



ОЦІНКА ВПЛИВУ ДЕФОРМАЦІЙ СТОВБУРА НА ВЕЛИЧИНУ РОЗРАХУНКОВИХ ЗУСИЛЬ У ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ПЕРЕРІЗАХ ЦЕГЛЯНОЇ ДИМОВОЇ ТРУБИ Н=100 М

В. І. Корсун, Т. М. Віноградова, Р. С. Єфіменко

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.*

E-mail: snpccvs@mail.ru

Отримана 4 березня 2011; прийнята 25 березня 2011.

Анотація. Наведені результати розрахунків зусиль у кільцевих перерізах стовбура та переміщень від вертикальної повздовжньої вісі цегляної димової труби висотою $H=100$ м від дії вітрового навантаження та ваги споруди. Виконано зіставлення розрахункових зусиль, отриманих відповідно до інженерної методики ВСН 286-72 та МСЕ засобами програмного комплексу «ЛІРА». Розрахунки виконані з урахуванням пульсаційної складової вітрового навантаження згідно з вимогами СНіП 2.01.07-84 та ДБН В.1.2-2:2006. Розглянута стержньова розрахункова модель стовбура з урахуванням деформованої та недеформованої схем. Додаткові зусилля за рахунок горизонтальних переміщень стовбура труби від дії вітру та крену фундаменту визначені методом послідовних наближень у відповідності до вимог ВСН 286-72, а також кроково-ітераційним методом вирішення геометрично нелінійних задач, що реалізовано у ПК «ЛІРА». Аналіз отриманих результатів показав, що результати розрахунків за методикою ВСН 286-72 та МСЕ при аналогічних розрахункових схемах мають збіжність у межах 2 %, а урахування горизонтальних переміщень повздовжньої вісі стовбура труби обумовлює збільшення згинальних моментів в кільцевих перерізах стовбура на 5–12 % в порівнянні з розрахунком за недеформованою схемою.

Ключові слова: цегляна димова труба, розрахункова схема, вітрове навантаження, деформації, розрахункові зусилля.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ СТОЛА НА ВЕЛИЧИНУ РАСЧЕТНЫХ УСИЛИЙ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЯХ КИРПИЧНОЙ ДЫМОВОЙ ТРУБЫ Н=100 М

В. И. Корсун, Т. Н. Виноградова, Р. С. Ефименко

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Украина, 86123.*

E-mail: snpccvs@mail.ru

Получена 4 марта 2011; принята 25 марта 2011.

Аннотация. Представлены результаты расчетов усилий в кольцевых сечениях ствола и смещений от вертикали продольной оси кирпичной дымовой трубы высотой $H=100$ м от действия ветровой нагрузки с учетом веса сооружения. Выполнено сопоставление расчетных усилий, полученных по инженерной методике ВСН-286-72 и МКЭ средствами программного комплекса «ЛИРА». Расчеты выполнены с учетом пульсационной составляющей ветровой нагрузки согласно требованиям СНиП 2.01.07-84 и ДБН В.1.2-2:2006. Рассмотрена стержневая расчетная модель ствола с учетом деформированной и недеформированной схем. Дополнительные усилия за счет горизонтальных перемещений ствола от действия ветра и крена фундамента определены методом последовательных приближений в соответствии с требованиями ВСН 286-72, а также шагово-итерационным методом решения нелинейных задач, реализованном в ПК «ЛИРА». Анализ полученных результатов свидетельствует, что расчеты по

методике ВСН 286-72 и МКЭ, при аналогичных расчетных схемах, имеют сходимость в пределах 2 %, а учет горизонтальных смещений продольной оси ствола обуславливает увеличение изгибающих моментов в кольцевых сечениях трубы на 5–12 % в сравнении с расчетом по недеформированной схеме.

Ключевые слова: кирпичная дымовая труба, расчетная схема, ветровые нагрузки, деформации, расчетные усилия.

