

N2, 2000

## **Эффективность применения взрывов для уплотнения водонасыщенных малосвязных грунтов.**

**А.П.Крутов**

Начиная с 1950 года кафедрой "Подземные сооружения, основания и фундаменты" ЛПИ им. М.И. Калинина под руководством сначала члена-корреспондента АН СССР, профессора В.А. Флорина (до 1960 года), затем профессора П.Л. Иванова были выполнены обширные, в большей своей части приоритетные, теоретические и экспериментальные исследования явлений разжижения и уплотнения водонасыщенных грунтов при динамических воздействиях [1,2]. В результате их обобщения предложены и всесторонне обоснованы методики оценки плотности, динамической устойчивости структуры несвязных грунтов и способов уплотнения несвязных и малосвязных водонасыщенных грунтов взрывами зарядов взрывчатого вещества (ВВ). При этом получены и экспериментально апробированы расчетные зависимости для определения массы сосредоточенного заряда ВВ, глубины его заложения, глубины уплотнения и радиуса действия взрыва и др. [3-5].

Опытные и производственные примеры уплотнения в полевых условиях показали, что метод уплотнения грунтов взрывами зарядов ВВ является весьма эффективным средством увеличения плотности и прочности первоначально малоплотных и слабых оснований сооружений, уменьшения их деформируемости при действии статических и, в особенности, динамических нагрузок. Основной особенностью метода взрывов является использование весьма мощного, доступного и сравнительно дешевого источника динамических воздействий.

В зависимости от расположения заряда ВВ относительно уплотняемого объема грунта различают глубинные, поверхностные и подводные способы уплотнения взрывами зарядов ВВ. При уплотнении грунтов глубинными взрывами заряды ВВ погружают в грунт на глубину, исключаящую выброс или выпор грунта при взрыве (камуфлетный взрыв). Для поверхностных взрывов используют накладные заряды ВВ, укладываемые на поверхности грунта. При уплотнении грунтов подводными взрывами, заряды ВВ опускают в воду и взрывают над поверхностью грунта.

Впервые в больших объемах уплотнение грунтов было выполнено на строительстве Волжских и Горьковской ГЭС сотрудниками лаборатории механики грунтов ЛПИ им. М.И. Калинина в 1951 - 1953 годах - на этих объектах глубинными и поверхностными взрывами качественно уплотнено более 150 тыс. м<sup>3</sup> песчаных грунтов, намывных под воду [3].

В дальнейшем (1956 - 1963 г.г.) совместно с Гидропроектом и Всесоюзным трестом Гидромеханизация были проведены работы по уплотнению мелкозернистых песков на строительстве Шульбинской, Братской и Чардаринской ГЭС.

В 1964 - 1965 г.г. впервые в мировой практике было выполнено производственное уплотнение подводными взрывами зарядов ВВ грунтов основания и каменной постели мола в Новороссийском порту. В результате был получен значительный эффект уплотнения каменной наброски и основания. Осадка каменной постели после трех очередей взрывов достигла 70 см.

Значительным этапом в развитии метода уплотнения грунтов взрывами, в первую очередь глубинными, явилось уплотнение участков подводного намыва территорий на островах Васильевском, Декабристов и Вольном для ведения жилищного строительства и формирования фасада Ленинграда со стороны Финского залива. Общая площадь намывных за

1960 - 1973 г.г. территорий составила около 300 га, часть этой территории (~20 га) была создана путем замыва протоки Невы глубиной до 7 м. Для намыва использованы местные делювиальные грунты прибрежной части Невского взморья, представленные послеледниковыми мелкозернистыми песками и супесями с преимущественным содержанием тонкозернистых песчаных (0.05 - 0.1 мм) и крупных пылеватых (1 - 0,05 мм) фракций, содержание которых в грунте колебалось от 1 до 6%, мелкой песчаной (0,1 - 0.25 мм) - от 1 до 9%. Более крупные фракции практически отсутствовали. В намывной толще местами образовывались прослой легких суглинков. Коэффициент фильтрации намывного грунта составлял  $10^{-4} - 10^{-3}$  см/с.

