

*Сернов В. А., к.т.н., доцент  
Сороко Р.А., аспирант  
Белорусский национальный технический университет*

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТРОЙСТВА ЛОКАЛЬНЫХ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ В ОСНОВАНИИ ФУНДАМЕНТНЫХ ПЛИТ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ**

*Опредено, что в настоящее время, при строительстве высотных зданий фундаменты выполняются в виде сплошных плит, потому что в связи с увеличением нагрузок на основание часто осадки плитных фундаментов превышают предельно допускаемые значения и в основании плиты устраивается сплошное свайное поле, даже при залегании у поверхности относительно прочных грунтов. В таких случаях первоочередной задачей для проектировщиков становится максимальное использование несущей способности основания и снижения стоимости фундаментов. Доказано, что одним из путей повышения несущей способности свайных фундаментов является учет сопротивления грунта основания фундаментной плиты. Такой подход позволяет сократить количество свай в фундаменте или уменьшить их длину. Рассмотрены особенности проектирования и производства работ при устройстве свайных, свайно-плитных и плитно-свайных фундаментов. Оценена экономическая эффективность устройства локальных буронабивных свай в основании фундаментных плит высотных зданий.*

**Ключевые слова:** свая, фундаментная плита, осадка, эффективность.

*Сернов В. А., к.т.н., доцент  
Сороко Р.А., аспирант  
Білоруський національний технічний університет*

## **ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВЛАШТУВАННЯ ЛОКАЛЬНИХ БУРОНАБИВНИХ ПАЛЬ В ОСНОВІ ФУНДАМЕНТНИХ ПЛИТ ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ**

*Визначено, що сьогодні при будівництві висотних будівель фундаменти виконуються у вигляді суцільних плит у тому що, у зв'язку зі збільшенням навантажень на основу, часто опади плитних фундаментів перевищують гранично допустимі значення і в основі плити влаштовується суцільне пальове поле, навіть при заляганні біля поверхні щодо міцних ґрунтів. У таких випадках першочерговим завданням для проектувальників стає максимальне використання несучої здатності основи і зниження вартості фундаментів. Доведено, що одним із шляхів підвищення несучої здатності пальових фундаментів є облік опору ґрунту основи фундаментної плити. Такий підхід дозволяє скоротити кількість паль у фундаменті або зменшити їх довжину. Розглянуто особливості проектування і виробництва робіт при влаштуванні пальових, і свайно-плитних і плитно-пальових фундаментів. Оцінено економічну ефективність пристрою локальних буронабивних паль в основі фундаментних плит висотних будівель.*

**Ключові слова:** паля, фундаментна плита, осідання, ефективність.

Sernov V., PhD, Associate Professor  
Soroko R., postgraduate  
Belorussian National Technical University

## ESTIMATION OF EFFICIENCY OF LOCAL BORED PILES IN THE BASE OF HIGH-RISE BUILDING RAFT FOUNDATIONS

*Currently in high-rise building to avoid intolerable relative settlement of separate constructions raft foundations are used. In connection with excessive loads base settlement often exceeds assumed value. In that case pile foundations are used. Often pile foundations are applied in comparative favorable ground conditions at the surface of the base. In such cases increase the bearing capacity of foundations and reduce construction cost are questions of first-rate importance for designers. One of the ways to increase the bearing capacity of a piled foundation is taking into account soil resistance in the base of the raft. Piled raft is similar to shallow foundation and can transfer significant part of the load into the base. It allows reducing number of pile in the foundation or shortening their length. As a result building terms and foundation costs reduce considerably. However nowadays there is no reliable and suitable in design practice methods of calculation pile foundations with bearing rafts. In order to devise such methods we have analyzed the results of piled foundation tests fulfilled by various authors up to date and have carried out series of field investigations. The review of the latest sources of research and publications was carried out. The most important research results carried out by Prof. V. N. Golubkov, Prof. A. A. Bartolomey, Prof. R. Katzenbach et al. were considered. The part of the load that the raft carries grows up when the pile length is reduced and the space between piles is increased. Some test results carried out by different authors confirm it. It has been found experimentally that the soil under the raft in the pile space does not settle with a pile group and in spite of traditional design approaches can resist a considerable part of the external load. Design and construction operations features in construction of piled foundations, piled-raft foundations and raft-piled foundations are described. It has been found that bearing capacity of soil in the base of raft foundations is large enough and only excessive deformations should be checked to avoid serviceability limit state. In case of calculated value of deformations exceed serviceability criteria local bored piles is the most effective method to reduce it. Piles are implemented under load-bearing structures of the building frame. To decrease pile-raft interaction length of the piles should be more than active zone of foundation bed under the raft. Pile space should be large enough to allow the soil compacting at the surface with vibrator. The efficiency of local bored piles in the base of high-rise building raft foundations was estimated by means of finite element method. Application of local bored piles carried 30% of total force reduce reinforcement of the foundation raft by 20-35%. Settlement of raft-piled foundation cut by half in comparison with shallow raft foundation. In a few instances cost of raft-piled foundation can be less than cost of raft foundation*

**Keywords:** pile, raft foundation, settlement, efficiency.

**Введение.** В настоящее время при строительстве высотных зданий фундаменты выполняются в виде сплошных плит. При отсутствии под фундаментной плитой малопрочных грунтов несущая способность основания значительно превышает давления под ее подошвой. В таких случаях расчеты основания выполняются только по второй группе предельных состояний, по деформациям. Однако при ширине фундаментной плиты более 16 м и давлениях в ее основании, превышающих 0,5 МПа, даже при наличии в основании относительно прочных грунтов расчетные осадки здания часто превышают допустимые значения. Это приводит к дорогостоящим мероприятиям по закреплению грунтов либо к переходу на свайный вариант.