IMPACT ASSESSMENT OF SHAFT DEFORMATION ON SETTLEMENT EFFORTS VALUE IN HORIZONTAL CROSS-SECTION OF 100 METRE HIGH CHIMNEY

Korsun Vladimir, Vinogradova Tamara, Efimenko Roman

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.*

E-mail: snpccvs@mail.ru

Received 4 March 2011; accepted 25 March 2011.

Abstract. The settlement efforts results in the shaft ring cross-sections and displacements on a vertical of a longitudinal axis of a 100 metre high chimney against the wind load effect with regard to the structural weight have been presented. The design forces comparison obtained by the engineering technique of the Temporary Building Codes-286-72 and the Finite Elementary Analyses by the software engineering «Lira» has been done. The designs have been done with regard to the pulsating component of a wind load in accordance to the standards of the Building Codes and Regulations 2.01.07-84 and State Building Codes B.1.2-2:2006. The shaft pivotal design model has been examined in view of deformed and nondeformed settlement scheme. The additional efforts due to the horizontal shaft displacement under the action of wind and foundation heeling have been determined by the method of successive approximations in accordance to the standard of the Temporary Building Codes 286-72, as well as by the stepping and iterative method of the solution of nonlinear problems made by the software engineering «Lira». The analysis of the obtained findings has testified that analyses made by the Temporary Building Codes 286-72 and the Finite Elementary Analyses methods with similar analytical models have convergence within 2 %. The registration of the horizontal displacements of a longitudinal axis of a shaft gives rise of bending moments in shaft ring cross-sections to 5–12 % in comparison with analysis on the nondeformed settlement scheme.

Keywords: chimney, settlement scheme, wind load, flue deformation, settlement efforts.

Дымовые трубы как высотные сооружения рассчитываются по схеме консольного стержня переменной жесткости, защемленного в основании. При значительных соотношениях H/d (H – высота трубы, d – диаметр) горизонтальные смещения оси трубы от действия ветра достаточно велики по отношению к размеру сооружения в плане, что обуславливает возникновение дополнительных изгибающих моментов в горизонтальных сечениях трубы от вертикальных нагрузок – от собственного веса ствола трубы и футеровки.

К числу нормативных документов, регламентирующих методику расчета усилий от действия ветра в дымовых трубах, относятся [1–6]. В ин-

женерной методике [3] рекомендовано изгибающий момент от ветровой нагрузки, определяемой по СНиП «Нагрузки и воздействия» [2], принимать с коэффициентом 1,1, которым учитывается дополнительная составляющая изгибающего момента от собственного веса трубы, обусловленная прогибом (горизонтальным смещением) оси ствола.

Основная задача исследования – выполнить различными методами количественную оценку составляющих дополнительных изгибающих моментов от собственного веса в горизонтальных сечениях кирпичной дымовой трубы высотой $H=100$ м в суммарной величине изгибающих моментов от действия ветровой нагрузки.

Использованы следующие методики расчета:

1) методика определения горизонтальных перемещений оси трубы методом последовательных приближений на основе графоаналитического метода [7] с заданием ветровой нагрузки с учетом пульсационной составляющей по СНиП [2]. Расчет выполнялся средствами Microsoft EXCEL;

2) методика определения горизонтальных перемещений оси трубы и дополнительных изгибающих моментов от собственного веса сооружения с использованием ПК «ЛИРА». При этом ветровая нагрузка задавалась с учетом пульсационной составляющей по СНиП [2]. Расчет выполнен с учетом физической нелинейности деформирования кладки и геометрической нелинейности расчетной схемы ствола;

3) то же, с использованием ПК «ЛИРА» и заданием ветровой нагрузки по ДБН [1].

В методиках, основанных на СНиП [2], ветровая нагрузка принималась по II ветровому району для местности типа В. Количество учитываемых форм собственных колебаний принималось равным двум в соответствии с требованиями п. 6.10 [2], так как предельная частота собственных колебаний для III ветрового района равна $f_1 = 1,200$ гц. Частотные характеристики первых двух форм собственных колебаний трубы составили, соответственно, $f_1 = 0,251$ гц и $f_2 = 0,936$ гц.

