных печей, связанных с ликвидацией аварий узлов скипового подъемника, показал, что наибольшие потери вызваны отказами и поломками элементов наклонного моста, что определяется труднодоступностью.

На скиповом подъемнике доменной печи № 1 Донецкого металлургического завода было проведено усиление металлоконструкции наклонного моста (рис. 4). Боковые фермы и нижний пояс были усилены перед опорой пилона, а верхний пояс – в месте перегиба – точка изменения угла наклона моста при спуске в скиповую яму. Зона ослабления нижнего пояса и боковых ферм связана с распространением волны деформации при движении скипа и концентрации этой волны в точке изменения жесткости конструкции – перед пилоном. В точке перегиба верхний пояс работает на растяжение, что объясняет появление зоны повышенного износа.

Разработка 3D модели наклонного моста скипового подъемника в системе автоматизированного проектирования КОМПАС, расчёт реакций в скатах скипов, математическая модель силового нагружения канатов и полученные данные позволят уточнить причины ускоренного износа элементов наклонного моста в данных точках. Исследования, связанные с изучением напряженно-деформированного состояния металлоконструкций моста и направленные на выявление потенциальных мест возникновения повреждений, имеют важное значение при разработке мероприятий по повышению надёжности [15].

Оценить степень повреждения элементов наклонного моста возможно при исследовании механических колебаний при подъёме/опускании скипа. Цикл исследований вибрационного нагружения наклонного моста был проведен на ДП-5 Макеевского металлургического завода перед демонтажом. Доменная печь № 5 была задута в 1957 году и стала самой крупной по тем временам доменной печью объёмом 1 400 м<sup>3</sup> в СССР.

Измерение параметров вибрации металлоконструкций наклонного моста ДП-5 ОАО «Макеевский металлургический завод» выполнено при прохождении скипов по наклонному мосту при помощи спектроанализатора 795М. Крепление датчика осуществлялось при помощи магнита. Измерения проводились в поперечном направлении относительно металлоконструкций моста (рис. 5), в плоскости симметрии наклонного моста, посередине нижнего пояса. Точки контроля: 41,0 м (колошник), 17,5 м (крыша машзала), 8,4 м (машзал). Проводились измерения общих параметров вибрации, в частотном диапазоне 10...1 000 Гц и временной формы вибрационного сигнала, виброскорости и виброускорения с периодом измерения 1 000 мкс в течение 16 с при прохождении скипа относительно точки измерения.



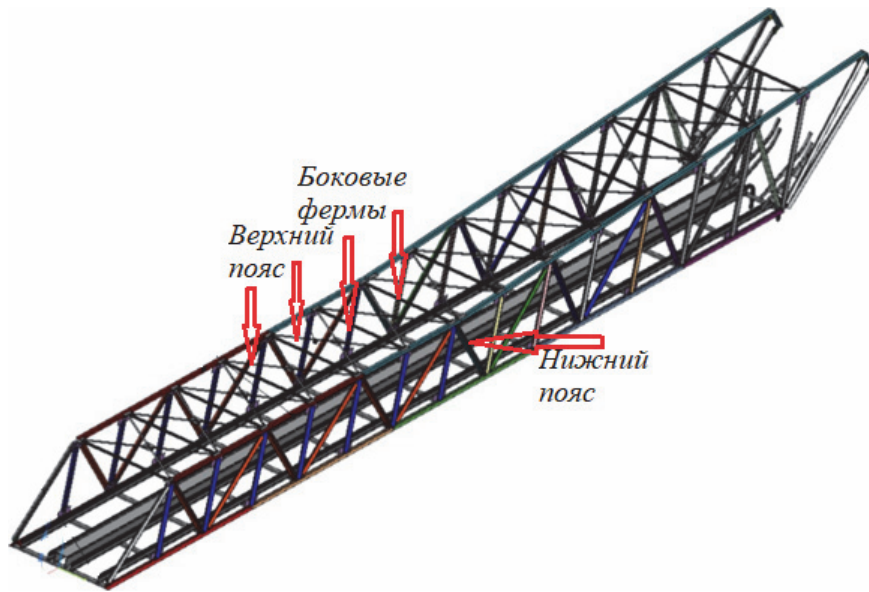


Рисунок 4. Места усиления наклонного моста.