Большая стоимость устройства свайных фундаментов под высотные здания, особенно в стесненных условиях городской застройки, заставила искать новые пути повышения их эффективности, одним из которых является уточнение расчетных схем и методов расчета. Как показали многочисленные экспериментальные исследования, при обеспечении контакта фундаментной плиты с грунтом часть внешней нагрузки передается на основание через ее подошву. Учет сопротивления грунта в основании фундаментной плиты позволяет уменьшить количество свай в сравнении с традиционным свайным фундаментом. Несмотря на высокую эффективность свайно-плитных фундаментов и достаточно большой опыт их применения, до настоящего времени не решен ряд вопросов по расчету этих конструкций. Наиболее важным из них является оценка взаимного влияния отдельных элементов фундамента. Например, взаимодействие свай в группе и взаимодействие группы свай с фундаментной плитой.

**Анализ последних источников исследований и публикаций.** Впервые вопрос об учете сопротивления грунта в основании ростверка при расчете свайного фундамента был рассмотрен К.И. Добровольским в 1935 г. В дальнейшем, начиная с 1937 г., В.Н. Голубковым было проведено большое количество натурных испытаний пирамидальных и призматических свай и свайных фундаментов с несущими ростверками в глинистых грунтах [1, 2]. Исследования показали, что при включении ростверка в работу несущая способность фундамента возрастает от 33 до 137% в зависимости от длины свай и площади подошвы ростверка. Результаты испытаний пирамидальных свай с ростверками, полученные В. Н. Голубковым, хорошо согласуются с исследованиями В.А. Юдина [3]. Испытания призматических забивных свай с фрагментами ростверков, проведенные Д.Е. Аршакуни и др. [4] в глинистых грунтах, показали, что при включении ростверка в работу несущая способность фундамента возрастает на 33 – 70% в зависимости от площади фрагмента. Огромное значение в изучении данного вопроса имеют исследования, проведенные под руководством А.А. Бартоломея [5]. Комплекс натурных и модельных испытаний фундаментов из забивных свай показал, что несущая способность последних возрастала на 6 – 74% при включении в работу ростверка. Эффективность ростверка возрастала при уменьшении длины свай с 12 до 6 м и увеличении шага свай с 3 до 6d (d – диаметр сваи).

Экспериментальные исследования, указанные выше, показали, что осадка групп свай значительно снижается при включении ростверка в работу. Этот факт противоречит традиционному предположению, что межсвайный грунт оседает вместе со сваями и не способен воспринимать нагрузку от ростверка. Исследования траектории движения частиц грунта в основании забивных свай и ростверка, проведенные В.А. Кондрашовым [6], показали, что при осадке группы свай без ростверка деформации межсвайного грунта происходят лишь в непосредственной близости от боковых поверхностей свай и под их нижними концами. Грунт межсвайного пространства оседает при включении в работу ростверка. Эпюры деформаций грунта под ростверком и фундаментом на естественном основании аналогичны. Данные, полученные В. А. Кондрашовым, хорошо согласуются с исследованиями

Л.Д. Козачка [7]. Экспериментально установлено, что распределение напряжений в основании ростверка аналогично фундаменту на естественном основании. Данные выводы подтверждаются результатами исследований деформаций грунта межсвайного пространства глубинными марками в лаборатории свайных фундаментов НИИОСПа [8] и В.А. Юдина [3].

Анализ экспериментальных данных показал, что эффективность включения ростверка в работу фундамента зависит от грунтовых условий строительной площадки, типа свай и способов их устройства.

Впервые в Германии свайно-плитный фундамент был применен при строительстве 30-этажного здания Мессе-Торхауса. Фундамент состоит из двух отдельных плит, каждая из которых опирается на 42 буронабивные сваи длиной 20 м и диаметром 0,9 м. В сваях и под фундаментными плитами были установлены приборы для измерения давлений и перемещений. Было установлено, что фундаментные плиты передают на грунт около 20% нагрузки от сооружения [9]. Распределение нагрузок на сваи оказалось неравномерным. Наибольшую нагрузку воспринимают угловые сваи, меньшую – боковые и самую малую – сваи, находящиеся внутри фундамента. Такое неравномерное распределение нагрузок связано с уменьшением сил трения вдоль боковой поверхности ближе к центру фундамента.

