

УДК 624.012

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ПРИГОДНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ БАШНИ НА КРЫШЕ ЗДАНИЯ ГОСПРОМ В ГОРОДЕ ХАРЬКОВЕ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОГО СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ

ФУРСОВ В.В.^{1*}, *д.т.н., проф.*,
ЯРОВОЙ С.Н.², *к.т.н., проф.*

^{1*} Кафедра металлических и деревянных конструкций, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, ул. Сумская 40, 61102, Харьков, Украина, тел. +38(057)7061763, e-mail: vadfursov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0086-0156.

² Проектный и научно-исследовательский институт «Харьковский Промстройинипроект», ул. Маломясницкая 2, 61145, Харьков, Украина, тел. +38(057)7519519, e-mail: psp-nauka@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0003-2886-9456.

Аннотация. Цель. В 50-тые годы XX столетия на крыше здания Госпром в г. Харькове была установлена металлическая башня для трансляции телевизионных и радио передач. Общая высота башни со зданием составила более 100м. Предыдущее обследование технического состояния производилось в 2002 году. С целью оценки технического состояния и возможности дальнейшей безопасной эксплуатации башни было проведено детальное обследование металлических и железобетонных конструкций, проведен проверочный расчет с учетом действующих на настоящий момент нагрузок и фактического технического состояния башни. **Методика.** Для выполнения поставленной задачи были разработан план проведения работ по диагностике технического состояния конструкций металлической башни, включающий в себя следующие работы: визуальное и инструментальное обследование металлических конструкций, определение всех действующих на момент обследования нагрузок на башню, проверочный расчет с учетом коррозионного износа элементов башни, определение фактических напряжений в элементах башни. **Результаты.** На основании визуального и инструментального обследований, проверочных расчетов сделан вывод, что металлические конструкции башни, в основном, находятся в удовлетворительном техническом состоянии и пригодны для дальнейшей эксплуатации. Получены данные о дефектах и повреждениях в элементах металлической башне, в бетоне омоноличивания металлических рам, определены усилия в элементах башни с учетом современных требований по расчету и коррозионным износом элементов. **Научная новизна.** Получены данные о коррозионном износе металлоконструкций башни после 60 лет эксплуатации, о состоянии фланцевых и сварных соединений элементов башни при постоянном воздействии ветровой нагрузки. Для самых напряженных элементов башни (поясов нижней секции призматического участка) была просчитана возможность усталостного разрушения металла. **Практическая значимость.** В результате обследования металлических конструкций башни получены данные о фактическом техническом состоянии башни после 60-ти лет эксплуатации, оценена надежность и долговечность башни, даны рекомендации по ремонту и дальнейшей безопасной эксплуатации.

Ключевые слова: башня; металлические конструкции; надежность; эксплуатационная пригодность; коррозия

ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ПРИДАТНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ МЕТАЛЕВОЇ БАШТИ НА ДАХУ БУДІВЛІ ДЕРЖПРОМ В МІСТІ ХАРКІВ ПІСЛЯ ТРИВАЛОГО ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

ФУРСОВ В.В.^{1*}, *д.т.н., проф.*,
ЯРОВИЙ С.М.², *к.т.н., проф.*

^{1*} Кафедра металевих та дерев'яних конструкцій, Харківський національний університет будівництва і архітектури, вул. Сумська 40, 61102, Харків, Україна, тел. +38(057)7061763, e-mail: vadfursov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0086-0156.

² Проектний та науково-дослідний інститут «Харківський Промбудндіпроект», вул. Маломясницька 2, 61145, г. Харків, Україна, тел. +38(057)7519519, e-mail: psp-nauka@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0003-2886-9456.

