

# СТРОИТЕЛЬСТВО. ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ И ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ

УДК 69(083.75:624.15)

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ДОПОЛНЕНИЮ КЛАССИФИКАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ ГОТОВЫХ И НАБИВНЫХ СВАЙ С УШИРЕНИЯМИ ВВЕРХУ И НАКЛОННЫМИ БОКОВЫМИ СВАЯМИ

*Н. В. Купчикова*

*Астраханский инженерно-строительный институт*

Проведены исследования по внедрению в строительном производстве свайных фундаментов с поверхностными уширениями и свай, «расширяющихся» кверху; определена эффективность их работы в структурно-неустойчивых грунтах. Выполнен сравнительный анализ результатов натурных экспериментов и численных исследований. Построен график зависимости осадки для пяти видов свай с поверхностными уширениями от вертикального нагружения. Предложена к дискуссии классификация конструкций готовых и набивных свай с поверхностными уширениями, в том числе свай с наклонными боковыми гранями, применяемых в строительстве для слабых грунтов.

**Ключевые слова:** свайный фундамент с поверхностными уширениями, эксперимент, напряженно-деформированное состояние, конструктивно-технологическая эффективность.

## PROPOSALS TO SUPPLEMENT THE STRUCTURES CLASSIFICATION OF FINISHED AND SURFACE PILES WITH BELLS AND INCLINED CHEEKS

*N. V. Kupchikova*

*Astrakhan Institute of Civil Engineering*

There are conducted researches on the implementation of pile foundations with surface bells and piles with broadenings to upper end to the industry, there are determined their performance in structurally unstable soils. There is conducted a comparative analysis of field experiments results and the numerical ones. Pile settlement graph is created for five types of piles with surface bells caused by the vertical ones. Structures classification of finished and surface piles with bells including the ones with inclined cheeks used in construction for soft soils.

**Key words:** pile foundation with surface bell, experiment, the stress-strain state, structural and technological efficiency.

В настоящее время на практике значительно повышается эффективность свайного фундаментостроения при решении нестандартных проектных задач, когда в несвязных переувлажненных грунтах актуальным становится применение свай с наклонными боковыми гранями и поверхностными уширениями. Поэтому необходимость более полной, по сравнению с существующими, классификации свай с уширениями обусловлена применением прогрессивных конструктивно-технологических решений по выбору рациональных форм усиливающих элементов с максимальной удельной несущей способностью, низкой себестоимостью и материалоемкостью.

Основной целью исследования явилось построение классификации конструкций готовых и набивных свай с оптимальными параметрами конструктивно-технологических решений поверхностных уширений, расположенных у головы сваи, в том числе свай, «расширяющихся» кверху – с наклонными боковыми гранями и углами сбега, применяемых в строительстве для структурно-неустойчивых грунтов.

Терминология «свая с уширением вверху», как показал анализ ведущих научных и периодических изданий по фундаментостроению

[1–18], объединяет большое количество различных конструктивных решений свай с однообразностью деформирования и уплотнения зон грунтового массива вокруг уширения и способов их устройства. К сваям, «расширяющимся» кверху, относят сваи с поверхностными уширениями, сваи с углами сбега и наклонными боковыми гранями, выполненные в готовом виде, набивном и комбинированном исполнении.

В учебной и научной литературе [14, 15] к сваям, «расширяющимся» кверху, относят также конструкции с «углом сбега граней» или «коничностью сваи», которые называют также углом сбега конуса, или с наклонными боковыми гранями, которые измеряются углом наклона граней по отношению к продольной оси конструкции.

Повышенная несущая способность свай с наклонными боковыми гранями и поверхностными уширениями связана с уплотнением грунта при их погружении и со спецификой взаимодействия сваи и грунта под нагрузкой. Такие конструкции свай при погружении уплотняют грунт в пределах зоны уширения, что особенно эффективно в макропористых просадочных основаниях.

Экспериментальные исследования зоны уплотнения грунта вокруг погруженных свай суширениями вверху проводились в разное время такими учеными, как А. А. Луга, Б. И. Далматов, Т. М. Штоль, В. И. Теличенко, Р. А. Мангушев, А. И. Осокин, В. И. Хазин, А. С. Головачев, А. А. Орел, А. А. Землянский, О. С. Вознесенский, А. И. Сапожников, Н. В. Купчикова, В. Н. Голубков, В. К. Дмоховский, А. И. Моргун, Г. М. Смиренский и мн. др.

Согласно СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты», представленная классификация видов свай ограничивается лишь конструктивными решениями с уширениями, расположенными на нижнем конце, и определением несущей способности пирамидальной сваи с наклонными боковыми гранями [1].

Классификационные характеристики конструкций фундаментов глубокого заложения основоположников отечественного и зарубежного свайного фундаментостроения А. А. Луги [2], Б. И. Далматова [3], Р. А. Мангушева [4, 5], П. А. Коновалова [6], Э. В. Костерина [7],

А. М. Силкина [8], Г. М. Смиренского [16], П. М. Ермишкина [17], Ю. Н. Платонова [26], А. S. Vesic [9], Н. А. Hirayama [10], I. I. Broid [11] и др. наиболее широко освещают конструкции набивных и буронабивных свай с уширениями, образованными под нижним концом сваи, с несколькими уширениями в нижней части и с расширенной частью на стволе.

В работе [12] предложена к дискуссии классификация фундаментов глубокого заложения, представленная на рис. 1. Однако она не отражает всего многообразия конструкций свай, в особенности фундаментов с уширениями.

Наиболее подробная классификация конструкций свай дана в работе [13], где они подразделяются по форме ствола и устройству уширения: вверху, на стволе, на нижнем конце и с несколькими уширениями (см. рис. 2). При этом по форме тела отдельно выделены пирамидальные, то есть с наклонными гранями, и ступенчатые сваи, однако не уточнены их конструктивные решения.

