

3 (12) Сентябрь, 2014 г.

НАУКА И БЕЗОПАСНОСТЬ

Science and Safety

Ежеквартальный научный журнал



ISSN 2225-0360

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Волосухин В.А., Моргунов В.Н., Дыба В.П.</i> Сейсмоустойчивость мелиоративных насосных станций в краснодарском и ставропольском краях при увеличении расчетной сейсмичности	2
<i>Волосухин В.А., Бондаренко В.Л.</i> Факторы, определяющие безопасность гидротехнических сооружений водохозяйственного назначения	7
<i>Котляревский В.А.</i> Практика оценки ресурса эксплуатируемых сооружений при отсутствии проектных сведений с применением эмпирических данных по частотам	9
<i>Котляревский В.А.</i> Расчет надежности сейсмостойкости сооружений	12
<i>Попов А.В.</i> Система диагностики состояния футеровки доменной печи	21
<i>Шаповалов Э.Л., Замушинская Д.А.</i> Влияние качества шлифов на результаты замеров твердости металлоконструкций при натурном обследовании	27
<i>Кирпичёв А.А., Миронов А.Г., Татаркин С.А.</i> Автономные диагностические мониторы вибрации зданий и сооружений	32
<i>Безрук А.И.</i> Навесные вентилируемые фасады со штыревым креплением облицовки	39
Авторы номера	43

СЕЙСМОУСТОЙЧИВОСТЬ МЕЛИОРАТИВНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ В КРАСНОДАРСКОМ И СТАВРОПОЛЬСКОМ КРАЯХ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ РАСЧЕТНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ

УДК 699.841

Волосухин
Виктор Алексеевич

Директор Института безопасности гидротехнических сооружений
доктор технических наук, профессор,
Заслуженный деятель науки РФ

Моргунов
Владимир Николаевич

Доцент кафедры «Промышленное, гражданское строительство, геотехника и фундаментостроение»
ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова»,
член РОМГГиФ, кандидат технических наук

Дыба
Владимир Петрович

Профессор кафедры «Промышленное, гражданское строительство, геотехника и фундаментостроение»
ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова»,
член РОМГГиФ, доктор технических наук

АННОТАЦИЯ

Приведены результаты обследования зданий насосных станций оросительных систем в Краснодарском и Ставропольском краях в связи с их реконструкцией при изменившейся сейсмичности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

*Сейсmobезопасность,
Гидротехнические сооружения,
Реконструкция*

Землетрясения по причиняемым ущербам и человеческим жертвам относятся к наиболее опасным природным процессам [1]. По данным Геологической службы США (USGS) в мире ежегодно происходит до 30 тысяч землетрясений (табл. 1).

Причем количество пострадавших не находится в прямой зависимости от количества и силы землетрясений, так как к жертвам приводит не само землетрясение, а разрушения зданий и сооружений, цунами, опасные геологические процессы. К таким явлениям также можно отнести крупные катастрофические сейсмогенные оползни, обрушения склонов, наводнения, вызванные прорывом гидротехнических сооружений и т.д.

В России на 1 января 2014 г. эксплуатируется 4,36 млн га орошаемых земель, из них на

юге России – 2,18 млн га (Южный и Северо-Кавказский федеральные округа). На мелиоративных системах Российской Федерации эксплуатируется 5801 насосных станций на оросительных системах и 198 насосных станций на осушительных системах. Большая часть из них построена в 60-70-е года XX века.

На юге России, занимающем всего 3,4% территории РФ, сосредоточено 50% мелиоративных земель. В Южном и Северо-Кавказском федеральных округах эксплуатируется 1946 насосных станций на оросительных системах и 14 насосных станций на осушительных системах. За время их эксплуатации (40–50 лет) сейсмичность зоны, в которой они установлены, как правило, в субъектах РФ юга России, возросла на 1–2 балла.

Таблица 1

Статистика землетрясений в 2003-2013 годах

Магнитуда	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
От 8,0 до 9,9	1	2	1	2	4	0	1	1	1	2	2
От 7,0 до 7,9	14	14	10	9	14	12	16	23	19	12	8
От 6,0 до 6,9	140	141	140	142	178	168	144	150	185	108	23
От 5,0 до 5,9	1203	1515	1693	1712	2074	1768	1896	2209	2276	1401	1196
От 4,0 до 4,9	8462	10888	13917	12838	12078	12291	6805	10164	13315	9534	6706
От 3,0 до 3,9	7624	7932	9191	9990	9889	11735	2905	4341	2791	2453	2910
От 2,0 до 2,9	7727	6316	4636	4027	3597	3860	3014	4626	3643	3111	4010
От 1,0 до 1,9	2506	1344	26	18	42	21	26	39	47	43	260
От 0,1 до 0,9	134	103	0	2	2	0	1	0	1	0	20
<0,1	3608	2939	864	828	1807	1922	17	24	11	3	19
Всего	31419	31194	30478	29568	29685	31777	14825	21577	22289	16667	15152
Жертвы, чел.	33819	228802	88003	6605	712	88011	1790	320120	21953	768	454

Таким образом, обеспечение сейсмобезопасности мелиоративных сооружений связано с дефицитом сейсмостойкости сооружений, проектировавшихся и строившихся по старым нормативным требованиям и представляющих вследствие этого источник повышенной опасности.

На Юге России широко распространены макропористые грунты с пористостью $n > 40\%$. При сейсмическом воздействии такие грунты могут уплотняться, вызывая деформацию земной поверхности. Особенно опасны в этом отношении водонасыщенные пески, имеющие пористость выше критической пористости. При сейсмическом воздействии такие пески переходят в текучее состояние вследствие возрастающего гидродинамического давления, вызываемого выжиманием из пор водой. Потеря несущей способности таких оснований сопровождается отжатием на поверхность грунтовых вод.

Одним из наиболее неустойчивых оснований является аллювий – материал, переносимый реками и покрывающий днища долин, где чаще всего и возводят гидротехнические сооружения. Известно, что для оснований, сложенных аллювием, характерен эффект поглощения слабых колебаний и усиления интенсивных, порождаемых сильными землетрясениями.

Но при длительном воздействии нагрузок на грунты в процессе эксплуатации зданий

насосных станций мелиоративных систем уменьшается коэффициент пористости грунтов оснований, увеличивается удельное сцепление, вследствие чего упрочняется грунт, и увеличивается модуль деформации грунтов. Расчетное давление на глинистые грунты оснований эксплуатируемых зданий насосных станций мелиоративных систем повышается при уплотнении, значительно увеличивается при возрастании удельного сцепления и, вероятно, должно несколько снижаться при увеличении влажности грунтов в пределах пятна застройки. Для песчаных грунтов расчетное давление увеличивается только при уплотнении грунтов оснований. В среднем это увеличение расчетного давления вследствие изменения свойств грунта колеблется от 0 до 56% – для глинистых грунтов и от 0 до 44% – для песков.

В действующих строительных правилах нет конкретных рекомендаций по увеличению возможного расчетного давления на грунты основания эксплуатируемых зданий. Однако для предварительных расчетов, определяющих возможность надстройки зданий, новое допускаемое давление на уплотненные грунты основания R' рекомендуется [11–14] определять по формуле

$$R' = kR,$$

в которой коэффициент k выбирается из следующей табл.2.

Таблица 2

P/R	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
k	1,5	1,45	1,4	1,35	1,3	1,25	1,21	1,15
P – фактическое давление; R – старое расчетное давление								

Модуль деформации грунтов основания эксплуатируемых зданий повышается более интенсивно, чем уменьшается пористость. Увеличению модуля деформации содействуют физико-химические процессы, протекающие на границах твердой фазы грунта. При этом увеличение дисперсности способствует интенсивности этого процесса (табл.3).

Таблица 3

Песок	Значение $E_{упл}/E_{прир}$ при давлении, МПа				
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Мелкий	2,7	3,8	3,9	4,0	4,2
Средней крупности	2,2	2,1	1,9	1,7	1,6

По заказу ФГУ «Управление Кубаньмелиоводхоз» Институтом безопасности гидротехнических сооружений были проведены исследования сейсмоустойчивости зданий насосных станций №1-6, 13 Черноерковской оросительной системы в Славянском районе и насосных станций №4, 7, 12 Понуро-Калининской оросительной системы в Калининском районе Краснодарского края, здания насосной станции №1 и здания камеры переключения №1 ВНИИриса в Ставропольском

крае в связи с планируемой их реконструкцией (рис. 1, 2).

У большинства обследованных насосных станций роль фундамента играет монолитный железобетонный блок, заглубленный на 8-14 м. Площадь подошвы составляет 400-800 м². Ясно, что дополнительное давление на грунт, вычисляемое как разность веса сооружения и веса вынутаго грунта, деленная на площадь подошвы, весьма невелика. С момента постройки насосных станций в 1980-х годах свойства грунтов оснований, безусловно, улучшились.

Можно заключить, что появление дополнительной сейсмической силы, вызванной 8-балльным землетрясением, равной примерно 0,2 веса сооружения, не приведет к существенным осадкам и кренам, способным затруднить эксплуатацию сооружений. Это подтверждается тем, что в конструкциях обследованных насосных станций отсутствовали прямые и косвенные признаки неравномерных деформаций грунтового основания (нет просевших участков поверхности в местах расположения фундаментов, отсутствуют характерные трещины в стенах зданий, нет существенных отклонений железобетонных элементов каркаса от проектного положения).



Рис. 1. Фото реконструируемой насосной станции в Ставропольском крае:

- а – камера переключения;
- б – машинный зал здания насосной

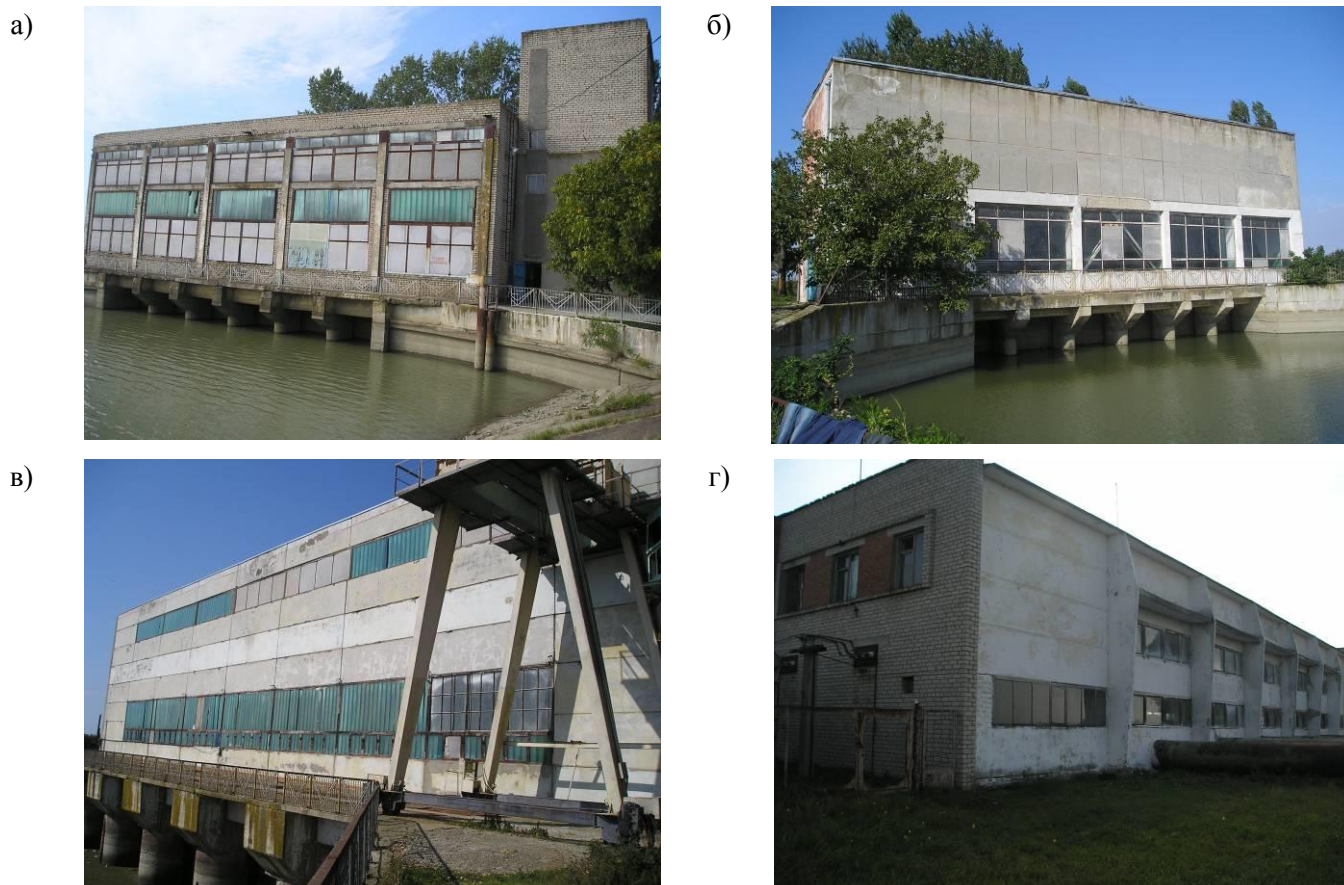


Рис. 2. Фото реконструируемых насосных станций в Краснодарском крае:
а – №1; б – №3; в – №5; г – №13

Безопасность насосных станций при сейсмическом воздействии обеспечивается прежде всего устойчивостью надземного блока (здания с несущими каменными стенами или железобетонным каркасом).

Сейсмические силы, действующие на сооружение, могут иметь любое направление. Самое опасное направление – горизонтальное, перпендикулярное продольной оси сооружения.

При взаимодействии сейсмической волны с сооружением протекают сложные упруго-пластические процессы. Так, например, обтекание грунтов свайного фундамента с высоким ростверком приводит к расчетному уменьшению амплитуд ускорений конструкций примерно в два раза. Однако насосная станция имеет развитую подземную часть. В этом случае амплитуды ускорений строительных конструкций следует принять $0,2g$.

Проведенные исследования позволили авторам разработать практические рекоменда-

ции по усилению 12 реконструируемых зданий насосных станций в Краснодарском и Ставропольском краях с учетом возросшей сейсмичности с 6 до 8 баллов [15]. Разработанные мероприятия связаны с тем, что некоторые конструктивные решения, примененные при строительстве станций, не учитывали современное повышение расчетной сейсмичности площадки и не соответствуют требованиям 3-го раздела СП 14.13330.2011 [4]. Разработанные конструктивные решения направлены на увеличение большей жесткости дисков покрытий и перекрытий в горизонтальной плоскости и совместной работы отдельных плит, усиления участков стен, выступающих над покрытием (парапеты и фронтоны), устройства антисейсмических швов, усиления простенков с недостаточной несущей способностью, увеличения жесткости здания, обеспечивающие геометрическую неизменяемость конструкции рам каркаса и передачу всех горизонтальных усилий на фундаменты.

