

DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-2-153-159

УДК 624.32.159.5

## О расчете кольцевых (замкнутых) в плане фундаментов\*

Инж. Л. С. Хасеневич<sup>1)</sup><sup>1)</sup>РУП «БелТЭИ» (Минск, Республика Беларусь)© Белорусский национальный технический университет, 2017  
Belarusian National Technical University, 2017

**Реферат.** В возведенных в конце 80-х – начале 90-х гг. XX ст. и эксплуатируемых в настоящее время четырех дымовых железобетонных трубах тепловых электростанций обнаружено практически полное отсутствие осадок, что не учитывается современными нормативными документами. Фундаменты данных труб разработаны в это же время, защищены патентами России и Беларуси и представляют собой кольцевые основания из погруженных вплотную друг к другу железобетонных свай, образующих своеобразную «стену в грунте» и объединенных монолитным железобетонным ростверком. Ростверк является прямым продолжением стен стволов труб. Одна из этих труб возведена в России, а три – в Беларуси. Поскольку и грунтовые условия, и нагрузки резко отличаются друг от друга, можно говорить о закономерности наблюдаемого явления. Несмотря на то что кольцевые фундаменты значительно снижают расход бетона и стали, уменьшают время строительства и объем трудозатрат, они не получили должного внимания у научной общественности и проектировщиков. В статье на конкретных примерах возведенных труб показана возможность применения расчетов, в которых эффективно используется пассивный отпор грунта. И расчеты, и конструкции существующих фундаментов позволяют оценить вероятность предлагаемой методики для аналогичных фундаментов, замкнутых в плане, не только для промышленных зданий и сооружений.

**Ключевые слова:** кольцевые фундаменты, замкнутые фундаменты, дымовые трубы, грунты, пассивный отпор, давление, зона теории выделенных объемов

**Для цитирования:** Хасеневич, Л. С. О расчете кольцевых (замкнутых) в плане фундаментов / Л. С. Хасеневич // *Наука и техника*. 2017. Т. 16, № 2. С. 153–159. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-2-153-159

## Calculation of Foundations with Circular (Closed) in-Plane Shapes

L. S. Khasenevich<sup>1)</sup><sup>1)</sup>RUE BelTEI (Minsk, Republic of Belarus)

**Abstract.** It has been found that four reinforced concrete flue stacks being constructed in late 80-ies and early in 90-ies of the 20<sup>th</sup> century and being operated at various thermal power stations show practically no settlement, and this fact is not taken into account by any applicable regulatory documents. Foundations of these stacks were designed at the same time and they have been protected by patents of Russian Federation and Republic of Belarus. They represent circular bases made of reinforced concrete piles buried tightly together and forming so-called “slurry wall” with common monolithic reinforced concrete grillage. The grillage presents a direct extension of the stack shaft. One of these stacks has been built in Russia, and three – in Belarus. Due to significant differences in soil conditions and loads in each case, it is a fair assumption to say about regularity of the observed phenomenon. Notwithstanding the fact that circular foundations significantly decrease steel and concrete consumption, construction period and labour input, they have not yet received adequate attention from the side of scientific community and designers. While considering specific examples of the constructed stacks the paper reveals an opportunity to apply calculations which efficiently use passive soil resistance. The presented calculations and designs of the existing foundations make it possible to assess probability of the proposed methodology for the foundations which are analogous in design and which have closed in-plane structure not only for industrial buildings and structures.

**Keywords:** circular foundation, closed loop foundation, flue stack, soil, passive resistance, pressure, TAV area

**For citation:** Khasenevich L. S. (2017) Calculation of Foundations with Circular (Closed) in-Plane Shapes. *Science and Technique*. 16 (2), 153–159. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-2-153-159 (in Russian)

### Адрес для переписки

Хасеневич Леонид Сулейманович  
РУП «БелТЭИ»  
ул. Романовская Слобода, 5,  
220048, г. Минск, Республика Беларусь  
Тел.: +375 17 226-54-54  
bsn@beltei.by

### Address for correspondence

Khasenevich Leonid S.  
RUE BelTEI  
5 Romanovskaya Sloboda st.,  
220048, Minsk, Republic of Belarus  
Tel.: +375 17 226-54-54  
bsn@beltei.by

\* Печатается в порядке обсуждения.