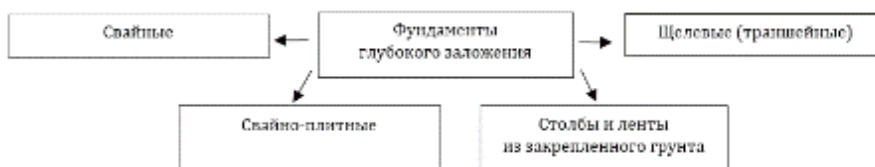


Рис. 1. Классификация фундаментов глубокого заложения по В. И. Крутову



Рис. 2. Классификация свай по М. Штолю, В. И. Теличенко, В. И. Феклину

Исследования деформации грунтовых массивов в основании верхнего конца сваи и с наклонными гранями ученые проводили на разных этапах следующими методами:

- определением объемных деформаций в основании сваи по изменению плотности грунта;
- определением характера и величин перемещений грунта в пределах зоны деформаций с помощью закладываемых в грунт фиксаторов;
- визуальном посредством вскрытого основания сваи с фотографированием видимых изменений;
- постановкой глубинных марок;
- отбором образцов грунта режущими кольцами с определением объемной массы скелета грунта;
- статической пенетрацией и зондированием;
- при помощи фиксаторов с последующим фотографированием видимых изменений;
- с помощью приборов неразрушающего контроля, основанных на измерении времени распространения импульсных ультразвуковых колебаний;
- аналитическими и численными методами проектирования и расчета.

Это позволило наиболее эффективно выявить работу свайных фундаментов с поверхностными уширениями и их напряженно-деформированное состояние в околосвайном массиве, сложенном различными типами грунтов.

Готовые и набивные железобетонные и бетонные сваи с уширениями сверху и наклонными боковыми сваями в практике отечественного и зарубежного строительства по результатам исследований представлены в следующем виде:

- свая с уширением на верхнем конце (Т. М. Штоль В. И. Теличенко, В. И. Феклин);
- призматическая свая с забивным оголовком (Б. И. Далматов, Ю. Н. Платонов);
- со сборными клиньями (А. И. Сапожников, Н. В. Купчикова);
- ступенчатая (В. И. Хазин, А. С. Головачев, А. А. Орел);
- ступенчатая многосекционная квадратного сечения (Р. А. Мангушев);
- пирамидальная (В. Н. Голубков, В. К. Дмоховский);
- коническая набивная (А. А. Землянский, О. С. Вознесенский);
- клиновидная набивная (А. А. Землянский, О. С. Вознесенский);
- пирамидально-цилиндрическая (А. И. Сапожников, Н. В. Купчикова);
- ромбовидная (Б. И. Далматов);
- бипирамидальная (А. И. Моргун);
- короткие пирамидальные со стаканом, с ростверком, с заглубленной пирамидой; короткая пирамидальная свая-колонна (В. И. Хазин, А. С. Головачев, А. А. Орел) (см. рис. 3).

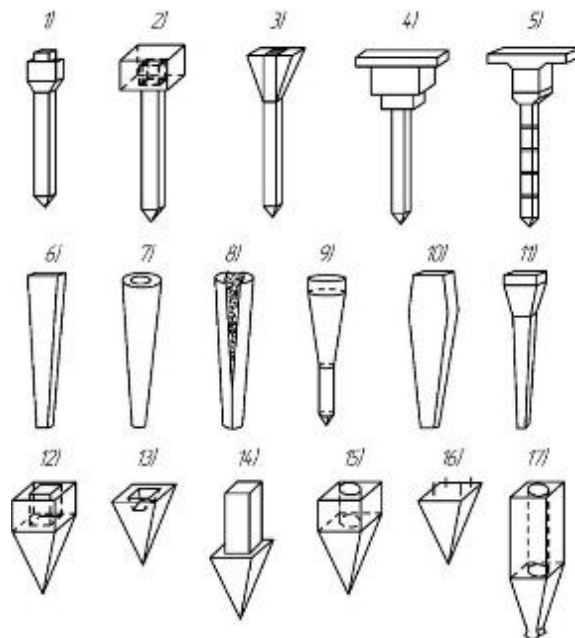


Рис. 3. Виды готовых железобетонных свай с уширениями сверху и наклонными боковыми гранями: 1 – с уширением на верхнем конце (Т. М. Штоль В. И. Теличенко, В. И. Феклин); 2 – призматическая свая с забивным оголовком (Б. И. Далматов, Ю. Н. Платонов); 3 – со сборными клиньями (А. И. Сапожников, Н. В. Купчикова); 4 – ступенчатая (В. И. Хазин, А. С. Головачев, А. А. Орел); 5 – ступенчатая многосекционная квадратного сечения (Р. А. Мангушев); 6 – пирамидальная (В. Н. Голубков, В. К. Дмоховский); 7 – коническая набивная (А. А. Землянский, О. С. Вознесенский); 8 – клиновидная набивная (А. А. Землянский, О. С. Вознесенский); 9 – пирамидально-цилиндрическая (А. И. Сапожников, Н. В. Купчикова); 10 – ромбовидная (Б. И. Далматов); 11 – бипирамидальная (А. И. Моргун); 12, 13 – короткая пирамидальная со стаканом; 14 – короткая пирамидальная с ростверком; 15 – короткая пирамидальная с заглубленной пирамидой; 16, 17 – короткая пирамидальная свая-колонна (В. И. Хазин, А. С. Головачев, А. А. Орел)

