

## ОПЫТ ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ НАТУРНЫХ СВАЙ СТАТИЧЕСКОЙ ВДАВЛИВАЮЩЕЙ НАГРУЗКОЙ

*Павлов А.П., Теличенко А.И., Шушкевич В.И.*

***Аннотация.** Рассмотрены способы контрольных испытаний натурных свай статическими вдавливающими нагрузками обычным и ускоренным методами с учетом опыта их выполнения на стройках в Сумской области.*

***Ключевые слова:** свайные фундаменты, полевые контрольные испытания свай, образцы грунта.*

**Постановка задачи.** Лёссы и лёссовидные суглинки чрезвычайно широко распространены в Сумской области, занимая 80% её территории, преимущественно в западной и центральной её частях. Здесь подавляющее большинство зданий и сооружений возводится именно на лёссовых грунтах с применением свайных фундаментов. Наибольшее применение на стройках Сумщины получили, начиная с 70-х годов XX века, забивные: железобетонные призматические сваи квадратного сечения со стороной 20...40 см и длиной до 12 м; пирамидальные длиной 2...4 м; короткие зубовидные блоки; буронабивные цилиндрические сваи с уширением пяты и без уширения; фундаменты в пробитых скважинах (ФПС) диаметром 50см с грушевидным уширением из втрамбованного твёрдого водонерастворимого материала и без него.

Процессу внедрения каждого нового типа свай предшествовали полевые испытания статической нагрузкой в разных районах Сумщины, а именно: Сумском, Бурынском, Глуховском, Роменском, Недрыгайловском, Белопольском, Краснопольском и Лебединском.

Несущая способность свай определяется в основном проведением полевых испытаний натурных свай для каждого здания и сооружения динамической и статической вдавливающими нагрузками. Количество свай, подлежащих контрольным испытаниям при строительстве, устанавливается техническим заданием и должно быть не менее: для статических испытаний двух; для динамических испытаний – шести [ 4 ], (ранее в соответствии с требованием ГОСТ 5686-78 это количество составляло минимум 5 штук).

Основной подрядной организацией, осуществляющей полевые испытания натурных свай на стройках Сумщины, являлся участок Львовского фундаментспецстроя, который проводил динамические испытания и статическое зондирование. Испытания же свай

статическими вдавливающими нагрузками осуществлялись в указанный период разными строительными организациями с привлечением специализированных научных организаций – НИИСП Госстроя УССР, кафедры оснований и фундаментов Полтавского инженерно-строительного института, ЦНИИЭПсельстроя, а также Харьковского фундаментспецстроя. С 1988 года статические испытания свай проводил вновь созданный Сумской трест «Оргагрострой», а после его ликвидации в 1992 году, созданное при строительном факультете ССХИ малое предприятие «Строительная наука».

В большинстве проведенных испытаний непосредственное участие принимали нынешние работники кафедры «Строительного производства» СНАУ.

В настоящее время специализированной организации по испытанию свай в Сумском регионе нет, а сами испытания проводятся редко случайными организациями, в основном при строительстве объектов с госбюджетным финансированием, часто с нарушениями требований нормативных документов [ 1, 4 ].

**Анализ последних исследований и публикаций**, в которых предлагаются пути решения данной проблемы показывает, что в настоящее время полевые контрольные испытания натурных свай при строительстве должны проводиться с учетом требований приложения А к ДСТУ БВ. 2.1 – 95 (ГОСТ 5686-94), введенных с 01.01.1996 года и отменивших ГОСТ 5686-78, ГОСТ 24546-81 и ГОСТ 24942-81, в соответствии с которыми ранее испытывались сваи. Обобщение накопленного опыта полевых испытаний натурных свай статической вдавливающей нагрузкой проведено с учетом требований действующих нормативных документов [ 1, 4 ]. В предшествующих нормативных документах вопрос ускоренных испытаний свай вдавливающей статической нагрузкой не рассматривался. В действующем стандарте [ 1 ] ускоренные испытания предусмотрены для определенных грунтовых условий. Они позволяют в несколько раз сократить сроки проведения громоздких испытаний натурных свай статической вдавливающей нагрузкой. Учен и производственный опыт проведения ускоренных испытаний, изложенный в [ 2 ] .

Учитывая предшествующий опыт ведения полевых испытаний, авторы указывают на актуальность привязки этапов проведения полевых испытаний натурных свай статической вдавливающей нагрузкой к требованиям действующих стандартов. Большое значение имеет программа полевых испытаний свай; подготовка площадки и устройство опытных свай, в том числе и на просадочных грунтах с их замачиванием; установка для испытания свай; процесс испытания и ведения журнала; обработка результатов испытания; пример решения задачи на конкретной натурной свае ФПС, ускоренный метод испытания натурных свай в полевых условиях.

**Цель статьи:** настоящая статья - первая проба обобщения опыта сумских строителей в проведении полевых испытаний натурных свай статической вдавливающей нагрузкой с целью дальнейшего его развития на стройках Сумщины. Авторы сделали попытку изложить опыт проведения полевых испытаний натурных свай статической вдавливающей нагрузкой с увязкой с требованиями действующих нормативных документов [ 1, 4 ] с примером на конкретно испытанной свае, выработали рекомендации по ускоренному испытанию натурных свай статической вдавливающей нагрузкой.

**Изложение основного материала.** Программа полевых контрольных испытаний свай статической вдавливающей нагрузкой составляется до начала их испытаний с учётом требований приложения А [4]. Программу согласовывает подрядная строительная организация и генпроектировщик.

В программе указываются: вид и конструкция свай, их формы и размеры; способ погружения или устройства свай; расчётные нагрузки на сваи и грунтовые условия объекта по результатам инженерно-геологических испытаний. Также указываются места проведения испытаний, количество испытываемых свай ( до 0,5% от общего количества свай на объекте, но не менее 2 шт. [ 1, 4 ]), конструктивная схема установки для испытания свай; значения ступеней нагрузок при испытаниях; наибольшие нагрузки или наименьшие перемещения свай при испытаниях; материалы, вид, размеры и конструкция испытываемых свай, глубина их погружения, проектный отказ; способы погружения или устройства испытываемых свай.