Опыт устройства фундамента под Мессе-Торхаус указал на потенциальную возможность повышения несущей способности свайно-плитного фундамента за счет увеличения доли нагрузки, воспринимаемой центральными сваями. Этот резерв несущей способности был реализован при строительстве 256-метровой башни Мессетурм, которая стала высочайшим административным зданием Европы. Фундамент состоит из фундаментной плиты и 64 буронабивных свай диаметром 1,3 м, расположенных по трем концентрическим окружностям под фундаментной плитой. Данные наблюдений показывают, что фундаментная плита воспринимает 45% нагрузки от сооружения [9]. Исследования показали, что силы трения вдоль боковой поверхности сваи в составе свайно-плитного фундамента значительно выше, чем у одиночной сваи.

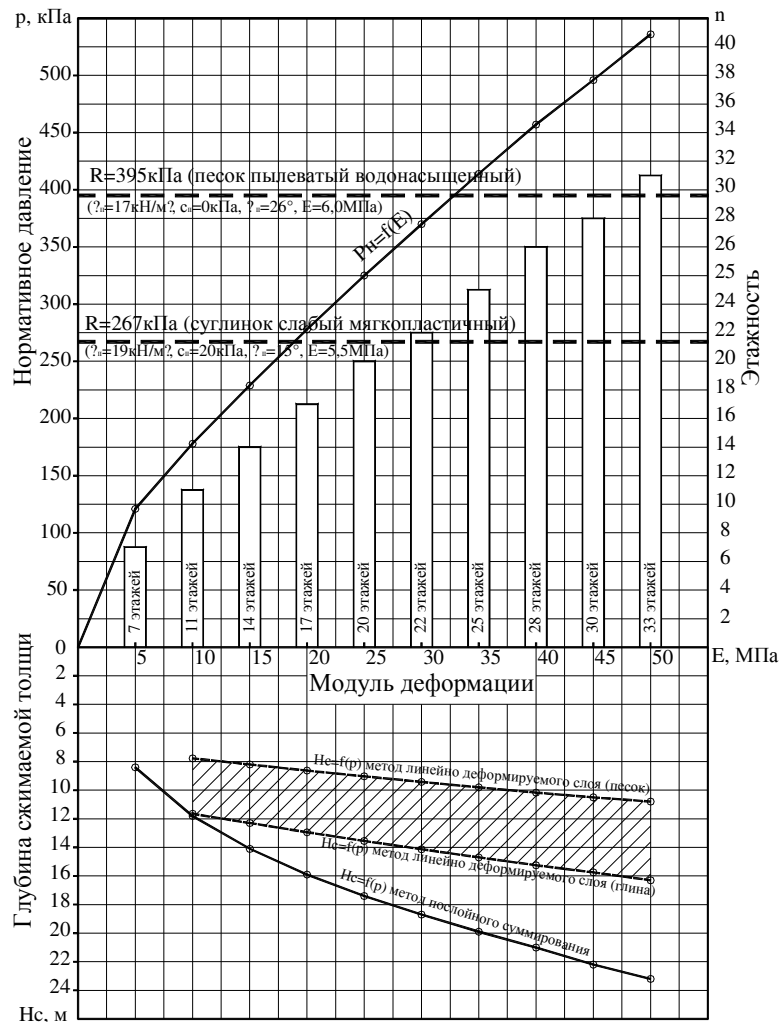
Применение свайно-плитных фундаментов во Франкфурте-на-Майне позволило уменьшить осадку фундамента более чем на 50% в сравнении с плитой на естественном основании и снизить стоимость фундамента более чем на 60% в сравнении с традиционным свайным фундаментом.

**Выделение не решенных ранее частей общей проблемы.** Экспериментально установлено, что в основании свайно-плитного фундамента возникает сложное напряженно-деформированное состояние. В результате взаимодействия свай в группе и с фундаментной плитой нагрузка на отдельные сваи в фундаменте распределяется неравномерно. До настоящего времени не разработано общепризнанной методики расчета свайно-плитного фундамента, позволяющей достоверно учесть взаимное влияние отдельных его элементов.

**Постановка задачи.** Задача состоит в исследовании разных типов фундаментов высотных зданий и выявлении наиболее эффективного варианта фундамента.

**Основной материал и результаты.** При проектировании фундаментов зданий и сооружений должна быть обеспечена надежность конструкций при минимальной стоимости строительно-монтажных работ. Принято считать, что для высотного здания наиболее оптимальной конструкцией фундамента, соответствующей критериям надежности и экономичности, является сплошная плита на естественном основании. При отсутствии в основании малопрочных грунтов в подавляющем большинстве случаев расчетное сопротивление грунта  $R$  значительно больше нормативного давления под фундаментной плитой  $p_n$ .

