УДК 624.154.34

И.И. Бекбасаров, Р.Т. Байтелиев, С.К. Шилибеков, Г.И. Исаков

Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан

Жамбылский областной акимат, Тараз, Казахстан

НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ СВАЙНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Рассмотрены особенности забивных железобетонных свай с разной прочностью материала, свай с плоскими треугольными уширениями и свай с Х-образной формой ствола. Изложен способ устройства ленточного свайного фундамента с монолитным ростверком в выштампованной траншее, а также описаны конструктивные особенности свайного наголовника, обеспечивающего передачу ударных усилий от молота на боковую поверхность головной части свай. Показаны преимущества разработанных свайных конструкции, технологические схемы их изготовления и способы забивки в грунты. Свайные конструкции, свайный наголовник и способ устройства фундамента экономичны, обладают новизной, подтверждающей патентами Республики Казахстан.

Ключевые слова: свая, ствол, бетон, прочность, уширение, ростверк, траншея, выштамповывание, молот, наголовник, напряжение, забивка, грунт.

I.I. Bekbasarov, R.T. Baiteliyev, S.K. Shilibekov, G.I. Isakov Taraz State University named after M.Kh. Dulati, Taraz, Kazakhstan
Zhambyl regional administration, Taraz, Kazakhstan

NEW PROSPECTIVE RESOURCES SAVES GEOTECHNICAL DESIGNS

The features of precast concrete piles with different material strength, with flat triangular piles and piles with a broadening of the X-shaped trunk are considered. Discloses a method of pile foundation tape device with a monolithic grillage in forged into the trench, and describes the design features of the pile caps, ensuring the transfer of impact force from a hammer on the side surface of the head of the pile. The advantages of the developed pile construction, their technological schemes and methods of manufacturing pile into the ground are showed. Pile designs, pile cap and method for the installation of foundations are economical, new, confirming the patents of the Republic of Kazakhstan.

Keywords: pile, trunk, concrete, strength, broadening, grillage, trench, punching, hammer, pile cap, tension, piling, soil.

В последние годы лабораторией инженерного профиля Таразского государственного университета им. М.Х. Дулати предложен ряд инновационных конструкций, относящихся к сфере свайного фундамен-

тостроения и предназначенных для строительной отрасли Казахстана. К ним относятся:

- свая с тремя разнопрочными участками ствола (полипрочная свая) (инновационный патент № 26652 Республики Казахстан);
- свая с плоскими уширениями ствола (инновационный патент № 26653 Республики Казахстан);
- свая с Х-образной формой ствола (инновационный патент № 27763 Республики Казахстан);
- ленточный свайный фундамент с монолитным ростверком в выштампованной траншее (инновационный патент № 27764 Республики Казахстан);
- свайный наголовник (инновационный патент № 26400 Республики Казахстан).

Полипрочные сваи. Забивные железобетонные сваи, применяемые в свайном фундаментастроении в пределах конкретного номенклатурного типа изготавливаются из одного вида, состава и класса бетона по прочности на сжатие. Исключением служат сваи со сталефибробетонной головной частью, в которых верхний участок сваи длиной 40 см имеет повышенную прочность за счет ее армирования специальными металлическими фибрами [1]. Изготовление монопрочных свай (свай с постоянной прочностью бетона ствола) оправдано технологически, но не обосновано научно, а следовательно, нерационально практически. Это подтверждается тем, что как в период эксплуатации, так и в процессе забивки напряженное состояние свай не характеризуется равномерным распределением сжимающих напряжений по их длине [2, 3]. При этом высокий уровень напряжений и их неравномерного распределения по длине свай имеет место при их забивке молотами. Исходя из этого, была выдвинута идея формирования прочности ствола свай в соответствии с характером распределения сжимающих напряжений, возникающих в них в процессе их ударного погружения в грунты. Данная идея была положена в основу создания полипрочных и полибетонных свай и освещена в работах [4, 5].

Полипрочные сваи представляют собой сваи, состоящие из нескольких разнопрочных участков ствола, изготавливаемых из одного вида бетона. Полибетонные сваи – это те же полипрочные сваи, но изготавливаемые из нескольких видов бетона.

