



УДК 624.154.001.8

**И.Т. Мирсаяпов** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой оснований и фундаментов, динамики сооружений и инженерной геологии

**Д.А. Артемьев** – аспирант, ассистент

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)**

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ СВАЙНО-ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ**

### **АННОТАЦИЯ**

Свайно-плитный фундамент представляет собой комбинацию двух типичных фундаментов, широко используемых в строительстве, – плиты и свай. В отличие от обычных свайных фундаментов, где почти вся нагрузка передаётся грунту через сваи, в комбинированном свайно-плитном фундаменте обе составляющие воспринимают значительную долю действующей нагрузки. Свайно-плитные фундаменты являются частным случаем комбинации свай с фундаментом на естественном основании. Другие такие комбинации – это, например, усиление существующих ленточных (или плитных) фундаментов буроинъекционными или задавливаемыми сваями для предотвращения недопустимых неравномерных осадок [1].

**I.T. Mirsayapov** – doctor of technical sciences, professor, head of bases, foundations, dynamics of buildings and engineering geology department

**D.A. Artemyev** – post-graduate student, assistant

**Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUA)**

## **THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES OF MODELS OF PILE-SLAB FOUNDATIONS**

### **ABSTRACT**

The studied foundation is a combination of two widespread types of foundations - pile foundation and slab one. Unlike typical pile foundations, where almost all load is transferred to a ground by piles, both pile and slab receive a significant load in pile-slab foundation.

В настоящее время при строительстве массивных многоэтажных зданий устройство обычного плитного фундамента может оказаться невозможным из-за недопустимых деформаций основания. С другой стороны, проектирование согласно СНиП с применением обычных свайных ростверков часто становится нерациональным из-за необходимости применения очень длинных свай стоек или большого количества свай трения. При этом отказ от расчетной схемы свайного ростверка и размещение свай по условию обеспечения безопасных деформаций плитно-свайного фундамента позволяет полнее использовать работу плиты и грунта, существенно снизив расчетное количество свай. При этом остро встает вопрос о необходимости учета взаимодействия между элементами комбинированного свайно-плитного фундамента и грунтом [2].

В настоящей работе авторами исследуется напряженно-деформированное состояние плитно-свайного фундамента и развитие напряжений в межсвайном массиве грунта.

Экспериментальные исследования проводились в лабораторном лотке со следующими размерами 1,0x1,0x1,0 м.

В качестве ростверка модели фундамента использовалась железобетонная плита 400x400x40 мм, армированная проволочной арматурой Вр-I Ø3 мм.

Сваи представляли собой полые пластиковые трубки Ø7мм с толщиной стенки 1 мм длиной 400 мм. Деформации свай определялись с помощью наклеенных по длине тензорезисторов на высоте 50, 200 и 350 мм от подошвы ростверка.

Установка свай устраивалась путем послойной отсыпки грунта между армирующими элементами с послойным уплотнением трамбовкой прямоугольного сечения массой 5кг [3].

Грунтом основания являлась супесь полутвердая (модуль деформации 5,01 МПа, угол внутреннего трения 18°, удельное сцепление 4,1 кПа, плотность 1,78 т/м<sup>3</sup>). Давление в грунтовом массиве определялось с помощью датчиков давления в грунте.

Схема плитно-свайного фундамента и его



нагрузки, а также схема расположения тензорезисторов в сваях и датчиков давления в грунте приведены на рисунке 1.