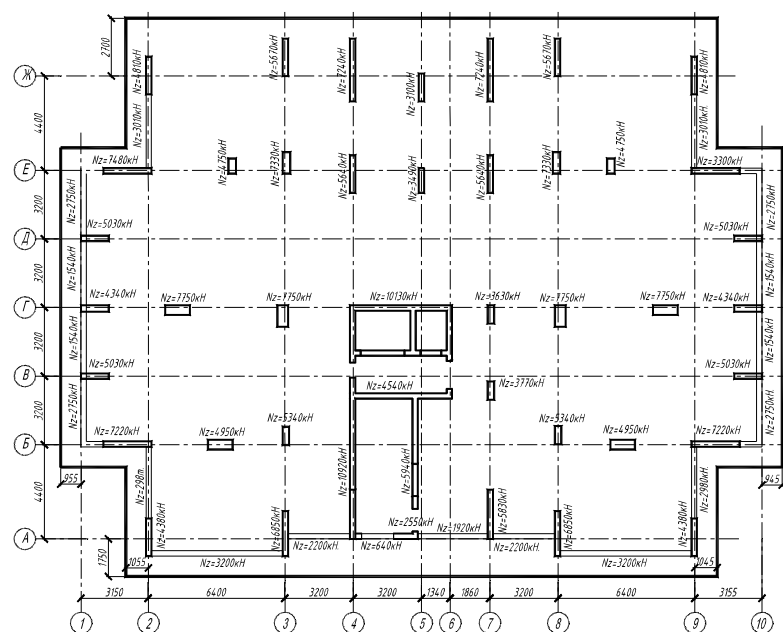
Выполнять расчет несущей способности основания в таких случаях нет необходимости. Определяются только деформации сооружения для сравнения их с предельно допускаемыми значениями. На рисунке 1 приведены графики зависимости максимальной этажности здания  $n$  и глубины сжимаемой толщи  $H_c$  от среднего значения модуля деформации грунтов  $E$  в основании.



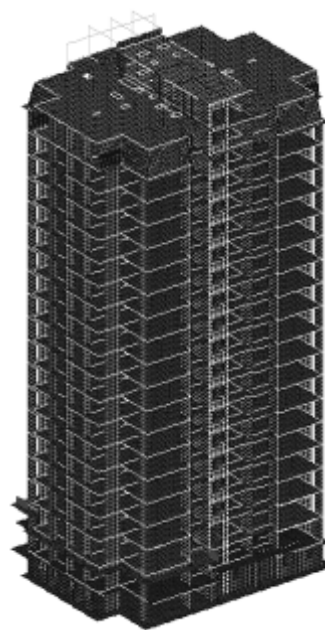
**Рисунок 1 – Графики зависимости максимальной этажности здания  $n$  и глубины сжимаемой толщи  $H_c$  от модуля деформации грунтов основания  $E$**

Эти графики построены для фундаментной плиты 19-этажного жилого дома (рисунки 2 и 3). По ним можно определить область применения фундамента в виде сплошной плиты из условия, что расчетная осадка здания  $s$  определяется методом послойного суммирования, а предельная средняя осадка составляет  $s_u=120$  мм. Например, при среднем модуле деформации грунтов основания  $E_{cp}=5$  МПа из расчета по второй группе предельных состояний на фундаментной плите можно построить не более семи этажей. При этом среднее давление под подошвой фундамента составит около  $p_n=120$  кПа. Для сравнения на рисунке 1 горизонтальными пунктирными линиями показаны расчетные сопротивления слабых глинистых и песчаных грунтов с подобными модулями деформации (соответственно  $E=5,5$  МПа и  $E=6$  МПа). Для мягкопластичного суглинка расчетное сопротивление  $R=267$  кПа, а для водонасыщенного пылеватого песка  $R=395$  кПа. Из данного примера можно сделать

вывод, что прочностные свойства грунтов в основании фундаментной плиты в значительной мере недоиспользуются. Несущая способность основания будет обеспечена и при осадках здания, превышающих предельно допускаемые значения  $s_{и}$ .



**Рисунок 2 – Схема расположения несущих элементов каркаса и нормативных нагрузок на обрезы фундаментных плит 19-этажного жилого дома**



**Рисунок 3 – КЭ-модель монолитного каркаса жилого дома**

Традиционным способом уменьшения осадки основания, позволяющим увеличить количество этажей здания, является устройство свайного фундамента. При проектировании свайного фундамента предполагается, что вся нагрузка от сооружения передается на основание группой свай. В соответствии с ТКП 45-5.01-254-2012 «Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения» количество свай в составе фундамента определяется в зависимости от расчетной нагрузки на фундамент, его собственного веса и несущей способности свай. При расчете количества свай учитываются коэффициенты надежности по нагрузке  $\gamma_f$ , по ответственности объекта  $\gamma_n$ , по методу определения несущей способности сваи по грунту  $\gamma_k$ , а так же коэффициент группового эффекта свай. В результате фактическая нагрузка на сваю после возведения здания до двух раз меньше ее несущей способности, определяемой по результатам испытаний, а шаг свай в большинстве случаев не превышает  $3 - 3,5d$  ( $d$  – диаметр сваи). Кроме того, эффективное снижение расчетной осадки высотного здания на сплошном свайном поле может произойти только при уменьшении глубины сжимаемой толщи грунта, а для этого потребуются значительная длина свай. Таким образом, переход на свайный вариант приведет к существенному удорожанию строительно-монтажных работ и увеличению сроков строительства.