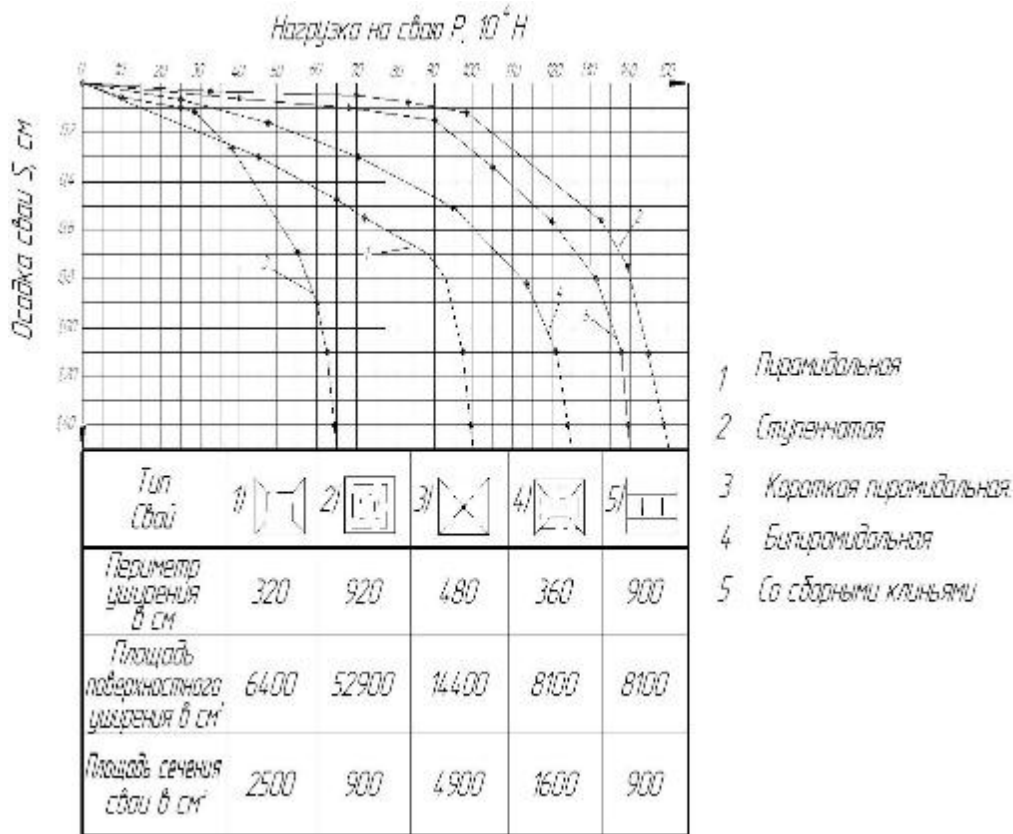


Рис. 4. График зависимости осадки от вертикального нагружения для пяти видов свай с уширениями сверху и наклонными боковыми гранями: пирамидальной (1), ступенчатой (2), короткой пирамидальной (3), бипирамидальной (4), сваи со сборными клиньями (5)

Результаты натуральных экспериментальных исследований [14, 15, 20, 21] позволяют построить график зависимости осадки от вертикального нагружения для пяти видов свай с уширениями сверху и наклонными боковыми гранями: пирамидальной, бипирамидальной, сваи со сборными клиньями, ступенчатой готовой, короткой пирамидальной (рис. 4). Результаты натуральных внедрений по данным графика показали, что наиболее эффективной является ступенчатая свая цельного сечения (рис. 3, 4), ее несущая способность на 15–20 % больше пирамидальной (рис. 3, 6) и бипирамидальной (рис. 3, 11) и на 20–25 % – призматической [14, 15].

Ступенчатые многосекционные сваи в отечественном и зарубежном строительстве представлены в виде квадратного поперечного сечения (НИИПромстрой) (рис. 3, 5) и с круглым поперечным сечением (сваи «Мега») для удобства перекачивания в стесненных условиях.

Сваи с уширением на верхнем конце (рис. 3, 1) доставляются на строительную площадку с завода в готовом виде и по характеру работы в грунтовом массиве, по несущей способности и надежности работы в слабых грунтах имеют структуру, сходную с призматическими сваями с забивными сборными оголовками (рис. 3, 2).

Сваи с забивными сборными оголовками (рис. 3, 2) при погружении дополнительно уплотняют грунт вокруг верхней части сваи и сами передают часть нагрузки на основание. Забивные оголовки целесообразны, когда по длине свай нет слоев слабых, сильносжимаемых грунтов [3].

Сваи с поверхностными уширениями (рис. 3, 3) в виде сборных клиньев приводят к увеличению плотности грунта на 20–30 % и позволяют снизить осадку фундамента в 3–4 раза, по сравнению с призматической, что дает возможность увеличить несущую способность фундамента. Так, например, анализ деформации грунта, характера его уплотнения и изменения плотности в основании сваи с поверхностными уширениями в виде сборных клиньев при вертикальном нагружении автором статьи [19, 21, 22] был выполнен экспериментально в лабораторных условиях при помощи фиксаторов – окрашенного грунта в лотке со стеклянными боковыми гранями с последующим фотографированием видимых изменений (уплотнения изолиний), что позволило наиболее полно проанализировать характеристики напряженно-деформированного состояния системы «грунт – свая – уширение» (рис. 5).