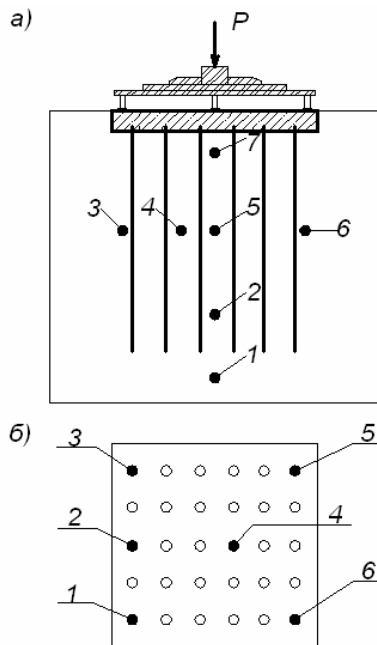


Рис.1. Схема расположения тензорезисторов в сваях (б) и датчиков давления в грунте (а)

При проведении экспериментальных исследований фиксировались перемещения плиты фундамента, вертикальные и горизонтальные перемещения армирующих элементов, деформации в армированном грунтовом основании, в армирующих элементах и деформации арматуры плиты фундамента.

На первом этапе нагружения (до 200 кг) происходит незначительное равномерное уплотнение массива грунта по всей глубине сжимаемой толщи, о чем свидетельствуют все датчики давления в грунте, расположенные в различных точках массива межсвайного грунта (рис. 2). На графиках мы видим практически ровные участки приблизительно до нагрузки в 200 кг, т.е. изменения деформаций минимальные.

На данном этапе наблюдается активное включение всех свай в работу, пока не подразделяясь на центральные, угловые и средние (рис. 3). По всем графикам видны резкие скачки деформаций с самого начала нагружения модели, в отличие от ровных участков на графиках изменения деформаций в грунте.

На втором этапе нагружения (от 200 до 500 кг) начинается поэтапное образование уплотненной пирамиды сверху, при увеличении нагрузки в нижней части возникает противодействующая пирамида, вызывающая перераспределение усилий между центральными, угловыми и крайними сваями.

Верхняя и нижняя пирамиды в ходе дальнейших

нагружений объединяются с образованием фигуры из двух усеченных пирамид. Об образовании верхних и нижних уплотненных зон свидетельствуют датчики давления в грунте и последующие анализы проб грунта при его раскопке (рис. 5). Плотность грунта между центральными сваями в точке № 1 достигла величины  $2,04 \text{ т/м}^3$ , в точке № 2 –  $1,81 \text{ т/м}^3$ , в точке № 3 –  $1,98 \text{ т/м}^3$ , в точке № 4 –  $1,99 \text{ т/м}^3$ , в точке № 5 –  $1,83 \text{ т/м}^3$ . Плотность грунта между крайними рядами свай практически не изменилась.

В процессе образования двух уплотненных пирамид с входящими друг в друга вершинами рост деформаций в центральных сваях значительно замедляется (рис. 3 г), так как они попадают в сильно уплотненную зону.

На данном этапе происходит образование трещин по всему периметру плитного ростверка на расстоянии около 4 см от него, на расстоянии около 10-15 см наблюдается небольшой выпор грунта, что свидетельствует об образовании уплотненной пирамиды.

На третьем этапе нагружения (от 500-1000 кг) наблюдается практически полное прекращение роста деформаций в центральных сваях. На рисунке 4 г видно, что изменения деформаций практически остановились, очевидно, вследствие восприятия всей нагрузки уплотненным грунтом, о чем свидетельствует резкое увеличение деформаций в грунте (рис. 3 а, б, в, д, ж). Однако деформации в крайних и угловых сваях продолжают также интенсивно нарастать (рис. 4, а, б, в, д, е), особенно в середине длины свай. Точное подтверждение тому даёт картина деформирования свай при откопке лотка после эксперимента.

Грани пирамиды начинают образовываться с некоторой высоты, вследствие чего верхние и нижние части угловых и крайних свай попадают в зону повышенной плотности (рис. 7).

Крайние и угловые свай являются значительно перегруженными [4], в силу того, что они не попадают в уплотненную зону и их несущая способность значительно ниже.

### Расчет несущей способности свайно-плитного фундамента

Основываясь на результатах серии проведенных экспериментов, можно принять расчетную схему комбинированного свайно-плитного фундамента (рис. 8).

