



# ГЕОТЕХНИКА

---

## GEOTECHNICS

03  
'2017





|                                                                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Пономарев А.Б., Сазонова С.А., Румянцев С.Д.</i><br>О современных методах экспресс-контроля характеристик насыпных грунтов                                                                  | 4  |
| <i>Шулятьев О.А., Шарафутдинов Р.Ф.</i><br>Мастер-класс по фундаментам высотных зданий на международном форуме<br>высотного и уникального строительства 100+ Forum Russia 2016                 | 10 |
| <i>Мирный А.Ю.</i><br>Профессиональный стандарт в области геотехнического строительства                                                                                                        | 24 |
| <i>Соболев Е.С., Тер-Мартirosян А.З., Манукян А.В.</i><br>Проектирование оснований зданий и сооружений с учетом динамического разжижения грунтов                                               | 28 |
| <i>Засорин М.С.</i><br>Эффективность технологии струйной цементации грунтов                                                                                                                    | 40 |
| <i>Деревенец Ф.Н., Маций С.И.</i><br>Влияние межсвайного расстояния на распределение давлений между<br>рядами свай удерживающих сооружений                                                     | 46 |
| <i>Безуглова Е.В., Маций С.И., Подтелков В.В.</i><br>Особенности эксплуатации линейных транспортных сооружений в аспекте<br>противопожарной защиты                                             | 60 |
| <i>Кузахметова Э.К.</i><br>О Второй научно-практической конференции «Пути обеспечения совместной<br>работы инженерного сооружения и специфических грунтов»                                     | 68 |
| <i>Добров Э.М., Казарновский В.Д.</i><br>О деятельности Н.Н. Маслова                                                                                                                           | 72 |
| Список геотехнических конференций                                                                                                                                                              | 79 |
| Рефераты на английском языке                                                                                                                                                                   | 80 |
| <i>Ponomarev A.B., Sazonova S.A., Rumyantsev S.D.</i><br>On modern express methods of bulk soils characteristics control                                                                       | 4  |
| <i>Shulyatiev O.A., Sharafutdinov R.F.</i><br>Master-class in foundations of high-rise buildings at international forum & expo<br>on high-rise and special construction 100+ Forum Russia 2016 | 10 |
| <i>Mirnyy A.Yu.</i><br>Professional standard for geotechnical engineering                                                                                                                      | 24 |
| <i>Sobolev E.S., Ter-Martirosyan A.Z., Manukyan A.V.</i><br>Design of the bases of buildings and structures, taking into account the dynamic soil liquefaction                                 | 28 |
| <i>Zasorin M.S.</i><br>Efficiency of jet-grouting for soil stabilization                                                                                                                       | 40 |
| <i>Derevenets F.N., Matsiy S.I.</i><br>Distribution of landslide pressures between piles of multi-row retaining structures                                                                     | 46 |
| <i>Bezuglova E.V., Matsiy S.I., Podtelkov V.V.</i><br>Features of linear transport constructions operation in the aspect of anti-landslide protection                                          | 60 |
| <i>Kuzakhmetova E.K.</i><br>On the Second research and practical conference «Ways to provide joint work of constructions<br>and specific soils»                                                | 68 |
| <i>Dobrov E.M., Kazarnovsky V.D.</i><br>Scientific legacy of N.N. Maslov (1898–1986)                                                                                                           | 72 |
| List of geotechnical conferences                                                                                                                                                               | 79 |
| Abstracts in English                                                                                                                                                                           | 80 |



# ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ СТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ ГРУНТОВ

## EFFICIENCY OF JET-GROUTING FOR SOIL STABILIZATION

ЗАСОРИН М.С.

Генеральный директор ООО «Плутон-Инжиниринг», к.т.н., г. Москва,  
zasorin@pluton.pro

ZASORIN M.S.

General Director of Pluton Engineering LLC, PhD (Candidate of Science in  
Technics), Moscow, zasorin@pluton.pro



### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Геотехнология; свая; грунтоцементный элемент; противодиффузионная конструкция; струйная цементация; технологические параметры.