Библиографический список

1. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций. – М.: МЧС России, 2011.
2. ФЦП «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014-2020 годы». Утверждена Постановлением Правительства Российской Федерации от 12 октября 2013 г. №922.
3. Рабочие чертежи и геологическое обоснование по строительству насосной станции №1.
4. СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. – М., 2011.
5. СНКК 22-301-2000. Строительство в сейсмических районах Краснодарского края. – Краснодар, 2001.
6. Серия 0.00-2.96с. Повышение сейсмостойкости зданий.
7. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87.
8. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85.
9. СНКК 20-303-2002. Нагрузки и воздействия для Краснодарского края.
10. СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений.
11. Волосухин, В.А. Сейсмостойкость объектов строительства и фундаментов: учеб. Пособие / В.А. Волосухин, В.П. Дыба, В.Н. Моргунов; Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ); Новочерк. гос. мелиоративная академия. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2007. – 167 с.
12. Волосухин, В.А., Повышение безопасности гидротехнических сооружений в субъектах юга России с возросшей сейсмической активностью / В.А. Волосухин, В.П. Дыба, В.Н. Моргунов // Гидротехника. – 2010 - №3. С. 65–69.
13. Волосухин, В.А. Оценка сейсмоопасных оползневых процессов на основе предельного анализа пластических систем / В.А. Волосухин, В.П. Дыба, В.Н. Моргунов // Мониторинг. Наука и безопасность. - №3. – 2012. С. 82–92.
14. Волосухин, В.А. Сейсмобезопасность объектов и гидротехнических сооружений / В.А. Волосухин, В.П. Дыба, В.Н. Моргунов; изд. третье, доп. и испр. – М.: Изд-во АСВ, 2012. 247 с.
15. Отчет о НИР «Рекомендации по усилению реконструируемого здания насосной станции №1 и здания камеры переключения №1 Всероссийского НИИ риза с учетом возросшей сейсмичности с 6 до 8 баллов». Рук. НИР Волосухин В.А.; отв. исп. Дыба В.П., Моргунов В.Н. - Новочеркасск, Институт безопасности гидротехнических сооружений, 2014. – 130 с.



ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ БЕЗОПАСНОСТЬ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

УДК 621.111

Волосухин
Виктор Алексеевич

Директор Института безопасности
гидротехнических сооружений
доктор технических наук, профессор,
Заслуженный деятель науки РФ

Бондаренко
Владимир Леонидович

Профессор кафедры «Природообустройство»
Новочеркасского инженерно-мелиоративного института
им. А.К. Кортунова ФГБОУ ВПО «Донской
государственный аграрный университет»,
доктор технических наук, профессор, Почетный
работник водного хозяйства РФ

АННОТАЦИЯ

Рассматриваются вопросы безопасности гидротехнических сооружений водохозяйственного назначения юга России, отличающегося низкой водообеспеченностью территории большинства субъектов РФ. Это в основном (до 97–99% в большинстве субъектов РФ юга России) гидротехнические сооружения IV класса капитальности, на которых отсутствует проектная документация, постоянная служба эксплуатации, системы мониторинга безопасности сооружений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Низконапорные грунтовые плотины, Безопасность, Мониторинг технического состояния, Бесхозяйные гидротехнические сооружения, Водообеспеченность юга России

Юг России в составе двух федеральных округов – Южного и Северо-Кавказского – занимает всего 3,45% (589,2 тыс. км²) территории Российской Федерации. Однако, здесь проживает 16,4% населения России (23,0 млн человек).

Среднегодовое водные ресурсы юга России (ЮФО и СКФО) составляют 309,1 км³/год ($h_{\text{ср}}=524,6$ мм), однако они отличаются большой изменчивостью во времени: для наиболее сухого года – $h_{\text{min}}=347,1$ мм, а для наиболее влажного года – $h_{\text{max}}=692,6$ мм.

Водные ресурсы на юге России распределены крайне неравномерно по территории. Так в Республике Калмыкия (площадь территории 76,1 тыс. км²) они составляют всего $h_{\text{ср}}=14,5$ мм, в Ставропольском крае (площадь территории 66,5 тыс. км²) – $h_{\text{ср}}=82,7$ мм, в то

время как в Республике Северная Осетия – Алания (площадь территории 8,0 тыс. км²) – $h_{\text{ср}}=1000$ мм.

Неравномерность распределения водных ресурсов на юге России потребовала строительство значительного количества обводнительно-оросительных систем* (Донской, Кубань-Егорлыкской, Кубань-Калаусской и др.), водозаборов, водохранилищ комплексного регулирования, гидротехнических туннелей, дюкеров, акведуков и т.д.

Насыщенность гидротехническими сооружениями на юге России самая высокая в РФ на единицу площади. По данным территори-

* Во II половине XX века обводнительно-оросительные системы стали именоваться по названию магистральных каналов: Донской магистральный канал, Большой Ставропольский канала, Невинномысский канал и т.д.

альных управлений Ростехнадзора на 10 января 2014 г. в Южном и Северо-кавказском федеральных округах расположено 33,6% (10709) потенциально опасных ГТС, на которых возможны чрезвычайные ситуации от имеющихся в РФ (31034 ГТС) водохозяйственного комплекса России. Для сравнения на территории Центрального федерального округа расположено 31,4% (9730) потенциально опасных ГТС, Поволжского – 28,5% (8844).

В четырех федеральных округах (Северо-Западном, Уральском, Сибирском и Дальневосточном), занимающих 86,7% (14 797,5 тыс. км²) территории РФ, расположено всего 2027 потенциально опасных ГТС водохозяйственного комплекса. Плотность расположения потенциально опасных ГТС водохозяйственного комплекса на юге России (ЮФО и СКФО) в 133 раза выше, чем в выше отмеченных четырех федеральных округах (СЗФО, УФО, СФО, ДФО).

Дефицит водных ресурсов на юге России ведет к высокому водопотреблению – от 1100 м³/чел. год до 1300 м³/чел. год (в зависимости от влажности года), однако оно значительно ниже, чем среднегодовые показатели водопотребления в таких государствах как США – 1629,8 м³/чел. год, Пакистан – 1455,6 м³/чел. год, Иран – 1376,5 м³/чел. год.

В государствах, где используются высокоэкономичные технологии водораспределения среднегодовое водопотребление значительно

ниже (Германия – 388,2 м³/чел. год, Россия в среднем – 522,9 м³/чел. год, Франция – 527,6 м³/чел. год, Италия – 689 м³/чел. год).

Отличительной особенностью России нынешнего периода (начала XXI века) является высокий уровень бесхозных ГТС. На начало 2014 г. потенциально опасных бесхозных ГТС в РФ насчитывается 6092, в том числе 929 с неудовлетворительным уровнем безопасности. На юге России (ЮФО и СКФО) органами надзора (Ростехнадзора) зафиксировано 1091 потенциально опасное бесхозное ГТС.

К основным факторам, определяющим безопасность ГТС водохозяйственного назначения (подавляющее большинство из них (97%) ГТС IV класса – это низконапорные гидроузлы ($H < 10$ м)), относятся:

- отсутствие на большинстве ГТС IV класса проектной документации, правил эксплуатации ГТС, критериев безопасности ГТС и т.д.;
- отсутствие или низкий уровень эксплуатационного персонала ГТС;
- отсутствие запасов строительных материалов, техники и людских ресурсов для ликвидации и локализации ситуаций на ГТС;
- отсутствие мониторинга безопасности ГТС на низконапорных гидроузлах;
- отсутствие современных геоинформационной системы с использованием спутниковых технологий сбора, обобщения информации и обеспечения безопасности ГТС.

Библиографический список

1. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2012 г.». – М.: НИА-Природа, 2013. – 380 с.
2. Волосухин, В.А. Сборник нормативно-методических документов, применяемых при декларировании безопасности гидротехнических сооружений. В 4 томах / В.А. Волосухин, Д.И. Фролов, О.М. Щурский, В.И. Пименов, А.В. Хныкин, С.П. Земцов, Я.В. Волосухин / Под ред. проф. В.А. Волосухина. – Новочеркасск: ЛИК, 2013 – Том 1 – 634 с.; Том 2 – 634 с.; Том 3 – 624 с.; Том 4 – 618 с.
3. Волосухин, В.А., Фролов, Д.И. Федеральному закону № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» - 15 лет. – Новочеркасск: Лик, 2012. – 36 с.

ПРАКТИКА ОЦЕНКИ РЕСУРСА ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ОТСУТСТВИИ ПРОЕКТНЫХ СВЕДЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭМПИРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПО ЧАСТОТАМ

УДК 699.841

Котляревский
Владимир Абрамович

Главный научный сотрудник Научно-образовательного центра исследования экстремальных ситуаций ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им.Н.Э. Баумана», г.Москва, профессор, доктор технических наук, Заслуженный деятель науки и техники РФ

АННОТАЦИЯ

На примерах оценки износа эксплуатируемых зданий методами вибрационной диагностики по замеренным частотам и исходным «проектным» значениям частот, подсчитанным по эмпирическим формулам, показаны возможные разбросы расчетных результатов анализа. Указана возможность коррекции исходных частот по задаваемому значению возможного начального износа.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Вибрационная диагностика,
Геометрические данные объекта,
Эмпирические значения
проектных частот,
Средние значения частот и износа,
Разброс расчетов износа

Обследование технического состояния эксплуатируемого сооружения современными средствами диагностики дает возможность определить его текущие прочностные характеристики. Однако при отсутствии исходных данных невозможно оценить остаточный (от проектного) ресурс прочности. Далее на примере вибрационной диагностики здания рассмотрено применение эмпирических формул для исходных значений частот объекта по основным геометрическим параметрам. Получено представление о расчетных разбросах и примерных диапазонах износа и остаточного ресурса.

Вопросы вибрационной диагностики строительных объектов рассмотрены в [1]¹. Напомним, что для экспресс-оценки физического состояния эксплуатируемых сейсмостойких сооружений может быть использован

метод, основанный на анализе изменений их спектральных характеристик сопоставлением текущих экспериментальных и исходных изгибных жесткостей опасных сечений упругих конструкций по отношению квадратов соответствующих частот собственных колебаний. В этих методах предполагается, что исходные жесткостные параметры и спектральные характеристики объекта могут быть установлены расчетом по проектным данным (назовем их «проектными»). Однако во многих случаях для длительно эксплуатируемых сооружений проектные сведения отсутствуют. Ниже показаны результаты грубой оценки износа сооружения и остаточного ресурса прочности методами вибрационной диагностики с исходными данными, принятыми по эмпирическим сведениям, характеризующими вероятный диапазон начальных значений периодов и частот сооружений.

Информацию о характеристиках существующих зданий получим по среднему периоду собственных колебаний в зависимости

¹ В [1] следует внести исправления в табл. 1: значения $D_{\omega} = 14,6$ и $23,8$ заменить на $43,4$ и $99,9$; значения $K_{var} = 16,5$ и $27,5$ заменить на $49,5$ и $72,9$.

от этажности, основных размеров, характеристик грунтового основания и параметров демпфирования. Для возможных значений основного периода зданий предлагались следующие эмпирические формулы [2–5]:

$$T_1 = \alpha n, \quad (1)$$

$$T_2 = \beta H, \quad (2)$$

$$T_3 = \mu C \sqrt{B}, \quad (3)$$

$$T_4 = \mu C_2, \quad (4)$$

$$T_5 = C_3 H \psi K / \sqrt{B g}, \quad (5)$$

$$T_6 = C_6 H / \sqrt{B} = \mu C_6 \sqrt{B}, \quad C_6 = 0,06. \quad (6)$$

Здесь T_1 – значение основного периода в зависимости от числа этажей n при $\alpha = 0,08$; T_2 – период, зависящий от высоты здания H при $\beta = 0,017$; T_3 – значение периода в зависимости от этажности здания n и коэффициентов C и μ , где μ – отношение высоты здания к его характерному размеру в плане $\mu = H/B$, C – функция параметров μ и n : $C = 0,08$ при $\mu \geq 2, n < 6$; $C = 0,12$ при $\mu < 2, n < 6$ и $C = 0,2$ при $n \geq 6$; T_4 – период, зависящий от параметров μ и $C_2 = 0,2$; T_5 – период, зависящий от величин H и B , параметров C_3, K, ψ и ускорения свободного падения $g = 9,81 \text{ м/с}^2$, при значениях коэффициентов: $\psi = 0,57, K = 1,34 \sqrt[4]{H}, C_3 = 0,25$ при $n < 6$ и $C_3 = 0,35$ при $n \geq 6$.

Поскольку приведенные данные получены опытным путем на существующих зданиях различного возраста, значения частот $\omega_i = T_i^{-1}, (i = 1, 2, \dots, n)$ могут быть несколько меньшими, чем частот, соответствующих проектным данным, то есть зданиям с нулевым износом. Поэтому при использовании значений частот, полученных по приведенным формулам, возможна их некоторая коррекция.

Среднее значение частоты ω_{cr} по $n = 6$ значениям (1)–(6)

$$\omega_{cr} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \omega_i, \quad (7)$$

При наличии величины измеренной на объекте текущей основной частоты ω_Z износ

объекта можно оценивать по каждой из n частот и по средней частоте:

$$\xi_i = 1 - (\omega_Z / \omega_i)^2, \quad \xi_{cr} = 1 - (\omega_Z / \omega_{cr})^2. \quad (8)$$

Полагая наличие некоторого начального повреждения – начального износа ξ_0 , расчетные значения можно скорректировать по формуле

$$\omega_{i, cr}^* = \omega_{i, cr} / \sqrt{1 - \xi_0}, \quad (9)$$

повышая расчетную частоту с коэффициентом $K = (1 - \xi_0)^{-0,5}$. Например, при 10% начальном износе $K = 1,054$. То есть небольшое значение начального износа незначительно меняет расчетные частоты, повышая начальную жесткость объекта.

Объекты с износом и пониженной жесткостью имеют частоты ниже исходных, Наличие значительного разброса расчетных частот по (1)–(6) приводит к тому, что в ряде случаев только несколько значений из шести удовлетворяют этому условию.

В табл. 1 и 2 приведены результаты расчета частот ω_i , износа ξ_i здания 14 этажей, высотой 48 м, шириной 12 м при замеренных частотах в диапазоне $\omega_Z = 0,2–1,2$ Гц. Определены значения износа по всем формулам и среднее значение частоты ω_{cr} . Средняя величина износа ξ_{cr} подсчитана по среднему значению ω_{cr} по «активным» частотам, превышающим текущую замеренную ω_Z .

Значительному разбросу значений частот по всем шести формулам соответствует характеризующий меру отклонения расчетных значений от средних коэффициент вариации в пределах 50–73%.

Выводы

При ориентировочной оценке износа эксплуатируемых зданий методами вибрационной диагностики применение эмпирических формул, характеризующих исходные (проектные) значения основных частот по малому числу геометрических характеристик объектов, возможны результаты с большим разбросом с коэффициентом вариации примерно в пределах 50–70%.