Анотація. Мета. В 50-ті роки XX сторіччя на даху будівлі Держпрому в м. Харкові була встановлена металева башта для трансляції телевізійних та радіо передач. Загальна висота башти з будівлею складає більше 100м. Попереднє обстеження технічного стану проводилось в 2002 році. З метою оцінки технічного стану та можливості подальшої експлуатації башти було проведено детальне обстеження металевих та залізобетонних конструкцій, проведений перевірочний розрахунок з урахуванням діючих на теперішній час навантажень та фактичного технічного стану башти. **Методика.** Для виконання поставленої задачі був розроблений план проведення робіт по діагностуванню технічного стану, включаючи до себе наступні роботи: візуальне та інструментальне обстеження металевих конструкцій, визначення усіх діючих на час обстеження навантажень, перевірочний розрахунок з урахуванням корозійного зменшення перерізу елементів башти,

визначення фактичних напружень в елементах башти. **Результати.** На основі візуального та інструментального обстеження, проведення перевірочних розрахунків зроблено вивід, що металеві конструкції башти, в загальному, знаходяться в задовільному стані та придатні для подальшої експлуатації. Отримані дані про дефекти та пошкодження в елементах металеві башти, в бетоні омолочених металевих рам, визначені зусилля в елементах башти з урахуванням сучасних вимог по розрахунку та корозійному зносу елементів. **Наукова новизна.** Отримані дані про корозійні пошкодження металокопункцій башти після 60 років експлуатації, про стан фланцевих та зварних з'єднань елементів башти під час постійної дії вітрових навантажень. Для самих напружених елементів башти (поясів нижньої секції призматичної ділянки) була врахована можливість втомного руйнування металу. **Практична значимість.** В результаті обстеження технічного стану металевих конструкцій башти отримані дані про надійність та довго вічність башти, надані рекомендації по ремонту та подальшій безпечній експлуатації.

Ключові слова: башта; металеві конструкції; надійність; експлуатаційна придатність; корозія

OPERATIONAL SUITABILITY AND RELIABLE METAL TOWERS ON THE ROOF DERZPROM IN KHARKOV AFTER LONG TERM USE

Fursov V.V.^{1*}, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,
Yarovoij S.N.² Cand. Sc. (Tech.), Prof.

^{1*} Department of metal and wooden structures, Kharkiv National University of Construction and Architecture, st. Sumskey 40, 61102, Kharkiv, Ukraine, tel. +38 (057) 7061763, e-mail: vadfursov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0086-0156.

² Design and Research Institute "Kharkovsky Promstroiniiproekt" st. Malomyasnitskaya 2, 61145, Kharkov, Ukraine, +38 (057) 7519519, e-mail: psp-nauka@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0003-2886-9456.

Abstract. Purpose. In the 50 years of the twentieth century Tide rooftop Derzhprom in Kharkiv was established metal tower for broadcasting TV and radio programs. The total height of the tower to the building was more than 100m. Previous examination of the technical condition performed in 2002. In order to evaluate the technical condition and the possibility of further safe operation of the tower was carried out a detailed examination of metallic and reinforced concrete structures, held a screening calculation taking into account existing at the moment of the actual loads and technical state of the tower. **Methodology.** To accomplish this was a plan of work for the diagnosis of technical state of constructions metal tower, which includes the following work: visual and instrumental inspection of metal structures, identification of all existing at the time of the survey loads on the tower, checking calculation taking into account the corrosive wear of the elements of the tower, the definition the actual stress in the elements of the tower. **Findings.** Based on the visual and instrumental examinations, checking calculations concluded that metal tower structure, basically, are in satisfactory condition and suitable for further use. The obtained data about defects and damage in the elements of metal towers in concrete around metal frames determined efforts in the cell tower with the current requirements by calculation and corrosive wear items. **Originality.** The data on metal corrosion damage to the tower after 60 years of operation, state and flanged welds elements of the tower during the constant action of wind loads. For the most intense elements of towers (lower sections prismatic zone area) was taken into account the possibility of metal fatigue. **Practical value.** The survey of technical condition of metal structures tower of the data reliability and long eternity towers, recommendations on repair and further safe operation.

Keywords: tower; metal construction; operational suitability; durability

Здание Госпром является одним из символов города Харькова, первым высотным монолитным железобетонным зданием Советского Союза, ярким примером стиля конструктивизм в архитектуре. В 50-тые годы XX столетия на крыше здание была установлена металлическая башня для трансляции телевизионных и радио передач. Общая высота башни со зданием составила более 100м. Со временем металлическая башня стала неотъемлемой частью архитектурного облика здания Госпром.