### АННОТАЦИЯ

В статье представлен обобщенный подход к определению эффективности струйной цементации грунтов на этапе геотехнического обоснования. Приведена блок-схема последовательности проектирования струйной цементации для решения различных инженерных задач в подземном строительстве. Определен параметр  $\lambda_{\sigma}$ , характеризующий прочностную эффективность струйной цементации, позволяющий классифицировать зоны эффективности технологии и определять оптимальные технологические параметры в зависимости от инженерно-геологических условий строительства.

### KEY WORDS

Geotechnology; ground water cutoff structure; jet-grouting; pile; soil-cement element; soil stabilization; technological parameters.

### ABSTRACT

The article describes the general approach to estimate the efficiency of jet-grouting used for soil stabilization at the stage of geotechnical planning. A flow-chart of planning sequence is given for various applications in underground construction. The parameter  $\lambda_{\sigma}$ , depicting jet-grouting strength efficiency, is determined to classify technique applications and set its optimum parameters in accordance with particular site conditions.

Технология струйной цементации грунтов широко применяется для решения различных геотехнических задач подземного строительства [1, 4, 5]. Основными технико-экономическими преимуществами струйной цементации по сравнению с альтернативными методами являются:

- возможность создания грунтоцементных массивов заданных размеров и свойств;
- отсутствие ударных и вибрационных нагрузок;
- возможность производства работ малогабаритными установками в стесненных условиях;
- полная механизация работ с непрерывным контролем основных параметров;
- высокая скорость производства работ за счет параллельного выполнения основных технологических операций (разрушение массива грунта с перемешиванием подаваемого цементного раствора и выносом части разрушенного массива на поверхность в виде бурового шлама).

Однако неточное определение технологических параметров струйной цементации в заданных инженерно-геологических условиях существенно увеличивает сроки производства работ и себестоимость строительства. Ошибки такого рода зачастую приводят к неудовлетворительным результатам, а экономическая оценка на этапе проектирования показывает низкую эффективность технологии в сравнении с альтернативными методами.

Для увеличения надежности технологии на этапе геотехнического проектирования необходимо определять количественные параметры, характеризующие эффективность процесса обработки грунта для различных инженерно-геологических условий производства работ и областей применения технологии.

Зарубежными авторами уже были предприняты попытки количественной оценки эффективности технологии путем введения параметров энергетической ( $\lambda_E$ ) и объемной эффективности ( $\lambda_V$ ). При этом показатель  $\lambda_E$  характеризуется как отношение между полученной выгодой  $V_C$  (объем на единицу длины колонны, выраженной в м<sup>3</sup>/м) и параметром, определяющим стоимость единицы работы, выраженной в удельной кинетической энергии обработки ( $E'$ ):

$$E' = 0,9 \cdot \frac{pQ}{v_r}, \quad (1)$$

где  $p$  — давление инъекции в насосе,  $Q$  — скорость движения цементного потока,  $v_r$  — средняя скорость подъема монитора.

Показатель  $\lambda_E$  определяется по формуле:

$$\lambda_E = \frac{V_C}{E'}. \quad (2)$$

Объемная эффективность  $\lambda_V$  выражена отношением полученной выгоды к объему инъецированного раствора на единицу длины колонны ( $V_g$ ):

$$\lambda_V = \frac{V_C}{V_g}. \quad (3)$$

Большие значения объемной эффективности означают, что заданный диаметр грунтоцементной колонны может быть по-

лучен с более низкой потребляемой энергией или с меньшим количеством цементного раствора [6].

Представленные уравнения в большей степени характеризуют эффективность конструкций, предназначенных для решения противофильтрационных геотехнических задач, где первостепенную роль играют геометрические характеристики и фильтрационные свойства грунтоцементных колонн.

Наряду с противофильтрационными конструкциями области применения струйной цементации охватывают:

- усиление фундаментов зданий и сооружений;
- изменение природных характеристик грунтового массива;
- устройство несущих конструкций;
- устройство подпорных и ограждающих сооружений.

При решении этих задач основную роль играют прочностные характеристики грунтоцементного массива. Поэтому альтернативно параметрам  $\lambda_E$  и  $\lambda_V$  для оценки эффективности применения технологии целесообразно ввести параметр прочностной эффективности  $\lambda_\sigma$ .