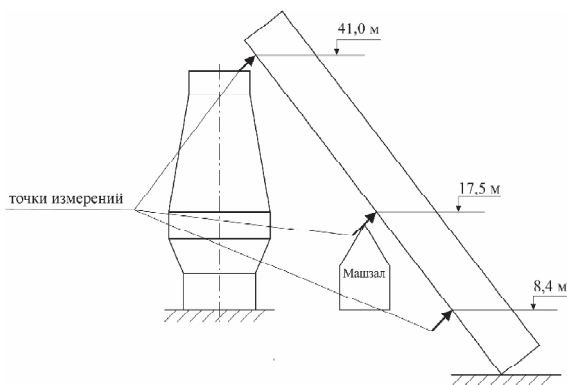


Рисунок 5. Расположение контрольных точек измерения вибрации.

Результаты измерений среднеквадратичного значения виброскорости в частотном диапазоне 10...1 000 Гц приведены в табл. 1.

Анализ полученных данных показывает:

- значения виброскорости на отметке 41,0 м имеют меньшее значение из-за снижения скорости скипов при входе и выходе на разгрузочные кривые;
- значения виброскорости на отметке 17,5 м практически идентичны значениям виброскорости на отметке 41,0 м;
- значения виброскорости на отметке 8,4 м в 2–3 раза больше относительно значений виброскорости на отметках 41,0 м и 17,5 м.

Таблица 1. Среднеквадратичное значение виброскорости в диапазоне 10...1 000 Гц для контрольных точек, мм/с

| Точка измерения | СКЗ виброскорости, мм/с |
|-----------------|-------------------------|
| 41,0 м          | 3,8...4,1...5,3         |
| 17,5 м          | 3,8...4,4...5,1         |
| 8,4 м           | 11,0...13,3             |

Это указывает на худшее состояние металлоконструкций на отметке 8,4 м. На данном участке происходит разгон скипа. На отметке 17,5 м скип движется с установившейся скоростью.

Усреднённые данные не могут использоваться, в данном случае, для оценки состояния металлоконструкции ввиду инертности конструкции и возникновения ударных воздействий при прохождении скипа. Это подтвердили выполненные измерения временной формы вибрационного сигнала.

Параметры настройки прибора: единица измерения – м/с<sup>2</sup>; режим интегратора – линейный; без усреднений; усилитель – ручной; чувствительность датчика – 7,75 пКл/м/с<sup>2</sup>; коэффициент усилителя – 4; режим запуска – свободный; тип окна – Хамминга; диапазон – 2...1 000 Гц, количество точек – 16 384; период выборки – 960 мкс; длина выборки – 16 с. Время движения

Таблица 2. Размах колебаний временного сигнала

| Точка измерения | Виброскорость, мм/с |         |        | Виброускорение, м/с <sup>2</sup> |         |        |
|-----------------|---------------------|---------|--------|----------------------------------|---------|--------|
|                 | Максимум            | Минимум | Размах | Максимум                         | Минимум | Размах |
| 41,0 м          | 11,5                | – 6,6   | 18,1   | 6,7                              | – 6,7   | 13,4   |
|                 | 33,6                | – 32,7  | 66,3   | 3,8                              | – 3,1   | 6,9    |
|                 | 23,3                | – 23,5  | 46,7   | –                                | –       | –      |
| 17,5 м          | 29,2                | – 28,5  | 57,7   | 6,5                              | – 5,8   | 12,3   |
|                 | 26,1                | – 22,0  | 48,1   | 4,3                              | – 2,9   | 7,2    |
| 8,4 м           | 67,3                | – 53,1  | 120,4  | 6,7                              | – 6,7   | 13,4   |
|                 | 51,6                | – 40,0  | 91,6   | 4,4                              | – 2,7   | 7,1    |

скипа по наклонному мосту составляет 35...50 с. Фиксировались колебания металлоконструкции при прохождении скипа. В табл. 2 представлены результаты измерения параметров временной формы вибрационного сигнала – виброскорости и виброускорения.

Анализ данных показывает:

- значения виброскорости на отметках 41,0, 17,5 м одинаковы;
- значения виброскорости на отметке 8,4 м в 2 раза больше относительно значений виброскорости на отметках 41,0 и 17,5 м;
- значения виброускорения на отметках 41,0, 17,5, 8,4 м одинаковы;
- период колебаний металлоконструкций 81...121 мс, наиболее характерен период 111...117 мс, отмечены реализации с периодом 52...55 мс;
- сигнал не симметричный.

