



INTERNATIONAL  
ASSOCIATION OF  
FOUNDATION  
CONTRACTORS

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ  
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

**22-23  
МАРТА**

2017

**МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-  
ПРАКТИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ**

**Место проведения:**

Москва, Novotel, Новослободская, 23

**СБОРНИК ДОКЛАДОВ  
«РОССИЙСКИЕ И ЗАРУБЕЖНЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
И СТРОИТЕЛЬСТВА ФУНДАМЕНТОВ  
ОПОР МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ»**

[www.fc-union.com](http://www.fc-union.com)



## СОДЕРЖАНИЕ

- 3 Внедрение композитных материалов в проектировании искусственных сооружений Новосибирской области**  
Воронкина Ю.К., ведущий эксперт дорожного хозяйства ГКУ НСО ТУАД
- 6 Бурильные установки АО «Стройдормаш» для строительства свайных фундаментов**  
Пальгуев И.П., начальник отдела строительных машин АО «Стройдормаш»
- 11 Применение стальных оболочек большого диаметра для устройства оснований мостовых опор**  
Берендеев А.И., Генеральный директор ООО «КАРСТ»
- 17 Малые грунтозасыпные арочные мосты с композито-бетонными несущими элементами**  
Михалдыкин Е.С., главный инженер по строительству АО «НИИГрафит»
- 22 Состояние и перспективы геотехники и механики грунта**  
Кулачкин Б.И., к.т.н., д.г.-м.н., академик РАЕН, заместитель директора ООО «ИПТС-«Транспроект»;  
Митькин А.А., заведующий лабораторией ООО «ИПТС-«Транспроект»;  
Радкевич А.И., к.т.н. ЮРГПУ (НПИ), ведущий научный сотрудник ООО «ИПТС-«Транспроект»;  
Евтушенко С.И., д.т.н., профессор, декан
- 36 Уширение и усиление опор при реконструкции мостовых сооружений**  
Казарян В.Ю., Генеральный директор, Доктор транспорта ООО «НПП СК МОСТ»

### АВТОРСКИЕ ПРАВА НА ИНФОРМАЦИЮ И МАТЕРИАЛЫ:

Все материалы в данном Сборнике докладов предназначены для участников международной научно-технической конференции «Новые опоры и фундаменты для воздушных линий электропередачи, линий связи и контактной сети», проводимой 1-3 декабря 2015 г. International Association of Foundation Contractors (Международной Ассоциацией Фундаментостроителей) и не могут воспроизводиться в какой-либо форме и какими-либо средствами без письменного разрешения соответствующего обладателя авторских прав за исключением случаев, когда такое воспроизведение разрешено законом для личного использования.

Воспроизведение и распространение сборника докладов без согласия Международной Ассоциации Фундаментостроителей преследуется в соответствии с Федеральным законодательством РФ. При цитировании, перепечатке и копировании материалов Сборника докладов обязательно указывать сайт и название компании организатора конференции — Международная Ассоциация Фундаментостроителей (ООО «МАФ»), [www.fc-union.com](http://www.fc-union.com).

Авторы опубликованной рекламы, статей и докладов несут ответственность за достоверность приведенных сведений, точность данных по цитируемой литературе и отсутствие данных, не подлежащих открытой публикации.

© ООО «МАФ» 2017. Все права защищены.

## Внедрение композитных материалов в проектировании искусственных сооружений Новосибирской области

| Воронкина Ю.К., ведущий эксперт дорожного хозяйства ГКУ НСО ТУАД

В июле 2014 года при финансовой поддержке администрации Новосибирской области был построен и сдан в эксплуатацию мост через реку Пашенку около Новосибирска с гибридным пролетным строением<sup>1</sup>.



| **Рис. 1.** Автомобильный мост через р. Пашенку на а/д «Красный Яр - Сосновка» в Новосибирском районе НСО

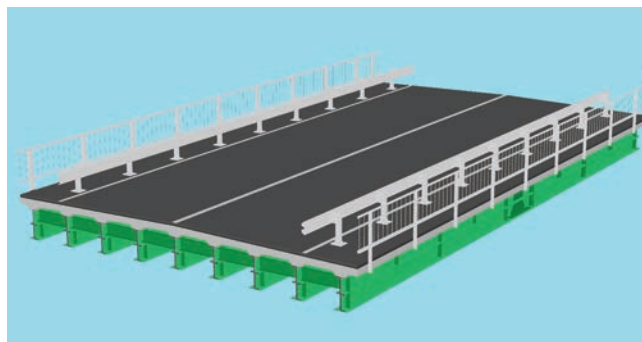
Полная длина – 18,0 м, габарит – Г4,5+2×0,75 м, расчетные временные нагрузки – А14 и Н14. Фотография моста показана на **рисунке 1**. Основные несущие элементы представляют собой шесть ферм с многораскосной крестовой решеткой из стеклопластика и железобетонную плиту толщиной 18 см, включенную в их работу. Генеральные размеры пролетного строения приближены к параметрам типовых железобетонных балок.

Опыт проектирования и строительства первого гибридного пролетного строения, а также его эксплуатации можно считать успешным. Найденны схема пролетного строения и конструктивные формы его узлов,

способных выдержать большую нагрузку. Была отработана технология сборки конструкции, минимизирующая зазоры в отверстиях болтовых соединений. Но фермы получились многodelными, с большим количеством узлов, имеющих сложное напряженное состояние. Отсутствие исследования работы таких конструкций привело к неоправданным запасам грузоподъемности и увеличению стоимости.

К настоящему времени проработана другая статическая схема конструкции и выполнен новый проект гибридного балочного пролетного строения длиной 18,0 м и габаритом проезжей части – Г8+2×1,5 м. Пролетное строение состоит из девяти стеклопластиковых балок, расположенных на расстояниях 1,4 м друг от друга и включенной в работу железобетонной плиты проезжей части толщиной 18 см (**рисунок 2**).

По сравнению с построенным мостом с фермами из стеклопластика, новое пролетное строение гораздо проще по сборке в связи с отсутствием послойной раскладки элементов. Большинство болтовых соединений имеют простое напряженное состояние. Масса композитных материалов 18,6 т. и их стоимость - 8,5 млн. руб., те же что у построенного, при ширине проезжей части в два раза большей.



| **Рис. 2.** Гибридное балочное пролетное строение длиной 18,0 м и Г8+2×1,5

<sup>1</sup>Журнал «Строительные материалы, оборудование, технологии» (2014, №12), статья Б.В. Пыринова «Строительство первого в России автомобильного моста с применением полимерного композиционного материала»

Балки для перевозки разделены на две девятиметровые секции, которые в свою очередь составлены из двух элементов - нижнего и верхнего. Все детали элементов и секций скреплены болтами по плоскостям прилегания с сохранением технологии, уменьшающей податливость пластика. На место строительства доставляются девятиметровые секции весом всего 1,0 т. Секции для удобства перевозки объединяются в три «пакета» (рисунки 3). Габаритные размеры «пакета» 9,2х2,14х1,15 м, вес 6,5 т.

На месте строительства секции объединяются между собой стеклопластиковыми накладками в балки длиной 18,0 м весом по 2,62 т. Три балки при монтаже могут быть объединены в крупный монтажный блок вместе с опалубкой общей массой до 11 т. Применение легкой композитной части в пролетном строении позволяет транспортировать его в труднодоступные районы на любом виде транспорта, включая воздушный, и при-

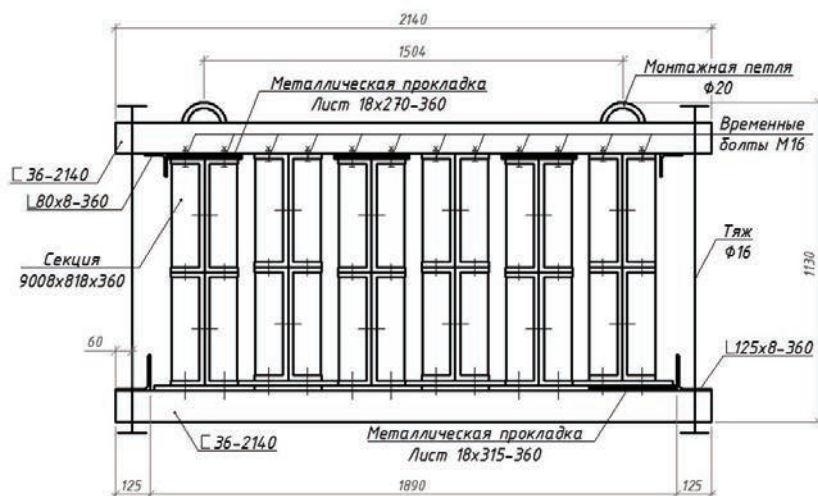


Рис. 3. «Пакет» для транспортировки секций пролетного строения

менять легкое крановое оборудование (для сравнения одна железобетонная балка длиной 18,0 м весит 21,2 т). Малый вес пролетного строения позволяет облегчить и упростить другие элементы моста<sup>2</sup>.

При подробном моделировании, анализе работы и дополнительном изучении расчетных предпосылок был выделен ряд особенностей статической работы таких конструкций:

— в процессе эксплуатации сооружения из-за изменения деформативных характеристик материала происходит значительное перераспределение усилий

между несущей конструкцией и плитой, приводящее к увеличению напряжений в плите. Для учета этих изменений необходимо проводить проверки всех сечений в начале и в конце эксплуатации<sup>2</sup>.

— гибкость балок (ферм) в вертикальной плоскости и в других направлениях приводит к изменению характера работы плиты на общую и местную нагрузку.

Как следствие, из-за соотношения модулей упругости бетона и пластика возможен случай, когда нейтральная ось проходит в сечении плиты, поэтому, согласно п.9.20[3], необходимо учитывать выключение растянутой зоны бетона при расчете на прочность, выносливость и трещиностойкость. Проверки жесткости следует выполнять в предположении упругой работы бетона независимо от знака возникающих в нем напряжений п.9.35[3].

Кроме того, при совместном расчете плиты на местный изгиб и работу с главными балками значительно возрастают напряжения как в продольном, так и в поперечном направлениях в пролете между балками, против обычных методов расчета. При этом плита испытывает внецентренное сжатие. Необходимо выполнять дополнительные расчеты плиты в продольном направлении не над главными балками, но и в пролете между ними. Расчет плиты проезжей части поперек следует производить также с учетом сложного напряженного состояния.

Гибридное пролетное строение проектируется с недопущением пластических деформаций несущих конструкций. Это достигнуто следующими средствами:

— ограничение нормальных напряжений в изгибаемых элементах расчетными сопротивлениями по сжатию или растяжению, без использования расчетных сопротивлений, допустимых при изгибе.

— принятие в расчетных формулах минимальными, равными единице, всех коэффициентов  $\alpha$ , предусмотренные методиками [3, пп.8.26, 9.19], учет которых позволяет удовлетворить расчетные проверки при напряжениях от изгиба, превышающих расчетные сопротивления.

— использование указания п. 9.7 [3] о не учёте ползучести бетона, если напряжения в нем от постоянных

<sup>2</sup>Журнал «Автомобильные дороги» (2016, №05), статья Б.В. Пыринова «Мост с полимерными композитами»



нагрузок не превышают  $0,2R_b$ , где  $R_b$  – расчетное сопротивление бетона сжатию по п. 7.24 [3].

Согласование упругого расчета конструкции с проверочными формулами СП 35.13330-2011 потребовало разработки соответствующих расчетных формул.

В настоящее время завершается разработка стандарта

организации ГКУ НСО ТУАД по расчету гибридных конструкций с несущими элементами из композиционных материалов и железобетонной плитой, который основывается на выше указанных нормативных документах, учитывает особенности работы конструкции и регламентирует процесс проектирования и методику расчетов.

#### Литература:

1. Б.В. Пыринов. Строительство первого в России автодорожного моста с применением полимерного композиционного материала//Строительные материалы, оборудование, технологии. – 2014. – №12.
2. Б.В. Пыринов. Мост с полимерными композитами//Автомобильные дороги. – 2016. – №05.
3. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84\*.
4. СТО 39790001.03-2007. Дороги автомобильные общего пользования. Пешеходные мосты и путепроводы. Конструкции дорожно-строительные из композиционных материалов. Технические требования, методы испытаний и контроля.
5. Методические рекомендации по содержанию мостовых сооружений на автомобильных дорогах. – М., 1999.

---

ГОСУДАРСТВЕННОЕ КАЗЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ  
«ТЕРРИТОРИАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ  
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ»,  
630009 г. Новосибирск, ул. Никитина 20/2,  
тел.: 335-81-50, факс: 335-81-60,  
www.tuad.nsk.ru,  
e-mail: office@tuad.nsk.ru



## Бурильные установки АО «Стройдормаш» для строительства свайных фундаментов

Пальгуев И.П., начальник отдела строительных машин АО «Стройдормаш»

АО «Стройдормаш» — ведущее машиностроительное предприятия в России по производству бурильных установок для устройства свайных фундаментов при строительстве сооружений промышленного, гражданского и транспортного назначения, для ремонта линий электропередач и связи, для проведения геологоразведочных работ. Площадь предприятия составляет почти 16000 кв.м, на которых расположены 14 цехов, обеспечивающих на протяжении 60 лет полный цикл изготовления бурильных установок.

Разработанное специалистами инженерного центра АО «Стройдормаш» оборудование имеет эксплуатационные характеристики необходимые для работы на различных объектах строительства, в том числе федерального уровня, на территории РФ и стран СНГ. Удовлетворение потребителей является основной задачей для АО «Стройдормаш».

### ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ АО «СТРОЙДОРМАШ»:

- 60 лет на рынке бурильной техники
- 25000 единиц техники произведено АО «Стройдормаш» за все время работы
- 544 сотрудников предприятия
- 45 специалистов инженерного центра ведут разработку новых бурильных установок
- 16000 кв. м. площадь завода
- 14 цехов
- 420 единиц оборудования для механообработки и сварки

### ЕЖЕГОДНО НА ЗАВОДЕ ВЫПУСКАЕТСЯ:

- 300 машин
- 5000 единиц бурильного инструмента

На протяжении нескольких лет АО «Стройдормаш» производит для устройства фундаментов:

- бурильные установки на автомобильном колесном или трелевочном шасси (БКМ-2012, МБШ-812, БМ-811М), позволяющие производить бурение штангой-Келли или непрерывным шнеком на глубину до 20 метров;



Рис. 1. НБО-05. Бурение непрерывным шнеком.

- бурильные установки с возможностью монтажа дизель и гидромолота для забивки свай от 8 до 12 м массой до 3 т;

- навесное бурильное оборудование, монтируемые на стрелу экскаватора, для бурения непрерывным шнеком

Каждый день наша техника работает на всей территории страны и обеспечивает выполнение задач нескольких сотен предприятий. Специалисты нашей компании готовы подготовить технику для нетиповых проектов, внести изменения в конструкцию машин или технологию работ. Появление уникальных для России объектов строительства за последние несколько лет требует иметь в продуктовой линейке оборудование для выполнения сложных задач. Такие бурильные установки



**Рис. 2.** БКМ-2012. Бурение штангой-Келли для установки свайной оболочки.

объединили в серию машин СБМ. Основными отличительными особенностями серии, по сравнению с выпускающимися машинами, являются: высокая мощность, повышенная надежность, компактность и устойчивость за счет раздвижного гусеничного шасси, возможность быстрого переоснащения для различных способов бурения. Начавшаяся четыре года назад работа над машинами серии СБМ обеспечила на сегодняшний день постановку на серийное производство двух моделей бурильных установок. СБМ80 и СБМ150 — бурильные установки для устройства фундаментов следующими способами бурения: штангой-Келли, под защитой обсадных труб, непрерывным полым шнеком (СФА). Это первые бурильные установки такого типа, разработанные и произведенные в России, что подтверждает стремление АО «Стройдормаш» обеспечить эффективность работы наших настоящих и будущих клиентов и партнеров. Данные установки - это новый класс машин в российском машиностроении, поэтому сейчас у потребителей будет возможность обратить внимание на бурильные установки не только европейских производителей.

Цифровое обозначение в названии машин СБМ80 и СБМ150 указывает на порядок значения максимального крутящего момента в кНм, который может реализовать вращатель независимо от способа бурения. Бурильные установки серии СБМ обладают возможностью быстрого переоснащения с бурения штангой-Келли на бурение непрерывным шнеком или полым непрерывным шнеком (технология СФА). Обе установки можно переоснастить для бурения на площадках, имеющих ограничения по высоте оборудования, например под мостами или линиями электропередач.