Таблица 1

Таблица 2

Значения износа ξ_I при замеренных частотах ω_Z
по расчетным частотам ω_i (1)–(6)

ω_Z , Гц	i	1	2	3	4	5	6
	T_i , с	1,12	0,816	2,771	0,800	3,113	0,831
	ω_i , Гц	0,893	1,225	0,361	1,250	0,321	1,203
0,2	ξ_i , %	95,0	97,3	69,3	97,4	61,2	97,2
0,3	ξ_i , %	88,7	94,0	30,9	94,2	12,8	93,8
0,4	ξ_i , %	79,9	89,3	–	89,8	–	88,9
0,8	ξ_i , %	19,7	57,4	–	41,0	–	44,2
1,0	ξ_i , %	–	33,4	–	36,0	–	30,9
1,2	ξ_i , %	–	4,1	–	7,8	–	0,47

Средние значения частот ω_{cr}
и износа ξ_{cr} при замеренных частотах
 ω_Z по активным значениям расчетных
частот ω_i (1)–(6)

ω_Z , Гц	Формулы (i)	ω_{cr} , Гц	ξ_{cr} , %
0,2	1, 2, 3, 4, 5, 6	0,876	94,8
0,3	1, 2, 3, 4, 5, 6	0,876	88,3
0,4	1, 2, 4, 6	1,143	87,7
0,8	1, 2, 4, 6	1,143	51,0
1,0	2, 4, 6	1,23	33,5
1,2	2, 4, 6	1,23	4,21

Библиографический список

1. Котляревский В.А. Особенности вибрационной диагностики в строительстве. // Журнал «Мониторинг. Наука и безопасность», 2013, №3(11). С. 44–54. Электронный журнал «Наука и безопасность», вып. 4(9) декабрь 2013. С. 2–10. URL: <http://www.art-atis.com>.
2. Борджес Дж.Ф., Равара А. Проектирование железобетонных конструкций для сейсмических районов. – М.: Стройиздат, 1978.
3. Мартемьянов А.И. Проектирование и строительство зданий и сооружений в сейсмических районах. – М.: Стройиздат, 1985.
4. Курмаев А.М. Сейсмостойкие конструкции зданий. Справочник. – Кишинев: Картя Молдовеняска, 1989.
5. Lateral Forces of Earthquake and Wind. Joint Committee of the San Francisco. Proc. ASCE, 77, 1955, Sep. No 66, 18.



РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЙ

УДК 699.841

Котляревский
Владимир Абрамович

Главный научный сотрудник Научно-образовательного центра исследования экстремальных ситуаций
ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им.Н.Э. Баумана», г.Москва,
профессор, доктор технических наук,
Заслуженный деятель науки и техники РФ

АННОТАЦИЯ

Изложены методы и алгоритмы определения надежности сейсмостойкости сооружений с использованием для воздействий и напряжений одномерной нормальной функции. Для упругопластических систем полагается наличие допустимого диапазона пластических деформаций и применена простая подгонка к нормальному распределению. Для упруго-хрупких систем и невозможности назначения допустимого диапазона повреждений применен метод статистического моделирования действием генерированным ансамблем синтезированных акселерограмм. Надежность сейсмостойкости оценивается по границам перекрытия функций плотностей распределений напряжений в сооружении и параметра прочности материала. Даны примеры расчета надежности сейсмостойкости к 7-бальным воздействиям металлической и железобетонной высоких промышленных дымовых труб.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Надежность сейсмостойкости,
Диапазон возможных повреждений
Закон поражения,
Вероятность повреждения,
Аппроксимация одномерной
нормальной функцией,
Генерирование синтетических
акселерограмм,
Упругопластические
и упруго-хрупкие системы,
Статистическое моделирование
сейсмостойкости,
Перекрытие плотностей
распределений параметров
напряжений и прочности

Результат сейсмического воздействия на объект определяется совместным влиянием большого числа случайных факторов, и оценка последствий возможна с вероятностным подходом. Надежность сейсмостойкости сооружений оценивают на основе параметрических законов поражения, – вероятности повреждения определенной степени в зависимости от интенсивности воздействия. Законы поражения устанавливают на основе статистической информации, получаемой из опытных данных, и для оценки вероятности повреждений представляет интерес подгонка опытных данных к какому либо известному закону распределения. При недостатке опытных данных закон поражения может быть получен расчетом.

Согласно центральной предельной теореме, при действии большого числа взаимно независимых причин, действие каждой из которых невелико в сравнении с суммарным, за-

кон распределения суммы незначительно отличается от нормального закона распределения. Поэтому, учитывая большое число случайных факторов, сопутствующих последствиям землетрясений, далее предполагается, что вероятность поражения распределена нормально.

Сейсмическое действие на сооружение устанавливают интенсивностью (в баллах), соответственно одним параметром – экстремумом действующего ускорения. То есть результат воздействия (закон поражения) в зависимости от одной случайной величины может быть аппроксимирован одномерной нормальной функцией.

В статье рассмотрены подходы к оценке надежности сейсмостойкости сооружений подгонкой к нормальному закону несколькими расчетными методами, связанными с возможностью назначения допустимого интервала повреждений (деформаций). Если такой

интервал установить невозможно, подгонка осуществляется методом статистического моделирования в условиях дефицита сейсмической информации с применением генератора синтетических акселерограмм.

1. ПРОСТАЯ ПОДГОНКА ДЛЯ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Для конструкций сооружений, предельные состояния по прочности которых зависят от деформаций металла, диапазон допустимых повреждений можно назначить с учетом достижения пластических деформаций с напряжениями, не превышающими предел прочности (или временное сопротивление). В указанном диапазоне случайная величина X распределена по нормальному закону с некоторым средним значением μ и дисперсией σ^2 с плотностью вероятности $f(X)$

$$f(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(X-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]. \quad (1.1)$$

Вероятность попадания случайной величины на участок $\alpha < X < \beta$ функции распределения, приведенной к (табулированному) интегралу вероятностей с аргументом $u = (X - \mu)/\sigma$:

$$G(\alpha < X < \beta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{(\alpha-\mu)/\sigma}^{(\beta-\mu)/\sigma} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du = \Phi\left(\frac{\beta-\mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha-\mu}{\sigma}\right). \quad (1.2)$$

Для участка, симметричного относительно центра рассеивания μ , положив $\alpha = \mu - \gamma$, $\beta = \mu + \gamma$, получим

$$G(\mu - \gamma < X < \mu + \gamma) = \Phi(\gamma/\sigma) - \Phi(-\gamma/\sigma) = 2\Phi(\gamma/\sigma) - 1. \quad (1.3)$$

При $\gamma = 3\sigma$ значения границ рассматриваемого интервала

$$\alpha = \mu - 3\sigma, \quad \beta = \mu + 3\sigma. \quad (1.4)$$

Для подгонки опытных (или расчетных) данных к закону (1.1) с определением среднего μ и стандарта σ следует задать две случайные величины – границы α и β интервала. Приближенные значения параметров нормального закона из предыдущих соотношений

$$\mu = (\beta + \alpha)/2, \quad 3\sigma = (\beta - \alpha)/2. \quad (1.5)$$

Вероятность повреждения степени $G(\eta)$ объекта и надежность сейсмостойкости при интенсивности воздействия η в интервале $\eta_1 < \eta < \eta_2$ (то есть без учета изменчивости воздействий и прочности) определяется по максимально безопасному $\alpha = \eta_1$ и минимальному значению $\beta = \eta_2$ безусловного (100%) повреждения. Значение G определяется по таблице [3].

Возможна аналитическая аппроксимация функции G с использованием формулы разложения. В данном случае последовательность расчета такова:

$$X = (\eta - \mu)/\sigma \quad (-3 < x < 3), \quad z = X/\sqrt{2},$$

$$\varphi(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left(z - \frac{z^3}{3} + \frac{1}{2!} \cdot \frac{z^5}{5} - \frac{1}{3!} \cdot \frac{z^7}{7} + \frac{1}{4!} \cdot \frac{z^9}{9} - \frac{1}{5!} \cdot \frac{z^{11}}{11} \dots \right),$$

$$G(\eta) = \frac{1}{2} \varphi(z) + \frac{1}{2} \quad (\eta_1 < \eta < \eta_2),$$

$$G(\eta) = 0 \quad (\eta < \eta_1), \quad G(\eta) = 1 \quad (\eta > \eta_2).$$

Диапазон $\eta_2 < \eta < \eta_1$ ограничен значениями аргумента $X = \mp 3$ с вероятностями $G(-3) = 0,0014$ и $G(3) = 0,9986$. Для значений X , не слишком близких к указанным ограничениям, расчет с высокой точностью выполняется с использованием небольшого числа членов ряда. По мере приближения величины η к граничным значениям сходимость ряда ухудшается, и для нахождения $\varphi(X)$ с высокой точностью требуется большое число членов ряда.

Расчет объекта на сейсмостойкость может осуществляться различными методами, например, методом конечных элементов с вводом в качестве граничных функций акселерограмм. Далее расчеты выполнялись по программе FRONTIER [1] по сжато-изогнутой консольной схеме с учетом начальных напряжений от веса сооружения на амплитудное значение ускорений (по [2]) или на экстремумы ансамбля синтетических акселерограмм. Расчетами устанавливаются значения деформаций и напряжений в опасных точках опорных сечений.

Для примера определим надежность сейсмостойкости и вероятную степень поврежде-

ний при сейсмике 7 баллов свободностоящей дымовой трубы из термоупрочненной стали 09Г2С по ГОСТу 5058-65 с пределом текучести $\sigma_T = 400$ МПа и временным сопротивлением $\sigma_b = 540$ МПа. Примем, что данный диапазон напряжений в опасной точке конструкции допустим. Высота трубы $H = 100$ м, внешний диаметр $D = 2$ м, толщина стенки $\delta = 12$ мм, полная масса с футеровкой $M = 117$ т.

Расчетами сейсмостойкости с учетом напряжений от собственного веса (15,6 МПа) и допускающих нормами [2] пластических деформаций установлены значения сжимающих напряжений $\sigma_{S1} = 394$ МПа (при амплитуде ускорения $\eta_1 = 0,92$ м/с²) и $\sigma_{S2} = 539$ МПа (при ускорении $\eta_2 = 1,80$ м/с²), то есть в допустимых пределах. По граничным значениям указанного диапазона воздействий $\alpha = \eta_1$, $\beta = \eta_2$ по формулам (1.5) параметры функции распределения $\mu = 1,36$ м/с², $\sigma = 0,147$ м/с². Для сейсмике 7 баллов с ускорением $\eta = 1$ м/с² аргумент интеграла вероятности (1.2) $X = (\eta - \mu)/\sigma = (1 - 1,36)/0,147 = -2,449$ (в интервале $-3 < x < 3$). По таблице [3] найдем искомое значение вероятной степени повреждения $G(X) = 7 \cdot 10^{-3}$. Надежность сейсмостойкости $1 - G(X) = 0,993$.

2. РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЙ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЙ И ПРОЧНОСТИ

Рассмотрена методика оценки надежности сейсмостойкости упругих сооружений, для которых невозможно назначить допустимый диапазон повреждений в связи с тем, что прочность лимитирована хрупким разрушением материала. Анализ выполняется с учетом изменчивости прочностных параметров и воздействий. Ансамбль воздействий формируется генератором синтетических акселерограмм. Детерминистическим расчетом прочности сооружения на действие экстремумов акселерограмм устанавливается выборка эквивалентных напряжений в опасных точках объекта и определяются параметры нормального распределения. Сравнением с нормальным распределением прочности материала устанавливается эксплуатационная надежность сейсмостойкости сооружения.

2.1. Генерирование сейсмических воздействий

Для ответственных сооружений нормами [2] предусмотрен расчет на особые сочетания нагрузок с учетом сейсмических воздействий, в качестве которых допустимо использование инструментальных записей ускорений оснований при землетрясениях, а также синтезированных акселерограмм. При этом для анализа поведения конструкций эффективным является метод статистического моделирования с применением представляющего нестационарный случайный процесс генерированного на ПК ансамбля реализаций (синтетических акселерограмм) со статистическими характеристиками, получаемыми специальной обработкой имеющихся записей.

Обычно инструментальные записи наиболее информативных данных сейсмике в виде акселерограмм нуждаются в балансировке. Наличие погрешностей (трендов) может приводить к заметному разбалансу интеграла возмущения по времени к некоторому моменту T_0 «успокоения» колебаний почвы. Это связано с тем, что при интегрировании по времени таких записей в пределах интенсивной фазы процесса длительностью T_0 скорость при $t = T_0$ не становится близкой к нулю, а перемещение оказывается нереально высоким. Обнуление скорости к моменту $t = T_0$ возможно балансировкой записей. Необходимость в сглаживании и балансировке временного ряда возникает вследствие неточностей при оцифровке, а также систематических ошибок, вносимых аппаратурой при регистрации процесса (например, «дрейфом нуля») и прочих случайных причин.

При балансировке табличных данных, соответствующих акселерограммам или велосиграммам, задается вектор остаточного смещения почвы – нулевой или ненулевой, если, например, он известен на основании статистической обработки данных триангуляции, относящихся к прошлым землетрясениям.

Для описания колебаний грунта при землетрясениях воспользуемся моделью В.В. Болотина [4], основанной на представлении ускорений \ddot{Z} в форме одночленного приближения без изменения спектрального состава. Модель применима для аппроксимации нестационарных случайных процессов, близких к стацио-

нарному (с медленно меняющейся дисперсией), представляя реализацию стационарного случайного процесса φ с фиксированным спектром, модулированного некоторой детерминированной квазиогibaющей L (ζ -единичная функция Хевисайда)

$$\ddot{Z}(t) = \zeta L(t) \varphi(t). \quad (2.1)$$

Метод статистического моделирования (Монте-Карло) позволяет получать нужное число реализаций умножением генерируемых стационарных случайных функций (со спектральными характеристиками прошлых землетрясений) на детерминированную функцию L . Анализ осуществляется с учетом гипотезы об эргодичности стационарного процесса, что позволяет усреднение по множеству реализаций заменить усреднением по времени единственной акселерограммы.

По программному алгоритму выполняется дискретный анализ реальной записи в виде временного ряда, а затем генерирование реализаций случайного нестационарного процесса с использованием метода канонических разложений. Анализ стационарной части входного процесса (временного ряда) производится методом быстрого преобразования Фурье (БПФ) с использованием сплайн-интерполяции. При генерировании реализаций используется синтез Фурье методом БПФ.

Предварительная обработка исходного временного ряда состоит в сглаживании и балансировке. Балансировка (нормализация) акселерограмм $\ddot{Z}(t)$ исключением нелинейного тренда производится со сглаживанием исходного (масштабированного) массива локальным методом наименьших квадратов многочленом третьей степени по пяти точкам. Балансировка ряда $\ddot{Z}(t)$ выполняется при сплайн-аппроксимации функций, если имеется разбаланс скорости $\dot{Z}(t_*)$ к «концу» воз-

действия $\int_0^{t_*} \ddot{Z}(t) dt = \dot{Z}(t_*) \equiv \delta_1 \neq 0$ и (или)

несоответствие разбаланса перемещения $Z(t_*)$ заданной величине Z_0 . В этом случае исходный массив \ddot{Z} балансируется исключением низкочастотного тренда $\bar{\gamma}$ в форме кубического полинома $\ddot{Z}_H = \ddot{Z} - \bar{\gamma}$, $\bar{\gamma} = at + bt^2 + ct^3$

с коэффициентами полинома, получаемыми из условий $\bar{\gamma}(0) = 0$ и $\bar{\gamma}(t_*) = 0$:

$$\delta_1 = \int_0^{t_*} \bar{\gamma}(t) dt,$$

$$\delta_2 = \int_0^{t_*} \left(\int_0^{\tau} \ddot{Z}(t) dt \right) d\tau = Z_0 + \int_0^{t_*} \left(\int_0^{\tau} \bar{\gamma}(t) dt \right) d\tau,$$

$$a = 60t_*^{-3} \left(\delta_2 - Z_0 - \frac{2}{5} \delta_1 t_* \right),$$

$$b = 180t_*^{-4} \left(-\delta_2 + Z_0 + \frac{7}{15} \delta_1 t_* \right),$$

$$c = 120t_*^{-5} \left(\delta_2 - Z_0 - \frac{1}{2} \delta_1 t_* \right).$$

Если задана скорость $\dot{Z}(t)$, а к моменту $t = t_*$, в который полагается $\dot{Z}(t_*) = 0$, имеется

разбаланс по перемещению $\delta_2 = \int_0^{t_*} \dot{Z}(t) dt \neq Z_0$,

то табличная функция преобразуется к \dot{Z}_H при $\bar{\gamma}_v(0) = \dot{\gamma}_v(0) = \bar{\gamma}_v(t_*) = 0$; $\dot{Z}_H = \dot{Z} - \bar{\gamma}_v$, $\bar{\gamma}_v = t^2(b + ct)$, $b = -ct_* = 12(\delta_2 - Z_0)t_*^{-3}$.