В 1971 - 1973 годах на намывной территории Васильевского острова, в частности, в районе протоки Невы были проведены исследования плотности и динамической устойчивости намывных грунтов методом взрывного зондирования. Было установлено, что намывные под воду грунты, особенно в нижней зоне, имеют рыхлое сложение и способны переходить в разжиженное состояние. Инженерно-строительное использование таких грунтов (в качестве оснований сооружений, для прокладки коммуникаций) без их предварительного уплотнения было признано невозможным.

На основе рекомендаций кафедры института ЛенНИИпроект разработал проект производственного уплотнения намывных грунтов территории в районе протоки Невы площадью 16,7 га. Работы по уплотнению были выполнены трестом №101 ГлавЛенинградстроя и Ленвзрывпромом.

Подлежащая уплотнению территория была разбита на 14 участков. На каждом участке выполнено четыре серии взрывов. В зависимости от толщи намывных под воду грунтов заряды массой 5; 6,5 и 9 кг погружались на глубину 4,5; 5; 6,5 м по сетке 10x10 м. Экономический эффект применения взрывного уплотнения составил 3 млн. 100 тыс. рублей (в ценах 1973 г.)

Основной контроль уплотнения выполнен по замерам осадок поверхности по сетке 10x10 м. (рис.1). За окончательные (стабилизированные) приняты осадки через месяц после взрывов. В зависимости от мощности намывного под воду грунта средние осадки по участкам достигали 50, 40 и 30 см; средняя относительная осадка по всей площади составила 5%, а с учетом только намывной под воду толщи грунта - 7-8%. Проведенное трестом ГРИИ зондирование до и после взрывов показало значительное увеличение плотности и прочности, снижение деформируемости намывных грунтов, что практически исключает возможность разжижения данных грунтов при их последующем строительном использовании. В результате уплотнения приблизительно 500 тыс. м<sup>3</sup> намывных грунтов при минимальных затратах Ленинград получил качественную территорию под новое капитальное строительство, полностью освоенную к концу 1970-х годов.

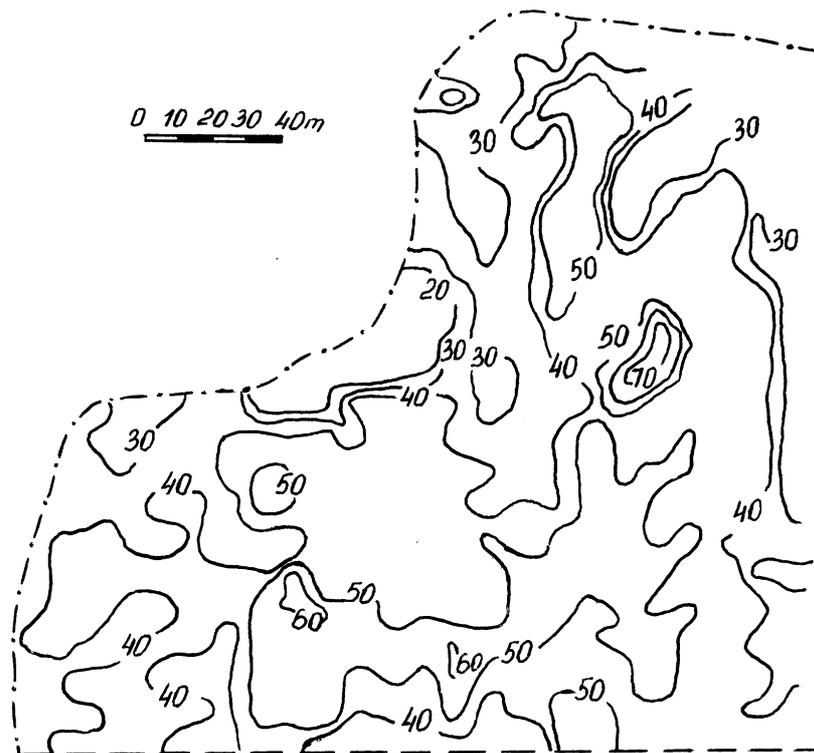


Рис. 1 Линии равных осадок поверхности территории после взрывного уплотнения.

Следующее крупномасштабное применение метода взрывов для уплотнения водонасыщенных песчаных грунтов было осуществлено на сооружениях комплекса защиты Петербурга от наводнений (1987 - 1988 г.г.) совместно с Ленгидропроектом и ЛенГЭСС.