СБМ80 и СБМ150 оснащены H-образной кинематикой установки мачты, зарекомендовавшей себя в мировой практике как стабильная и надежная конструкция при производстве буровых работ. Одним из основных преимуществ такой кинематики является компактность установки для транспортировочного положения, что подтверждается минимальными значениями габаритного размера по высоте в 3,3 м для СБМ150. В совокупности с габаритным размером по ширине 2,9 м, массой 45 т, затраты на транспортировку будут минимальными. При этом СБМ80 в собранном виде с установленной штангой-Келли можно перевозить на тралле высотой 900 мм без оформления разрешений на перевозку по дорогам общего пользования, т.к. установка в транспортировочном положении имеет высоту 3,0 м, ширину 2,55 м и массу 22 т.

На данный момент СБМ150 самая мощная бурильная установка в линейке АО «Стройдормаш». Глубина бурения достигает 50 м, диаметр до 1500 мм, с применением обсадных труб до 1200 мм. Мощность двигателя CAT C7 187 кВт и характеристика насосного агрегата Caterpillar обеспечивают крутящий момент на вращателе в 145 кНм с учетом всех КПД. В составе СБМ150 применяется самоходная гусеничная база Caterpillar 329DL с раздвижной гусеничной тележкой для обеспечения устойчивости при работе под любым углом поворота платформы. Надежность и высокий уровень сервисного обслуживания на территории РФ и стран СНГ стали основными критериями при выборе базы CAT.

Усилие главной лебедки составляет 200 кН, максимальная скорость подъема штанги — 68 м/мин, грузоподъемность грузовой лебедки — 5 т. Канатоукладчики на лебедках предотвращают возможные перегибы каната и снижают его износ. Обе лебедки расположены на мачте, что с учетом функции автоматической установки мачты в рабочее положение, позволяет легко и безопасно подготовить машину к работе, и также автоматически контролировать вертикальность мачты в процессе бурения. Также авто-



**Рис. 3.** СБМ150. Бурение штангой-Келли, непрерывным полым шнеком.

матизировано возвращение на точку бурения после разброса грунта. Вращатель обеспечивает максимальный момент при 7 об/мин и скорость разброса грунта с инструмента — 57 об/мин. Для снижения динамической нагрузки от удара при опускании штанги об вращатель предусмотрен амортизатор вращателя. Все основные характеристики работы: глубина бурения, заполнение инструмента разрабатываемой породой, угол установки мачты, давление гидросистемы, температура рабочих жидкостей и т.п. отображаются на дисплее в кабине оператора. Комфортабельная кабина снабжена отопителем и кондиционером, хорошая шумоизоляция снижает утомляемость оператора. В комплектации с штангой-Келли осевое усилие обеспечивает гидроци-

линдр подачи со значением 160 кН. Применение гидроцилиндра повышает надежность установки и снижает затраты при эксплуатации в сравнении с применением лебедки подачи. При этом ход вращателя позволяет работать с обсадными трубами длиной до 4 м. Возможность подключения обсадного стола увеличит производительность машины в тяжелых режимах работы. Для глубины бурения 50 м применяется штанга-Келли 4-х секционная замкового типа, но для удовлетворения потребителей и по причине того, что на территории РФ наиболее часто бурение производится на глубину порядка 30 м, на машине СБМ150 можно применить 3-х секционную штангу. При любом из типоразмеров штанг применяется стабилизатор для обеспечения вертикальности скважины при забурировании. В комплектации для способа бурения с непрерывным полым шнеком (CFA) усилие выема инструмента составляет 400 кН, что обеспечивает устройство буронабивных свай глубиной до 20 м и диаметром до 800 мм. Запись и контроль данных происходит с помощью программного обеспечения Jean Lutz.

СБМ80 — первая бурильная установка, для которой самоходная гусеничная база разработана и произведена силами АО «Стройдормаш». Это дает возможность обеспечить лучшую компоновку оборудования на поворотной платформе, по сравнению с экскаваторной базой, устойчивость машины за счет раздвижной гусеничной тележки, а также удалось достичь высокого уровня локализации производства изделия.

Силовая установка расположена вдоль за кабиной оператора, гидрооборудование вместе с гидробаком расположены на правой стороне платформы, главная лебедка и топливный бак - по середине платформы. Такая компоновка совместно с Н-образной кинематикой установки мачты обеспечивают минимальные размеры по высоте для транспортировки. Также обеспечивается удобный доступ к агрегатам для проведения обслуживания и ремонта.

Гусеничная тележка с телескопическим типом раздвижения: в сложенном состоянии габаритный размер 2520 мм, в раздвинутом достигает значения 3520 мм. Механизмы хода производства Bosch Rexrot, все остальные элементы ходовой части производства компании «Четра». Глубина бурения составляет до 20 м, диаметр до 1200 мм и до 800 мм с применением обсадных труб. Силовая установка с двигателем CAT C4.4 мощностью 104 кВт совместно с гидравлическими насосами Brevini обеспечивает крутящий момент на вращателе в 78 кНм





**Рис. 4.** СБМ80. Бурение штангой-Келли, непрерывным полым шнеком

с учетом всех КПД. Главная лебедка имеет однослойный барабан, что позволяет обеспечить стабильное тяговое усилие 122 кН на любой глубине бурения. Решение по использованию однослойного барабана значительно увеличивает срок службы каната лебёдки, что ведет к снижению затрат при эксплуатации. Сама лебедка снабжена канатоукладчиком и закреплена на платформе осями и при необходимости легко демонтируется. Скорость подъема штанги — 36 м/мин. Грузоподъемность грузовой лебедки — 3 т. Также как и на установке СБМ150 имеется функция автоматической установки мачты и автоматического возвращения на точку бурения после разброса грунта. Вращатель обеспечивает максимальный момент при 7 об/мин и скорость разброса грунта с инструмента — 78 об/мин, которая позволяет исключить использование человеческих ресурсов для очистки бура. Для уменьшения динамической нагрузки

при опускании штанги на забой и ударе о вращатель предусмотрен амортизатор вращателя. Управление установкой осуществляется двумя электрическими джойстиком, расположенными на сиденье оператора, что совместно с объемным регулированием гидронасосов, позволяет максимально точно выполнять операции, заданные оператором. Электронная система управления всей установкой отслеживает режимы работы в текущий момент и оптимально подстраивает работу двигателя, в результате обеспечивает необходимую мощность и экономичность машины. Значение глубины бурения, угла установки мачты, заполнения бурильного инструмента разрабатываемой породой, давления гидросистемы, температуры рабочих жидкостей и т.п. отображаются на дисплее в кабине оператора. Базовые комплектации СБМ80 имеют различия в зависимости от предполагаемого способа бурения, соответственно передавать осевое усилие на инструмент возможно гидроцилиндром или лебедкой подачи со значением 75/140 кН и 80/153 кН соответственно, при этом ход вращателя обеспечивает возможность погружения обсадных труб длиной от 2 м. Барабан лебедки подачи выполнен с канавками под укладку каната, также при бурении канат механизма подачи постоянно натянут, что снижает его износ. Бурение можно осуществлять 4-х секционной штангой-Келли замкового типа или непрерывным шнеком. Технология бурения полым непрерывным шнеком (CFA) также доступна, для этого необходимо провести настройку системы управления и доукомплектовать установку СБМ80, при этом усилие выема инструмента будет 250 кН, а запись и контроль данных будет вестись программным обеспечением Jean Lutz. Глубина буронабивных свай до 10 м, с удлинителем Келли — 14 м, и диаметром до 650 мм.

Надежность машин обеспечивается высоким уровнем разработки и производства техники. Разработка оборудования ведется специалистами инженерного центра АО «Стройдормаш» на современном программном обеспечении, которое позволяет на этапах проектирования учесть особенности работы техники и повысить её надежность и качество. Производство обеспечивает полный цикл изготовления и контроля, начиная от поступивших на предприятие заготовок или материалов и заканчивая испытанием готовым изделием. Современное оборудование позволяет обрабатывать высокопрочные листовые материалы. Например, такие узлы, как: мачта, платформа поворотная, механизм установки мачты и некоторые другие, изготовлены из импортной стали с пределом текучести 700 МПа. Имеющееся технологическое оснащение позволяет изготавливать штанги-Келли,



в составе которых применяются трубы повышенной прочности импортного производства. На высокоточном обрабатывающем оборудовании изготавливается, например, корпус вращателя и зубчатая передача. Такие комплектующие, как: планетарные редукторы, гидромоторы, гидронасосы, распределительная и клапанная аппаратура — итальянского производства.

Электрооборудование выполнено на элементной базе немецкого производителя. Все компоненты, включая дисплей работают в температурном диапазоне от  $-40$  до  $+80$  °С и предназначены непосредственно для установки на мобильную технику. Программное обеспечение для всех электронных компонентов разрабатывается непосредственно специалистами АО «Стройдормаш», что дает возможность адаптировать функционал машины индивидуально для каждого заказчика, а так же оперативно решать вопросы по доработке и обновлению ПО уже на машинах находящихся в эксплуатации. Возможность применения системы ГЛОНАСС позволит осуществлять полный удаленный контроль за работой машины, как со стороны эксплуатирующей организации, так и со стороны специалистов АО «Стройдормаш». Применение данной системы позволит оперативно выявлять неполадки в машине и в максимально сжатые сроки устранять их. На машине СБМ80 установлено около 20 различных датчиков, которые постоянно контролируют положение исполнительных механизмов машины, мгновенно передают информацию на контроллер, который в свою очередь по CAN-шине отправляет информацию на дисплей в кабине оператора. Данный подход в организации системы управления позволяет на 98% избежать ава-

рийных режимов при эксплуатации машины.

Также большинство конструктивных решений и узлов, применяемых в установках СБМ80 и СБМ150, используются в серийной технике АО «Стройдормаш» и зарекомендовали себя с лучшей стороны. Все машины подготовлены для эксплуатации в климатических условиях с температурой воздуха от  $+40$  до  $-40$  °С. В результате эксплуатирующие организации получают бурильные установки с гарантией 1000 мч, а ресурс до капитального ремонта составляет 6000 мч. Сервисная сеть включает 15 городов присутствия авторизованных сервисных центров АО «Стройдормаш» на территории РФ. Сеть предоставляет квалифицированное регламентное техническое обслуживание по стандартам производителя. В техническое оснащение производственной базы входит все необходимое для запуска в эксплуатацию, обслуживания, гарантийного и постгарантийного ремонта, включая ремонт сложных узлов и капитальный восстановительный ремонт. Благодаря наличию выездных бригад и складов запасных частей можем предложить квалифицированное техническое обслуживание и ремонт техники, где бы она не находилась. Ввод в эксплуатацию новой техники проводит непосредственно сервисная служба совместно с персоналом клиента.

В ближайшее время начнется работа над проектом машины СБМ250 с расчетным крутящим моментом 250 кНм. По отзывам эксплуатирующих организаций для Российских условий выгоднее приобретать машину более мощную, имеющую также возможность переоборудования под различные способы бурения, и которая при этом обеспечивает бурение скважин в широком диапазоне диаметров и глубин.

---

АО «Стройдормаш»  
Россия, 624600, Свердловская область,  
г. Алапаевск, ул. Серова, 1  
Тел.: +7 (343) 318-01-30  
[www.sdm-zavod.ru](http://www.sdm-zavod.ru)  
[sdm@sdm.ur.ru](mailto:sdm@sdm.ur.ru)



## Применение стальных оболочек большого диаметра для устройства оснований мостовых опор

Берендеев А.И., Генеральный директор ООО «КАРСТ»

Стальные оболочки большого диаметра находят применение в мировой строительной практике при устройстве свайных оснований мостовых сооружений, гидротехнических объектов, транспортных объектов, объектов нефтегазовой отрасли, сооружений энергетической сферы, формировании намывных территорий.

Диаметр стальных оболочек может находиться в диапазоне от 1 м до 30 м, при длине оболочек до 100 м.

Конструктивную основу оболочек могут составлять стальные трубы стандартных размеров из сортамента металлургических предприятий, а также на специализированных металлообрабатывающих производствах могут быть изготовлены нестандартные стальные оболочки любых размеров, в соответствии с проектом.

Использование стальных оболочек большого диаметра позволяет интенсифицировать процесс устройства высоконагруженных фундаментов в тяжелых, неоднородных грунтовых условиях, на участках с высоконапорными грунтовыми водами, сейсмически активных регионах, а также фундаментов на морских и речных акваториях.

В качестве иллюстрации применения стальных оболочек предлагается рассмотреть несколько примеров из практики строительной компании ООО «КАРСТ» и других подрядчиков.

### Пример 1 – Устройство свайного основания под опоры мостового перехода через Керченский пролив.

Участок строительства расположен в сейсмически опасном регионе и характеризуется большой толщиной слабых грунтов в верхней части геологического разреза. В соответствии с проектом, в основаниях опор мостового перехода предусмотрено устройство кустовых ростверков из стальных свай-оболочек диаметром 1420 мм и длиной до 90 м, погружаемых вертикально и под наклоном. Вес отдельной свай-оболочки может составлять до 60 т. По причине большой длины и массы, в основном погружение свай на объекте осуществляется отдельными секциями, длиной до 39 м, с устройством одного или двух горизонтальных сварных кольцевых

стыков. Устройство стыковочного узла может занимать от 12 до 24 часов, включая процесс его предъявления техническому надзору и проектной организации. Данное обстоятельство усложняет процесс погружения свай-оболочки до проектной отметки, т.к. за период устройства сварного стыка свая успевает обтягиваться грунтом.

Компания ООО «КАРСТ» с целью сокращения временных затрат предложила технологический вариант, при котором укрупнение свай из отдельных секций осуществляется на горизонтальном сварочном стапеле в зоне производства работ, а затем производится подъем в вертикальное положение и погружение свай-оболочки полной длиной до 90 м, до проектной отметки, без перерыва для изготовления стыковочного узла.

Подобный способ погружения вертикальных и наклонных стальных оболочек весом до 60 т, длиной до 90 м, в рамках массового устройства свай на сухопутных участках не имеет аналогов в российской и мировой строительной практике. Цельные стальные свай-оболочки диаметром 1,5 м, длиной 90 м погружались ранее только на морской акватории в Китае, при строительстве морского вантового моста Шанхай – Нинбо, длиной 35 км.

Специалистами компании ООО «КАРСТ» было подобрано необходимое оборудование, выполнены расчеты и разработан проект производства работ, в котором детально рассмотрены все элементы технологии, начиная от работ по укрупнению свай-оболочки на стенде, ее подъему, установке на точке погружения, начальное погружение до 50 м при помощи вибропогружателя, с последующей добивкой свай до проектной отметки гидравлическим ударным молотом. Проект производства работ был согласован с генпроектировщиком и генподрядчиком.

Комплект основного оборудования для погружения свай-оболочки включает в себя: монтажный кран Liebherr LR-1750 (грузоподъемностью 750 т, с длиной стрелы 112 м и деррек-противовесом); многофункциональную самоходную копровую установку IHC FUNDEX



**Рис. 1.** Укрупнение сваи-оболочки из отдельных секций диаметром 1420 мм на стапеле

F15 с высотой мачты до 46м (используется в качестве поддерживающего кондуктора); вибропогружатель АРЕ-250VM (эксцентрикый момент 51.85 кгм) с силовой станцией АРЕ-1050; гидравлический ударный молот МЕНСК-МНУ-440S (энергия удара до 400 кДж).