Уменьшить стоимость работ нулевого цикла можно за счет передачи части нагрузки на основание фундаментной плитой. В настоящее время в некоторых литературных источниках можно встретить условное разделение таких фундаментов на свайно-плитные (более 50% нагрузки передается на грунты сваями) и плитно-свайные (более 50% нагрузки передается фундаментной плитой). В свайно-плитном фундаменте (СПФ) основным несущим элементом являются сваи, а расчет свайного поля

выполняется по первой группе предельных состояний. По причинам, указанным выше, сваи в СПФ будут недогружены, а их шаг составит около  $3,5 - 4,5d$ . При таком шаге необходимо учитывать взаимное влияние элементов фундамента, которое будет существенно влиять на его осадку. Кроме усложнения расчетных схем, могут возникнуть трудности с включением в работу фундаментной плиты. Как показал опыт устройства СПФ в г. Минске, при выполнении свай верхняя часть основания часто бывает нарушена строительной техникой. Перед устройством бетонной подготовки под фундаментную плиту потребуется доуплотнение грунтов в этой зоне, а иногда и втрамбовывание щебня. В связи со стесненностью условий, значительный объем работ выполняется вручную, что приводит к их удорожанию, особенно в зимний период.

При устройстве плитно-свайных фундаментов (ПСФ) их несущая способность обеспечивается сопротивлением грунта в основании плиты, а сваи требуются только для уменьшения осадки здания. Для достижения максимального эффекта сваи располагаются локально под колоннами и несущими стенами здания. Желательно под колонну устанавливать по одной буронабивной свае диаметром не менее 500 мм и длиной, превышающей глубину сжимаемой толщи грунта  $H_c$  в основании фундаментной плиты (рисунок 1). При такой расстановке свай среднее расстояние между ними превысит  $6d$  и их взаимное влияние будет минимальным. Наиболее достоверно жесткость можно определить по графикам испытаний опытных свай статическими нагрузками. При невозможности или нерациональности устройства свай длиной более  $H_c$  потребуется корректировка их жесткости с учетом осадки основания под ее нижним концом.

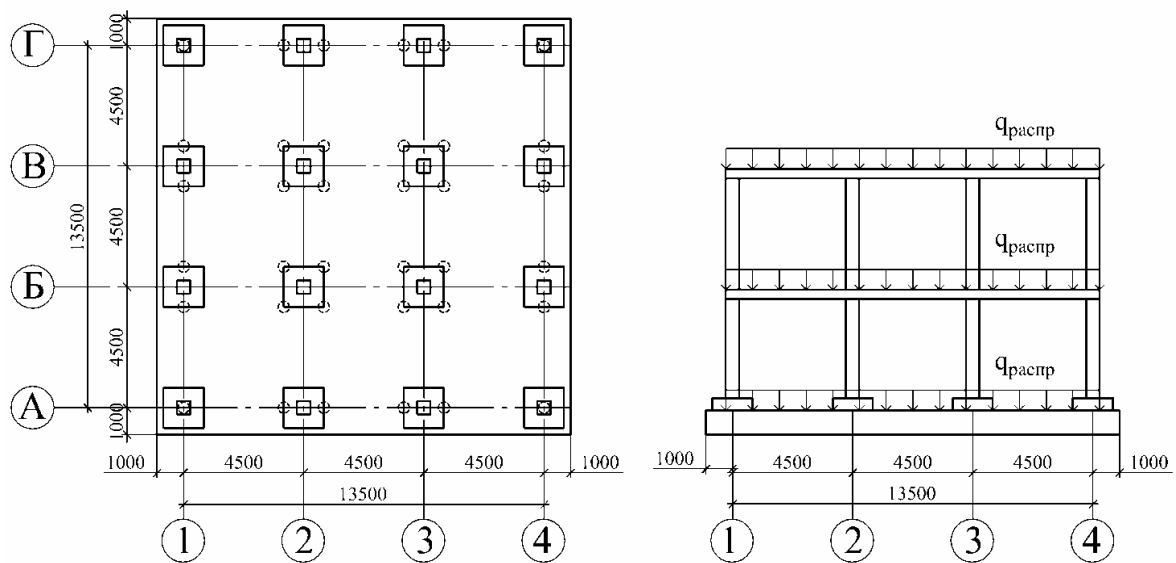
ПСФ с локальным расположением свай под несущими элементами каркаса здания обладают рядом преимуществ в сравнении с СПФ. Во-первых, простота расчетной схемы. При достаточно большом шаге сваи работают как одиночные, а фундамент рассчитывается как плита на естественном основании. Сваи можно заменить обратной реакцией, равной допускаемой нагрузке на сваю, полученной по результатам испытаний статической нагрузкой с учетом коэффициента надежности  $\gamma_k$ . Во-вторых, поверхность дна котлована гораздо меньше подвержена разрушению строительной техникой, а если требуется доуплотнение верхнего слоя грунта, расстояние между сваями позволяет механизировать эти работы. В-третьих, при устройстве локальных свай под несущими элементами каркаса уменьшаются моментные усилия в фундаментной плите и, соответственно, снижается ее армирование. Стоимость фундаментной плиты в этом случае гораздо меньше, чем при устройстве СПФ и даже плиты на естественном основании.