Зафиксированная частота колебаний порядка 10 Гц не совпадает с частотой вращения колёс скипа – 2,2 Гц при скорости 210 м/мин. Возможно, это частота собственных колебаний металлоконструкции. Вид сигнала – биения с наложением случайных составляющих. На отметке 41,0 м отмечаются отдельные удары колёс о рельсы – скорость скипа при подходе к разгрузочным кривым снижается (рис. 6).

На отметке 17,5 м размах колебаний, в некоторых реализациях, составляет порядка 7,0 м/с<sup>2</sup> и содержит модуляции частотой 10 Гц (рис. 7). Практически такая же картина отмечается и на отметке 8,4 м (рис. 8).

Возможные пути решения диагностической задачи анализа полученных данных:

- сигналы виброускорений периодически сравнивают с начальными, полученными при вводе в эксплуатацию скипового подъемника –

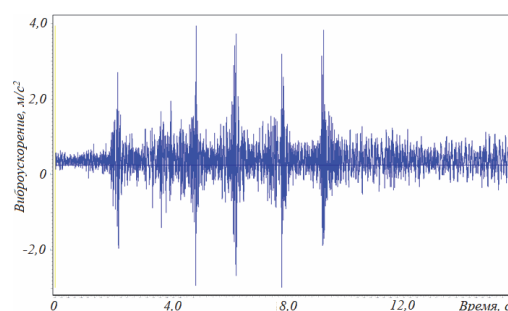


Рисунок 6. Временной сигнал виброускорения на отметке 41,0 м.

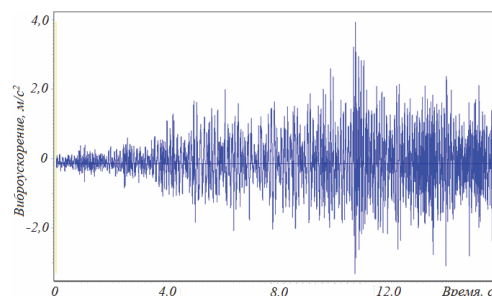


Рисунок 7. Временной сигнал виброускорения на отметке 17,5 м.

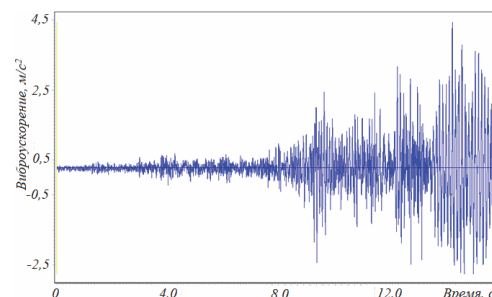


Рисунок 8. Временной сигнал виброускорения на отметке 8,4 м.

- 2–3-кратное изменение амплитуд является основанием для поиска причин их резкого изменения;
- прохождение скипа рассматривается как тестовое воздействие на различных участках и определяется реакция системы при различной загрузке скипа коксом, окатышами, агломератом с построением зависимостей – отклонение от линейной зависимости свидетельствует о появлении повреждений;
- оценивается частота собственных колебаний металлоконструкций – изменение этой частоты служит диагностическим признаком наличия повреждений.

## Выводы

1. Визуальный осмотр позволяет оценить характер развития повреждений металлоконструк-

ций, который необходим для коррекции математической модели напряжений в элементах металлоконструкции наклонного моста с учётом динамики движения скипа и фактического состояния.

2. Результаты вибрационных исследований указывают на действие в металлоконструкциях наклонного моста паразитных сил, связанных с: ослаблением связей между элементами металлоконструкций из-за снижения силы затяжки резьбовых соединений; уменьшение сечения балок из-за коррозии; наличия трещин в несущих балках.
3. Периодическая фиксация и анализ вибрационного нагружения металлоконструкций наклонного моста скипового подъёмника не только позволяют оценить их техническое состояние, но и оценить объёмы планируемого предупредительного ремонта.

