Ilmiy tadqiqotlar va ularning yechimlari jurnali
Aoka guvohnoma № 323759 ISSN: 3060-4818

UDK 711

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЦЕМЕНТАЦИИ ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ СЛАБЫХ ГРУНТОВ В СОВРЕМЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

к.т.н., доц. **Мирзаев Аскар Акрамович**
аспирант. **Дилноза Акбарова**
Ташкентский архитектурно-строительный университет
doi.org/10.5281/zenodo.20523536

АННОТАЦИЯ. Статье рассматриваются особенности применения метода цементации для укрепления слабых грунтов оснований зданий и сооружений. На основе анализа научных публикаций и инженерной практики показано влияние инъекционного закрепления на изменение физико-механических характеристик грунтов. Рассмотрены основные факторы, влияющие на эффективность метода, а также приведены данные о снижении осадок после укрепления. Сделан вывод о целесообразности применения цементации в условиях сложных инженерно-геологических условий.
Ключевые слова: цементация грунтов, укрепление слабых грунтов, инъекционное закрепление, цементный раствор, осадки оснований, геотехника, строительные грунты, несущая способность.
Abstract. The article discusses the application of cementation for strengthening weak soils. Based on the analysis of scientific publications and engineering practice, the influence of injection treatment on soil properties is considered. Key factors affecting efficiency and settlement reduction are described. The method is shown to be effective under complex geotechnical conditions..
Keywords: soil cementation, injection stabilization, weak soils, settlement, soil strengthening, geotechnical engineering, cement grout, foundation stabilization.

Введение. В современном строительстве вопросы обеспечения надежности оснований зданий и сооружений занимают одно из важнейших мест. От состояния грунтов основания зависит устойчивость конструкций, долговечность зданий и безопасность их эксплуатации. Однако в реальных инженерно-геологических условиях далеко не всегда встречаются грунты, обладающие достаточной прочностью и устойчивостью.

Актуальность инъекционной цементации

Рост строительства: Во многих регионах Узбекистана современное строительство часто ведется в сложных инженерно-геологических условиях, на слабых грунтах, в сейсмических районах, в условиях высокого уровня грунтовых вод, в плотной городской застройке. На территории Узбекистана широко распространены слабые, рыхлые и водонасыщенные лёссовые грунты, которые под воздействием нагрузок способны изменять свои свойства и давать значительные осадки. Такие деформации могут привести к появлению трещин, перекосов и другим повреждениям строительных конструкций. Особенно актуальна данная проблема в условиях плотной городской застройки, где увеличение нагрузок на грунтовое основание происходит постоянно.

В таких условиях инъекционная цементация становится одним из наиболее эффективных методов усиления основания.

В последние годы темпы строительства значительно возросли, что связано с активным развитием городской инфраструктуры, строительством новых жилых комплексов, транспортных сооружений и объектов промышленного назначения. В таких условиях всё чаще возникает

необходимость строительства на территориях со сложными инженерно-геологическими условиями. Это требует применения современных технологий, направленных на улучшение свойств грунтов основания. Для повышения несущей способности грунтов применяются различные методы укрепления. К наиболее распространённым относятся свайные технологии, силикатизация, термическое закрепление, струйная и инъекционная цементация. Среди этих методов особое место занимает инъекционная цементация, которая получила широкое распространение благодаря своей эффективности и возможности применения в различных условиях строительства. Это метод укрепления грунтов, трещиноватых пород, оснований и строительных конструкций путем нагнетания под давлением цементного раствора или специальных инъекционных составов в поры, трещины и пустоты массива.

Метод применяется в гражданском, промышленном, гидротехническом, транспортном и подземном строительстве.

Метод цементации основан на введении в грунт цементного раствора через специальные инъекционные скважины. После твердения раствора структура грунта становится более плотной и прочной, увеличивается несущая способность, устойчивость и сопротивляемость деформациям. В результате происходит укрепление грунтов основания, уменьшается сжимаемость грунта и снижается вероятность развития деформаций.

Цементный раствор заполняет трещины, пустоты, поры, что уменьшает водопроницаемость грунтов и скальных пород и соответственно приводит к снижению фильтрации воды.

