

д.т.н. Должиков П.Н.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина),
д.т.н. Кипко А.Э.
(ВНУ им. В. Даля, г. Антрацит, Украина),
к.т.н. Кириак К.К.
(ЦНТУ «Инжзащита», г. Ялта, Украина)

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНЪЕКЦИОННОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ОПОЛЗНЕВЫХ ГРУНТОВ

В статье обоснована система расчетных уравнений для определения технологических параметров инъекционной стабилизации оползневых грунтов, впервые введен критерий повышения устойчивости грунтов, приведен пример расчета параметров стабилизации оползня в Крыму.

Ключевые слова: оползень, стабилизация, методика, параметры, устойчивость.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Одной из самых значительных проблем на южном берегу Крыма является оползнеопасная обстановка большинства участков. Сложность оползней ЮБК заключается во множестве факторов влияющих на их общую и локальную устойчивость. Наиболее важными причинами активизации оползней являются: большие гравитационные силы в сочетании с обводненностью участков, не только строительства, но и прилегающим к ним территориям, как выше, так и ниже; разрушение старых дренажных систем и большие подсечки грунта на период строительства [1].

Механизм оползневого процесса, прежде всего, определяется структурно-тектоническими условиями и литолого-петрографическими характеристиками деформируемых геологических тел. Различия состава и структуры деформирующихся геологических тел предопределяет большое разнообразие их морфологии, масштабов проявления, динамизм и другие существенные характеристики типов оползней [1, 2].

Большое влияние на скорость сползания оказывает изменение свойств пород в зоне смещения под влиянием их увлажнения. Это приводит нередко к тому, что оползневые деформации достигают критических значений [1, 2].

В зависимости от факторов, влияющих на активизацию оползневой системы, рассматриваются методы ее стабилизации. Для предотвращения активизации оползневой системы и ее стабилизации разработаны множество способов и конструктивных решений, которые предусматривают изменения физико-механических свойств оползневой системы [2].

Применяются также инъекционный способ изменения физико-механических свойств грунтов и дренирование склонов при активизации оползня вследствие обводнения [3, 4].

В качестве изменения физико-механических свойств грунтов предусматривается изменение расчетных характеристик грунтового массива. Этого можно добиться методом инъекции в область скольжения цементных растворов, тем самым переводя вязко-пластичные деформации в упруго-жесткие.

На основе комплекса аналитических, экспериментальных и натурных исследований выполнена разработка новой методики инженерного расчета технологических параметров стабилизации оползней методом напорной цементации [3].

Цель работы – обоснование методики проектирования инъекционной стабилизации оползневых грунтов.

Изложение материала и его результаты. Для разработки проектных решений

по стабилизации оползневых процессов методом напорной цементации, необходимы следующие исходные данные:

- инженерно-геологические изыскания на участке проектирования в полной мере удовлетворяющие необходимым требованиям для проектирования геотехнических сооружений;
- топогеодезическая съемка участка проектирования с указанием координат сетки крестов;
- влияние внешних факторов на устойчивость оползневого склона таких как: динамические (сейсмическое воздействие и др.), статические (от существующих и вновь проектируемых зданий и сооружений) нагрузки и воздействия;
- вертикальная планировка (насыпи, выемки, архитектурные решения);
- физико-механические свойства грунтов, полученные после закрепления методом напорной цементации.

Методика проектирования параметров инъекционной стабилизации оползня основана на результатах аналитических и экспериментальных исследований [4].

На основании инженерно-геологических изысканий определяются наиболее опасные сечения, проходящие вдоль оползневого склона, с максимальной мощностью оползневых отложений и влиянием

внешних дополнительных нагрузок и воздействий; определение зоны скольжения.

Расчет коэффициента устойчивости оползневого склона по выбранному сечению выполняется методом Г.М. Шахунянца:

$$k_{уст} = \frac{\sum_{i=1}^{i=m} [N_i \operatorname{tg} \varphi_i + c_i l_i + T_i y \delta]}{\sum_{i=1}^{i=m} T_i c_{\delta \delta} \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}} \quad (1)$$

где N_i – нормальная сила;

T_i – тангенциальная сила;

c_i – сила сцепления;

φ – угол внутреннего трения грунта;

α_i – угол наклона зоны скольжения к

горизонту.

Определение наиболее оптимальной области для закрепления склона методом напорной цементации осуществляется выбором места устройства противооползневых сооружений исходя из условия: $T_{\delta \delta} \approx T_{y \delta}$.

Расчет параметров инъекционной стабилизации оползня цементным раствором основан на инженерно-геологических свойствах грунтов. Последовательность расчета параметров приведена на обобщенной модели (рис. 1).