Сооружения комплекса располагаются на трассе, соединяющей северный и Южный берега Финского залива и пересекающей остров Котлин, Северный и Южный створы Невской губы. Общая длина трассы 25.4 км, в том числе по акватории 22.2 км. В пределах Южного створа размещаются земляные дамбы Д-1, -2, -3, водопропускные сооружения В-1 и -2 и судопропускное сооружение С-1 для прохода морских судов. Указанные сооружения возводятся в наиболее сложных грунтовых условиях, особенно дамбы Д-2, -3, основания которых представлены мощной (до 28 м) толщей слабых сильносжимаемых глинистых отложений.

Согласно проекту фундаментные плиты и рисбермы сооружений В-1, -2, возводились на искусственно подготовленных основаниях, выполненных путем выемки слабых глинистых грунтов и заменой их песчаным. Укладка песчаного грунта осуществлялась в основном путем свободного намыва в воду, что привело к формированию рыхлых и неоднородных по грансоставу и плотности песчаных подушек, требующих уплотнения.

Из-за сложившихся на строительстве объективных обстоятельств устройство песчаной подушки для В-1 было закончено лишь к ноябрю 1986 г. И, соответственно, работы по взрывному уплотнению [6] впервые пришлось на зимние месяцы. Уплотнение грунтов объемом 300 тыс. м<sup>3</sup> было выполнено всего за три месяца (февраль - апрель) 1987 г. По данным статического зондирования (рис. 2) в результате уплотнения песчаный грунт подушки достиг среднего и плотного сложения, что и обеспечило создание надежного основания бетонного сооружения В-1.

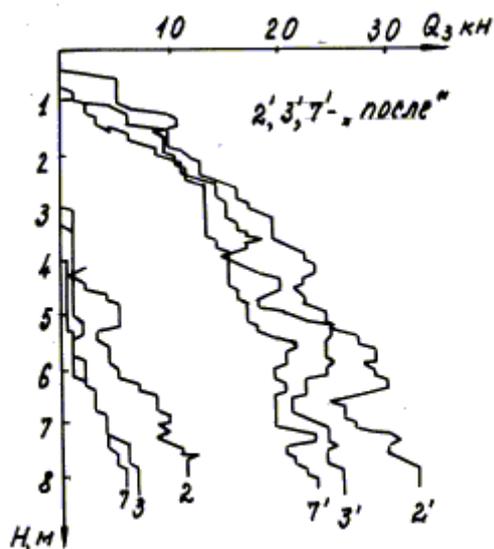
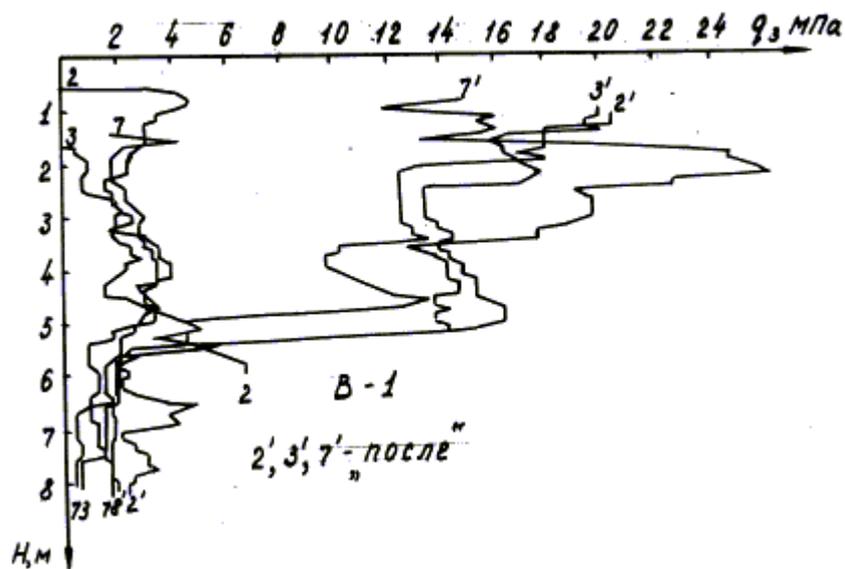


Рис. 2 Результаты статического зондирования основания сооружения В-1 до (кривые 2,3,7) и после (кривые 2', 3', 7') уплотнения грунтов взрывами.