Для оценки эффективности устройства локальных буронабивных свай в основании фундаментной плиты были выполнены расчеты фрагмента плитно-свайного фундамента (рисунок 4) с использованием программного комплекса «ЛИРА САПР 2014» с системой «ГРУНТ».

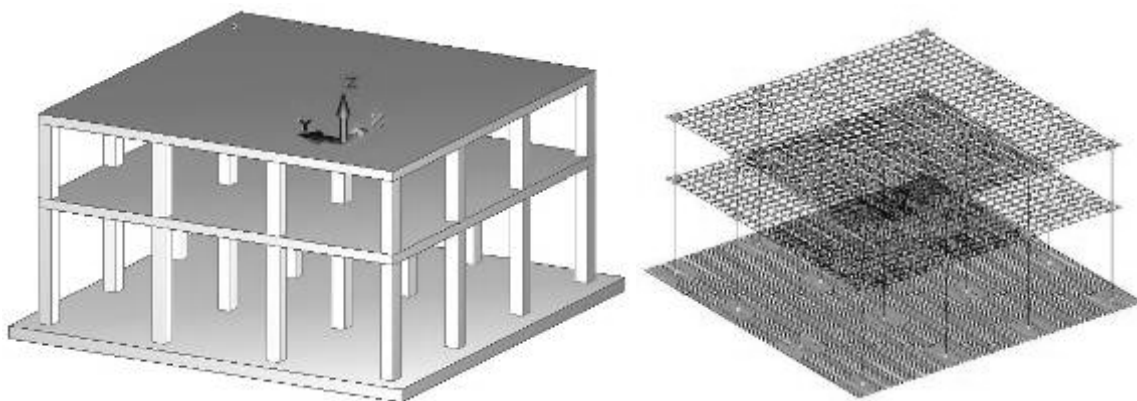
Шаг колонн в продольном и поперечном направлениях принят 4,5 м, размеры плиты в плане – 15,5 м.

Фрагмент загружен равномерно распределенной нагрузкой, принятой таким образом, чтобы среднее давление под подошвой плиты составляло 400 кПа. Варьировались толщина плиты ( $h_1=0,45$  м,  $h_2=0,60$  м и  $h_3=0,90$  м) и модуль деформации грунта основания ( $E_1=10$  МПа,  $E_2=12,5$  МПа,  $E_3=15$  МПа,  $E_4=17,5$  МПа и  $E_5=20$  МПа).

Система «Грунт» ориентирована на автоматическое определение переменного по площади фундаментной плиты коэффициента постели. С помощью итерационного метода производилось уточнение давления под подошвой фундамента. Для ПСФ модель была дополнена конечными элементами КЭ56 в местах расположения свай (рисунок 5).



**Рисунок 4 – Фрагмент плитно-свайного фундамента**



**Рисунок 5 – Общий вид расчетной модели**

Сваи расставлялись под несущими вертикальными конструкциями в пределах пирамиды продавливания фундаментной плиты. Количество свай назначалось из условия восприятия ими 30 – 35% от общей нагрузки от здания, а расстановка пропорционально грузовым площадям. Жесткость КЭ56 по направлению действия вертикальной нагрузки назначалась с учетом расчетной нагрузки на сваю  $N=1000$  кН и максимальной осадки сваи  $s=16$  мм. Жесткость получена делением расчетной нагрузки на максимальную осадку  $K=62500$  кН/м. Результаты расчета осадки фрагментов плитных фундаментов на естественном основании и ПСФ приведены в таблице 1. При передаче 30 – 35% нагрузки на сваи осадка фундамента уменьшилась в среднем в два раза. С увеличением модуля деформации основания усилия в сваях уменьшаются, а доля нагрузки, воспринимаемая плитой, увеличивается.