Следует отметить, что важнейшим технологическим параметром, влияющим на прочность грунтоцементного материала, является расход цемента на 1 п. м закрепленного грунта. Этот параметр напрямую связан с экономической оценкой струйной технологии, так как от него зависят продолжительность работ, затраты труда, энергии, работа механизмов и т.д.

Поэтому для количественной оценки прочностной эффективности струйной цементации грунтов нужно использовать безразмерный параметр  $\lambda_\sigma$ , выраженный отношением между расходом цемента (кг/п. м) и получаемыми прочностными параметрами (прочность при одноосном сжатии, МПа):

$$\lambda_\sigma = \frac{Q_C}{\sigma_{сж}}. \quad (4)$$

Необходимо отметить, что на данном этапе развития метод струйной цементации подразделяют на три основные разновидности:

- однокомпонентная технология — размыв грунта осуществляется цементным раствором;
- двухкомпонентная технология — размыв грунта цементным раствором под защитой воздушной рубашки;
- трехкомпонентная технология — размыв грунта осуществляется водяной струей под защитой воздушной рубашки, при этом цементный раствор подают через форсунку, расположенную ниже соосных размывающих форсунок.

На основе практических данных, полученных на протяжении более чем десяти лет применения струйной цементации грунтов в различных инженерно-геологических условиях на строительных площадках г. Москвы [3], автором была разработана таблица по подбору расхода цемента в зависимости от требуемых геометрических и прочностных характеристик грунтоцементных элементов. В таблице представлены усредненные диапазоны геометрических параметров грунтоцементных колонн. Фактический диапазон геометрических параметров может варьироваться до 30% с учетом конкретных гидрогеологических характеристик обрабатываемого грунтового



**Характеристики грунтоцементных элементов, полученные в натуральных условиях, в зависимости от расхода цемента и инженерно-геологических условий строительства**

|                                                 | Технология                                          |                                                     |                                                     |                        |                                                     |                                                     |                      |                      |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------|----------------------|
|                                                 | Однокомпонентная                                    |                                                     |                                                     |                        | Двухкомпонентная                                    |                                                     |                      |                      |
| Расход цемента, кг/м на 1 п. м подъема монитора | 300                                                 | 400                                                 | 600                                                 | 800                    | 400                                                 | 600                                                 | 800                  | 1000                 |
| Гравий, песок крупно-зернистый                  | 0,45–0,6 м<br>2–4 МПа                               | 0,6–0,7 м<br>6–8 МПа                                | 0,7–0,8 м<br>8–10 МПа                               | 0,8–1,0 м<br>10–14 МПа | 0,8–1,0 м<br>4–5 МПа                                | 1,0–1,2 м<br>5–6 МПа                                | 1,2–1,4 м<br>6–7 МПа | ≈ 1,4 м<br>7–8 МПа   |
| Песок мелкий                                    | 0,3–0,4 м<br>1–2 МПа                                | 0,5–0,6 м<br>5–7 МПа                                | 0,6–0,7 м<br>6–8 МПа                                | 0,7–0,8 м<br>8–10 МПа  | 0,7–0,8 м<br>≈ 4 МПа                                | 0,8–1,0 м<br>≈ 5 МПа                                | 1,0–1,2 м<br>≈ 6 МПа | ≈ 1,2 м<br>≈ 7 МПа   |
| Супесь                                          | ≈ 0,2 м (равен диаметру буровой коронки)<br>0–2 МПа | ≈ 0,5 м<br>5–6 МПа                                  | ≈ 0,6 м<br>≈ 6 МПа                                  | Ø ≈ 0,7 м<br>6–7 МПа   | ≈ 0,7 м<br>3–4 МПа                                  | ≈ 0,8 м<br>4–5 МПа                                  | ≈ 0,9 м<br>5–6 МПа   | ≈ 1,0 м<br>6–7 МПа   |
| Суглинок                                        |                                                     | 0,3–0,4 м<br>2–3 МПа                                | 0,4–0,5 м<br>≈ 3–5 МПа                              | 0,5–0,6 м<br>≈ 6 МПа   | 0,5–0,6 м<br>2–3 МПа                                | 0,6–0,7 м<br>3–4 МПа                                | 0,7–0,8 м<br>4–5 МПа | 0,8–0,9 м<br>5–6 МПа |
| Глина                                           |                                                     | ≈ 0,2 м (равен диаметру буровой коронки)<br>0–2 МПа | ≈ 0,2 м (равен диаметру буровой коронки)<br>1–2 МПа | 0,3–0,4 м<br>≈ 4 МПа   | ≈ 0,2 м (равен диаметру буровой коронки)<br>0–2 МПа | ≈ 0,2 м (равен диаметру буровой коронки)<br>1–2 МПа | 0,4–0,5 м<br>≈ 3 МПа | ≈ 0,5 м<br>≈ 4 МПа   |