$q_3$  - удельное лобовое сопротивление;

$Q_3$  - суммарное боковое сопротивление.

Аналогичным образом в зимний период (январь - февраль 1988 г.) была уплотнена песчаная подушка под рисберму и фундаментную плиту водопропускного сооружения В-2. Объем грунта взрывами составил 100 тыс. м<sup>3</sup>. Таким образом, опыт уплотнения грунтов оснований водопропускных В-1 и -2 подтвердил достоверность рекомендованных кафедрой параметров и схем метода глубинных взрывов и в зимний период.

Наряду с уплотнением оснований глубинные взрывы широко применялись и для уплотнения песчаных грунтов земляных дамб защитного комплекса.

В 1988 год было произведено производственное уплотнение грунтов части тела дамбы Д-3. Дамба до отметки +2,0 м (отметка уровня воды 0,0) возведена отсыпкой в воду мелко- и среднезернистых песков. При глубинах воды 5-7,5 м общая толщина уплотняемых грунтов составила 7-9,5 м. Как показало взрывное и статическое зондирование, уложенные в воду пески имели рыхлое сложение с большой вероятностью разрушения их структуры и разжижения при возможных динамических воздействиях. Производственное уплотнение осуществлялось захватками 40x70 м, всего по длине дамбы было выделено 42 захватки, при уплотнении грунтов в пределах захватки использовалось 90 зарядов ВВ. В зависимости от толщи грунтов применялись сосредоточенные заряды ВВ массой 5 - 7 кг, погружаемые на глубину 4,5 - 6 м. Контроль по осадкам показал, что уплотненная взрывами подводная часть дамбы Д-3 приобрела требуемую плотность.

В целом применение метода взрывного уплотнения грунтов на строительстве комплекса защиты Санкт -Петербурга от наводнений позволило уплотнить около 500 тыс. м<sup>3</sup> в подводной зоне их укладки.

В приведенных примерах взрывного уплотнения мощность слоев песчаного грунта не превышала 9 м, включая 2 м толщи грунта выше уровня воды. Однако с увеличением мощности уплотняемого слоя масса необходимых сосредоточенных зарядов при их одноярусном расположении резко возрастает, что крайне затрудняет операции с ними. Поэтому при уплотнении глубинными взрывами толщи грунта большей мощности может оказаться рациональным расположение более мелких зарядов по глубине слоя в несколько ярусов (рис. 3) [7]. В то же время при переходе на ярусное расположение между зарядами меньшего веса уменьшается расстояние между зарядами и, как следствие, увеличивается число погружений. (рис. 3а).

