



ПРИМЕНЕНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ПРИЧИН ОБРУШЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ УЧЕБНОГО КОРПУСА № 4 ДОНЕЦКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА ЭКОНОМИКИ И ТОРГОВЛИ

М. Е. Самойленко ¹, С. В. Маликов ²

ООО «Донецкий ПромстройНИИпроект»

112, Донецк, ул. Университетская, ДНР, 83050.

E-mail: ¹ m-samoilenko@mail.ru, ² dir145f@mail.ru

Получена 25 апреля 2019; принята 24 мая 2019.

Аннотация. Рассмотрено применение инженерных методов расчета для обоснования причин обрушения конструкций здания учебного корпуса № 4 Донецкого национального университета экономики и торговли. Предложены простые расчетные модели для оценки напряженно-деформируемого состояния конструкций. При выполнении комплекса расчетов важна не столько точность и универсальность расчетных методов, сколько правильность выбора расчетных моделей. Установлено, что обрушения конструкций здания обусловлено сочетанием целого ряда факторов: неверные проектные решения, ошибки при ведении строительно-монтажных работ, недостатки эксплуатации, отсутствие должного мониторинга конструкций здания. Показано, что здания с аналогичными конструктивными решениями не обладают достаточной степенью надежности.

Ключевые слова: обследование, здание, конструкция, расчет, обрушение, причины аварии.

ЗАСТОСУВАННЯ ІНЖЕНЕРНИХ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИЧИН ОБВАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЛІ НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ № 4 ДОНЕЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

М. Є. Самойленко ¹, С. В. Маликов ²

ООО «Донецкий ПромбудоНДПроект»

112, Донецьк, вул. Університетська, ДНР, 83004.

E-mail: ¹ m-samoilenko@mail.ru, ² dir145f@mail.ru

Отримана 25 квітня 2019; прийнята 24 травень 2019.

Анотація. Розглянуто застосування інженерних методів розрахунків для обґрунтування причин обвалення конструкцій будинку навчального корпусу № 4 Донецького національного університету економіки й торгівлі. Запропоновані прості розрахункові моделі для оцінки напружено-деформованого стану конструкцій. При виконанні комплексу розрахунків важлива не стільки точність і універсальність розрахункових методів, скільки правильність вибору розрахункових моделей. Встановлено, що обвалення конструкцій будівлі обумовлене комбінацією цілого ряду факторів: невірні проектні рішення, помилки при веденні будівельно-монтажних робіт, недоліки експлуатації, відсутність відповідного моніторингу конструкцій будівлі. Показано, що будівлі з аналогічними конструктивними рішеннями не мають достатнього ступеня надійності.

Ключові слова: побудови, будівля, конструкція, розрахунки, обвалення, причини аварії.

COLLAPSE REASONS JUSTIFICATION FOR EDUCATIONAL BUILDING № 4 OF DONETSK NATIONAL UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TRADE USING ENGINEERING CALCULATION METHODS

Mikhail Samoylenko ¹, Stanislav Malikov ²

Donetsk PromstroyNIIproekt

112, Universitetskaya Str., Donetsk, DPR, 83050.

E-mail: ¹ m-samoylenko@mail.ru, ² dir145f@mail.ru

Received 25 April 2019; accepted 25 May 2019.

Abstract. Collapse reasons justification for educational building № 4 of Donetsk National University of Economics and Trade are considered using engineering calculation methods. Simple calculation models for estimating the stress-strain state of structures are proposed. During complex calculations, it is more important to focus on targeting the correct calculation models then on accuracy and universality of the calculation methods. It has been determined that the collapse of building structures is a result of the following factors combination: incorrect design decisions, errors in construction and installation works, shortcomings of operation, lack of proper monitoring of building structures. It is shown that buildings with similar design solutions do not have a sufficient degree of reliability.

Keywords: survey, building, construction, calculation, collapse, causes of the accident.

Постановка задачи

29 июня 2017 г. в восточном крыле здания учебного корпуса № 4 Донецкого национального университета экономики и торговли произошла строительная авария. Учебный корпус № 4 имеет в плане П-образную форму и состоит из трех блоков (центрального, западного и восточного), отделенных друг от друга деформационными швами (рис. 1).

