

УДК 624.012

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЫМОВЫХ ТРУБ ТРУБОПРОКАТНОГО ЦЕХА №1 АОА «ТАГАНРОГСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД».

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 Кафедра металлических и деревянных конструкций, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, ул. Сумская 40, 61102, Харьков, Украина, тел. +38(057)7061763, e-mail: psp-nauka@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0003-2886-9456.

Аннотация. Цель. В настоящее время актуальной задачей является определение промышленной безопасности и пригодности для дальнейшей эксплуатации металлических дымовых и вентиляционных труб после длительного срока эксплуатации. Большинство металлических дымовых и вентиляционных труб возведены в 60-80-ые годы прошлого века и эксплуатируются на протяжении 35-50 лет в условиях сильноагрессивной среды. С целью оценки промышленной безопасности и пригодности для дальнейшей эксплуатации было проведено детальное обследование металлических конструкций и фундаментов пяти дымовых труб трубопрокатного цеха, проведен проверочный расчет с учетом действующих на настоящий момент нагрузок и фактического технического состояния труб. **Методика.** Была разработана методика проведения работ по диагностике технического состояния конструкций металлических дымовых труб, включающая в себя работы по визуальному и инструментальному обследованию металлических конструкций труб, определения реального раскрепления труб и всех действующих на момент обследования нагрузок, проверочный расчет труб с учетом коррозионного износа элементов, определение фактических напряжений в элементах труб. **Результаты.** На основании визуального и инструментального обследований металлических дымовых труб, проверочных расчетов дана оценка промышленной безопасности и разработаны рекомендации по ремонту и дальнейшей эксплуатации. Выявлены существенные повреждения в раскреплении труб и их техническое состояние было признано ограниченно работоспособным. При проектном расположении распорок прочность и устойчивость трубы обеспечена, а при отсутствии раскрепления в двух уровнях момент возрастает в 5 раз, гибкость в два раза, устойчивость металлической трубы не обеспечена, что грозит её обрушением. После выполнения работ по ремонту, техническое состояние дымовых труб признано удовлетворительным и они стали пригодны для дальнейшей эксплуатации. **Научная новизна.** Получены данные о коррозионном износе металлоконструкций труб после 50 лет эксплуатации, о состоянии раскрепления труб и влиянии реального раскрепления на устойчивость и несущую способность труб. **Практическая значимость.** Результаты экспертизы промышленной безопасности металлических дымовых труб позволили оценить их техническое состояние, их надежность и долговечность, и продлить срок дальнейшей безопасной эксплуатации после проведения ремонтных работ.

Ключевые слова: металлические дымовые трубы; металлические конструкции; надежность; эксплуатационная пригодность; коррозия.

ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА МЕТАЛЕВИХ ДИМОВИХ ТРУБ ТУБОПРОКАТНОГО ЦЕХУ №1 ВАТ «ТАГАНРОГСЬКИЙ МЕТАЛЛУРГІЙНИЙ ЗАВОД»

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 Кафедра металевих та дерев'яних конструкцій, Харківський національний університет будівництва і архітектури, вул. Сумська 40, 61102, Харків, Україна, тел. +38(057)7061763, e-mail: psp-nauka@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0003-2886-9456.

Анотація. Мета. На даний час актуальною задачею є визначення безпечної та придатності до подальшої експлуатації металевих димових та вентиляційних труб після тривалого терміну експлуатування. Більшість металевих та вентиляційних труб побудовані в 60-80ті роки минулого сторіччя та експлуатуються на протязі 35-50 років в умовах сильно агресивного середовища. З метою оцінки промислової безпеки та придатності до подальшого експлуатування було проведено детальне обстеження металевих конструкцій та фундаментів п'яти димових труб трубопрокатного цеху, зроблений перевірочний розрахунок з урахуванням діючих на теперішній момент навантажень та фактичного технічного стану труб. **Методика.** Була розроблена методика проведення робіт по діагностуванню технічного стану металевих димових труб, зосереджуючи в