**Процесс изготовления и погружения сваи-оболочки можно разбить на этапы:**

1. Укрупнение сваи-оболочки из отдельных секций вертикальными кольцевыми сварными соединениями



**Рис. 2.** Подъем краном со стапеля укрупненной сваи-оболочки диаметром 1420 мм

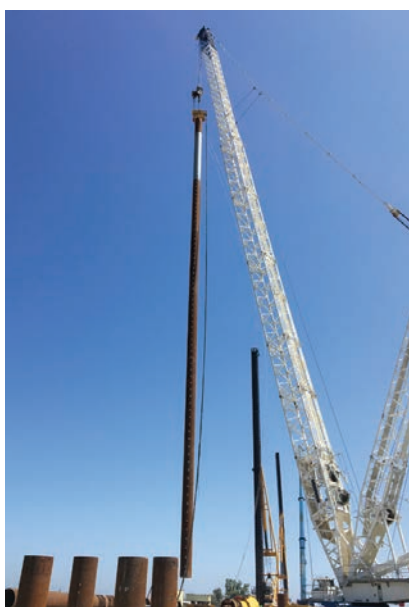
на сварочном стапеле, приваривание наголовника сваи-оболочки, снятие готовой сваи-оболочки монтажным краном со стапеля – **Рис. 1, 2.**

2. Установка на оголовок сваи-оболочки вибропогружателя АРЕ-250VM, подъем сваи в вертикальное положение – **Рис. 3, 4.**

3. Установка сваи-оболочки на точку погружения, подведение под сваю-оболочку поддерживающего кондуктора в виде многофункциональной установки ИНС FUNDEX Equipment F15, установка требуемого угла



**Рис. 3.** Подъем сваи-оболочки диаметром 1420 мм, длиной 85м, с установленным вибропогружателем АРЕ-250VM на стапеле



**Рис. 4.** Подъем сваи-оболочки диаметром 1420 мм, длиной 85 м в вертикальное положение



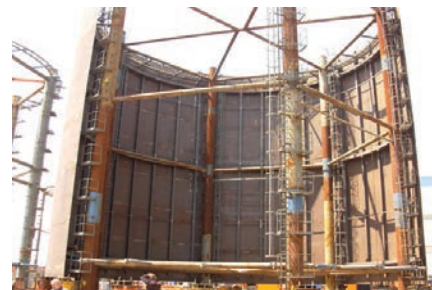
**Рис. 5.** Подача установки ИНС FUNDEX Equipment F15 с мачтой 46 м в месте погружения сваи-оболочки



**Рис. 6.** Погружение вибропогружателем наклонной сваи-оболочки диаметром 1420 мм



**Рис. 7.** Погружение наклонной сваи-оболочки диаметром 1420 мм при помощи молота MENCK MNU-440S



**Рис. 8.** Изготовление сваи-оболочки диаметром 22м, длиной до 47 м



**Рис. 9.** Транспортировка на плавсредствах готовых сваи-оболочек к месту погружения

наклона (в случае погружения наклонной сваи) – **Рис.5.**

4. Начальное погружение сваи-оболочки на глубину 45 - 50м, до наступления «отказа», при помощи вибропогружателя АРЕ-250VM – **Рис.6.**

5. Погружение сваи до проектной отметки на глубину до 90м, до наступления «отказа», при помощи гидравлического ударного молота MENCK MNU-440S – **Рис.7.**

Работы по вышеуказанной технологии проводятся в настоящее время ООО «КАРСТ» двумя комплектами оборудования, на двух участках: сухопутном и морском (с использованием СВСиУ в качестве основания для передвижения и размещения оборудования).

В результате применения строительной компанией ООО «КАРСТ» данной технологии устройства сваи-оболочек на объекте строительства мостового перехода через Керченский пролив была достигнута средняя производительность погружения одним комплектом оборудования до 3-х вертикальных и до 1.5 наклонных стальных сваи-оболочек в сутки, с учетом процедуры динамических испытаний несущей способности по грунту.

**Пример 2 – Устройство на морской акватории искусственного острова для соединения тоннеля и моста при строительстве транспортного коридора Гонг Конг – Жухай - Макао.**

Данный пример иллюстрирует применение стальных оболочек большого диаметра иностранными подрядчиками на объекте транспортного строительства в Китае.

Проектом предусматривалось возведение на морской акватории искусственного острова для соединения мостовой части транспортного коридора с тоннельной.

Границы будущего острова было решено сформировать при помощи стальных кольцевых ячеек, в количестве 59 штук, с погружением их в основание морского дна, соединенных между собой металлическими диафрагмами.

Размер кольцевых ячеек составлял 22м в диаметре, при длине до 47м и весе одной ячейки 450т. Кольцевые ячейки были изготовлены на заводе из стальных листов, сваренных между собой по шаблону, с ребрами жесткости, установленными с внутренней стороны – **Рис.8.**

Стальные оболочки доставлялись к месту погружения на плавсредствах – **Рис.9.**



**Рис. 10.** Погружение оболочки диаметром 22 м, длиной 47 м с плавкрана грузоподъемностью 1600 т

Для погружения кольцевых ячеек использовался плавучий кран грузоподъемностью 1600т и комплекс из восьми вибропогружателей АРЕ-600 (эксцентрик момент 198.17 кгм) – **Рис.10**, установленных на единой раме, работа которых была синхронизирована при помощи системы карданных валов – **Рис.11**.

В результате использования стальных оболочек большого диаметра, уникальный проект строительства в сложных морских условиях, был реализован в оптимальный срок и запланированный бюджет.

**Пример 3 – Устройство на морской акватории оснований в виде моно-свай для ветровых энергетических установок.**

Данный пример показывает выполнение работ по установке фундаментов ветровых энергетических установок в Северном Море, у берегов Германии.

Фундаменты ветровых энергетических установок пред-



**Рис. 11.** Погружение оболочки диаметром 22 м, длиной 47 м с плавкрана грузоподъемностью 1600 т

ставляют собой моно-сваи «бутылочной» формы, в виде стальной оболочки переменного диаметра от 4.7м до 6.2м и длиной от 51м до 72м, массой от 500т до 750т.

Работа по установке моно-свай производилась с плавсредства, оборудованного краном высокой грузоподъемности, с использованием для погружения комплекта из четырех синхронизированных вибропогружателей АРЕ-600 (на начальной стадии) и гидравлического ударного молота (на фазе достижения проектной отметки низа сваи).

Фрагменты реализации данного проекта можно увидеть на **рис. 12, 13**.

В качестве заключения следует отметить, что применение стальных оболочек большого диаметра для строительства мостов и прочих уникальных объектов позволяет интенсифицировать работы и зачастую является единственным эффективным технологическим решением для устройства фундаментов в сложных строительных условиях.



**Рис. 12.** Устройство моно-свай диаметром до 6.2 м с плавсредств для установки ветрогенераторов в Северном море

Существующее в данный момент в мире специализированное оборудование позволяет обеспечить любой необходимый комплект техники для реализации поставленных проектом целей.

Строительная компания ООО «КАРСТ» имеет в своем распоряжении технические средства необходимые для погружения стальных оболочек большого



**Рис. 13.** Комплект из 4-х вибропогружателей АРЕ-600 для погружения в основание морского дна моно-свай диаметром до 6.2 м, длиной до 75 м

диаметра, а также консолидированный опыт с иностранными партнерами для реализации подобных проектов на суше и акваториях.

ООО «КАРСТ»  
199397, г. Санкт-Петербург,  
ул. Капитанская, д.4,  
литера «А», офис 69-н  
Тел.: +7 (812) 327-72-83  
Факс: +7 (812) 327-73-10  
[www.oldcitykarst.ru](http://www.oldcitykarst.ru)  
[office@oldcity.spb.ru](mailto:office@oldcity.spb.ru)

## ПРЕИМУЩЕСТВА ТЕХНОЛОГИИ

Погружение оболочек диаметром 16 м и высотой 45 м на акватории, при помощи комплекса из 8-ми вибропогружателей и плавучего крана грузоподъемностью 1600 т.



- Возможность реализации уникальных строительных проектов
- Устройство фундаментов в труднодоступных местах на морских акваториях
- Устройство высоконагруженных свай в сложных инженерно-геологических и гидрологических условиях
- Сокращение сроков выполнения работ и затрат за счет высокой производительности и эффективности оборудования
- Использование современного оборудования и строительной техники (вибропогружатели, гидравлические молота, краны высокой грузоподъемности)

## ООО «КАРСТ» – УЧАСТНИК СТРОИТЕЛЬСТВА ТРАНСПОРТНОГО ПЕРЕХОДА ЧЕРЕЗ КЕРЧЕНСКИЙ ПРОЛИВ

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

- Гидротехнические сооружения
- Фундаменты и основания мостов
- Оффшорные работы
- Транспортные тоннели
- Подземные автостоянки
- Проектные работы
- Функции генерального подрядчика
- Устройство свайных оснований, грунтовых анкеров и геодрен

Погружение наклонных свай-оболочек диаметром 1420 мм и длиной 85 м в основание опор Керченского моста.



Адрес: 199397, Санкт-Петербург,  
ул. Капитанская д.4 лит. А, офис 69-Н  
тел.: +7 (812) 327 7283,  
факс: +7 (812) 327 7310  
e-mail: office@oldcity.spb.ru



## Малые грунтозасыпные арочные мосты с композито-бетонными несущими элементами

Михалдыкин Е.С., главный инженер по строительству АО «НИИГрафит»

Изначально трубобетонные конструкции в строительной практике рассматривались исключительно как железобетон с жестким армированием и дополнительной защитой бетона от окружающей среды. Эффект обоймы был впервые обнаружен в рамках опытов с заполненными инертными материалами трубчатыми оболочками, которые были проведены в Парижской Школе мостов и дорог в 1915 году. Первую монографию по расчету трубобетона выпустил Гвоздев в 1932 году.

Во второй половине прошлого века начались исследование трубобетонных конструкций с оболочкой из различных материалов. Больших успехов в исследовании применения полимерной композитной оболочки достигли Mirmiran, Fam и Rizkalla и другие исследователи. На текущий момент построено ряд мостов, где в качестве главных несущих элементов выступают трубобетонные элементы с оболочкой из ПКМ. Это грунтозасыпные арочные мосты, спроектированные коллективом института штата Мейн, и рамный мост Kings Stormwater Channel Bridge в штате Калифорния.

### Описание технического решения

В рамках субсидий Министерства промышленности и торговли Российской Федерации ФГУП ВИАМ совместно с АО «НИИГрафит» провели совместную работу по разработке технологии устройства грунтозасыпных арочных малых мостовых сооружений с композитобетонными несущими элементами. Была поставлена цель достигнуть следующих характеристик:

- перекрываемые пролеты от 3 до 15 м;
- диапазон рабочих температур от  $-60$  до  $+60$  °С;
- проектный срок эксплуатации 50 лет;
- срок строительства 2-3 месяца.

Главные несущие элементы представляют собой трубобетонные арочные конструкции с оболочкой, выполненной из углепластика марки ВКУ-51. Углепластиковая оболочка изготавливается методом вакуумной инфузии. В качестве армирования используется плетеный рукав замкнутого очертания. Для придания изделию круглого сечения и арочного очертания применяется надувная оснастка с высокой точностью геометрии покроя, которая укладывается в стапель. Стапель позволяет придать

изделию требуемый радиус закругления, кроме того он сборный и обеспечивает мобильность производства.

Заполнение оболочки бетонной смесью осуществляется через отверстие в замковой части диаметром 150 мм (диаметр бетоновода). В качестве материала заполнения оболочки используется бетон с фракцией щебня не более 20 мм и подвижностью П5. Для контроля заполнения и выпуска воздуха по верхней поверхности оболочки устраивают отверстия диаметром 5 мм с шагом 1 м.

Применения трубобетонного сечения в несущих элементах позволяет максимально использовать прочность бетонного ядра. В трубобетонных конструкциях бетон работает в пространственно-напряженном состоянии. В таких условиях прочность бетона повышается за счет ограничения поперечных деформаций. Благодаря этому несущая способность трубобетонного сечения выше, чем у бетона и оболочки, рассмотренных отдельно (рисунок 1). Особенностью трубобетонного сечения с композитной оболочкой является участок псевдопластичности на графике деформаций конструкции от нагрузки. Таким образом конструкция обладает высокой живучестью и надежностью, т.к. достижение предельного состояния будет видно по сверхнормативным деформациям задолго до разрушения.

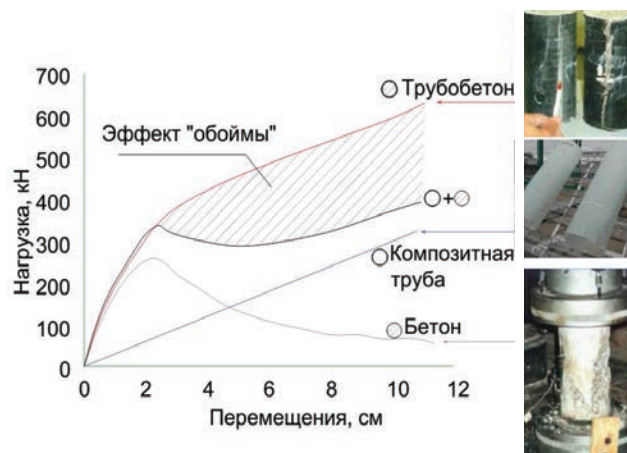
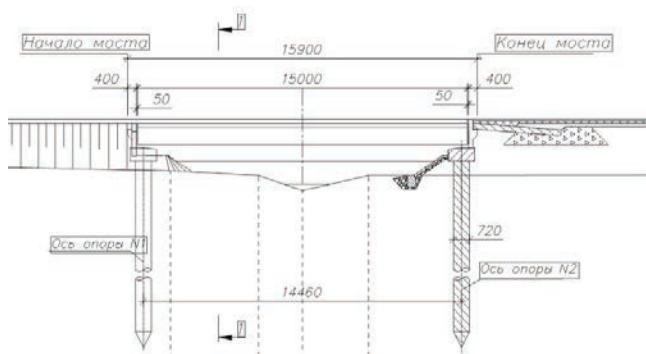
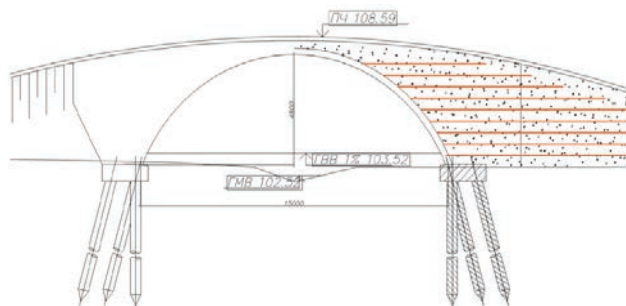


Рис. 1. Наглядное отображение эффективности трубобетонного сечения



**Рис. 2. Балочный мост**

Для сравнения экономической составляющей для обоих вариантов составлен сметный расчет стоимости работ. Расчет выполнялся для Тюменской области, зона 1. В качестве источников использовались ФЕР 2001 и ТЕР 2001. Перевод в цены 2015 года осуществлялся умножением на коэффициент 7,145 в соответствии с письмом Минстроя №



**Рис. 3. Арочный грунтозасыпной композито-бетонный мост**

40538-ЕС/05 от 14 декабря 2015 года. Стоимость материалов, выпускаемых ФГУП ВИАМ, определены в соответствии с письмом № И-15-18160 от 17 ноября 2015 года. Продолжительность работ определялась на основе сметных норм, прописанных в ЕНиР и ГЭСН. Результат сравнения представлен в таблице 2.

**Таблица 3. Применимость электрических зондов в зависимости от грунтовых условий**

Балочный мост	Сумма Чел.-ч.	Средний размер бригады, чел.	Продолжительность, дн.	Стоимость, руб
Опоры	1980	6	35	13 698 730,59
Пролетное строение	1841,37	5	33	14 567 548,63
Сопряжение моста с насыпью	392,55	4	40	3 375 602,23
<b>Всего дней</b>	<b>108</b>		<b>Всего, руб</b>	<b>31 641 881,45</b>
<b>Арочный мост</b>				
Фундамент	964,68	5	23	5 129 565,20
Пролетное строение	405,54	5	14	14 171 726,80
Надарочное строение	264,44	3	8	3 227 745,57
<b>Всего дней</b>	<b>45</b>		<b>Всего, руб</b>	<b>22 529 037,56</b>

### Экспериментальные исследования конструктивно-подобных элементов

С целью подтверждения надежности новой конструкции и экспериментального обоснования расчетной методики были проведены испытания 2-х партий полно-размерных арочных и балочных оболочек (рисунок 4). Испытания проводились на испытательном оборудовании ФГБОУ ВПО МГСУ производства MTS на силовой раме CFM Schiller. Нагружение производилось передачей конструкции вертикальной деформации с шагом 1 мм по показаниям на штоке гидроцилиндра. Скорость на-



**Рис. 4. Испытание конструктивно-подобного арочного несущего элемента**

гружения — 0,3 мм/с для балочных образцов и 0,2 мм/с для арочных образцов. Схема опирания арочных элементов — шарнирные опоры.

