

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

УДК 624.01

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ БАШЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЫМОВЫХ ТРУБ В СИСТЕМЕ «СТВОЛ–ФУНДАМЕНТ–ОСНОВАНИЕ»

В.В. Виноградов, асп., Е.А. Перепелица, асп.,
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

Аннотация. Рассмотрены расчетные модели ствола кирпичной дымовой трубы. Проведено сравнение методов моделирования взаимодействия грунтового основания и ствола дымовой трубы. Выполнено сравнение степени влияния на напряженно-деформированное состояние ствола трубы различных грунтовых условий.

Ключевые слова: башенные сооружения, ствол кирпичной дымовой трубы, продольно-поперечный изгиб, упругая относительно угловых перемещений опора, крен фундамента, грунтовые условия.

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ БАШТОВИХ СПОРУД ДИМОВИХ ТРУБ
У СИСТЕМІ «СТОВБУР–ФУНДАМЕНТ–ОСНОВА»

В.В. Виноградов, асп., К.О. Перепелица, асп.,
Харківський національний університет будівництва та архітектури

Анотація. Розглянуто розрахункові моделі стовбура цегляної димової труби. Проведено порівняння методів моделювання взаємодії ґрунтової основи і стовбура димової труби. Виконано порівняння ступеня впливу на напружено-деформований стан стовбура труби різних ґрунтових умов.

Ключові слова: баштові споруди, стовбур цегляної димової труби, позовжньо-поперечний вигин, пружна відносно кутових переміщень опора, крен фундаменту, ґрунтові умови.

MODELLING BEHAVIOUR OF TOWER STRUCTURES OF CHIMNEYS IN THE
SYSTEM «SHAFT – FOUNDATION – BASE»

V. Vinogradov, P. G., E. Perepelitsa, P. G.,
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture

Abstract. Design models of the brick chimney shaft were examined. Comparison modeling methods of interaction of the basement soil and the chimney shaft was carried out. Comparison of the influence degree on the stress-strain state of the chimney shaft with different soil conditions is performed.

Key words: tower structures, brick chimney shaft, transverse-longitudinal bending, elastic to angular displacement support, foundation heel, soil conditions.

Введение

Дымовые и вентиляционные трубы являются сложными инженерными сооружениями башенного типа. Повсеместное использование газоотводящих стволов тепловых электро-

станций и котельных, находящихся в эксплуатации длительный срок, а также возведение новых дымовых и вентиляционных труб требуют использования расчетных методик, более полно отражающих работу данных сооружений. Анализ напряженно-деформиро-

ванного состояния стволов дымовых и вентиляционных труб, которые воспринимают ветровые нагрузки, нагрузки от собственного веса, а также температурные воздействия, позволяет более точно оценить надежность и прогнозировать работу сооружений в ходе эксплуатации.

Одной из упрощенных расчетных схем дымовых кирпичных и железобетонных труб является консольно защемленный стержень, который одновременно подвергается воздействию осевых и изгибающих нагрузок. Перемещения, вызываемые осевыми и изгибающими нагрузками, считаются малыми по отношению к геометрическим размерам. Исходя из малости перемещений, в сопротивлении материалов вывод многих уравнений базируется на принципе начальных размеров — тело рассматривается как недеформированное, продольные и изгибные деформации рассматриваются отдельно.

Для ряда задач строгое следование принципу начальных размеров приводит к неточным результатам. Для анализа сложного изгиба необходимо совместно решать краевые задачи для продольно нагруженного и изгибаемого стержня.

В качестве граничных условий для кирпичных и железобетонных дымовых труб принято рассматривать жесткую заделку. Поскольку основание фундамента не является абсолютно жестким, а обладает податливостью, введение упругой относительно угловых перемещений опоры как граничного условия уточняет расчет башенных сооружений.

Анализ публикаций

Вопросами расчета прочности и ресурса стволов дымовых и вентиляционных промышленных труб занимались такие ученые как Э.П. Волков, Ф.П. Дужих, А.М. Ельшин; эти вопросы широко представлены в работах Я.М. Щелокова [1], В.Г. Сатьянова [2]. Расчет и проектирование кирпичных дымовых труб рассматриваются в работах В.М. Милонова, С.А. Семенцова [3]. Указания по расчету железобетонных дымовых труб приведены в ведомственных строительных нормах [4,5], согласно которым расчет сечений ствола по I группе предельных состояний (по прочности) выполняется на одновременное

воздействие собственного веса, расчетной ветровой нагрузки и температурного воздействия дымовых газов. Расчет производится по деформированной схеме с учетом влияния перемещений трубы от ветра и крена фундамента.

