



УДК 626/627

А. С. АНТОНОВ^{1,2}, канд. техн. наук, доц., гл. инженер по оборудованию и гидротехническим сооружениям

ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ОТ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26. Тел.: (495) 781-80-07, эл. почта: Antonov.An.S@yandex.ru

²Филиал АО «Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект им. С. Я. Жука» – «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений» (Филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»)

Россия, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 2. Тел.: (495) 727-36-05, (495) 727-36-06; эл. почта: a.antonov@hydroproject.ru

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, ГТС, нагрузки, динамические воздействия, техногенные воздействия, сейсмо-вибрационные исследования, реконструкция ГТС, демонтаж.

Рассматриваются результаты работ по оценке динамического воздействия от гидромолота при реконструкции ГТС и демонтаже бетонных элементов. Построены карты величин динамических воздействий в зоне демонтажа бетонных элементов водоприемника, дана оценка максимальных величин ускорений, вызываемых работой оборудования. Предложены оптимальные технические решения для обеспечения безопасного демонтажа конструкций и недопущения повреждения расположенных рядом элементов ГТС. В результате исследований апробирована методика оценки техногенных динамических воздействий в части определения максимальных величин ускорений, вызываемых работой оборудования.

По состоянию на 2016 год в соответствии с государственными докладами [1] в Российской Федерации эксплуатировалось свыше 29 500 ГТС II-IV классов, при этом 53 % из них имели уровень безопасности ниже нормального, следовательно, требовали реализации работ по реконструкции, ремонту и приведению к нормальному техническому состоянию.

По состоянию на 2023 год, в России ежегодно выполняется капитальный ремонт или реконструкция свыше 100 гидротехнических сооружений различного класса. При этом в связи с длительной эксплуатацией в ряде случаев ремонт требуется отдельным элементам напорного фронта, водозаборным узлам или водосбросным сооружениям.

При выполнении реконструкции либо ремонте объектов ключевой задачей является оптимизация скорости и стоимости выполнения работ. При этом применение методов демонтажа, ускоряющих процесс разбора объектов, может привести к повреждению рядом стоящих сооружений, находящихся в нормальном техническом состоянии.

Для демонтажа гидротехнических сооружений часто применяются классические методы, такие как:



1. Ударный демонтаж бетона с помощью малогабаритных и среднегабаритных гидромолотов, позволяющий ускорить работы. Динамические воздействия, вызываемые этим оборудованием, высоки и оказывают существенное влияние на грунты основания и их несущую способность; в соответствии с опытом применения также фиксировалось изменение напряженно-деформированного состояния рядом расположенных конструкций. Основные риски применения данного оборудования – это образование трещин в соседних бетонных конструкциях, снижение несущей способности грунтов основания. В совокупности это может привести к дополнительным работам по корректировке проекта, выполнению работ по залечиванию трещин либо усилению ослабленных зон в соседних конструкциях.

2. Безударный способ при помощи алмазного пиления посредством алмазной либо канатной резки, надежный и безопасный способ производства демонтажных работ, при этом существенно увеличивающий срок их выполнения, обладающий значительной стоимостью и трудоемкостью. Данный метод не несет существенных рисков при применении.

Реконструкция ГТС должна удовлетворять нескольким ключевым аспектам: стоимость, скорость и надежность [2–4]. Зачастую Заказчиком ставится задача в ускоренном проведении работ, что требует применения специализированного оборудования. В связи с этим перед инженерами стоит вопрос в части оптимизации затрат и снижению сроков выполнения работ при образовании значительных рисков. Без определения вероятности реализации этих рисков их наступление может оказать существенное влияние на финансово-технологический график строительства и реконструкции объекта.

В связи с этим принято решение о необходимости исследований по определению динамических техногенных воздействий на ГТС при их реконструкции. Основной целью работ являлась оценка величин динамических техногенных воздействий от механизированной техники при проведении демонтажных работ на ГТС.

Для оценки техногенных динамических воздействий принята за основу методика по исследованиям техногенных динамических воздействий от железнодорожного транспорта на ГТС, разработанная филиалом АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС» и доработанная в части применимости к демонтажному оборудованию и требованиям к измерительным средствам, а также использованы материалы [5].