При испытании первой партии исследовалось влияние угла плетения чулка и различных дефектов оболочки на несущую способность конструкции. Для второй партии были изготовлены образцы большей толщины с фиксированным углом плетения чулка (30° в направлении вдоль оси конструкции). Анализ результатов испытаний позволяют сделать следующие выводы:

— Несущая способность конструкций тем выше, чем острее угол плетения чулка в направлении вдоль оси

конструкции (технологически минимальное значение этого угла составляет 30°);

— Наибольшее влияние на несущую способность среди дефектов оказывают складки на полную толщину материала оболочки. Продольные складки снижают жесткость конструкции и могут стать причиной разрушения бетонного ядра раньше срока в следствии компенсации эффекта «обоймы» за счет распрямления складки. Поперечные складки в зоне растяжения приводят к разрушению бетонного ядра и образованию местного шарнира за счет деформаций оболочки. Во всех случаях, когда происходило разрушение бетонного ядра без разрушения оболочки конструкция продолжала воспринимать внешнюю нагрузку, равную примерно половине разрушающей.

— Наличие на графике нагрузка — вертикальные перемещения горизонтального участка — «площадки псевдопластичности» В действительности, имея схожий характер поведения системы (отклонение от линейности перемещений на диаграмме в процессе нагружения и остаточная деформации после снятия нагрузки), это явление имеет другой характер протекающих процессов. Главным образом накопление остаточной деформации объясняется накоплением повреждений элементов системы. Основными из них являются:

— релаксация напряжений в дефектах структуры оболочки;

— появление и накопление по-

вреждений в бетонном ядре;

— накопление разрушений в матрице композитной оболочки;

— накопление разрушений волокон.

На рисунке 5 представлены результаты испытаний второй партии опытных образцов трубобетонных конструкций с полимерной композитной оболочкой. На диаграмме хорошо видно наличие пологой зоны деформаций, начинающейся приблизительно при нагрузке 250 кН (в процессе испытаний образца А-1 произошло смещение шарнира гидроцилиндра, что привело к повреждениям образца и невозможности продолжения испытаний).

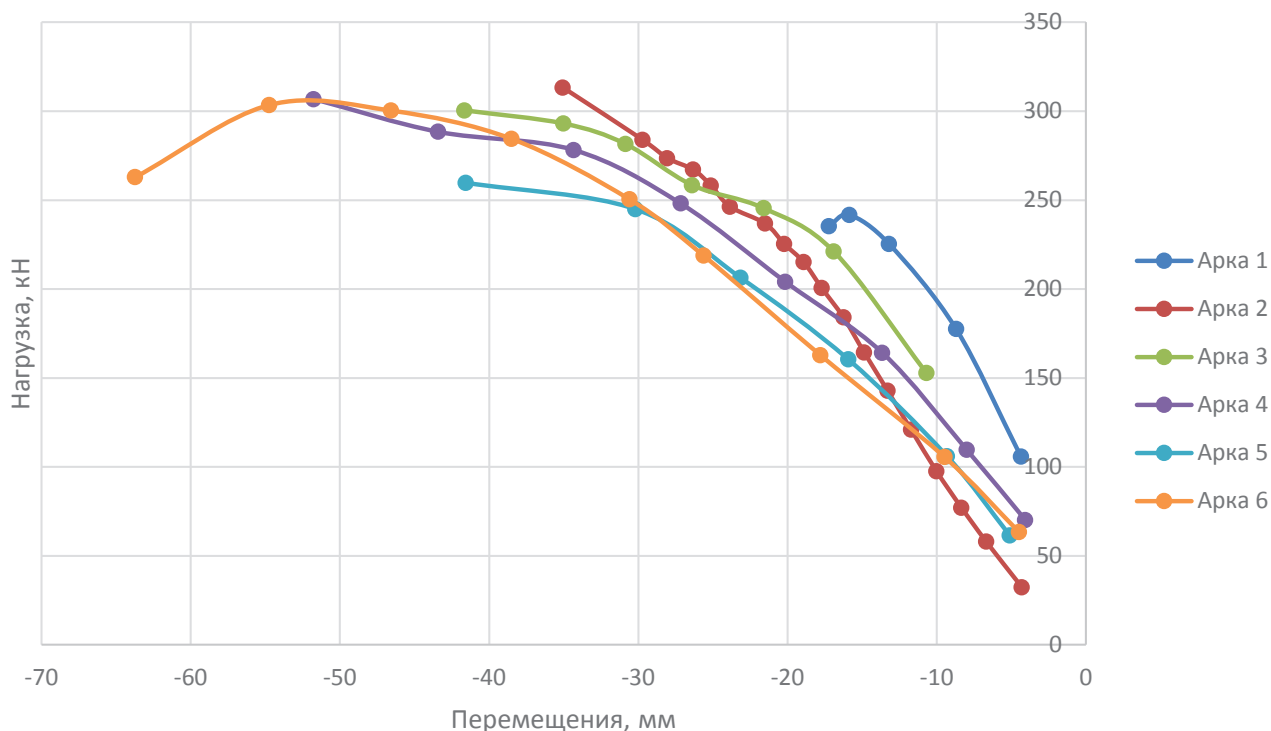


Рис. 5. Результаты испытаний второй партии арочных элементов

### Строительство пилотного объекта

Осенью 2016 года началось строительство пилотного объекта в с. Языково Карсунского района Ульяновской области (рис. 6). Мост располагается на поселковой

улице, предполагает тротуары шириной 1 м. Пролет моста составляет 12 м, вес одной пустой арочной оболочки примерно равен 100 кг. Фундамент моста выполнен забивными сваями с двухрядным расположением под углом 15° к вертикали. Фасад поста

закрывается стеклопластиковым профилированным настилом. В связи с ограниченностью строительной высоты, мост получился пологим и расчетный уровень высоких вод практически перекрывает отверстие моста. По этой причине в данном случае потребовалась дополнительная защита несущих элементов от воды, корчехода и ледохода. Защита выполнена в формате железобетонной оболочки.

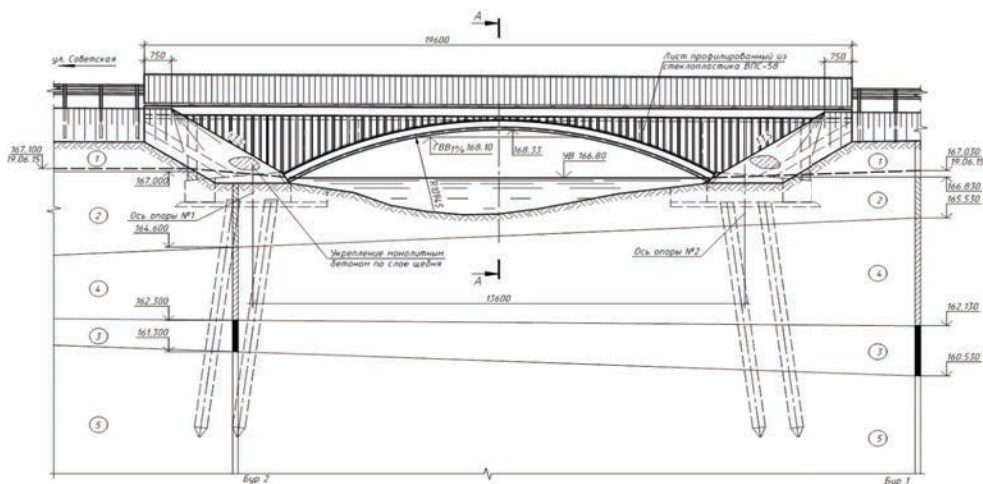
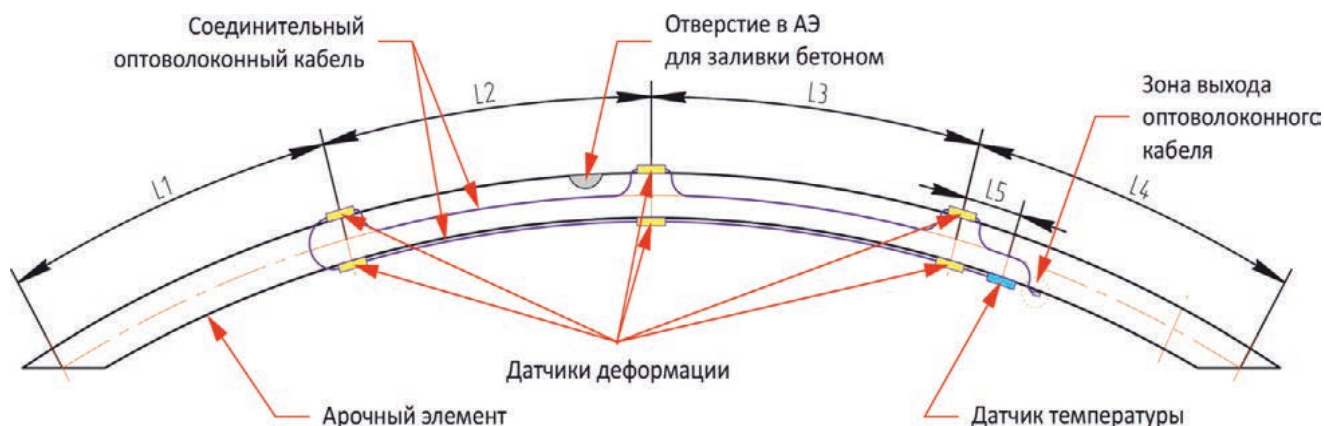


Рис. 6. Фасад пилотного сооружения.

С целью наблюдения за состоянием пилотного объекта проект предполагает размещение системы мониторинга (рисунок 7):

- оптоволоконные датчики деформации;
- оптоволоконные датчики температуры;
- детектор интенсивности транспортного потока.



**Рис. 7. Схема размещения датчиков деформации и температуры на арочных несущих элементах.**

Коллектив АО «НИИГрафит» и ФГУП ВИАМ разработали конструктивное решение, позволяющее эффективно совместить традиционные подходы и новые материалы при возведении малых мостов. Технико-экономическое сравнение вариантов устройства малого моста показало жизнеспособность и экономическую

привлекательность разработанного решения. Проведенные лабораторные и натурные испытания подтвердили надежность и безопасность композито-бетонных арочных мостов.

Отработка новой технологии была произведена при строительстве пилотного объекта.

АО «НИИГрафит»  
111524, г. Москва, ул. Электродная, д. 2  
Тел./факс: +7 (495) 278-00-08  
www.niigrafit.ru  
niigrafit@niigrafit.org



## Состояние и перспективы геотехники и механики грунта\*

**Кулачкин Б.И.**, к.т.н., д.г.-м.н., академик РАЕН, заместитель директора ООО «ИПТС-«Транспроект»;

**Митькин А.А.**, заведующий лабораторией ООО «ИПТС-«Транспроект»;

**Радкевич А.И.**, к.т.н. ЮРГПУ (НПИ), ведущий научный сотрудник ООО «ИПТС-«Транспроект»;

**Евтушенко С.И.**, д.т.н., профессор, декан

Определены основные положения (категории) новой механики грунта и геотехники, изложены в иерархическом порядке, систематизированы. Приведены принципиальные отличия новых разработок от существующих, в том числе, новая классификация состояния грунта (переуплотненный — нормальноуплотненный — недоуплотненный), геотехническая модель (геомассив — основание — фундамент — сооружение), вес грунта (оценка  $\gamma_h$  in situ), поровое давление (элемент образования и эволюции литосферы), условная стабилизация, консолидация, аналого-дискретная модель грунта (хрупкое тело с бесконечным модулем упругости), модуль Янга (модуль упругости), капиллярная модель грунта (четочные капилляры и капилляры Жомена), эффект Кулачкина-Радкевича (поровое давление может быть ниже атмосферного (!), несущая способность (Герсеванов и акустика в грунте), акустика в геотехнике (сплошность, целостность, прочность и геометрия сваи и др. ж/б конструкций). Приведены аналитические и экспериментальные данные в различных регионах РФ и дальнего зарубежья. Даны оценки состояния и перспектив геотехники и механики грунта.

Представлены последние исследования, связанные с фундаментальными основами новой механики грунта и геотехники, и обобщения оригинальных работ, написанными в разное время и, по возможности, их систематизация. Изложены положения основ в иерархическом порядке:

- Природное состояние (залегание) грунта.
- Геотехническая модель грунта.
- Вес грунта (бытовое давление).
- Поровое давление, проницаемость.
- Условная стабилизация, консолидация.
- Эффект Кулачкина-Радкевича.
- Капиллярная модель грунта.
- Аналого-дискретная модель грунта.

- Модуль Янга (Young's modulus).
- Несущая способность сваи.
- Акустика в геотехнике (сплошность, прочность, целостность, геометрия).

### Природное состояние (залегание) грунта.

Природное состояние грунта является краеугольным камнем механики грунта и геотехники.

Разработана новая классификация: переуплотненный – нормальноуплотненный – недоуплотненный грунт. Еще К. Терцаги отмечал наличие в природе переуплотненного грунта.

Действительно, ледники, тектоника, вулканизм, изменение уровня морей и океанов, и др. являлись и являются причиной образования переуплотненного грунта, но также и недоуплотненного. Данная классификация добавляет к традиционной недоуплотненный грунт, и он рассматривался на разных конференциях уже как данность. Проф. З.Г. Тер-Мартirosян неоднократно отмечал, что во Вьетнаме им был исследован недоуплотненный грунт. Нами в процессе зондирования, штамповых испытаний и др. для оценки предельного сопротивления грунта встречается недоуплотненный грунт. В процессе статического зондирования недоуплотненный грунт можно выделить при рассмотрении параметра  $q_c$  (1).

В Израиле при строительстве автострады «Север-Юг» было предложено в проекте предусмотреть влияние переуплотненного грунта. (Г. Лискевич).

При проектировании и строительстве автодороги «Шантала-Клявлино» (Самарская обл.) была поставлена задача оценки переуплотненного и недоуплотненного грунта. Впервые оценка степени переуплотненного грунта была внесена в МГСН 2.07-97 «Основания, фундаменты и подземные сооружения», используя параметр статиче-



ского зондирования  $q_c$ . Следствием этой классификации должно быть существенно новое представление об основаниях и геомассивах, как главном объекте механики грунта, геотехники и повышение достоверности определений механических характеристик в современном их понимании за счет моделирования природных нагрузок как в лабораторных, так и полевых условиях и режима нагружения при испытаниях с учетом состояния грунта.

К примеру, по нашим оценкам, на широте Москвы в Московском регионе ледник мог достигать до 100 м над поверхностью земли.

Что же касается природного бытового давления, то нами сконструирован прибор зонд ( $q_c$ ,  $f_c$ ) и датчиком нормального давления  $p_c$ , который позволяет определить боковое давление и через коэффициент бокового давления рассчитать  $\gamma_h$  (патент №1191521) (2). Пока это единственный экспериментальный способ, который дает реальное представление о  $\gamma_h$ . Таким образом был исследован грунт в порту Салиф (Йемен), что позволило выявить недоуплотненный грунт и реальное значение  $\gamma_h$ .

Эти исследования проводились на базе широко известных ПИКА (полевой измерительный комплект аппаратуры) для статического зондирования, которые конструктивно были согласованы с буровыми установками и таким образом была разработана новая технология комбинированного статического зондирования и бурения, что существенно повысило эффективность инженерных изысканий (3) и информативность исследований *in situ*.

### Геотехническая модель грунта.

Геотехника стала существенно глубже и шире. Разломы, карст, оползни, активная гидрогеология и др. природно-техногенные условия и процессы в значительной мере влияют на проекты зданий и сооружений и особенно на их безаварийную эксплуатацию, поскольку в процессе эксплуатации зданий и сооружений (их реального срока службы) возможно проявление тех или иных природно-техногенных факторов.

Разработана новая геотехническая модель: Геомассив — основание — фундамент — сооружение.

Принципиальным отличием предлагаемой модели от традиционной — основание — фундамент — сооружение — заключается в том, что она охватывает более широко объект исследований и в полной мере дает представление о характере процесса взаимодействия сооружения с окружающей средой. При этом необходима организация комплексных инженерных изысканий, включая

инженерно-геологические и инженерно-экологические изыскания геомассивов с учетом природно-техногенных условий, отмеченных выше, и выполнение более полного и активного мониторинга как геомассива, так и самого сооружения с приоритетом воздействия на окружающую среду (4, 5, 6). Наиболее эффективна геотехническая модель для линейных сооружений.