собі роботи по візуальному та інструментальному обстеженні металевих конструкцій труб, визначення фактичного розкріплення труб і всіх діючих на час обстеження навантажень, перевірочних розрахунків труб з урахуванням корозійного зносу, визначення фактичного напруження в елементах труб **Результати.** На основі візуального та інструментального обстеження металевих димових труб, перевірочних розрахунків дана оцінка промисловій безпеці та розроблені рекомендації з ремонту та подальшої експлуатації. Виявлені суттєві пошкодження в розкріплені труб та їх технічний стан було визнано непридатним до подальшої експлуатації. Виявленні значні пошкодження у розкріплені і їх технічний стан визначено обмежено працездатним. При проектному розташуванні розпірок пружність та стійкість труби забезпечена, а при відсутності розкріплення у двох рівнях момент зростає в 5 разів, гнучкість в 2 рази, стійкість металевих труб не забезпечена, що погрожує обваленням. Після виконання робіт по ремонту, технічний стан димових труб визнано задовільним і вони стали придатні для подальшої експлуатації. **Наукова новизна.** Отримані дані про корозійні пошкодження металевих труб після 50 років експлуатації, стан розкріплення труб та вплив фактичного розкріплення на стійкість та несучу здатність труб. **Практична значимість.** Результати експертизи промислової безпеки металевих димових труб дозволили оцінити їх технічний стан, їх надійність та довговічність, продовжити строк безпечного експлуатування після проведення ремонтних робіт.

Ключові слова: металеві димові труби; металеві конструкції; надійність; експлуатаційна придатність; корозія

SAFETY METAL CHIMNEY PIPE SECTIONAL FURNACES ROLLING SHOP №1 OF JSC “TAGANROG METALLURGICAL PLANT

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

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

² Department of metal and wooden structures, Kharkiv National University of Construction and Architecture, st. Sumskay 40, 61102, Kharkiv, Ukraine, tel. +38 (057) 7061763, e-mail: psp-nauka@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0003-2886-9456.

Abstract. Purpose. At present, an urgent task is to determine the safety and suitability for further use of metal flue and vent pipes after long term use. Most metal flue and vent pipes were built in 60-80-ies famous last century and exploited for 35-50 years under strong aggression environment. To assess the safety and suitability for further operation was carried out a detailed examination of metal structures and foundations of the five chimneys rolling shop, held a screening calculation with regard to the existing at the moment loads and the actual technical condition of the pipe. **Methodology.** It was developed a method of work on the diagnosis of the technical state of structural metal chimneys, which includes work on the visual and instrumental inspection of metal structures pipes, determining the real breakout tubes and all existing at the time of the survey loads, checking calculation of pipes taking into account corrosion deterioration of the elements, determining the actual stresses in pipe elements. **Findings.** Based on visual inspections and instrumental metal chimneys, checking calculations given industrial safety evaluation and recommendations for repair and further operation. Revealed substantial damage to the breakout of pipes and their technical condition was found partially operational. If the project location spacers strength and stability of the pipe is provided, and in the absence of breakout on two levels the time increases 5 times, flexibility in half a metal pipe stability is not ensured, which threatens to collapse it. After completing work on the repair, the technical condition of flue pipes found to be satisfactory and they are suitable for further use. **Originality.** The data on the corrosion wear of metal structures pipes after 50 years of operation, the status of pipes and breakout breakout real impact on the stability and the bearing capacity of the pipe. **Practical value.** Результате експертизи промислової безпеки металевих димових труб дозволили оцінити їх технічне состояние, їх надійність і довговічність, і продлить строк дальньої безпечної експлуатації после проведення ремонтних работ.

Keywords: metal chimneys; metal constructions; reliability; operational suitability; corrosion.

В настоящее время актуальной задачей является определения промышленной безопасности металлических дымовых труб после длительных сроков эксплуатации. Металлические дымовые трубы, возведенные во времена бурного развития промышленности (60-тые – 80-тые годы XX столетия), эксплуатируются до настоящего времени в условиях сильного агрессивного воздействия. Оценка их промышленной безопасности и технического состояния, своевременный ремонт по результатам диагностики, позволяют увеличивать сроки безопасной и надежной эксплуатации металлических дымовых и вентиляционных труб.