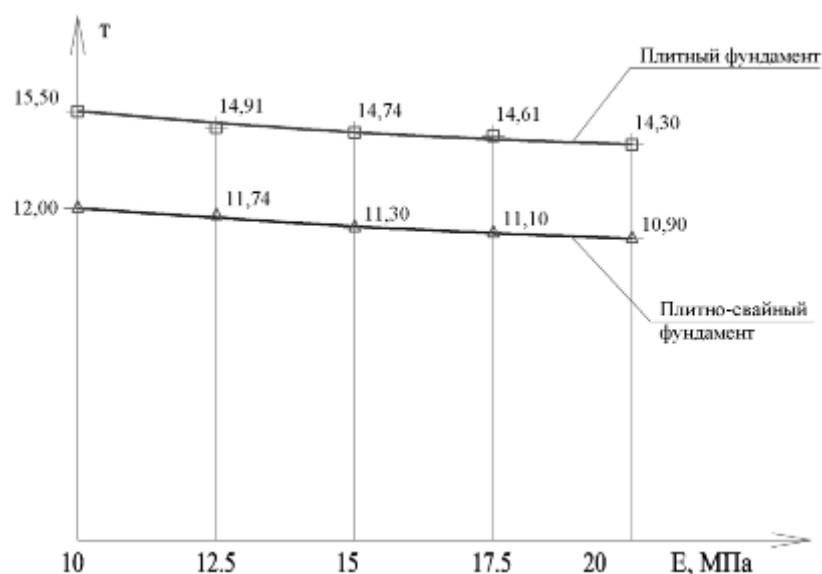
Для оценки экономического эффекта применения плитно-свайного фундамента с помощью программы «САПФИР КОНСТРУКЦИИ» определялся объем армирования плит. На рисунках 6, 7 и 8 приведены графики зависимости объема армирования от модуля деформации грунта в диапазоне от 10 до 20 МПа для плит соответственно толщиной  $h_1=0,45$  м,  $h_2=0,60$  м и  $h_3=0,90$  м.



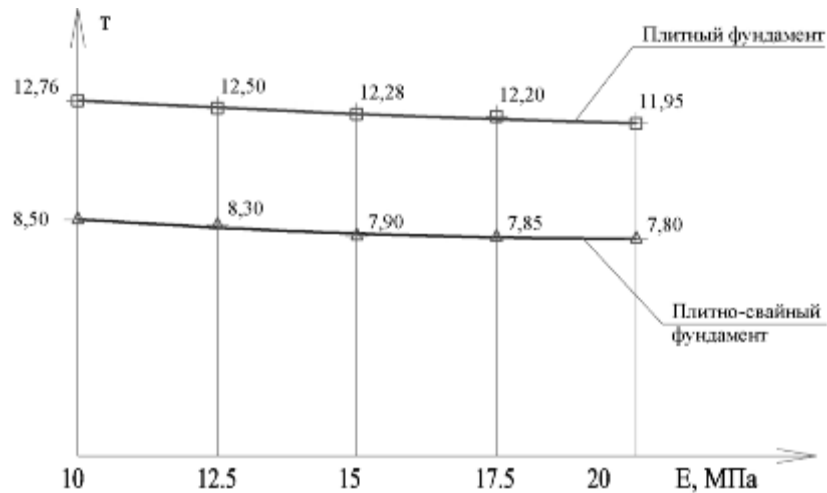
Результаты расчета расхода арматуры на устройство плитно-свайных фундаментов показали, что при устройстве локальных свай в основании фундаментной плиты значительно уменьшились моментные усилия в плите и соответственно расход арматуры снизился с 21 до 35%.

**Таблица 1 – Результаты расчета осадок фундаментов**

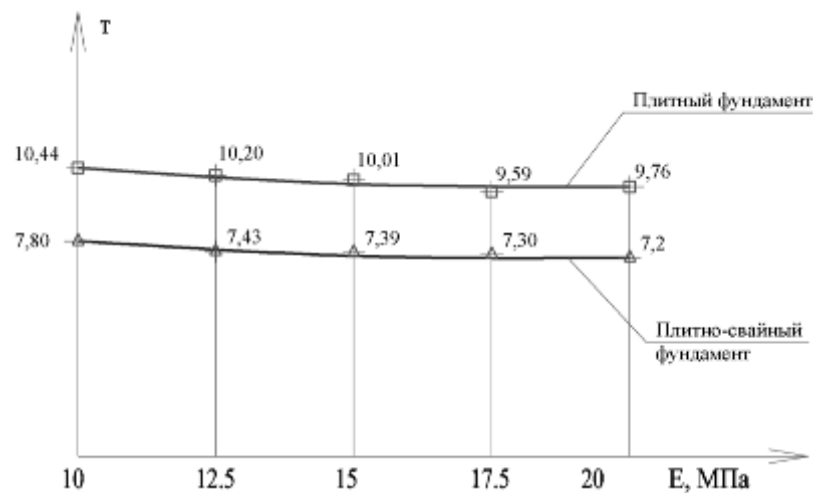
| Толщина плиты, мм | Модуль деформации основания, МПа | Тип фундамента          |                         |
|-------------------|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                   |                                  | Плитный                 | ПСФ                     |
|                   |                                  | Максимальная осадка, мм | Максимальная осадка, мм |
| 450               | 10                               | 211                     | 98                      |
|                   | 12,5                             | 170                     | 84                      |
|                   | 15                               | 142                     | 74                      |
|                   | 17,5                             | 122                     | 66                      |
|                   | 20                               | 107                     | 59                      |
| 600               | 10                               | 210                     | 98                      |
|                   | 12,5                             | 169                     | 85                      |
|                   | 15                               | 141                     | 74                      |
|                   | 17,5                             | 121                     | 66                      |
|                   | 20                               | 106                     | 60                      |
| 900               | 10                               | 208                     | 97                      |
|                   | 12,5                             | 167                     | 83                      |
|                   | 15                               | 139                     | 73                      |
|                   | 17,5                             | 120                     | 65                      |
|                   | 20                               | 105                     | 59                      |