Одним из практических выводов модели является следующее. Для больших и средних мостов каждая опора должна рассматриваться как отдельное сооружение со всеми вытекающими отсюда последствиями в инженерных изысканиях, в том числе, количестве буровых скважин, точек зондирования, геофизики и контрольных испытаний.

В ИПТС-«Транспроект» организована лаборатория «Геомассивов, оснований и фундаментов». Геотехническая модель использована при проектировании и строительстве мостов в г. Владивостоке через пролив Босфор-Восточный, в Ульяновске и Саратове (у с. Пристаное) на Волге, порту Салиф (Йемен), более 10 объектов транспортного строительства в Москве («ТрансКапСтрой», «МО-99», «Бурбау») и др.

### Вес грунта (бытовое давление)\*

Вес грунта/бытовое давление имеет исключительно важное значение для оползней, склонов, подпорных стен, ограждающих конструкций и т.д., и тем более величины коэффициентов надежности, запаса и др.

Повторим известное высказывание проф. С.Б. Ухова и др. (7): «...точное определение начального и исходного напряженного состояния массива грунтов представляет собой сложную задачу, связанную с необходимостью учета многих факторов. До настоящего времени пригодного для инженерных расчетов решения этой задачи еще не получено». Здесь следует заметить, что проблема веса грунта  $\gamma_h$  и его использование в таком виде напрямую зависит от того, в каком состоянии находится грунт. Интересно отметить, что нагрузка от собственного веса грунта была связана с коэффициентом надежности в СП 20.13330.2011, что в общем вполне логично. Вернемся в прошлое. Когда появилась таблица 1 в СНиП 2.01.07-85\* «Нагрузки и воздействия», сразу же было необходимо обратить внимание на грунты  $\gamma_f = 1.1$  (коэффициент надежности по нагрузке от собственного веса) в природном состоянии и насыпные  $\gamma_f = 1.15$ , что ранее отмечалось, как ошибка, поскольку неоднородность грунтов существенно выше, нежели бетона (8).

Кроме того, вызывает вопросы и терминология, но не только.

\* Здесь не рассматриваются вопросы гравиметрии, поскольку пока что использовать результаты исследований не дают возможность применять их для механики грунта и геотехники

Анализ таблицы 1 (СНиП 2.01.07-85) приведен в (8). Еще раз отметим, что диссонансом с коэффициентом надежности для грунта являются аналогичные коэффициенты для металла — 1,05 и бетона — 1,1...1,3. Основным параметром, определяющим коэффициент надежности от собственного веса материала является его неоднородность по плотности. Неоднородность грунта существенно выше неоднородности металла и бетона и соответственно коэффициент надежности.

Ниже будут приведены примеры и оценки.

Кстати сказать, одна из наиболее полных работ по на-

сыпным грунтам (9) не приводит каких-либо коэффициентов надежности по нагрузке от собственного веса.

Вместе с тем сам автор проф. В.И. Крутов неоднократно заявлял и заявляет, что  $\gamma_f$  должен быть существенно выше. Что же касается грунта в природном состоянии, то можно сравнить его неоднородность с бетоном, рис.2, 3, 4.

Некая оценка веса грунта in situ может быть дана на основе исследований с учетом классификации (переуплотненный — нормальноуплотненный — недоуплотненный) грунта, по методике, изложенной выше, в разделе «природное состояние грунта».

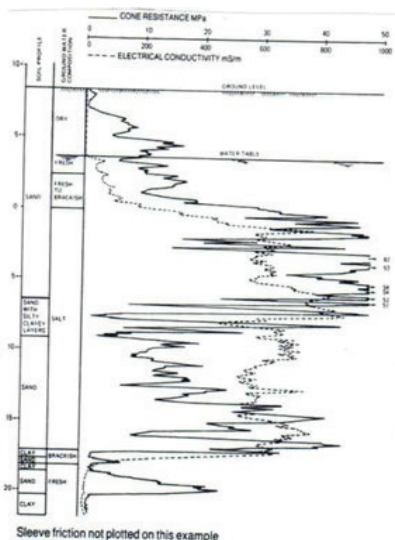


Рис. 2. Диаграмма (аналоговая) статического зондирования грунтов, полученная фирмой Fugro (Сахалин-1).



Рис. 3. График «Скорость ультразвука по длине сваи» БНС №4 опоры №3 Объект: «Эстакада автомобильной дороги «Джубга-Сочи» на участке обход г. Сочи (р. Сочи).

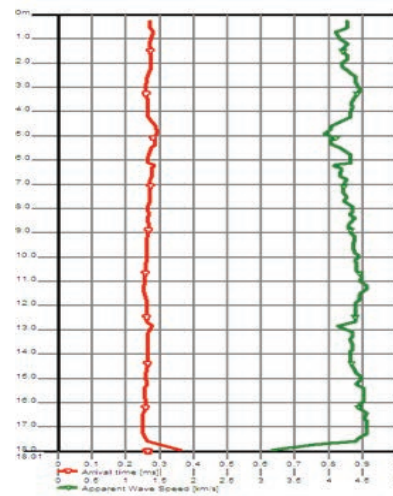


Рис. 4. График полученный в результате исследования сплошности бетона буронабивной сваи №12 фундамента опоры №3 (РД) (Chum). Объект: «Развитие Московского авиационного узла. Строительство комплекса новой взлетно-посадочной полосы (ВПП-3) международного аэропорта Шереметьево, Московская область» Рулежная дорога.



Таблица 1.

Конструкции сооружений и вид грунтов	Коэффициент надежности по нагрузке, $\gamma_f$
<b>Конструкции</b>	
Металлические, за исключением случаев, указанных в 2.3	1,05
Бетонные (со средней плотностью выше 1600 кг/м <sup>3</sup> ), железобетонные, каменные, армокаменные, деревянные	
Бетонные (со средней плотностью 1600 кг/м <sup>3</sup> и менее), изоляционные, выравнивающие и отделочные слои (плиты, материалы в рулонах, засылки, стяжки и т.п.), выполняемые:	1,1
в заводских условиях	1,2
на строительной площадке	1,3
<b>Грунты</b>	
В природном залегании	1,1
На строительной площадке	1,15

Эти три графика дают общее представление об однородности, сплошности, целостности грунта и бетона. Корректная вероятностно-статистическая обработка экспериментального материала, как по грунту, так и по бетону (банк данных более 60 тыс. единиц хранения), включающая исследования гипотез распределения случайных величин и затем оценки статистических показателей подтвердили несоответствие  $\gamma_f$  – для грунта в природном залегании и насыпных (10, 11). Тогда же был предложен  $\gamma_f = 1,32$  для грунтов в природном залегании и 1,35 для насыпных, хотя почему только насыпных? Почему просадочных нет и т.д.? Кстати сказать, кроме насыпных грунтов есть намывные и пр. Однако по существу ничего не изменилось в новой версии.

Необходимо также отметить, что эти коэффициенты надежности по нагрузке от собственного веса переключались в точности в другие нормы – для тоннелей, метрополитенов, мостов и труб и др.

Процесс пересмотра норм и стандартов начался в 2010-х годах и пошел он достаточно бурно. Общее впечатление, что нормы и стандарты были просто переписаны и в немалом количестве случаев с ошибками, что отмечают многие специалисты.

Одним из таких примеров является Таблица 1 (табл.7.1 СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* «Коэффициенты надежности по нагрузке для веса строительных конструкций и грунтов»). Вышеназванная ошибка вновь повторена, только под другим назва-

нием. «Грунты на строительной площадке»,  $\gamma_f = 1.15$ . Название тоже неудачное. Есть же фундаменты на естественном основании, туда также могут входить насыпные, намывные грунты и др.?

Подводя некий итог вышесказанному, следует отметить, что необходимо упорядочить таблицу 1 и привести в соответствие с различного рода коэффициентами надежности (запасов и др.) в геотехнике.

#### Поровое давление, проницаемость\*.

Первый зонд с измерением порового давления был продемонстрирован Б. Бромсом (Швеция) в г. Москве в 1973 г. На Международном конгрессе по механике грунтов и фундаментостроению. В 80-х гг. Б.И. Кулачкиным и А.И. Радкевичем был разработан зонд с поровым давлением (патент №2167238) (12, 13). Разработана новая методика измерения порового давления при остановке зонда в процессе релаксации (14). Необходимо отметить, что методика измерения порового давления, нормированная в международном стандарте, предусматривала жесткие ограничения в конструкции зонда, и что самое важное, измерения выполнялись в процессе движения зонда со скоростью  $V = 1 \pm 0,3$  м/мин. Всё это было ошибкой, поскольку гидро-газодинамика, шумы не позволяют извлечь полезную информацию.

Вопрос с поровым давлением был решен в большой степени в рамках открытия №186. «Закономерность распределения порового давления в глинистых породах» (15).

\* Не рассматриваются аномально высокие пластовые давления, связанные с газом и нефтью.

Доказано, что поровое давление, измеренное в процессе релаксации после остановки зонда при статическом зондировании, является единственным способом определения порового давления *in situ*. Давление изменяется по экспоненте, параметры, которой зависят от вида грунта и его характеристик, рис.5.

Изменение порового давления в процессе релаксации можно описать уравнением:

где:

$$P = P_H - (P_H - P_0) \left(1 - e^{-\varepsilon t}\right), (1)$$

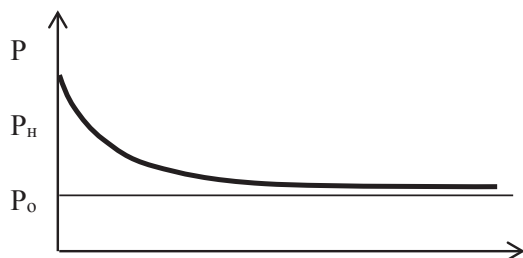
$P_H$  – поровое давление при остановке зонда, Мпа

$P_0$  – поровое давление «*in situ*», Мпа

$\varepsilon$  – коэффициент зависимости от вида грунта, его проницаемости  $1/t$  – час.

Это единственный экспресс-метод открывает широкие возможности для оценки поля порового давления в геомассивах, градиента напора и др.

Открытие позволяет рассматривать поровое давление как элемент памяти образования и эволюции верхних слоев литосферы.



**Рис. 5. Процесс релаксации порового давления**

Здесь следует отметить, что вслед за этим открытием последовало много научных работ о некоей памяти воды и больших возможностях методики её оценки. Исследования показали (16, 17), что в водонасыщенных песках поровое давление в полной мере соответствует гидростатическому давлению. В глинистой породе (18, 19) поровое давление распределено неравномерно и может быть меньше гидростатического, равно гидростатическому, больше гидростатического, вплоть до литостатического давления (1). В качестве такого примера можно привести измерение

порового давления в неоднородном геомассиве в одном из районов Таллина (1). Широкое применение методики измерения порового давления было основано на применении прибора ПИКА (20, 21, 22, 23).

Кстати, следует заметить, что методика релаксации параметров при статическом зондировании, связанная с поровым давлением, была существенно расширена, и уже с 90-х годов прошлого столетия Б.И. Кулачкин и А.И. Радкевич распространили ее на температуру грунта  $t$ , радон ( $\alpha$  – излучение), объемную влажность грунта (ННК), плотность грунта (ГК), «горячий зонд»), что позволило получить параметры грунта *in situ* значительно более достоверные нежели в лабораторных условиях.

Так было исследовано тепловое поле и его динамика в порту Салиф (Йемен), которое распространялось от огромного соляного диапира и терикона в 3-х км от порта. Был найден источник утечки горячей воды в основании кинотеатра «Октябрь» в Москве и др.

Однако, методика с остановкой зонда в процессе зондирования и регистрацией релаксации параметров появилась только в ГОСТ 19912-2012. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием.

Что касается проницаемости, то релаксация и экспонента, представленная на рис.5, вполне может быть использована для оценки коэффициента фильтрации, пористости при некоторых методических дополнениях.

В НИИОСП разработан метод локального насыщения грунта водой (жидкость, газ), который позволил определять относительную просадочность лессового грунта и коэффициент фильтрации с использованием специальной конструкции зонда ПИКА (10, 11). Определение прочности и просадки связаны с принудительным изменением влажности лесса. Кстати сказать, применение аналого-дискретной модели для описания процесса просадки лессового грунта и др. подобных явлений могло бы существенно продвинуть представление о механизме просадки. Коэффициент фильтрации и пористости определяется на основе решения задачи Н.Н. Веригина (11) о нагнетании невесомой жидкости из точечного источника с использованием эффективной поверхности нагнетания. Экспериментальные и производственные работы проводились в различных регионах РФ и на цементных заводах Ходейда (Йемен) и Улан-Батор (Монголия).

#### **Условная стабилизация, консолидация.**

Этот термин широко используется во всех механических испытаниях грунтов. Причем методика оценки критериев стабилизации настолько тривиальна и ничем не обоснована, что вызывает недоумение.

Наш большой опыт экспериментальных работ и интерпретация результатов испытаний свай на статическую вдавливающую нагрузку, штамповые испытания и др. позволяет утверждать, что практически все процессы испытаний (осадка-время) подчиняются экспоненциальному закону, и описывается экспонентой для определения осадки и прогноза осадки во времени.

Уравнение можно представить в следующем виде:

$$S(t) = S_H - (S_H - S_k)(1 - e^{-\alpha t}), \quad (2)$$

где:  $S(t)$  – осадка сваи на определенной ступени нагрузки в момент  $t$ , мм

$S_H$  – осадка сваи на определенной ступени нагрузки  $F$ , кН при  $t=0$ , мм

$S_k$  – осадка нагрузки при  $F_1 t=\infty$ , мм

$\alpha$  – коэффициент зависимости от вида грунта и физико-механических характеристик грунта,  $1/t$  час.

Что касается консолидации, то это подобный процесс условной стабилизации, но требует более основательного фундаментального подхода с использованием более широкого спектра физико-механических характеристик грунта.

Эта методика требует доработки, но она позволяет существенно сократить время испытаний. В качестве примера приведен график «осадка-время» основания БНС №1 опоры №2 (г. Саратов), рис.6.

Исследования порового давления, условной стабилизации и консолидации позволяют существенно обогатить и продвинуть теорию фильтрационной консолидации и консолидации вообще.

### Эффект Кулачкина-Радкевича.

Этот эффект позволил в какой-то степени обнаружить аномальное явление (29, 30). Поровое давление внутри песчаной насыпи, образованной гидронамывом (строительство мостового перехода в г. Саратове через р. Волга у села Пристанное), оказалось меньше атмосферного (!).

Этот результат был получен благодаря методике (изложенной выше) измерений порового давления в процессе статического зондирования. В данном случае проводилось измерение порового давления в процессе его релаксации при остановке зонда. Эта методика принципиально отличается от рекомендуемой, изложенной в международном стандарте на СРТ.

В итоге оказалось, что поровое давление внутри песча-

ной насыпи являлось неким стабилизирующим фактором, что повысило устойчивость песчаной насыпи. Этот эффект важен для понимания процессов, происходящих в массиве грунта как при техногенном воздействии, так и в процессе эволюции верхних слоев литосферы.

