

# ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРЯДНО-ИМПУЛЬСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ, ОСНОВАННОЙ НА ЭЛЕКТРОГИДРОЭФФЕКТЕ

На развитие инновационной отечественной технологической базы направлены исследования, проводимые в последние годы научно-исследовательской лабораторией «Разрядно-импульсные технологии» (НИЛ РИТ) филиала Военной академии тыла и транспорта им. генерала армии А.В. Хрулева.

Результатами научного поиска стали теория и практика дробления минеральных массивов, восстановления пропускной способности трубопроводов, улучшения (восстановления) физико-механических характеристик строительных материалов (в частности, лежалого цемента), активации растворов и мелкозернистых бетонов, обеспечивающей возможность передачи расчетной нагрузки на конструкцию 1,5...2-суточного возраста, очистки арматуры и защитного слоя бетона от продуктов коррозии. На основе активированных по разрядно-импульсной технологии (РИТ) мелкозернистых бетонов изготавливаются сваи и анкера РИТ. Испытания и опытное применение технологий и методик подтвердили возможность успешного использования полученных разработок, в том числе, при укреплении земляного полотна автомобильных и железных дорог.

Важнейшим этапом в работе коллектива НИЛ РИТ стало выполнение НИОКР по созданию мобильных разрядно-импульсных комплексов (МРИК).

Теоретически обоснованный, сконструированный и внедренный в производство мобильный разряд-

но-импульсный комплекс является уникальным конструктивно-технологическим агрегатом. **Аналогов в нашей стране и за рубежом ему нет.** Анализ опыта эксплуатации комплекса на железных дорогах РФ, произведенного экономического и экологического эффекта, позволил сформулировать перспективы внедрения инновационной технологии, основанной на электрогидроэффекте, в транспортное строительство (фото 1, 2).

В НИЛ РИТ ведутся исследования, направленные на внедрение новой в традиционную технологию приготовления бетонов (растворов). Специалистами лаборатории разработана модель активации компонентов бетонной смеси. На первом этапе производится предварительная полиимпульсная обработка высоковольтным электрическим разрядом (ВЭР) водно-цементной суспензии (Ц + В) в специальном активаторе. На втором этапе вводятся модифицирующая химическая добавка (ХД) и инертные составляющие. А на третьем этапе цементно-песчаный раствор (мелкозернистый бетон) подвергается воздействию ВЭР в скважине при формировании сваи РИТ.

Теоретически и экспериментально доказана высокая эффективность методики активации бетонов – по формуле:  $(Ц + В) \cdot ВЭР + ХД$ , обеспечивающая 70% прочности в 1,5...2-суточном возрасте. Применение комплексной активации, с наложением высокого напряжения и введением химической добавки, приводит к увеличению прочности по сравнению с неактивированным бетоном в 3...5 раз (в ранние сроки) и на 80...150% в более поздние сроки.

Железобетонные конструкции, изготовленные из активированного бетона, могут кантоваться через 8 часов после изготовления, транспортироваться и монтироваться через 1 сутки, нагружаться расчетной нагрузкой через 1,5...2 суток (фото 3). Разработанная методика приготовления бетонной смеси допускает использование цемента на одну марку ниже проектной, а экономия цемента может достигать 20%. Удельный расход энергии в пересчете на 1 куб. м бетона при активации альтернативными методами в 2,5...2,7 раза превышает аналогичный показатель ЭГЭ. Стоимость активированного таким образом бетона в 3...5,5 раз меньше, чем при других способах активации.