Балансировка сейсмической информации важна для сооружений, имеющих в своих спектрах периоды колебаний T , близкие к времени $t = T_0$, то есть периодам трендов. Поведение «высокочастотных» систем слабо зависит от наличия или типа балансировки. В указанном смысле к «высокочастотным» могут быть отнесены системы с $T/T_0 < 1/2$. Важное значение имеет балансировка входной информации по сейсмике при расчете низкочастотных объектов.

Для генерирования реализаций случайного нестационарного процесса осуществляется сглаживание и балансировка исходного ряда, выделение и аппроксимация квазиогibaющей и стационарной части процесса. Стационарный процесс сглаживается косинусным окном, а затем выполняется анализ Фурье, вычисление амплитудного и фазового частотных спектров, первичной оценки спектральной плотности. Производится сглаживание на смежных частотах, вычисление дисперсии, окончательно сглаженной оценки спектральной плотности и среднеквадратических отклонений по частотам. Далее выполняется цикл по заданному числу реализаций с синтезом нестационарных процессов – акселерограмм. В каждом таком цикле выполняется цикл по

частотам спектра: генерирование (с использованием полученных среднеквадратических отклонений) гауссовых случайных величин (амплитуд). Затем выполняется синтез Фурье стационарной части процесса. Производится сглаживание косинусным окном, удаление среднего и синтез нестационарного процесса с балансировкой и записью.

Для выделения квазиогibaющей $L(t)$ ряд A , представляющий акселерограмму, разбивается на N_2 интервалов с шагом по времени H , на которых содержится N_N квантов H . На каждом j -м интервале производится усреднение по времени, то есть определяется средний квадрат ускорения \bar{a}_j^2 , и величины $\sqrt{\bar{a}_j^2}$ вместе с начальным значением $A(1)$ заносятся в массив огибающей L , элементы которого отнесены соответственно к центрам интервалов и к началу ряда $t=0$. Производится сплайн-аппроксимация огибающей, а затем выделение стационарного процесса φ делением элементов A на интерполированные значения огибающей. В результате получаем $\varphi(t)$ со средним квадратом $\overline{\varphi^2(t)}=1$ и спектральной плотностью $S(\omega)$, причем $\int_0^{\infty} S(\omega) d\omega = 1$.

При выборе N_2 длительность интервала должна быть велика в сравнении с характерным временем корреляции процесса φ , но на интервале свойства процесса не могут меняться существенно и функция φ должна удовлетворять условиям стационарности. Проверка на стационарность может быть проведена, например по дисперсии, с использованием критерия масштаба Кокрена. Для всех N_2 интервалов (выборки объемом N_N) процесс φ вычисляются оценки дисперсии σ_i^{*2} и статистика $G = \sigma_{\max}^{*2} / \sum_{i=1}^{N_2} \sigma_i^{*2}$, которая сравнивается с критическим значением функции $Z_G(v, N_N, P_D)$, где $v = N_N - 1$. Если $G < Z_G$, то с вероятностью P_D стационарность считается установленной. Функции Z_G приведены в [5].

Для получения первичной оценки спектральной плотности методом БПФ временной ряд из N_0 элементов на начальном времен-

ном интервале $T_0 = H(N_0 - 1)$ сглаживается « $1/10$ косинусным окном»

$\alpha = \frac{1}{4}(1 - \cos(10\pi t/T_0))^2$. При дискретном прямом преобразовании Фурье вычисляются коэффициенты Фурье X_j ($j = 1, 2, \dots, N_1$): $\frac{1}{2}a_0, b_0 = 0, a_1, b_1, \dots, a_{N-1}, b_{N-1}, \frac{1}{2}a_N, b_N = 0$.

Фиксируется временной интервал $T = (N_1 - 1)H$, частотный интервал $\Delta\omega = 2\pi/T$, частота среза $\omega_c = \pi/H$ и частотный спектр $\omega_k = k \cdot \Delta\omega$ при $k = 1, 2, \dots, N = N_1/2$.

Амплитудный частотный спектр $A_s(\omega_k)$ вычисляется через коэффициенты Фурье:

$$A_s(\omega_1) = X_1, A_s(\omega_N) = X_{N_1},$$

$$A_s(\omega_k) = \frac{1}{2} \sqrt{X_j^2 + X_{j+1}^2} \quad (j = 2k - 1, 1 < k < N).$$

Первичная оценка спектральной плотности $\tilde{S}(\omega_k)$ корректируется коэффициентом $\beta = 1/0,875$, чтобы восстановить потерю дисперсии при косинусном сглаживании

$$\tilde{S}(\omega_1) = \beta X_1^2 / \Delta\omega, \tilde{S}_k \equiv \tilde{S}(\omega_k) =$$

$$= 2\beta |A_s(\omega_k)|^2 / \Delta\omega \quad (k > 1).$$

Окончательно сглаженная оценка спектральной плотности получается осреднением первичной оценки на M_1 смежных частотах (E – нормированная ошибка)

$$\bar{S}_k = (\tilde{S}_k + \tilde{S}_{k+1} + \dots + \tilde{S}_{k+M_1-1}) / M_1, \quad M_1 = E^{-2}.$$

Для генерирования стационарного процесса используется частный случай моделирования центрированных случайных процессов в форме канонического разложения в ряд Фурье

$$\varphi(t_i) = U_0 + \sum_{k=1}^N (U_k \cos \omega_k t_i + V_k \sin \omega_k t_i),$$

где N – учитываемое число частот ω_k в спектре;

U_0, U_k и V_k – некоррелированные гауссовы случайные величины с вероятностными характеристиками (среднее $\langle * \rangle$ и дисперсия σ^2)

$$\langle U_0 \rangle = \langle U_k \rangle = \langle V_k \rangle = 0,$$

$$\sigma_0^2 = \bar{S}_0 \Delta\omega / 2, \sigma_k^2 = \bar{S}_k \Delta\omega.$$

С использованием параметров квазиогibaющей и распределения дисперсий генери-

руется заданное число реализаций нестационарного процесса. Для получения реализаций φ осуществляется синтез Фурье, причем гауссовы числа генерирует датчик случайных чисел. Нестационарные реализации образуются умножением φ на интерполированные значения огибающей L . Результаты каждого цикла генерирования после сглаживания и балансировки записываются, образуя банк данных сейсмической информации, для дальнейшего использования в методе Монте-Карло. Алгоритм запрограммирован двумя версиями (программы GAMMA [6] и MSN [7]).

2.2. Определение надежности сейсмостойкости сооружения

По экспериментальным данным, нормальному закону распределения подчиняются показатели прочности металлов и бетонов (для предела текучести металлов, предела прочности бетонов сжатию [8]). При нормальном распределении сейсмических нагрузок и напряжений в конструкции, а также прочностных параметров материала расчет надежности осуществляется по границам перекрытия плотностей нормального распределения напряжений в конструкции f_1 и сопротивления материала f_2 . Надежность R сейсмостойкости определяется по нормальному распределению случайной величины $t = \sigma_R - \sigma_S$ с параметрами $\mu_* = \mu_2 - \mu_1$ и $\sigma_*^2 = \sigma_2^2 + \sigma_1^2$, представляющей разность напряжений: σ_R (μ_2, σ_2), – характеризующего прочность, и σ_S (μ_1, σ_1), – действующее в объекте,

$$R = P(t > 0) = \int_0^{\infty} f(t) dt = \frac{1}{\sigma_* \sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} \exp\left[-\frac{(t - \mu_*)^2}{2\sigma_*^2}\right] dt \quad (2.2)$$

Для случайной величины $z = (t - \mu_*)/\sigma_*$ нижний предел при $t=0$ равен $z = (0 - \mu_*)/\sigma_* = -\mu_*/\sigma_*$, и для определения надежности сейсмостойкости следует воспользоваться аналитической аппроксимацией (см. п. 1) или таблицей функции Φ [3, 9]:

$$R = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\mu_*/\sigma_*}^{\infty} \exp(-z^2/2) dz = 1 - \Phi(-\mu_*/\sigma_*).$$

В качестве примера выполнена проверка надежности сейсмостойкости двухслойной железобетонной дымовой трубы в сейсмически опасном районе с расчетной интенсивностью 7 баллов с проектными параметрами, согласно требованиям норм ВСН 286-90 [10]. Высота $H = 120$ м, радиусы границ слоев поперечных сечений $r_0 = 3,91$ м, $r_1 = 4,14$ м, $r_2 = 4,35$ м и арматуры $r_a = 4,325$ м. Средний внешний диаметр 8,265 м. Общая масса $3,0 \cdot 10^6$ кг, износ 12%. Редукционный коэффициент нижнего сечения ствола (по отношению площадей с внутренним и внешним радиусами) $K_{ped} = 1 - (r_0/r_2)^2 = 0,194$; момент сопротивления $W = 29,39$ м³. Бетон высокопрочный [11] с пределами прочности на сжатие и растяжение $R_{bn} = 50$ МПа, $R_{btm} = 5$ МПа. Параметры продольного армирования на радиусе r_a по проекту: диаметр вертикальных стержней $d = 14$ мм, шаг арматуры $L_a = 0,2$ м; суммарная площадь сечения $F_a = 0,0209$ м², то есть вклад армирования в W пренебрежимо мал, и прочность лимитирована пределом прочности бетона на растяжение. Для прочности высокопрочного бетона на растяжение примем параметры нормального закона $\mu_2 = 5$ МПа, $\sigma_2^2 = 0,25$, коэффициент однородности $K_{od} = 1 - 3\sigma/\mu = 0,7$

Сейсмическая информация для расчета объекта сформирована генерированием ансамбля 32-х синтетических акселерограмм по исходной записи, зарегистрированной в Сибири (1964 г.) и нормированной на 7-балльную интенсивность, то есть с амплитудой ускорения 1 м/с² (рис. 1 и 2).

Расчеты объекта на сейсмостойкость выполнены по программе FRONTIER на действие экстремумов ансамбля синтетических акселерограмм. По результатам расчетов с учетом опорных статических сжимающих напряжений 2,93 МПа получена выборка значений растягивающих напряжений в бетоне со средним значением μ_1 и дисперсией σ_1^2

$$\mu_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = 2,72 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_1^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \mu_1)^2 = 0,460.$$

Среднее квадратическое отклонение растягивающего напряжения $\sigma_1 = 0,678$ МПа.

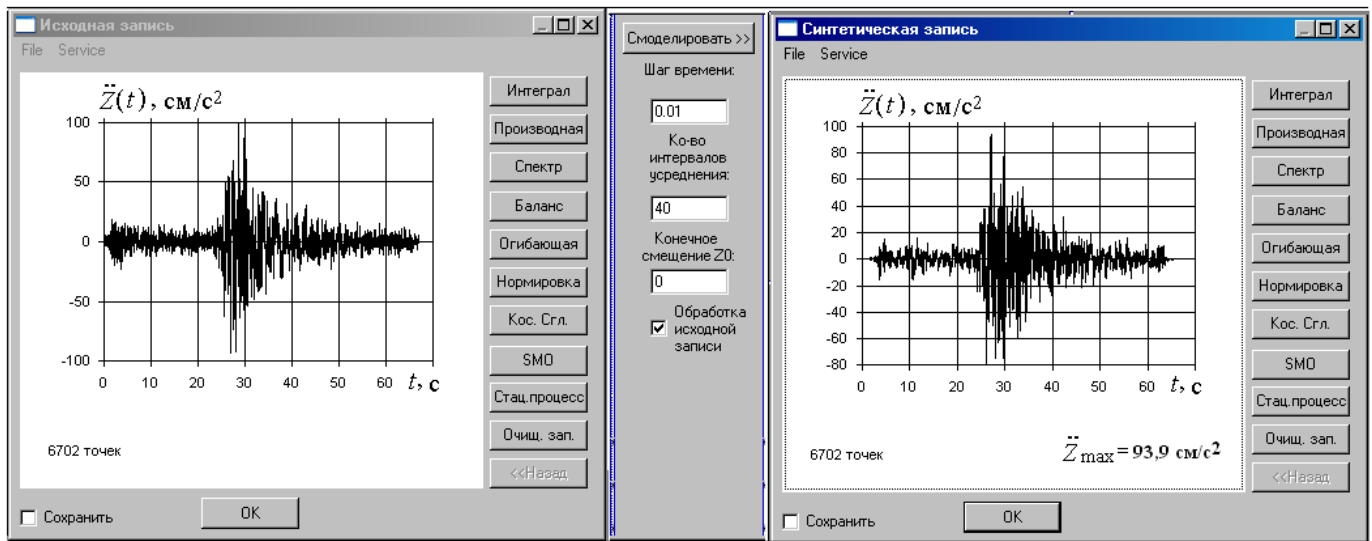


Рис. 1. Исходная акселерограмма, нормированная на 7 баллов (слева), и одна из синтетических акселерограмм

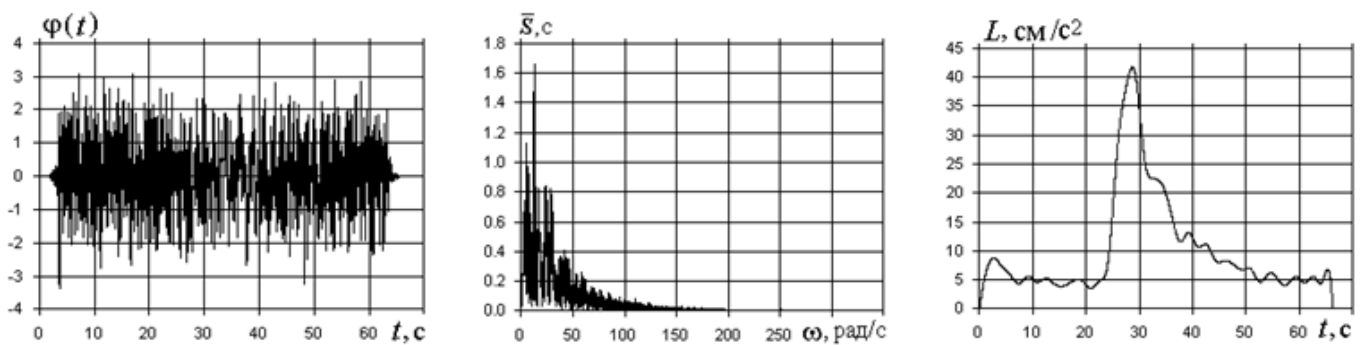


Рис. 2. Стационарная часть φ , спектральная плотность \bar{S} стационарной части и квазиоггибающая L исходной акселерограммы

По отношению средних значений коэффициент безопасности $K = \mu_2/\mu_1 = 5/2,72 = 1,84$.