Для регистрации вибрации использовался измерительно-вычислительный комплекс МИС-200М. Его основные достоинства – высокая точность, широкий частотный диапазон (от 0.1 до 1000 Гц) и мобильность. Комплекс представляет собой ноутбук с крейтом для измерительных модулей и предназначен для сбора, регистрации и обработки полученных с сейсмоприемников сигналов. Комплекс МИС-200М работает с пьезоэлектрическими сейсмоприемниками серии А16 производства ЗАО «ГЕОАКУСТИКА». При обработке полученной информации использовался программный продукт *WinПРС* (ООО НПП «Мера»). Программный продукт предназначен для обработки измерительной информации с помощью математических и статистических алгоритмов, графического представления данных и их документирования. Общий вид измерительно-вычислительного комплекса МИС и пьезоэлектрического сейсмоприемника А16 представлен на рис. 1 цв. вклейки.



В качестве объекта исследований рассматривалась деривационная гидроэлектростанция с безнапорной подводящей деривацией, выполненной в виде каналов и тоннелей. Гидротехнический комплекс протяженностью порядка 10 км, разделен на три части: головной узел, деривацию и напорно-станционный узел. Основной упор в исследованиях сделан на оценку динамических воздействий при демонтаже конструкций водоприемника ГЭС, размеры которого в плане составляют 18,4×16,3 м, высота подводной части 14,0 м, Железобетонная конструкция водоприемника неразрезная, без температурных швов. Реконструкция объекта потребовалась ввиду невозможности дальнейшего обеспечения его безаварийной и надежной эксплуатации.

В рамках работ решались следующие задачи:

- анализ способов демонтажа конструкций водоприемника;
- полевые сейсмо-вибрационные исследования;
- определение влияния динамических воздействий гидромолота на конструкции ГТС;
- разработка рекомендаций по технологии дальнейшего демонтажа.

Для ускорения демонтажа железобетонных конструкций фундаментной плиты водоприемника рассматривается возможность применения механизированной техники – гидромолота типа *Atlas Copco SB 202* на базе экскаватора типа *Brokk 160* (рис. 2 цв. вклейки). Основные характеристики гидромолота: рабочий вес – 200 кг; частота удара – 850–1800 уд./мин; максимальная энергия удара – 406 Дж.

Для определения виброускорений в конструкциях и грунтовом основании водоприемного узла выбраны четыре участка в наиболее характерных зонах, в каждой зоне намечено 2–3 точки измерения: на строительных конструкциях и на грунтах основания. Данное расположение позволяет охватить максимально большое количество конструкций водоприемника и описать влияющие на образование виброускорений факторы. Общее расположение точек представлено на рис. 3 цв. вклейки. Красным цветом указаны точки измерения вибрации на строительных конструкциях, зеленым – точки измерения вибрации основания, синим отмечены стоянки гидромолота.

При проведении испытаний удары гидромолотом производились максимально близко к участкам измерений с наибольшей энергией, но при этом точки измерений выбирались таким образом, чтобы не фиксировать шумы и наводки от непосредственной работы оборудования.

В каждой точке измерения на горизонтальную поверхность сооружения или грунта устанавливался один трехкомпонентный датчик – сейсмоприемник, фиксирующий вертикальную и горизонтальные (вдоль и поперек конструкции сооружения) составляющие виброускорения. Измерения в каждой точке длились от трех до пяти минут при работе гидромолота вблизи участка измерения вибрации. В процессе проведения динамических испытаний регистрировались все три составляющие виброускорений.

Расположение осей: ось *Z* – вертикальная, оси *X* и *Y* – горизонтальные: ось *X* направлялась вдоль продольной оси «измеряемой» строительной конструкции, ось *Y* – поперек этой оси. Для участков измерений «1», «2,3» и «4» продольная ось *X* совпадает с продольной осью водоприемника. Для участка «5» продольная ось *X* совпадает с продольной осью.