Три металлических дымовые трубы (№1, №2, №3) для секционной печи №4 и две металлических

дымовые трубы (№1, №2) для секционной печи №5 трубопрокатного цеха №1 введены в эксплуатацию при расширении производства в 1964 году (рис. 1). Отметка оголовка труб – 25,00м. На отм. +6.765 металлические дымовые трубы (4 шт.) опираются на металлические четырехгранные сквозные опоры и одна труба на железобетонную плиту – перекрытие мастерской. На этой отметке труба изогнута на 90° и переходит в горизонтальный газоход (боров).

Трубы построены по проекту института «Украинский Государственный институт по проектированию металлургических заводов». Трубы непрерывно эксплуатируются более 50 лет.

Высота труб с отм. +6.765 – 18,235м, диаметр выходного отверстия – 1.0м. Толщина стенки ствола

труб – 5мм. Стволы всех дымовых труб с отм. +6.765 до отм. +10.765 и с отм. +11.40 до отм.+25.00 – цилиндрического очертания с внутренним диаметром труб 1170мм и 1000мм соответственно.



Рис 1. Общий вид металлических дымовых труб секционных печей трубопрокатного цеха № 1/

General view of the metal chimneys sectional furnaces rolling shop №1.

С отм. +10.765 до отм. +11.40 ствол дымовых труб конического очертания с переходом внутреннего диаметра от 1170мм до 1000мм. На отм. +6.765 к стволам труб подходят газоходы диаметром 1170мм от секционных печей №4 и №5. Стволы труб изготовлены из стали СтЗкп, толщина стенки трубы – 7мм. Степень агрессивного воздействия на металлоконструкции – среднеагрессивная.

Металлические дымовые трубы от отм. +6.75 до отм. +10.76 футерованы шамотным кирпичом марки ШЛ-1.0 толщиной 116мм. Высота футеровки – 4,0м. Стволы труб защищены антикоррозионной грунтовкой ГФ 021 в 2слоя. На трубах приварены ходовые скобы с отм. +6.765 до отм. +25.000. На отм. +24.100 на каждой трубе установлен диффузор диаметром 2000мм, высотой 900мм. Молниеприемники на трубах отсутствуют.

На отм. +22.000 стволы металлических труб прикреплены к покрытию при помощи одной металлической решетчатой распорки и раскреплены двумя оттяжками под углом 90° из арматуры диаметром 16мм.

Внутри цеха стволы металлических труб раскреплены при помощи распорок в двух уровнях: на отм. +10.800 – к подкрановой балке и на отм. +13.000 – к кирпичной стене по ряду А. Гибкие распорки раскрепляют трубу на этих отметках из плоскости и не воспринимают вертикальную нагрузку (рис. 2).

Вертикальная постоянная нагрузка от веса металлической трубы и части газохода передается в месте изгиба трубы на отм. +6.750 на металлическую пространственную решетчатую опору. Каждая

металлическая труба при помощи вертикальных ребер жесткости приварена к опорной плите металлической опоры.



Рис 2. Общий вид металлической дымовой трубы внутри цеха/General view of the metal chimney inside the shop.

Элементы сквозной опоры (вертикальные пояса и решетка) изготовлены из уголков 100x10мм, фасонки – из листа толщиной 10мм, размеры опоры в плане – 900x900мм (рис. 3). Металлическая опора при помощи анкерных болтов закреплена в железобетонном монолитном фундаменте. По верхнему обрезу фундамент имеет размеры – 1200x1200мм.



Рис 3. Труба опирается на пространственную металлическую опору/The pipe rests on the metal support spatial

С целью оценки технического состояния металлических дымовых труб после длительного срока эксплуатации было проведено детальное обследование металлических и железобетонных конструкций, проведен проверочный расчет в соответствии с учетом действующих на настоящий момент нагрузок и фактического состояния башни.

Для расчета принята металлическая дымовая труба, шарнирно опертая на металлическую пространственную опору на отм. +6.750 и шарнирно раскрепленная на отм. +10.800, +13.000 и +25.000. Узел опирания трубы на металлическую сквозную колонну (опору) принят шарнирным, так как небольшое расстояние между поясами колонны и толщина опорного листа дают возможность некоторого горизонтального смещения и поворота.