Полевые контрольные испытания свай при строительстве проводят с целью проверки соответствия несущей способности свай расчётным нагрузкам, установленным в проекте свайного фундамента.

Испытания проводят на участке, отведённом под строительство проектируемого объекта, на расстоянии не более 5 метров и не менее 1 метра от горных выработок, из которых отобраны монолиты грунтов для лабораторных испытаний и где выполнено статическое зондирование.

Испытываемые сваи должны соответствовать стандартам на сваи или техническим условиям; начало испытаний назначают не ранее достижения бетоном свай 80% прочности.

В связи со значительным распространением на объектах строительства Сумщины просадочных грунтов особое внимание уделялось их замачиванию до начала испытаний, предусмотренному в п.6 ГОСТ 5686-94.

Устройство набивных свай в просадочных грунтах, предназначенных для испытаний, выполнялось при природной влажности грунта. Замачивание основания свай начиналось перед их испытанием и продолжалось вплоть до его окончания. Схема расположения

выработок для локального замачивания грунта в основании сваи принималась в соответствии с приложением [ 1 ].

Показательными были проведенные испытания фундаментов в пробитых скважинах (ФПС) на строительстве 9-ти этажного 108-ми квартирного жилого дома по ул. Роменской, №100 в г. Сумы по проекту Сумского института « Агропроект »; генподрядчик – Сумская ПМК-26 « Сумыоблагростроя », где испытано статической вдавливающей нагрузкой четыре ФПС с разными объемами втрамбованного в пяту сваи гранитного щебня. Бетонирование стволов свай проводилось в пробитых при природной влажности грунта скважинах с применением тяжелого бетона класса С 12/15.

Перед испытаниями было проведено замачивание всех испытываемых фундаментов. Для этого около каждого фундамента было пробурено по четыре скважины диаметром 25 см, глубиной 170 см, заполненных щебнем. Площадка около фундаментов также засыпалась щебнем, слоем 10 см (рис. 1).

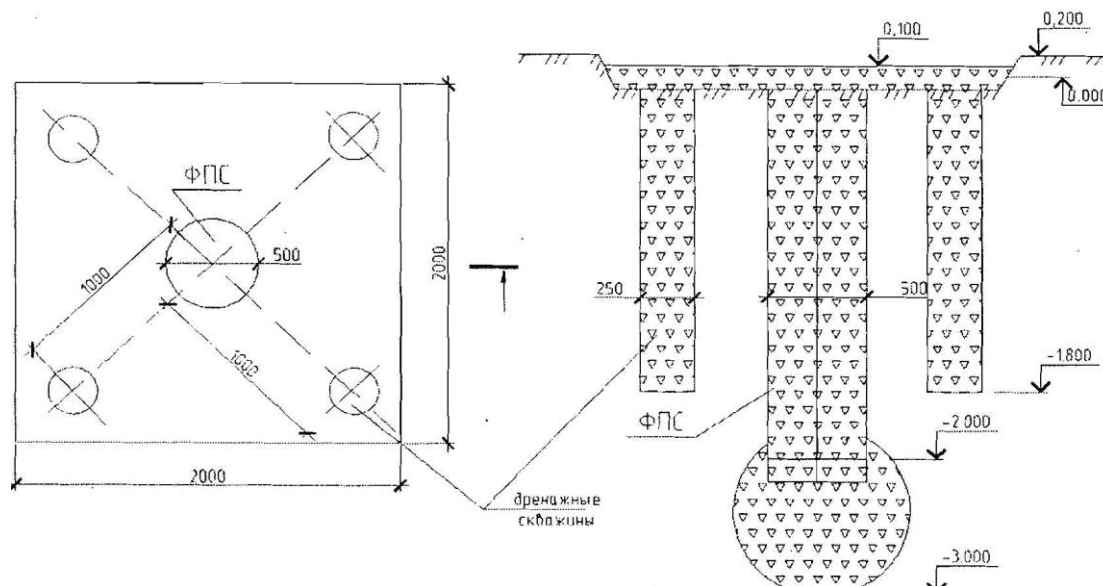


Рис. 1. Схема расположения выработок для локального замачивания грунта в основании сваи

Площадка заливалась водой на высоту засыпки щебня на протяжении 10...15 суток. По окончании замачивания перед каждым испытанием отбирались пробы грунта вблизи фундамента для определения его влажности в лабораторных условиях.

На других исследуемых объектах при замачивании придерживались приведенной выше схемы. Расход воды назначался по рекомендациям п. 6.11 [ 1 ] испытания проводились на специальной площадке, расположенной не менее 1,5Н от строящегося объекта со стороны пониженного рельефа ( Н – толщина всех просадочных слоев ). По требованию стандарта [1]

просадочные свойства грунтов и толщина просадочных слоев на опытной и застраиваемой площадках должны быть идентичны.

Время замачивания назначается первоначально ориентировочно из расчёта не менее суток на каждый метр глубины погружения свай и окончательно устанавливается на основании определения степени влажности образцов грунта, отобранных при контрольном бурении скважины на расстоянии 1 м от боковой поверхности сваи. Контрольное бурение скважины выполняется непосредственно перед началом испытания. Грунт считается замоченным при степени влажности  $S_r \geq 0,8$  объёма грунта вокруг испытываемой сваи, ограниченного расстоянием от оси сваи, равным 5d при забивных и 3d при набивных сваях (d – диаметр или наибольший размер поперечного сечения сваи [1] ).

Оборудование и приборы. В состав установки для испытания свай статическими вдавливающими нагрузками входят:

- устройство для нагружения свай. В большинстве проведенных статических испытаний использованы гидродомкраты ДГ-100 и ДГ-200 с ручной насосной станцией РНС-400. Тарированный груз применен при статических испытаниях забивных свай на строительстве стадиона «Юбилейный» в г.Сумы (в виде блока противовеса башенных кранов.