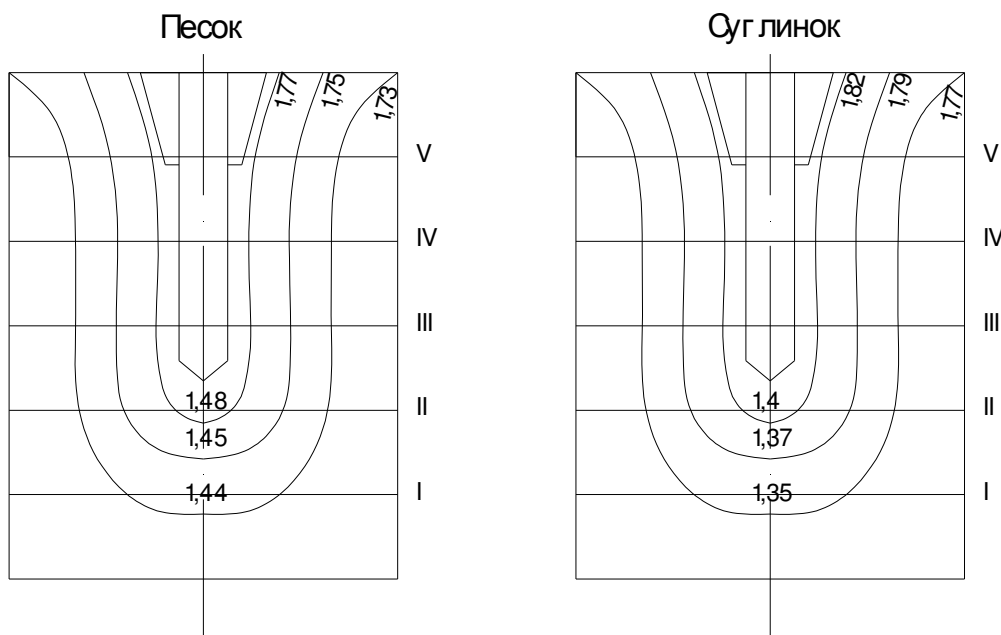


Рис. 5. Изолинии плотности грунта в лабораторном лотке при вертикальном нагружении свай со сборными клиньями

Свая со сборными клиньями (рис. 5) загружалась последовательно вертикальной нагрузкой, отобранные образцы грунта (песок и суглинок) вдоль плоскости вертикальных и горизонтальных изолиний показали значения плотностей, отличные от испытаний свай без клиньев.

Пирамидальные сваи (рис. 3, 6) длиной от 4 до 9 м, обладают значительной несущей способностью, и их применение наиболее целесообразно, если напластование грунтов по глубине сравнительно неоднородно, особенно когда верхние слои грунта обладают лучшими строительными свойствами, чем нижние.

Конические сваи для структурно-неустойчивых грунтов (рис. 3, 7) представляют собой конструкцию, состоящую из центрального стержня (ядра жесткости) – металлической бесшовной трубы и внешней (наружной) конической оболочки. В полости между центральным стержнем и оболочкой находится твердый материал [18].

Клиновидные набивные сваи имеют форму клина и состоят из двух железобетонных элементов, расположенных под углом к вертикали (рис. 3, 8). Центральная часть клина (между элементами) заполнена в виде деформируемой оболочки из литого бетона [18].

Ромбовидные сваи (рис. 3, 10) дополнительно уплотняют грунт верхними наклонными гра-

нями и передают на него не только касательные, но и нормальные усилия, благодаря чему такие конструкции дают возможность повысить несущую способность фундамента в пучинистых грунтах и воспринимать более высокие нагрузки, чем на призматические сваи, имеющими одинаковые с ромбовидными длину и объем.

Удельное сопротивление бипирамидальных свай (рис. 3, 11) по сравнению с пирамидальными в 2,0...2,5 раза выше, расход материала также значительно сокращается. Однако отсутствие в настоящее время инженерных методов расчета бипирамидальных свай не способствует их широкому внедрению в практику строительства.

Короткие пирамидальные сваи в зависимости от назначения, типа здания или сооружения и условий работы под нагрузкой могут применяться в различном конструктивном исполнении: с верхним призматическим участком или без него, сплошными или полыми, с квадратным или круглым отверстием (рис. 3, 12–17) [4].

Результаты исследований и анализа конструктивных характеристик и видов готовых и набивных железобетонных и бетонных свай с уширениями сверху и наклонными боковыми гранями, область их применения, достоинства, недостатки и рекомендуемые грунтовые условия более подробно представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Конструктивные характеристики видов готовых железобетонных свай с уширениями сверху и наклонными боковыми гранями, область их применения и рекомендуемые грунтовые условия**