Здание эксплуатируется с 1968 г. В результате аварии часть строительных конструкций восточного крыла (зона актового зала) были полностью разрушены. Серьезность ситуации заключается в том, что конструктивные решения восточного и западного крыльев идентичны и можно ожидать развитие аварийной ситуации в западном крыле. Кроме того, подобные решения для больших залов общественных зданий часто применялись в практике строительства в 60-е годы. Поэтому установление причин аварии и предотвращение подобной ситуации для других зданий является важной инженерной задачей [1, 3, 12].

Конструктивные особенности здания

Схема разрушений здания и фотографии разрушений приведены на рисунке 2–4. Из рисунков

видно, что до разрушения конструкция здания имела ряд несовершенств, существенно влияющих на работу здания.

1. Наличие трещин в кладке (в том числе вызванных неравномерными осадками основания и деформациями фундамента).
2. Отслоение наружного слоя кладки из силикатного кирпича (нарушение совместной работы облицовочного слоя $t = 120$ мм и внутреннего слоя $t = 380$ мм). В результате в стене работает лишь сечение толщиной 380 мм. На рис. 4 а показано низкое качество перевязки наружного и внутреннего слоев кладки.
3. Кладка стен третьего этажа выполнена непосредственно по плитам перекрытия и не имеет конструктивной связи с нижележащей кладкой.
4. Конструкции покрытия (стальные фермы) правого и левого крыла в осях Ж–Н опираются на кирпичные стены толщиной 510 мм, не имеющие раскреплений из плоскости стены с отм. 7,200 до отм. 14,300 ($L = 7,1$ м). Пояса и пилястры в стенах отсутствуют.
5. Связи по нижним поясам ферм отсутствуют, вертикальные связи по торцам ферм не установлены (фермы частично защемлены в кладке наружных стен).

Восточное крыло. Фасад Е–П. Дефекты и повреждения



Рисунок 2. Схема разрушений.



Рисунок 3. Общий вид восточного крыла.

а)



б)



Рисунок 4. Разрушенные конструкции здания.

2. Отсутствие дренажа на площадке. Замачивание основания вызвало неравномерные осадки фундаментов здания, в частности у оси 12/1 в осях К–П.
3. Наличие подрботок в зоне строительства также способствовало неравномерным осадкам здания, существенным деформациям стен как в их плоскости, так и из плоскости (крены) и развитию в них трещин. Дополнительные деформации здания обусловлены его расположением в зоне тектонических нарушений земной коры.
4. Протечки кровли привели к замачиванию утеплителя и увеличению нагрузок на конструкции покрытия.
5. Воздействие на здание в день аварии ветровой нагрузки близкой к расчетным значениям.

Расчетные модели конструкций

Любое расследование аварии подразумевает не только формальную оценку технического состояния конструкций, но и установление причин и механизмов разрушения конструкций [2, 3]. Последнее подразумевает выполнение комплекса расчетов конструкций здания. При этом важна не столько точность и универсальность расчетных методов, сколько правильность выбора расчетной модели, ее адекватность фактическому состоянию конструкций. Поэтому для расчета конструкций здания были использованы простые инженерные методы, оговоренные действующими нормативными документами [5, 6, 8, 9, 15]. Расчетные схемы элементов здания приведены на рисунке 5. Расчетные схемы стены западного блока здания выше отм. +7,200 показаны на рис. 6.

Рассмотрено несколько расчетных схем стены. Каждая из схем описывает работу стены с определенной степенью достоверности.

Расчеты показали, что для ферм, расположенных в восточном и западном крыле здания, прочность, жесткость и устойчивость всех элементов обеспечена. Сборные колонны здания также способны воспринимать весь комплекс нагрузок, фактически действующих на конструкции. Прочность ленточного фундамента и фундаментов под колонны и жесткость основания в целом (без учета влияния подработок) обеспечена.

Несущая способность кирпичных стен толщиной 510 мм достаточно для восприятия расчетных нагрузок при условии надежного закрепления конструкций стен по высоте к неподвижным опорам (перекрытиям и покрытию) и отсутствии дефектов и повреждений кладки.