## Литература

1. Щиренко, Н. С. Механическое оборудование доменных цехов: учебник для металлургических вузов и факультетов / Н. С. Щиренко. – Москва : Металлургиздат, 1962. – 524 с. – Текст : непосредственный.
2. Левин, М. З. Механическое оборудование доменных цехов (расчеты и устройство) : учебник для вузов / М. З. Левин, В. Я. Седуш. – Киев : Вища школа, 1970. – 219 с. – Текст : непосредственный.
3. Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3 томах. Том 1. Машины и агрегаты доменных цехов / А. И. Целиков, П. И. Полухин, В. М. Гребеник [и др.]. – Москва : Металлургия, 1987. – 440 с. – Текст : непосредственный.
4. Правила технической эксплуатации механического оборудования доменных цехов / ВНИИОЧермет. – Москва : Металлургия, 1968. – 212 с. – Текст : непосредственный.
5. Жеребин, Б. Н. Неполадки и аварии в работе доменных печей / Б. Н. Жеребин, А. Е. Пареньков. – Новокузнецк : [Б. и.], 2001. – 275 с. – Текст : непосредственный.
6. Характерные дефекты и повреждения металлических конструкций / В. В. Иванников, А. Г. Николаев, В. М. Шварц [и др.]. – Текст : непосредственный // Химическая техника. – 2015. – № 7. – С. 7–14.
7. Дефекты и повреждения мостовых конструкций и их влияние на потребительские свойства мостов. – Текст : электронный // Bstudy – статья для высших учебных заведений : [сайт]. – 2017–2023. – URL: <https://bstudy.net/652624/tehnika/>

## References

1. Shchirenko, N. S. Mechanical equipment of blast furnace shops: a textbook for metallurgical universities and faculties. – Moscow : Metallurgizdat, 1962. – 524 p. – Text : direct. (in Russian)
2. Levin, M. Z.; Sedush, V. Ya. Mechanical equipment of blast furnace shops (calculations and device): a textbook for universities. – Kyiv : Vishcha shkola, 1970. – 219 p. – Text : direct. (in Russian)
3. Celikov, A. I.; Poluhin, P. I.; Grebenik, V. M. [et. al.]. Machines and units of metallurgical plants. In 3 volumes. Volume 1. Machines and units of blast furnace shops. – Moscow : Metallurgiai, 1987. – 440 p. – Text : direct. (in Russian)
4. Rules for the technical operation of the mechanical equipment of blast furnace shops / VNIIOChermet. – Moscow : Metallurgiai, 1968. – 212 p. – Text : direct. (in Russian)
5. Zherebin, B. N.; Parenkov, A. E. Malfunctions and accidents in the operation of blast furnaces. – Novokuznetsk : [S. n.], 2001. – 275 p. – Text : direct. (in Russian)
6. Ivannikov, V. V.; Nikolaev, A. G.; Shvarts, V. M. [et. al.]. Typical defects and damage to metal structures. – Text : direct. – In: *Himicheskaja tehnik*. – 2015. – № 7. – P. 7–14. (in Russian)
7. Defects and damages of bridge structures and their influence on consumer properties of bridges. – Text : electronic. – In: *Bstudy – articles for higher education* : [website]. – 2017–2023. – URL: [https://bstudy.net/652624/tehnika/defekty\\_povrezhdeniya\\_mostovyh\\_konstruktsiy\\_vliyanie\\_potrebitelskie\\_svoystva\\_mostov#113](https://bstudy.net/652624/tehnika/defekty_povrezhdeniya_mostovyh_konstruktsiy_vliyanie_potrebitelskie_svoystva_mostov#113) (date of the application: 09.09.2022). (in Russian)