В конце 80-х – начале 90-х гг. XX ст. в Советском Союзе на объектах Белорусского отделения института ВНИПИэнергопром были защищены патентами, запроектированы и построены четыре фундамента железобетонных дымовых труб. Вначале возвели фундамент на площадке Курской ТЭЦ-1 для трубы высотой 180,0 м и диаметром устья 8,4 м; затем – на БелГРЭС для трубы высотой 90,0 м и диаметром устья 3,6 м; после – на Брестской ТЭЦ для трубы высотой 120,0 м и диаметром устья 4,2 м и, наконец, на последней – Пинской ТЭЦ для трубы высотой 150,0 м и диаметром устья 5,4 м. И стволы, и фундамента таких труб в соответствии с действующими тогда требованиями проектировались исключительно отделениями института «Теплопроект», субподрядчиками. Последние создавали проекты, ориентируясь на свои типовые разработки со сплошными или кольцевыми массивными фундаментами (если высота труб превосходила 180 м) на глубинах 4,5 м и более. На слабых грунтах массивные фундамента устанавливались на усиленное сваями грунтовое основание. Диаметры этих фундамента на 5–8 м превосходили наружные диаметры стволов труб в нижней части. Устанавливать их было необходимо на значительном расстоянии от существующих зданий и сооружений. Кроме всего прочего, бетонирование таких массивов вели непрерывно из-за опасности расслоения бетона. В условиях плотно застроенных площадок электростанций подобные работы были трудоемкими, в большинстве случаев необычайно дорогими.

Автором в конце 1980-х – начале 1990-х гг. разработаны решения, позволявшие устранить недостатки массивных фундамента, а заодно поставить не совсем обычную задачу – заставить работать грунт на гашение процессов колебания фундамента вместе со стволом своим объемом, а не весом и площадью массивного фундамента [1, 2]. В предложенных решениях такие фундамента являлись продолжениями стен стволов труб в виде погруженных в грунт вплотную друг к другу железобетонных свай, образующих кольцевую замкнутую «стену в грунте» [3–5]. На всех четырех объектах фундамента выполнены в соответствии с изобретениями без изменения конструкций самих

труб, разработанных в отделениях института «Теплопроект».

Схемы кольцевого фундамента и расположения свай в нем приведены на рис. 1, 2.