Фактически (с учетом отслоения наружной части кладки) рабочее сечение стены имеет толщину 380 мм. Также нельзя говорить о полноценном закреплении стены актового зала внизу и вверху на неподвижных опорах. С учетом этого оценка несущей способности стены выше

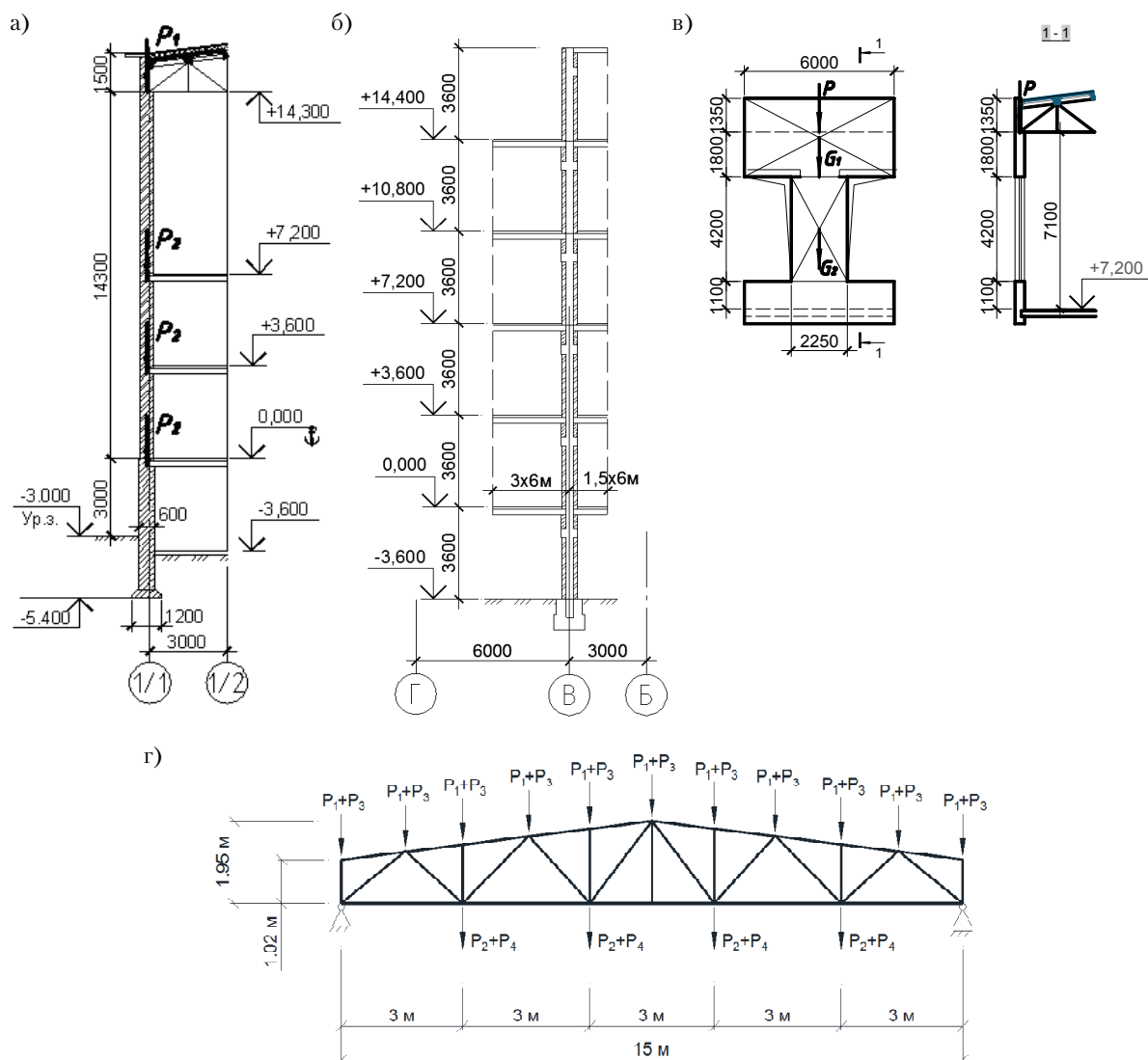


Рисунок 5. Расчетные схемы конструкций здания: а) стена; б) колонна; в) стена актового зала (выше отм. +7,200); г) ферма.