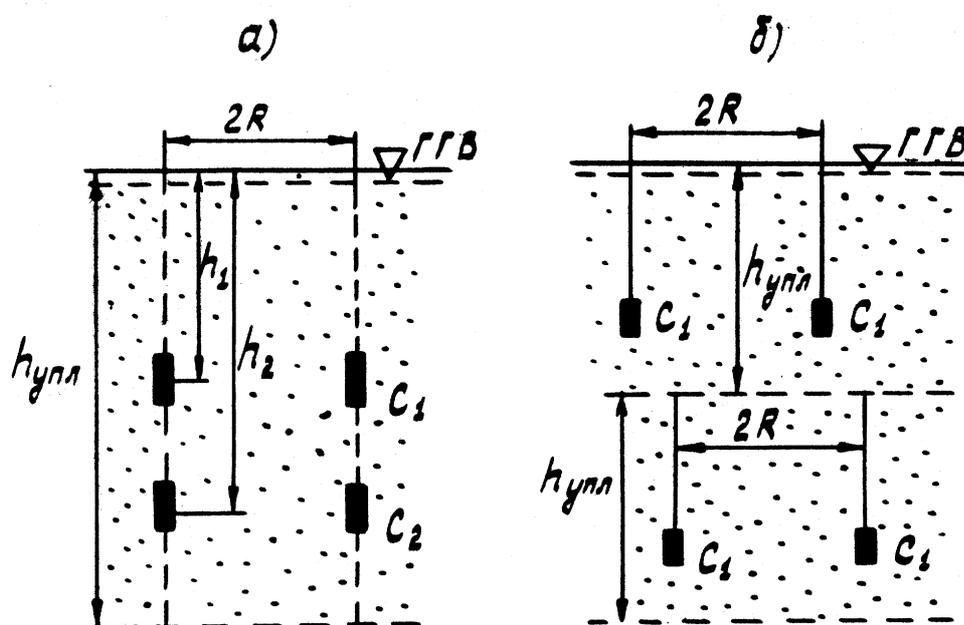


Рис. 3 Возможные схемы двухъярусного размещения зарядов ВВ в основании

Одной из основных причин уменьшения зоны разрушения структуры грунта при взрывах являются сжимающие напряжения от собственного веса вышележащих слоев грунта. Поэтому основной принцип увеличения размеров зоны разрушения структуры и уплотнения связан с

увеличением массы зарядов, ограничиваемой при глубинных взрывах условиями камуфлетности. В случае многоярусного уплотнения возможен другой путь увеличения глубины и радиуса уплотнения - способ послойного разрушения структуры грунта.

При этом способе вначале взрывают заряды верхнего яруса (рис. 3б). В результате верхняя часть слоя грунта переходит в разжиженное состояние, что приводит к временной передаче веса грунта или его части на поровую воду и уменьшению сжимаемых напряжений в скелете нижележащего слоя. Если выполнить взрыв нижних зарядов сразу же после взрыва верхних, то облегчается разрушение структуры нижерасположенного слоя песка и тем самым увеличиваются глубина и радиус уплотнения грунта при взрыве зарядов второго яруса.

Как уже отмечалось, переход на ярусное расположение увеличивает число погружений, что может вызвать удорожание работ по уплотнению. Поэтому переход на ярусное расположение зарядов должен обосновываться технико-экономическим сопоставлением вариантов и возможностями имеющихся агрегатов для погружения зарядов.

В заключение следует отметить преимущества, которыми обладает метод уплотнения взрывами:

- равномерность уплотнения, обусловленная избирательным действием взрыва, разрушающим в первую очередь структуру наиболее рыхлых слоев грунта;
- малая стоимость уплотнения по сравнению с другими методами: ориентировочно стоимость уплотнения взрывами 1 м<sup>3</sup> грунта в зависимости от местных условий может меняться от 0,1 до 0,3 руб. (в ценах 1984 г.)
- малая трудоемкость и большая производительность, вызванная значительным объемом грунта, уплотняемого одним зарядом;
- возможность проведения работ на любых строительных площадках вне существующей застройки без привлечения специального оборудования, без подачи электрической энергии, т.е. простота производства работ.

Приведенные опытные и производственные примеры уплотнения показали, что метод взрывного уплотнения грунтов является весьма эффективным средством увеличения плотности и прочности первоначально малоплотных и слабых оснований сооружений, уменьшения их деформируемости при действии статических и, в особенности, динамических нагрузок. Применение этого метода перспективно для целого ряда объектов Северо - Западного региона, возводимых на природных или намывных малоплотных грунтах (продолжающееся строительство защитного комплекса, порт в Усть - Луге, отдельные участки кольцевой автодороги, трассы прокладки газо- и нефтепроводов и др.).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Флорин В.А. Явления разжижения и способы уплотнения рыхлых водонасыщенных оснований. Изв. АН СССР, ОТН, 1952, №6.
1. Иванов П.Л. Разжижение песчаных грунтов. Госэнергоиздат. 1962.
1. Иванов П.Л. Уплотнение несвязных грунтов взрывами. М. Стройиздат. 1967.
1. Рекомендации по уплотнению малосвязных водонасыщенных грунтов взрывами. Л, ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1979

1. Иванов П.Л. Уплотнение малосвязных грунтов взрывами. М. Недра. 1983.
1. Минаев О.П. Крутов А.П. Разработка метода уплотнения песчаных водонасыщенных грунтов взрывами в зимних условиях. Гидротехническое строительство. 1993, №7.
1. Бугров. А.К., Крутов А.П. Уплотнение взрывами зарядов ВВ слоев водонасыщенных грунтов большой мощности. Труды V Международной конференции по проблемам свайного фундаментостроения. Т. I I I Изд-во ПГТУ, 1996