Во всех расчетных схемах дымовая труба разбивалась на участки-ярусы, высота которых принималась равной расстоянию между внутренними кольцевыми консолями ствола, на которые опирается футеровка. Высота ярусов составила 8–13 м при их общем количестве, равном девяти. Массы участков и ветровая нагрузка принимались в виде сосредоточенных сил, приложенных посередине высоты каждого яруса. Каждый ярус представлялся в виде цилиндра, внутренний и наружный диаметры которого принимались равными среднеарифметическим значениям диаметров в верхнем и нижнем сечениях яруса.

При расчете по методике ПК «ЛИРА» расчетная схема ствола трубы принималась в виде пространственного стержневого КЭ переменной по высоте жесткости.

Суммарный изгибающий момент от действия статической и динамической составляющих вет-

ровой нагрузки в соответствии со СНиП [2] вычислялся по формуле:

$$M_k = M_k^{cm} + \sqrt{\sum_{k=1}^r M_{ik,дин}^2}, \quad (1)$$

где: M_k^{cm} – изгибающий момент в точке k от средней статической составляющей ветрового давления; $M_{ik,дин}$ – то же, от пульсационной составляющей ветрового напора для соответствующей формы собственных колебаний; r – число учитываемых форм собственных колебаний.

Величина изгибающего момента $M_{ik,дин}$ определялась от пульсационной составляющей ветровой нагрузки по формуле (10) [2] как:

$$W_p = m \cdot \xi \cdot \psi \cdot y. \quad (2)$$

При расчете по первой из указанных методик на первом этапе вычислялись изгибающие моменты $M_k^{(0)}$ только от действия ветра без учета вертикальных нагрузок. Затем графоаналитическим методом вычислялись величины горизонтальных смещений оси трубы $y_k^{(0)}$ и дополнительные изгибающие моменты от веса участков ствола (ярусов) как $M_{дон}^{(1)} = \sum G_k \cdot y_k^{(0)}$. При этом исходное положение продольной оси трубы принималось повернутым в сторону действия ветра на угол, соответствующий максимально допустимому по ДБН В 2.1-10-2009 [8] крену фундамента за счет неравномерной осадки основания, который принимался равным $y_k^{kp} = 0,005 \cdot H_k$, где H_k – отметка от защемления ствола трубы до границы яруса. В первом приближении изгибающие моменты от действия ветра, с учетом дополнительных моментов от вертикальных нагрузок, определялись как сумма $M_k^{(1)} = M_k^{(0)} + M_{k,дон}^{(1)}$. От действия полученных изгибающих моментов аналогично определялись новые значения смещений оси трубы, новые значения дополнительных изгибающих моментов $M_{k,дон}^{(2)}$ и новые суммарные значения моментов второго приближения как $M_k^{(2)} = M_k^{(0)} + M_{k,дон}^{(2)}$. Расчет выполнялся до тех пор, пока значения горизонтальных смещений оси трубы в двух последних смежных приближениях стали различаться не более, чем на 5%.

Во второй из рассмотренных методик с использованием ПК «ЛИРА» для расчета трубы с учетом физической и геометрической нелинейности использована диаграмма деформирования кирпичной кладки, полученная на основании

зависимости (8), приведенной в п. 3.19 [6] для кирпича марки 100 в кладке, выполненной на растворе марки 50. Выбранная диаграмма была введена в библиотеку диаграмм деформирования материалов ПК «ЛИРА».

На рис. 1–3 приведены результаты расчетов трубы по рассмотренным методикам.

Из приведенных графиков следует, что суммарные изгибающие моменты от действия ветра

и нагрузки от собственного веса трубы при расчете по деформированной схеме по двум первым из рассмотренных методик достаточно близки между собой – отличие не превышает 1,5 %. При этом различие в перемещениях верха трубы не превышает 20 %. Большие значения деформаций свойственны результатам расчета по методике МКЭ, вследствие учета нелинейной диаграммы деформирования материала.