Исходя из выдвинутой гипотезы об образовании уплотненных зон и, следовательно, концепции распределения нагрузок, в комбинированном свайно-плитном фундаменте отпор грунта по подошве ростверка имеет форму пирамиды, основание которой отстает от граней плиты ростверка на один шаг свай ( $A_1$ ), а свайное поле целесообразно условно разделить на 3 зоны (рис. 9).

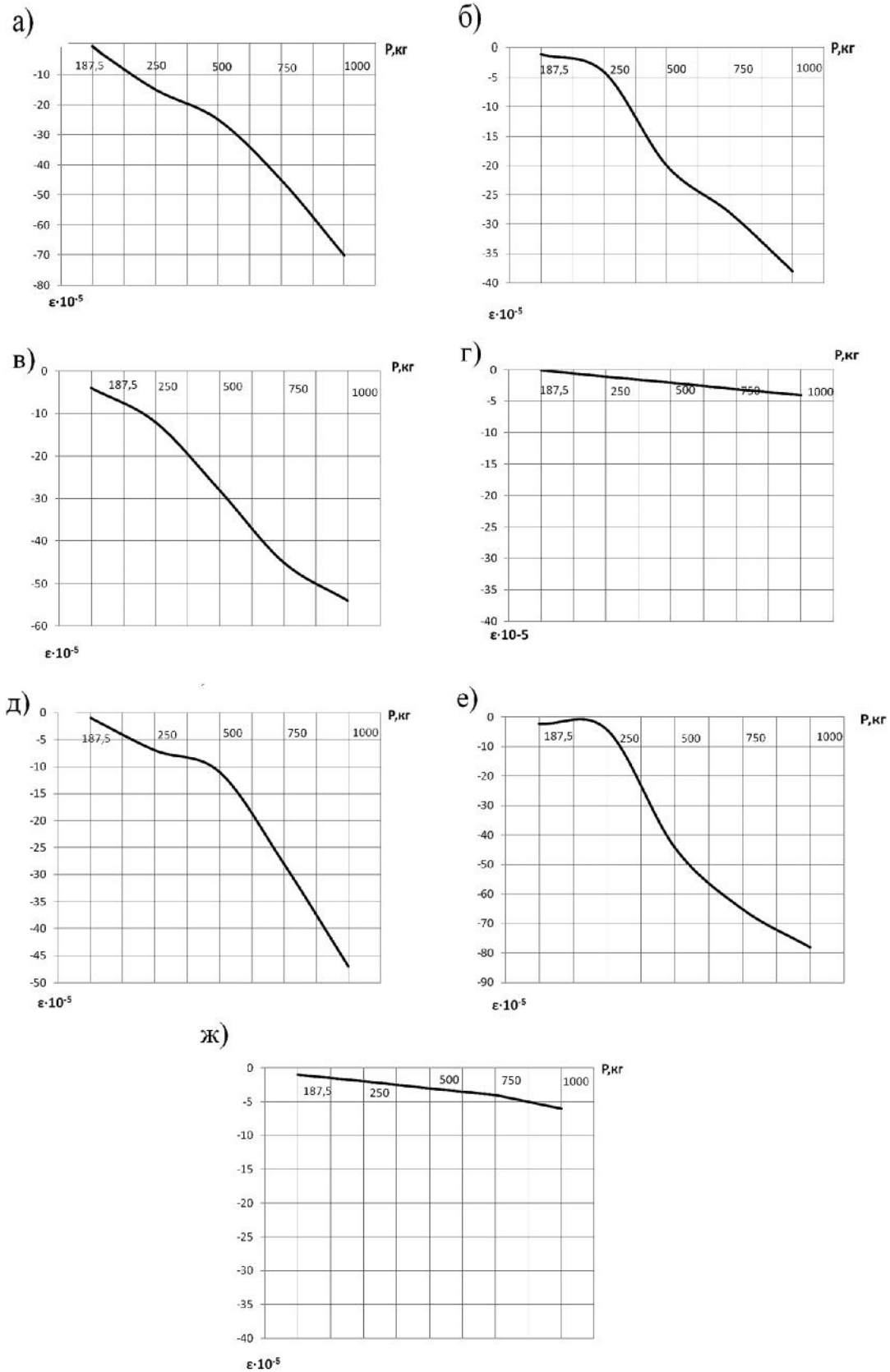


Рис. 2 . Графики изменения деформаций в межсвайном массиве грунта:

- а) изменение деформаций в датчике №1, б) изменение деформаций в датчике №2, в) изменение деформаций в датчике №4,
- г) изменение деформаций в датчике №3, д) изменение деформаций в датчике №5, е) изменение деформаций в датчике №6,
- ж) изменение деформаций в датчике №7

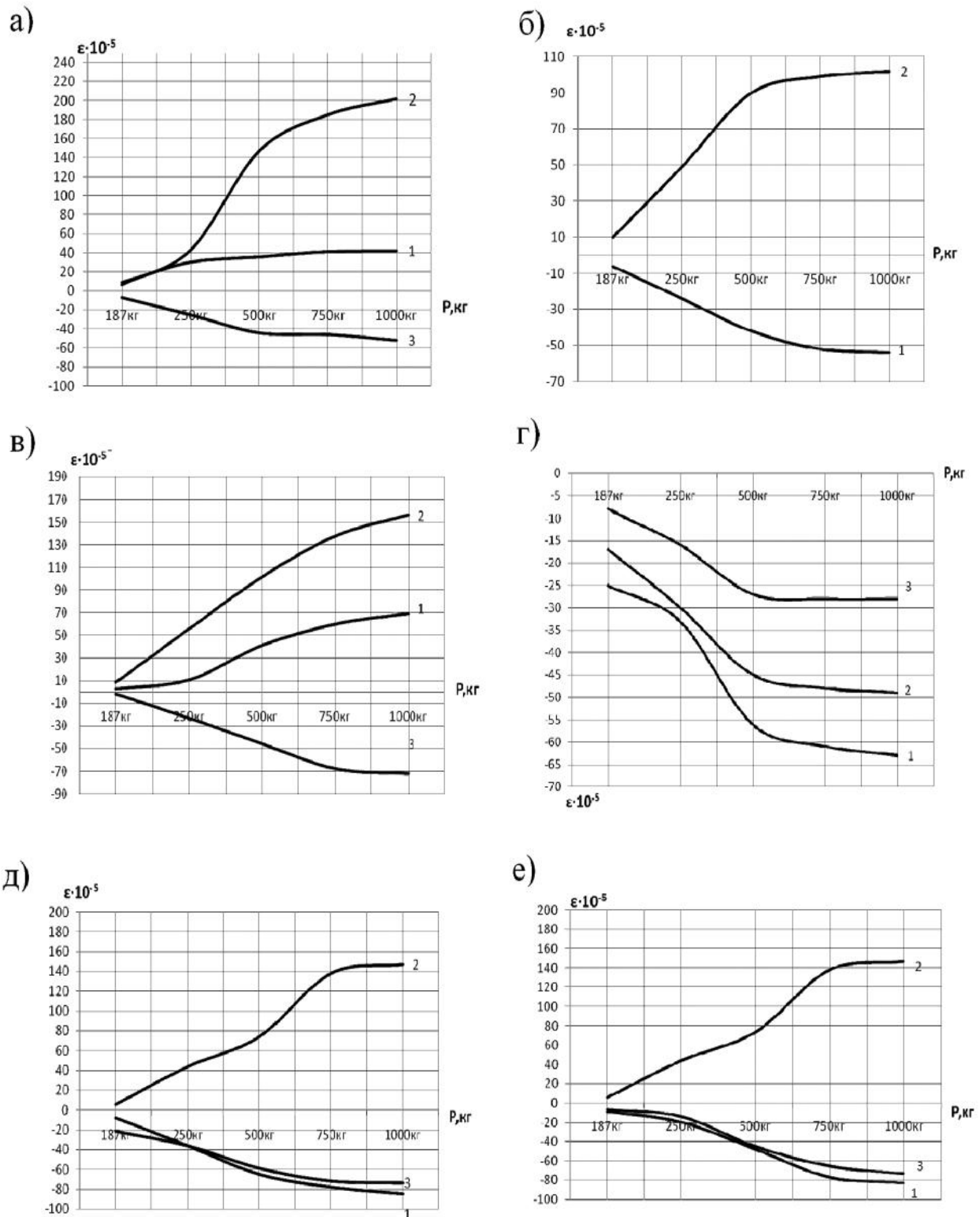


Рис. 3. Графики изменения деформаций в сваях:

а) изменение деформаций в свае №1, б) изменение деформаций в свае №2, в) изменение деформаций в свае №3, г) изменение деформаций в свае №4, д) изменение деформаций в свае №5, е) изменение деформаций в свае №6

ряд 1 – показания на расстоянии 5 см от подошвы ростверка, ряд 2 – 20 см, ряд 3 – 35 см

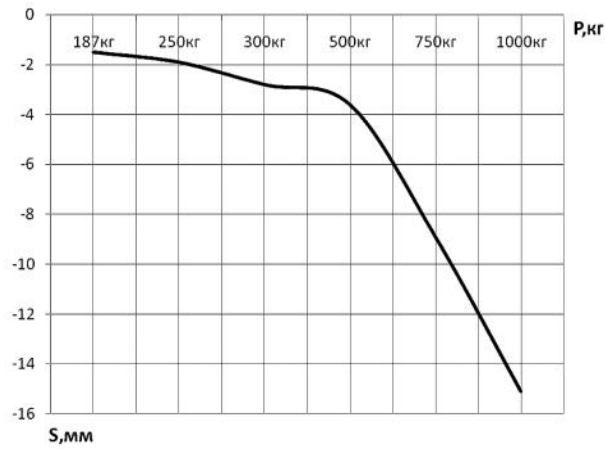


Рис. 4. График зависимости “нагрузка-осадка”

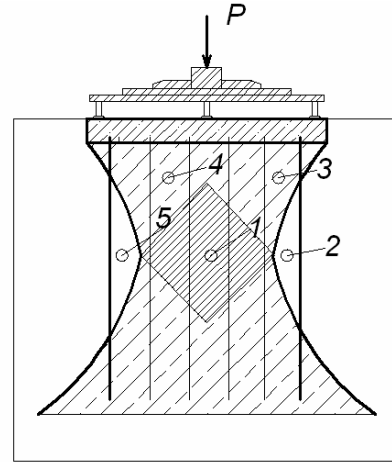


Рис.5. Места определения плотности методом режущих колец после проведения эксперимента