- defekty\_povrezhdeniya\_mostovyh\_konstruktsiy\_vliyaniye\_potrebitelskie\_svoystva\_mostov#113 (дата обращения: 09.02.2018).
8. Дефекты и повреждения металлических конструкций. – Текст : электронный // Bstudy – статьи для высших учебных заведений : [сайт]. – 2017–2023. – URL: [https://bstudy.net/914331/tehnika/defekty\\_povrezhdeniya\\_metallicheskih\\_konstruktsiy](https://bstudy.net/914331/tehnika/defekty_povrezhdeniya_metallicheskih_konstruktsiy) (дата обращения: 09.02.2018).
  9. Дефекты стальных конструкций. – Текст : электронный // Бюро технических экспертиз [сайт]. – 2013–2021. – URL: <https://tech-expertiza.ru/publications/defekty-stalnyh-konstrukcij/> (дата обращения: 09.02.2018).
  10. О прочностных возможностях металла стальных конструкций / Н. Л. Вернези, А. А. Веремеенко, Е. Г. Веремеенко. – Текст : непосредственный // Известия Ростовского государственного строительного университета. – 2013. – № 17. – С. 13–18.
  11. Jacoby, G. Werkstoff- und Bauteilprüfung sowie Betriebslastensimulation / G. Jacoby. – Karlsruhe: Werkstofftechnische Verlagsgesellschaft, 1981. – 261 s. – Текст : непосредственный.
  12. Dimitris, K. Fatigue gage monitoring of components / K. Dimitris, G. Ulrich. – Текст : непосредственный // Schweissen und schneiden, 1984. – № 12. – P. 583–587.
  13. Risk Management Forecast: 2001. – New York : PWHL, 2001. – 16 p. – Текст : непосредственный.
  14. Polák, J. High plastic stress strain response of metals / J. Polák, M. Klesnil, P. Lukáš. – Текст : непосредственный // Materials Science and Engineering. – 1974. – Volume 15. – P. 376–385.
  15. Свичканев, А. И. Моделирование напряженно-деформированного состояния наклонного моста скипового подъемника доменной печи / А. И. Свичканев, Е. В. Ошовская, В. А. Сидоров. – Текст : непосредственный // Технологические машины и оборудование : материалы XVIII Республиканской научно-технической студенческой конференции, 26–28 ноября 2019 г. – Донецк : ДонНТУ, 2018. – С. 93–98.
  8. Defects and damage to metal structures. – Text : electronic. – In: *Bstudy – articles for higher education* : [website]. – 2017–2023. – URL: [https://bstudy.net/914331/tehnika/defekty\\_povrezhdeniya\\_metallicheskih\\_konstruktsiy](https://bstudy.net/914331/tehnika/defekty_povrezhdeniya_metallicheskih_konstruktsiy) (date of the application: 09.09.2022). (in Russian)
  9. Defects in steel structures. – Text : electronic. – In: *Bstudy – articles for higher education* : [website]. – 2013–2021. – URL: <https://tech-expertiza.ru/publications/defekty-stalnyh-konstrukcij/> (date of the application: 09.09.2022). (in Russian)
  10. Vernezi, N. L.; Veremeenko, A. A.; Veremeenko, E. G. On the strength capabilities of the metal of steel structures. – Text : direct. – In: *Proceedings of the Rostov State Construction University*. – 2013. – № 17. – P. 13–18. (in Russian)
  11. Jacoby, G. Werkstoff- und Bauteilprüfung sowie Betriebslastensimulation. – Karlsruhe: Werkstofftechnische Verlagsgesellschaft, 1981. – 261 s. – Text : direct. (in Russian)
  12. Dimitris, K.; Ulrich, G. Fatigue gage monitoring of components. – Text : direct. – In: *Schweissen und schneiden*, 1984. – № 12. – P. 583–587. (in English)
  13. Risk Management Forecast: 2001. – New York : PWHL, 2001. – 16 p. – Text : direct. (in English)
  14. Polák, J.; Klesnil, M.; Lukáš, P. High plastic stress strain response of metals. – Text : direct. – In: *Materials Science and Engineering*. – 1974. – Volume 15. – P. 376–385. (in English)
  15. Svichkanev, A. I.; Oshovskaia, E. V., Sidorov, V. A. Simulation of the stress-strain state of an inclined bridge of a blast furnace skip hoist. – Text : direct. – In: *Technological machines and equipment: materials of the XVIII Republican scientific and technical student conference*. – Donetsk : DonNTU, 2018. – P. 93–98. (in Russian)

**Пенчук Валентин Алексеевич** – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедры наземных транспортно-технологических комплексов и средств ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: совершенствование и модернизация наземных транспортно-технологических машин.

**Сидоров Владимир Анатольевич** – доктор технических наук, доцент кафедры наземных транспортно-технологических комплексов и средств ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: техническое диагностирование механического оборудования промышленных предприятий.

**Пенчук Валентин Олексійович** – доктор технічних наук, професор; завідувач кафедри наземних транспортно-технологічних комплексів і засобів» ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: удосконалення та модернізація наземних транспортно-технологічних машин.

**Сидоров Володимир Анатолійович** – доктор технічних наук, доцент кафедри наземних транспортно-технологічних комплексів і засобів» ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: технічне діагностування механічного обладнання промислових підприємств.

**Penchuk Valentin** – D. Sc. (Eng.), Professor; Head of the Land Transportation And Technological Complexes And Facilities Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Member of the editorial boards of 3 scientific journals. Scientific interests: improvement and modernization of ground transport and technological machines.

**Sidorov Vladimir** – D. Sc. (Eng.), Associate Professor Land Transportation And Technological Complexes And Facilities Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: technical diagnostics of mechanical equipment of industrial enterprises.