В работе [6] приведено сравнение результатов расчета ствола дымовой трубы по методике [5] и методом конечных элементов по деформированной схеме (с учетом продольно-поперечного изгиба). Аналитическое решение методом начальных параметров для линейных краевых задач такого рода рассмотрено в [7].

Цель и постановка задачи

Целью работы является исследование напряженно-деформированного состояния ствола кирпичной дымовой трубы, полученного по упрощенным расчетным моделям различной точности, а именно: без учета продольно-поперечного изгиба, с учетом продольно-поперечного изгиба, а также с учетом продольно-поперечного изгиба и податливости основания.

Моделирование работы грунта в системе «Ствол–фундамент–основание»

Расчет выполнен для кирпичной дымовой трубы высотой 39,85 м. Расчетная схема ствола кирпичной дымовой трубы приведена на рис. 1.

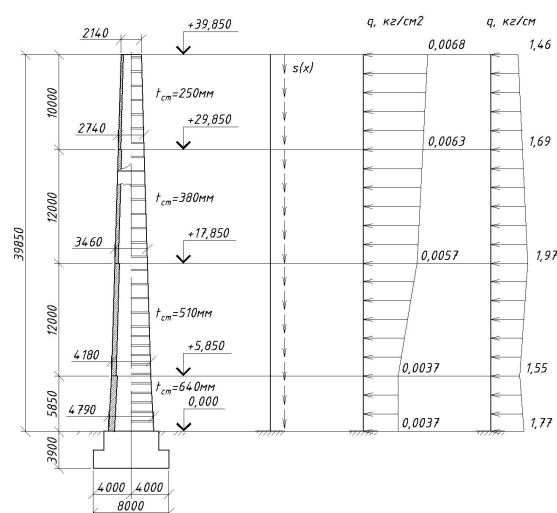


Рис. 1. Расчетная схема ствола кирпичной дымовой трубы

Уклон наружной поверхности трубы к вертикали (разница между нижним и верхним

радиусами трубы, отнесенная к высоте трубы) составляет 0,03. Модуль упругости каменной кладки ствола трубы – $E = 7500 \text{ кг/см}^2$. Удельный вес каменной кладки ствола трубы – $\gamma = 0,0018 \text{ кг/см}^3$. Труба находится под воздействием нагрузки от собственного веса $s(x)$, а также ветровой нагрузки $q(x)$.

Инженерно-геологические условия основания дымовой трубы приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1 Инженерно-геологические условия основания дымовой трубы

Грунт	Абс. отметка, м	Мощность слоя, м	Глубина залег., м
Скв. 1. Абс. отм. устья скважины – 100,00 м			
Насыпной	97,00	3,00	3,00
Песок	95,00	2,00	5,00
Супесь	85,00	10,00	15,00
Скв. 2. Абс. отм. устья скважины – 100,00 м			
Насыпной	99,00	1,00	1,00
Песок	91,00	8,00	9,00
Супесь	85,00	6,00	15,00
Скв. 3. Абс. отм. устья скважины – 100,00 м			
Насыпной	98,00	2,00	2,00
Песок	94,00	4,00	6,00
Супесь	85,00	9,00	15,00

Таблица 2 Характеристики грунта

Грунт	Модуль деформ., т/м^2	Коэфф. Пуассона	Удельный вес, т/м^3	Коэфф. перех. ко 2-му мод. упруг.	Прир. влажн., доли
Усл. обозн.	E	ν	γ		W
Насыпной	1000	0,3	1,80	5	0,05
Песок	1800	0,3	1,75	5	0,25
Супесь	2000	0,3	1,82	5	0,26
Грунт	Показатель текучести	Коэфф. пористости	Удельное сцепление, т/м^2	Угол внутреннего трения	Пред. напряж. растяж., т/м^2
Усл. обозн.	I_L	e	c	φ_0	σ_p
Насыпной	0,2	0,70	0,5	16	0,10
Песок	–	0,54	0,1	31	0,02
Супесь	1,1	0,72	0,8	22	0,16

Для определения коэффициента жесткости упругой опоры c_ϕ как коэффициента пропорциональности между углом поворота фундамента ϕ и изгибающим моментом по верхнему обрезу фундамента M необходимо использовать расчетную модель основания, которая позволяет корректно определять зависимость «момент–угол поворота» (« $M - \phi$ »).

В статье рассмотрены три варианта определения зависимости « $M - \phi$ »:

1. Определение крена фундамента на основании расчетных методик ДБН В.2.1-10-2009 «Основы та фундаменти споруд. Основні положення проектування» [8];
2. Использование пластинчатой конечно-элементной модели с граничными условиями в виде коэффициентов постели;
3. Использование конечноэлементной модели фундамента с подключенным трехмерным грунтовым массивом.