<i>Наименование конструкции сваи</i>	<i>Конструктивное решение</i>	<i>Конструктивные и технологические преимущества</i>	<i>Область применения и рекомендуемые грунтовые условия</i>
<b>С уширением на верхнем конце</b> (рис. 3, 1)	Призматическая свая с уширением на верхнем конце доставляется на площадку в целом виде и при погружении вдавливанием или забивкой дополнительно уплотняет грунт вокруг верхней части сваи	Позволяет увеличивать несущую способность фундамента в 1,5...2 раза. Неудобство переналаживания блок-форм при формировании сваи на предприятии стройиндустрии	Сваи целесообразно применять в слабых, сжимаемых структурно неустойчивых грунтах. Применяются для увеличения несущей способности фундамента
<b>Призматическая с забивным оголовком</b> (рис. 3, 2)	Призматическая готовая свая с отдельным забивным оголовком, которая при погружении дополнительно уплотняет грунт вокруг верхней части сваи и сама передает часть нагрузки на основание. Несущая способность поверхностного уширения и забивного оголовка составляет 65-70 % от общего сопротивления комплексной конструкции «свая + поверхностное уширение»	Усиление свай забивными оголовками позволяет увеличивать их несущую способность в 1,5...2 раза. По результатам полевых испытаний [24] установлено, что несущая способность таких свай в 3-3,5 раза больше, чем несущая способность обычной призматической сваи равной длины	Наибольшее распространение сваи с забивными оголовками получили в жилищном строительстве при возведении пяти- и девятиэтажных домов. Забивные оголовки целесообразны, когда по длине свай нет слоев слабых, сжимаемых грунтов. На эти оголовки иногда без ростверка устанавливаются панели стен зданий [3]
<b>Призматическая со сборными клиньями</b> (рис. 3, 3)	Конструкция сваи (сборная, призматическая, железобетонная) погружается с последующим устройством клиньев (длина которых составляет 1/3-1/4 от длины сваи). Возможный метод погружения – забивка, вдавливание, вибропогружение, подмыв. После погружения сваи с четырех сторон устраиваются сборные клинья из того же материала. Если в дальнейшем необходимо усилить основание и под нижним концом сваи, то совместно с погружением клиньев подается цементный раствор или силикат натрия, в результате чего повышается несущая способность конструкции сваи в структурно-неустойчивых грунтах	Сокращается расстояние между макропорами просадочного грунта и упрочняется поверхностный слой грунта, а также конструкция сваи хорошо начинает работать на горизонтальные усилия	Исследования показали, что варьирование длины поверхностного уширения ведет к незначительному увеличению несущей способности конструкции сваи (на 30-40 %), изменение только ширины клиньев на поверхности увеличивает несущую способность в 3-4,5 раза, а изменение обоих параметров клина ведет к возрастанию несущей способности сваи в 5-6 раз. Конструкция разработана для увеличения несущей способности конструкции сваи в структурно-неустойчивых просадочных грунтах [21]
<b>Ступенчатая целостная</b> (рис. 3, 4)	Целостная железобетонная конструкция доставляется в готовом виде на строительную площадку. Несущая способность ступенчатой сваи увеличивается в результате образования вокруг нее грунтовой рубашки, благодаря чему при работе сваи под нагрузкой происходит заклинивание и трение грунта о грунт	Сравнительные испытания ступенчатой и обычной свай с одинаковыми размерами головы и острия и одинаковыми углами сбега (размер головы 80 см, острия 10 см, длина 2,2 м, угол сбега 9°), погруженных в намытый песок средней плотности, показали, что несущая способность ступенчатой сваи на 20-25 % больше, причем бетона на ее изготовление расходуется на 15-20 % меньше	Ступенчатые пирамидальные сваи применяются для увеличения несущей способности фундаментов
<b>Ступенчатая многосекционная квадратного сечения</b> (рис. 3, 5)	Представлены в виде квадратного поперечного сечения (НИИ-Промстрой) и с круглым поперечным сечением (сваи «Мега»). Сваи «Мега» изготавливаются из сборных железобетонных элементов длиной 60...120 см с размером поперечного сечения 20×20, 25×25 и 30×30 см. Для голов свай применяют элементы большего размера – 120×60×25 см. Элементы располагаются друг над другом, соприкасаясь торцовыми поверхностями. Все элементы свай армируют продольной рабочей арматурой с поперечными хомутами.	Нижний элемент свай «Мега» имеет симметричное острие для обеспечения вертикальности погружения вдавливаемых свай. Иногда острие укрепляют четырехгранным симметричным наконечником из листовой стали толщиной 6...10 мм. Погруженные сваи с примыкающими несущими конструкциями здания соединяют следующим образом. Под старый фундамент устанавливают распределительный элемент	Значительная технико-экономическая эффективность таких конструкций достигается при реконструкции и восстановлении аварийных фундаментов. Сваи «Мега» с круглым поперечным сечением удобны для перекачивания в стесненных условиях подвала. Чтобы обеспечить вертикальное положение свай «Мега», распределительные элементы должны быть горизонтальными