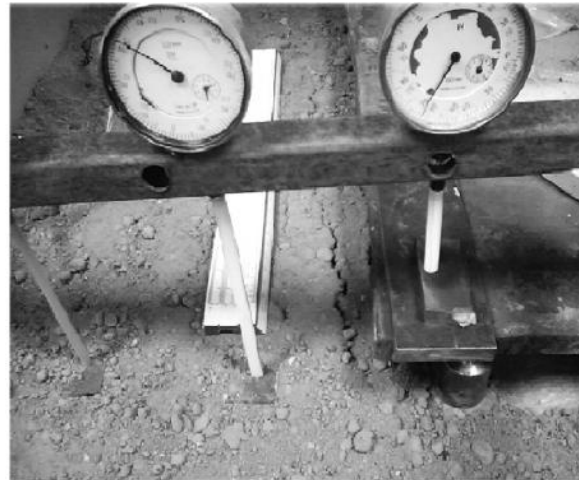
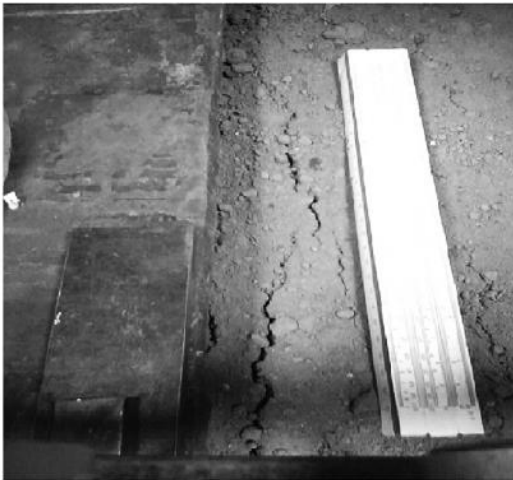