1. Определение крена фундамента в условиях воздействия на него внецентренной нагрузки выполнено, согласно [8], по формуле (1)

$$i = \frac{1 - \nu^2}{E} k_e \frac{Ne}{(a/2)^3}, \quad (1)$$

где E и ν – соответственно модуль деформации и коэффициент поперечной деформации грунта основания. В случае неоднородного основания величины E и ν принимают средними в границах сжимаемой толщи по формулам (2), (3). k_e – коэффициент, принимаемый по табл. Д.3 [8], $k_e = 0,75$; N – вертикальная составляющая равнодействующей всех нагрузок на фундамент в уровне его подошвы; e – эксцентриситет, $Ne = 161 \text{ т·м}$; a – диаметр круглого фундамента, $a = 8 \text{ м}$.

Среднее (в границах сжимаемой толщи H_c) значение модуля деформации $\bar{E}$ и коэффициента деформации $\bar{\nu}$ грунтов основания определены по формулам (2) и (3)

$$\bar{E} = \sum_{i=1}^n A_i / \sum_{i=1}^n (A_i / E_i); \quad (2)$$

$$\bar{\nu} = \sum_{i=1}^n \nu_i h_i / H_c; \quad (3)$$

где A – площадь эпюры вертикальных напряжений от единичного давления под подошвой фундамента в пределах i -го слоя грунта; допускается принимать $A_i = \sigma_{zp,i} h_i$ (Д.1), [8]; E_i , ν_i , h_i – соответственно модуль деформации, коэффициент поперечной деформации и толщина i -го слоя грунта; H_c – сжимаемая толща грунта (Д.10), [8]; n – количество слоев, которые отличаются значениями E и ν в пределах сжимаемой толщи H_c . $\bar{E} = 1892,4$ т/м²; $H_c = 6,7$ м; $\bar{\nu} = 0,3$. Из (1): $i = \frac{1-0,3^2}{1892,4} 0,75 \frac{161}{(8/2)^3} = 0,000907$.

Коэффициент жесткости c_ϕ определяют как коэффициент пропорциональности между углом поворота фундамента ϕ и изгибающим моментом M

$$c_\phi = M/\phi. \quad (4)$$

Из (4) следует: $c_\phi = 1,78 \cdot 10^{10}$ кг·см/рад.

2. Использование пластинчатой конечно элементной модели с граничными условиями в виде коэффициентов постели. Для определения жесткости упругой опоры в ПК ЛИРА создана расчетная схема фундамента, выполненная из пластинчатых конечных элементов (рис. 2).

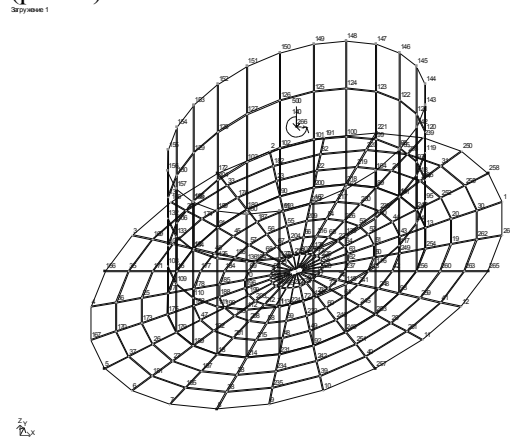


Рис. 2. Расчетная схема фундамента дымовой трубы

Нагрузка от вышестоящей дымовой трубы в виде осевой силы и изгибающего момента приложена к верхнему обрезу фундамента. В качестве граничных условий заданы коэффициенты постели, вычисленные в ПК ЛИРА (система ГРУНТ) по методу 3 – модифици-

рованный расчет для модели Пастернака, методом последовательных приближений, принимая в каждой последующей итерации давление P_z равным отпору грунта R_z , для заданных грунтовых условий. Расчет производится на основании требований [8].

Крен фундамента определен как разница осадок по граням фундамента, отнесенная к диаметру фундамента, и составляет

$$i = (1,220 - 0,883)/800 = 0,000421. \quad (5)$$

Коэффициент жесткости c_ϕ из (4)

$$c_\phi = 3,82 \cdot 10^{10} \text{ кг·см/рад.}$$

3. Использование конечноэлементной модели фундамента с подключенным трехмерным грунтовым массивом. Для определения жесткости упругой опоры в ПК ЛИРА создана расчетная схема фундамента, выполненная из пластинчатых конечных элементов. К расчетной модели фундамента подключена модель грунта, выполненная в ПК ЛИРА (система ГРУНТ), на базе которой сгенерирован трехмерный грунтовый массив. Трехмерный грунтовый массив имеет размеры – 24×24 м в плане, 12 м по высоте и выполнен из объемных физически нелинейных КЭ 271-274, 276 для моделирования односторонней работы грунта на сжатие с учетом сдвига (рис. 3).