Металлическая башня высотой Н=32.5м, расположенная на крыше здания Госпрома, г. Харькова, возведена в 1955 году. Башня построена по проекту, разработанному Харьковской бригадой института «Проектстальконструкция». Проект опорных железобетонных конструкций под телевизионную башню разработан Харьковским институтом «Промстройпроект».

Башня установлена на крыше здания Госпром на металлическую опорную раму, расположенную на

отм. 58.00м. Металлическая рама опирается на четыре железобетонные опоры и анкерными болтами связана с монолитным железобетонным каркасом здания.

Металлическая башня представляет собой четырехгранную решетчатую усеченную пирамиду с отм.58.00м и до отм. 65.50м, с размерами в основании 5.80x5.80м, и с отм.65.50м и до отм.90.50м - четырехгранную призму, с размерами между поясами 1.75x1.75м.

Башня смонтирована из 11 пространственных секций – 1-ой четырехгранной усеченной пирамиды и 10-ти четырехгранных призм. Между собой секции сопряжены при помощи фланцевых соединений. В каждом фланцевом соединении установлено 8-мь болтов М 30. В опорном узле каждый пояс башни через фланцевое соединение закреплен с металлической рамой 12-тью болтами МØ 16.



Фото 1. Общий вид башни на крыше здания Госпром
/ General view of the towers on the roof of Derzhprom

По проекту пояса пирамидальной части башни изготовлены из металлической трубы $\varnothing 219 \times 12$ мм, решетка из уголков – 100×10 . Пояса призматической части изготовлены из трубы $\varnothing 168 \times 8$ мм, решетка – из круглой арматуры $\varnothing 28$ мм, распорки – из трубы $\varnothing 76 \times 6$ мм.

Металлическая башня опирается на две металлические балки, из парных двутавров №45а. Расстояние между осями балок – 5800 мм, длина балок - 13750 мм. Между собой балки раскреплены 6-тью распорками из двутавров №35а (расстоянии между распорками 2525 мм и 2900 мм) и развязаны решеткой из уголков 100×10 мм и представляют жесткую раму. Между опорами башни металлические балки обетонированы.

Опорами под металлическую раму служат железобетонные стойки, связанные с железобетонными колоннами каркаса здания, расстояние между опорами – 10850×5800 мм. Из железобетонных стоек выпущены спаренные металлические швеллера №12, которые сопряжены с металлической рамой. В местах крепления металлической опорной рамы на железобетонные стойки передаются вертикальная нагрузка, отрыв и горизонтальная нагрузка. Для восприятия отрывающих усилий на каждой стойке и служат анкера из двух швеллеров №12.



Фото 2. Металлическая телевизионная башня высотой $H=32.5$ м/

Steel television tower height $H = 32.5$ m

Башня снабжена лестницами для подъема на обслуживающие площадки на отм.88.00 м и 90.50 м. Рабочие площадки представляют собой укрупненные конструкции, опирающиеся на распорки башни и кронштейны, приваренные к поясам.

В настоящее время металлическая башня называется радиомачтой (хотя с технической точки зрения это башня).

За время эксплуатации металлическая башня претерпела следующие изменения: с центрального ствола телеантенны демонтированы ряд элементов, которые были необходимы для осуществления телевещания, с отм. 90.50 м и до отм. 102.50 м смонтированы пять дополнительных антенн из труб $\varnothing 76$ мм, на отм. 88.00 м смонтирована обслуживающая площадка, на которой установлено шесть параболических антенн $\varnothing 1.50$ м, по всей высоте призматической части башни добавлены антенны небольшого размера.

С целью оценки технического состояния радиомачты было проведено детальное обследование металлических и железобетонных конструкций, проведен проверочный расчет с учетом действующих на настоящий момент нагрузок и фактического состояния башни.