По границам зоны перекрытия функций плотности нормального распределения напряжений в бетоне f_1 и сопротивления растяжению бетона f_2 (рис. 3) установим надежность сейсмостойкости объекта при землетрясении интенсивностью 7 баллов.

Параметры нормального распределения случайной величины t (2.1)

$$\mu_* = \mu_2 - \mu_1 = 5,00 - 2,72 = 2,28;$$

$$\sigma_* = \sqrt{\sigma_2^2 + \sigma_1^2} = \sqrt{0,25 + 0,46} = 0,84 \text{ МПа}.$$

Нижний предел зоны перекрытия $z = -\mu_*/\sigma_* = -2,28/0,84 = -2,71$.

По таблице нормальной функции распределения $G(-2,7) = 0,0035$, и надежность сейсмостойкости $R = 1 - G = 1 - 0,0035 = 0,997$.

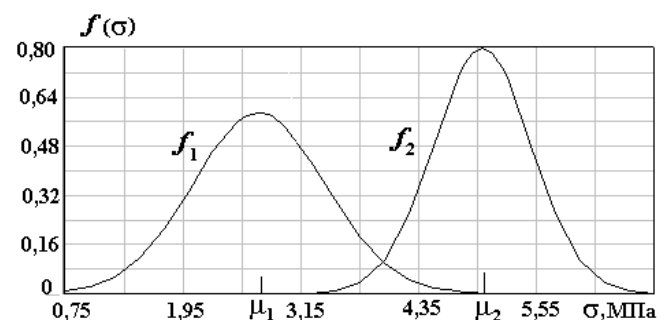


Рис. 3. Плотность нормального распределения растягивающих напряжений σ в бетоне f_1 ($\mu_1 = 2,72$ МПа, $\sigma_1 = 0,678$ МПа) и сопротивления растяжению высокопрочного бетона f_2 ($\mu_2 = 5$ МПа, $\sigma_2 = 0,5$ МПа), иллюстрирующие их перекрытие

Библиографический список

1. Котляревский В.А. Программные средства оценки сейсмостойкости. // Энциклопедия безопасности. Строительство. Промышленность. Экология. Том 3. Сейсмостойкость и теплозащита сооружений. / Под ред. В.А. Котляревского. – М.: «АСВ», – 2010. С. 265–277.
2. Строительство в сейсмических районах. СНиП II-7-81* (с изм. 2000 г.; СП 14.13330.2011).
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука. 1964.
4. Болотин В.В. Статистические методы в строительной механике. – М.: Стройиздат, 1965.
5. Жовинский А.Н., Жовинский В.Н. Инженерный экспресс-анализ случайных процессов. – М.: Энергия, 1979.
6. Котляревский В.А. Статистическое моделирование нестационарных случайных процессов, применительно к анализу сейсмостойкости сооружений. Программа ГАММА. Информ. л. № 352–87. – М.: МГЦНТИ, 1987.
7. Котляревский В.А., Шахраманьян А.М. Моделирование сейсмических записей. // «Научная сессия МИФИ-2002». Сб. научных трудов, том 5. Математическое моделирование в геофизике. – М.: Изд-во МИФИ, 2002. С. 94–96.
8. Гольденблат И.И. Основные положения метода расчета строительных конструкций по расчетным предельным состояниям и нагрузке. – М.: Стройиздат, 1955.
9. Kapur K.C., Lamberson L.R. Reliability in engineering design. JOHN WILEY & SONS. – New York Santa Barbara, London, Sydney, Toronto, 1977. / Перев. с англ. Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. – М.: МИР, 1980.
10. ВСН 286-90. Указания по расчету железобетонных дымовых труб. Минмонтажспецстрой СССР, 1990.
11. Берг О.Я., Щербаков Е.Н., Писанко Г.Н. Высокопрочный бетон. – М.: Стройиздат, 1972.





ВЕЛД

Головной офис: 455000, Челябинская обл., г. Магнитогорск, ул. Уральская, 24
тел./факс: +7 (3519) 22-03-31, +7 (3519) 22-09-66; e-mail: weld@weld.su

- ЭКСПЕРТИЗА ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ
- ЭНЕРГОАУДИТ
- ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ
- ОБСЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО И ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ И ПАМЯТНИКОВ ИСТОРИИ И КУЛЬТУРЫ
- РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ ПАСПОРТОВ
- ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ
- ПРОЕКТНЫЕ РАБОТЫ
- РЫНОЧНАЯ ОЦЕНКА
- СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ
- МОНТАЖ И РЕМОНТ ОБЪЕКТОВ КОТЛОНАДЗОРА
- СТРОИТЕЛЬНЫЙ НАДЗОР
- НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА
- НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ АВАРИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ
- ПРЕДОСТАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ, ПЕРЕПОДГОТОВКА КАДРОВ, ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ С АТТЕСТАЦИЕЙ СПЕЦИАЛИСТОВ
- РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННЫХ ПАСПОРТОВ БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ
- УСТАНОВКА РЕГИСТРАТОРОВ ПАРАМЕТРОВ НА ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИНАХ И СЧИТЫВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ
- ИНФОРМАЦИОННЫЕ УСЛУГИ

Читайте подробнее о нас | www.велд.рф
www.weld.su

weld@weld.su | Напишите нам письмо

СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ФУТЕРОВКИ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Попов
Александр Владимирович

Заместитель директора по развитию
ООО «ЕвроСтандарт»

АННОТАЦИЯ

Со временем футеровка доменной печи меняет свои характеристики и становится многослойной. Описывается метод, основанный на анализе акустических колебаний, возникающих в доменной печи в процессе её работы. Метод диагностики позволяет определять слабые места сложного технического механизма и продлить его жизнь.

В сегодняшние дни, продолжительность кампании доменной печи в основном определяется состоянием огнеупорных материалов горна, лещади, шахты и леток. Слишком раннее окончание сроков работы доменной печи приводит к огромным потерям кампании, а слишком долгая отсрочка ремонтных работ влечет за собой снижение их эффективности, а также подвергает риску рабочий процесс и безопасность выполнения работы. Точная мониторинговая система может внести значительный вклад в систему прогнозирования вероятных рисков, а также предоставляет своевременную систему обнаружения дефектов. Основным условием для безопасного функционирования является наличие необходимого запаса толщины огнеупорного материала в горне и лещади доменной печи. Доменные печи имеют свою особую конструкцию и историю работы. Не существует стандартного решения по продлению сроков работы для всех доменных печей, каждая печь требует индивидуального подхода и решения. Со временем футеровка изменяет свои характеристики и становится многослойной.

Возникновение таких слоев влияет на целостность огнеупорных материалов, снижая механическую прочность и теплопроводность. Нарушение равномерного отвода тепла создает условия, приводящие к сокращению срока службы огнеупорных материалов, преждевременному разрушению и возникно-

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

*Диагностика футеровки,
Кожух, Ультразвук,
Доменная печь, Гарнисаж
Холодильники, Набойка,
Кольцевая трещина*

ванию аварийных ситуаций. Отсутствие гарнисажа или его неравномерный слой способствуют расплавлению огнеупорных материалов, а его чрезмерный слой – к загромождению горна и потере производительности. Продление кампании доменной печи напрямую зависит от состояния огнеупорных материалов. Знания положения различных слоев в футеровке позволяет своевременно провести ряд необходимых оперативных технологических мероприятий.

Компания «Евростандарт» совместно с компанией «ДМА» разработала метод, позволяющий определять состояние огнеупорных материалов горна и лещади, а также наличие настывлей и состояние шахты доменной печи, что позволяет судить о реальном профиле. Метод основан на анализе акустических колебаний, возникающих в доменной печи в процессе её работы. Метод диагностики позволяет определять границы раздела холодильников, набивки, огнеупорных блоков, трещин в огнеупорных материалах, пустот, гарнисажа, настывли. Обобщенный опыт эксплуатации и разбора при ремонтах доменных печей дал компании «ЕвроСтандарт» возможность идентифицировать и описать полученные данные от диагностики с реальными дефектами огнеупорных материалов.

О группе компаний «ЕвроСтандарт»

Группа компаний «Евростандарт» успешно работает на российском рынке с 2007 г. За это

время зарекомендовала себя в качестве ответственного производителя оборудования и запасных частей для различных отраслей промышленности.

В группу компаний «Евростандарт» входит компания «ДМА» - инжиниринговая компания, занимающаяся неразрушающим контролем, мониторингом и автоматизацией в области промышленной безопасности при эксплуатации металлургических агрегатов.

Основной профиль деятельности компании – запатентованная технология диагностики состояния огнеупорных материалов и обнаружения образований, искажающих профиль доменной печи.

Применение этой технологии позволяет оценить реальное состояние основных конструктивных элементов для принятия операционных мер с целью продлить кампанию доменной печи и оптимизировать технологию ведения доменных процессов.

Диагностика производится акустическим методом неразрушающего контроля, совместно с анализом свойств огнеупорных материалов и существующей технологии производства.

Акустический метод контроля позволяет определять наличие границ раздела различных компонентов в многослойной конструкции, поэтому он позволяет определять:

- несплошности в монолитных конструкциях (фундаменты, плиты перекрытия, стены и т.п.);
- определять под заливными фундаментами пустоты, образованные в результате размыва грунта или иных причин;
- глубину заделки свай;
- наличие трещин в природных материалах (мрамор, гранит и т.п.);
- места прохождения технологических каналов в монолитных конструкциях;
- производить анализ целостности монолитных или кирпичных трубопроводов;
- производить анализ целостности кладки дымовых труб при доступе к ним только с одной стороны.

К работе в компании привлечены высококвалифицированные специалисты по неразрушающему контролю, огнеупорным материалам, автоматизации и технологии доменного производства.

Система диагностики футеровки доменной печи

Специалистами компании разработана уникальная система «АКОСМА» по определению топографии слоев огнеупорных материалов шахты, горна и лещади работающей доменной печи.

Основу системы составляют: программно-аппаратный комплекс, созданный специалистами по неразрушающему контролю, и математическая модель, разработанная совместно с ведущими специалистами по огнеупорным материалам и технологами доменного производства. Прибор позволяет с помощью акустических методов определять положения границ слоев в футеровке (остаточный ресурс), области трещиноватости, определять несплошности (пустоты) набойки между броней и холодильниками, искажение профиля шахты (определение настылей).

Компанией сформирована значительная база данных по дефектам футеровки, а также накоплен большой опыт в определении и их классификации.

Футеровка горна доменной печи как объект диагностики

В огнеупорной футеровке горна за время работы доменной печи и действия различных агрессивных факторов, образуются слои с различными физическими свойствами. Штатное образование слоев в огнеупорном блоке можно представить следующей схемой:

- слой с неизменными физическими свойствами;
- кольцевая трещина (зона трещиноватости);
- перерожденный слой;
- слой проникновения щелочных материалов и оксидов металлов;
- защитный слой (гарнисаж).

Возникновение таких слоев влияет на целостность огнеупорных материалов, снижая механическую прочность и теплопроводность. Нарушение равномерного отвода тепла, создает условия, приводящие к сокращению срока службы огнеупорных материалов, преждевременному разрушению и возникновению аварийных ситуаций.

Отсутствие гарнисажа или его неравномерный слой способствуют расплавлению огнеупорных материалов, а его чрезмерный

слой к загромождению горна и потери производительности.

Продление кампании доменной печи напрямую зависит от состояния огнеупорных материалов. Знания положения различных слоев в футеровке позволяет своевременно провести ряд необходимых оперативных технологических мероприятий.

Объект диагностики

Доменная печь – наиболее сложный из всех плавильных агрегатов, с непрерывным циклом процессов загрузки сырья и выгрузки продуктов плавки. Огнеупорные материалы, составляющие футеровку доменной печи, испытывают разного рода воздействия агрессивного характера:

- термо-механический износ (плавление, дробление, раскалывание);
- действие химических соединений (щелочи, окислы металлов);
- попадание воды из сгоревших фурм и холодильников;
- окисление.

Продолжительность рабочей кампании доменной печи, как правило, определяется сроком службы огнеупорной футеровки горна, лещади и шахты, который зависит от следующих факторов:

- дренажных условий;
- качества сырья;
- управления распределением материалов при загрузке;
- регулированием зоны нагрева и дутья через фурмы;
- условий образования гарнисажа;
- качества и вида применяемых огнеупоров;
- схемы охлаждения (холодильники или наружный полив).

Факторы, влияющие

на производительность доменной печи

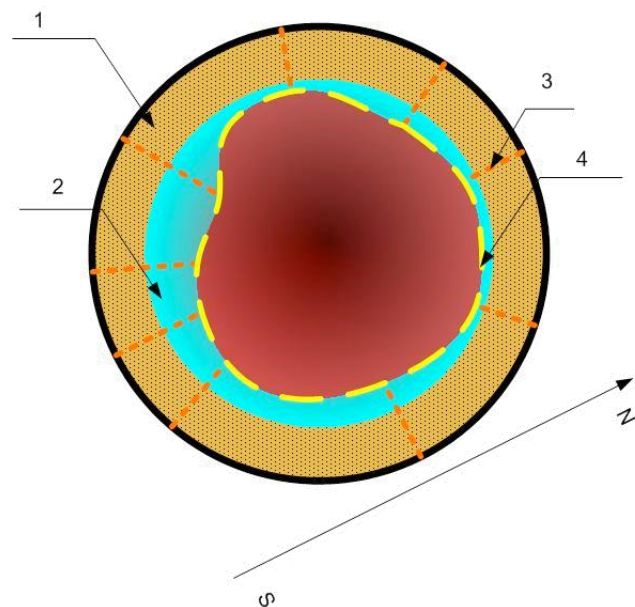
Производительная работа доменной печи возможна только при ее рациональном профиле, без настылей и искажений.

В процессе эксплуатации из-за нарушения технологических условий и использования некачественных материалов для плавки возможно образование настылей, которые искажают внутренний профиль печи и тем самым ухудшают показатели ее работы.

Знание фактических размеров отложений и положения их в шахте печи дает возможность специалистам провести мероприятия по их удалению как механическими, так и технологическими приемами.

Состояние набойки (компенсационных зазоров) доменной печи

В случае повышенного выделения газа со стороны кожуха доменной печи, что может возникнуть из-за движения горновых газов по периферии горна, лещади, и как следствие - возникновения рыхлости, пустот или каналов, а также оседания набивной массы (между броней, холодильниками и огнеупорными материалами), возникает необходимость определения области несплошности для последующего закачивания огнеупорных масс и восстановления состояния набойки.



Состояние набойки доменной печи:

- 1 – кладка шахты; 2 – настыль;
- 3 – измеренные расстояния до профиля шахты;
- 4 – аппроксимированный профиль шахты

Описание процесса диагностики

Определение с помощью системы «АКОСМА» положения границ слоев, составляющих огнеупорную футеровку доменной печи, осуществляется на ее кожухе в местах доступного расположения датчиков, по периметру и высоте шахты, горна и лещади печи.

Чем меньше расстояние между местами расположения датчиков, тем выше точность расчета по математической модели топографии слоев в футеровке.

Перед проведением диагностики техниками компании в доступных местах зачищается поверхность кожуха, затем размещаются датчики и осуществляется процесс сбора данных, по времени занимающий от 10 до 300 секунд в одной точке. Далее полученные данные обрабатываются на специализированном сервере компании.