- опорная конструкция для восприятия реактивных сил. Принципиальные схемы установки приведены в приложении Б [1]. Их четыре, и все они в разной степени частоты применялись на объектах строительства Сумщины. Так, установка с гидравлическим домкратом, системой балок и анкерными сваями применена на строительстве корпуса механизации СНАУ; установка с грузовой платформой, служащей упором для гидравлического домкрата – на строительстве большинства объектов сельскохозяйственного назначения; установка с тарированным грузом – на строительстве стадиона «Юбилейный» в Сумах; комбинированная установка – на строительстве общежития для областного коммунального учреждения Сумского областного совета «СДЮСШ футбольный центр «Барса». Лучшей для проведения статических испытаний свай на строительстве объектов сельскохозяйственного назначения и жилья, высотой до 9-ти этажей нами признана грузовая платформа (рис.2).

Чертежи установки (стадия КМ) имеются на кафедре «Строительного производства» СНАУ:

- устройство для измерения перемещений сваи в процессе испытания (реперная система с измерительными приборами). Расстояние от оси испытываемой натурной сваи до ближайшей опоры грузовой платформы, а также до опор реперной установки должно быть не менее 5 наибольших размеров поперечного сечения сваи, но не менее 2 метров.

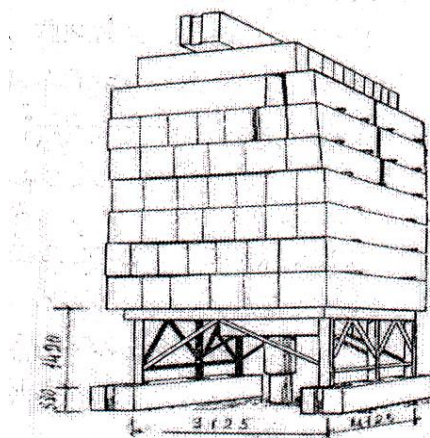


Рис. 2. Общий вид платформы для загрузки фундаментов гидродомкратами. Общая масса фундаментных блоков 180 т, масса платформы 1650 кг

Приборы для измерения деформаций свай должны обеспечивать погрешность измерений не более 0,1 мм. Количество приборов во всех проведенных испытаниях принято два. Приборы устанавливались симметрично на равных расстояниях от испытываемой сваи (но не более 2 м). Перемещение сваи определялось как среднее арифметическое значение показаний двух приборов. Стальную проволоку, диаметром 0,3 мм, перед началом испытаний подвергали предварительному растяжению в течение двух суток грузом массой 4 кг, а во время испытаний груз на проволоке составлял 1...1,5 кг. Для нормальной установки оборудования и приборов производилась предварительная вертикальная планировка площадки для испытаний.

Общий вид платформы и реперной системы с измерительными приборами при полевом испытании ПФС-2 на строительстве 9-ти этажного жилого дома по ул. Роменской, 100 в г.Сумы приведен на рис.3.

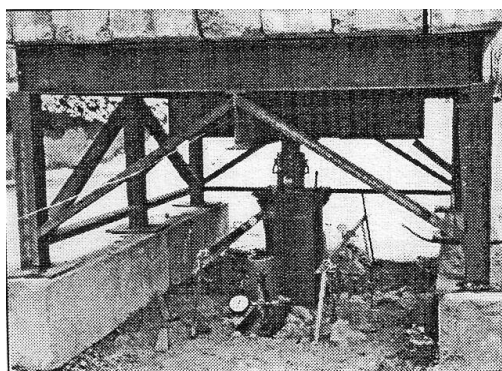


Рис. 3. Грузовая платформа и реперная система для испытания натуральных свай

Осадку сваи измеряли двумя прогибомерами системы ЛИСИ с ценой деления 0,01 мм, закреплённых на реперной системе из уголков 75 x 75 x 8 мм.

Все приборы, используемые для измерения перемещения свай и нагрузок, должны быть протарированы и периодически проверяться согласно паспортным данным. Перед их отправкой на место испытаний проводят внеочередную проверку. Пределы измерений и цену деления манометров, используемых для определения нагрузки на сваю в процессе испытаний, выбирают в зависимости от наибольшей нагрузки на сваю, предусмотренной программой испытаний, с запасом не менее 20%.

Испытание свай статической нагрузкой даёт прямой ответ на вопрос о несущей способности одиночной сваи в зависимости от её осадки под нагрузкой. В процессе испытаний ведётся журнал по форме, рекомендованной приложением Ж [1].

Нагружение сваи производится равномерно, без ударов, ступенями нагрузки, установленными программой испытаний, но не более  $1/10$  заданной в программе наибольшей нагрузки на сваю, а при заглублении нижних концов натуральных свай в плотные пески допускается первые три ступени нагрузки принимать равными  $1/5$  наибольшей нагрузки. На каждой ступени нагружения натурной сваи снимаются отсчёты по всем приборам в следующей последовательности: нулевой отсчёт – перед нагружением сваи; первый отсчёт – сразу после приложения нагрузки; затем последовательно четыре отсчёта с интервалом 30 минут и далее через каждый час до условной стабилизации деформации (затухания перемещения).

За критерий условной стабилизации деформации при испытании натуральных свай принимается скорость осадки сваи на данной ступени нагружения, не превышающая 0,1 мм за последние 60 минут наблюдения, если под нижним концом сваи залегают песчаные грунты, или глинистые грунты от твёрдой до тугопластичной консистенции. Нагрузка при испытании натуральных свай должна быть доведена до значения, при котором общая осадка сваи составляет не менее 40 мм. При этом нагрузка сваи должна быть доведена до значения, предусмотренного программой испытаний, но не менее полуторного значения несущей способности сваи, определенного расчётом, или расчётного сопротивления сваи по материалу. Разгрузку натурной сваи производят после достижения наибольшей нагрузки ступенями, равными удвоенным значениям ступеней нагружения, с выдержкой каждой ступени не менее 15 мин. Отсчёты по приборам снимают сразу после каждой ступени разгрузки и через 15 минут наблюдений. После полной разгрузки наблюдение за упругим перемещением сваи проводят в течение 30 минут при песчаных грунтах под нижним концом сваи, и 60 минут при глинистых грунтах, со снятием отсчётов через каждые 15 минут.