### Капиллярная модель грунта.

Высота капиллярного поднятия, капиллярные силы и их учет в различного рода расчетах имеют важное значение в геотехнике. Высота капиллярного поднятия  $h_k$  определяется не только классическими капиллярными силами, но часто и не столько, а условиями образования и эволюции литосферы и вполне адекватно описывается нашей капиллярной моделью, где присутствуют четочные капилляры и капилляры Жомена (31). Эта модель не может дать представления о возможности высокого капиллярного поднятия, например, в несколько десятков метров (К. Терцаги предполагал капиллярное поднятие до нескольких десятков метров). В нормах РФ в достаточно общем виде обозначены высоты капиллярного поднятия для различных видов грунта. Проведенные исследования в различных регионах РФ, а также в Узбекистане, Молдавии и Украине совместно с ВСЕГИНГЕО, ПНИИС, Гидроингео с использованием установок СПК (станция пенетрационного каротажа) (28). Следует отметить, что эта уникальная установка не имеющая аналогов (измеряемые штатные

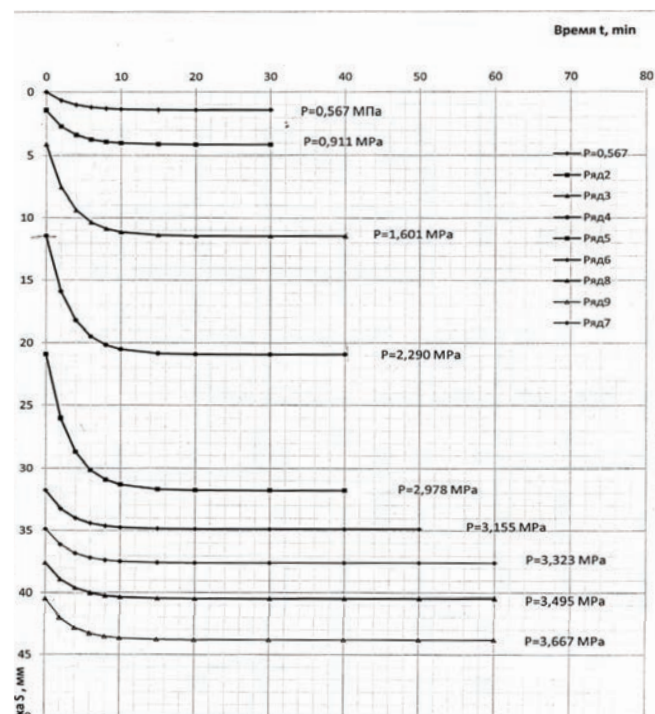


Рисунок 2 – График «время-осадка» по ступеням нагружения. Основание БНС№1 опоры №2; а.о. 21.30. Объект: «Строительство аэропортового комплекса «Центральный» (г. Саратов). Путьевод на транспортной развязке на ПК84+51,392». 23.12.16

параметры  $q_c$ ,  $f_c$ , ННК, ГГК, ГК) а затем приспособления измерения порового давления и температуры позволяют проводить исследования на самом высоком уровне. Кстати сказать, попытка создать аналог в США не увенчалась успехом. Использование ННК (нейтрон-нейтронного каротажа) и ГК (гамма-гамма каротажа) позволили достаточно подробно и достоверно исследовать капиллярную кайму, высота ее, влажность и цвет нестабильны и не достигали величины более 2 м в различных грунтах (10, 11). В процессе эволюции или техногенеза могут образовываться как традиционные (четочные) капилляры так и капилляры Жомена в геомассиве основания. На этой основе разработана комбинированная капиллярная модель.

Одним из главных выводов этой модели является отсутствие прямой связи между высотой и силой «капиллярного поднятия», поскольку объемная и весовая влажности по высоте каймы капиллярного поднятия нестабильны.

Результаты исследования порового давления и капиллярного поднятия могли бы дополнить фильтрационную теорию консолидации (уплотнения).

#### Аналого-дискретная модель грунта.

Разработана аналого-дискретная модель грунта (24), в которой заложено новое свойство – дискретность. Суть его состоит в том, что идеальное тело состоит из неопределенного количества стержней, объединенных в одно целое, различной длины и поперечных сечений (дискретность) и бесконечным модулем упругости, и названо телом KR (Кулачкин-Радкевич) рис.7.

В качестве примера можно привести модель Бингама (Рис.8), где к известным идеальным телам Н (упругость), N (вязкость) и StV (сухое трение) добавлено KR (дискрет-

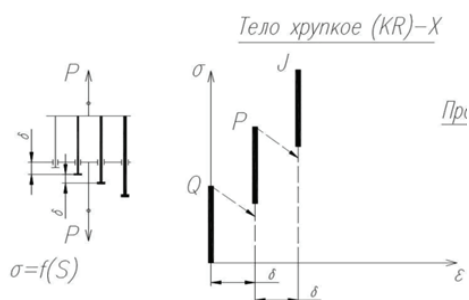


Рис. 7. Идеальное хрупкое тело (KR)-x

ность). Таким образом, получим полный набор свойств аналого-дискретной модели, не имеющей аналогов.

Отличием аналого-дискретной модели является то, что традиционной последовательности фаз («упругость – пластичность – разрушение») напряженно-деформированного состояния может не соблюдаться.

В комбинации с упругопластичными моделями предлагаемая модель позволяет существенно расширить область применения реологических моделей в теории сред.

Использование предложенной модели в реологической механике грунтов может открыть новые направления развития теории, как для скальных, так и для обычных грунтов.

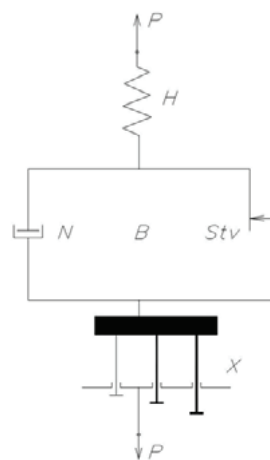


Рис. 8. Упруго-вязко-пластично-хрупкая модель

Для скальных грунтов блочной структуры предложенная модель имеет физическое обоснование.

Особенно важным может быть применение предлагаемой модели в динамике, когда происходит разуплотнение и изменение структуры грунта, приводящее к быстрым осадкам.

Применение предложенной модели в теории железобетона представляется ясным и неслучайно доклад Б.И. Кулачкина на международной конференции по бетонам «Concrete-2014» вызвал интерес и получил поддержку (25).

Наиболее ярко дискретность грунта проявляется при статическом зондировании. Примером наглядности дискретности грунта может быть диаграмма статического зондирования, рис.2.

Здесь необходимо отметить проблему измерений в строительстве, в том числе, в геотехнике и механике грунта, связанных с быстройдействием измерительных систем, когда параметры систем измерений не могут фиксировать

быстропротекающие процессы в материалах. Это в полной мере относится к аналого-дискретной модели.

Применение быстродействующих систем измерений и регистрации вместе с аналого-дискретной моделью может существенно обогатить так называемую теорию предельного равновесия.

### Модуль Янга (Young's Modulus).

Модуль Янга (Юнга) в механике и геотехнике широко используется в различных интерпретациях: модуль Юнга, модуль упругости, модуль общей деформации, модуль механической деформации, а также статический модуль упругости, динамический модуль упругости, начальный модуль упругости, и т.д., причем последнее относится к грунту и бетону.

Существуют две методики определения модуля Янга – механическое нагружение грунта в различных условиях (коробка, in Situ) и измерение скорости волны в грунте путем приложения импульсного воздействия УЗД (Ultrasonic), сейсмоакустика (Low Strain Test), и определять модуль Янга, исходя из волновой теории, широко используемой в бетоне, металле и др. материалах.

С точки зрения физики модуль упругости, определенный вторым методом, более близок к самому определению упругости, поскольку только упругие свойства (модуль Янга) определяют процесс в рамках волновой теории, тем более что статические испытания «модуля упругости» грунта могут не дать достоверной информации согласно аналого-дискретной модели, выделить упругость из полного набора  $H, N, StV, KR$  представляется очень сложным. Что касается динамики и статики, то и здесь имеются серьезные трудности, поскольку, например для грунта при трехфазной среде трудно понять, где статика, а где динамика, динамика настолько размыта во времени, определить (назначить) параметры динамики

очень сложно.

Оценка модуля Янга первым способом была изложена М. Жамиолковским в его сообщении, когда он приезжал в 90-х годах в РФ, будучи президентом ISSMGE. Он выполнял эксперименты совместно с японскими специалистами и путем приложения небольших нагрузок измерял с большой точностью осадки образца грунта. К сожалению, результаты этого эксперимента не были опубликованы, хотя они имели бы большое значение.

Что касается модуля Янга грунта в рамках волновой теории, то каких-либо публикаций не было найдено ни в РФ ни за рубежом. Скорость и  $E_d$  по данным УЗД в различных грунтах представлена в таблице 2. (26).

Поскольку методом Low Strain Test каким-либо образом исследовать массив грунта пока сложно на данный момент, были выполнены работы на грунтоцементных сваях. «ИПТС-«Транспроект» и «Мостоотряд-47» провели комплексное испытание грунтоцементной сваи №80 в подпорной стенке существующего путепровода по ул. Баркляя (Москва). Сваи устроены по технологии струйной цементации «Jet Grouting». Диаметр свай  $\varnothing 600$  мм. Исследования выполнялись в два этапа.

I этап: определение прибором «Пульсар-1.2» скорости распространения УЗД на поверхности грунтоцемента: а) - зачищенного торца сваи; б) – на скеле зачищенной боковой поверхности.

Результаты испытаний скорости распространения УЗД:  
- торец сваи — 1500 – 2200 м/с;  
- на скеле зачищенной боковой поверхности — 1800 – 2500 м/с.

II этап: испытание свай по технологии PET (Pile Echo Test).

Далее исследования выполнялись прибором PET (Pile Echo Test).

В качестве источника сейсмоакустического воздействия использован специальный молоток, входящий в

**Таблица 2. Результаты ультразвуковых исследований**

Образцы грунтов (количество)	$V_p$ , м/с	$V_s$ м/с	$V_s/V_p$	Динамический модуль упругости	Коэффициент Пуассона $\mu$
Суглинки М1 (20)	400–2000	200–550	0,20–0,54	170–1380	0,29–0,48
Суглинки М2 (24)	700–2000	300–500	0,16–0,50	650–1620	0,33–0,49
Супеси М3 (30)	520–1700	160–500	0,22–0,52	160–1600	0,31–0,48
Супеси М4 (29)	720–1500	190–420	0,18–0,43	220–1050	0,39–0,48
Суглинки и супеси (gQldns) (25)	1050–2000	170–410	0,08–0,42	200–950	0,45–0,47
Суглинки и глины (J3ox) (14)	950–1850	240–340	0,11–0,39	300–600	0,47–0,48

Схема №1

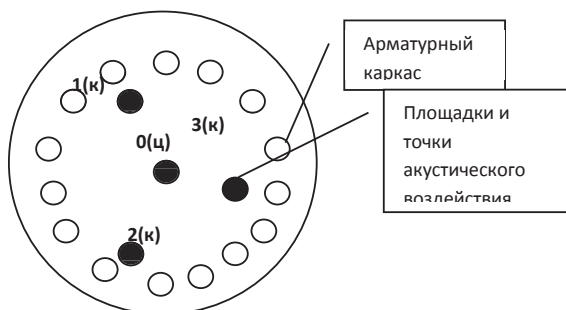


Схема размещения площадок и точек акустического воздействия на торце сваи.

На каждой точке выполнялось от 6 до 16 испытаний методом РЕТ.

Условные обозначения точек воздействия: 0(ц)

комплект оборудования РЕТ. Приемник ответных сигналов (акселерометр) располагался на предварительно подготовленном торце сваи вблизи от точки сейсмоакустического воздействия (Схема 1).

Обработка результатов основана на анализе инженерно-геологических условий, технологии устройства сваи, акустических рефлектограмм с возможностью уменьшения погрешности измерений, использования параметров скорости, амплитуды, фазы, частоты, экспоненциального усиления, практической независимости

Исходя из значений скорости по данным УЗД и формулы для одномерной волновой теории:

где  $E$  – модуль Янга;  
 $\rho$  – плотность.

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (3)$$

Depth (m)	Details	Pile	Reflectogram	Remarks
11.0m	11.08.2016 C:1850m/s Amp:650	80-1, край		1. Значение интегральной скорости распространения упругих воздействий ( $V=1850-2500\text{m/s}$ ) соответствует бетону класса В10. 2. Влияние инженерно-геологических условий на геометрические параметры сваи в интервале а.о.— [133.24–134.90].
11.0m	11.08.2016 C:2500m/s Amp:470	80-2, центр		
10.9m	11.08.2016 C:2200m/s Amp:250	80-3, середина		

Рис 8. Рефлектограммы №80 (свая Н=11,0м).

скорости распространения акустического воздействия от частоты возмущения и параметров  $t50\%$ ,  $3D$ ,  $Z$  (38).

По результатам выполненных измерений получены рефлектограммы; рис.8.

Отмечено:

- Измеренная длина сваи  $L_{\text{факт}}=10,9-11,0\text{м}$ ;
- Сплошность бетона сваи №80 – обеспечена.

При  $\rho = 2200 \text{ кг/см}^3$  и  $C \approx 2200 \text{ м/с}$ ; т.е. модуль Янга грунтоцемента  $E \approx 10\text{ГПа}$ , что вполне соизмеримо с бетоном.

Далее была определена прочность грунтоцементной сваи, при этом использовалось извлечение из стандарта (ГОСТ 17264-2012) методики оценки прочности по скорости  $C$ , получим  $\approx \text{В10}$ , что также соизмеримо с бетоном.



### Несущая способность свай

Существует два основных метода испытаний свай – статический и динамический. Динамическим испытаниям свай посвящено много работ. Известны формулы Крендэлла, Сандера, Челлиса, голландская, Engineering News, и др (31). Среди динамических формул

выделяется формула Н.М. Герсеванова, которая существенно выше аналогичных, широко применяется в РФ. Кстати сказать, по оценкам французских специалистов СНиП по свайным фундаментам – лучший в мире (В.А. Ильичев)\*.

TNO (Profound, Голландия) рекомендует Static Load Test (статика), Dynamic Load Test (динамика), Statnamic (вибрация, дизель).

Отметим, что наиболее продвинутыми методами являются Profound Dynamic Instrument и формула Герсеванова в применении к буронабивным сваям. Анализ показал, что наиболее эффективным способом является использование формулы Герсеванова с учетом несущественных поправок ИПТС-«Транспроект» для буронабивных свай. Основным преимуществом формулы Герсеванова является феноменологический подход, использующий два параметра – энергия, осадка. ИПТС-«Транспроект» использует этот метод. Впервые в 1999 г. была сделана сравнительная оценка SLT, DLT и Герсеванов (32).

В процессе строительства порта Салиф (Йемен) были выполнены дополнительные комплексные инженерно-геологические изыскания и контрольные испытания полых металлических свай с открытым концом с применением гидродомкрата Junttan (33) и расчетом несущей способности по ф-ле Герсеванова с некоторыми поправками.

Среди статики наиболее известен метод Osterberg (34). Он имеет недостаток, поскольку создать большую нагрузку на сваю при испытании практически сложно больше силы трения по ее боковой поверхности.

Анализ динамических и статических испытаний свай показывает, что все методы имеют недостатки:

1. Ограничения в количестве испытаний;
2. Невысокая достоверность;
3. Технические сложности;
4. Время испытаний.

Здесь уместно еще раз привести известную идею высказывания К. Терцаги: «...лучше знать неточно обо всем объекте, чем точно о малой его части...».

ИПТС-«Транспроект» проводит интенсивные исследования по оценке несущей способности свай на основе акустики, которые позволяют определять несущую спо-

собность, используя Low Strain Test, получая при этом полную статистику. Зная минимальные параметры инженерно-геологических условий, будет вполне достаточно в условиях высоких темпов строительства осуществить контрольные испытания.

Альтернативы предлагаемому методу на основе акустики практически нет, пока он в стадии освоения (35).

На данный момент идет поиск совместно с ИПФ (Институт прикладной физики) РАН г. Нижний Новгород, МГУ (Москва) в широком диапазоне акустических частот и различных технологий.

### Акустика в геотехнике

Акустическая эмиссия применяется для оценки прочностных, сдвиговых и фрикционных свойств грунтов (36).

При строительстве моста через р. Волгу в г. Ульяновске в 2000-х годах были выполнены комплексные исследования оползня (бурение, зондирование, деформометры, искиметрия) Милановского (самый большой в РФ), у подножия которого был построен главный пилон.

\* Б.И. Кулачкин участвовал в разработке раздела 5. Определение несущей способности свай по результатам полевых исследований СНиП 2.02.0385 (СП24.13330.2011) на основе прибора ПИКА для статического зондирования.

Исследования проводились совместно с УльяновскТИСИЗом (С.И. Трибунский) и институтом Геоэкологии РАН (Г.П. Постоев). В итоге было дано заключение об устойчивости оползня с рекомендациями об ограничении поступления воды в тело оползня от жилмассива наверху оползня.

В последние годы акустика (УЗД, Ultrasonic, Low Strain Test) все шире применяется для оценки сплошности, целостности, прочности и геометрии свай и других железобетонных конструкций, оценки влияния инженерно-геологических условий на качество глубоко заложенных фундаментов.

В научной и нормативной литературе широко применяется термин «сплошность, целостность» (Integrity, continuity). Однако ни в РФ ни за рубежом нет определения этого термина.