Удары гидромолотом в испытаниях назначались следующим образом:

К СТАТЬЕ А. С. АНТОНОВА «ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ОТ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ»



Рис. 1. Внешний вид цифрового пьезоэлектрического сейсмоприемника А16 и комплекса МПС-200М



Рис. 2. Гидромолот типа *Atlas Copco SB 202* на базе экскаватора типа *Вгоkk 160* на разных точках проведения исследований

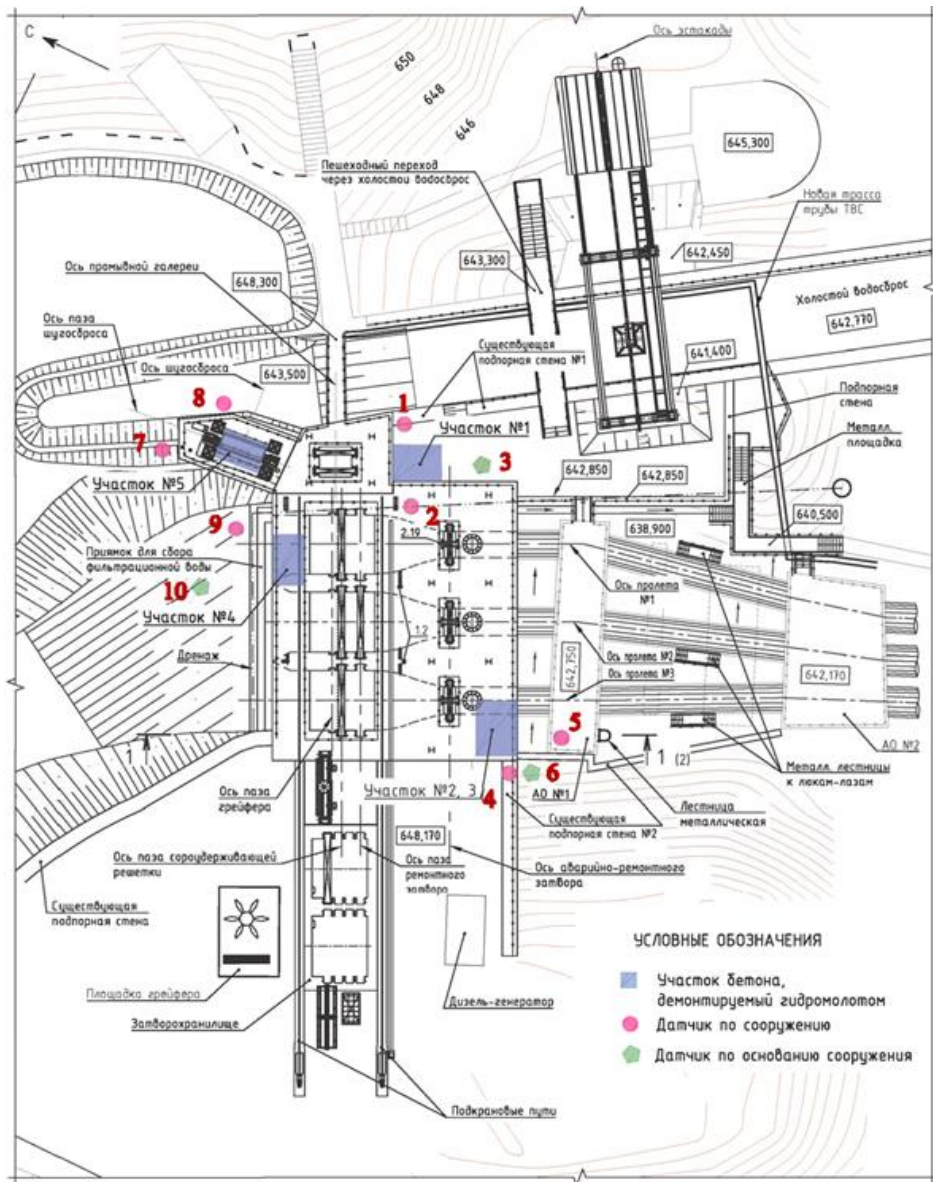


Рис. 3. Схема расположения виброизмерительных точек на участках измерений

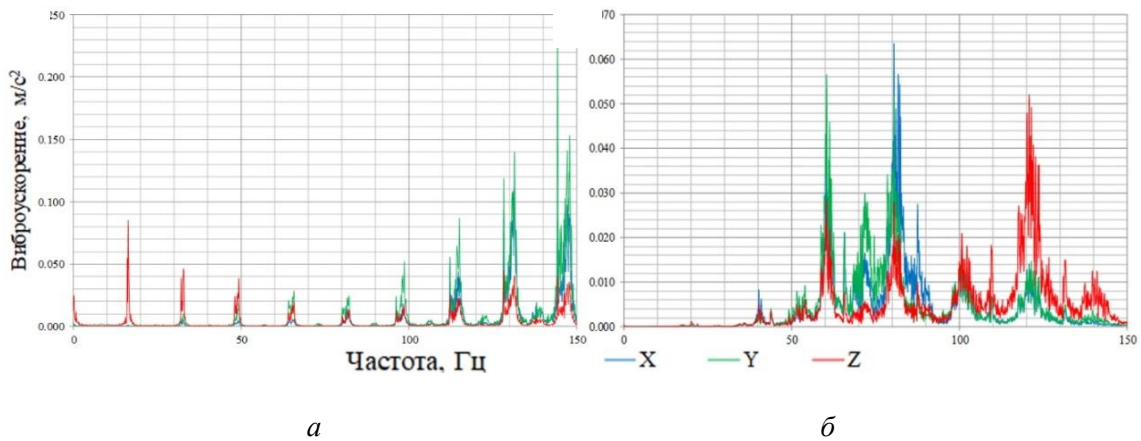


Рис. 4. Примеры записей виброускорений, вызванных работой гидромолота: а – точка, расположенная на бетоне; б – точка, расположенная на грунтах основания

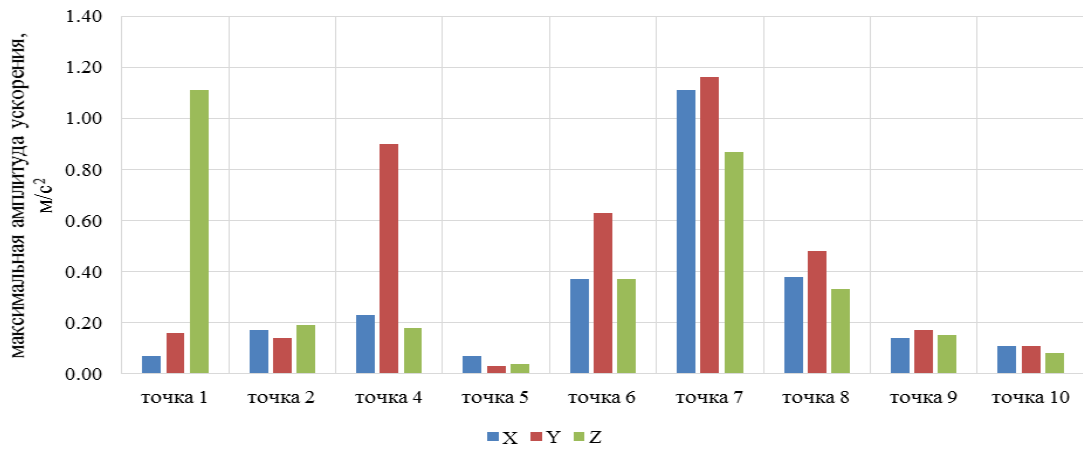


Рис. 5. Распределение максимальных амплитуд виброускорений, m/s^2 , по точкам измерений