На нашем примере строительства 9-ти этажного жилого дома испытывается натурная свая ПФС-2, выполненная в пробитой скважине с помощью специализированной самоходной установки на базе трактора Т-150К (рис. 4), изготовленной ПМК-26 Сумского облгосстроя.

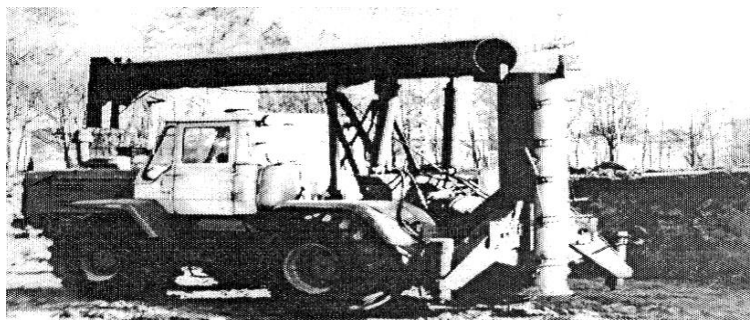


Рис. 4. Установка в транспортном положении

Свая ПФС-2 выполнена на площадке строительства 108-квартирного жилого дома по ул. Роменской, 100 в г.Сумы. В геоморфологическом отношении площадка приурочена к V-й надпойменной террасе р. Псёл. Рельеф ровный. С поверхности земли площадка сложена такими грунтами:

1. Слой 1. Почвы-чернозём. Мощность слоя 0,5.0,7 м. Плотность грунта  $\rho_n = 1,52 \text{ т/м}^3$ .
2. Слой 2. Суглинок серовато-полевой до калево-тёмного, лёссовидный, высокопористый. Мощность слоя 2,6...3,6 м, плотность частиц  $\rho_s = 2,7 \text{ т/м}^3$ , плотность грунта  $\rho = 1,51 \text{ т/м}^3$  – грунт обладает просадочными свойствами.

Таблица 1

Зависимость относительной просадочности от вертикального давления

|                    |       |       |       |       |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|
| $\sigma$ , МПа     | 0,05  | 0,1   | 0,2   | 0,3   |
| $\varepsilon_{sl}$ | 0,008 | 0,013 | 0,029 | 0,042 |

Начальное давление просадки  $p_{sl} = 0,07 \text{ МПа}$ .

3. Слой 3. Супесь светло-калевая, лёссовидная с пятнами ожелезнения. Мощность слоя 6,2..6,3 м; плотность частиц грунта  $\rho_s = 2,68 \text{ т/м}^3$ , плотность грунта  $\rho = 1,69 \text{ т/м}^3$ ; грунт непросадочный.

Инженерно-геологический разрез представлен на рис. 5.

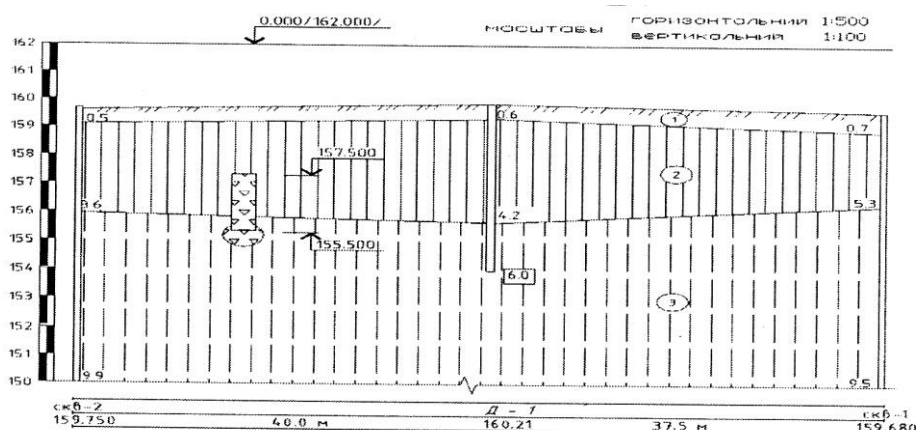


Рис. 5 Инженерно-геологический разрез площадки строительства и положение ПФС-2

Стволом сваи прорезан просадочный грунт слоя 2 и она погружена в непросадочный слой 3 около 0,5 м. Ствол сваи образован падением цилиндрического чугунного снаряда массой 2,3 т по одному следу с высоты падения при первом ударе 6,0 м (рис. 6). Щебень в уширение втрамбовывался этим же снарядом порциями по 0,12 м<sup>3</sup>, всего 0,48 м<sup>3</sup>. Скважина с втрамбованным щебнем образована за 118 ударов снаряда в течение 117 мин.

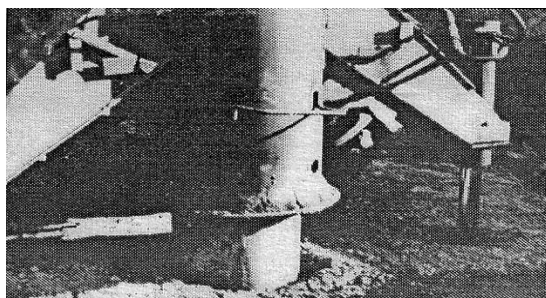


Рис. 6. Пробивка скважины под сваю

Ствол сваи выполнен из тяжелого бетона класса С 12/15 с уплотнением электровибратором. Время бетонирования опытной сваи – 15 минут. Замачивание проведено до начала и в процессе испытания сваи. Вода подавалась в обвалованное пространство на высоту засыпки щебнем. Перед началом испытания произведён отбор пробы грунта из пространства вблизи сваи. Лабораторное определение влажности грунта выполнено ГСЛ «Сумстроя» и приведено в табл. 2.