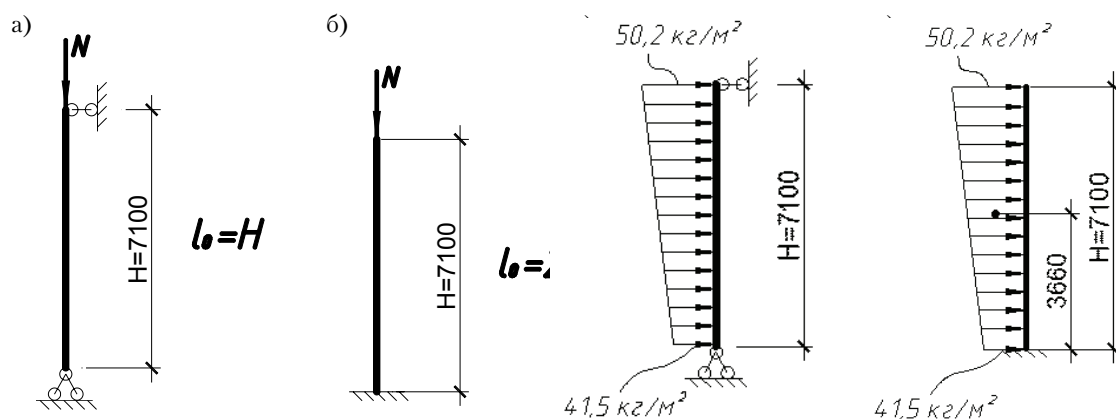


Рисунок 6. Расчетные схемы стены актового зала (стена выше отм. +7,200).

отм. +7,200 дает для исследуемых расчетных схем следующие результаты (обозначение расчетных схем принято в соответствии с рис. 6).

Схема а. Расчетная продольная сила N , действующая в элементе, больше критической силы (формула 10 [15]):

$$N = 58,3 \text{ т} > m_g \varphi m_k R A = 36,6 \text{ т}.$$

Схема б. Сила N также превышает допустимые значения:

$$N = 58,3 \text{ т} > m_g \varphi m_k R A = 16,0 \text{ т}.$$

Схема в. Расчетные напряжения в кладке превышают расчетное сопротивление кладки сжатие:

$$\sigma_{\max} = M/W + N/A = 80,2 \text{ т/м}^2 > m^k R = 67,9 \text{ т/м}^2.$$

Схема г. Расчетные напряжения также существенно превышают расчетное сопротивление кладки:

$$\sigma_{\max} = M/W + N/A = 117,8 \text{ т/м}^2 > m^k R = 67,9 \text{ т/м}^2.$$

Причины и механизм разрушения здания

Анализ результатов расчетов для каждой схемы показывает, что стена актового зала с имеющимися несовершенствами не способна воспринимать действующие на нее нагрузки (в том числе – изгибающие моменты). При наличии дефектов повреждений, которые выявлены при обследовании, конструкция стены выше отм.+7,200 неустойчива и не обеспечивает

требования нормальной эксплуатации. Основные факторы, которые снизили несущую способность стены и спровоцировали обрушение конструкции следующие:

1. Отслоение наружного слоя кладки толщиной 120 мм (нарушение совместной работы наружного и внутреннего слоя).
2. Отсутствие надежного жесткого диска покрытия, приводящего к податливости или полному отсутствию раскрепления стен сверху.
3. Неравномерные деформации основания и фундаментов, приводящие к существенным начальным деформациям и разрушениям кладки.