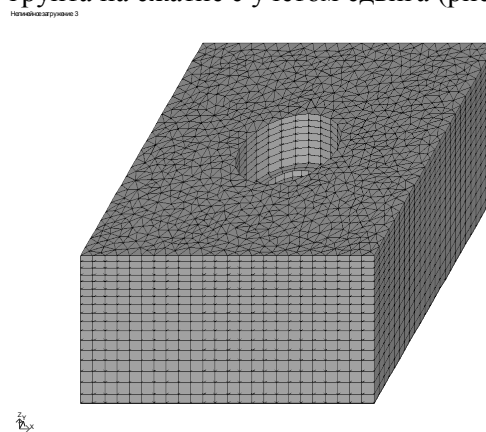


Рис. 3. Расчетная схема фундамента совместно с трехмерным грунтовым массивом

Расчет фундамента совместно с трехмерным грунтовым массивом выполнен в нелинейной постановке – нелинейные нагружения смоделированы в расчетно-графической системе МОНТАЖ плюс. Компьютерное моделирование совместной работы системы «фундамент – основание» предусматривает три стадии расчета:

- монтаж объемных КЭ грунтового основания, нагрузка от собственного веса грунтового массива;
- демонтаж объемных КЭ грунта котлована, обнуление перемещений от предыдущего нагружения;
- монтаж пластинчатых КЭ фундамента, нагрузка от вышестоящей конструкции дымовой трубы, обнуление перемещений от предыдущего нагружения.

Метод расчета – простой шаговый, количество шагов – 1, минимальное число итераций – 300.

В результате расчета определено напряженно-деформированное состояние грунтового массива от нагрузок, приложенных к верхнему обрезу фундамента.

Крен фундамента определен как разница осадок по граням фундамента, отнесенная к диаметру фундамента, и составляет

$$i = (1,510 - 1,030)/800 = 0,000600. \quad (6)$$

Коэффициент жесткости c_ϕ из (4)

$$c_\phi = 2,68 \cdot 10^{10} \text{ кг} \cdot \text{см}/\text{рад}.$$

Сравнение результатов расчета коэффициента жесткости c_ϕ по разным методикам приведено в табл. 3.

Таблица 3 Сравнение результатов расчета коэффициента жесткости различными методами

Метод определения коэффициента жесткости c_ϕ	Определение крена фундамента по Д.13 ДБН В.2.1-10-2009	Пластинчатая конечно-элементная модель с коэффициентами постели в ПК ЛИРА и системе ГРУНТ	Трехмерный грунтовый массив в ПК ЛИРА
№ метода	1	2	3
Коэффициент жесткости c_ϕ , кг·см/рад	$1,78 \cdot 10^{10}$	$3,82 \cdot 10^{10}$	$2,68 \cdot 10^{10}$
Разн. сравн. с моделью № 2, Δ, %	53,40	–	29,84

В качестве расчетной модели определения коэффициента жесткости c_ϕ для дальнейших изысканий взята расчетная модель с коэффициентами постели как модель, по мнению авторов, более полно отражающая работу грунтового основания, чем методика определения крена фундамента по [8], но менее сложная и затратная по машинному времени, чем модель с трехмерным грунтовым массивом.

Расчет ствола кирпичной дымовой трубы для расчетных моделей различной степени точности

Расчет кирпичной дымовой трубы выполнен в программе на языке Паскаль. Программа реализует метод начальных параметров применительно к расчету консольного стержня с переменным по длине поперечным сечением под действием неравномерной поперечной и продольной нагрузки.

Расчет выполнен для трех расчетных схем различной точности:

- жестко защемленный консольный стержень под действием осевых и изгибающих нагрузок без учета продольно-поперечного изгиба (схема 1);
- жестко защемленный консольный стержень под действием осевых и изгибающих нагрузок с учетом продольно-поперечного изгиба (схема 2);
- консольный стержень с опорой, упругой относительно угловых перемещений под действием осевых и изгибающих нагрузок, с учетом продольно-поперечного изгиба (схема 3).

Для стержня заданы законы изменения по длине наружного диаметра $d(x)$, площади поперечного сечения $F(x)$, момента инерции поперечного сечения $I(x)$, а также модуль упругости материала E (рис. 1). Деформированное состояние продольно нагруженного стержня может быть описано с помощью системы двух дифференциальных уравнений первого порядка

$$\frac{du}{dx} = \frac{N}{EF}; \quad \frac{dN}{dx} = -s, \quad (7)$$

где $u(x)$ – перемещение в направлении продольной оси x ; $s(x)$ – продольная нагрузка; $N(x)$ – продольная сила.