Разработаны три варианта полипрочных свай, каждая из которых состоит из трех разнопрочных участков, размеры, класс бетона и диа-

метр продольной арматуры которых назначаются дифференцированно в зависимости от величины и характера распределения сжимающих напряжений по длине свай при их забивке. В полипрочной свае участок 1 длиной L_T представляет собой головную часть сваи, участок 2 длиной L_C – среднюю часть, а участок 3 длиной L_H – нижнюю часть сваи (включая острие). Длина L_T , L_C и L_H , а также класс бетона участков сваи B_T , B_C и B_H назначаются согласно табл. 1. При этом вид эпюры сжимающих напряжений в сваях при забивке предварительно принимается по табл. 2 в зависимости от максимального значения напряжений в головной части свай при ударах молота. Рекомендации, представленные в табл. 1, 2, составлены с учетом результатов исследований, изложенных в работах [6, 7].

Таблица 1

Длина и класс бетона разнопрочных участков сваи

№ п/п	Вид эпюры распределения сжимающих напряжений в свае при забивке	Длина разнопрочных участков в долях от общей длины сваи L			Класс бетона участков сваи на сжатие		
		L_T	L_C	L_H	B_T	B_C	B_H
1	В виде трапеции с вогнутостью в верхней части	0,15L	0,35L	0,5L	12,5	10	7,5
2	В виде правильной трапеции	0,25L	0,35L	0,40L	15	12,5	10
3	В виде трапеции с выпуклостью в верхней и средней части	0,40 L	0,40L	0,20L	20	15	12,5

Таблица 2

Виды эпюр сжимающих напряжений в сваях при забивке

№ п/п	Максимальный уровень сжимающих напряжений в головной части свай при забивке	Вид эпюры распределения сжимающих напряжений в свае при забивке
1	14 МПа и менее	В виде трапеции с вогнутостью в верхней части
2	От 14 до 19 МПа	В виде правильной трапеции
3	От 19 до 22 МПа	В виде трапеции с выпуклостью в верхней и средней части

Данные, представленные в табл. 1 и 2, распространяются на призматические сваи длиной до 12 м. Если прогнозный максимальный уровень сжимающих напряжений в сваях при забивке будет выше 22 МПа, то эпюру напряжений в них можно принимать близкой к прямоугольной, а прочность бетона и диаметр продольной арматуры – одинаковой по всему стволу, как для традиционных монопрочных свай.

Как видно, в полипрочных сваях обеспечивается рациональное использование материала их ствола, так как прочность бетона их отдельных участков подбирается с учетом фактического уровня напряжений в них при забивке. Изготовление каждой полипрочной сваи сопровождается снижением расхода материалов: цемента – на 15,9–20,7 %; щебня – на 28,6–33,3 %; песка на 13,8–15,9 %. Стоимость полипрочных свай на 13,1–28,6 % ниже стоимости традиционных монопрочных свай. Причем разница в стоимости сравниваемых свай тем выше, чем больше их длина (рис. 1).

Рис. 1. Зависимость стоимости свай от их длины

Разработаны две технологические схемы изготовления полипрочных свай в заводских условиях. Первая схема включает в себя одноопалубочное горизонтальное бетонирование сваи с делением ее ствола на разнопрочные участки при помощи вставляемых до и удаляемых после бетонирования тонких съемных пластин-перемычек. Вторая схема предусматривает раздельное изготовление в вертикальных

опалубках головной и нижней частей свай, и их последующее соединение со средней частью в горизонтальной опалубке.

Сваи с уширениями ствола представляют собой железобетонные сваи с 1–5 и более плоскими уширениями треугольной формы, обладающие клиновидной формой острия (рис. 2). Забивка таких свай производится с подсыпкой грунта под уширения (рис. 3).

Экспериментальными исследованиями с применением моделей свай, обладающих разной продольной формой, установлено, что сваи с уширениями по сравнению со свайей призматической формы обладают более высокой удельной несущей способностью (табл. 3). Причем этот эффект тем выше, чем больше количество уширений сваи. Так, из табл. 3 следует, что изменение количества треугольных уширений от 2 до 5 приводит к увеличению удельной несущей способности новых свай по сравнению с призматической свайей от 7,9 до 43,3 %. Высокая удельная несущая способность свай с уширениями сопровождается повышенной удельной энергоемкостью и большей относительной глубиной погружения. Вид уширения также оказывает влияние как на параметры погружения свай, так и на их несущую способность.