Визуальному обследованию подвергались металлические опоры под трубы, металлические стволы дымовых труб, металлические распорки внутри цеха, распорки и оттяжки оголовка трубы, железобетонные фундаменты.

С целью определения фактического технического состояния металлоконструкций дымовых труб были произведены подъемы внутри цеха по трубам до покрытия, выход на кровлю и подъем по стволу на верхний обрез труб. В ходе обследования определялись:

- степень коррозионного износа и состояние лакокрасочного покрытия элементов металлических опор и дымовых труб;
- состояние распорок и натяжение оттяжек дымовых труб;
- наличие механических повреждений и потери устойчивости элементов металлических опор и дымовых труб;
- состояние сварных соединений элементов металлических опор и дымовых труб.

Степень коррозионного износа определялась измерением фактической толщины элементов конструкций методом ультразвуковой толщинометрии. Использовались толщиномер А 1207 и штангенциркуль. Толщинометрия ствола трубы производилась в 6-ти уровнях: через каждые 3,0 м, начиная с отм. +7.500. В каждом уровне толщина определялась в четырех точках сечения (через 90°). В результате замеров установлено, что коррозионный износ ствола дымовой трубы не превышает 8%. Такой максимальный коррозионный износ зафиксирован на уровне изгиба трубы (перехода газохода в трубу) и в уровне оголовка. На остальных участках коррозионный износ составил 3-4%. Коррозионный износ элементов металлической опоры – около 4%. Защитное лакокрасочное покрытие разрушено на 50% наружной поверхности металлических труб и полностью разрушено на элементах металлических опор.

Для устойчивости металлических дымовых труб большое значение имеет раскрепление труб в горизонтальном направлении (из плоскости). Выход из работы распорок или оттяжек в каком-либо уровне

и одновременном воздействии ветровой нагрузки может привести к потере устойчивости трубы.

В расчетной схеме отражены три уровня по высоте трубы, где распорками и оттяжками наложены ограничения перемещения по горизонтали.

В результате обследования установлено, что на отм. +10.800 вырезаны одна из двух распорок в креплении одной трубы и две из двух в креплении 2-х труб. То есть, на отм. +10.800 три из пяти труб не раскреплены из плоскости (рис. 4).



Рис 4. Две распорки на отм. +10.800 (в уровне подкрановой балки) вырезаны /Two struts at elevation +10.800 (In the level of crane beams), cut

На отм. +13.000 вырезана одна из двух распорок в креплении двух труб из пяти. По счастливой случайности, каждая труба раскреплена двумя распорками на одном из уровней.

Все элементы распорок, удерживающих оголовки труб, находятся в удовлетворительном состоянии, натяжение оттяжек всех пяти дымовых труб ослаблено.

При обследовании на стволах дымовых труб не выявлены вмятины механического характера или потеря устойчивости участков труб. Качество сварных швов между элементами трубы удовлетворительное – непроваров и трещин в сварных швах не обнаружено.

В элементах металлических опор выявлены механические повреждения уголков раскосов и распорок, некоторые элементы решетки вырезаны (рис. 5).

Многие углы и грани железобетонных фундаментов разрушены, на некоторых участках оголена рабочая арматура.



Рис 5. Элемент решетки сквозной опоры вырезан
/The element of the lattice cut-through support

По результатам детального обследования металлических дымовых труб – определения фактического состояния элементов раскрепления труб, коррозионного износа труб и с учетом действующих на настоящий момент нагрузок – был проведен проверочный расчет с помощью проектно-вычислительного комплекса SCAD 11.3.

Было выполнено несколько вариантов расчета: с учетом шарнирного раскрепления ствола трубы в трех точках (проектное расположение распорок – рис. 7) и отсутствием раскрепления на отм. +10.800 и +13.000.

При расчёте трубы [4, 6-10] была учтена пульсационная составляющая ветровой нагрузки, зависящая от частоты и формы собственных колебаний трубы. Дымовая труба рассчитывалась по программе, основанной на методе конечных элементов, в котором представлена стержневой системой с массами, сосредоточенными в 5 узлах. Узлы сосредоточения масс равномерно распределены по высоте трубы.

В расчёте принята фактическая толщина стенки трубы $t=6,6\text{мм}$ с учетом коррозии 6% (начальная толщина стенки $t=7\text{мм}$).