При производстве работ в зимнее время активированный бетон можно замораживать в суточном возрасте без потери прочности. Электрогидроэффект позволяет снизить объем химиче-



Фото 1. Общий вид мобильного разрядно-импульсного комплекса (МРИК)



Фото 2. Укрепление грунтового массива и его основания железобетонными буронабивными сваями РИТ, изготавливаемыми МРИК



Фото 3. Изготовление буронабивных железобетонных свай РИТ в структурно-неустойчивых грунтах без перерывов в движении поездов



Фото 4. Экспериментальная свая РИТ

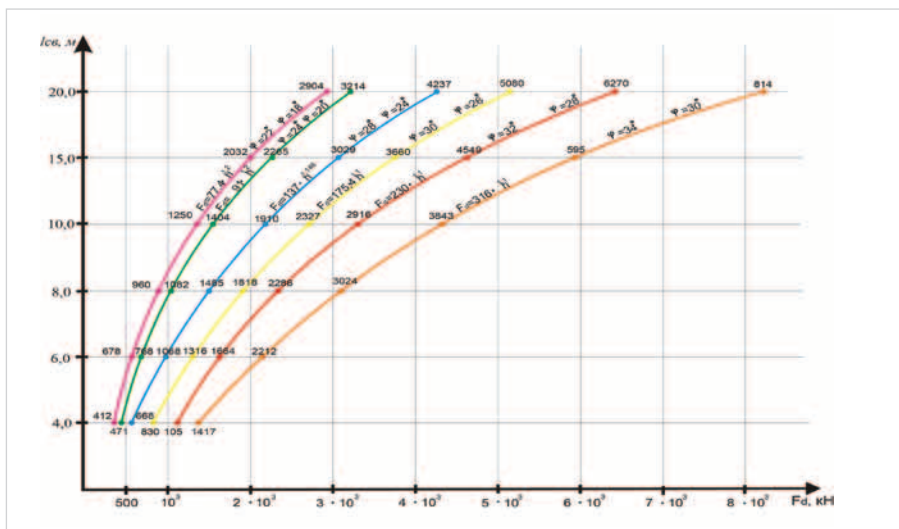


Рис. 1. Графики, характеризующие несущую способность свай РИТ (зависимости  $F_d = f(I_{sv}; \varphi)$ )

ских добавок на 10...15%. Другим не менее важным последствием комплексной активации бетонов является ее ингибирующее воздействие на коррозию стальной арматуры в железобетоне. Модуль упругости активированного бетона в 1,35 раза больше обычного.

Конечной целью усиления земляного полотна по разрядно-импульсной технологии является существенное уменьшение общих деформаций грунтового массива, т.е. снижение величины упругих деформаций, сокращение или исключение остаточных (пластических) просадок грунта. Степень достижения поставленной цели контролируется постоянным мониторингом грунтовых массивов усиленных по РИТ на объектах Октябрьской, Северной, Московской и других железных дорог РФ.

Мониторинг имеет следующие аспекты:

- анализ модифицированных под действием электроразряда физико-механических характеристик грунтов погружения;

- исследование напряженно-деформированного состояния системы «свая РИТ – грунты погружения» с применением глубинных реперов. Опыт укрепления «больных» высоких насыпей путем сооружения подпорных стен из свай РИТ, объединенных стальными конструкциями, на направлении Санкт-Петербург – Москва показывает, что остаточные деформации исключаются или приобретают затухающий характер. Бурунабивными сваями РИТ также может усиливаться основание насыпи,

отсыпанной на структурно-неустойчивых грунтах (рыхлые пески и супеси, заторфованные мерзлые грунты и др.). В этом случае сваи РИТ «прошивают» тело насыпи с целью консолидации подстилающих грунтов. Глубинные реперы показали свою эффективность и в этом случае.

Результативность метода подтверждена:

- оценкой деформативности земляного полотна комплексной инженерно-геологической лабораторией (ЛИГО);
- контролем состояния тела свай РИТ, размеров зон уплотнения и цементации грунтов погружения путем раскопки экспериментальных свай. Замеры, выполненные в ходе таких раскопок, позволили сформулировать регрессионные уравнения, описывающие радиусы уплотнения грунтов под воздействием электрогидроразряда, размеры зон активной и слабой цементации околосвайного грунта (фото 4);
- теоретическими исследованиями электрогидроэффекта, физико-механических параметров грунтов погружения, напряженно-деформированного состояния системы «свая РИТ – грунты погружения» с целью получения аналитических зависимостей, позволяющих прогнозировать основные механические характеристики свай РИТ и изготавливаемых из них конструкций (рис. 5, 6).