Оформление результатов диагностики

После определения положения границ слоев в местах диагностики футеровки шахты, горна и лещади, с помощью математической модели рассчитывается их топография во всей футеровке. В данной модели учитываются качество и вид применяемых огнеупоров, схема охлаждения горна и условия образования гарнисажа.

Полученная информация о состоянии огнеупорной футеровки доменной печи с помощью системы «АКОСМА» оформляется в виде отчета с вертикальными и горизонтальными разрезами.

Рекомендации специалистов по технологии доменного производства

На основании данных диагностики футеровки горна и лещади доменной печи возможно принятие решений о применении ряда технологических мероприятий для продления срока эксплуатации доменной печи.

Диагностика шахты позволит разработать мероприятия по формированию рационального профиля доменной печи. Высококвалифицированные специалисты «ДМА» по технологии доменного производства, учитывая особенности конкретной доменной печи, предлагают рекомендации, способствующие формированию ее рационального профиля, продлению кампании или принятию обоснованного решения об остановке на ремонт.

При необходимости, они могут определить границы раздела жидкой фазы и огнеупорной футеровки в горне и лещади, а затем указать расположение и угол козловой летки.

Стационарная система диагностики доменной печи

Продолжительность кампании доменной печи в основном определяется состоянием огнеупорных материалов горна, лещади, шахты и леток. Слишком раннее окончание сроков работы доменной печи приводит к огромным потерям компании, а слишком долгая отсрочка ремонтных работ влечет за собой снижение их эффективности, а также подвергает риску рабочий процесс и безопасность выполнения работы. Точная мониторинговая система может внести значительный вклад в систему прогнозирования вероятных рисков, а также предоставляет своевременную систему обнаружения дефектов.

Стационарная система диагностики позволит своевременно выявлять изменения профиля доменной печи. Монтаж такой системы может быть выполнен без остановки доменной печи.

Для сбора информации датчики устанавливаются на кожух доменной печи равномерно, используя существующие конструкции для доступа к кожуху. Учитывая высоту объекта может рассматриваться только распределенная система получения данных. К каждому датчику подключается первичный преобразователь, преобразователи соединяются между собой через сетевой интерфейс. Далее сигнал поступает в диспетчерскую по проводной линии связи на сервер первичной обработки и управления сбором информации.

Для обеспечения температурного диапазона $-40 +60$, оборудование размещается в шкафах с климат-контролем, датчики устанавливаются в специальных корпусах с термостатом и нагревательным элементом.

Питание системы организовано с резервированием.

Для защиты высокочувствительных элементов датчиков от помех может потребоваться отдельная шина заземления изолированная от металлоконструкций.

Соединительные провода укладываются в металлические рукава. Система включает в себя: управление режимом сбора и обработки данных, режим самодиагностики, таймера WatchDog, контроль за соединениями. Диспетчерская состоит из пульта управления с консолью оператора и сервера первичной об-

работки данных устанавливаемого в шкаф 19'. В определенное время данные передаются на основной сервер обработки данных, после чего заказчику предоставляется отчет о выявленных искажениях профиля, состояния огнеупорной футеровки.

Объекты проведения диагностики

1. ОАО «ММК», Магнитогорск, Россия, Russia, доменные печи №1, 2, 4, 6-10, 2004-2005.
2. «The Tata Iron Steel Co. LTD», Jamshedpur, India, BF №G; 2004.
3. «US Steel Gary works», Gary, Indiana, USA, BF №13, 2004.
4. «Sidmar», Gent, Belgium, BF №A, 2004.
5. «Aceralia», Asturias, Spain, BF №C, 2004.
6. «Ekostahl», Eisenhüttenstadt, Germany, BF №1, 5A, 2004.
7. «Corus», IJmuiden, Голландия, доменная печь №7; 2004.
8. «Rogesa», Dillinger Hütte, Germany, BF №5, 3, 2005.
9. «POSCO», Gyangwang, Корея, доменная печь №2; 2005.
10. ОАО «Челябинский металлургический комбинат», г.Челябинск, Россия, доменные печи №1, 4; 2005.
11. ОАО «Саткинский чугуно-плавильный завод», г.Сатка, Россия, доменная печь №2; 2005.
12. ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат», г. Липецк, Россия, доменная печь №2; 2005.
13. ОАО МК «Азовсталь», г. Мариуполь, Украина, доменные печи №3, 4, 5; 2005.
14. ОАО «ММК им. Ильича», г. Мариуполь, Украина, доменная печь №4; 2005.
15. «Испат Индастриз Лимитед», Долви, Индия; 2005.
16. ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат», г.Новокузнецк, Россия, доменная печь №1; 2006.
17. ОАО «Уральская сталь», г.Новотроицк, Россия, доменные печи №2, 4; 2006.
18. ОАО «НКМК», г.Новокузнецк, Россия, доменная печь №5; 2006.
19. «Хелуанский металлургический завод», Египет, доменная печь №3; 2006.
20. ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат», г.Липецк, Россия, доменные печи №3, 4, 6; 2006.
21. ОАО «Запорожсталь», г. Запорожье, Украина, доменная печь №5; 2007.
22. ОАО МК «Азовсталь», г. Мариуполь, Украина, доменные печи №2-6; 2007.
23. ОАО «Челябинский металлургический комбинат», г.Челябинск, Россия, доменные печи №1, 4, 5; 2009.
24. ОАО МК «Азовсталь», г. Мариуполь, Украина, доменные печи №4; 2010.
25. ОАО «ММК», Магнитогорск, Россия, доменная печь №6, 2010.
26. «Arcelor Mittal Кривой Рог», г. Кривой Рог, Украина, доменная печь №7; 2010.
27. ОАО «ММК им. Ильича», г. Мариуполь, Украина, доменная печь №2, 3; 2011.
28. ОАО МК «Азовсталь», г. Мариуполь, Украина, доменные печи №4; 2011.
29. ОАО «НТМК», г.Нижний Тагил, Россия, доменные печи №5,6; 2013.



НАУКА И БЕЗОПАСНОСТЬ
www.pamag.ru

- Краткий обзор учебно-методической литературы направленной тематики.
- Информация о прошедших и готовящихся выставках, конференциях, семинарах и других событиях, поднимающих вопросы проектирования, строительства, эксплуатации, консервации и ликвидации строительных объектов
- Электронный журнал «Предотвращение аварий зданий и сооружений»:
 - Научные статьи специалистов ведущих вузов Российской Федерации и ближнего зарубежья
 - Более тысячи кратких обзоров аварий и обрушений зданий, сооружений и грузоподъемных механизмов
- Влиятельные партнеры
- Приглашения к публикации

www.pamag.ru

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ШЛИФОВ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ЗАМЕРОВ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ПРИ НАТУРНОМ ОБСЛЕДОВАНИИ

УДК 691.714.122

Шаповалов
Эдуард Леонидович

Замушинская
Дарья Андреевна

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»,
г.Магнитогорск, Челябинская область,
кандидат технических наук, доцент

Инженер ОАО «Магнитогорскгражданпроект»,
г.Магнитогорск, Челябинская область

АННОТАЦИЯ

Определение качество стали в натуральных условиях не всегда представляется возможным, а результаты не всегда являются корректными. В статье даны результаты испытания нескольких образцов стали с использованием переносного TR200 и стационарного MarSurft PS1.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

*Металлоконструкции зданий и сооружений,
Исследование металлоконструкций,
Шлиф, Параметры шероховатости,
Прибор переносной TR200,
Стационарный MarSurft PS1*

Проведение обследований металлоконструкций зданий и сооружений предполагает определение параметров прочностных свойств сталей, из которых они состоят. Неразрушающими методами контроля это осуществляется приборами типа МЕТ-УД или ТЭМП. Данные портативные твердомеры позволяют определить твердость стали в натуральных условиях на подготовленных шлифах и получить относительное значение временного сопротивления. Согласно паспортным данным приборов качество шлифов должно отвечать требованиям по шероховатости поверхности – не более 2,5 Ra у ТЭМП и 3,2 Ra у МЕТ-УД, что соответствует 5 классу шероховатости. Тогда полученные результаты могут считаться корректными. Рекомендуется при подготовке поверхности мест измерений шлифовка шлифмашинкой или напильником с мелкой насечкой и последующая дошлифовка шкуркой с мелким зерном.

Но работа по подготовке поверхности конструкций для измерений в натуральных условиях сопряжена с определенными трудностями. Эксплуатируемые конструкции, особенно

длительный период времени, часто подвержены коррозии различной степени и наслоениям пыли. К тому же поверхность самого металла имеет существенные неровности связанные с качеством проката. Определить допустимую шероховатость шлифа на месте можно портативным прибором типа TR200. Но на условия работы с ним на конструкциях может оказывать влияние наклонность конструкций, работа в труднодоступных, высотных участках и т.д.

Исходя из выше сказанного, определить качество шлифа с допустимой шероховатостью визуально, можно проведя соответствующие исследования. Для этого были подготовлены пять пластин из стали марки Ст2сп листового проката длиной до 500 мм и толщиной 10 мм с тремя участками различного качества подготовки поверхности (рис. 1).

При уменьшении размеров абразивных частиц, снижается глубина рисок поверхностного слоя, полученного в результате шлифования. В зависимости от примененных абразивных материалов участки условно разделили на три вида по качеству поверхности. Используемые абразивные материалы в виде

шлифовальных шкурки с различной зернистостью соответствовали ГОСТ 6456-75 и 10054-75 (рис. 2):

I – грубый шлиф обработан шлифовальной шкуркой с размером абразивных частиц

200-160 и 160-120 мкм;

II – средний шлиф – с размером абразивных частиц 80-63 мкм:

III – гладкий шлиф – с размером абразивных частиц 28-20 мкм.

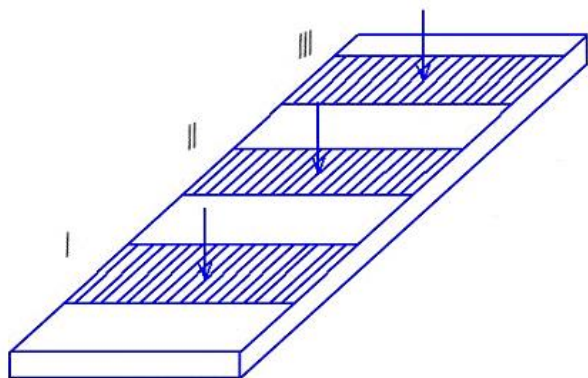


Рис. 1. Схема образца для исследований



I – грубый шлиф II – средний шлиф III – гладкий шлиф

Рис. 2. Шлифы с различным качеством поверхности

Ra – является наиболее часто используемым параметром шероховатости поверхности материалов в мкм. Среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины линии выступов на поверхности.

Для определения параметров шероховатости поверхности металла и проверке соотношений результатов использовались два прибора: переносной TR200 и стационарный MarSurft PS1 (рис. 3).

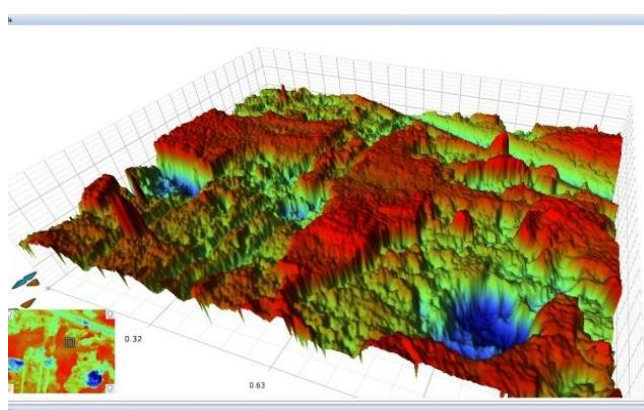
Прибором TR200 на каждом шлифе на разных участках были проведены не менее пяти испытаний и на экране выводилось среднее значение Ra. Работа MarSurftPS1 ведется на определенном участке с параметрами: длина трассы – 6 мм, ширина – 1 мм, интервал между дорожками – 20 мкм, количество трасс – 51. Автоматически компьютер выводит диаграмму каждой дорожки и считывает Ra. На рис. 4 представлены характерные 3D-модели поверхности шероховатости построенные программным микроскопом с показательной разницей качества поверхности на различных участках образца.

В табл. 1 указаны параметры шероховатости на участках с различной подготовкой поверхности.

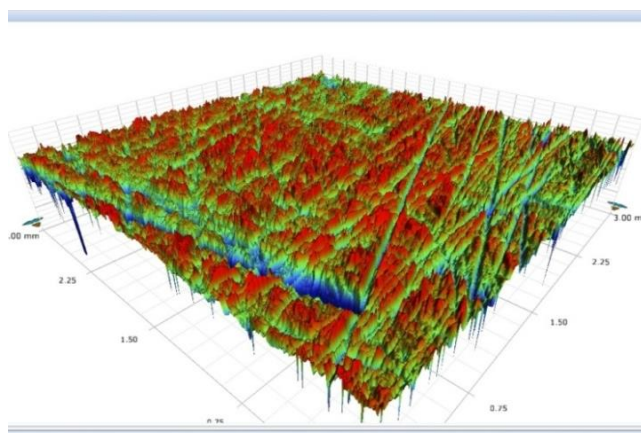


Рис. 3. Переносной прибор TR200 и стационарный MarSurftPS1

Необработанная поверхность



I – Грубая шлифовка



III – Гладкая шлифовка

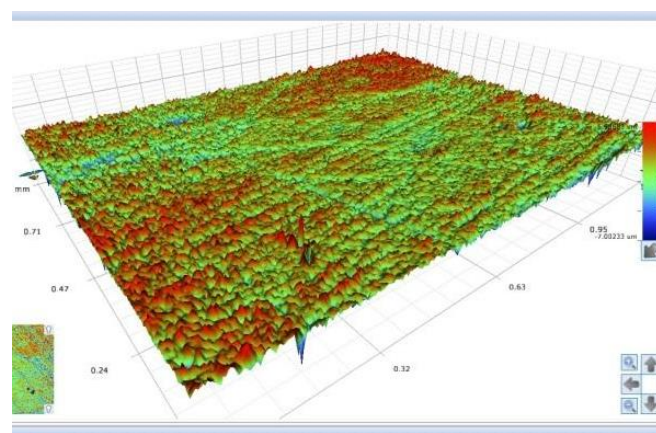


Рис. 4. 3D-модели поверхностной шероховатости на участках образца

Таблица 1

Номер образца	Номер шлифа	Ra (TR200)	Ra (MarSurft XR20)
1	I	2,252	2,151
	II	0,976	-
	III	0,187	0,161
2	I	1,569	1,472
	II	0,875	-
	III	0,17	0,307
3	I	1,395	1,153
	II	0,931	-
	III	0,164	0,176
4	I	1,333	1,461
	II	0,98	-
	III	0,221	0,189
5	I	1,521	1,70
	II	1,25	-
	III	0,232	0,422

Шероховатость трех шлифов находится в пределах от 0,17-1,7 Ra, что вполне укладывается в рамки требований для переносных твердомеров с предельным значением не более 2,5 Ra.

Измерения твердости производилось по шкале Бринелля (НВ) двумя портативными твердомерами ТЭМП-4 и МЕТ-УД с динамическими датчиками (рис. 5).

Результаты, приведенные на диаграммах, показывают, что независимо от параметров шероховатости поверхности шлифов, значения твердости остаются в пределах небольшой области разброса 10-15% (рис. 6).