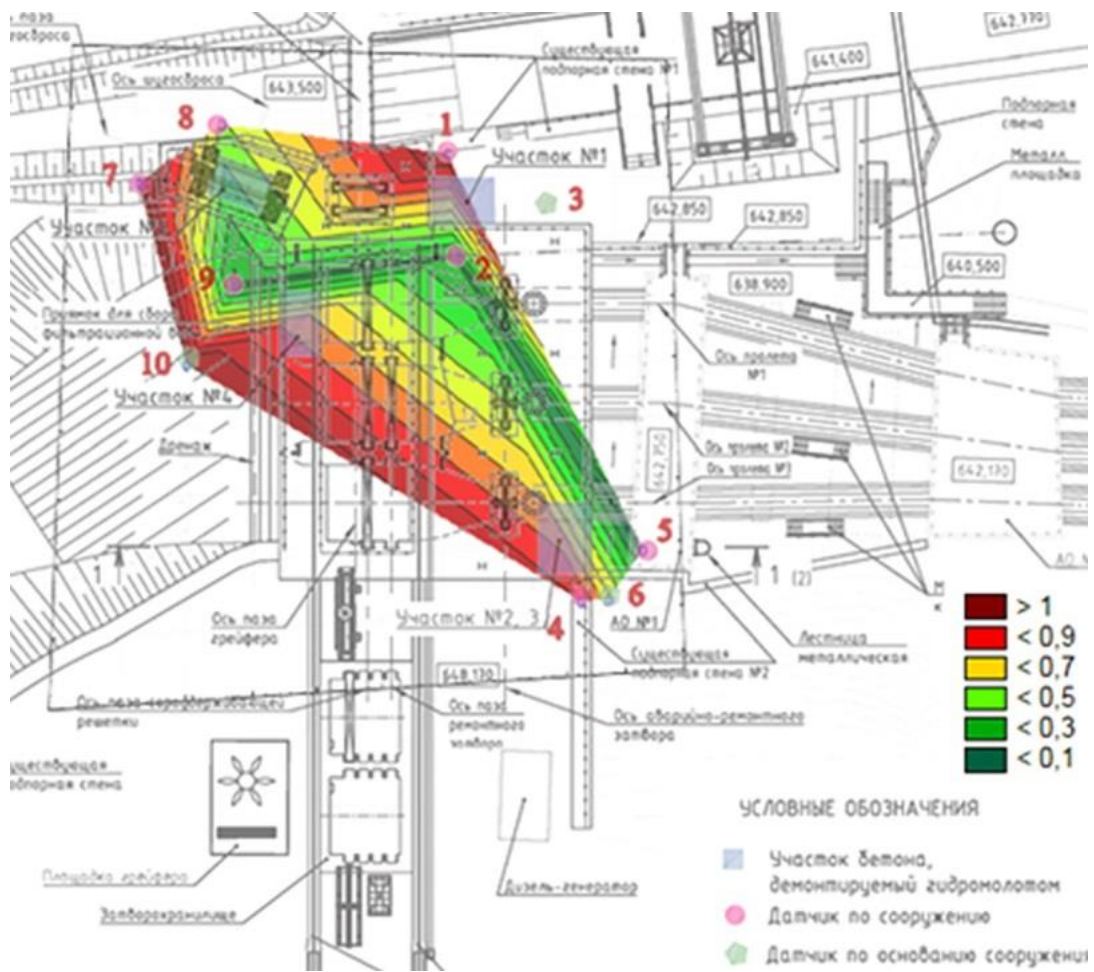


Рис. 6. Схема расположения участков бетона, демонтируемых гидромолотом с нанесенными зонами различных амплитуд ускорений



- для участка 1 – справа от подпорной стены (запись 2) и в основании перед торцом подпорной стены (запись 1);
 - для участка 2, 3 – в торце подпорной стены со стороны ВБ (запись 1), со стороны НБ (запись 2) и в основании (запись 3);
 - на участке 4 – в основании (запись 1);
 - на участке 5 – вблизи стены: на расстояниях 1 м (запись 1) и 0.3 м (запись 2).
- Данные по измеренным амплитудам виброускорений сведены в таблицу.

Амплитуды (наибольшие измеренные величины) виброускорений, A , m/s^2

Номер записи	Оси	Амплитуда виброускорения, m/s^2									
		Участок 1		Участок 2, 3			Участок 5		Участок 4		
		точка 1	точка 2	точка 4	точка 5	точка 6	точка 7	точка 8	точка 9	точка 10	
1	X	0.05	0.02	0.07	0.02	0.29	0.83	0.08	0.14	0.11	
	Y	0.16	0.05	0.30	0.01	0.42	1.04	0.13	0.17	0.11	
	Z	1.11	0.03	0.18	0.01	0.25	0.41	0.15	0.15	0.08	
2	X	0.07	0.17	0.23	0.04	0.37	1.11	0.38	-	-	
	Y	0.05	0.14	0.90	0.03	0.63	1.16	0.48	-	-	
	Z	0.06	0.19	0.15	0.02	0.37	0.87	0.33	-	-	
3	X	-	-	0.05	0.07	0.34	-	-	-	-	
	Y	-	-	0.08	0.02	0.39	-	-	-	-	
	Z	-	-	0.07	0.04	0.30	-	-	-	-	

Полученные результаты испытаний использованы для определения основных динамических характеристик вибрации и построения амплитудных спектров в точках измерения.