Рис. 2. Схема сваи с уширениями: сваи с уширениями 1 – головная часть сваи; 2 – ствол; 3 – плоские уширения; 4 – острие

Рис. 3. Технологическая схема забивки
1 – воронка; 2 – свая; 3 – емкость;
4 – жесткий материал

Таблица 3

Результаты испытаний моделей свай с разной продольной формой

Вид модели сваи	Относительная глубина забивки модели	Удельная энергоемкость погружения модели, Дж/см ³	Удельная несущая способность модели, Н/см ³
С двумя треугольными уширениями	0,785	0,25	1,37
С пятью треугольными уширениями	0,597	0,30	1,82
С пятью прямоугольно-треугольными уширениями	0,560	0,28	1,79
Призматическая	0,569	0,23	1,27

Свая с прямоугольно-треугольными уширениями по несущей способности незначительно отличается от сваи с треугольными уширениями (1,6 %), а вот по сравнению с призматической свайей она обладает более высокой несущей способностью (превышение составляет 40,9 %). Несущая способность свай с уширениями зависит также от объема жесткого материала, засыпаемого в пространство между уширениями при ее забивке (табл. 4). Установлено в целом, что для сваи с пятью треугольными уширениями, объем засыпаемого песка (принятого в опытах в качестве жесткого материала) при забивке составляет 57–76 % от полного объема пространства между уширениями. Из таблицы 4 следует, что погружение свай с засыпкой песка приводит к увеличению их удельной несущей способности на 19–46 %. При этом несущая способность тем больше, чем больше объем песка, засыпанного между уширениями. С увеличением объема засыпки песка повышается также и удельная энергоемкость забивки свай (на 20–47 %).

Таблица 4

Результаты испытаний моделей свай с засыпкой песка
в пространство между уширениями

Вид модели сваи (объем засыпки песка в процентах от полного объема уширений)	Относительная глубина забив- ки модели	Удельная энергоем- кость погружения модели, Дж/см ³	Удельная несущая способность моде- ли, Н/см ³
С пятью уширениями (без подсыпки песка)	0,597	0,30	1,82

Окончание табл. 4

Вид модели сваи (объем засыпки песка в процентах от полного объема уширений)	Относительная глубина забив- ки модели	Удельная энергоем- кость погружения модели, Дж/см ³	Удельная несущая способность моде- ли, Н/см ³
С пятью треугольными уширениями (57 %)	0,601	0,36	2,17
С пятью треугольными уширениями (66 %)	0,589	0,39	2,40
С пятью треугольными уширениями (76 %)	0,593	0,44	2,66

Свая с X-образной формой ствола. Свая состоит из призматической головной части, ствола, имеющего X-образную форму в поперечном сечении и острие пирамидальной формы. Изготовление свай производится с применением соответствующей металлической формы. Для забивки таких свай используются сваебойные молоты, применяемые для погружения обычных железобетонных свай. Сваи с X-образной формой по сравнению с призматическими сваями обладают меньшими расходом бетона и соответственно меньшим весом. Сваи с X-образной формой ствола при толщине стенок ствола 6–12 см, обладают большей на 37–43 % площадью боковой поверхности, чем призматические сваи. За счет большей площади боковой поверхности, рассматриваемые сваи имеют более высокую несущую способность.

Ленточный свайный фундамент с монолитным ростверком в выштампованной траншее. При устройстве данного фундамента, выштамповывание траншеи под ростверк производится после забивки определенного фрагмента свай. Ленточный штамп в поперечном сечении имеет форму перевернутой усеченной пирамиды с размерами, соответствующими размерам будущего ростверка. Длина штампа определяется расстоянием между сваями. В зависимости от этого параметра штамп может изготавливаться для выштамповывания фрагмента ростверка отдельно для двух или трех свай. Поэтому штамп может обладать соответственно двумя или тремя отверстиями для пропуска головной части уже забитых свай. Выштамповывание фрагмента ростверка производится тем же молотом, который используется для забивки свай. Таким образом, выштамповывание ленточного ростверка производится отдельными фрагментами, места стыковки которых вы-

штамповываются с определенным запуском одного края штампа в готовый фрагмент траншеи.

Устройство ленточного свайного фундамента с ростверком в выштампованной траншее позволяет:

- сократить объем земляных работ, за счет изготовления полости под ростверк без выемки грунта;
- повысить несущую способность забитых свай за счет уплотнения разрыхленного грунта в их верхней части;
- значительно повысить несущую способность ростверка.

Общее повышение несущей способности свайного фундамента за счет дополнительного увеличения несущей способности ростверка и уже забитых свай приводит к существенному увеличению удельной несущей способности фундамента, а следовательно, к экономии материалов на его изготовление.

Для отработки технологии устройства и выявления особенностей работы ленточного свайного фундамента с ростверком в выштампованной траншее, а также свай с Х-образной формой ствола организованы и реализуются экспериментальные исследования с применением соответствующих моделей в лабораторных условиях.