Уравнения дополняются граничными условиями

$$u(0) = 0; \quad N(l) = 0. \quad (8)$$

Изгиб описывается системой дифференциальных уравнений первого порядка

$$\frac{dv}{dx} = \varphi; \quad \frac{d\varphi}{dx} = -\frac{M}{EI}; \quad \frac{dM}{dx} = Q; \quad \frac{dQ}{dx} = -q. \quad (9)$$

Уравнения дополняются граничными условиями:

– для жесткого защемления

$$v(0) = \varphi(0) = 0; \quad (10)$$

– для опоры, упругой относительно угловых деформаций

$$v(0) = 0; \quad M(0) + c_\varphi \varphi(0) = 0. \quad (11)$$

Для учета продольно-поперечного изгиба влияние продольных нагрузок следует учесть в дифференциальном уравнении изгиба, которое будет иметь вид

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 v}{dx^2} \right) + \frac{d}{dx} \left(N \frac{dv}{dx} \right) = q. \quad (12)$$

Это дифференциальное уравнение можно заменить эквивалентной системой уравнений первого порядка

$$\begin{aligned} \frac{dv}{dx} &= \varphi; \quad \frac{d\varphi}{dx} = -\frac{M}{EI}; \\ \frac{dM}{dx} &= Q - N\varphi; \quad \frac{dQ}{dx} = -q. \end{aligned} \quad (13)$$

Граничные условия для системы (13) те же, что и для обычного изгиба – (10), (11).

Нормальные напряжения в поперечных сечениях ствола кирпичной дымовой трубы от изгиба определяются следующим образом

$$\sigma(x) = M(x)/W(x), \quad (14)$$

где $W(x)$ – момент сопротивления сечения, $W(x) = 2 \cdot I(x)/d(x)$.

Результаты расчета приведены на рис. 4–9 и в табл. 4.

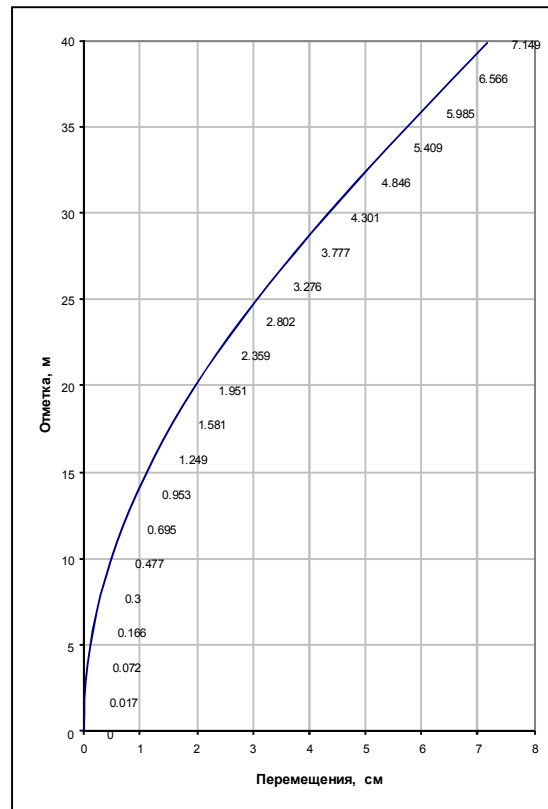


Рис. 4. Распределение перемещений по высоте дымовой трубы (расчетная схема 1)

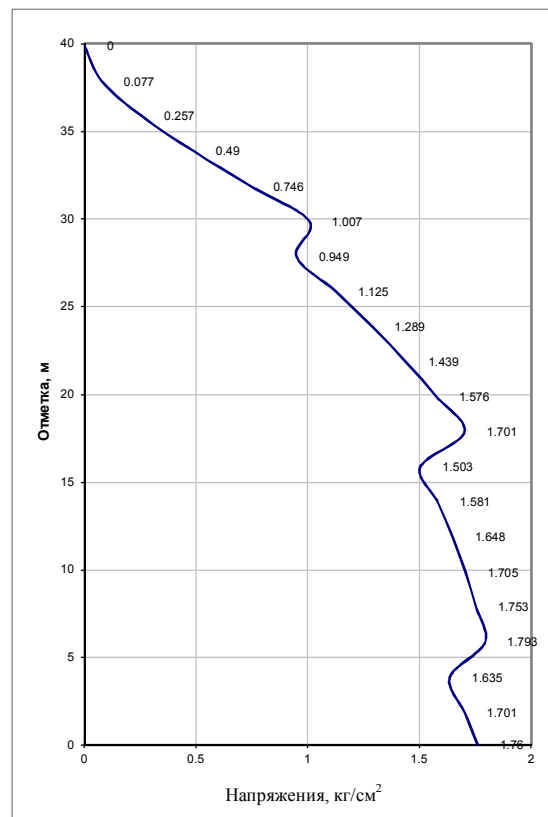


Рис. 5. Распределение нормальных напряжений по высоте дымовой трубы (расчетная схема 1)