Таблица 2

Результаты определения влажности образцов грунта, отобранных после замачивания ПФС-2

| Свая ПФС-2 | Фактические показатели влажности грунта: в % и $S_r$ |      |      |                 |      |      |                 |      |      |
|------------|------------------------------------------------------|------|------|-----------------|------|------|-----------------|------|------|
|            | Отметка отбора проб грунта после замачивания         |      |      |                 |      |      |                 |      |      |
|            | 1 м – 2 пробы                                        |      |      | 2 м – две пробы |      |      | 3 м – две пробы |      |      |
| № пробы    | 1                                                    | 25,8 | 0,89 | 1               | 24,8 | 0,86 | 1               | 26,0 | 0,90 |
|            | 2                                                    | 26,0 | 0,90 | 2               | 25,8 | 0,89 | 2               | 26,4 | 0,91 |

Испытание сваи ПФС-2 статической вдавливающей нагрузкой проведены по утверждённой институтом «Сумыагропроект» программе, составленной в соответствии с требованиями ГОСТ 5686, с применением грузовой платформы, служащей упором для гидравлического домкрата ДГ-200 (см.рис. 2). Ступень нагрузки принята 0,1 МН. Измерение осадки сваи производилось двумя прогибомерами марки ЛИЗ 6 ПАО, закреплёнными на реперной системе из уголка, с точностью 0,001 мм (рис. 3). Журнал полевых испытаний велся в соответствии с рекомендациями [1], приложение Ж. Полный цикл испытаний длился 18 суток, включая замачивание просадочного грунта, в том числе непосредственное вдавливающее воздействие 19,17 часа. Графическое оформление результатов полевого испытания натурных свай статической вдавливающей нагрузкой производится в

соответствии с приложением К, рекомендуемому ГОСТ 5686. Для ФПС-2 составлено два графика, предусмотренных стандартом.

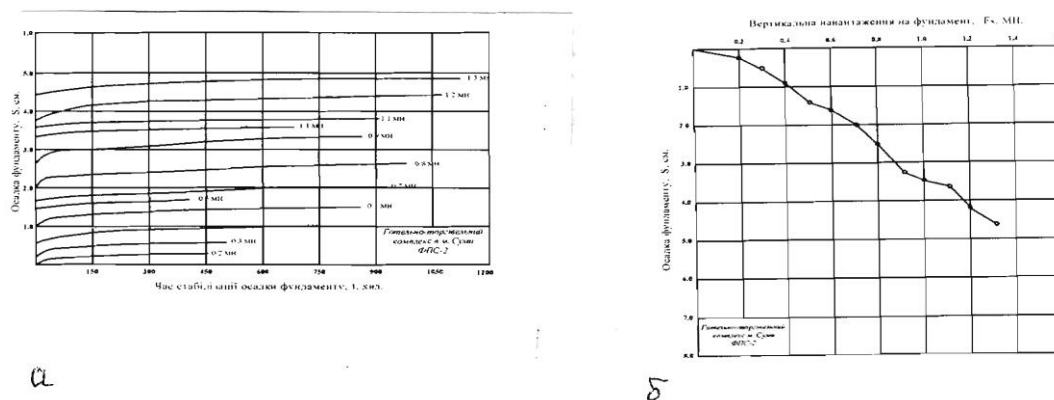


Рис. 7. Графическое оформление результатов испытания ФПС-2

График изменения осадки сваи  $S$  во времени, по ступеням нагружения (рис.7а) и график зависимости осадки сваи  $S$  от нагрузки  $P$  (рис. 7б).

Из графика 7а видно, что каждая ступень доведена до условной стабилизации деформации. На рис. 7б показана зависимость осадки сваи от нагрузки. Максимальная нагрузка на сваю составила 1,3 мН при осадке 4,755 см. В процессе испытаний не зафиксирована потеря несущей способности основания.

Несущую способность ФПС-2 вычисляем в соответствии с [4], при осадке, вычисленной по формуле:

$$S = \gamma S_u ,$$

где:  $\gamma = 0,3$  – для фундаментов в пробитых скважинах [3];

$S_u = 10$  см -- допустимая осадка для кирпичных бескаркасных многоэтажных зданий по СНиП 2.02.01-83. Тогда  $S = 0,3 \cdot 10 = 3,0$  см. Значит, несущая способность ФПС-2 равна  $F_u = 0,85$  МН, а расчётная нагрузка, на неё допускаемая  $P = 0,71$  МН.

Были проведение ускоренного испытания натурных свай статической вдавливающей нагрузкой. Хотя испытание натурных свай статической вдавливающей нагрузкой даёт прямой ответ о несущей способности в зависимости от осадки под нагрузкой, длительность полного цикла испытания, трудоёмкость и стоимость в огромной степени препятствуют его применению, особенно в современных условиях. И если в применении индустриальных погружаемых свай выходом из положения могут служить быстропроводимые испытания динамической нагрузкой в объёме 1% свай на конкретном объекте, но не менее 6-ти штук [1], то для набивных свай, в том числе фундаментов в пробитых котлованах (ФПК) и пробивных скважинах (ФПС) такой возможности пока практически нет. Однако, некоторые

рекомендации по проведению ускоренных испытаний натурных свай статическими вдавливающими нагрузками имеются.

В ходе исследования был применены: метод релаксации напряжений, метод циклических испытаний. Метод релаксации напряжений рекомендован в [1], приложение И. В отменённом ГОСТе 5686-78 таких рекомендаций не содержалось. Ускоренное испытание статической вдавливающей нагрузкой рекомендуют проводить ступенчатым нагружением натурной сваи до заданных значений осадок, принимаемых по таблице 3 в зависимости от грунтовых условий на боковой поверхности сваи и интервала достигнутых осадок сваи.