	<p>Для восприятия горизонтальных сил между элементами обычно закладывают вертикальные штыри диаметром 37,5...50,0 мм, которые препятствуют смещению соединяемых элементов и допускают их незначительный поворот.</p> <p>В НИИПромстрое составлены рабочие чертежи на многосекционные железобетонные сваи квадратного сечения 30×30 см длиной 0,6, 0,9 и 1,2 м с ненапрягаемой арматурой. Соединение этих свай выполняется на болтах или с помощью штырей. Болтовой стык способен воспринимать изгибающие моменты, перерезывающие и выдергивающие усилия, а штыревой стык – только вертикальное сжимающее усилие</p>	<p>больших размеров, равномерно распределяющей нагрузку от домкрата при погружении сваи (реакцию сваев), вследствие чего нижняя поверхность стеновых конструкций или ленточных фундаментов равномерно примыкает к поверхности элемента и после догужения сваи. Распределительный элемент одновременно служит опорой гидравлического домкрата при погружении сваи. Между распределительным элементом и головой сваи размещают головной элемент, который при производстве служит подставкой для гидравлического домкрата. Расширенную голову сваи дополняют заранее изготовленными подпорками, которые устанавливают после погружения</p>	<p>и плотно примыкать к старому фундаменту. Поэтому поверхность старого восстанавливаемого фундамента предварительно выравнивают и между старым фундаментом и распределительным элементом укладывают выравнивающий слой цементного раствора необходимой толщины</p>
<p><b>Пирамидальная</b> (рис. 3, 6)</p>	<p>Железобетонная свая из бетона марки не ниже 200, имеющая форму четырехугольника, постепенно сужающегося от основания к вершине. При погружении в грунт свая испытывает нагрузку, под которой работает в распор, что способствует созданию у боковых плоскостей значительного объема уплотненного грунта.</p> <p>Применяются на просадочных грунтах с целью увеличения несущей способности. Используются при возведении фундаментов под сельскохозяйственные, производственные, жилые (до 9 этажей) здания. Особенно эффективны при двухрядном и однорядном расположении свай в ленточных фундаментах</p>	<p>Для пирамидальных свай с малыми углами наклона боковых граней (1–4°) – однородные по глубине грунты; в случаях когда сваи прорезают слои плотных грунтов, а их нижний конец заглубляется в более слабые грунты.</p> <p>Для пирамидальных свай с большими углами наклона боковых граней (4–14°) – песчаные, маловлажные тугопластичные глинистые грунты, лессовые грунты I типа по просадочности мощностью до 5 м при глубине промерзания до 1 м</p>	<p>Допускается применение пирамидальных свай с малыми углами сбега в районах с расчетной сейсмичностью до 6 баллов включительно; пирамидальных свай с большими углами сбега – в районах с расчетной сейсмичностью до 7 баллов включительно, а при наличии просадочных грунтов – до 6 баллов включительно.</p> <p>При любом уклоне боковых граней целесообразно применять только в качестве висячих свай [23]</p>
<p><b>Коническая набивная</b> (рис. 3, 7)</p>	<p>Конструкция, состоящая из центрального стержня (ядра жесткости) – металлической бесшовной трубы и внешней (наружной) конической оболочки. В полости между центральным стержнем и оболочкой находится твердый материал. Из податливого материала изготавливают внешнюю оболочку, которую насаживают на бесшовную металлическую трубу и погружают в предварительно пробуренную грунтовую скважину на проектную глубину.</p> <p>После установки каркаса в проектное положение в межтрубное пространство через штуцер подают раствор. В ходе этого происходит деформирование внешней трансформируемой оболочки за счет пластических свойств материала с образованием конической полости. В результате выполнения операций в указанной последовательности формируется коническая свая, заполненная бетоном в межтрубном пространстве</p>	<p>При изготовлении рекомендуются следующие параметры сваи: высота ствола сваи <math>H = 2000...4000</math> мм; диаметр основания сваи <math>s_{1вн} = 102...325</math> мм; толщина бесшовной трубы <math>1_{вн} = 3...5</math> мм; толщина внешней оболочки <math>1_{нар} = 0,5... 1,5</math> мм.</p> <p>В случае когда свая прорезает несколько слоев с различными механическими характеристиками грунта, ее форма может несколько отличаться от идеальной (конической), то есть слой менее плотного грунта будет уплотняться больше, а значит, появится уширение, а более плотный грунт – наоборот, в результате чего будет получено некоторое сужение</p>	<p>Сваи целесообразно применять в слабых, сжимаемых структурно неустойчивых грунтах. При выполнении оболочек свай из кислотоупорного материала (например, фторопласта) их можно использовать при строительстве объектов химической промышленности.</p> <p>Существенное снижение динамических нагрузок при устройстве свай позволяет использовать их вблизи существующих зданий и сооружений, а также при реконструкции фундаментов</p>
<p><b>Клиновидная набивная</b> (рис. 3, 8)</p>	<p>Для формирования ствола сваи предназначена специальная обсадная труба, снабженная гидравлической трансформируемой системой преднапряжения грунта по боковой поверхности сваи. Система включает в себя камеру высокого давления, а также основную рабочую камеру. Выше несущая труба оборудована прижимной кольцевой плитой с ребрами жесткости и кольцевым домкратом с элементом кольцевого крепления,</p>	<p>Низкая трудоемкость и высокая производительность, а также высокая несущая способность за счет глубинного уплотнения боковой поверхности. К недостаткам можно отнести сложную технологию исполнения, что увеличи-</p>	<p>Сваю эффективно применять в структурно-устойчивых грунтах</p>



	обе камеры снабжены трубопроводами, через которые в них подается под давлением вода или воздух	вает время изготовления сваи в грунте, и необходимость использования дополнительной оснастки в виде прижимной плиты	
<b>Пирамидально-цилиндрическая</b> (рис. 3, 9)	Готовая железобетонная свая обычно принимается длиной от 6 до 9 м и состоит из пирамидальной части круглого поперечного сечения переменной длины сечением от 200×200 до 300×300 мм и цилиндрической части длиной 2500 мм сечением 300×300 мм. В центре сечения ствола сваи устанавливаются продольную напрягаемую арматуру. Дополнительно армируется цилиндрическая часть сваи – напрягаемым арматурным каркасом и сетками	Имеют лучшие технико-экономические показатели в сравнении с призматическими сваями. Расход бетона на сваю сокращается на 18–23 %, а расход арматурной стали, в зависимости от длины сваи, на 26–40 %	Могут применяться при устройстве фундаментов предприятий промышленного и гражданского строительства в мелких, рыхлых и пылеватых песках средней плотности, пластичных супесях, в суглинках и глинах от полутвердой до текучепластичной консистенции
<b>Ромбовидная</b> (рис. 3, 10)	Различают ромбовидные забивные заводского изготовления сваи с верхними и нижними наклонными гранями	Ромбовидная свая дополнительно уплотняет грунт верхними наклонными гранями и передает на него не только касательные, но и нормальные усилия, благодаря чему такие конструкции дают возможность повысить несущую способность фундамента в пучинистых грунтах и воспринимать более высокие нагрузки, чем на призматические сваи, имеющие одинаковые с ромбовидными длину и объём	Применяется для того чтобы уменьшить величину касательных сил морозного пучения грунта при промерзании
<b>Бипирамидальная</b> (рис. 3, 11)	Конструктивная геометрия тела сваи состоит из двух пирамидальных элементов, при соединении которых образуется пирамидальная свая с уширением в верхней части. Бипирамидальные сваи изготавливаются в заводских условиях и затем погружаются, как и забивные сваи традиционной формы, существующими свайными агрегатами. Предложен второй способ применения бипирамидальных свай: на заводе изготавливается металлический штамп с размерами и формой, соответствующими применяемым бипирамидальным сваям, он навешивается на трактор или экскаватор, которые имеют соответствующие стойку и направляющие. Изготовление фундаментов из бипирамидальных свай производится путем выштамповывания ложа, которое потом заполняется бетонной смесью. При данном способе значительно уменьшаются затраты труда на изготовление свай и сокращается расход арматуры	По данным экспериментальных исследований, сопротивление бипирамидальных свай равны величине сопротивления пирамидальных свай таких же размеров (размер поперечного сечения в голове и нижнего конца, длина) и при одинаковых осадках. Удельное сопротивление бипирамидальных свай в 2–2,5 раза выше, чем у пирамидальных свай, и в 4–5 раз выше, чем у призматических. Расход бетона и стали на их изготовление сокращается в таких же пределах. При этом увеличиваются затраты на оснастку, в которой изготавливаются сваи	Наибольшее распространение сваи с получили в жилищном и промышленном строительстве
<b>Пирамидально-призматическая</b>	Длина свай обычно принимается от 6 до 10 м. Состоит из пирамидальной части переменной длины сечением от 200×200 до 300×300 мм и призматической части длиной 2500 мм сечением 300×300 мм. Изготавливаются из тяжелого конструкционного бетона. В центре сечения ствола сваи устанавливают продольную напрягаемую арматуру. Дополнительно армируется призматическая часть сваи – напрягаемым арматурным каркасом и сетками. Нижний конец сваи усиливается провололочной спиралью	Имеют лучшие технико-экономические показатели в сравнении с призматическими сваями. Расход бетона на сваю сокращается на 18–23 %, а расход арматурной стали, в зависимости от длины сваи, на 26–40 %	Пирамидально-призматические сваи с напрягаемой арматурой целесообразно использовать как висячие сваи в мелких, рыхлых и пылеватых песках средней плотности, пластичных супесях, в суглинках и глинах от полутвердой до текучепластичной консистенции. Могут применяться при устройстве фундаментов предприятий промышленного и гражданского строительства