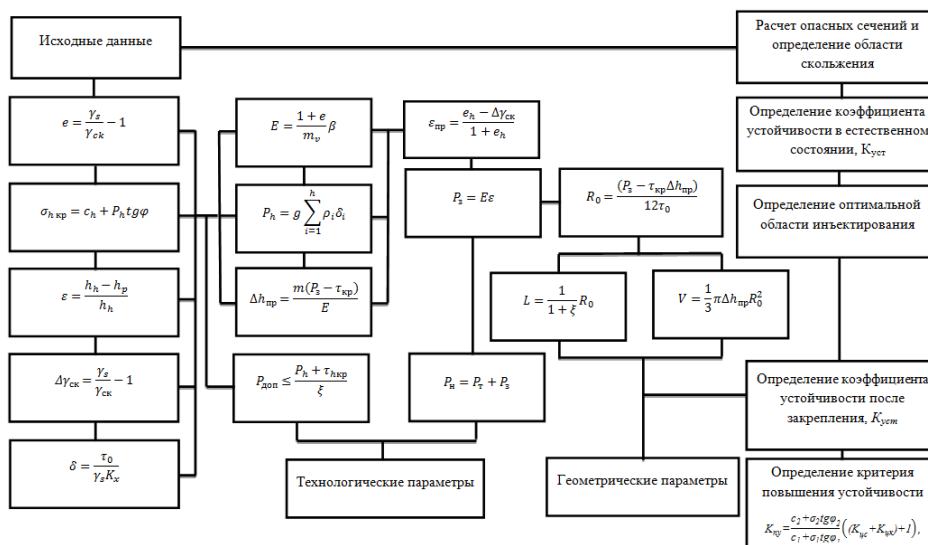


Рисунок 1 – Логико-информационная модель расчета параметров инъекционной стабилизации оползневых склонов методом напорной цементации

В модели обозначено: e – коэффициент пористости;

ρ_s – плотность минеральных частиц грунта, кг/м³;

ρ_d – плотность сухого грунта, кг/м³;

E – модуль общей деформации грунта, МПа;

m_v – коэффициент сжимаемости;

β – безразмерный коэффициент;

ε – относительная сжимаемость;

h_h – высота образца при давлении, соответствующем горному, м;

h_p – высота образца при давлении нагнетания, м.

Определение необходимой степени уплотнения грунта производят исходя из сравнения нормативных и фактических показателей коэффициента пористости и модуля общей деформации. Поскольку целью инъекционной стабилизации является достижение проектной плотности грунта, т.е. достижение проектного $\Delta\gamma_{СК}$, то используются соотношения:

$$\Delta\gamma_{СК} = \gamma_{СК} K_K - 1,$$

$$\varepsilon_{np} = \frac{\Delta\gamma_{СК} - e_h}{1 + e_h},$$

где $\Delta\gamma_{СК}$ – проектное изменение коэффициента пористости;

K_K – коэффициент консолидации;

ε_{np} – проектная относительная сжимаемость;

e – коэффициент пористости.

Давление нагнетания рассчитывается по формуле:

$$P_3 = E\varepsilon. \quad (2)$$

Расчет объемов нагнетания производят исходя из геометрии распространения закрепляющего раствора. Рассчитав максимальное расстояние распространения раствора

$$R_0 = \frac{(P_3 - \tau_{кр})\Delta h_{np}}{12\tau_0}, \quad (3)$$

и расстояние между скважинами с учетом коэффициента запаса

$$L = \frac{1}{1 + \xi} R_0, \quad (4)$$

объем закрепляющего раствора равен:

$$V_1 = \frac{1}{3} \pi \Delta h_{np} R_0^2, \quad (5)$$

$$V_{общ} = k\alpha \sum_{i=1} V_1, \quad (6)$$

где Δh_{np} – максимальная степень уплотнения, м;

k – коэффициент запаса по раствору;

α – коэффициент учета перекрытия зон распространения раствора.

Расчет устойчивости закрепленного оползневого склона методом напорной цементации выполняется с учетом новых физико-механических характеристик полученных по результатам лабораторных испытаний. Таким образом рассчитывается новый коэффициент устойчивости оползневого склона, который должен соответствовать требованиям ДБН В.1.1 – 24:2009.

Определение коэффициента повышения устойчивости закрепленного участка оползневого склона выполняется по формуле:

$$K_{ny} = \frac{c_2 + \sigma_2 \operatorname{tg} \varphi_2}{c_1 + \sigma_1 \operatorname{tg} \varphi_1} ((K_{uc} + K_{ук}) + 1), \quad (7)$$

где $K_{ук}$ – коэффициент, учитывающий условие работы цемента корней;

K_{uc} – коэффициент, учитывающий условие работы цемента скважины.