Проверка устойчивости дымовой трубы проводилась как для цилиндрической оболочки.

При проектном расположении распорок прочность и устойчивость трубы обеспечена с большим запасом (максимальные напряжения составили $7,2\text{ кН/см}^2$), а при отсутствии раскрепления в двух уровнях (на отм. +10.800 и +13.000) момент возрастает в 5 раз, гибкость в два раза, устойчивость металлической трубы не обеспечена, что грозит её обрушением. В результате расчета подтверждена необходимость раскрепления ствола трубы от перемещений в горизонтальном направлении на отм. +10.800 и +13.000.

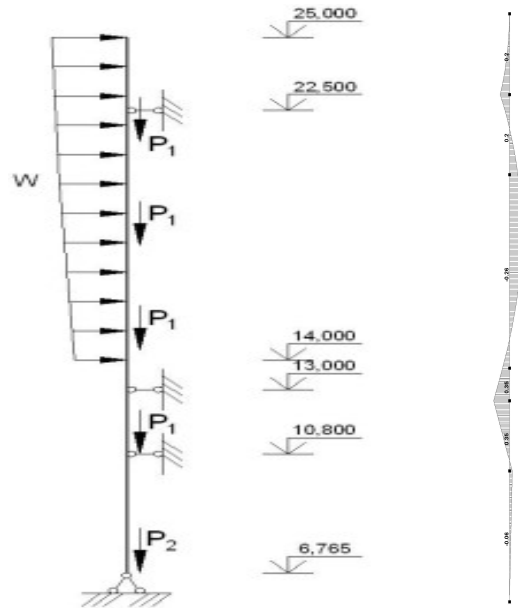


Рис 6. Расчетная схема трубы и эпюра изгибающих моментов M /Estimated pipe circuit and the bending moment diagram M

Таким образом, в результате проверочных расчетов установлено, что при наличии раскрепления в трёх уровнях несущая способность трубы (прочность и устойчивость) обеспечена.

На основании визуального и инструментального обследований, проверочных расчетов металлических дымовых труб сделан вывод, что они находятся в ограниченно работоспособном состоянии (категория технического состояния – III) из-за отсутствия распорок в одном из уровней на отм. +10.800 и +13.000.

Техническим службам ОАО «Тагмет» было дано предписание срочно восстановить вырезанные распорки на отм. +10.800 и +13.000.

Выявленные при обследовании остальные дефекты и повреждения металлических дымовых труб было необходимо устранить при проведении ремонтных работ. Основными работами по ремонту являлись – восстановление вырезанных элементов металлических опор и рихтовка изогнутых, очистка оголенной арматуры фундаментов от продуктов коррозии, восстановление защитного слоя бетона и первоначальных габаритов фундаментов, очистка всех элементов металлических дымовых труб от продуктов коррозии, восстановление защитного лакокрасочного покрытия по всей высоте труб и опор.

После выполнения ремонтных работ пять металлических дымовых труб для секционной печи №4 и №5 трубопрокатного цеха №1 стали пригодны для дальнейшей нормальной эксплуатации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия / Справочник проектировщика. Под ред. Б.Г.Коренева, И.М.Рабиновича. – М. Стройиздат, 1981. 354с.
2. Защита строительных конструкций от коррозии. Свод правил / СП 28.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85. М.: Минрегионразв., РФ, 2012.-123с.
3. Металлические конструкции / Г.С. Ведеников и коллектив авторов. - М.: Стройиздат, 1998.-758с.
4. Металлические конструкции. Справочник проектировщика / Под общ. ред. В.В.Кузнецова. ЦНИИпроектстальконструкция им. Мельникова. М.:Стройиздат, 1989. -654с.
5. Нагрузки и воздействия. Свод правил / СП 20.13330.2011. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. М.: Минрегионразв., РФ, 2011.-81с.
6. 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.
7. Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра // М. Стройиздат, 1978. 237с.
8. Стальные конструкции. Свод правил СП 16.13330.2011. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*.-М.: Минрегионразв., РФ, 2011.-172с.
9. Яровой С.Н. Надежность и жизнеспособность металлических дымовых труб компрессорных 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.
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. научных трудов. №69-Днепропетровск, ПГАСА, 2013. – с.619-623.
11. EN 1991-1-4. Eurocode 1: Action on structures – Part 1-4. General actions . Wind action. / Brussels: CEN, 2002. –p.151.
12. ISO 4354: 1997. Wind action on structures / Swizerland, 1997. –p.143.
13. Zuransky J.A. Obcizenia wiatrem budowa i konstrukcji / J.A.Zuransky/ -Warszawa, 1978. -240p.