Фото 3. Состояние металлоконструкций башни на отм. 85.50 м /

State of steel structures tower on the elevation. 85.50 m

В результате визуального обследования металлоконструкций башни было установлено следующее: общая и местная потеря устойчивости поясов, решетки и распорок башни отсутствует, качество сварных швов приварки фасонки к поясам башни удовлетворительное, катеты сварных швов соответствуют проектным, в сварных швах отсутствуют усталостные трещины, все гайки болтовых соединений затянуты, на всех болтах установлены контргайки.

На многих участках металлоконструкций башни выявлено разрушение защитного лакокрасочного. Коррозионный износ поясов пирамидальной части башни не превышает 3%, поясов призматической части – до 5%, решетки и распорок башни – до 3%, элементов рамы – до 3%, сквозная коррозия рифленого листа настила площадок на металлической раме и на отм. 88.00м.

При обследовании обетонированной металлической рамы, на которой установлена башня, было выявлено разрушение защитного лакокрасочного покрытия на многих участках поверхности балок и локальный коррозионный износ до 3%, отверстие в стенке двутавра балки диаметром 70мм механического характера.

Для определения фактического расчетного сопротивления металла, из которого были изготовлены пояса башни, были отобраны образцы и проведено механическое испытание металла. Расчетное сопротивление стали по результатам испытания составило $R_y=215\text{МПа}$.

На многих участках обетонировки главных металлических балок рамы произошло разрушение бетона на глубину до 100мм, оголение и коррозия хомутов от 50% до 100%.



Фото 4. Фланцевое соединение элементов башни на отм. 75.00м /

Flange connection of the elements of the tower at elevation. 75.00m



Фото 5. Разрушение обетонировки металлических балок рамы на глубину до 100мм, оголение и коррозия хомутов до 100% /

The destruction of the concrete around the steel beams of the frame to a depth of 100mm, denudation and corrosion collars up to 100%

По результатам детального обследования металлических и определения фактического состояния башни, с учетом действующих на настоящий момент нагрузок на башню был проведен проверочный расчет с помощью проектно-вычислительного комплекса SCAD 11.3.

Металлическая башня опирается на две металлические балки, из парных двутавров №45а. Расстояние между осями балок – 5800мм, длина балок - 13750мм.

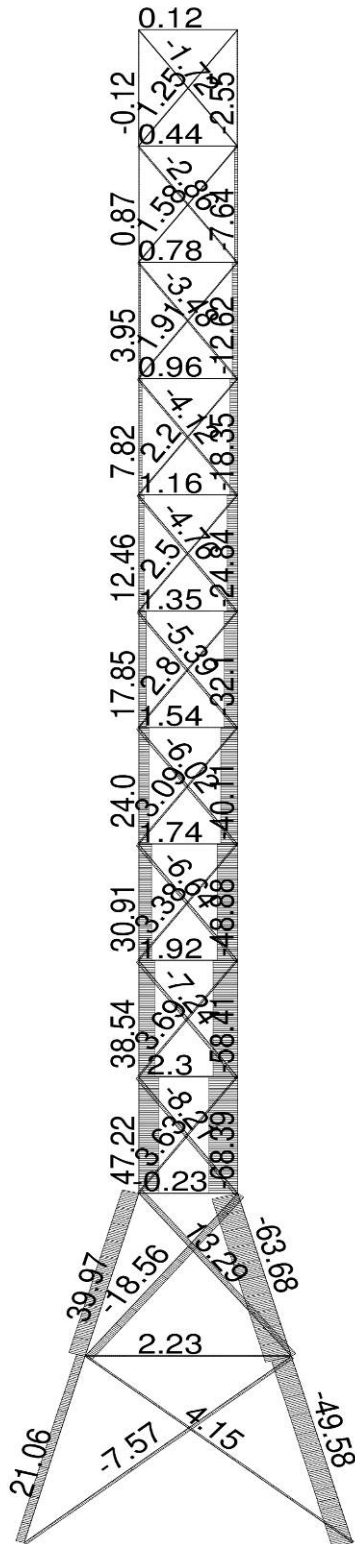


Рис. 6. Эпюра продольных сил N от комбинации нагрузений /

The diagram of the longitudinal forces N from the combination of the loadings.