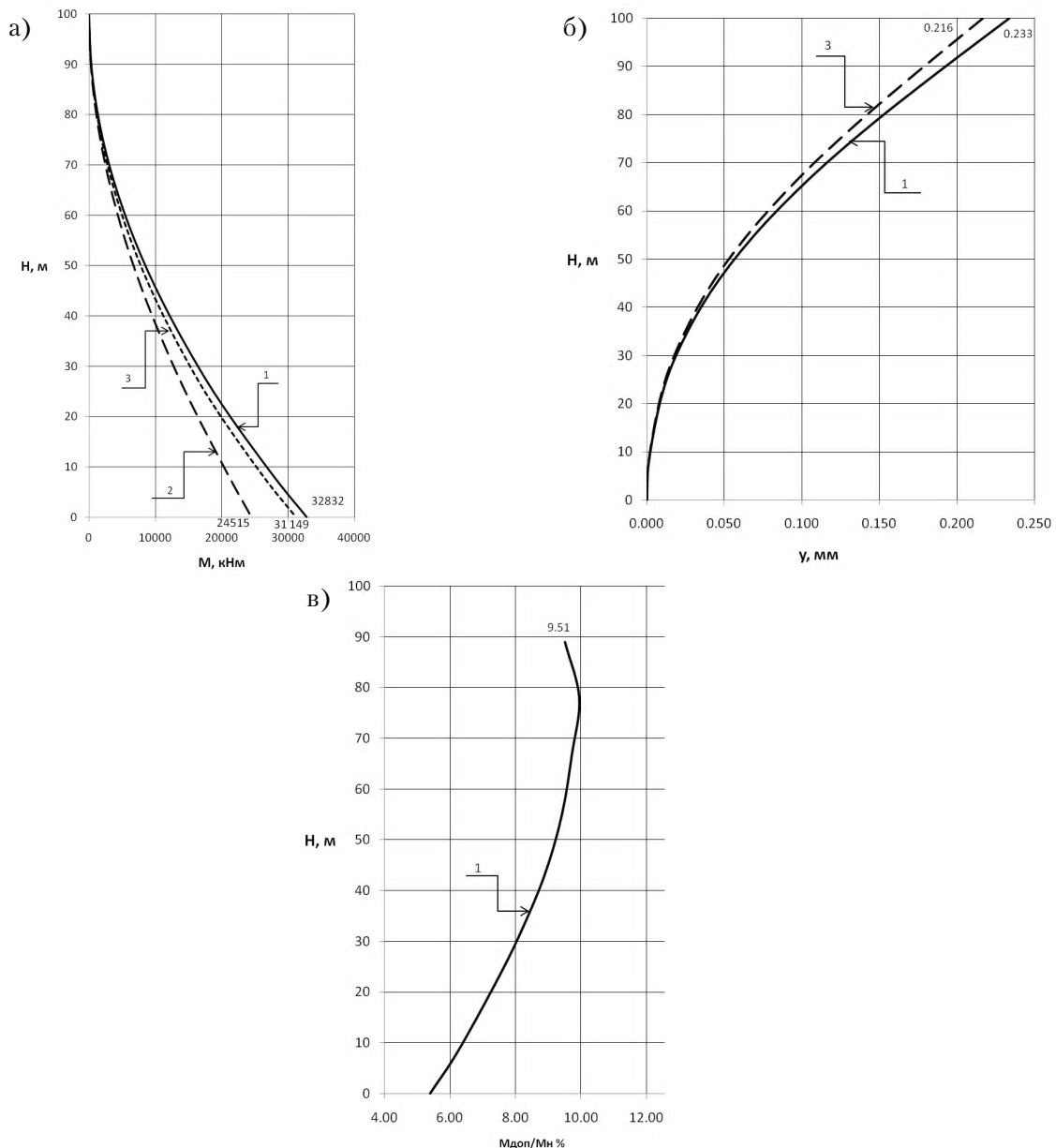


Рисунок 1. Расчетные значения по методике [3] полных изгибающих моментов (а) и дополнительных изгибающих моментов (б) в горизонтальных сечениях по высоте ствола за счет горизонтальных смещений (б) продольной оси дымовой трубы. 1 – суммарные значения кольцевых моментов и прогибов ствола для деформированной расчетной схемы с учетом крена; 2 – изгибающие моменты и прогибы от ветровой нагрузки без учета крена и деформаций оси ствола; 3 – изгибающие моменты M_n от ветровой нагрузки с учетом крена, но без учета деформаций оси ствола.