Таблица 3

Грунтовые условия испытания

| Грунты                                                                           | Интервал осадок, мм | Степень осадки, мм |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------|
| Глинистые от текучепластичной до мягкопластичной консистенции                    | < 3                 | 0,5                |
|                                                                                  | 3 - 10              | 1,0                |
|                                                                                  | >10                 | 3,0                |
| Глинистые от тягучепластичной до твёрдой консистенции, песчаные рыхлого сложения | < 6                 | 1,0                |
|                                                                                  | 6 – 12              | 2,0                |
|                                                                                  | >12                 | 4,0                |
| Песчаные средней плотности и плотные                                             | < 6                 | 1,5                |
|                                                                                  | 6 – 12              | 3,0                |
|                                                                                  | > 12                | 5,0                |

В процессе испытания по достижении заданной степени осадки ( точки  $a_1, a_3, a_5, \dots, a_{31}$  на рис.8) измеряют нагрузку на сваю и снимают отсчёты по приборам для измерения деформаций в следующей последовательности: перед нагружением сваи (нулевой отсчёт), первый отсчёт – сразу после достижения заданной осадки, затем последовательно три отсчёта с интервалом 5 мин и далее, через каждые 10 минут до условной стабилизации нагрузки (прекращения релаксации нагрузки (точки  $a_2, a_4, a_6, \dots, a_{31}$  на рис.8) измеряют нагрузку на сваю и снимают отсчёты по приборам для измерения деформаций в следующей последовательности: перед нагружением сваи (нулевой отсчёт), первый отсчёт – сразу после достижения заданной осадки, затем последовательно три отсчёта с интервалом 5 мин и далее через каждые 10 минут до условной стабилизации нагрузки (прекращения релаксации нагрузки (точки  $a_2, a_4, a_6, \dots, a_{32}$  на рис.8).

За критерий условной стабилизации нагрузки принимают её конечное значение за последний интервал измерения, при котором была достигнута предусмотренная программой испытаний скорость снижения нагрузки.

Испытания натурной сваи проводят до достижения общей осадки не менее 40 мм или до нагрузки, предусмотренной программой испытаний.

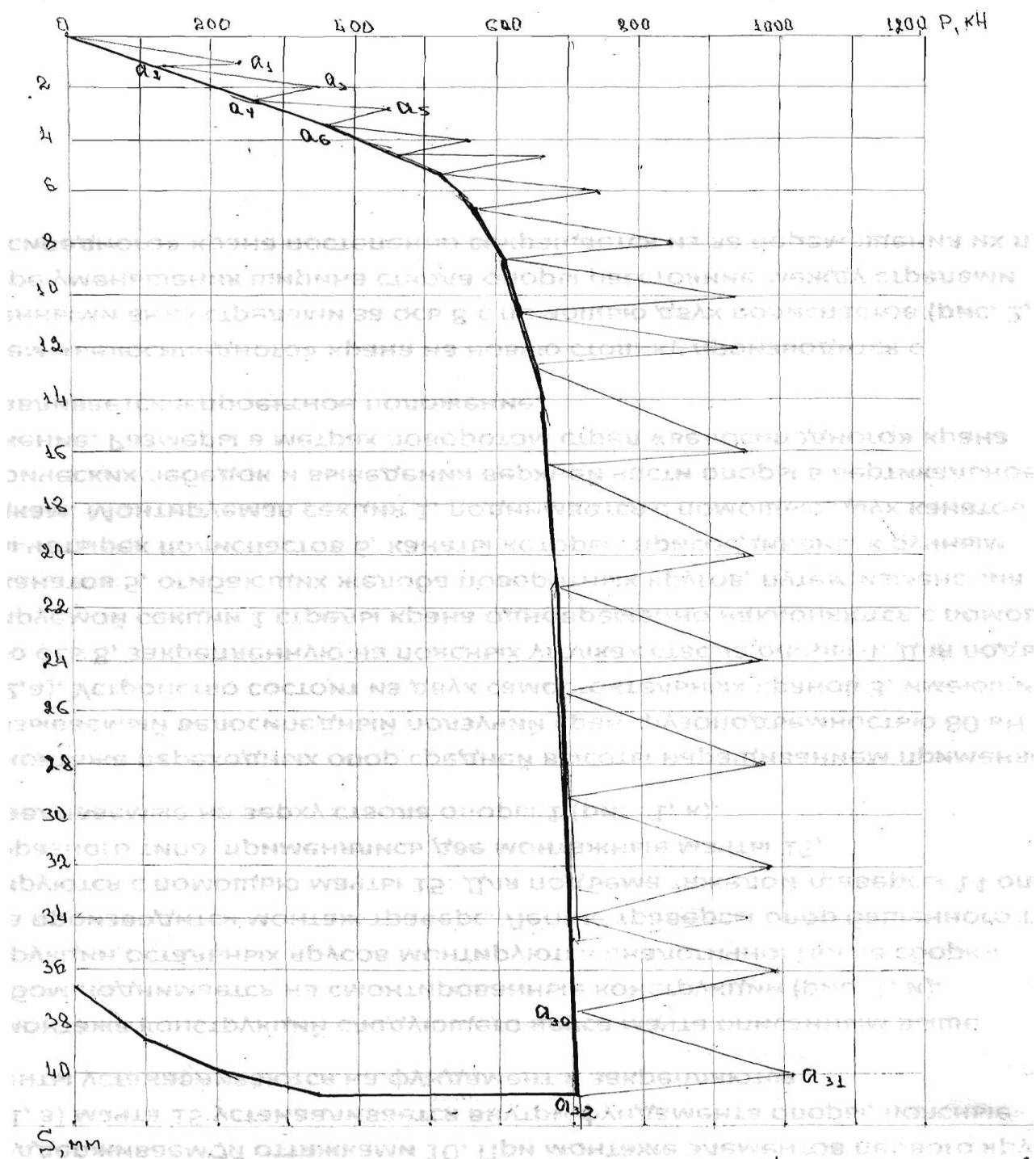


Рис. 8. График зависимости осадки сваи  $S$  от нагрузки  $P$

Разгрузку сваи следует производить после достижения наибольшей нагрузки ступенями, равными  $1/5$  нагрузки при достижении наибольшей осадки с выдержкой не менее 5 минут.

Отсчёты по приборам для измерения деформаций снимают сразу после каждой ступени разгрузки и через 5 минут наблюдений.