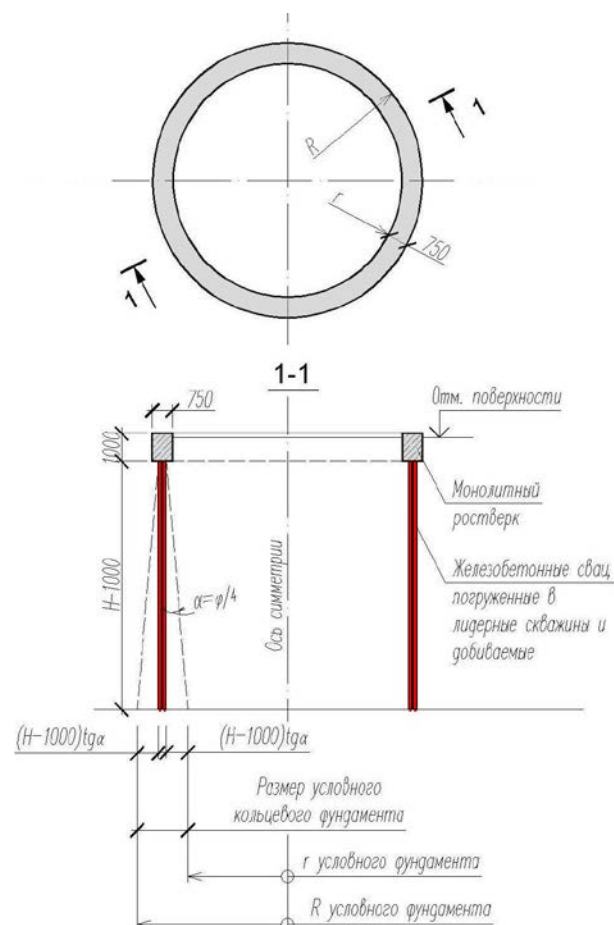


Рис. 1. Схема кольцевого фундамента

Fig. 1. Diagram of circular foundation

Предложенные конструкции не имели аналогов в мировой практике, а потому в условиях Курской ТЭЦ-1 были проведены статические испытания как отдельных свай (4 шт.), так и фрагментов из шести свай каждый (два фрагмента). Испытания для Курской ТЭЦ-1 показали предельную несущую способность отдельных свай 1400 кН, фрагментов – 4000 кН, для Пинской ТЭЦ – предельную несущую нагрузку отдельных свай 1200 кН. Упругие свойства грунтового основания по результатам испытаний учитывались при проектировании.

Показатели фундамента кольцевых дымовых труб в сравнении с решениями института «Теплопроект» для различных объектов приведены в табл. 1.

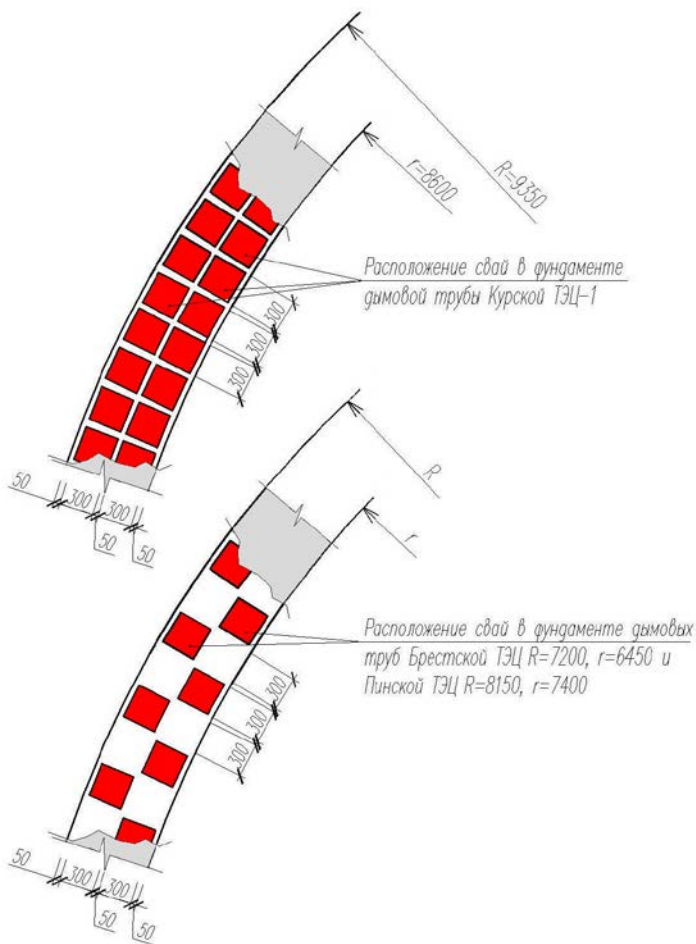


Рис. 2. Схема расположения свай в кольцевых фундаментах

Fig. 2. Location diagram of piles in circular foundations

В процессе возведения ствола трубы вели наблюдение за осадками, и их результаты оказались не совсем сопоставимыми с проведенными статическими испытаниями. Медленно нарастающая нагрузка и ветровое с кориолисовым ускорением воздействие не моделируются. Следует обратить внимание на разную степень зависимости труб с массивными «классическими» фундаментами с глубиной погружения до 4,5 м и с кольцевыми (более легкими, но более глубокими) от влияния ветрового давления и воздействия сил, связанных с кориолисовым ускорением. Известно, что кориолисовы силы действуют в северных широтах перпендикулярно направлению движения вправо, а в южных широтах соответственно влево. Следовательно, давление ветра приводит к движению ствола вместе с жестко с ним связанным фундаментом, а кориолисова сила при этом допол-