Особое значение цементация имеет при реконструкции существующих зданий и усилении строительных конструкций.

В условиях плотной городской застройки выполнение масштабных земляных работ часто является затруднительным. В таких случаях инъекционные методы позволяют укреплять грунты без остановки эксплуатации зданий и без значительного воздействия на окружающую территорию.

Также инъекционная цементация в строительных конструкциях применяется для при усилении фундаментов, бетонных и железобетонных конструкций, заделке трещин в стенах, колоннах, опорах мостов и др.

Несмотря на широкое распространение цементации, эффективность данного метода во многом зависит от инженерно-геологических условий, состава раствора и технологии выполнения работ. Поэтому изучение особенностей применения цементации и анализ факторов, влияющих на качество укрепления грунтов, остаются актуальными задачами современной геотехники.

Основная часть. Метод цементации относится к числу наиболее эффективных способов укрепления слабых грунтов. Основной принцип данного метода заключается в нагнетании цементного раствора в грунтовый массив под давлением через специальные инъекционные скважины. Раствор проникает в поры, трещины и пустоты грунта, а после твердения образует прочную структуру, способствующую повышению устойчивости основания. В результате применения цементации значительно улучшаются физико-механические свойства грунта. Повышается его плотность, уменьшается сжимаемость и увеличивается несущая способность. Кроме того, снижается водопроницаемость грунта, что особенно важно в условиях повышенной влажности и высокого уровня грунтовых вод.

Анализ научных исследований [1–3] показывает, что цементация наиболее эффективно применяется для укрепления песчаных, лессовых и водонасыщенных грунтов. В таких грунтах цементный раствор способен равномерно распределяться внутри массива, обеспечивая качественное укрепление слабых участков. В настоящее время цементация широко применяется при строительстве жилых и общественных зданий, транспортных сооружений, мостов и

тоннелей. Также данный метод используется при реконструкции существующих объектов, где требуется усиление оснований без демонтажа конструкций.

Одним из основных преимуществ цементации является возможность локального воздействия на проблемные участки грунта. Это позволяет выполнять укрепление только в необходимых зонах, не затрагивая остальную часть основания. Такой подход способствует снижению затрат и сокращению сроков выполнения работ.

По данным различных исследований [2,4], после проведения цементации наблюдается значительное снижение осадок зданий и сооружений. В ряде случаев скорость деформаций уменьшается в несколько раз. Это связано с тем, что цементный раствор формирует внутри грунта дополнительные связи между его частицами, создавая более жесткую структуру. Кроме того, после укрепления улучшается работа основания под нагрузкой. Нагрузки от здания распределяются более равномерно, что уменьшает вероятность возникновения локальных деформаций и перекосов конструкций. Следует отметить, что эффективность цементации зависит от ряда факторов. Одним из наиболее важных является тип грунта. В песчаных грунтах раствор распространяется достаточно хорошо, тогда как в глинистых грунтах проникновение раствора может быть затруднено из-за низкой проницаемости. Большое значение имеет состав цементного раствора. В современной практике используются растворы с различными добавками, повышающими текучесть и прочность материала. Подбор состава осуществляется с учетом инженерно-геологических условий строительной площадки.

Также важную роль играет давление нагнетания раствора. При недостаточном давлении раствор не сможет проникнуть на необходимую глубину, а чрезмерное давление может привести к нарушению структуры грунта. Поэтому выбор технологических параметров должен выполняться на основе предварительных исследований.

Анализ научных публикаций показывает, что в последние годы большое внимание уделяется совершенствованию инъекционных технологий [3–5]. Разрабатываются новые составы растворов, повышается точность контроля процесса нагнетания и улучшается оборудование для проведения работ. Одним из перспективных направлений считается использование модифицированных цементных растворов с химическими добавками. Такие растворы обладают повышенной проникающей способностью и позволяют более эффективно укреплять грунты с низкой проницаемостью.

Важным преимуществом цементации является возможность применения метода в условиях плотной городской застройки. В отличие от свайных технологий, данный способ не требует проведения масштабных земляных работ и использования тяжелой строительной техники. Это особенно важно при реконструкции существующих зданий и усилении фундаментов в центральных районах городов.