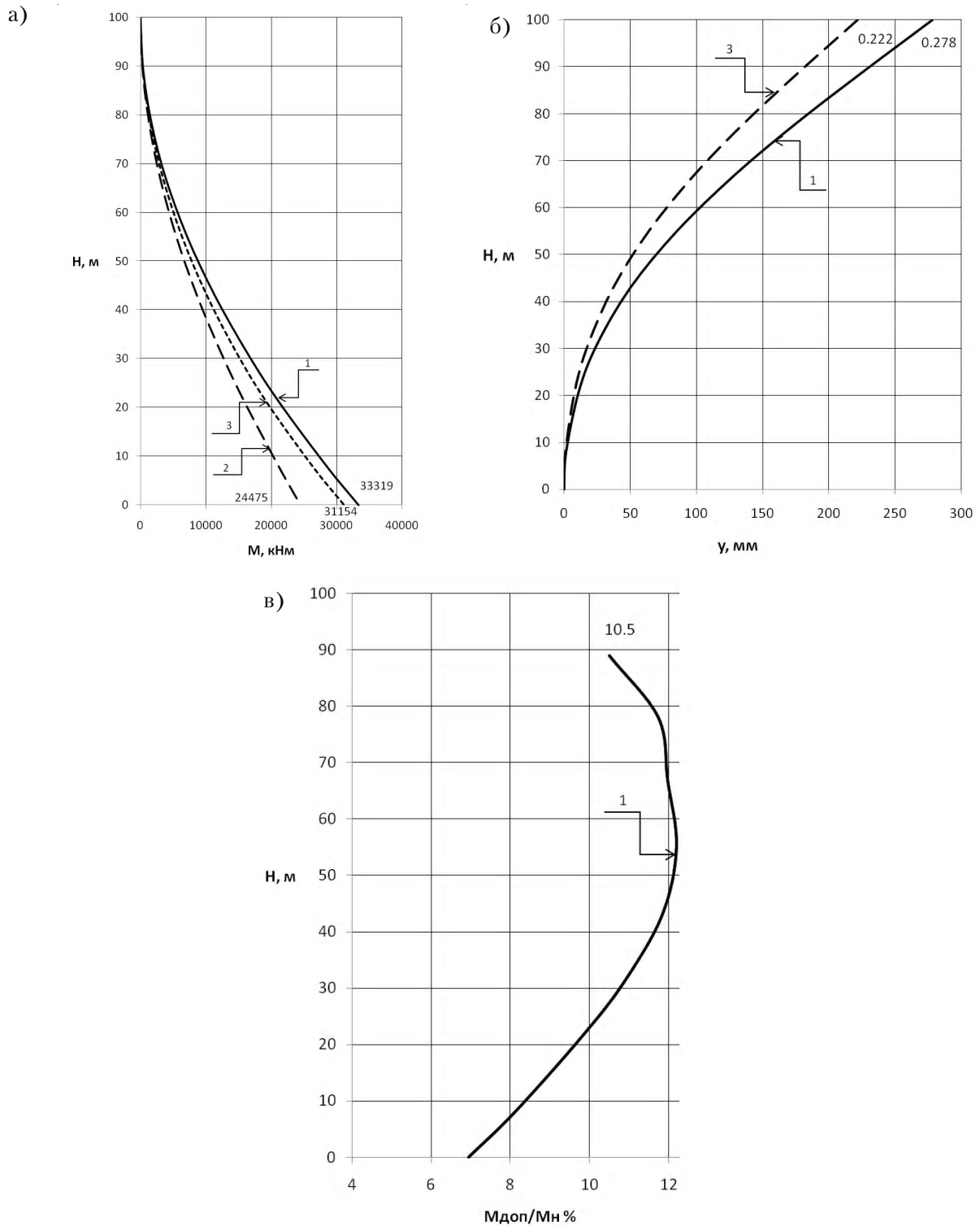


Рисунок 2. Изгибающие моменты полные (а) и дополнительные (в) в горизонтальных сечениях по высоте ствола за счет горизонтальных смещений (б) продольной оси дымовой трубы по результатам расчета средствами ПК «ЛИРА» с заданием ветровой нагрузки в соответствии со СНиП [2]. 1 – суммарные значения кольцевых моментов и прогибов ствола для деформированной расчетной схемы с учетом крена; 2 – изгибающие моменты и прогибы от ветровой нагрузки без учета крена и деформаций оси ствола; 3 – изгибающие моменты M_n от ветровой нагрузки с учетом крена, но без учета деформаций оси ствола.