Между собой балки раскреплены 6-тью распорками из двутавров №35а (расстояние между распорками 2525мм и 2900мм) и развязаны решеткой

из уголков 100х10мм и представляют жесткую раму. Между опорами башни металлические балки обетонированы.

Опорами под металлическую раму служат железобетонные стойки, связанные с железобетонными колоннами каркаса здания, расстояние между опорами – 10850х5800мм. Из железобетонных стоек выпущены спаренные металлические швеллера №12, которые сопряжены с металлической рамой. В местах крепления металлической опорной рамы на железобетонные стойки передаются вертикальная нагрузка, отрыв и горизонтальная нагрузка. Для восприятия отрывающих усилий на каждой стойке и служат анкера из двух швеллеров №12.

В нижних поясах башни напряжения практически равны расчетному напряжению металла и была просчитана возможность усталостного разрушения металла. На башню постоянно действуют переменные многократно повторяющиеся ветровые нагрузки, способные привести к усталостному разрушению конструкции. Вибрационная прочность металла (способность металла сопротивляться усталостному разрушению) зависит от числа циклов нагружения n , вида нагружения, который характеризуется коэффициентами асимметрии $\rho = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$ (где σ_{\min} и σ_{\max} – наибольшее и наименьшее по абсолютному значению напряжения). За 60 лет эксплуатации башни число циклов нагружения (когда в элементах башни возникали наибольшее и наименьшее по абсолютному значению напряжения) составило около 1 млн. циклов. Характеристика циклов нагружения носит однозначный характер с коэффициентом асимметрии $\rho = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} = 0.5$. При данном количестве нагружений и коэффициенте асимметрии предел усталости равен пределу текучести (т.е. практически расчетному сопротивлению). То есть, на данный момент вибрационная прочность $\sigma_{вб}$ обеспечена, но в дальнейшей эксплуатации необходимо учитывать возможное снижение усталостной прочности.

На основании визуального и инструментального обследований, проверочных расчетов металлоконструкций башни можно сделать вывод, что она находится в удовлетворительном техническом состоянии. Монолитное железобетонное омоноличивание металлических балок рамы имеет значительные дефекты и повреждения, находится в непригодном к нормальной эксплуатации состоянии. Выявленные при обследовании дефекты и повреждения строительных конструкций башни на крыше Госпрома, г. Харьков необходимо устранить при проведении ремонтных работ. Основными работами по ремонту являются - демонтаж бетона обетонировки главных металлических балок рамы, очистка главных балок рамы от продуктов коррозии, приварка хомутов из арматуры класса А400С диаметром 10мм к полкам балок и обетонировка балок бетоном класса В20 на мелком заполнителе, а

также очистка всех элементов радиомачты от продуктов коррозии и разрушенного лакокрасочного покрытия и покраска всей башни, восстановления защитного лакокрасочного покрытия по всей высоте башни.

По результатам технического состояния металлической башни высотой $H=32,5\text{м}$,

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ /REFERENCES

1. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования / ДБН В.1.2-2:2006. – Киев, 2006. - с. 59.

Load and impact. Designing the rules / DBN V.1.2-2: 2006. - Kiev, 2006. - p. 59.

2. Стальные конструкции. Нормы проектирования, изготовления и монтажа / ДБН В.2.6-163:2010. – Киев, 2010. – с.202.

Steel construction. Norms Designing, Production and installation / DBN V.2.6-163: 2010. - Kiev, 2010. - s.202.

3. Защита строительных конструкций от коррозии. Правила производства работ / СНиП 3.04.03-85. – М, 1985. с.143.

Protection units of building structures from corrosion. Rules of production works / SNiP 3.04.03-85. - M, 1985. p.143.

4. Металлические конструкции / Г.С. Ведеников и коллектив авторов. - М.: Стройиздат, 1998. – 321с.

Vedenikov G.S. and collective authors. Metal constructions. Moscow, Stroiiizdat., 1998. 321p.