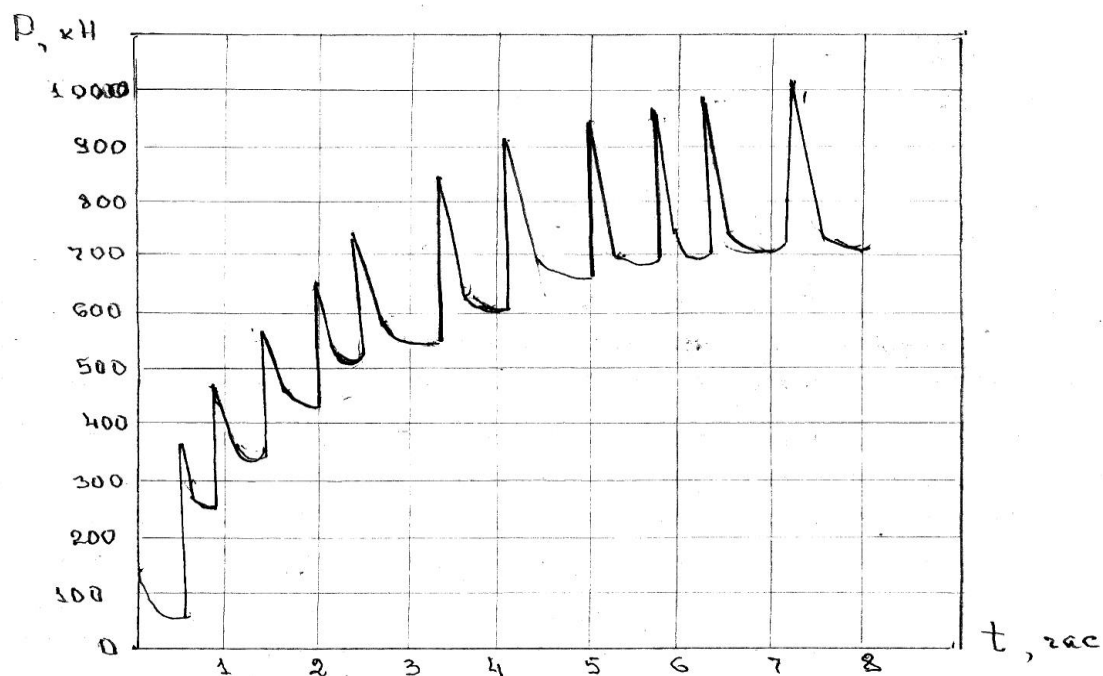


Рис. 9. График релаксации нагрузки за время испытания

В процессе испытаний ведётся журнал по форме, рекомендуемой приложением Ж (первая и последняя страницы) и приложением И (последующие страницы) [1]. Графическое оформление результатов испытаний осуществляется путём построения графика зависимости осадки сваи от нагрузки (рис. 8) и графика изменения нагрузки во времени по ступеням осадки (рис. 9).

Для построения графиков используют стабилизированные значения нагрузки и соответствующие им значения осадки. Частное значение предельного сопротивления сваи по результатам полевого испытания определяются по указаниям раздела 5 [4].

Описанный метод ускоренного испытания натуральных свай в разы сокращает длительность процесса их проведения, но область его применения ограничена грунтовыми условиями, оговоренными в табл. 3.

Метод проведения циклических испытаний натуральных свай непрерывно возрастающими и уменьшающимися статическими вдавливающими нагрузками предложен В.Е. Ковалем и В.И. Ищенко [2]. Близким по сути является применённый нами метод додавливания свай под эксплуатируемыми девятиэтажными жилыми домами по ул. Интернационалистов, 29 (крупнопанельный) и ул. Заливной, 29 (кирпичный) в г. Сумы. Додавливание свай осуществлялось непрерывно возрастающими статическими нагрузками с наращиванием свай участками длиной до 60 см, с повторением циклов наращивания до получения требуемой несущей способности свай.

При додавливании свай за условную стабилизацию принимается перемещение сваи, не превышающее 0,1 мм под действием полуторной нагрузки от принятой проектом несущей способности сваи в течение одного часа. После этого додавливание сваи прекращается.

При статическом испытании свай нагружение ведётся до наступления «срыва», когда приращение осадки сваи происходит без увеличения нагрузки. Под этой нагрузкой свая выдерживается до достижения перемещения в 10...20 мм, после чего производится её разгрузка непрерывно уменьшающейся нагрузкой с той же интенсивностью, с какой велось нагружение. Затем делается ещё три цикла «нагружение-разгрузка» непрерывно изменяющимися нагрузками, с доведением величины нагружения до «срыва», зафиксированного в первом цикле. Величины перемещения сваи фиксируются через интервал, равный 0,1 от предусмотренной несущей способности сваи. Результаты заносятся в журнал статических испытаний и оформляются в виде графика зависимости осадки от нагрузки на сваю (рис. 10).

За расчётное значение предельного сопротивления сваи принимается нагрузка  $P_k$ , при которой происходит пересечение ветвей нагружения с ветвями разгрузки предыдущего цикла нагружения. В тех случаях, когда точки пересечения кривых «нагружение-разгрузка» четырёх циклов не лежат на одной вертикали, за значение предельного сопротивления сваи принимается среднеарифметическое значение трёх точек  $P_k$  (точек К).

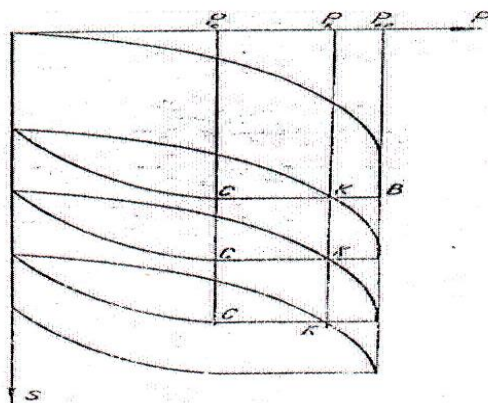


Рис. 10. График зависимости вертикальных перемещений сваи от вдавливающих нагрузок

$P_{кр}$  — критическая нагрузка, вызывающая незатухающие перемещения сваи;

$P_k$  — нагрузка, соответствующая пересечению ветвей нагружения и разгрузки;

$P_c$  — нагрузка, соответствующая концам горизонтальных участков ветвей разгрузки (точки С).

Метод проведения циклических испытаний свай непрерывно возрастающими и уменьшающимися статическими нагрузками позволяет сократить время испытания одной сваи от нескольких суток до нескольких часов.

В последние годы в Сумах всё большее применение находит технология погружения промышленных призматических свай методом вдавливания. Применяемое технологическое оборудование позволяет производить испытания свай статической вдавливающей нагрузкой как стандартным, так и ускоренным методом практически в любом месте устраиваемого свайного поля под строящееся здание.