**Сплошность (Integrity, continuity) – критерии однородности бетона по плотности и прочности, характеризуется зонами и полостями, аномальными включениями, расслоением бетона.**

Таким образом, критерии сплошности, целостности, прочности и геометрии тесно связаны между собой. Однако ни в РФ ни за рубежом нет каких-либо общеизвестных критериев оценки качества и что самое важное, надежности. Вместе с тем, когда встают практические вопросы, зарубежные фирмы, в том числе ИПТС-«Транспроект», их решают.

ИПТС-«Транспроект» в течение более 10 лет дает (ни в РФ ни за рубежом этого нет) вместе с графиками  $V=f(C)$ , рис.9, необходимые статистические оценки ( $V_{ср}$ ,  $\sigma$ ,  $v$ ),  $R_{ср}$ , что дает возможность в полной мере характеризовать качество бетона, в том числе, свай. Что касается Low Strain Test, то рефлектограммы, рис.10, 11 (PET, SIT) сопровождаются оценками  $t50\%$ ,  $3D$ ,  $Z$ . Комплексная акустическая оценка характеризует объект исследования достаточно полной информацией, на данный момент исчерпывающей, однако это не всегда удается.

Один пример. При строительстве скоростной дороги Санкт-Петербург-Москва на объектах «МО-90» («Мостотрест») выполнялись работы по испытаниям

Вывод: допущена ошибка, противоречащая нормам РФ и приводящая к экономическому ущербу.

Ведущими фирмами в этой области, выполняющими аппаратные разработки и аналитику, являются Profound (SIT, Sonic Integrity Test) (TNO, Голландия), DI (Dynamic Instrument, США), PET (Pile Echo Test, Израиль). В РФ – Интерприбор (Челябинск), Луч (Балашиха) и др. С этими организациями ИПТС-«Транспроект» сотрудничает, все новые приборы этих фирм и методики измерений использует ИПТС-«Транспроект», а также know-how. Акустика в геотехнике применяется в двух видах – Ultrasonic (Chum, Pulsar, Бетон) – и Low Strain Test (PET, SIT, PSI и др). Основным параметром для исследования бетона в конструкциях является скорость  $C$  акустической волны (37).

Фундаментальной основой всех акустических исследований является зависимость скорости от модуля Янга и плотности (для одномерной волновой теории);  $C=f(E, \rho)$  (см.ф-ла (3)).

Показано, что по данным SIT (“Profound”), модуль Янга напрямую влияет на скорость  $C$ , табл.4 (38).

Табл.4.

Example relation pile length, wave velocity and concrete quality		
Description	Cast-in-place pile	Prefabricated pile
Concrete quality	B 35	B 60
Specific weight $\rho$	2400 kg/m <sup>3</sup>	2400 kg/m <sup>3</sup>
Youngs Modulus $E$	35 GPa	42 GPa
Pile length $L$	20 m	20 m
Wave velocity $c$	3820 m/s	4185 m/s
Time interval $\Delta t$	10.48 ms	9.56 ms

буронабивных свай по оценке качества бетона. Необходимо отметить хорошее качество буронабивных свай и в целом геотехнических работ. Управляющая компания VINCI (Франция) осуществляла жесткий контроль геотехнических работ, в том числе, буронабивных свай. В качестве метода оценки качества бетона был принят УЗД-метод (Ultrasonic). Мы настаивали на Ultrasonic+Low Strain Test, тем более, что кроме известных стандартов ASTM есть соответствующие стандарты Франции AFNOR NF.

В итоге VINCI потребовала браковать сваи, исходя из графиков  $V=f(c)$  при  $V < V_{ср} - 1\sigma$ , что является слишком жестким требованием. Следует отметить, что было отмечено выше, в большом количестве  $v < 10\%$ , и это усугубляет положение, неоправданно завышенные требования.

Что касается плотности ( $\rho$ ), то по нашим оценкам вышеприведенная формула практически не может быть использована для оценки скорости в бетоне в широком диапазоне. На данном этапе технологии бетона существенно ушли вперед, и это же касается состава бетона (физические и химические компоненты) – тем более, что изменение  $\rho$  при этом находится в очень узком, а прочность – в широком диапазоне.

Наиболее используемыми параметрами в геотехнике являются прочность и дефекты (сплошность, целостность, прочность и геометрия) бетона.

Эффективным и целесообразным считаем для практических целей использовать зависимость скорости  $C=f(B)$ , где  $B$  – класс бетона по прочности. В ГОСТ РФ 17624-2012 «Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности» имеет место линейная зависимость



между скоростью и прочностью.

Нами была распространена эта зависимость на echo-test (PET, SIT) с учетом того, что частота акустического сигнала не влияет на скорость бетона. (Это наше предположение, поскольку таких исследований нам не известно).

Необходимо отметить также зависимость Pile Test (39)

$$C = K f_c^{1/6} \quad (4)$$

для Ultrasonic

где C – скорость волны;

f<sub>c</sub> – прочность бетона на сжатие;

K – коэффициент с учетом фактора трубок при использовании прибора Chum (Ultrasonic), полученного фирмой Pile Test.

Проведены аналитические и экспериментальные исследования, которые позволяют нам комплексировать Ultrasonic и Low Strain Test (40, 41, 42, 43), получая при этом более полную информацию о сплошности, целостности, прочности и геометрии фундамента в рамках одномерной волновой теории.

Сравнение результатов Ultrasonic и Low Strain Test рис.9, 10 дают относительно основного параметра C

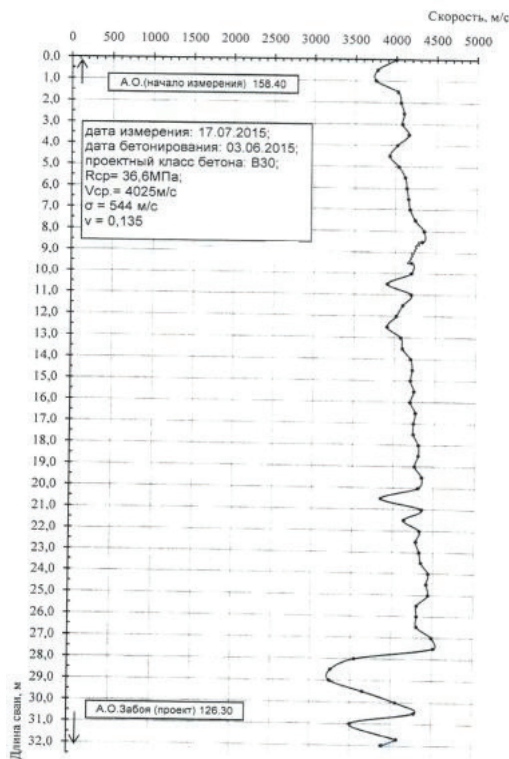


Рис. 2 (Сечение 2-4) График "скорость распространения ультразвука" в бетоне свая №1 фундамента опоры №15. Объект: "Южный участок Северо-западной хорды" 7 этап: от улицы Мосфильмовская до Аминьевского шоссе. Эстакада №1"

Рис 9. Ultrasonic (УЗД), прибор «Бетон»

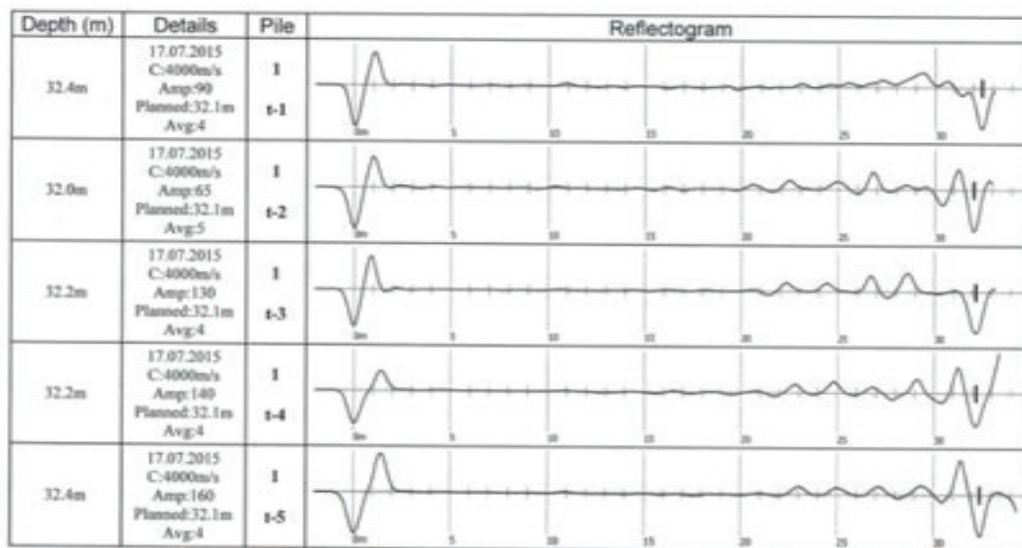
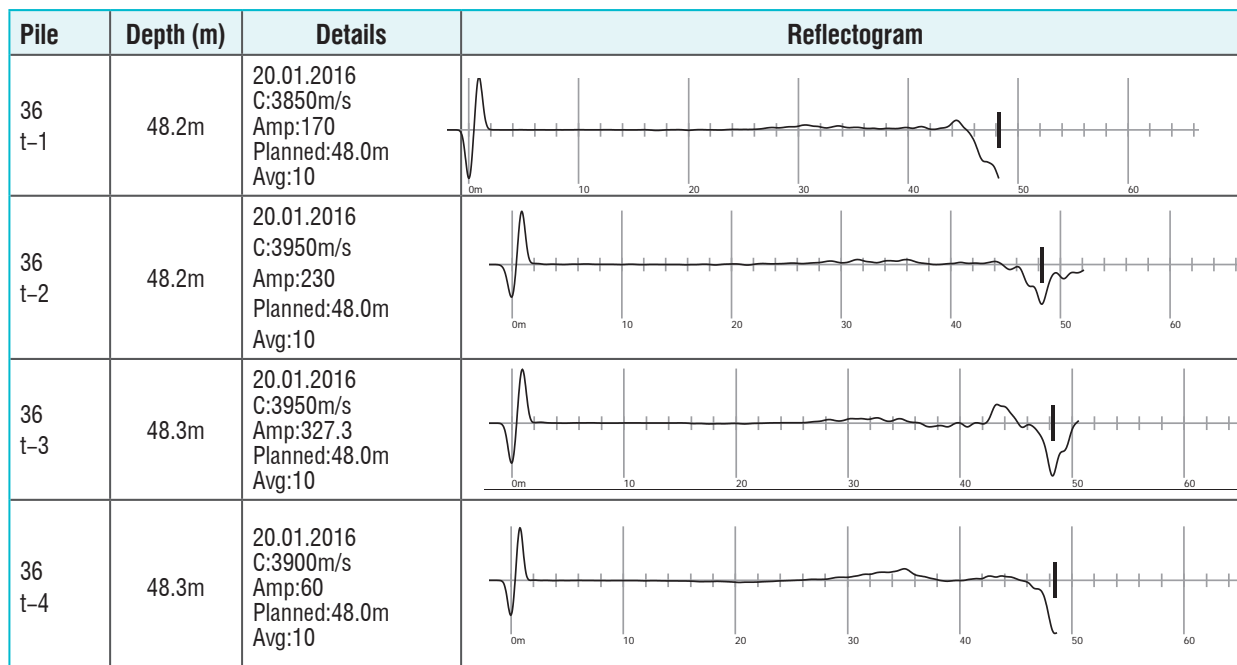


Рисунок 1. Рефлектограммы полученные в результате исследования сплошности, целостности, прочности и геометрии буронабивной свая №1 фундамента опоры №15. Объект: «Южный участок Северо-западной хорды» 7 Этап: от улицы Мосфильмовская до Аминьевского шоссе. Эстакада №1.

Рис 10. Low Strain Test (Сейсмоакустика), PET



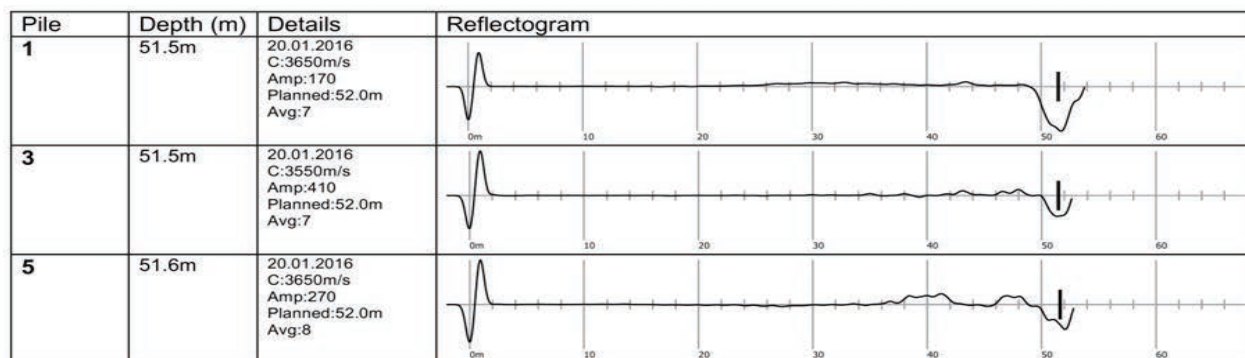
**Рис 11.** Low Strain Test (Сеймоакустика), PET. Рефлектограммы, полученные в результате исследования сплошности, целостности, прочности и геометрии буронабивной сваи №36 фундамента опоры №6, г.Уфа, Башкортостан.

идентичные результаты оценки длины сваи, сплошности, целостности и прочности вполне приемлемы, причем дополняя друг друга, на одной и той же свае.

Проводятся исследования по оценке несущей способности буронабивных свай по данным Low Strain Test. По методике ИПТС-«Транспроект» был выполнен эксперимент. Получены два вида рефлектограмм с измерением скорости и длины сваи. а также длины сваи

вместе с грунтом ниже пяты сваи - 48.2 м и 51.5 м, рис.10 и 11. Свая (пяты сваи) погружена в гипс светло-серый, от мелко- до крупнокристаллического, скальный, пониженной прочности.

Рефлектограммы, полученные в результате исследования сплошности, целостности, прочности и геометрии буронабивной сваи №36 и грунта ниже пяты сваи фундамента опоры №6, г.Уфа, Башкортостан.



**Рис 12.** Low Strain Test (Сеймоакустика), PET.



Сравнивая две серии рефлектограмм, рис.11 и 12, можно сказать, что используя методику ИПТС-«Транспроект», возможно определить скорость акустической волны в грунте. Путем несложных расчетов она получается равной  $\approx 1750$  м/с и таким образом, используя методику ИПТС-«Транспроект», можно принять

частное значение предельного сопротивления грунта под нижним концом сваи равным  $41,5$  кг/см<sup>2</sup>, Модуль Янга (упругости)  $\approx 6$  ГПа.

Таким образом, для свай-стоек вполне можно использовать эту методику в экспертных оценках, нестандартных ситуациях и др.

---

ООО «ИПТС-«Транспроект»  
367010, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Танкаева(Седова), 54  
Тел./факс: +7 (8722) 68-15-15  
www.ipts-transproekt.ru  
transproekt-08@mail.ru

ООО «ИПТС-«Транспроект»  
129085, г. Москва, пр. Мира, д.101, офис 709,  
Тел.: +7 (495) 380 25 90  
transproekt-geotech@mail.ru

## Уширение и усиление опор при реконструкции мостовых сооружений

Казарян В.Ю., Генеральный директор, Доктор транспорта ООО «НПП СК МОСТ»

Уширение опор мостовых сооружений является конструктивно-технологическим процессом, как правило, при необходимости увеличения габарита сооружения. Уширение опоры мостового сооружения может быть целесообразно при реконструкции сооружения с поперечной передвижкой пролетного строения. Усиление опор выполняют при необходимости увеличения их несущей способности в основном при наличии повреждений, дефектов в конструкции.

Как правило, при уширении мостовых сооружений выполняют расширение фундамента с забивкой дополнительного количества свай и увеличивают ширину тела опор, ригеля.

В статье приведены примеры уширения и усиления опор, выполненных в практике проектирования и строительства ООО «НПП СК МОСТ», без расширения фундамента и тела опоры.