нительно такое движение смещает вправо. Центр тяжести суммарной массы «ствол – фундамент» находится для массивного фундамента значительно выше, чем для кольцевого. Его положение по высоте влияет на величину кориолисовых сил: чем выше и массивнее, тем больше. Порывы ветра заставляют ствол колебаться с большей частотой, чем ствол и фундамент от кориолисовой силы. Поэтому если при геометрическом сложении ветрового давления и кориолисовых сил появляются резонансные совпадения, то у фундамента с меньшей площадью пассивного отпора грунта и меньшей глубиной, что характерно для массивных фундаментов, появляется вероятность крена. У кольцевых фундаментов, более глубоких, в суммарную массу трубы и фундамента включается дополнительно выгороженный объем грунта. Боковая поверхность по глубине и площади превосходит глубину массивного фундамента, а потому пассивный отпор более эффективен.

В соответствии с табл. 2 параметров условных фундаментов, где  $\Sigma N = N + N_{\phi} + N_{гр}$  при  $\sigma > \sigma_{быт.}$ , необходимо вести расчеты по определению осадок. Но на всех объектах строительства после возведения труб произошла практически полная стабилизация грунта, осадки прекратились и даже через 10 лет замеры указывали на их отсутствие. Данное обстоятельство требовало найти причины такого положения с точки зрения современных строительных норм. Ведь опорные площади фундаментов были уменьшены в 10–11 раз, а моменты сопротивления площадей опирания – в 8–10 раз. Следовательно, искать причину практически полного отсутствия осадок необходимо было в сопротивлении боковых поверхностей кольца из свай – и изнутри, и снаружи.

По результатам работ на строительстве Курской ТЭС-1, по результатам испытаний, а также по предварительным расчетам и экономическому анализу фундамента дымовой трубы Пинской ТЭС Министерством архитектуры и строительства Республики Беларусь было разослано специальное рекомендательное письмо от 10.11.1997 № 06-1/7-7600 «О конструкциях фундаментов дымовых труб и других сооружениях башенного типа». Проектное решение попало в отчеты Госэкспертизы при Минстройархитектуры от 30.12.1997 № 531-7/97, т. е. она согласовала это решение.

Показатели фундаментов кольцевых дымовых труб в сравнении с решениями института «Теплопроект» для различных объектов

Indices of circular stack foundations in comparison with «Теплопроект» Institute solutions for various objects

Показатель	Дымовая труба			
	Курской ТЭЦ-1, $H = 180$ м, $D_0 = 8,4$ м	БелГРЭС, $H = 90$ м, $D_0 = 3,6$ м	Брестской ТЭЦ, $H = 120$ м, $D_0 = 4,2$ м	Пинской ТЭЦ, $H = 150$ м, $D_0 = 5,4$ м
Выемка грунта, м <sup>3</sup>	290 (5700)	120 (3600)	830 (5610)	490 (8860)
Обратная засыпка, м <sup>3</sup>	220 (4700)	100 (2800)	800 (4740)	440 (8400)
Сваи, шт./м <sup>3</sup>	248/265 (292/280)	48/30,5 (без свай)	146/131,4 (192/140)	96/70 (без свай)
Монолитный железобетон, м <sup>3</sup>	160 (958)	60 (330)	80 (457)	51 (540)
Стоимость, руб.	80500 (265000), в ценах 1991 г.	22360 (69000), в ценах 1984 г.	43020 (115724), в ценах 1984 г.	55440 (368540), в ценах 1991 г.
Трудозатраты, чел./ч	9559 (44500)	3985 (6500)	625 (3036)	1125 (15052)

Таблица 2

Параметры условных фундаментов  
Parameters of conventional foundation

Показатель	Условный фундамент		
	Курской ТЭЦ-1	Брестской ТЭЦ	Пинской ТЭЦ
$H-1$ , м (рис. 1)	11,5	7,5	11,5
$r_{\text{усл.ф.}}$ , м	7,45	5,76	6,04
$R_{\text{усл.ф.}}$ , м	10,45	7,84	9,46
$A_{\text{усл.ф.}}$ , м <sup>2</sup>	168,618	88,824	166,451
$\Sigma N$ , кН	144287	52399	102836
$\sigma$ , кН/м <sup>2</sup>	855,7	590,0	617,8
$\sigma_{\text{быт.}}$ , кН/м <sup>2</sup>	227,150	186,675	230,125