Поэтому практика применения твердомеров при натурном освидетельствовании конструкций может ограничиваться использованием относительно крупнозернистых абразивных материалов при подготовке шлифов для измерений. Это ускорит процесс обследования конструкций и не повлияет на корректность полученных результатов.



Рис. 5. Портативные твердомеры ТЭМП-4 и МЕТ-УД

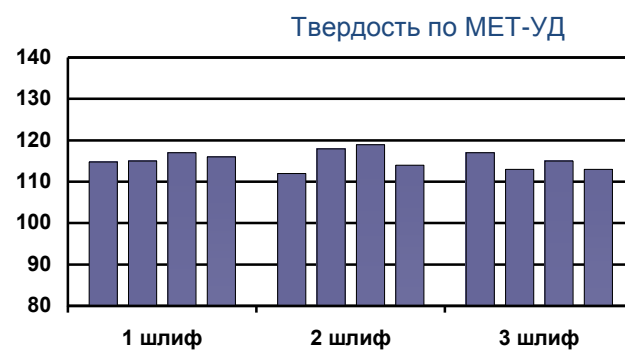


Рис. 6. Диаграммы твердости НВ по шлифам



АВТОНОМНЫЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МОНИТОРЫ ВИБРАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

УДК [681.518.54+620.19](035)

Кирпичёв
Александр Александрович

Мионов
Алексей Георгиевич

Татаркин
Сергей Анатольевич

Директор ООО «ГлобалТест»,
кандидат технических наук

Dr. Sc. ing., директор «D un D centrs»,
Латвия, г.Рига

Старший научный сотрудник, главный геофизик
ООО «ПИ Геореконструкция», г.Санкт-Петербург,
кандидат технических наук

АННОТАЦИЯ

состояния строительных конструкций, зданий и сооружений. В статье рассматриваются новые разработки вибродиагностической аппаратуры:
- автономные диагностические мониторы вибрации АДМВ-01, АДМВ-02, предназначенные для мониторинга состояния строительных конструкций;
- автономные диагностические мониторы вибрации АДМВ-06, АДМВ-07, предназначенные для обследования и мониторинга состояния строительных конструкций
Приведены технические характеристики приборов и примеры их применения.

В настоящее время ООО «ГлобалТест» выпускает полный спектр (более 300 типов) пьезоэлектрической датчиковой аппаратуры, включая вибропреобразователи с зарядовым выходом и со встроенной электроникой (широкого применения, промышленные и специального назначения), датчики давления, датчики силы, преобразователи акустической эмиссии, вибровыключатели, виброконтроллеры, калибраторы, усилители и согласующие электронные устройства. Их назначение – измерение и анализ механических колебаний и ударов, виброакустические исследования и испытания, непрерывный мониторинг и техническая диагностика промышленного оборудования, аттестация рабочих мест и промышленная санитария [1].

Число заказчиков быстро растет и уже превышает полторы тысячи. Почти у каждого заказчика – свои специфические требования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Вибрация, Мониторинг вибрации, Виброконтроль, Автономный диагностический монитор вибрации, Состояние строительных конструкций, зданий и сооружений

По техническому заданию компании «D un D centrs» (г.Рига, Латвия) [2] разработаны автономные диагностические мониторы вибрации АДМВ-01 (рис.1) и АДМВ-02 (рис.2), предназначенные для мониторинга состояния строительных конструкций, зданий и сооружений по ISO 4866: 2010 [3].

Основные технические характеристики АДМВ-01 и АДМВ-02 представлены в табл.1.

АДМВ-01 и АДМВ-02 обеспечивают:

- измерение пиковых значений виброускорения или виброскорости по трём направлениям;
- накопление данных во внутренней памяти;
- сравнение измеряемых значений с заданными пределами и сигнализацию превышения;
- синхронизация встроенных часов реального времени по часам ПК;
- управление и считывание информации через порт USB.



Рис. 1



Рис. 2

Таблица 1

<i>Наименование</i>	<i>Размерность</i>	<i>АДМВ-01</i>	<i>АДМВ-02</i>
Рабочий диапазон частот с затуханием на границах не более 1 дБ	<i>Гц</i>	3-200	
Диапазон амплитуды измеряемого виброускорения	<i>м/с²</i>	0,05-50	
Диапазон амплитуды измеряемого виброскорости	<i>мм/с</i>	0,05-50	
Встроенный фильтр верхних частот со спадом амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) не менее 20 дБ/декаду и затуханием не более 1 дБ	<i>Гц</i>	3	
Встроенный фильтр нижних частот со спадом АЧХ не менее 30 дБ/декаду и затуханием не более 1 дБ	<i>Гц</i>	200	
Объем внутренней памяти	кБайт	95,5	
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений виброускорения и виброскорости соответственно в диапазонах (0,5-50) м/с ² и (0,5-50) мм/с	<i>дБ</i>	0,5	
Длительность одного замера	<i>τ, с</i>	2-20	
Периодичность замеров	<i>t, с</i>	5-600	
Максимальное количество хранимых во внутренней памяти измеренных значений по каждой оси	-	16 320	
Время непрерывной работы	<i>мес.</i>	3	
Диапазон рабочих температур	<i>°С</i>	-20 ... +60	
Влажность окружающего воздуха	<i>%</i>	50 ÷ 100	
Габаритные размеры	<i>мм</i>	80×105×62	
Масса	<i>г</i>	700	
Питание: - внутреннее от двух литиевых батарей типа SL-360P; - внешнее питание (при передаче накопленных данных по GSM/GPRS каналам)	-	3,6 В 2300мАч	9-15 В, 500 мА

- Кроме того, АДМВ-02 обеспечивает:
- передачу данных по GPRS-каналу на заданный адрес электронной почты. Передачу уведомляющих и тревожных SMS-сообщений по GSM-каналу;
 - управление и считывание информации через порт USB и посредством SMS.

Одним из первых применений АДМВ-01 и АДМВ-02 был мониторинг зданий в зоне исторической застройки г.Риги при проведении буровых работ, погружении свай и строительных работ на примыкающем участке (рис.3 – АДМВ установлен: а) на стене, б) на цоколе, в) на фундаменте). АДМВ-01 и АДМВ-02 были установлены в составе станций с терморегулированием и электрическим питанием. В процессе мониторинга определялись и регистрировались уровни вибрации, сравнивались с заданным в соответствии с

международными стандартами пределом и, в случае превышения, руководителю работ отправлялось сообщение, после чего он принимал решение о прекращении работ или изменении режимов работы оборудования. В результате, мониторинг вибрации позволил избежать опасных вибрационных и ударных воздействий на контролируемые объекты.

По техническому заданию Института архитектурно-строительного проектирования, геотехники и реконструкции (г.Санкт-Петербург, Россия) [4], разработаны АДМВ-06 (рис. 4) и АДМВ-07 (рис. 5), предназначенные для обследования и мониторинга строительных конструкций, зданий и сооружений по ГОСТ Р 53778-2010, ГОСТ Р 54859-2011 [5, 6]. Основные технические характеристики представлены в табл. 2 и 3, соответственно.



а)

б)

в)

Рис. 3



Рис. 4



Рис. 5

Таблица 2

<i>Наименование</i>	<i>Размерность</i>	<i>АДМВ-06</i>
Одновременное измерение вибрации по осям	-	X, Y, Z
Рабочий диапазон частот	Гц	0,1-200
Амплитудный диапазон	м/с ²	0,0005-15
Основная относительная погрешность, не более	дБ	1,5
Встроенный фильтр верхних частот со спадом амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) не менее 40 дБ/декаду и затуханием не более 1 дБ	Гц	0,1
Встроенный фильтр нижних частот со спадом АЧХ не менее 120 дБ/декаду и затуханием не более 1 дБ	Гц	200
Нелинейность АЧХ в полосе частот измерения, не более	дБ	1
Максимальное время непрерывной регистрации данных	ч	68
Объем внутренней памяти	МБайт	1024
Время непрерывной работы без подзарядки	дней	14
Максимальное количество хранимых во внутренней памяти измеренных значений по каждой оси (отсчетов)	-	1,2·10 ⁸
Рабочий диапазон температур	°С	-20...+60
Влажность окружающего воздуха	%	50... 100
Общие габаритные размеры	мм	173x122x138
Масса не более	Кг	2,6
Питание: от встроенной аккумуляторной батареи Li-ion	-	7,2 В; 5400 мА·ч

Таблица 3

<i>Наименование</i>	<i>Размерность</i>	<i>АДМВ-07</i>
Одновременное измерение вибрации по осям	-	X, Y, Z
Диапазон амплитуды измерения пикового значения виброускорения	м/с ²	0,007-7
Диапазон измерения среднеквадратичного значения (СКЗ) виброускорения	м/с ²	0,005-5
Диапазон измерения пикового значения виброскорости	мм/с	0,07-70
Диапазон измерения СКЗ виброскорости	мм/с	0,05-50
Рабочий диапазон частот в режиме измерения виброускорения с затуханием на границах не более 1 дБ	Гц	1-150
Рабочий диапазон частот в режиме измерения виброскорости с затуханием на границах не более 3 дБ и 1 дБ соответственно	Гц	2-150
Встроенный фильтр верхних частот со спадом амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) не менее 80 дБ/декаду и затуханием не более 1 дБ	Гц	1
Встроенный фильтр верхних частот (ФВЧ) со спадом амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) не менее 80 дБ/декаду и затуханием не более 3дБ	Гц	2
Встроенный фильтр нижних частот со спадом АЧХ не менее 80 дБ/декаду и затуханием не более 1 дБ	Гц	150
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений виброускорения и виброскорости	дБ	1,5
Суммарная нелинейность АЧХ в полосе частот измерения не более	дБ	1

Окончание табл. 2

<i>Наименование</i>	<i>Размерность</i>	<i>АДМВ-07</i>
Длительность одного замера	<i>с</i>	1-255
Максимальное количество хранимых во внутренней памяти измеренных значений по каждой оси	-	10 ⁸
Время непрерывной работы от встроенного аккумулятора без передачи данных по E-mail	<i>ч</i>	48
Время непрерывной работы от встроенного аккумулятора с передачей данных по E-mail 1 раз в 10 мин	<i>ч</i>	> 12
Диапазон рабочих температур - при работе от встроенного аккумулятора - при работе от внешнего питания	<i>°C</i>	0...+40 -20...+60
Габаритные размеры	<i>мм</i>	125x110x82
Масса	<i>г</i>	700
Питание: - от внутреннего источника постоянного тока; - внешнее питание (при передаче накопленных данных по GSM/GPRS каналу)	-	7,2В/2800 мАч 12 В / 1 А

АДМВ-06 обеспечивает:

- автономное измерение и записи сигнала виброускорения по трём направлениям;
- синхронизацию встроенных часов реального времени по часам ПК;
- задание длительности времени измерения;
- управление и считывание информации через порт USB.

АДМВ-07 обеспечивает:

- автономное измерение и накопление пиковых и/или среднеквадратических параметров вибрации (виброускорения или виброскорости);
- пробуждение прибора и начало записи по уровню вибрации или в заданное время;
- синхронизация встроенных часов реального времени по часам ПК;
- прекращение записи при вибрации ниже уровня покоя в течение заданного времени;
- передача уведомляющих и тревожных SMS – сообщений по GSM – каналу;
- передача накопленных данных на заданный адрес электронной почты по GPRS каналу;
- управление через порт USB и посредством SMS.

Примеры применения АДМВ-06 приведены в технических заключениях [7-10].

При обследовании перекрытия под тронным залом Большого Павловского дворца по

адресу: г.Санкт-Петербург, г.Павловск, ул. Садовая, д.20. (рис. 7) было произведено три расстановки четырёх АДМВ-06. Определены динамические параметры деревянного перекрытия:

- декременты затухания;
- СКЗ виброускорения;
- собственные частоты колебаний.

Заключение:

- 1) Признаки существенных дефектов отсутствуют.
- 2) Несущие конструкции находятся в работоспособном состоянии.
- 3) Для ликвидации зыбкости перекрытия рекомендовано повысить его жесткость.

При мониторинге окружающей застройки (магистрального коллектора) при строительстве 11-этажного здания по адресу: г.Санкт-Петербург, Красногвардейский район, Малоохтинский пр., д. 45. (рис. 8)

Произведена одна расстановка четырёх АДМВ-06 на 11-м этаже. Контролировались динамические спектры отклика колебаний обделки коллектора.

Заключение:

За четыре месяца строительства существенных изменений в структуре грунта и обделки коллектора не произошло.



Рис. 7



Рис. 8

При обследовании двух зданий 1815 года постройки по адресу: г. Санкт-Петербург, ул. Фурштатская, д.14 (рис. 9), д.16 (рис. 10).

Расстановка АДМВ-06 произведена на несущих стенах и на лестничных клетках на уровне пятого, третьего и первого этажей.

По методике МЧС регистрировались сигналы от удара груза 30 кг на верхних этажах. Определены динамические параметры зданий:

- частоты колебаний основного тона по трём координатам;
- формы мод колебаний;
- декременты затухания.

Составлены паспорта по ГОСТ Р 53778-2010.

Заключение:

Здания неаварийные и находятся в ограниченно работоспособном состоянии.

При обследовании трёх флигелей здания 1798 года постройки по адресу: г. Санкт-Петербург, В.О., Иностраный переулок, д.2. (рис. 11-13).

По флигелю 1 (2-этажное здание) АДМВ-06 устанавливались в подвале, на 1-м и на 2-м этажах, у трещины 5 см длиной несколько метров и вдали от неё.

По флигелю 2 (3-этажное здание) АДМВ-06 устанавливались в подвале, на 1-м, 2-м и 3-м этажах.

По флигелю 3 (3-этажное здание) АДМВ-06 устанавливались на 3-м этаже у трещины 2-3 см длиной 2 м.

Регистрировались сигналы возбуждаемые микросейсмами.

Сравнивались частоты основного тона с аналогичными типами зданий.



Рис. 9

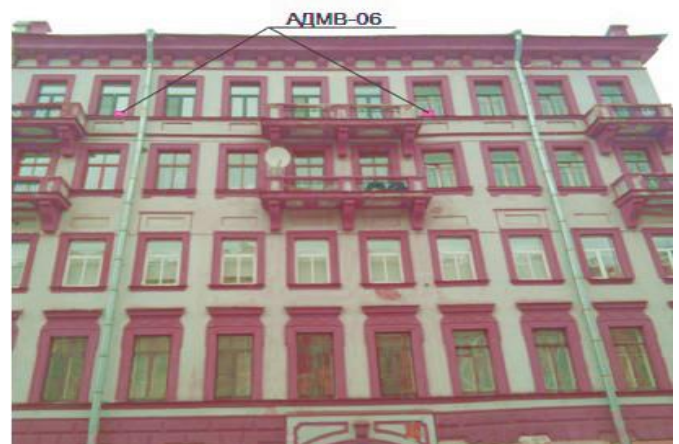


Рис. 10

Определялись значения передаточной функции.

Заключение:

Флигель №1 – в предаварийном состоянии.

Флигель №2 – находится в ограниченно работоспособном состоянии.

Флигель №3 – имеет локальный аварийный участок, примыкающий к строительной площадке нового здания с подземными этажами.

Необходимо усиление фундамента и проведение постоянного мониторинга в соответствии с требованиями ГОСТ Р 53778-2010 и СНИП 2.02.01-83.