**Рисунок 6 – Расход арматуры для плитного и плитно-свайного фундаментов при толщине плиты  $h_1=0,45$  м**



**Рисунок 7 – Расход арматуры для плитного и плитно-свайного фундаментов при толщине плиты  $h_2=0,60$  м**



**Рисунок 8 – Расход арматуры для плитного и плитно-свайного фундаментов при толщине плиты  $h_3=0,90$  м**

Для оценки эффективности устройства локальных буронабивных свай в основании плиты 19-этажного жилого дома в комплексе «Маяк Минска» с использованием программного комплекса «ЛИРА САПР 2014» была создана его КЭ-модель (рисунок 3). Выполнены расчеты вариантов здания с фундаментной плитой на естественном основании и плитно-свайном фундаменте. На основе данных по расходу материалов была составлена калькуляция затрат для устройства двух вариантов фундамента. Стоимость плитно-свайного фундамента за счет экономии арматуры оказалась на 7,5% меньше стоимости фундаментной плиты без свай даже с учетом того, что в варианте с ПСФ учитывались работы по устройству 89-ти буронабивных свай диаметром 426 мм, длиной 9 – 10 м и уплотнению верхнего слоя основания.

**Выводы:**

1. Анализ выполненных до настоящего времени научных исследований показал, что при включении в работу фундаментной плиты часть нагрузки от сооружения передается на верхние слои основания межсвайного пространства. Осадка плитно-свайного фундамента существенно снижается по сравнению с традиционным плитным фундаментом.

2. Проведенные расчеты плитно-свайных фундаментов позволили установить, что при устройстве локальных свай под вертикальными несущими конструкциями здания его осадка значительно уменьшается. Даже при передаче на сваи 30% нагрузки от здания его осадка снижается в два раза.

3. При устройстве локальных свай армирование фундаментной плиты может быть уменьшено на 20 – 35% в сравнении с вариантом на естественном основании. Эта экономия компенсирует дополнительные затраты на устройство свай, а в некоторых случаях, как показали расчеты, стоимость плитно-свайного фундамента может оказаться меньше стоимости плиты без свай.

4. Рассмотренные примеры показывают, что плитно-свайный фундамент является эффективным инструментом решения таких сложных проблем, как ограничение общей величины и степени неравномерности осадок, снижение негативного воздействия на существующие фундаменты при строительстве в примыкание к имеющейся застройке.

### *Литература*

1. Голубков В. Н. *Исследование характера развития осадок свайных фундаментов из пирамидальных свай и деформаций их оснований* / В. Н. Голубков, А. И. Догадайло // *Основания и фундаменты. : Республ. межвед. науч.-техн. сб. – К. : Будівельник, 1979. – Вып. 12. – С. 13 – 17.*
2. *Экспериментальные исследования формирования объема зоны деформации в основании фундаментов из пирамидальных свай* / В. Н. Голубков, Ю. Ф. Тугаенко, В. С. Марченко, Ю. Ф. Суходоев // *Республ. межвед. науч.-техн. сб. – К. : Будівельник, 1976. – Вып. 9. – С. 25 – 30.*
3. Юдин В. А. *Экспериментальные исследования работы одиночных свай и свайных фундаментов из пирамидальных свай совместно с их основаниями* : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.02 / В. А. Юдин; Одесский инж.-строит. инст. – Одесса, 1975. – 29 с.
4. Аршакуни Д. Е. *Влияние низкого ростверка на повышение сопротивления одиночных свай нагрузке в слабых грунтах* / Д. Е. Аршакуни, И. М. Нагорных // *Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1975. – № 6. – С. 8 – 9.*
5. Бартоломей А. А. *Прогноз осадок свайных фундаментов* / А. А. Бартоломей, И. М. Омельчак, Б. С. Юшков. – М. : Стройиздат, 1994. – 384 с.
6. Кондрашов В. А. *Исследование деформаций грунта основания моделей свайных фундаментов методом фотофиксации траектории движения грунтовых частиц* / В. А. Кондрашов // *Основания, фундаменты и подземные сооружения: труды пятой конф. молодых науч. сотрудников. – М., 1970. – С. 239 – 246.*
7. Козачок Л. Д. *Исследование распределения вертикальных напряжений в основании кустов висячих свай с низким ростверком*: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.02 / Л. Д. Козачок. – Л., 1979. – 174 с.
8. Бахолдин Б. В. *Плитно-свайные фундаменты* / Б. В. Бахолдин // *Основания, фундаменты и механика грунтов. – М., 2003. – №5. – С. 24 – 27.*
9. *The Combined Pile Raft Foundations (CPRF) : an appropriate solution for the foundation of high rise building* / R. Katzenbach, G. Bachmann, G. Boled-Mekasha, H. Ramm // *Proc. of the 7th Intern. Geotechnical Conference Improvement of soil properties. – Bratislava, 2005. – P. 47 – 60.*

© Сернов В. А., Сороко Р. А.  
Надійшла до редакції 08.12.2015