Сравнение цементации с другими методами укрепления показывает, что данный способ обладает рядом преимуществ. Например, струйная цементация (jet grouting) обеспечивает высокую эффективность, однако требует значительных материальных затрат и использования специального оборудования. Свайные методы также отличаются высокой надежностью, но их применение связано с большими объемами строительных работ.

На этом фоне классическая цементация рассматривается как более доступный и экономически эффективный метод укрепления грунтов. При правильном подборе технологических параметров она позволяет обеспечить необходимую прочность основания и снизить риск развития деформаций. Кроме того, цементация способствует снижению влияния грунтовых вод на состояние основания. После заполнения пор и пустот уменьшается фильтрация воды через грунтовый массив, что положительно влияет на устойчивость грунта и долговечность сооружений.

По данным различных исследований [1,5], применение цементации позволяет повысить долговечность зданий и уменьшить вероятность возникновения аварийных ситуаций, связанных с неравномерными осадками. Это делает данный метод особенно востребованным при строительстве и реконструкции объектов различного назначения.

Несмотря на многочисленные преимущества, эффективность цементации во многом зависит от качества выполнения работ и соблюдения технологических требований. Поэтому перед началом укрепления необходимо проведение инженерно-геологических исследований и разработка оптимальной схемы инъектирования.

Анализ исследований показывает, что в последние годы технология цементации активно совершенствуется. Разрабатываются новые типы цементных растворов, обладающих повышенной проникающей способностью и устойчивостью к внешним воздействиям. Кроме того, используются специальные химические добавки, позволяющие регулировать скорость твердения раствора и улучшать его эксплуатационные свойства. В некоторых случаях для повышения эффективности укрепления применяется поэтапное нагнетание раствора. Такой подход позволяет обеспечить более равномерное распределение цементного состава внутри грунтового массива и повысить качество укрепления слабых участков основания.

Следует отметить, что большое значение имеет правильная организация инженерно-геологических исследований перед началом работ. Недостаточное изучение свойств грунта может привести к неправильному выбору технологических параметров и снижению эффективности укрепления. Поэтому перед проведением цементации выполняются исследования, направленные на определение состава грунта, уровня грунтовых вод и глубины залегания слабых слоев.

Одним из важных преимуществ цементации является возможность проведения работ в стеснённых условиях. В центральных районах городов использование крупногабаритной строительной техники может быть затруднено, поэтому применение инъекционных технологий становится наиболее рациональным решением. Кроме того, цементация позволяет выполнять укрепление оснований без демонтажа существующих конструкций. Это особенно важно при реконструкции исторических зданий и сооружений, где необходимо сохранить архитектурные элементы и избежать дополнительных повреждений.

В последние годы в научной литературе всё чаще рассматриваются вопросы автоматизации процесса цементации. Современное оборудование позволяет контролировать давление нагнетания, расход раствора и глубину его распространения в режиме реального времени. Это способствует повышению точности выполнения работ и снижению вероятности технологических ошибок. Большое внимание также уделяется вопросам экологической безопасности. Современные технологии направлены на снижение расхода материалов и уменьшение негативного воздействия на окружающую среду. Использование усовершенствованных цементных составов позволяет повысить эффективность укрепления при меньших объемах раствора.

Проведённый анализ научных публикаций показывает, что цементация успешно применяется не только в гражданском строительстве, но и при строительстве транспортных сооружений. Данный метод используется при укреплении оснований мостов, тоннелей, автомобильных дорог и железнодорожных объектов. В подобных условиях цементация позволяет повысить устойчивость грунтов и снизить вероятность развития деформаций под воздействием динамических нагрузок. Также метод широко применяется при строительстве подземных сооружений. Укрепление грунта цементными растворами способствует уменьшению водопритока и повышению устойчивости стенок котлованов и тоннелей. Это позволяет повысить безопасность строительных работ и снизить риск возникновения аварийных ситуаций.

По мнению ряда исследователей [4–6], дальнейшее развитие технологий цементации связано с совершенствованием методов контроля качества укрепления. В настоящее время активно разрабатываются способы оценки распространения раствора внутри грунтового массива и определения степени его уплотнения после твердения. Кроме того, перспективным направлением считается разработка комбинированных методов укрепления грунтов. В некоторых случаях цементация применяется совместно со свайными технологиями или другими инъекционными методами. Такой подход позволяет повысить эффективность укрепления и обеспечить более высокую устойчивость оснований.