Динамический мониторинг технического состояния исторических, уникальных и ответственных зданий и сооружений начинает играть всё более важную роль в обеспечении их безопасной и эффективной эксплуатации. В безопасной и эффективной эксплуатации заинтересованы эксплуатирующие строительные и страховые организации.

Приведенные примеры применения АДМВ будут полезны широкому кругу специалистов, связанных с контролем технического состояния и оформлением паспортов зданий и сооружений.



Рис. 11



Рис. 12



Рис. 13

Библиографический список

1. Каталог фирмы ООО «ГлобалТест». Электронный ресурс: // www.globaltest.ru
2. Электронный ресурс: www.ddcentrs.lv
3. ISO 4866:2010. Вибрации стационарных сооружений. Руководство по измерению вибрации и оценки их влияния на сооружения»
4. Электронный ресурс: www.georec.spb.ru
5. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования технического состояния.
6. ГОСТ Р 54859-2011. Здания и сооружения. Определение параметров основного тона собственных колебаний.
7. Шашкин А.Г., Улицкий В.М., Татаркин С.А. Техническое заключение по обследованию геофизическими методами перекрытия под Тронным залом Большого Павловского дворца, расположенного по адресу: Санкт-Петербург, г.Павловск, ул. Садовая, д.20. – СПб.: ООО «ИСП Геореконструкция», 2013.
8. Шашкин А.Г., Улицкий В.М., Татаркин С.А. Техническое заключение геотехнического мониторинга окружающей застройки (магистрального коллектора) при строительстве 11-этажного здания по адресу: г.Санкт-Петербург, Красногвардейский район, Малоохтинский пр., д.45., лит. А». – СПб.: ООО «ИСП Геореконструкция», 2014.
9. Шашкин А.Г., Улицкий В.М., Татаркин С.А. Техническое заключение обследования двух зданий 1815 года постройки по адресу: г.Санкт-Петербург, ул.Фурштатская, д.14, д.16». – СПб.: ООО «ИСП Геореконструкция», 2013.
10. Шашкин А.Г., Улицкий В.М., Татаркин С.А. Техническое заключение обследования трёх флигелей здания 1798 года постройки по адресу: г.Санкт-Петербург, В.О., Иностраный переулок, д.2». – СПб.: ООО «ИСП Геореконструкция», 2014.

НАВЕСНЫЕ ВЕНТИЛИРУЕМЫЕ ФАСАДЫ СО ШТЫРЕВЫМ КРЕПЛЕНИЕМ ОБЛИЦОВКИ

Безрук
Анатолий Иванович

Специалист ООО «Серпуховской Двор», г.Москва,
кандидат технических наук

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены особенности конструкций и эксплуатации навесных вентилируемых фасадов. Приведены сравнительные данные этих фасадов, в том числе и штыревых навесных вентилируемых фасадов. Показаны преимущества штыревых фасадов перед широко используемыми в настоящее время фасадными конструкциями

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

*Штыревые фасады,
Облицовочные плиты,
Открытое и закрытое
крепление,
Штыри-анкеры,
Силовые тяги, Фиксаторы,
Резьбовые муфты,
Запорные элементы*

Впервые конструкции навесных вентилируемых фасадов (НВФ) появились в Германии и Финляндии более 30 лет назад и сейчас они успешно применяются в Европе. В России такие конструкции фасадов начали эксплуатироваться около 15 лет назад. В настоящее время использование НВФ в строительстве общественно-производственных и жилых зданий является активно развивающимся направлением.

Отличительной особенностью НВФ является наличие воздушного зазора между стеной здания и наружной облицовкой. С целью уменьшения теплоотдачи зданий между стеной и облицовкой устанавливаются утеплитель, закрепляемый на стене.

Такой фасад, помимо эстетической привлекательности и долговечности, обеспечивает благоприятные температурно-влажностные условия работы конструкции, снижение уровня шума в здании.

Основной особенностью конструкции такого фасада является использование несущей подсистемы, укрепляемой к стене здания, на которую устанавливается облицовка. При этом между облицовкой и наружной поверхностью утеплителя устанавливается зазор 40-80 мм, за счёт которого обеспечивается вентиляция фасада.

Несущей подсистемой определяется надёжность всего фасада.

В настоящее время имеется множество конструкций подсистем НВФ, различающихся как способом крепления облицовки, так и использованием различных материалов.

Широко применяемые подсистемы базируются на использовании кронштейнов и направляющих.

Стоимость всего НВФ в основном определяется трудоёмкостью изготовления и монтажа подсистемы и стоимостью используемых материалов.

Различная трудоёмкость изготовления обусловлена технологическим процессом соединения силовых элементов (склёпывания, свинчивания, сварки), их выверкой.

В качестве материалов подсистемы НВФ используется оцинкованная и нержавеющая сталь, а также алюминиевые сплавы.

Помимо прочностных свойств, к материалам НВФ предъявляются жёсткие требования в отношении их климатической устойчивости, коррозионной стойкости.

В подсистемах НВФ из оцинкованной стали силовые элементы изготавливаются из оцинкованного металлопроката. Толщина слоя цинка в сталях 1-го класса цинкования в соответствии с ГОСТ 14918-80 должна быть 40-60 мкм. Однако, как показывают проведенные измерения, на практике эта толщина не превышает 15 мкм. В условиях даже слабой агрессивности окружающей среды раз-

рушение такого покрытия начинается уже через полтора-два года. Даже если нанести на такую конструкцию дополнительно полимерное покрытие, то это удлинит срок службы конструкции не более, чем на пять-семь лет [1, 2].

На практике дело обстоит ещё хуже, поскольку детали подсистемы изготавливают из оцинкованного профиля, который подвергают механической обработке, снимая оцинковку и сокращая дополнительно срок службы детали и, соответственно, фасада.

Для устранения указанных недостатков требуется изготовленные детали дополнительно подвергнуть горячему цинкованию, после которого можно получить слой цинка от 80 до 150 мкм. Однако, кроме существенного удорожания детали, выполнение горячего цинкования габаритной детали подсистемы (кронштейна, направляющей и проч.) зачастую сопряжено с трудностями технологического плана.

Изготовление подсистемы НВФ из коррозионностойкой нержавеющей стали аустенитного класса типа 12Х18Н10Т существенно повышает её стоимость (до 800-1000 руб./м²).

Применение алюминиевых сплавов в НВФ связано с удорожанием конструкции фасада. Кроме того, применяемые в НВФ сплавы АД31Т1(Т6), 6063, 6060 существенно уступают нержавеющей стали по пределу прочности и мало стойки при огневом воздействии (температура плавления алюминиевых сплавов составляет около 660°С).

Одним из новых направлений в создании НВФ являются штыревые конструкции с использованием крепления облицовки на винтах – шурупах (см. патент РФ: №№2446258, 103545, 107535).

Крепление облицовочных плит в таких НВФ осуществляется на консольных штырях-анкерах, ввертываемых в стену посредством дюбелей, или укрепленных химическим путём. В качестве штырей используют обычно винты-шурупы. При этом штыри работают на вырывающую нагрузку, а консольные усилия воспринимают тяги, связывающие их вертикальные ряды. В качестве тяг обычно используется металлическая лента. Свободные верхние концы каждой тяги, связывающей 30-40 штырей (15-20 облицо-

вочных плит) вертикального ряда, предварительно натягиваются механизмом, закреплённым на стене здания.

Фиксация плит осуществляется с помощью наконечников, на которых имеются элементы, удерживающие облицовку. Наконечники соединяются со штырями резьбовой муфтой с контргайкой с возможностью их регулируемого перемещения вдоль штыря и последующей фиксации, за счёт чего обеспечивается выверка плит по плоскости вне зависимости от неровностей стены.

Конструкция рассматриваемого НВФ подобна вантовому мосту, в котором вместо металлоёмких и сложных ферм в качестве силовых элементов используются тяги – тросы.

Конструкция штыревого НВФ имеет видимые преимущества перед широко используемыми фасадами, а именно:

1. Простота, малая металлоёмкость и стоимость. В НВФ используется небольшая номенклатура силовых малогабаритных элементов, изготавливаемых в массовом производстве, которые могут быть выполнены из нержавеющей коррозионно стойкой стали без существенного повышения стоимости конструкции. Малый вес конструкции позволяет эффективно применять такой НВФ при ограниченных нагрузках на фундамент зданий, находящихся в районах неплотных и сыпучих грунтов.

Стоимость подсистемы штыревого фасада с нержавеющей стальными элементами составляет около 250 руб./м².

По данным специализированной фирмы «АЛЬТУС – ГРУПП» 2005-2011 гг. (г.Москва) стоимость подсистем, используемых в настоящее время НВФ, составляет:

- из оцинкованных элементов с крепежом (дюбелями, заклёпками и проч.) – 420 руб./м²;
- из алюминиевых элементов крашенных без крепежа – 350 руб./м²;
- из алюминиевых элементов не крашенных без крепежа – 300 руб./м².

2. Универсальность. Применяя практически одни и те же элементы, можно выполнять как скрытое, так и открытое крепление облицовки. При этом стоимость скрытого крепления облицовки отличается от стоимости открытого не более чем на 10-15%, в то время

как в обычных конструкциях НВФ такая разница составляет около 2 раз [3].

3. Надёжность, прочность и долговечность крепления облицовки. Крепление каждой облицовочной плиты в штыревом фасаде осуществляется путём фиксации её с двух противоположных торцов удерживающими элементами четырех наконечников, попарно соединённых двумя вертикальными тягами. Такая конструкция с элементами из нержавеющей стали весьма устойчива к внешним воздействиям и может эксплуатироваться не один десяток лет без ремонта.

Выполненные в Центре исследований сейсмостойкости сооружений ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко испытания прочности силовых элементов штыревой НВФ со скрытым и открытым креплением облицовки показали возможность применения его для зданий различной этажности. При этом установлено, что

величина распределённой (ветровой) нагрузки не должна превышать для скрытого крепления 240 кгс/м^2 и открытого 470 кгс/м^2 .

4. Возможность укрепления утеплителя на стене здания, используя силовые штыри и применяя прижимные шайбы и храповые стопоры, существенно упрощает сборку фасада и снижает её трудоёмкость.

5. Возможность дополнительного снижения стоимости фасада за счёт использования комбинации элементов из различных металлов, выполняя, например, винты-штыри и муфты с гайками стальными с горячим цинкованием, а ленты-тяги нержавеющей стали.

6. Возможность замены любой плиты без разборки соседней облицовки.

Внешний вид штыревого навесного вентилируемого фасада показан на фото.



Внешний вид штыревого навесного вентилируемого фасада

Библиографический список

1. Казакевич А.В. Коррозионная стойкость и совместимость материалов несущих конструкций навесных фасадов // Журнал «Кровля, фасады, изоляция», 2008, №3.
2. Мамлясов Ю.Н., Костюков В.И. Отделка фасадов: О долговечности фасадных систем // Журнал «Кровля, фасады, изоляция», 2009, №4.
3. Конструкции навесных вентилируемых фасадов // Art-Cart.Ru.

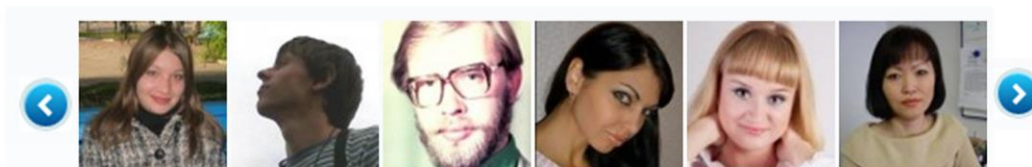


научный портал

РАЗДЕЛЫ ПОРТАЛА

- » Кладезь науки
- » Образовательные учреждения
- » Научные мероприятия

НАУКА.РФ



НАУКА.РФ - научный портал, целью которого является объединение людей и организаций, занимающихся научной деятельностью, в электронное научное сообщество - научную сеть - для аккумуляции и распространения научных знаний в современной и доступной форме.

НАУКА.РФ - это:

- ↳ Упорядочение потока научно-образовательной информации в сети Интернет.
- ↳ Создание "Научного сообщества", охватывающего множество отраслей наук и привлекающего граждан - потребителей образовательных услуг и учреждения, работающие в сфере образования.
- ↳ Продвижение инновационных образовательных технологий.
- ↳ Создание реестра образовательных учреждений и научных центров и предоставляемых ими услуг.
- ↳ Создание условий для сотрудничества между образовательными учреждениями и научными центрами, а также потребителями в контексте проводимых ими различных мероприятий.



сайт: НАУКА.РФ



Наши контакты:
e-mail: portal@nauka-rf.com
skype: nauka.rf



Читайте нас подробнее | www.nauka.rf

portal@nauka-rf.com | Напишите нам письмо

АВТОРЫ НОМЕРА

Безрук Анатолий Иванович

Специалист ООО «Серпуховской Двор», г.Москва,
кандидат технических наук

Бондаренко Владимир Леонидович

Профессор кафедры «Природообустройство»
Новочеркасского инженерно-мелиоративного
института им. А.К. Кортунова
ФГБОУ ВПО «Донской государственный
аграрный университет»,
доктор технических наук, профессор, Почетный
работник водного хозяйства РФ

Волосухин Виктор Алексеевич

Директор Института безопасности
гидротехнических сооружений,
доктор технических наук, профессор,
Заслуженный деятель науки РФ

Дыба Владимир Петрович

Профессор кафедры «Промышленное,
гражданское строительство, геотехника и
фундаментостроение» ФГБОУ ВПО «Южно-
Российский государственный
политехнический университет (НПИ)
им. М.И. Платова», член РОМГГиФ,
доктор технических наук

Замушинская Дарья Андреевна

Инженер ОАО «Магнитогорскгражданпроект»,
г.Магнитогорск, Челябинская область

Кирпичёв Александр Александрович

Директор ООО «ГлобалТест»,
кандидат технических наук

Котляревский Владимир Абрамович

Главный научный сотрудник Научно-образовательного
центра исследования экстремальных ситуаций
ФГБОУ ВПО «Московский государственный
технический университет им.Н.Э. Баумана», г.Москва,
профессор, доктор технических наук,
Заслуженный деятель науки и техники РСФСР

Миронов Алексей Георгиевич

Dr. Sc. ing., директор «D in D centrs»,
Латвия, г.Рига

Моргунов Владимир Николаевич

Доцент кафедры «Промышленное, гражданское
строительство, геотехника и фундаментостроение»
ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ)
им. М.И. Платова», член РОМГГиФ,
кандидат технических наук

Попов Александр Владимирович

Заместитель директора по развитию
ООО «ЕвроСтандарт»

Татаркин Сергей Анатольевич

Старший научный сотрудник, главный геофизик
ООО «ПИ Геореконструкция», г.Санкт-Петербург,
кандидат технических наук

Шаповалов Эдуард Леонидович

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»,
г.Магнитогорск, Челябинская область,
кандидат технических наук, доцент

Главный редактор Еремин К.И.
Редактор Ткаченко С.А.
Оператор компьютерной верстки Шишкина Н.А.
Дизайнер Куркина Т.О.
Подготовлено к изданию 30.09.2014 г.

Выпуск 3 (12)
Основан 2011 г.
Издатели АНО НИИ «Промбезопасность»
Регистрация Св-во Эл №ФС77-45511 от 22.06.2011 г.
Адрес редакции г.Магнитогорск, ул.Уральская, д.24
Интернет www.наука-и-безопасность.рф
E-mail redaktor@prom-b.com
Учредители ООО «ВЕЛД»