В настоящее время целью мониторинга является оценка долговечности свай (анкеров) РИТ, их сопротивляемости воздействию агрессивной среды. Проблема усиления «больных» и потенци-

ально опасных грунтовых массивов на автомобильных и железных дорогах как в мирное время, так и в особый период, была и будет весьма актуальной. А курс на эффективное расходование бюджетных средств предъявляет особые требования к экономической стороне проблемы.

Зарубежные методы усиления земляного полотна (габионы Маккаферри, матрацы «Рено», пригрузочные бермы и др.) позволяют решать некоторые задачи укрепления земполотна. Но при угрозе местного сдвига насыпи эти устройства требуют начальной подрезки конструкции, чем создают угрозу безопасности движения поездов. Кроме того, стоимость усиления метра земляного полотна с помощью габионов намного дороже РИТ.

Особенно сложными и дорогостоящими являются работы по усилению земляного полотна, уложенного на структурно-неустойчивых или заторфованных грунтах. Сравнительный анализ укрепления земляного полотна на заболоченных участках проводился на примере 299 км перегона Аleshинка – Березайка и 307–311, 312 км перегона Березайка – Бологое линии Санкт-Петербург – Москва. Для укрепления земполотна на перечисленных объектах были разработаны проекты одним из проектных институтов Петербурга и, как альтернатива, – НИЛ РИТ.

В более ранних проектах было предусмотрено усиление земляного полотна путем устройства пригрузочных берм

из дренирующего грунта. Выполнение работ предусматривалось в два этапа: вначале отсыпка «пионерных» берм, а после консолидации грунтов – окончательное формирование пригрузочных берм. Данный способ укрепления земляного полотна на болотах имеет целый ряд недостатков:

- возрастание объемов дренирующего грунта из-за оседания его в болото и, как следствие, необходимость большого количества технологических «окон» для выгрузки грунта из думпкарных вертушек;

- сравнительно быстрая просадка берм и длительная просадка тела насыпи вызывают дополнительные деформации земляного полотна (отколы, трещины);

- выгрузка грунта должна осуществляться за пределами болота, с последующей движимкой бульдозером, при этом теряется значительный объем грунта, даже при небольшом фронте работ;

- требуется предварительная расчистка территории от кустарника и деревьев, снятие дернового (мохорастительного) слоя и пр., то есть нарушаются экологические требования. В качестве примера можно привести участок 212 км линии Санкт-Петербург – Москва. Здесь для работ по отсыпке пригрузочной бермы требовалось изменение водного режима существующих болот, что привело бы к уничтожению бобровых плотин и переселению животных в другое место.

Альтернативный способ укрепления земляного полотна предусматривал устройство подпорных стенок вдоль обеих сторон насыпи мобильным разрядно-импульсным комплексом МРИК (фото 2, 3). Такая подпорная стенка прорезает слой болотных отложений с заглублением в минеральное дно, обеспечивая общую устойчивость насыпи, прекращение бокового обжатия торфа, снижение упругих и исключение остаточных просадок.

Преимущества проекта:

- весь комплекс работ выполняется без перерыва движения поездов;

- исключаются проседания пути при уплотнении торфяной залежи;

- фронт работ ограничивается длиной мобильного механизированного комплекса ( $L_k = 32$  м), перемещающегося автономно вдоль пути вне габарита приближения строений;