массива (однородность грунтового массива, коэффициент фильтрации и др.). Также при значении расхода менее 300 кг/м грунтоцементные элементы имеют неоднородный материал, с большим разбросом прочностных и геометрических характеристик.

Анализ данных таблицы показывает, что для достижения наибольших показателей прочностной эффективности в различных инженерно-геологических условиях следует применять однокомпонентную технологию работ. При этом легче всего обрабатываются и качественно перемешиваются крупнозернистые грунты (гравий, песок). Наименьшую эффективность по параметру  $\lambda_{\sigma}$  демонстрируют глины и суглинки, в которых при отсутствии альтернативных методов и технологий производства работ возможно применение струйной цементации только с использованием дополнительных мер, которые включают предварительный размыв грунта вплоть до полного

замещения, введение в буровой раствор специальных пластификаторов и др.

На основании анализа полученных данных для предварительной оценки прочностной эффективности струйной цементации были выделены три зоны:

- $0 < \lambda_{\sigma} \leq 75$  — зона высокой прочностной эффективности;
- $75 < \lambda_{\sigma} \leq 100$  — зона удовлетворительной прочностной эффективности;
- $100 < \lambda_{\sigma}$  — зона низкой прочностной эффективности.

Оценка полученных зависимостей показывает, что в зону высокой прочностной эффективности попадают несвязные грунты различных физических характеристик, обработанные по однокомпонентной технологии. К зоне удовлетворительной прочностной эффективности можно отнести мелкие пески и супеси [2], обработанные по однокомпонентной технологии, а также крупные пески и гравий, обработанные