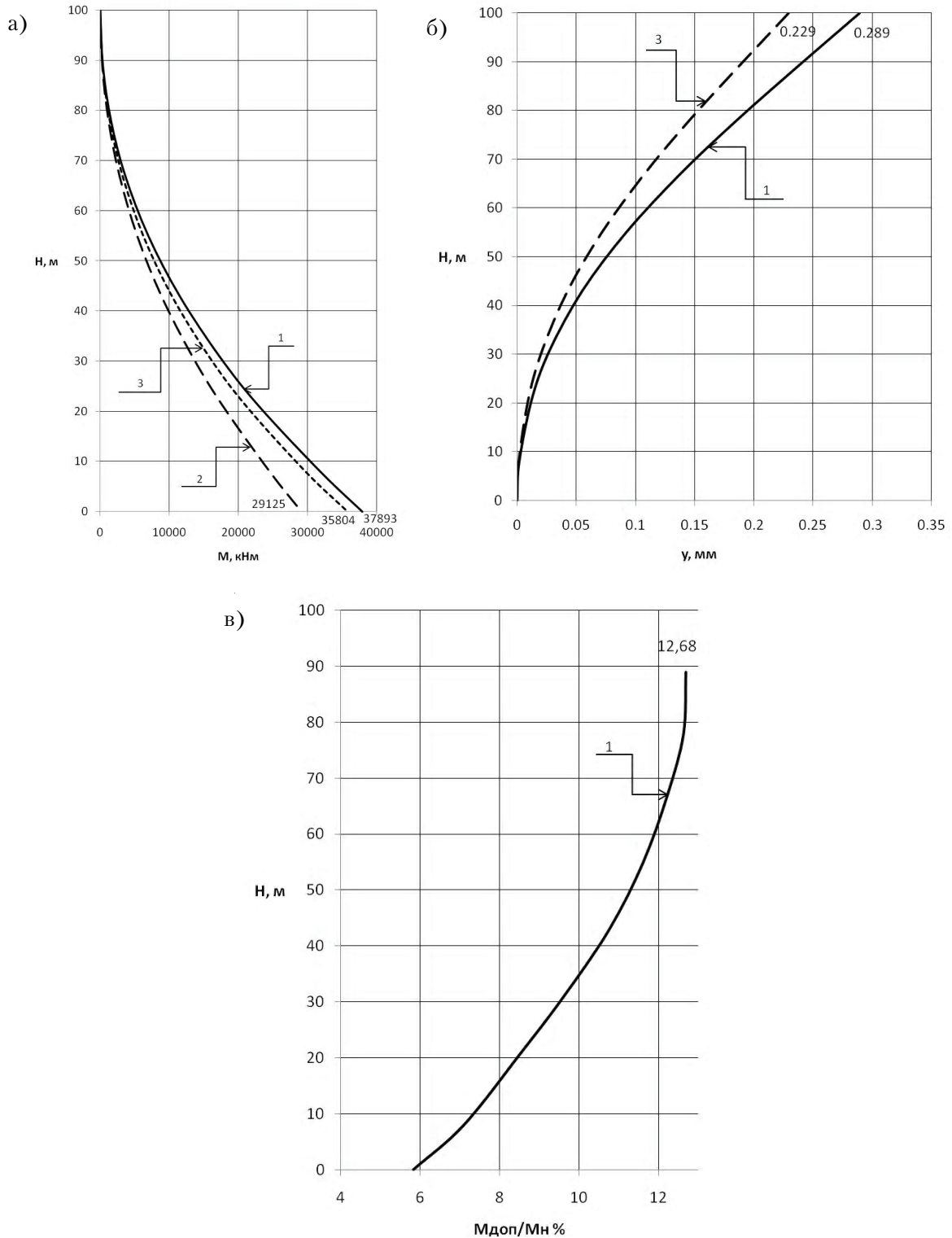


Рисунок 3. Изгибающие моменты полные (а) и дополнительные (б) в горизонтальных сечениях по высоте ствола за счет горизонтальных смещений (б) продольной оси дымовой трубы, по результатам расчета средствами ПК «ЛИРА» с заданием ветровой нагрузки в соответствии с ДБН [1]. 1 – суммарные значения кольцевых моментов и прогибов ствола для деформированной расчетной схемы с учетом крена; 2 – изгибающие моменты и прогибы от ветровой нагрузки без учета крена и деформаций оси ствола; 3 – изгибающие моменты M_n от ветровой нагрузки с учетом крена, но без учета деформаций оси ствола.

Значения изгибающих моментов от действия только ветровой нагрузки, заданной по ДБН [1], превышают на 19 % значения соответствующих усилий, вычисленные при задании ветровой нагрузки по методике СНиП [2].

Как следует из графиков рис. 1в, 2в, 3в расчетная величина дополнительного изгибающего момента от собственного веса трубы, обусловленная прогибом ствола от действия ветра, составляет около 5–13 %, что достаточно близко соответствует рекомендованному в [3] коэффициенту 1,1, вводимому в расчет для учета горизонтальных смещений оси трубы.

Из графиков видно, что для нижней части трубы высотой $\sim(1/4...1/3)H$ рекомендованный в [3] коэффициент 1,1 обеспечивает некоторый запас, а для остальной, выше расположенной части трубы, несколько недооценивает величину (до 3 %) дополнительных изгибающих моментов.

Из графиков рис. 1а, 2а, 3а следует также, что составляющая дополнительных изгибающих моментов в горизонтальных сечениях ствола от собственного веса трубы за счет крена фундамента значительно выше, чем значения изгибающих моментов за счет деформаций ствола трубы от ветрового воздействия.

Выводы

1. Учет смещений продольной оси кирпичной дымовой трубы $H=100$ м от вертикали при действии ветра приводит к увеличению изгибающих моментов на 9,5–12,7 %.