Следует отметить, что в процессе жизненного цикла здания природно-климатические нагрузки, действующие на конструкции, не превышали значений, установленных нормами на момент проектирования. Деформации и разрушения конструкций, выявленные в процессе обследования, обусловлены в первую очередь неверными конструктивными решениями, принятыми при проектировании, ошибками, допущенными при ведении строительно-монтажных работ, недостатками эксплуатации, отсутствием должного мониторинга конструкций здания. Конструктивные решения здания не предусматривают мероприятия, противодействующие прогрессирующему разрушению: монолитные железобетонные пояса в зоне опирания ферм покрытия отсутствуют; связи по торцам ферм не предусмотрены; полноценный жесткий диск покрытия не организован. Поэтому при разрушении (аварийном ослаблении) части стены или простенка в

зоне одной фермы невозможно перераспределение нагрузок на соседние неповрежденные зоны стены. В результате при обрушении конструкций локальной зоны покрытия эти конструкции увлекают за собой соседние участки покрытия, что приводит к разрушению всего блока здания. В нашем случае обрушение началось с потери несущей способности простенка в осях 14/2-Л, а сочетание всех рассматриваемых факторов привело к значительному объему разрушений правого крыла здания.

Таким образом, к аварии привели нарушения на всех этапах существования объекта: при проектировании, строительстве и эксплуатации. Основная причина аварии – неправильные проектные решения, которые не обеспечивают пространственную жесткость и устойчивость верхней части здания, не предусматривают надежное раскрепление стен в уровне третьего этажа и кровли и, соответственно, не обеспечивают устойчивость верхней части стен и их способность воспринимать изгибающие моменты от горизонтальных нагрузок. Не менее значимым фактором является низкое качество строительных работ. В первую очередь – неудовлетворительное качество кирпичной кладки (недостаточная перевязка наружного и внутреннего слоя, использование битого кирпича, низкая прочность раствора).

Поскольку конструктивные решения левого крыла здания идентичны решениям разрушившегося правого крыла, можно прогнозировать возможность обрушения здания в осях 1/1–3/1 – Е–П в соответствии с механизмом разрушения, изложенным выше. Соответственно требуется усиление конструкции стены западного крыла здания и зоны лекционных аудиторий центрального блока.

Опыт обрушения конструкций здания учебного корпуса № 4 свидетельствует о возможно-

сти подобных аварий в зданиях с аналогичными конструктивными решениями. С целью предотвращения аварийных ситуаций в таких зданиях целесообразно организовать мониторинг несущих конструкций. Особую настороженность должно вызывать появление деформаций стен или конструкций покрытия, трещин в стенах, просадки фундаментов, выпучивание простенков или проявление признаков расслоения кладки.

Выводы

1. При выполнении комплекса расчетов для установления причин строительной аварии важна не столько точность и универсальность расчетных методов, сколько правильность выбора расчетной модели, ее адекватность фактическому состоянию конструкций. Для понимания механизма разрушения целесообразно анализировать несколько расчетных схем конструкций. При этом достаточно использовать простые инженерные методы расчета.
2. Обрушения конструкций здания учебного корпуса № 4 обусловлено сочетанием целого ряда факторов: неверные проектные решения, ошибки, допущенные при ведении строительного-монтажных работ, недостатки эксплуатации, отсутствие должного мониторинга конструкций здания. Основная причина аварии – изначально ненадежные конструктивные решения, которые не обеспечивают требуемую прочность и жесткость стен актового зала в сочетании с неудовлетворительным качеством кирпичной кладки стен.
3. Здания с аналогичными конструктивными решениями не обладают достаточной степенью надежности. Целесообразно организовать мониторинг конструкций таких зданий.

Литература

1. Анализ причин аварий и повреждений строительных конструкций. Вып. 2 [Текст] : [сборник] / под ред. А. А. Шишкина. – М. : Стройиздат, 1964. – 117 с.
2. Определение характера разрушений верхних этажей зданий при техногенных авариях [Текст] / А. С. Беликова, С. В. Шатов, М. Ю. Улитина, В. А. Голендер // Вісник Придніпровської

References

1. Analysis of the causes of accidents and damage to building structures. Issue 2 [Text] : [collection] / ed. A. A. Shishkin. – M. : Stroizdat, 1964. – 117 p. (in Russian)
2. Determining the nature of the destruction of the upper floors of buildings during industrial accidents [Text] / A. S. Belikova, S. V. Shatov, M. Yu. Ulitina, V. A. Golender // In: *Proceeding of the Pridneprovsk*