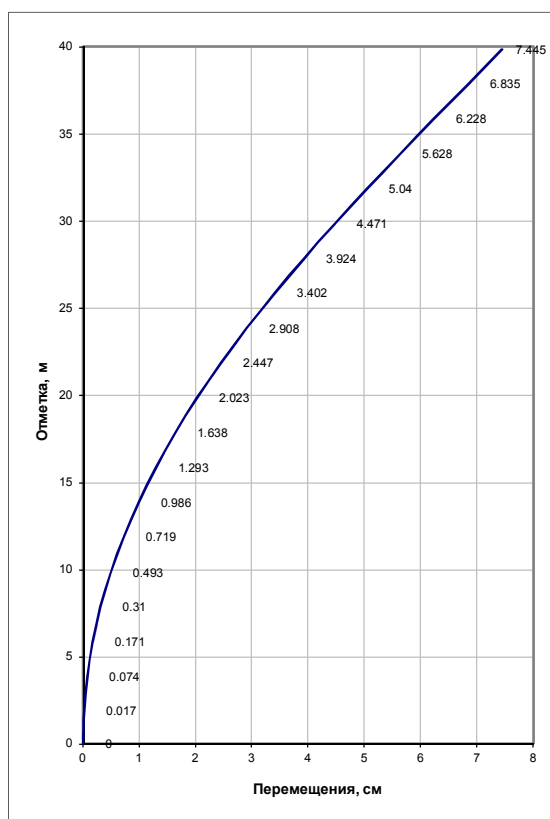


Рис. 6. Распределение перемещений по высоте дымовой трубы (расчетная схема 2)

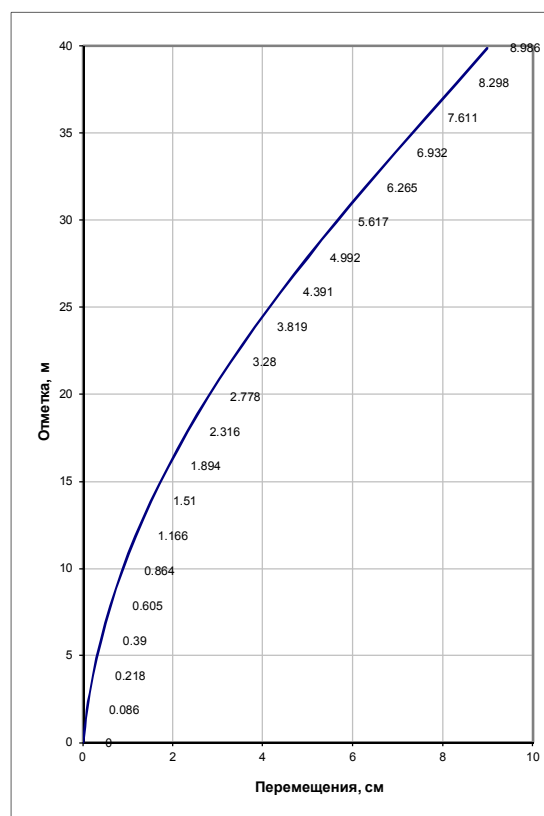


Рис. 8. Распределение перемещений по высоте дымовой трубы (расчетная схема 3)

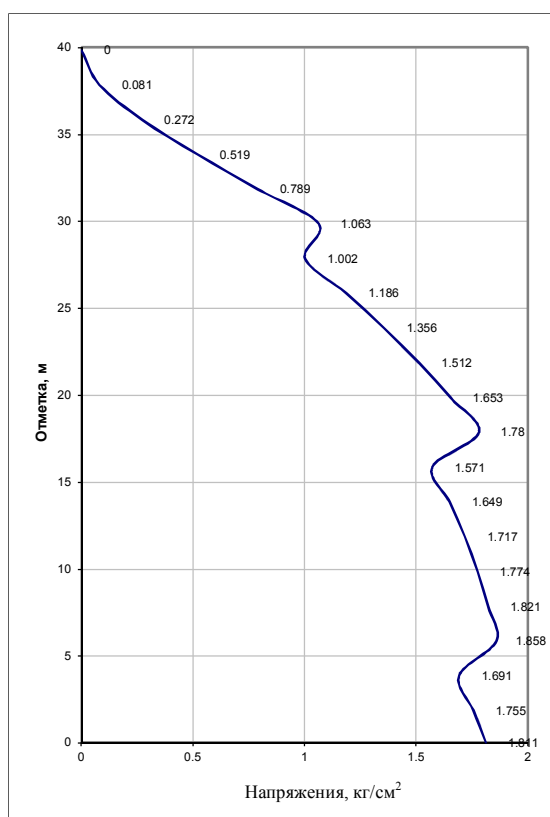


Рис. 7. Распределение нормальных напряжений по высоте дымовой трубы (расчетная схема 2)