Однако при попытке сейчас спроектировать подобный фундамент экспертиза не позволит выполнить его из-за отсутствия такого понятия в классификационных областях применения фундаментов (табл. 5.1 ТКП 45-5.01-254-2012 «Основания и фундаменты зданий и сооружений»). Данное отношение экспертизы частично обосновано и тем, что в нормативной литературе не присутствует раздел «кольцевые фундаменты» и соответственно нет расчета замкнутых оболочек в грунте, заполненных грунтом. Например, в расчете опускного колодца предлагается рассматривать координату  $z_0$  центра поворота и угол поворота  $\omega$ , как элементы абсолютно жесткого стержня, по принципу расчета сваи [6–9]. Но размеры отдельно рассматриваемой жесткой сваи в плане и размеры опускного колодца абсолютно несопоставимы. Уже отпор грунта по лобовой поверхности может оказаться гораздо весомере, чем аналогичное сопротивление для сваи даже метровой шири-

ны. А распорное давление на боковые поверхности, не учтенное в расчетах на поворот, явно превратит предлагаемое решение в бессмысленные математические упражнения, ничего общего с реальным поведением опускного колодца под нагрузкой не имеющие. Кольцевой фундамент только наружной поверхностью напоминает опускной колодец, даже давление снаружи не является распорным. Давление и снаружи и изнутри – пассивный отпор, так как в отличие от изгибаемой распором стены опускного колодца оно вызвано предполагаемым продавливанием грунта узкой лентой фундамента шириной 650 мм. Следовательно, воздействие на фундамент оказывается противоположным направлению земного притяжения за счет трения по грунту боковых поверхностей снаружи и изнутри и отпорным по основанию. При расчете такого фундамента силы трения необходимо включать в формулы устойчивости и деформации системы.

Расчеты для определения несущей способности в соответствии с предложенной теорией выделенных объемов (ТВО) в [10] выполнялись при условии опирания острия свай на грунт с учетом сопротивления по боковым (краевым) поверхностям так называемой «луковицы давлений» ниже плоскости расположения острия свай. Такие зависимости возможны при проведении испытаний и последовательных нагрузках в процессе строительства. Нельзя исключать вероятность, что грунт ниже острия свай при полной передаче давления на кольцо в перечисленных случаях не подвергнется нерав-

номерной осадке. Такое положение необходимо учитывать и определять в расчетах.

В эксплуатационный же период грунт стабилизирован. Он плотно сжимает изнутри и снаружи кольцо из свай, имеющих тенденцию к предполагаемому движению по вертикали вниз за счет земного притяжения, и создает в грунте распор, т. е. пассивный отпор. Причем этот пассивный отпор становится преобладающим (по времени) над пассивным отпором ниже острия (в зоне ТВО). В условиях стабилизации он включается в работу раньше. Поэтому для режима эксплуатации вначале следует определить пассивный отпор в верхней зоне боковых поверхностей и вызываемые им силы трения, вычесть эти силы из суммарных нагрузок, а разницу, если она существует, приложить к зоне ТВО. Данное решение надо применять исключительно к кольцевым (или замкнутым в плане) фундаментам. Таким образом, получаем три последовательных расчета:

- расчет в стадии строительства (в зоне ТВО);
- эксплуатационный расчет верхней зоны;
- эксплуатационный расчет зоны ТВО (по необходимости).

У таких фундаментов пассивные отпоры верхней зоны изнутри и снаружи отличаются друг от друга. Считать несущую способность этих фундаментов по методу условных фундаментов неверно хотя бы потому, что данные расчетов (табл. 1, рис. 1) указывают на возможное появление осадок. Следует отметить необходимость сохранности существующего ненарушенного сложения грунтовой толщи. Данное обстоятельство обеспечивалось выполнением шнеками лидирующих скважин под каждую сваю, а в условиях Брестской ТЭЦ – забивкой свай.