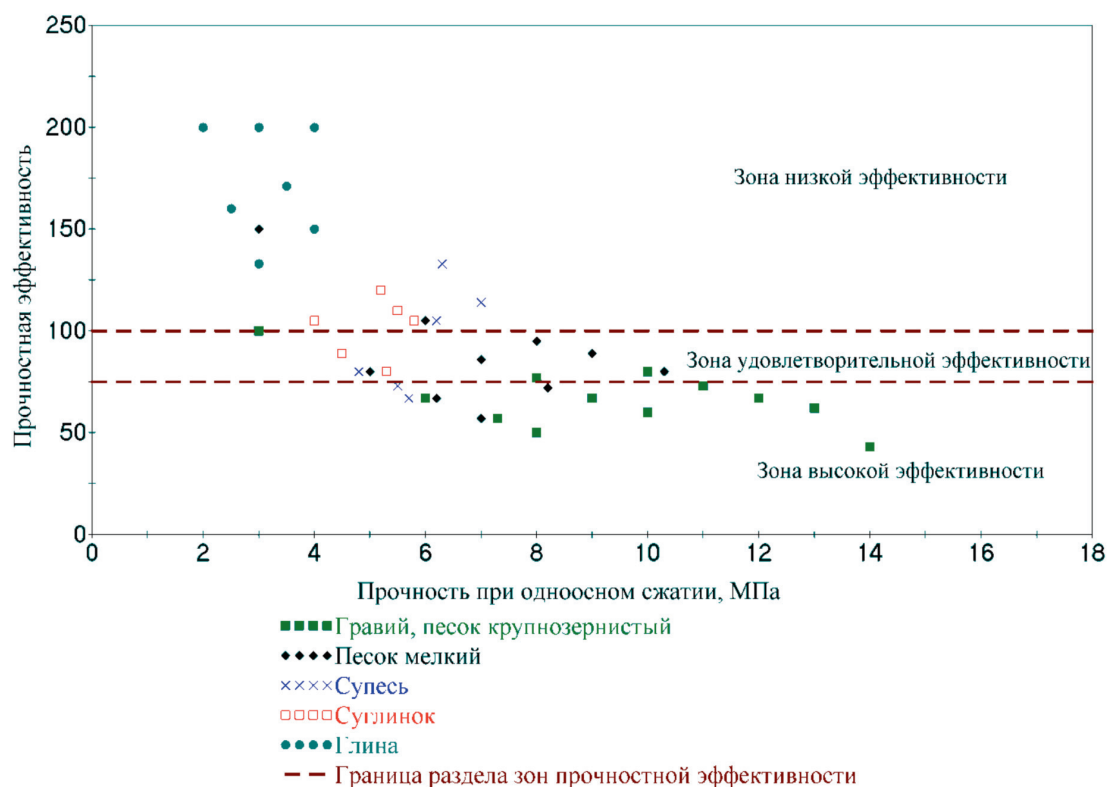


Рис. 1. Прочностная эффективность струйной цементации при однокомпонентной технологии

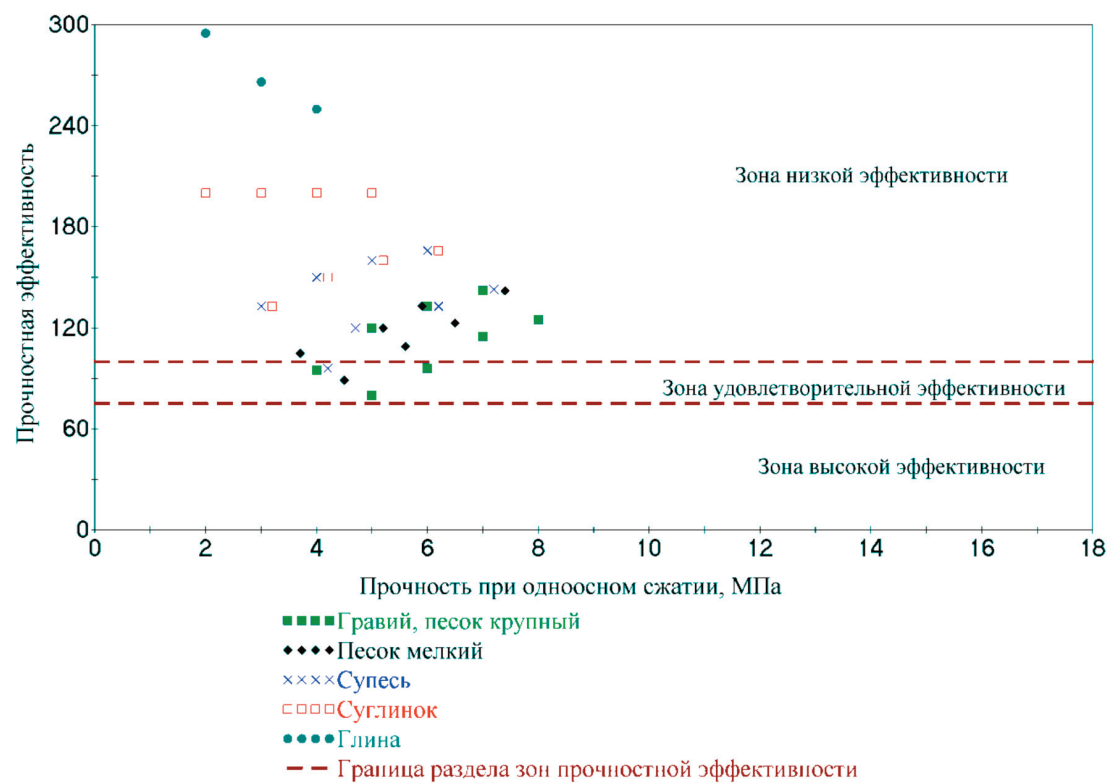


Рис. 2. Прочностная эффективность струйной цементации при двухкомпонентной технологии