Свайный наголовник. Существующие свайные наголовники, используемые для забивки свай, позволяют передавать ударные усилия от молота на горизонтальную или наклонные поверхности торца головы свай. Разработанный наголовник отличается от них тем, что он обеспечивает передачу ударных усилий не через торцовую часть головы свай, а через ее боковые грани. Это обеспечивается через систему прижимных винтов и пластин (рис. 4).

При использовании традиционных наголовников, площадь контактной зоны (площадь торцевой поверхности свай) постоянна и ее невозможно увеличить, разве только за счет использования свай с большими размерами торцевой части головы. Преимуществом нового свайного наголовника является то, что он конструктивно позволяет увеличивать площадь контактной зоны молота и свай (площадь передачи ударных усилий молота на боковую поверхность свай). Это, в свою очередь, вызывает уменьшение сжимающих напряжений, возникающих в свае при ударах молота.

Рис. 4. Схема свайного наголовника: 1 – верхняя выемка; 2 – верхний амортизатор; 3 – верхний обруч; 4 – диафрагма; 5 – нижний обруч; 6 – нижняя выемка; 7 – резиновые амортизаторы; 8 – вертикальные подвижные пластины; 9 – прижимные винты; 10 – обжимные пояса; 11 – шабот; 12 – молот; 13 – свая; 14 – корпус

Например, при высоте боковой контактной зоны, равной 30 см (для свай с размерами поперечного сечения головы 30×30 см), ее площадь увеличивается в 4 раза. При этом, как показали расчеты, выполненные в соответствии с методикой, изложенной в работе [3], применение нового наголовника позволяет снижать уровень динамических сжимающих напряжений в голове свай в 3,6 раза. Таким образом, использование свайного наголовника с боковой контактной зоной обеспечивает бездефектное погружение железобетонных свай. К тому же наличие подобных наголовников открывает возможность забивки свай, имеющих выпуски продольной арматуры, необходимой для жесткого сопряжения головы свай с монолитным ростверком. Промышленное изготовление таких свай и их применение в комплекте с рассматриваемым свайным наголовником позволяет традиционную технологию забивки свай переводить в разряд ресурсосберегающей технологии, при которой исключаются дефекты свай и оголение арматуры их головной части после забивки. В настоящее время в ТарГУ им. М.Х. Дулати проводятся экспериментальные исследования по апробации нового свайного наголовника для условий забивки микросвай штанговым дизель-молотом с весом ударной части 500 кН.

Библиографический список

1. Забивные сваи с железобетонным стволом и сталефибробетонной головой / Г.С. Родов, Л.Г. Курбатов, В.С. Куприянов, М.Я. Хазанов // Материалы семинара по повышению качества нулевого цикла. – Ленинград, 1979. – С. 54–62.
2. Бартоломей А.А., Бекбасаров И.И. О динамических сжимающих напряжениях, возникающих в сваях при их забивке в грунты // Основания и фундаменты в геологических условиях Урала: межвуз. сб. науч. тр. – Пермь, 1984. – С. 6–12.
3. Бекбасаров И.И. Основы рациональной забивки железобетонных свай в грунты: монография. – Тараз: Изд-во «Тараз университеті», 2011. – 155 с.
4. Бекбасаров И.И., Исаков Г.И. Принципы создания полибетонных железобетонных свай // Материалы XIII студенческой научно-практической конференции по естественным, техническим, социально-гуманитарным и экономическим наукам, посвященной 20-летию Независимости Республики Казахстан. – Тараз: Изд-во «Тараз университеті», 2011. – С. 141–142.
5. Бекбасаров И.И., Исаков Г.И. Полипрочные и полибетонные сваи // Наука и технологии: шаг в будущее: сб. тез. V Всемир. конгресса инжиниринга и технологий – WCET – 2012. – Алматы, 2012. – С. 82–84.
6. Бекбасаров И.И., Исаков Г.И. Забивная свая с переменной прочностью и технологические принципы ее изготовления // Materialy VII mezinárodní vědecko-praktická Konference “Vědecký průmysl evropského kontinentu – 2011”. Díl 26 Technické vědy, Vystavba a architektura. – Praha: Publishing House “Education and Science” s.r.o.pp. 72–75.
7. Бекбасаров И.И., Исаков Г.И., Саимбетова Б.Т. Технология изготовления и технико-экономические показатели полипрочных свай // Materialy VIII mezinárodní vědecko-praktická Konference “Efektivní nástroje moderních věd – 2012”. Díl 31 Vystavba a architektura Technické vědy. – Praha: Publishing House “Education and Science” s.r.o.pp. 69–73.