Рассмотрим применение методики расчета параметров стабилизации оползневого процесса методом напорной цементации в пгт. Ливадия и пгт. Виноградное вдоль участка русла р. Учан-Су ниже по течению от моста между ул. Язуы и Иссарским шоссе в пределах абсолютных отметок от 165 до 187 м (рис. 2).

В инженерно-геологическом строении склон представлен следующими элементами:

- суглинки дресвяные со щебнем песчаника и алевролита (ИГЭ–1);
- суглинки с дресвой и щебнем состоящие из перемятых до состояния суглинка темно-серых аргиллитов и до состояния дресвы (ИГЭ–2);
- аргиллиты темно-серые и зеленовато-серые с прослоями алевролитов и песчаников (ИГЭ–3).

Сводные инженерно-геологические данные с расчетными значениями показателей свойств грунтов приведены в табл. 1.

На основании инженерно-геологических изысканий определяются наиболее опасные сечения, проходящие вдоль оползневого склона с максимальной мощностью оползневых отложений и влиянием внешних дополнительных нагрузок и воздействий (рис. 3).

Расчетные параметры инъекционной стабилизации оползня полученные по вышеприведенной методике даны в табл. 2.

Схема оползневого склона усиленного напорной цементацией приведена на рисунке 4.

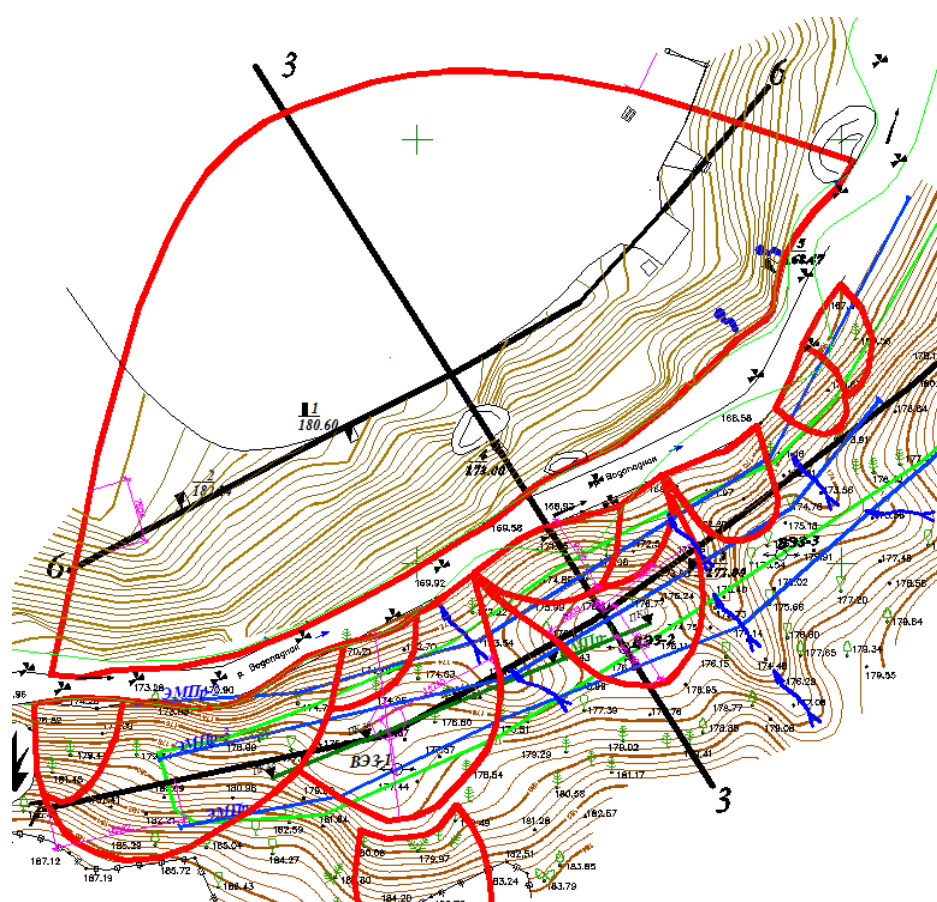
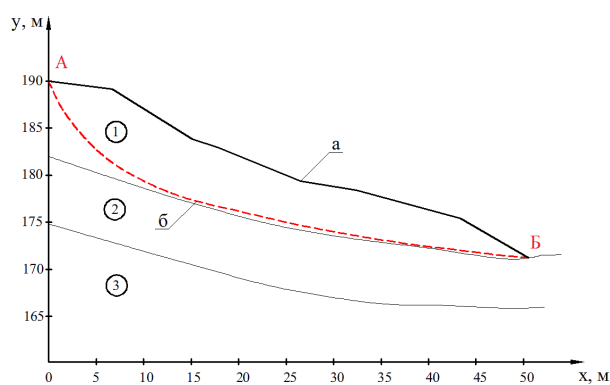