Рис. 6. Фотографии трещин, образовавшихся по периметру плиты ростверка

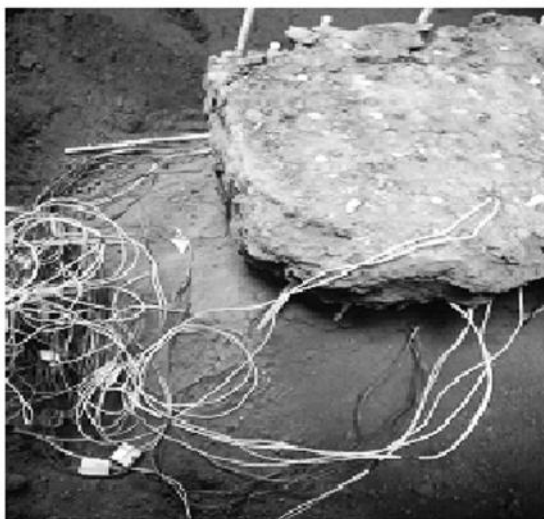


Рис. 7. Фотографии образовавшейся фигуры после проведения эксперимента



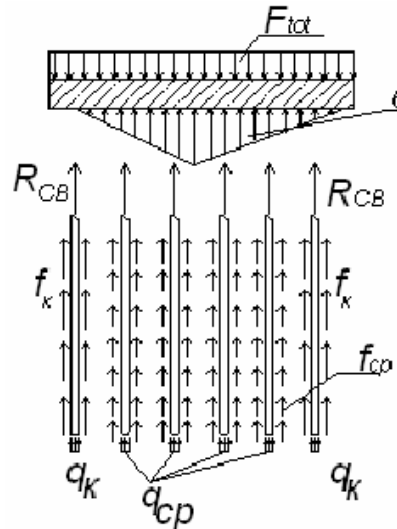


Рис. 8. Расчетная схема свайно-плитного фундамента

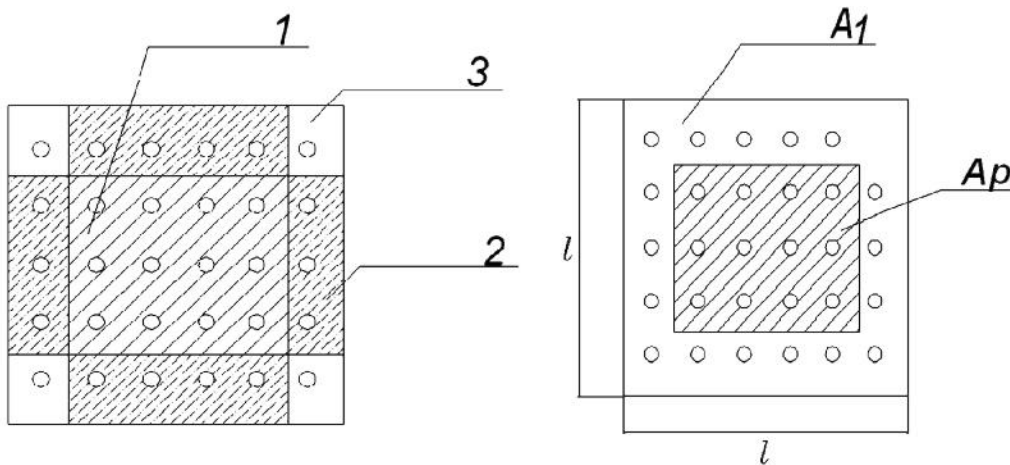


Рис. 9. Условная схема разбиения свайного поля и плиты ростверка

Выражение для расчета несущей способности КСПФ можно записать в виде [5]:

$$R_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n R_{\text{св}} + R_{\text{пл}}$$

$R_{\text{общ}}$  – общая реакция свайно-плитного фундамента.

$R_{\text{св}}$  – реакция свай:

$$R_{\text{св.1}} = R_{\text{бок.1}} + R_{\text{лоб.1}}$$

$$R_{\text{св.2}} = R_{\text{бок.2}} + R_{\text{лоб.2}}$$

$$R_{\text{св.3}} = R_{\text{бок.3}} + R_{\text{лоб.3}}$$

$R_{\text{бок}}$  – реакция по боковой поверхности:

$$R_{\text{бок.1}} = \int_0^z f_1 \pi D dz$$

$$R_{\text{бок.2}} = \int_0^z f_2 \pi D dz$$

$$R_{\text{бок.3}} = \int_0^z f_3 \pi D dz$$

$R_{\text{лоб}}$  – реакция под остриём сваи.

$$R_{\text{лоб.1}} = q_{b1} \frac{pD^2}{4}$$

$$R_{\text{лоб.2}} = q_{b2} \frac{pD^2}{4}$$

$$R_{\text{лоб.3}} = q_{b3} \frac{pD^2}{4}$$



Результаты расчета моделей КСПФ

№ модели	R <sub>плиты</sub>	ΣR <sub>свай</sub>	R <sub>общ.</sub>	F <sub>tot.</sub>
КСП 1	728	156	884	800
КСП 2	1261	322	1583	1500