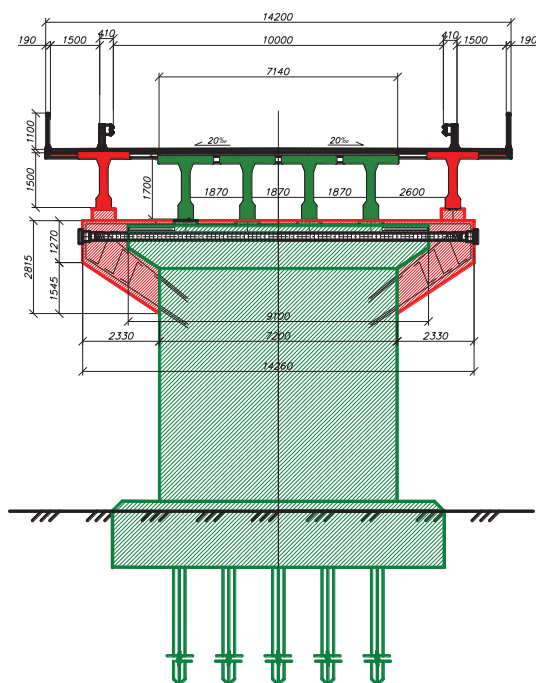


Рис 1. Уширение ригеля моста за счет удлинения консолей ригеля

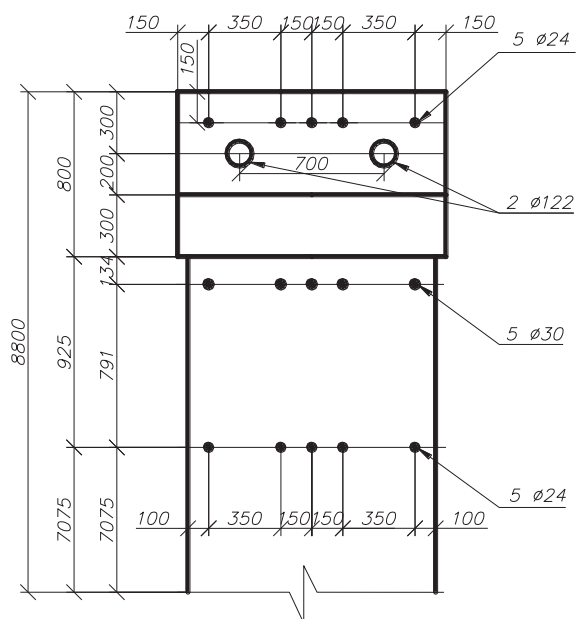


Рис 2.

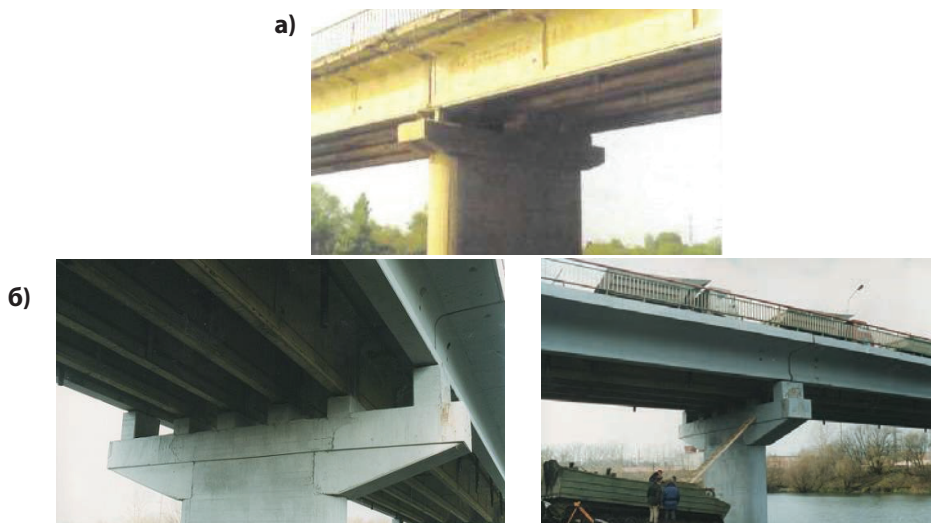
В 1999 г. в целях увеличения габарита моста через р. Оку в г. Орле ООО «НПП СК МОСТ» выполнило работу по уширению опоры за счет только удлинения консолей ригеля (рис. 1) — патент № 2205914 от 10.06.2003 г.

Удлинение консолей ригеля опоры на мосту через р. Оку было выполнено путем бурения в существующем ригеле сквозных отверстий диаметром 122 мм и размещением в них пучков предварительно напряженной арматуры, объединившей добетонируемые части консолей с существующим ригелем (рис.2).

Выполненное уширение позволило при установке дополнительных балок и удлинении их тротуарных консолей увеличить ширину моста с 7,5 до 14,5 м.

Работа на мосту была выполнена с использованием средств малой механизации, что позволило выполнить ее «не спускаясь на землю», сэкономить при этом финансовые и людские ресурсы (рис. 3).

Выполненная в г. Орле работа позволила распространить метод уширения ригеля на реконструкцию пу-



**Рис 3. Уширение моста через р. Оку в г. Орле а) до уширения, б) после уширения**

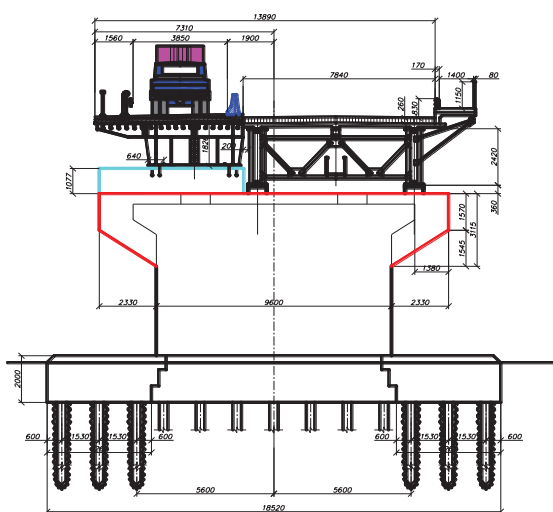
тепловда (проект) через железнодорожные пути близ станции Узловая (патент № 2556766 от 18.06.2015 г.)

Задача состояла в том, чтобы смонтировать методом продольной надвигки металлическое пролетное строение, установив его в два этапа (по ширине).

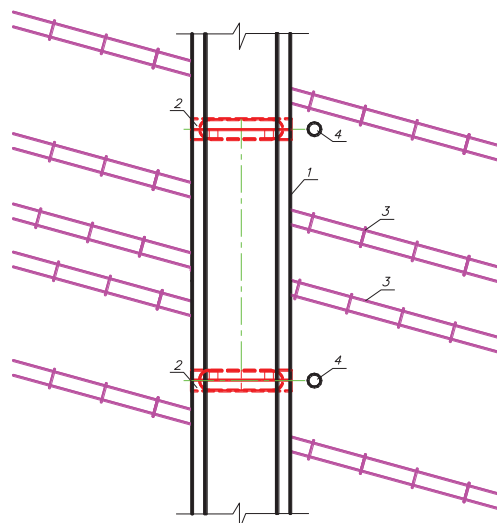
Для этого необходимо было передвинуть существующее сталежелезобетонное пролетное строение в поперечном направлении таким образом, чтобы

одна главная балка находилась примерно посередине опоры, а вторая — на удлинённом указанным выше способом ригеле (рис. 4).

Уширить опору с забивкой свай, развитием фундамента и уширением тела опоры было абсолютно исключено из-за ограниченного расстояния между железнодорожными путями и размещением вблизи опор коммуникационных колодцев (рис. 5).



**Рис 4. Установка нового пролетного строения, переключение движения на новое пролетное строение**



**Рис 5. 1 – пролетное строение; 2 – опора; 3 – железнодорожные пути; 4 – коммуникационный колодец**

После надвигки на освободившуюся часть опоры половины (по ширине) металлического пролетного строения на него переводят движение транспортных средств в реверсивном режиме и осуществляют передвижение в продольном направлении сталежелезобетонного пролетного строения, на место которого устанавливают вторую половину стального пролетного строения. Описанный метод реконструкции позволяет существенно снизить сметную стоимость объекта, сократить сроки реконструкции, что очень важно в стесненных условиях.

В качестве примера использования метода ушире-

ния ригеля можно привести также проект реконструкции моста через р. Плава в центре г. Плавска (Тульская область), на дороге «Крым» М-2 (патент №2557020 от 22.06.2015 г.).

Сложность выполнения работ заключалась в том, что необходимо было провести демонтаж выполненного в монолитном исполнении пролетного строения постройки 1948 г., и возвести на его месте новое со сборными балками, другим расположением опор в плане. Рядом с автомобильным мостом находится пешеходный мост, куда необходимо было перебросить пешеходное движение (рис. 6-7).

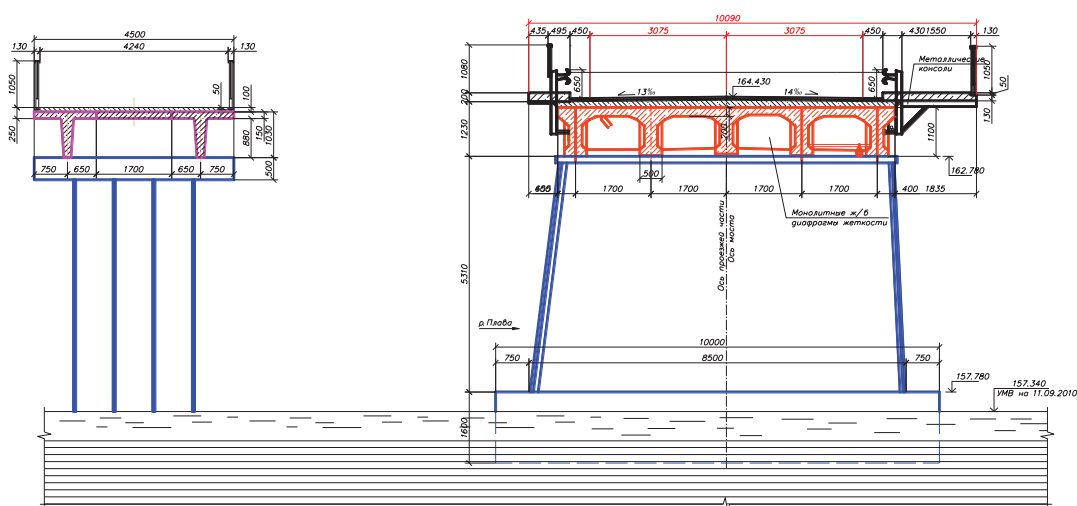


Рис 6.



Рис 7. Мост через реку Плава  
в г. Плавск Тульской области

Проектом предусматривалось возведение между указанными выше сооружениями моста САРМ и перевод на него одного направления движения. Второе направление движения необходимо было оставить на существующем старом мосту.

Задача заключалась в том, чтобы организовать движение в обоих направлениях федеральной дороги. В это же время с другой стороны сооружается половина нового моста, чтобы впоследствии перекинуть одно направление движения на него, разобрать старый мост построить вторую половину моста, а затем разобрать САРМ.

Взамен этому предложен другой способ реконструкции. Вместо использования САРМ, устройства подъездных дорог к нему, закрытия движения по примыкающим городским улицам (мост в центре г. Плавска) и ряда других мероприятий, было предложено: на существующей опоре моста соорудить одностороннюю консоль, после чего алмазным инструментом была отрезана и демонтирована крайняя балка.

Под движением пролетное строение было передвинуто в поперечном направлении (рис. 8)

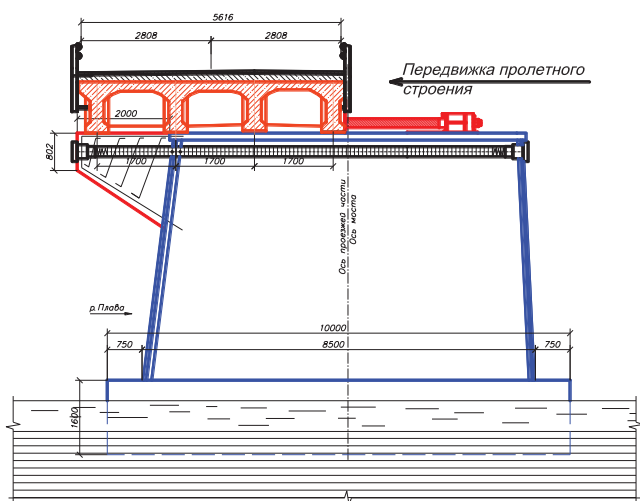


Рис 8.

Два направления движения вполне размещались на 4-х балках старого пролетного строения, а пешеходное движение перекинуто на пешеходный мост. Параллельно строился новый мост до оси симметрии

в поперечном направлении (рис. 9), после чего автомобильное движение было перекинуто на половину нового моста. Старый мост был разобран алмазной разрезкой и демонтирован, выполнено строительство от оси симметрии второй половины нового моста.

Предложенная технология позволила произвести весь комплекс работ за один сезон в противовес предлагавшимся 2 годам. Отказ от монтажа и последующего демонтажа САРМ дал ощутимую экономию не только времени выполнения работ, но и финансовых затрат.

Следующий конструктивный элемент опоры – ее тело. Самым распространенным типом тела опоры является массивное монолитное, эллиптической формы. При этом, если рассматривать армирование, то это однорядная стержневая арматура по контуру или только в пределах закруглений. В ядре опоры арматура отсутствует.

При ремонте тела опор предложено (патент № 2609510 от 02.02.2017 г.) и реализовано на объекте в г. В.Новгороде усиление тела опоры со сквозной трещиной установкой стержневой вертикальной арматуры

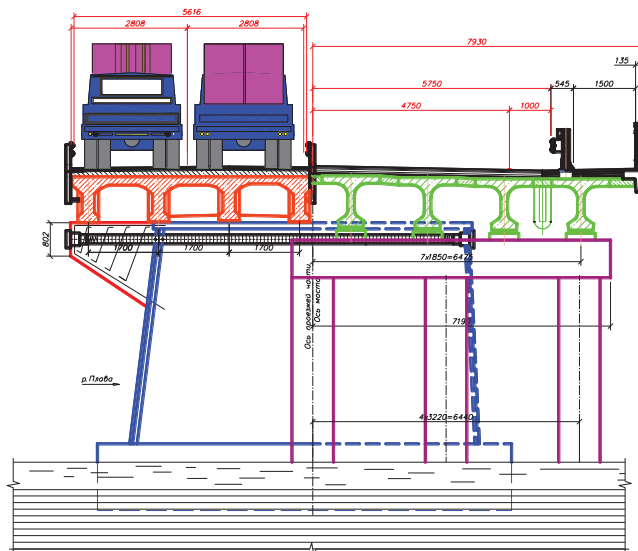


Рис 9.

по контуру тела с последующим предварительным напряжением спирально расположенной высокопрочной прядевой арматуры и омоноличиванием фиброторкретбетоном (рис. 10).



**Рис 10.** Макет усиления опоры высокопрочной  
прядевой арматурой

В практике предприятия при реконструкции моста через р. Западная Двина в г. Велиже Смоленской области применена технология усиления основания опор методом устройства буроинъекционных свай, что, с нашей точки зрения, является весьма прогрессивным решением.

Приведенные методы уширения и усиления опор позволяют с уверенностью сказать, что указанный комплекс работ дает возможность увеличить несущую способность опор мостового сооружения, повысить его пропускную способность за счет увеличения габарита и получить существенную экономию за счет ускорения реконструкции, сокращения трудовых и финансовых затрат.

---

ООО «НПП СК МОСТ»  
143900, Московская область, г. Балашиха, мкр. Никольско-Архангельский,  
8 линия, владение 10 Административно-производственный комплекс  
Тел./факс: +7(495) 663 68 80  
[www.nppskmost.ru](http://www.nppskmost.ru)  
[nppskmost@yandex.ru](mailto:nppskmost@yandex.ru)



## Информационные партнеры



**КОМПОЗИТ  
XXI ВЕК**



INTERNATIONAL  
ASSOCIATION OF  
FOUNDATION  
CONTRACTORS

Международная Ассоциация  
Фундаментостроителей

тел./факс +7 (495) 66-55-014

e-mail: [info@fc-union.com](mailto:info@fc-union.com), [www.fc-union.com](http://www.fc-union.com)