Максимальные значения амплитуд в точках измерений показали, что для бетонного массива фундаментной плиты характерными частотами являются 17,1, 32,63 и 48,5 Гц, далее величины смещаются в сторону высоких частот 125–150 Гц вдоль оси Y. При этом низкие частоты имеют наиболее опасные для рассматриваемого элемента величины вдоль вертикальной оси.

Для грунтового массива основания, например, точка 6, абсолютные величины виброускорений на 30–50 % ниже чем на бетонных конструкциях, при этом зона частот смещена в диапазон 60–80 Гц, с последующим пиком вдоль вертикальной оси в зоне 120 Гц. Примеры записей виброускорений представлены на рис. 4 цв. вклейки.

Величины измеренных амплитуд виброускорений приведены к максимальному пиковому ускорению, фиксируемому в каждой точке, график распределения величин представлен на рис. 5 цв. вклейки, максимальные величины воздействий фиксируются для точки 7, расположенной на грунтовом откосе со стороны ВБ, максимально зарегистрированное значение составило $1,16 m/s^2$ с 10 %-ной разницей по остальным направлениям, для точки 1 фиксировался рост вертикальной составляющей виброускорений, а для точки 2, расположенной непосредственно на фундаментной плите, вдоль оси сооружений.



Получение достаточного релевантного ряда значений позволило оценить максимальные воздействия во всех рассматриваемых точках и построить гистограмму распределения ускорений на основе нейросетевого и статистического анализа, рис. 6 цв. вклейки.

При работе с гистограммой можно выделить зоны с минимальными динамическими воздействиями на ГТС и максимальными критическими, способными вызвать существенные деструктивные процессы в бетонных конструкциях и грунтовом основании.

Полученных в результате измерений данных было достаточно для принятия решения по выбору оптимального метода демонтажа на исследуемом объекте. Следует отметить, что изменение техногенных динамических воздействий от оборудования – это перспективное направление, позволяющее проектировщику и эксплуатационному персоналу минимизировать риски повреждения конструкций и подобрать оптимальные способы не только для объекта в целом, но для отдельных элементов конструкции.

Выводы:

Максимальные замеренные ускорения в бетонных конструкциях составляют $1,16 \text{ м/с}^2$ в точке № 7, проведенные ранее расчетные исследования учитывали пиковые значения ускорений $1,82 \text{ м/с}^2$, при которых уже возникали деструктивные процессы и частичное повреждение бетонных конструкций. В связи с существенным максимальным пиковым значением ускорения, а также проведенными ранее расчетными исследованиями сделан вывод, что в связи с невыполнением условий прочности возможны повреждения существующих бетонных конструкций водоприемного узла (не входящих в проект реконструкции).

Максимальные замеренные ускорения в грунтовых сооружениях локализованы на грунтовом откосе, из-за чего возможно развитие неблагоприятных процессов в грунтах основания и склонах грунтовых сооружений водоприемного узла.

Так как основной задачей ставилась оценка величин динамических техногенных воздействий от механизированной техники для демонтажа конструкций и выбор наиболее оптимального и безопасного метода выполнения работ, то рекомендовалось применение метода алмазного пиления для недопущения развития негативных процессов в грунтах основания водоприемного узла.

При выполнении аналогичных исследований на других объектах возможно составление карт применимости допустимых методов демонтажа либо оценка величины максимальных ударных воздействий, являющихся безопасными при применении гидромолотов.

Предлагаемая методика оценки техногенных динамических воздействий апробирована с учетом применимости к механизированному оборудованию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2016 году» / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. – Москва : НИА-Природа, 2017. – 300 с. – Текст : непосредственный.



2. Жарницкий, В. Я. Грунтовые плотины как объект динамической системы / В. Я. Жарницкий, Е. В. Андреев. – Текст : непосредственный // Строительство и архитектура. – 2016. – № 1. – С. 16–22.

3. Ахметов, Е. М. Исследование аварий на гидротехнических сооружениях и методы контроля их безопасности / Е. М. Ахметов, К. М. Асемов, М. О. Жуматаева. – Текст : непосредственный // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Том 331. – № 4. – С. 70–82.