<p><b>Короткая пирамидальная со стаканом</b> (рис. 3, 12, 13)</p>	<p>Начиная с 1967 г. велись работы по исследованию и внедрению в производство коротких пирамидальных свай с углом коничности 6–13°. Для установки колонны в короткой пирамидальной свае устраивается стакан по аналогии с фундаментами-башмаками стаканного типа</p>	<p>Применение таких свай длиной 1,6–4 м в ряде случаев позволило эффективнее использовать материал свай и снизить стоимость строительства по сравнению с другими фундаментами, включая фундаменты на призматических или длинных сваях с малыми углами коничности, и более полно использовать материал свай</p>	<p>В строительной индустрии короткие пирамидальные сваи со стаканом для установки колонны используются в подземной части конструкции различных типов полносборных сельскохозяйственных зданий</p>
<p><b>Короткая пирамидальная с ростверком</b> (рис. 3, 14)</p>	<p>Доля работы ростверка в свайном фундаменте обратно пропорциональна длине свай</p>	<p>Конструктивное выполнение таких свай зависит от типа сооружения. Например, нижняя часть свай должна иметь форму пирамиды, а верхняя может быть аналогична конструкции фундаментов стаканного типа</p>	<p>В качестве фундаментов сооружений, воспринимающих горизонтальные, динамические, сейсмические нагрузки, а также нагрузки, возникающие от действия изгибающего момента</p>
<p><b>Короткая пирамидальная с заглубленной пирамидой</b> (рис. 3, 15)</p>	<p>Наиболее целесообразной и простой конструктивной формой свай является правильная четырехгранная усеченная пирамида. Относительно небольшая длина пирамидальных свай и массивность их верхней части позволяют значительно снизить расход металла на армирование свай, работающих на вертикальные нагрузки. Большой интерес вызывают перспективы применения пирамидальных свай</p>	<p>Накопленный опыт исследований, проектирования и строительства зданий и сооружений показал, что в целях наиболее полного использования материала свай, сокращения трудоемкости и стоимости строительства диапазон оптимальных размеров коротких пирамидальных свай для типового проектирования следует ограничить такими пределами: длина пирамидальной части 1–4 м, угол сбега граней пирамиды 5–13°, размер головы свай 60–80 см, размер нижнего торца 5–10 см</p>	<p>Здания различного назначения, возводимые на спланированных строительных площадках. В качестве фундаментов сооружений, воспринимающих горизонтальные, динамические, сейсмические нагрузки, а также нагрузки, возникающие от действия изгибающего момента</p>
<p><b>Короткая пирамидальная свая-колонна</b> (рис. 3, 16, 17)</p>	<p>Исследованием особенностей проектирования и устройства фундаментов на коротких пирамидальных сваях занимались кандидаты технических наук В. И. Хазин, А. С. Головачев, А. А. Орел, инженер А. М. Ландарь. Согласно их исследованиям, в зависимости от назначения, условий работы и типа сооружения пирамидальные сваи можно выполнять с квадратным или круглым отверстием (свая-колонна, свая со стаканом, свая с ростверком, свая с заглубленной пирамидой), сплошными или полыми, с верхним призматическим участком или без него [14, 15]</p>	<p>Конструктивное выполнение таких свай зависит от типа сооружения. Например, нижняя часть свай должна иметь форму пирамиды, а верхняя может быть аналогична конструкции фундаментов стаканного типа</p>	<p>При устройстве фундаментов из пирамидальных свай на склоне горы или холма можно применять сваи-колонны одинаковой или разной длины. При возведении опоры контактной сети электрифицированных железных дорог</p>



Рис. 6. Предлагаемая классификация свай с уширениями

**Выводы:**

1. Классификация конструкции свай с уширением вверху (поверхностным уширением) представлена на рис. 6.