- державної академії будівництва та архітектури. 2017. № 1(226). С. 43–48.
3. Гарькин, И. Н. Системные исследования при технической экспертизе строительных конструкций зданий и сооружений [Электронный ресурс] / И. Н. Гарькин, И. А. Гарькина // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3. – Режим доступа : <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=13139>.
4. ДБН 362–92. Оценка технического состояния стальных конструкций эксплуатируемых производственных зданий и сооружений [Текст]. – Введ. 1992-07-01. – К. : Госстрой Украины, 1992. – 47 с.
5. ДБН В.1.2-1-95 Положення про розслідування причин аварій (обвалень) будівель, споруд, їх частин та конструктивних елементів [Текст]. – Замість «Положення о порядке расследования причин аварий зданий, сооружений, их частей и конструктивных элементов» Держбуду СРСР від 1986 р. ; надано чинності 1995-07-01. – К. : Держкоммістобудування України, 1995. – 23 с.
6. ДБН В.1.2-2:2006 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Зміна № 1 [Текст]. – Замість СНиП 2.01.07–85 (за винятком розділу 10) ; надано чинності 2007-01-01. – К. : Мінбуд України, 2006. – 60 с.
7. ДБН В.1.1-5-2000. Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах (Часть 2. Здания и сооружения на просадочных грунтах) [Текст]. – Взамен СНиП 2.01.09-91, РСН 227-88, РСН 232-88, РСН 297-78, РСН 340-86, РСН 349-88 ; введ. 2000-07-01. – К. : Государственный комитет строительства, архитектуры и жилищной политики Украины, 2000. – 65 с.
8. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції [Текст]. – Замість СНиП 2.03.01-84* ; надано чинності 01.07.2011. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.
9. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування [Текст]. – Замість ДСТУ Б В.2.6-194:2013 та ДБН В.2.6-163:2010 у частині роз. 1 ; надано чинності 2015-01-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2014. – 199 с.
10. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Прогини і переміщення. Вимоги проектування [Текст]. – Замість СНиП 2.01.07-85 ; надано чинності 2007-01-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2006. – 15 с.
11. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія [Текст]. – Замість СНиП 2.01.01-82 і таблиці 2 ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 ; надано чинності 2011-11-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 124 с.
12. Еремін, К. И. Исследование повреждаемости несущих и ограждающих конструкций зданий учреждений образования [Текст] / К. И. Еремін, С. А. Матвеюшкин, Е. Н. Евсеев // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 10. С. 26–28.
- State Academy of Civil Engineering and Architecture. 2017. № 1(226). P. 43–48. (in Russian)*
3. Garkin, I. N. System studies in technical expertise of building structures of buildings and structures [Electronic resource] / I. N. Garkin, I. A. Garkina // In: *Modern problems of science and education*. 2014. № 3. – Access mode: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=13139>. (in Russian)
4. DBN 362-92. Evaluation of the technical condition of steel structures of operated industrial buildings and structures [Text]. – Enter 1992-07-01. – K. : Gosstroy of Ukraine, 1992. – 47 p. (in Russian)
5. DBN V.1.2-1-95. Regulations on investigating the causes of accidents (decompositions) of buildings, structures, their parts and structural elements [Text]. – Instead of «Regulations on the procedure for investigating the causes of accidents of buildings, structures, their parts and structural elements», the State Construction Committee of the USSR of 1986; Issued on 1995-07-01. – K. : State Committee for the Construction of Ukraine, 1995. – 23 p. (in Ukrainian)
6. DBN V.1.2-2: 2006 System of reliability and safety of building objects. Load and impact. Design standards. Change № 1 [Text]. – Instead of SNiP 2.01.07-85 (except for section 10); Issued on 2007-01-01. – K. : Minbud of Ukraine, 2006. – 60 p. (in Ukrainian)
7. DBN B.1.1-5-2000. Buildings and structures on the undermined territories and subsiding soils (Part 2. Buildings and structures on subsiding soils) [Text]. – Instead SNiP 2.01.09-91, PCH 227-88, PCH 232-88, PCH 297-78, PCH 340-86, PCH 349-88; enter 2000-07-01. – K. : State Committee for Construction, Architecture and Housing Policy of Ukraine, 2000. – 65 p. (in Russian)
8. DBN V.2.6-98: 2009. Concrete and reinforced concrete structures [Text]. – instead of SNiP 2.03.01-84* ; Released on 2011-07-01. – K. : Minregionstroy of Ukraine, 2011. – 71 p. (in Ukrainian)
9. DBN V.2.6-198: 2014. Steel structures. Design standards [Text]. – Instead of DSTU B B.2.6-194: 2013 and DBN B.2.6-163: 2010 in part 1; Enabled 2015-01-01. – K. : Minregionstroy of Ukraine, 2014. – 199 p. (in Ukrainian)
10. DSTU B V.1.2-3: 2006. Torsion and displacement. Design requirements [Text]. – Instead of SNiP 2.01.07-85; Issued on 2007-01-01. – K. : Minregionstroy of Ukraine, 2006–15 p. (in Ukrainian)
11. DSTU-N B V.1.1-27:2010 Construction Climatology [Text]. – Instead of SNiP 2.01.01-82 and Table 2 of DSTU-N B A.2.2-5: 2007; Issued on 2011-11-01. – K. : Minregionstroy of Ukraine, 2011. – 124 p. (in Ukrainian)
12. Eremin, K. I. Investigation of damageability of bearing and enclosing structures of educational institutions [Text] / K. I. Eremin, S. A. Matveyushkin, E. N. Evseev // In: *Industrial and Civil Construction*. 2010. № 10. P. 26–28. (in Russian)