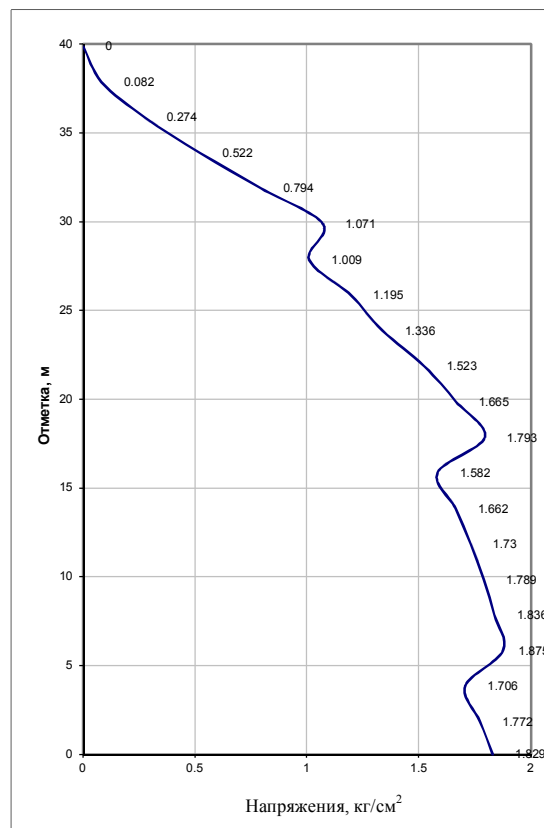


Рис. 9. Распределение нормальных напряжений по высоте дымовой трубы (расчетная схема 3)

Таблица 4 Результаты расчета кирпичной дымовой трубы по различным расчетным схемам

Расчетная схема	Без учета прод.-попер. изгиба	С учетом прод.-попер. изгиба	С учетом прод.-попер. изгиба и податл. основания
№ схемы	1	2	3
Перемещение на отм. 39,850 м, см	7,149	7,445	8,986
Расхождение определен. перемещений по сравнению со схемой 1, Δ , %	—	4,14	25,70
Напряжения на отм. 0,000 м, кг/см ²	1,760	1,811	1,829
Расхождение определен. напряжений по сравнению со схемой 1, Δ , %	—	2,90	3,92

Из табл. 4 следует, что наиболее точно напряженно-деформированное состояние ствола дымовой трубы следует определять с учетом продольно-поперечного изгиба и податливости опоры. Податливость опоры принципиально зависит от грунтовых условий основания фундамента трубы.

Определение коэффициента податливости основания для различных вариантов грунтовых условий

Рассмотрим три варианта грунтовых условий основания дымовой трубы:

- грунтовые условия 1 приведены в табл. 1, 2;
- грунтовые условия 2 – такие же, как и грунтовые условия 1, со следующими изменениями: модуль деформации песка $E = 1100 \text{ т/м}^2$, модуль деформации супеси $E = 800 \text{ т/м}^2$;
- грунтовые условия 3 – такие же, как и грунтовые условия 2, со следующими изменениями: песок и супесь подтоплены (высокий уровень грунтовых вод).

Результаты расчетов приведены в табл. 5.

Сравнение результатов расчета кирпичной дымовой трубы при различных грунтовых условиях, с учетом продольно-поперечного

изгиба и податливости основания, приведено в табл. 6.

Таблица 5 Сравнение результатов расчета крена фундамента и коэффициента жесткости для различных вариантов грунтовых условий

	Грунт. усл. 1	Грунт. усл. 2	Грунт. усл. 3
Крен ф-та, i	0,000421	0,000888	0,000900
Коэффициент жесткости c_{ϕ} , кг·см/рад	$3,82 \cdot 10^{10}$	$1,81 \cdot 10^{10}$	$1,79 \cdot 10^{10}$
Разн. по-сравн. с грунтовыми услов. 1, Δ , %	—	52,60	53,10

Таблица 6 Результаты расчета кирпичной дымовой трубы для вариантов грунтовых условий

	Грунт. услов. 1	Грунт. услов. 2	Грунт. услов. 3
Перемещение на отм. 39,850 м, см	8,986	10,699	10,736
Расхождение определ. перемещений по-сравн. с грунтовыми услов. 1, Δ , %	—	19,06	19,47
Напряжение на отм. 0,000 м, кг/см ²	1,829	1,849	1,850
Расхождение определ. напряжений по-сравн. с грунтовыми услов. 1, Δ , %	—	1,09	1,15

Из табл. 6 следует, что наиболее податливым и деформативным является основание с грунтовыми условиями 3. Наиболее жестким – основание с грунтовыми условиями 1.