4. Ter-Martirosyan, Z. The research of dynamic impacts on the hydraulic structure foundation base, transformed in the process of accident recovery / Z. Ter-Martirosyan, I. Luzin // MATEC web of Conferences. – 2018. – 251, 04040. – DOI: 10.1051/mateconf/201825104040.

5. Патент № 2769846С1 Российская Федерация. Способ оценки устойчивости грунтового гидротехнического сооружения к динамическим воздействиям от проходящего железнодорожного транспорта : № 2021120547 : заявл. 13.07.2021 : опубл. 07.04.2022 / Рубин О. Д., Антонов А. С., Караблин Н. П., Федорова Т. С., Баклыков И. В. – Текст : непосредственный.

ANTONOV Anton Sergeevich^{1,2}, candidate of technical sciences, chief engineer for equipment and hydraulic structures

ASSESSMENT OF TECHNOGENIC DYNAMIC IMPACTS FROM EQUIPMENT DURING THE RECONSTRUCTION OF HYDRAULIC STRUCTURES

¹Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU) 26, Yaroslavskoe highway, Moscow, 129337, Russian Federation. Tel.: +7 (495) 781-80-07; e-mail: Antonov.An.S@yandex.ru

²JSC “Design, survey and research institute «Hydroproject» named after. S.Ya. Zhuk” – “Research institute of energy structures”

2, Volokolamskoe highway, Moscow, 125993, Russian Federation. Tel.: +7 (495) 727-36-05; e-mail: a.antonov@hydroproject.ru, n.karablin@hydroproject.ru, i.fedoseev@hydroproject.ru

Key words: hydraulic structures, loads, dynamic impacts, impacts from equipment, seismic-vibration studies, reconstruction of hydraulic structures, dismantling of hydraulic structures.

The article discusses the results of work on the assessment of the dynamic impact of a hydraulic hammer during the reconstruction of hydraulic structures and the dismantling of reinforced concrete elements. Maps of the values of dynamic impacts in the zone of dismantling of concrete elements are plotted, an estimate of the maximum acceleration values is given. Methods have been selected to ensure the safe dismantling of structures and prevent damage to adjacent elements of hydraulic structures. In the result of the conducted research, a methodology for assessing technogenic dynamic impacts was tested from the point of view of determining the maximum values of accelerations caused by the operation of equipment.

REFERENCES

1. Gosudarstvenny doklad «O sostoyanii i ispolzovanii vodnykh resursov Rossiyskoy Federatsii v 2016 godu» [State report "On the state and use of water resources of the Russian Federation in 2016"] // Min-vo prirodnikh resursov i ekologii RF. Moscow: NIA-Priroda, 2017. 300 p.



2. Zharnitsky V. Ya., Andreev E. V. Gruntovye plotiny kak obekt dinamicheskoy sistemy [Soil dams as an object of a dynamic system] // Stroitelstvo i arkhitektura [Construction and architecture]. 2016. № 1. P. 16–22.

3. Akhmetov E. M., Asemov K. M., Zhumataeva M. O. Issledovanie avariyy na gidrotekhnicheskikh sooruzheniyakh i metody kontrolya ikh bezopasnosti [Study of accidents at hydraulic structures and methods for monitoring their safety] // Izvestiya Tomskogo politekhnich. un-ta. Inzhiniring georesursov [News of the Tomsk Polytechnic University. Georesources Engineering]. 2020. Vol. 331. №. 4. P. 70–82.

4. Ter-Martirosyan Z., Luzin I. The research of dynamic impacts on the hydraulic structure foundation base, transformed in the process of accident recovery // MATEC Web of Conferences. 2018. 251, 04040. DOI: 10.1051/mateconf/201825104040.

5. Patent № 2769846C1 Rossiyskaya Federatsiya. Sposob otsenki ustoychivosti gruntovogo gidrotekhnicheskogo sooruzheniya k dinamicheskim vozdeystviyam ot prokhodyashchego zheleznodorozhnogo transporta [Method for assessing the stability of a ground hydraulic structure to dynamic impacts from passing railway transport] : № 2021120547 : zayavl. 13.07.2021 : opubl. 07.04.2022 / Rubin O. D., Antonov A. S., Karablin N. P., Fyodorova T. S., Baklykov I. V.

© **А. С. Антонов, 2023**

Получено: 25.10.2023 г.