13. Пособие по обследованию строительных конструкций зданий [Текст] / АО «ЦНИИПромзданий». – М. : АО «ЦНИИПромзданий», 1997. – 179 с.
14. Правила обследования, оценки технического состояния и паспортизация производственных зданий и сооружений [Текст]. – Введ. 1999-07-28 / Научно-исследовательским институтом строительного производства (НИИСП). – К. : Государственный комитет строительства, архитектуры и жилищной политики Украины, 1999. – 21 с.
15. СНиП II-22-81*. Каменные и армокаменные конструкции [Текст]. – Взамен СНиП II-B.2-71; введ. 1983-01-01. – М. : Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004. – 39 с.
13. Manual on the inspection of building structures [Text] / JSC «TsNIIPromzdaniy». – M. : JSC «TsNIIPromzdany», 1997. – 179 p. (in Russian)
14. The rules of the survey, technical assessment and certification of industrial buildings and structures [Text] – Enter since 1999-07-28 / Research Institute of Construction Production (NIISP). – K. : State Committee for Construction, Architecture and Housing Policy of Ukraine, 1999. – 21 p. (in Russian)
15. SNiP II-22-81*. Stone and armored structures [Text]. – Instead of SNiP II-B.2-71; enter 1983-01-01. – M. : Gosstroy of Russia, FSUE ZPP, 2004. – 39 p. (in Russian)

Самойленко Михаил Евгеньевич – кандидат технических наук, начальник архитектурно-строительного отдела ООО «Донецкий ПромстройНИИпроект». Научные интересы: надежность зданий и сооружений, новые конструктивные системы зданий.

Маликов Станислав Владимирович – директор ООО «Донецкий ПромстройНИИпроект». Научные интересы: строительство в сложных геотехнических условиях.

Самойленко Михайло Євгенович – кандидат технічних наук, начальник архітектурно-будівельного відділу ТОВ «Донецький ПромбудНДІпроект». Наукові інтереси: надійність будівель і споруд, нові конструктивні системи будівель.

Маліков Станіслав Володимирович – директор ТОВ «Донецький ПромбудНДІпроект». Наукові інтереси: будівництво в складних геотехнічних умовах.

Samoylenko Mikhail – Ph. D. (Eng.), Head of the Architecture and Construction Department of limited liability company «Donetsk Promstroyniiproekt». Scientifics interests: reliability of buildings and structures, new structural systems of buildings.

Malikov Stanislav – Director of limited liability company «Donetsk Promstroyniiproekt». Scientifics interests: construction in difficult geotechnical conditions.