На схеме рис. 3 изображен поперечный разрез кольцевого фундамента с действующими нагрузками и отпорными силами со стороны грунта. Собственный вес надземного строения  $N$ , опрокидывающий момент  $M$  и сдвигающее усилие  $Q$  приложены в верхней части у поверхности фундамента. Вес кольцевого фундамента из свай  $N_{\phi}$  распределен равномерно внутри

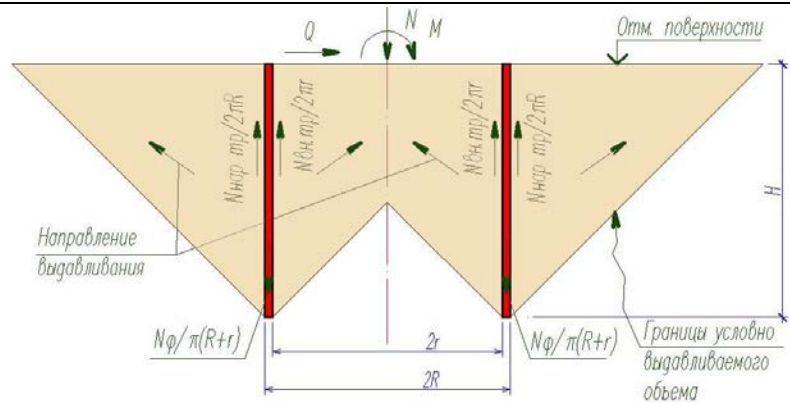


Рис. 3. Схема действующих на кольцо фундамента сил при эксплуатации  
Fig. 3. Diagram of forces acting on foundation circle during operation

и снаружи образующих: внутренней – диаметром  $d$ , внешней – диаметром  $D$ .

Нагрузка на грунтовое основание [11] в уровне острия свай при предварительном расчете давления на него без учета сопротивления грунта определяется по формуле

$$\sigma = \frac{N + N_{\phi}}{A} \pm \frac{M + QH}{W} \mp \frac{(N + N_{\phi})D}{2W}, \quad (1)$$

где  $A$  – площадь опирания;  $W$  – момент сопротивления опорной площади основания.

Для дымовых труб третий член (1) (давление от удерживающего момента) обычно на порядок больше второго члена уравнения (от опрокидывающего момента), и крены практически невозможны еще и из-за большой глубины передачи нагрузки. Поэтому все сводится к определению деформационных процессов по вертикали, т. е. возможности появления осадок. Для учета пассивного отпора  $E_1$  снаружи фундаментного кольца находим средневзвешенные значения удельного веса грунтов  $\gamma$ , сцепления  $c$  и угла внутреннего трения  $\phi$  для глубины заложения фундамента  $H$ . Изнутри определяем пассивный отпор  $E_2$  как объем условно выдавливаемого грунта с учетом его сил трения по поверхности свай и по грунту в пределах внутренней поверхности кольца. Отпор грунта с коэффициентом пассивного отпора  $K_p$  и снаружи, и изнутри определяли со средневзвешенными коэффициентами трения грунта по бетону и грунту и со средневзвешенными  $\gamma$ ,  $\phi$  и  $c$ .

Таким образом, для определения действительной нагрузки в уровне острия свай следует из веса ствола и фундамента вычесть силы трения по поверхностям снаружи и изнутри:

$$A = \pi \frac{D^2 - d^2}{4}; E_1 = \pi DH \frac{\gamma HK_p + 2c\sqrt{K_p}}{2};$$

$$E_2 = \pi d^2 \gamma \left( H - \frac{1}{6K_p} \right) + \pi d H 2c\sqrt{K_p}.$$

Тогда силы трения по наружной поверхности

$$N_{нар.тр} = \left( f_1 \frac{nb}{\pi D} + f_2 \frac{\pi D - nb}{\pi D} \right) E_1, \quad (2)$$

где  $n$  – число свай в наружном или во внутреннем ряду;  $b$  – размер стороны сваи;  $f_1$  – средневзвешенный коэффициент трения грунта о бетон снаружи;  $f_2$  – то же грунта о грунт.