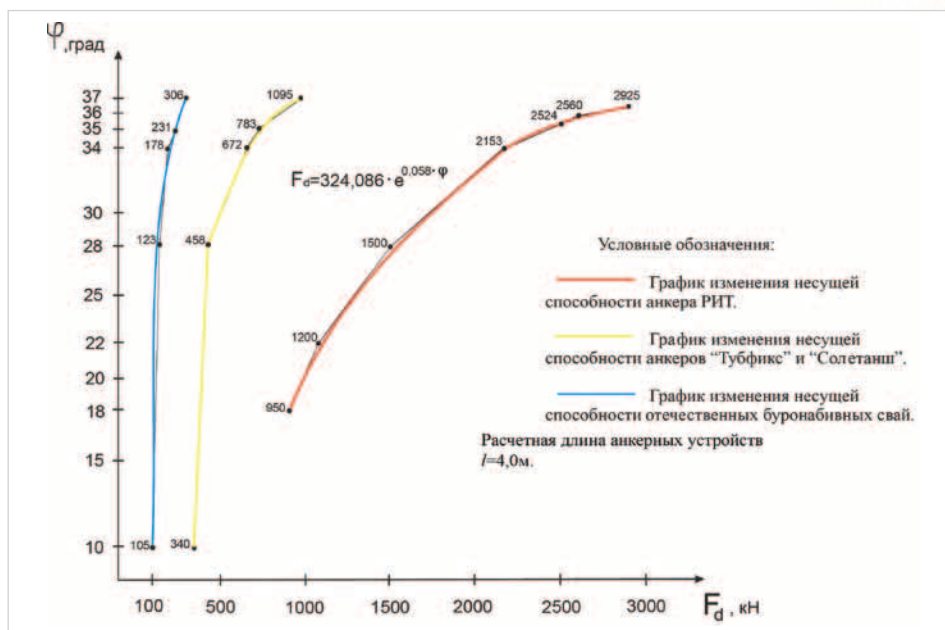


Рис. 2. Графики изменения несущей способности анкеров РИТ в зависимости от длины и угла внутреннего трения грунта погружения

- не наносится вред окружающей среде.

Преимущества нового способа особенно наглядны при глубине болота более 10 м. Применение МРИК позволяет уменьшить трудозатраты с 71,6 чел/ч по традиционной технологии до 46,8 чел/ч. Производительность труда составляет от 200 м до 400 м в месяц, а по традиционной технологии – 50 м в месяц. Выполнение работ на перегоне Руйта – Нюхча Октябрьской железной дороги, при высоте насыпи до 5 м, глубине болота 7 м, протяженности участка 5000 м, потребовало 10 месяцев.

Выполнение работ по усилению насыпей 190 и 202 км и на других участках обеспечило их устойчивость и позволило снять ограничения по скорости движения. Применение РИТ является особенно эффективным при усилении земляного полотна в стесненных условиях, вблизи инженерных коммуникаций, когда раскрытие выемки невозможно или затруднено.

Технико-экономическая эффективность применения разрядно-импульсной технологии на базе мобильных комплексов подтверждается следующими показателями:

1) стоимость работ по усилению грунтовых массивов и их оснований может быть снижена в 2...3 раза в сравнении с традиционными способами (отсыпка берм, армирование синтетическими материалами, применение габионов и др.).

Продолжительность выполнения работ сокращается в 1,5...2 раза;

2) применение разрядно-импульсной технологии позволяет рассчитывать на снижение удельных трудозатрат при ведении строительно-монтажных работ на 15...30%, особенно при производстве работ на структурно-неустойчивых и заторфованных грунтах;

3) внедрение разрядно-импульсной технологии позволяет существенно экономить ГСМ, сталь, цемент; ведет к сокращению числа видов первичной энергии, используемых в основных технологических процессах упрочнения грунтов. Особенно важно исключение из этой цепочки энергии от сжигания ГСМ и пневмоэнергии;

4) продолжительность твердения активированного по РИТ бетона, необходимая для набора 70% его прочности, сокращается до 1,5 суток, расход цемента на 1 куб. м бетона сокращается на 20%, в 3...5,5 раз снижается стоимость приготовления бетона. Высокая плотность активированного бетона повышает устойчивость тела свай РИТ против воздействия агрессивных вод;

5) стоимость анкеров РИТ по сравнению с зарубежными аналогами почти в 100 раз меньше. Трудоемкость изготовления анкеров РИТ в 5...7 раз ниже прототипа.

И.А. Веприяк,  
д-р техн. наук, проф.  
Ю.А. Найденов,  
канд. техн. наук, доц.