2. Учет физической нелинейности деформирования каменной кладки ствола в рассмотренной дымовой трубе приводит к увеличению максимальных расчетных изгибающих моментов в кольцевых сечениях и перемещений ствола, соответственно на 1,5 и 19,3 %. Более высокие значения свойственны результатам расчета с использованием ПК «ЛИРА».

3. Значения кольцевых изгибающих моментов и прогибов ствола от действия ветровой нагрузки в соответствии с ДБН [1] на 14 и 4 % выше соответствующих величин, полученных из расчета на нагрузки в соответствии со СНиП [2].

4. Применение современных вычислительных средств для расчета дымовых труб с учетом физической и геометрической нелинейности позволяет достоверно определить усилия в стволе и его деформации. Полученные результаты подтверждают корректность коэффициента 1,1, введенного в нормы расчета [3] для учета деформаций ствола кирпичной дымовой трубы.

Литература

1. Державні будівельні норми : Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи : ДБН В.1.2-2:2006. – Замість СНиП 2.01.07-85 ; надано чинності з 1.01.2007. – К. : Мінбуд України, 2006. – 61 с.
2. Нагрузки и воздействия : СНиП 2.01.07-85. – [Не действующий с 1 января 2007г.] – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 36 с.
3. Семенцова, С. А. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений: каменные и армокаменные конструкции / С. А. Семенцова, В. А. Камейко – М. : Изд-во литературы по строительству, 1968. – 173 с.
4. Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра / Центр. науч.-исслед. ин-т стрит. констр. им. В. А. Кучеренко. – М. : СИ, 1978. – 216 с.
5. Указания по расчету железобетонных дымовых труб : ВСН-286-72. – [Введ. 1972-03-01] – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1973. – 64с.
6. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций : (к СНиП II-22-81) /