Силы трения по внутренней поверхности

$$N_{вн.тр} = \left( f_1 \frac{nb}{\pi d} + f_2 \frac{\pi d - nb}{\pi d} \right) E_2. \quad (3)$$

Эти силы противодействуют давлению суммарного веса ствола и фундамента. В таком случае нагрузка, приходящаяся на грунт в уровне острия свай:

$$N_{\Sigma} = N + N_{\phi} - N_{нар.тр} - N_{вн.тр}. \quad (4)$$

Расчеты (табл. 3) для фундамента дымовой трубы Курской ТЭЦ-1 показали, что суммарная расчетная вертикальная нагрузка ствола и фундамента 113865 кН меньше удерживающих сил при учете пассивного отпора грунта изнутри и снаружи кольца глубиной 12,5 м. Силы трения на преодоление отпора не позволяют 248 сваям передавать нагрузку на грунт в уровне острия. Поэтому осадка оказалась невозможной. Кольцевые фундаменты Брестской и Пинской ТЭЦ находятся в таком же положении. Данных инженерно-геологических изысканий по фундаменту дымовой трубы БелГРЭС, а соответственно и расчетов по истечении времени, автору до настоящего времени не удалось отыскать. Но поскольку ему пришлось быть участником проведения работ при отрывке котлована и погружении свай, то можно уверенно утверждать о глинистом составе грунтов. Верхние 1,5 м грунтов котлована были представлены сильно обводненными заторфованными глинистыми соединениями, а ниже их подстилали супеси, суглинки и песчаные линзы.

Как видно из табл. 3, нагрузка, приходящаяся на грунт в уровне острия свай, т. е. в уровне зоны ТВО, отсутствует. И, следовательно, отсутствует осадка.

Таблица 3

Определение суммарных нагрузок на фундамент  
Determination of total loads on foundation

Показатель	Кольцевой фундамент		
	Курской ТЭЦ-1	Брестской ТЭЦ	Пинской ТЭЦ
$d$ , м	17,3	13,0	14,9
$D$ , м	18,6	14,3	16,2
$M$ , кН·м, на отм. 0.00	187460	34450	55850
$N$ , кН, на отм. 0.00	103240	34860	63080
$Q$ , кН, на отм. 0.00	1320	370	481
$A$ , м <sup>2</sup>	36,6360, плоскость на отм. -12.5 м	27,8597, плоскость на отм. -8.5 м	31,7376, плоскость на отм. -12.5 м
$E_1$ , кН	205279	101719	232686
$E_2$ , кН	85993	59031	77845
$N_{нар.тр}$ , кН	82254	42308	109590
$N_{вн.тр}$ , кН	32154	24687	35277
$N + N_{\phi}$ , кН	113865	40145	69485
$n_{свай}$ , шт.	248 при $L = 12$ м	146 при $L = 8$ м	96 при $L = 12$ м
$N_{\Sigma}$ , кН	-543	-26850	-75382
Выводы по фундаменту	Защемлен изнутри и снаружи	Защемлен изнутри и снаружи	Защемлен изнутри и снаружи

## ВЫВОДЫ

1. Анализируя проведенные исследования, автор считает необходимым ввести в ТКП 45-5.01-254-2012 «Основания и фундаменты зданий и сооружений» и в аналогичные нормативные документы понятия «кольцевые или замкнутые в плане фундаменты из элементов «стены в грунте» с разъяснениями, что сваи в этом случае являются указанными элементами.

2. Для кольцевых или замкнутых в плане фундаментов, а также для свай вообще, учитывая значительную разницу результатов испытаний и замеров осадок в процессе строительства, расчеты вести с учетом пассивного отпора грунта раздельно в строгой последовательности:

- в стадии строительства – в зоне опирания свай (в зоне выделенных объемов – ТВО);
- в стадии эксплуатации – по боковым поверхностям изнутри и снаружи;
- в стадии эксплуатации – в зоне опирания свай (в зоне теории выделенных объемов при соблюдении условия  $N + N_{\phi} > N_{\text{нар.тр}} + N_{\text{вн.тр}}$ , т. е. когда вес ствола и фундамента превосходит сопротивление грунта по боковым поверхностям).