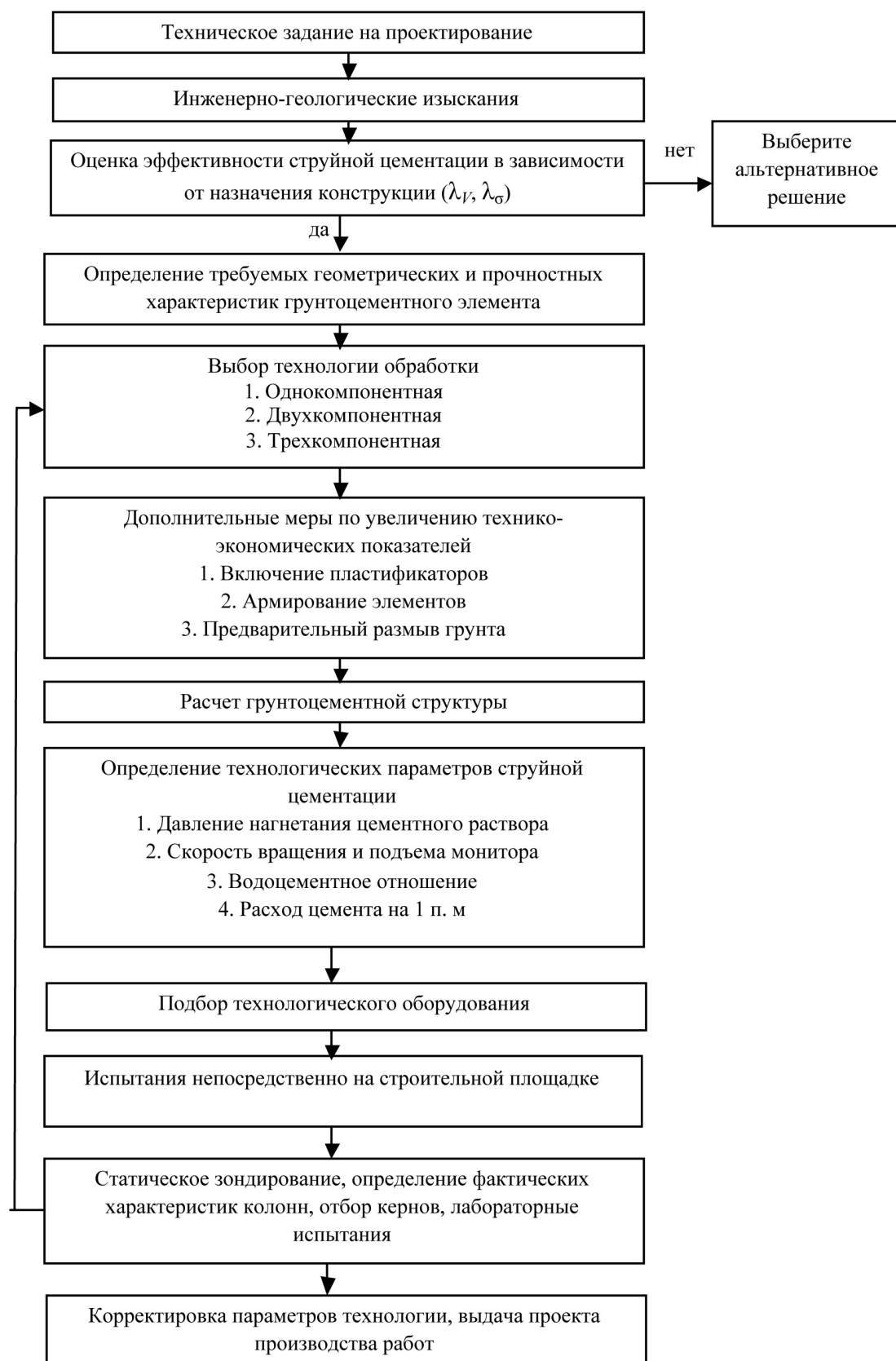


Рис. 3. Блок-схема последовательности проектирования струйной цементации



по двухкомпонентной технологии. К зоне низкой прочностной эффективности относятся связные грунты различного состава, вне зависимости от технологии обработки.

По результатам исследования эффективности применения струйной цементации для конструкций с заданными прочностными характеристиками была разработана блок-схема последовательности проектирования с применением данной технологии (рис. 3).