References

1. National Structural Rules and Regulations. The system of reliability and safety provision of constructional projects. Loads and effects: DBN B.1.2-2:2006. Kyiv: Minbud Ukraine, 2006. 61 p. (in Ukrainian)
2. Loads and effects. SNiP 2.01.07-85. Moscow: TSITP Gosstroy SSSR, 1988. 36 p. (in Russian)
3. Sementsova, S. A.; Kameyko, V. A. Handbook of a designer of industrial, civil and public buildings: stone and reinforced structures. Moscow: Publishing House on Civil Engineering, 1968. 173 p. (in Russian)
4. Guide on design of buildings and constructions to the wind action. Moscow: SI, 1978. 216 p. (in Russian)
5. Instructions on reinforced chimneys design. VSN-286-72. Moscow: Gosstroy TSITP SSSR, 1973. 64 p. (in Russian)
6. Manual on the design of stone and reinforced stone structures. Introduced to SNiP II-22-81. Moscow: TSITP Gosstroy SSSR, 1987. 152 p. (in Russian)

- ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1987. – 152 с.
7. Дарков, А. В. Сопротивление материалов/ Дарков А. В., Шпиро Г. С. – Изд. 3-е. – М. : Высшая школа, 1969. – 734 с.
 8. Державні будівельні норми: Об'єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування : ДБН В.2.1-10-2009. – Замість СНиП 2.02.01-83 ; чинні від 2009-07-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 104 с.
 7. Darkov, A. V.; Shpiro, G. S. Strength of materials. (3d edition). Moscow: Vysshaya Shkola, 1969. 734 p. (in Russian)
 8. National Structural Rules and Regulations. Constructional projects and industrial production of civil engineering specification. Basements and foundations. Principle designing points: DBN B.2.1-10-2009. Kyiv: Minregionbud of Ukraine, 2009. 104 p. (in Ukrainian)

Корсун Володимир Іванович – д. т. н., професор, завідувач кафедри залізобетонних конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розвиток ортотропної моделі деформування бетону для загального випадку об'ємного напруженого стану з урахуванням температурних впливів. Оцінка технічного стану і проектування залізобетонних конструкцій.

Віноградова Тамара Миколаївна – к. т. н., доцент кафедри залізобетонних конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: удосконалення методів розрахунку та підсилення залізобетонних конструкцій будівель та споруд, що експлуатуються; динаміка споруд.

Єфіменко Роман Сергійович – асистент кафедри залізобетонних конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розвиток загальної методики деформування залізобетонних елементів із застосуванням високоміцного бетону. Оцінка технічного стану і проектування залізобетонних конструкцій.

Корсун Владимир Иванович – д. т. н., профессор, заведующий кафедрой железобетонных конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: развитие ортотропной модели деформирования бетона для общего случая объемного напряженного состояния с учетом температурных воздействий. Оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

Виноградова Тамара Николаевна – к. т. н., доцент кафедры железобетонных конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: усовершенствование методов расчета и усиления эксплуатирующихся железобетонных конструкций зданий и сооружений; динамика сооружений.

Єфіменко Роман Сергеевич – ассистент кафедры железобетонных конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: развитие общей методики деформирования железобетонных элементов с применением высокопрочного бетона; оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

Korsun Vladimir – D. Sc. (Engineering), a Professor, the Chair of the Reinforced Concrete Structures Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: development of the orthotropic model of concrete deformation for a general case of solid stressed state with regard to the temperature impacts. Technical state estimation and reinforced concrete structures design.

Vinogradova Tamara – Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Reinforced concrete Structures Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: design technique improvement and strengthening of reinforced concrete structures of constructions and buildings; dynamics of structures.

Efimenko Roman – a teaching fellow of the Reinforced Concrete Structures Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: development of general procedures and techniques of reinforced concrete elements deformation with application of high-strength modified concrete; technical state estimation and reinforced concrete structures designs.