3. Расчеты любых фундаментов (не только замкнутых и не только свайных) правильнее выполнять с учетом пассивного отпора грунта по боковым поверхностям и в зоне теории выделенных объемов, ниже опорной плоскости.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Фундамент сооружения: пат. 1790644 USSR: МКИ<sup>5</sup>Е 02D 27/42 / Л. С. Хасеневич; дата публ. 23.01.1993.
2. Фундамент сооружения: пат. 1150 ВУ; МКИ<sup>5</sup>Е 02D 27/42, 5/20 / Л. С. Хасеневич; дата публ.: 14.06.1996.
3. Способ возведения «стены в грунте»: пат. 1827410 USSR; МКИ<sup>5</sup>Е 02 D 5/20 / Л. С. Хасеневич; дата публ.: 15.07.1993.
4. Способ возведения «стены в грунте»: пат. 1149 ВУ; МКИ<sup>5</sup> Е 02 D 5/20 / Л. С. Хасеневич; дата публ.: 14.06.1996.
5. Способ образования фундамента дымовой трубы: пат. 2049857 RU; МКИ<sup>5</sup> Е 02D 27/42, 5/20 / Л. С. Хасеневич; дата публ.: 10.12.1995.
6. Основания и фундаменты: справ. / под ред. Г. И. Швецова. М.: Высш. шк., 1991. С. 189–211.
7. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения. Строительные нормы проектирования:

ТКП 45-5.01-254-2012. Введ. 01.07.2012. Минск: Минстройархитектуры, 2012. 102 с.

8. Проектирование и устройство свайных и траншейных стен: П 14-01 к СНБ 5.01.01–99. Введ. 01.01.2002. Минск: Минстройархитектуры, 2001. 64 с.
9. Свайные фундаменты: СНиП 2.02.03–85. Введ. 01.01.1987. М.: Госстрой, 1985.
10. Хасеневич, Л. С. Теория выделенных объемов (ТВО), или Устойчивость грунтовых стен траншей в методе «стена в грунте» и расчет фундаментов / Л. С. Хасеневич. 2-е изд. перераб. и доп. Минск: Изд. центр БГУ, 2011. 156 с.
11. Coriolis, G. Sur Les Equation du Movement Corps / G. Coriolis // Journ Ecole Politechn // Journ. Ecole Polytechn. 1835. Vol. 15, No 24. P. 142–154.

Поступила 31.10.2016

Подписана в печать 04.01.2017

Опубликована онлайн 28.03.2017

## REFERENCES

1. Khasenevich L. S. (1993) Foundations of Buildings. Patent USSR No 1790644 (in Russian).
2. Khasenevich L. S. (1996) Foundations of Buildings. Patent Republic of Belarus No 1150 (in Russian).
3. Khasenevich L. S. (1993) Method for “Slurry Wall” Construction. Patent USSR No 1827410 (in Russian).
4. Khasenevich L. S. (1996) Method for “Slurry Wall” Construction: Patent Republic of Belarus No 1149 (in Russian).
5. Khasenevich L. S. (1995) Method for Construction of Flue Stack. Patent Russian Federation No 2049857 (in Russian).
6. Shvetsov G. I. (ed.), Noskov I. V., Slobodyan A. D., Gokova G. S. (1991) *Foundation Engineering: Reference Book*. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 189–211 (in Russian).
7. ТКП 45-5.01-254-2012. Foundation Engineering for Buildings and Structures. Principal Provisions. Construction and Design Standards. Minsk, Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus, 2012. 102 (in Russian).
8. Appendix 14-01 to СНБ 5.01.01–99 [Construction Standards of the Republic of Belarus]. Design and Construction of Piled and Trench Walls. Minsk, Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus, 2001. 64.
9. СНиП 2.02.03–85 [Construction Rules and Regulations]. Piled foundations. Moscow, State Committee for Construction Publishing House, 1985.
10. Khasenevich L. S. (2011) *Theory of Allocated Volumes (TAV) or Stability of Trench Soil Walls in “Slurry Wall” Method and Calculation of Foundations*. 2<sup>nd</sup> ed. Minsk, Belarusian State University Publishing Centre. 156 (in Russian).
11. Coriolis G. (1835) Sur Les Equation du Movement Corps. *Journ. Ecole Polytechn*, 15 (24), 142–154.

Received: 31.10.2016

Accepted: 04.01.2017

Published online: 28.03.2017