2. С практической точки зрения сваи с уширениями вверху демонстрируют высокие прочностные характеристики в качестве фундаментов зданий и сооружений, воспринимающих горизонтальные, динамические, сейсмические нагрузки, а также нагрузки, возникающие от действия изгибающего момента.

3. Полевые испытания свайных фундаментов с поверхностными уширениями и наклонными боковыми сваями показывают, что их несущая способность в значительной степени зависит от характеристик зоны уплотнения окологрунтового пространства в верхней части

и в 2–5 раз выше, чем у обычных призматических свай.

4. Опыт применения готовых и набивных свай с поверхностными уширениями и наклонными боковыми гранями позволил выявить, что несущая способность таких конструкций возрастает за счет не только увеличения площади у оголовка, но и изменения условий работы грунта по боковой поверхности «расширяющейся» сваи вверху и силы трения, которая реализуется в большей мере.

5. Интенсивность внедрения свайных фундаментов с поверхностными уширениями затрудняется ввиду отсутствия в настоящее время надежных, проверенных инженерных методов их расчета, что не способствует их широкому применению в практике строительства.

**Список литературы**

1. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85.
2. Луга А. А. Свайные работы : учеб. пособие. М. : Трансжелдориздат, 1947.
3. Проектирование фундаментов зданий и подземных сооружений : учеб. пособие / Б. И. Долматов, В. Н. Бронин, А. В. Голли [и др.]. 2-е изд. М. : АСВ ; СПб. : СПбГАСУ, 2001. 440 с.
4. Мангушев Р. А., Захаров М. С. Инженерно-геологические и инженерно-геотехнические изыскания для строительства : учеб. пособие. М. : АСВ, 2014. 176 с.
5. Мангушев Р. А., Ершов А. В., Осокин А. И. Современные свайные технологии : учеб. пособие. М. : АСВ ; СПб. : СПбГАСУ, 2007. 160 с.
6. Коновалов П. А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий : учеб. 4-е изд. М. : ВНИИТПИ, 2000. 320 с.
7. Костерин Э. В. Основания и фундаменты : учеб. 3-е изд. М. : Высшая школа, 1990. 431 с.
8. Силкин А. М., Фролов Н. Н. Основания и фундаменты : учеб. 2-е изд. М. : Агропромиздат, 1987. 285 с.
9. Vesic A. S. Expansion of cavities in infinite soil mass. Journal of the soil mechanics and foundations division: Proceedings of the American Society of civil engineers. 1972, Vol. 98. P. 265–290.
10. Hirayama H. A. Unified base bearing capacity formula for piles // Soils and Foundations. Vol. 26. 1988. № 3. Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering. P. 91–102.
11. Broid I. I. For calculation of soil erosion by liquid jet in air stream process towards Jet Grouting Method // Proceedings of International Conference on Anchoring & Grouting towards the New Century, October 6–9 1999, Guangzhou, China.
12. Крутов В. И. Предложения по классификации оснований и фундаментов // Основания и фундаменты, механика грунтов. 2013. № 1. С. 23–27.
13. Штоль Т. М., Теличенко В. И., Феклин В. И. Технология возведения подземной части зданий и сооружений : учеб. пособие для вузов: Спец.: «Пром. и гражд. стр-во». М. : Стройиздат, 1990. 288 с.
14. Хазин В. И. Опыт применения коротких пирамидальных свай. М. : Оргтрансстрой, 1970. 12 с.
15. Головачев А. С., Хазин В. И. Вибродинамические испытания призматических и пирамидальных свай в различных грунтовых условиях // Труды ЦНИИСа, вып. 85. М. : Транспорт, 1972. 106 с.
16. Смиренский Г. М., Нудельман Л. А., Радугин А. Е. Свайные фундаменты гражданских зданий. М. : Стройиздат, 1970. 141 с.
17. Ермишкин П. М. Устройство буронабивных свай : учеб. М. : Стройиздат, 1982. 160 с.
18. Землянский А. А., Вертынский О. С. Формообразование в грунте конической сваи // III науч.-практич. конф. Пенза : ПДЗ, 2004.
19. Купчикова Н. В. Исследование напряженно-деформированного состояния свайных фундаментов с концевыми и поверхностными уширениями в структурно-неустойчивых основаниях : дис. ... канд. тех. наук. М., 2010. 200 с. : ил.
20. Моргун А. И. Полевые исследования деформаций основания бипирамидальных свай // Свайные фундаменты : сб. Института строительства и архитектуры Госстроя БССР. Минск, 1975.
21. Купчикова Н. В. Технологическая эффективность применения свай с поверхностными уширениями в зависимости от изменения геометрии сборных клиньев в просадочных грунтах // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 6. С. 53–56.
22. Купчикова Н. В. Методика расчета свайных фундаментов с уширениями на сейсмические воздействия, основанная на свойствах изображения Фурье финитных функций // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 8. С. 24–31.
23. Голубков В. Н. Несущая способность свайных оснований. М. : Машстройиздат, 1950. 143 с.
24. Платонов Ю. Н. Несущая способность свай, усиленных забивными оголовками // Несущая способность свай в слабых грунтах : сб. науч. тр. / ЛИИЖТ. Л., 1966.

© Н. В. Купчикова

**Ссылка для цитирования:**

Купчикова Н. В. Предложения по дополнению классификации конструкций готовых и набивных свай с уширениями сверху и наклонными боковыми сваями // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский инженерно-строительный институт. Астрахань : ГАОУ АО ВПО «АИСИ», 2015. № 1 (11). С. 25–35.