Выводы

Выполнен расчет ствола кирпичной дымовой трубы с учетом продольно-поперечного изгиба и податливости основания. Учет продольно-поперечного изгиба дает увеличение напряжений у основания трубы на 2,90 %,

перемещений – на 4,14 % при заданных грунтовых условиях. Учет продольно-поперечного изгиба и податливости основания дает увеличение напряжений у основания трубы на 3,92 %, перемещений – на 25,70 % при заданных грунтовых условиях. Расчет выполнен в программе на языке Паскаль, которая реализует метод начальных параметров применительно к расчету консольного стержня с переменным по длине поперечным сечением под действием неравномерной поперечной и продольной нагрузок. Значения нормальных напряжений в каменной кладке ствола дымовой трубы не превышают расчетного сопротивления [9]. Перемещения верхнего обреза ствола дымовой трубы не превышают предельно допустимых согласно [10].

Выполнено сравнение различных подходов моделирования работы грунтового основания фундамента трубы для выявления зависимости «момент – угол поворота фундамента». Выполнено сравнение расчета крена фундамента, по методике ДБН; расчет фундамента, смоделированного пластинчатыми конечными элементами с заданием коэффициентов постели, вычисленных в ПК ЛИРА (система ГРУНТ); расчет фундамента, смоделированного пластинчатыми конечными элементами с подключенным трехмерным грунтовым массивом в ПК ЛИРА. Выявлено значительное расхождение результатов определения крена фундамента и коэффициента жесткости c_ϕ (до 53,40 %) по различным методикам. В качестве методики расчета жесткостных характеристик грунтового основания выбрана методика с применением коэффициентов постели, вычисленных в ПК ЛИРА (система ГРУНТ).

На базе выбранной методики учета коэффициента жесткости выполнено сравнение результатов расчета кирпичной дымовой трубы с учетом продольно-поперечного изгиба для различных грунтовых условий.

Литература

1. Щелоков Я.М. Сооружение промышленных дымовых труб: справочное издание: в 3 кн. Книга 1. Конструкции, расчеты, экспертиза / Я.М. Щелоков, Ф.П. Дужих, В.П. Осоловский, М.Г. Ладыгичев; под общ. ред. Ф.П. Дужих, В.П. Осоловского. – М.: Теплотехник, 2007. – 336 с.
2. Сатьянов В.Г. Методика расчета нагрузок, прочности и ресурса стволов дымовых и вентиляционных промышленных труб / В.Г. Сатьянов, Н.А. Хапонен, П.Б. Пилипенко и др. – М.: Универсум, 2005. – 264 с.
3. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Каменные и армокаменные конструкции / под общ. ред. С.А. Семенцова, В.А. Камейко. – М.: Стройиздат, 1968. – 176 с.
4. Указания по расчету железобетонных дымовых труб: ВСН 286-90. – Введен 3.10.1990 г.; взамен ВСН 286-72. – М.: Министерство монтажных и специальных строительных работ СССР, 1990. – 73 с.
5. Указания по расчету железобетонных дымовых труб: ВСН 286-72. – Введен 1.03.1972 г. Введен впервые. – М.: Министерство монтажных и специальных строительных работ СССР, 1972. – 27 с.
6. Корсун В.І. Порівняльний аналіз результатів розрахунків стовбура димової труби $H = 250$ м на дію вітрового навантаження / В.І. Корсун, Т.М. Віноградова, Ю.Ю. Калмиков та ін. // Сучасне промислове та цивільне будівництво. – 2010. – Т. 6, № 1. – С. 5–13.
7. Гринев В.Б. Расчет одномерных элементов конструкций / В.Б. Гринев, Т.Н. Алешечкина. – Х.: Изд-во Иванченко И.С., 2013. – 177 с.
8. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування: ДБН В.2.1-10-2009. – Чинний від 01.07.2009; на заміну СНиП 2.02.01-83. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 104 с.
9. Кам'яні та армокам'яні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-162-2010. – Чинний від 01.09.2011; на заміну СНиП 11.22-81. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 96 с.
10. Сооружения промышленных предприятий: СНиП 2.09.03-85. – Чинний від 01.01.1987; на заміну СНиП 11.91-77. / Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2006. – 66 с.

Рецензент: В.П. Кожушко, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 23 февраля 2015 г.