REFERENCES

1. *Dinamicheskij raschet sooryzenij na specialnie vozdejstvij* [Dynamic calculation of structures for special effects]. *Spravocnik proektirovchika* [Designer's Handbook]. Ed. B.G.Koreneva, I.M.Rabinovicha. Moscow, Stroyizdat, 1981, 354p.
2. *Zachina stroitelnih konstrukcij ot korrozij* [Protection of building constructions against corrosion]. *Svod pravil* [Rulebook] . SP 28.13330.2012. The updated edition of SNiP 2.03.11-85. Moscow, Minregionrazv, 2012, 123p.(in Russian).
3. *Metallicheskie konstyrukcij*. [Metal construction]. G.S. Vedenikov and staff authors. Moscow, Stroyizdat, 1998. 758p.
4. *Metallicheskie konstyrukcij. Spravocnik proektirovchika* [Metal construction. Designer's Handbook]. Edited by V.V.Kuznetsov. TsNIIProektstalkonstruksiya them. Melnikova. Moscow, Stroyizdat, 1989. 654p.
5. *Nagruzki i vozdejstvij* [Loads and effects]. *Svod pravil* [Rulebook]. SP 20.13330.2011. The updated edition of SNiP 2.01.07-85 *. Moscow, Minregionrazv, 2012, 81p.(in Russian).
6. Gordeev V.N., Lantukh-Lyashenko A.I., Pashinsky V.A., Perel'muter A.V., and Pichugin S.F.. M. *Nagruzki i vozdejstvij na zdaniy i sooruzenij* [Loads and effects on buildings and structures]. Moscow, Association building universities, 2006. 478p. (in Russian).
7. *Rukovodstvo po rachety zdaniy I sooryzensj na dejstvie vetra* [Guidance on the calculation of buildings and structures on the effect of wind]. Moscow, Stroyizdat, 1978, 237p.
8. *Stalnie konstrukcij* [Steel construction]. *Svod pravil* [Rulebook]. SP 16.13330.2011. The updated edition of SNiP II-23-81 *. Moscow, Minregionrazv, 2011, 172p. (in Russian).
9. Yarovoj S.N., and Gorovij A.I. *Nadeznost i ziznestojkost metallucheskijh dumovuh trub kompressornuh stancij magistralyogo gszoprovoda "Kremenchug-Ananiev-Chernovtsy-Bogorodchany" posle dlitel'nogo sroka ekspluatacii* [Reliability and viability metal chimneys compressor stations of main gas pipeline "Kremenchug-Ananiev-Chernovtsy-Bogorodchany" after a long service life]. *Raschet i proektirovanij metallucheskijh konstrukcij* [Calculation and design of steel structures]. Moscow, MSUCE, 2013, pp.251-256.
10. Yarovoj S.N., Gorovij A.I. and Dorofeev E.U. *Nadeznost I ekspluatacionnaj prigodnost Promushlennaj bezopasnost metallucheskijh dumovuh trub magistralnogo gazoprovoda posle dlitel'nogo sroka eksplyatacii* [Industrial safety metal chimneys compressor stations of main gas pipeline after a long period of operation]. *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, materials science, mechanical engineering]. PDABA, Dnipropetrovsk, 2013, no.69, pp.619-623. (in Ukrainian).
11. Eurocode 1: *Action on structures* – Part 1-4. EN 1991-1-4.General actions . Wind action. Brussels: CEN, 2002. -151p.
12. *Wind action on structures* . ISO 4354: 1997. Swizerland, 1997. -143p.
13. Zuransky J.A. *Obcizenia wiatrem budowa i konstrukcji* [Wind loads and constructions]. Warsaw, 1978, -240p.

Статья поступила 07.04.2016 г.