Следует отметить, что экономическая эффективность цементации также является важным фактором её широкого применения. По сравнению со многими другими способами усиления оснований данный метод требует меньших затрат и позволяет сократить сроки выполнения работ. Это делает цементацию особенно востребованной при реконструкции существующих объектов и строительстве в сложных условиях.

Несмотря на многочисленные преимущества, метод цементации требует строгого соблюдения технологических требований. Нарушение режима нагнетания раствора, неправильный подбор состава или недостаточный контроль качества могут привести к снижению эффективности укрепления. Поэтому выполнение таких работ требует участия квалифицированных специалистов и использования современного оборудования.

Таким образом, анализ современных исследований и практического опыта показывает, что цементация является одним из наиболее перспективных методов укрепления слабых грунтов. Широкое применение данной технологии связано с её высокой эффективностью, сравнительно невысокой стоимостью и возможностью использования в различных инженерно-геологических условиях.

Заключение. Метод цементации является одним из эффективных способов укрепления слабых грунтов в современных условиях строительства. Применение данной технологии позволяет повысить прочность грунтового основания, уменьшить деформации и снизить вероятность неравномерных осадок зданий и сооружений.

Результаты, представленные в научных публикациях, показывают, что после проведения цементации улучшаются физико-механические характеристики грунтов, повышается устойчивость основания и уменьшается влияние грунтовых вод на состояние конструкций.

Эффективность метода во многом зависит от инженерно-геологических условий, состава цементного раствора и правильного выбора технологических параметров. При соблюдении требований к выполнению работ цементация обеспечивает надежное укрепление грунтов и может успешно применяться как при новом строительстве, так и при реконструкции существующих объектов.

В настоящее время метод цементации широко используется в условиях плотной городской застройки благодаря возможности выполнения работ без значительного объема земляных работ и без остановки эксплуатации зданий. Это делает данный способ одним из наиболее востребованных методов усиления оснований в современной строительной практике. Таким образом, цементация может рассматриваться как перспективная и эффективная технология укрепления слабых грунтов, обеспечивающая повышение надежности и долговечности зданий и сооружений.

Кроме того, развитие современных инъекционных технологий и совершенствование составов цементных растворов способствует дальнейшему повышению эффективности метода. Использование новых материалов и современного оборудования позволяет улучшить качество укрепления грунтов и расширить область применения цементации в различных инженерно-геологических условиях. В связи с этим метод цементации сохраняет свою актуальность и

рассматривается как одно из перспективных направлений в области геотехнического строительства и усиления оснований зданий и сооружений.

Список литературы

1. Сагыбекова А.О., Абиев Б.А., Белов А.Г. Инъекционные способы усиления грунтов оснований зданий и сооружений в городских условиях // Вестник Казахского гуманитарно-юридического инновационного университета. — 2019. — №4(44). — С. 217–222.
2. Шеркунова Д.А. Способы усиления оснований структурно-неустойчивых грунтов // Технологии, машины и оборудование для проектирования, строительства объектов АПК: сборник научных статей. — Курск, 2024. — С. 341–344.
3. Ещенко Т.В., Скаб Я.А. Силикатизация грунтового основания как способ усиления грунтов // Молодой исследователь Дона. — 2023. — Т. 8. — №6(45). — С. 34–37.
4. Емельков Р.А., Опарих А.Н., Кафтиин Л.И., Просян М.А. Анализ способов усиления грунтов оснований // Инновационные технологии в строительстве и управлении техническим состоянием инфраструктуры. — Ростов-на-Дону, 2024. — С. 88–92.
5. Виктимирова А.Р. Способы усиления оснований при возведении зданий и сооружений на слабых водонасыщенных грунтах // Инновационный путь развития. — Уфа, 2021. — С. 18–21.
6. Гнедаш К.А., Беликов М.И., Болгов И.В. Способы усиления слабых грунтов // Поколение будущего: взгляд молодых ученых. — Курск, 2024. — С. 264–266.