5. Металлические конструкции. Современное состояние и перспективы развития / Мельников Н.П. - М. : Стройиздат. 1983. -441с.

Melnikov N.P. Metal constructions. Status Modern and prospects of development. Moscow. Stroiiizdat., 1983. 441p.

6. Металлические конструкции. Специальный курс /Е.И. Беленя, Н.Н. Стрелецкий, Г.С. Ведеников, Л.В. Клепиков, Т.Н.Морачевский. - М. : Стройиздат., 1982. – 758с.

Belenia E.I., Streletsky N.N., Vedenikov G.S., Klepikov L.V.,Morachevskyy T.N. Metal constructions. Special rate. Moscow, Stroiiizdat., 1982. 758p.

7. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В.Н. Гордеев, А.И. Лантух-Лященко, В.А. Пашинский, А.В. Перельмутер, С.Ф. Пичугин. М.: Ассоциации строительных вузов. 2006. – 478с

Gordeev V.N., Lantukh-Lyaschenko A.I., Pashynskyy V.A., Perelmutter A.V., Pychuhyn S.F. The load of the building and Impact on constructions. Moscow, Publishing Association of building universities, 2006. 478p.

8. Строительная сталь / В.Н.Скорородов, П.Д.Одесский, А.В.Рудченко. М,: Metallurgizdat, 2002. – 270с.

Skorohodov V.N., Odesskyy P.D., Rudchenko A.V. Cladding steel . Moscow, Metallurhyzdatю, 2002. - 270s.

9. Яровой С.Н. Надежность и жизнеспособность металлических дымовых труб компрессорных

расположенная на крыше здания Госпрома, г. Харькова, поверочного расчета с учетом коррозионного состояния и изменившихся нагрузок, можно констатировать надежность конструкций башни и пригодность ее для дальнейшей эксплуатации.

станций магистрального газопровода «Кременчуг-Ананьев-Черновцы-Богородчаны» после длительного срока эксплуатации / С.Н. Яровой, А.И. Горовый // Расчет и проектирование металлических конструкций. Сб. научн. тр. - М.: МГСУ. 2013. – с.251-256.

Yarovoy S.N., Gorovij O.I. Long time and reliability of metal smoke pipes compressor stations trunk pipeline "Ananiev-Kremenchug-Chernovtsy-Bohorodchany" after long term of operation. Calculation and Designing metal structures. Collection of scientific papers. M, MSCU. 2013. <http://->

10. Яровой С.Н. Промышленная безопасность металлических дымовых труб компрессорных станций магистрального газопровода после длительного периода эксплуатации / С.Н. Яровой, А.И. Горовый, Е.Ю. Дорофеев // Строительство, материаловедение, машиностроение. Сб. научн. тр. №69 – Днепропетровск, ПГАСА, 2013. – с.619-633.

Yarovoy S.N., Gorovij O.I., Dorofeev E.J. Industrial safety metal chimneys compressor stations of main gas pipeline after long periods of operation. Building,, materials science, mechanical engineering. Collection of scientific papers. Issue№69 - Dnepropetrovsk, PGASA, 2013. – pp..619-633

http://-pgasa.dp.ua/a/international_conference/inovacii/archive/vipusk_69_2013.pdf.

11. Begley, J. High Metal TV Tower / J. Begley, J.Landes . - California : Scientific paper 7 I-LE 7-FHPWR-P3. 1976. p.320.

Begley J., Landes J. High Metal TV Tower California : Scientific paper 7 I-LE 7-FHPWR-P3. 1976. p.320.

12. Wagner H. China Steel Tower Supplier / H. Wagner. USA: New Factor Publication, 2010. – p. 171.

Wagner H. China Steel Tower Supplier. USA: New Factor Publication, 2010. – p. 171.

13. Zuransky J.A. Obcizenia wiatrem budowa i konstrukcji / J.A. Zuransky/ - Warszawa, 1978. -240 p.

Zuransky J. A. Obcizenia wind budowa and structural members. Warsaw, 1978. 240p.

Статья поступила в редколлегию: 10.07.2015 г.