## Выводы

1. Область экономической целесообразности применения технологии струйной цементации грунтов в различных инженерно-геологических условиях на стадии геотехнического обоснования может быть определена с при-

менением показателей количественной эффективности ( $\lambda_\sigma$ ;  $\lambda_E$ ;  $\lambda_\nu$ ).

2. Для прогнозирования прочностных характеристик грунтоцементного массива введен параметр  $\lambda_\sigma$ , характеризующий прочностную эффективность струйной цементации, который позволяет классифицировать зоны эффективности технологии и определять оптимальные технологические параметры в зависимости от инженерно-геологических условий строительства.

3. На основании полученных параметров прочностной эффективности была разработана блок-схема, определяющая последовательность мероприятий по проектированию струйной цементации с учетом обеспечения эффективности применения технологии. 

## Список литературы

1. Бройд И.И. Струйная геотехнология: учебное пособие. М.: Издательство АСВ, 2004. 448 с.
2. ГОСТ 25100–2011. Грунты. Классификация. М.: Стандартинформ, 2012.
3. Засорин М.С. Применение технологии струйной цементации грунтов при возникновении аварийных ситуаций при строительстве глубоких котлованов // Транспортное строительство. 2016. № 10. С. 4–6.
4. Малинин А.Г. Струйная цементация грунтов: монография. Пермь: Престайм, 2007. 168 с.
5. Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Гид по геотехнике (путеводитель по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям). СПб.: ПИ «Геореконструкция», 2010. 208 с.
6. Croce P., Flora A., Lirer S., Modoni G. Prediction of jet grouting efficiency and column average diameter // Proc. of ICSMGE-TC211 (International Symposium on Ground Improvement). Brussels, Belgium, 2012. P. 215–224.

# EFFICIENCY OF JET-GROUTING FOR SOIL STABILIZATION

**ZASORIN M.S.**

General Director of Pluton Engineering LLC, PhD (Candidate of Science in Technics), Moscow, zasorin@pluton.pro

## KEY WORDS

Geotechnology; ground water cutoff structure; jet-grouting; pile; soil-cement element; soil stabilization; technological parameters.

The article describes the general approach to estimate the efficiency of jet-grouting used for soil stabilization at the stage of geotechnical planning. Based on the practical data, the table

was compiled to determine cement consumption depending on the required geometry and strength of soil-cement elements. Relationship between strength effectiveness, soil-cement strength for one and two-component techniques under different geological conditions is given. The parameter  $\lambda_{\sigma}$ , depicting jet-grouting strength efficiency, is introduced to classify technique applications and set its optimum parameters in accordance with particular site conditions. Effectiveness zones in relation to construction parameters and techniques are ranked. A flow-chart of planning sequence is given for various applications in underground construction. 

## References

1. Broyd I.I. Struinaia geotekhnologiya: uchebnoe posobie [Jet-Grouting: Tutorial]. M.: ASV, 2004, 448 s. (Rus.).
2. GOST 25100–2011. Grunty. Klassifikatsiya [Soils. Classification]. M.: Standartinform, 2012. (Rus.).
3. Zasorin M.S. Primenenie tekhnologii struinoi tsementatsii gruntov pri vozniknovenii avariynykh situatsii pri stroitelstve glubokikh kotlovanov [Application of jet-grouting technology in emergency situations at the construction of deep pits] // Transportnoe stroitelstvo [Transport Construction]. 2016. № 10. S. 4–6. (Rus.).
4. Malinin A.G. Struinaia tsementatsiya gruntov: monografiya [Jet-Grouting of Soil: Monograph]. Perm: Presstime, 2007. 168 s. (Rus.).
5. Ulitsky V.M., Shashkin A.G., Shashkin K.G. Gid po geotekhnike (putevoditel po osnovaniyam, fundamentam i podzemnym sooruzheniyam) [Geotechnics Guide (Guide on foundations and underground structures)]. SPb.: PI Georeconstruction, 2010. S. 138–140. (Rus.).
6. Croce P., Flora A., Lirer S., Modoni G. Prediction of jet grouting efficiency and column average diameter // Proc. of ICSMGE-TC211 (International Symposium on Ground Improvement). Brussels, Belgium, 2012. P. 215–224.