Однако, данный метод испытания неприменим для набивных свай с уширенной пятой опирания, когда практически невозможно достигнуть критического состояния статической нагрузкой. В этих случаях предельной нагрузкой можно считать нагрузку, соответствующую осадке сваи в 40 мм.

**Выводы.** Основываясь на вышеизложенном материале можно сделать следующие выводы:

1. Только испытание статической нагрузкой даёт прямой ответ на вопрос о несущей способности одиночной сваи в зависимости от её осадки под нагрузкой, но высокие стоимостные и трудовые затраты и длительные сроки проведения испытаний усложняют выполнение обязательного требования [1] об испытании 0,5% от общего количества свай на данном объекте, но не менее 2 штук, статической вдавливающей нагрузкой.

2. Ускоренные методы статического испытания свай применимы лишь в отдельных случаях. Кроме того, нет данных сопоставимости по стандартному и ускоренному испытаниям, иметь которые крайне желательно.

3. Большая часть территории Сумской области располагается в зоне макропористых просадочных суглинков, в которых испытанию свай статической нагрузкой предшествует их замачивание до степени влажности  $S_r \geq 0,8$ . Это длительный и затратный процесс. Во многих случаях сваи прошивают просадочную толщу и работают как сваи-стойки. Сопоставимости результатов статических испытаний свай в замоченном грунте и при естественной влажности его, нет, то есть длительное замачивание до  $S_r \geq 0,8$  ничем не обосновано, кроме требования стандарта [1], в котором также отсутствует обоснование этого требования.

### *Литература*

1. Грунти. Методи польових випробувань пиль: ДСТУ БВ. 2.1-1- 95. – К.: Держстандарт України, 1997. – 58 с. – (Національний стандарт України).
2. Коваль В.Е. Новый метод статических испытаний свай. / В. Коваль, В. Ищенко // Будівництво України. – 2000. - №4. – С. 14 – 17.
3. Руководство по проектированию и устройству фундаментов в вытрамбованных котлованах. – М.: Стройиздат, 1981. – 58 с.
4. . Свайные фундаменты: СНиП 2.02.03 – 85. – М.: Стройиздат, 1986. – 64 с.

***Анотація.** У статті розглянуто способи контрольних випробувань натурних паль статичними вдавлюючими навантаженнями звичайним і прискореним методами з урахуванням досвіду їх виконання на будівництвах в Сумській області.*

***Ключові слова:** пальові фундаменти, польові контрольні випробування паль, зразки ґрунту.*

***Summary.** Usually Sumy region have very difficult geological condition for construction process. In most cases designers have necessary to use different types of pipes for creation appropriate foundation for the civil and industrial buildings. For creation of such foundation builders have possibility to use enough wide circle of different types of appropriate construction equipment. And in all cases after creation of the pipe's foundation we need to organize of the pipe testing. There are many different types of such testing processes was suggested and described in appropriate Construction norms and rules. Usually, all of them require enough specific types of the testing equipment. Today we can say, that all of this methods depend from the level of development of the construction sciences.*

*Modern Ukrainian Construction Codes suggest several methods of the pipe testing. Big part of them require essential amount of the time and money expenses. Generally, all existing testing methods require enough big volume of the labour. And usually they is not clear for full understanding in many cases. In such situations the appropriate experience of the engineers is very important for receiving of the correct results. All time the desire of the construction workers to receive more simple and cheap method of the pipe testing was very powerful. For big part of the cases of using of different type of the pipe testing methods we can underline, that all of them is really enough difficult scientific process. Every step of this process is very important for receiving of the real results. And appropriate condition of using equipment is very important also. And appropriate experience of all participators very important also. Next important step is preparation of the working program of the testing. We need to underline, that this moment require very high qualified engineers.*

*Last edition of the Ukrainian Construction Code include one economic method of the pipe testing, but without description of the details of its using (particularly for difficult geological condition). The authors added their experience of carrying out of the tests of the industrial and bored piles by static pressing load (for the Sumy region). Recommendations about the accelerated test methods and also about the further perfection of the test methods of the piles are given. This is the next step for development of the test methods of the pipe in Ukraine.*

**Keywords:** *pile foundations, field control tests of piles, soil samples, regulatory materials, construction output.*

**1. Павлов Алексей Павлович**

2. 19 февраля 1934 г.
3. Сумской национальный аграрный университет, кафедра «Строительные конструкции»; д.160, ул. Кирова, 40021, Сумы, Украина.
4. д.35, кв. 6, ул. Новоместинская, 40030, г. Сумы, Украина.
5. [admin@sau.sumy.ua](mailto:admin@sau.sumy.ua)
6. +38 098 5934008
7. доцент кафедры «Строительное производство»
8. доцент
9. Научные интересы: использование местных строительных материалов и отходов промышленного производства строительстве.

**1. Теличенко Александр Иванович**

2. 3 ноября 1946 г.
3. Сумской национальный аграрный университет, кафедра «Строительные конструкции»; д.160, ул. Кирова, 40021, Сумы, Украина.
4. д. 21, кв. 50, ул. Троицкая, 40022, г. Сумы, Украина.
5. [admin@sau.sumy.ua](mailto:admin@sau.sumy.ua)
6. +38 050 7333616
7. доцент кафедры «Строительное производство»
8. доцент
9. Научные интересы: использование местных строительных материалов и отходов промышленного производства строительстве.

**1. Шушкевич Вячеслав Ильич**

2. 20 сентября 1954 г.
3. Сумской национальный аграрный университет, кафедра «Строительные конструкции»; д.160, ул. Кирова, 40021, Сумы, Украина.
4. д. 53, ул. Чайковского, 42355, с. Низы, Сумского района, Украина.
5. [slava-shushkevych@yandex.ru](mailto:slava-shushkevych@yandex.ru)
6. +38 066 8956156
7. доцент кафедры «Строительное производство»

8. кандидат технических наук, доцент
9. Научные интересы: диагностика строительных конструкций; оптимизация строительных конструкций; математическое моделирование и экономика строительных конструкций.