References

1. Rodov G.S., Kurbatov L.G., Kupriyanov V.S., Khazanov M.Ya. Zabivnye svai s zhelezobetonnyym stvolom i stalefibrobetonnoj golovoj [Precast reinforced concrete piles with the barrel and steel fiber concrete

head]. *Materialy seminara po povysheniyu kachestva nulevogo tsikla*. Leningrad, 1979, pp. 54-62.

2. Bartolomey A.A., Bekbasarov I.I. O dinamicheskikh szhimayushchikh na-pryazheniyakh, voznikayushchikh v svayakh pri ikh zabivke v grunty [On dynamic compressive stresses arising in piles in their pile into the ground]. *Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov "Osnovaniya i fundamenty v geologicheskikh usloviyakh Urala"*. Perm, 1984, pp. 6-12.

3. Bekbasarov I.I. Osnovy ratsional'noj zabivki zhelezobetonnykh svay v grunty [Theory rational driving concrete piles into the ground]. Taraz: Taraz universitet, 2011, 155 p.

4. Bekbasarov I.I., Isakov G.I. Printsipy sozdaniya polibetonnykh zhelezobetonnykh svay [Principles of creation polibetonnykh concrete piles]. *Materialy XIII studencheskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii po estestvennym, tekhnicheskim, sotsial'no-gumanitarnym i ekonomicheskim naukam, posvyashchennoj 20-letiyu Nezavisimosti Respubliki Kazakhstan*, Taraz: Taraz universitet, 2011, pp. 141-142.

5. Bekbasarov I.I., Isakov G.I. Poliprochnye i polibetonnye svai [Strong poly and poly concrete piles]. *Sbornik tezisev V Vsemirnogo kongressa inzhiniringa i tekhnologii WCET – 2012: «Nauka i tekhnologii: shag v budushchee»*. Almaty, 2012, pp. 82-84.

6. Bekbasarov I.I., Isakov G.I. Zabivnaya svaya s peremennoy prochnost'yu i tekhnologicheskie printsipy ee izgotovleniya [Driven pile with variable strength and technological principles of its making]. *Materialy VII mezinarodni vedecko-prakticka Konfrencie "Vedecky prumysl evropskeho kontinentu – 2011". Dil 26 Technicke vedy, Vystavba a architektura*. Praha: Publishing House "Education and Science" s.r.o., 2011, pp. 72-75.

7. Bekbasarov I.I., Isakov G.I., Saimbetova B.T. Tekhnologiya izgotovleniya i tekhniko-ekonomicheskie pokazateli poliprochnykh svay [Manufacturing technology and technical and economic indicators of strong poly piles]. *Materialy VIII mezinarodni vedecko-prakticka Konfrencie "Efektivni nastroje modrnich ved - 2012". Dil 31 Vystavba a architektura Technicke vedy*. Praha: Publishing House "Education and Science" s.r.o., 2011, pp. 69-73.

Об авторах

Бекбасаров Исабай Исакович (Тараз, Казахстан) – доктор технических наук, профессор, директор департамента науки и новых

технологий Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати (e-mail: bekbasarov.isabai@mail.ru).

Байтелиев Рахман Турсынович (Тараз, Казахстан) – почетный профессор Таразского государственного университета им. М.Х. Дулати, начальник управления строительства, пассажирского транспорта и автомобильных дорог акимата Жамбылской области.

Шилибеков Сенбек Кошкарбаевич (Тараз, Казахстан) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные материалы и конструкции» Таразского государственного университета им. М.Х. Дулати.

Исаков Галым Исабаевич (Тараз, Казахстан) – магистр строительства, главный специалист управления строительства, пассажирского транспорта и автомобильных дорог акимата Жамбылской области (e-mail: gogi_89_27@mail.ru).

About the authors

Bekbasarov Isabai Isakovich (Taraz, Kazakhstan) – Doctor of Technical Sciences, Professor, director of the department of science and technology, Taraz State University named after M.Kh. Dulati (e-mail: bekbasarov.isabai@mail.ru).

Bayteliev Rakhman Tursynovich (Taraz, Kazakhstan) – Honorable Professor Taraz State University named after M.Kh. Dulati, Head of construction management, passenger transport and highways of Zhambyl regional administration.

Shilibekov Senbek Koshkarbaevich (Taraz, Kazakhstan) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Building materials and structures, Taraz State University named after M.Kh. Dulati.

Isakov Galym Isabaevich (Taraz, Kazakhstan) – Masters Degree of Construction, Main expert of construction management, passenger transport and highways, Zhambyl regional administration (e-mail: gogi_89_27@mail.ru).

Получено 03.04.2014