КСП 3	1255	339	1594	1500
КСП 4	1272	340	1612	1500

R<sub>пл</sub> – реакция плиты:

$$R_{пл} = f(x) \int_0^A \delta dA_p,$$

где: f(x) – коэффициент полноты эпюры давления в грунте (в первом приближении f(x)=0,3);

δ – напряжения в грунте под подошвой ростверка;  
f<sub>1</sub>, f<sub>2</sub>, f<sub>3</sub> – сопротивление по боковой поверхности свай в зонах 1, 2 и 3, соответственно.

q<sub>b1</sub>, q<sub>b2</sub>, q<sub>b3</sub> – сопротивление по лобовой поверхности свай;

A<sub>p</sub> – расчетная площадь фундамента, на которую приходится отпор грунта.

$$A_p = A_\phi - A_l,$$

где A<sub>φ</sub> – площадь плиты ростверка.

$$A_l = 3al + (l - 3a)3a,$$

a – шаг свай;

l – длина фундамента.

Результаты сопоставления расчетных данных по предложенной методике, приведенные в таблице, показывают хорошую сходимость.

#### Литература

1. Безволев С.Г. Податливость свай и грунта в плитно-свайном фундаменте. // Развитие городов и геотехническое строительство, 2005. – С. 57-62.
2. Бартоломей Л.А., Глушков И.В., Кузнецов А.Г. Повышение эффективности способов проектирования массивных свайных фундаментов. // Развитие городов и геотехническое строительство, 2006. – С. 48-53.
3. ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация.
4. СП 50-102-2003. Свайные фундаменты.
5. Катценбах Р. Плитно-свайные фундаменты. // Вестник МГСУ, 2006, №1. – С. 108-112.