Рисунок 2 – Инженерно-геологическая обстановка и зоны оползней на участке проектирования

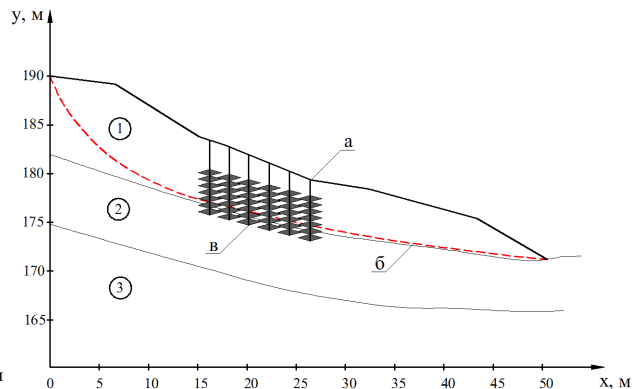
Таблица 1 – Сводная инженерно-геологическая таблица

№ ИГЭ	γ , т/м ³	C, МПа	φ , град.	E, МПа	e	W, %
1	2,15	0,0088	18	29,9	0,468	16,4
2	2,25	0,0330	28	34,1	0,363	10,8
3	2,38	0,0260	32	39,8	0,250	7,2



1 – ИГЭ-1; 2 – ИГЭ-2; 3 – ИГЭ-3; а – поверхность рельефа; б – зона скольжения

Рисунок 3 – Расчетный оползневой склон сечение 3-3



1 – ИГЭ-1; 2 – ИГЭ-2; 3 – ИГЭ-3; а – поверхность естественного рельефа; б – зона скольжения; в – зона инъецирования грунта

Рисунок 4 – Схема оползневого склона усиленного методом напорной цементации

Таблица 2 – Параметры стабилизации оползня

№ п/п	Наименование параметра	Ед. измер.	Значение
1	Коэффициент устойчивости оползневого массива	д.ед.	1,02
2	Оптимальная область для закрепления склона	Блок	№7-10
3	Модуль общей деформации грунта	МПа	29,9
4	Относительная деформация грунта	д.ед.	0,028
5	Изменение коэффициента пористости	д.ед.	0,58
6	Относительная сжимаемость	д.ед.	0,074
7	Давления нагнетания раствора	МПа	2,2
8	Максимальная степень уплотнения	м	0,06
9	Расстояние распространения раствора	м	0,6
10	Расстояние между скважинами	м	1,0
11	Объем закрепляющего раствора из одной скважины	м ³	0,1
12	Шаг инъекционных скважин	м	1,0
13	Коэффициент устойчивости оползневого массива	д.ед.	1,17
14	Мощность зоны скольжения	м	0,01
15	Критерий повышения устойчивости закрепленного участка оползневого склона	д.ед.	1,98

Выводы.

Таким образом, при применении метода напорной цементации достигается стабилизация оползневых процессов, обеспечивается нормативный коэффициент устойчивости, а новая методика проектирования

инъекционной стабилизации оползня обеспечивает полный инженерный расчет технологических параметров. Внедрение разработанной методики будет выполнено при решении противооползневых задач в Крыму.

Библиографический список

1. Рудько Г.И. Оползни и другие геодинамические процессы горноскладчатых областей Украины (Крым, Карпаты) / Г.И. Рудько, И.Ф. Ерыш. – К.: Задруга, 2006. – С. 596-620.
2. Билеуш А.И. Оползни и противооползневые мероприятия / А.И. Билеуш. – К.: Наукова думка, 2009. – 560 с.
3. Должиков П.Н. Стабилизация оползневого процесса методом напорной цементации / П.Н. Должиков, Ю.И. Кобзарь, К.К. Кирияк // Сборник научных трудов ДонГТУ. – Вып. 36. – Алчевск: ДонГТУ, 2012. – 473 с.
4. Інженерний захист та освоєння території: Довідник / [Білеуш А.І., Ніщук В.С., Штекель А.С. та ін.]. – К.: Основа, 2000. – 329 с.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Антощенко Н.И.

Статья поступила в редакцию 27.06.13.

д.т.н. Должиков П.М. (ДонДТУ, м. Алчевськ, Україна),
д.т.н. Кіпко О.Е. (СНУ ім. В. Даля, м. Антрацит, Україна),
к.т.н. Кіріяк К.К. (ЦНТУ «Інжзахист», м. Ялта, Україна)

МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ІН'ЄКЦІЙНОЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ ЗСУВНИХ ҐРУНТІВ

У статті обґрунтовано систему розрахункових рівнянь для визначення технологічних параметрів ін'єкційної стабілізації зсувних ґрунтів, вперше введений критерій підвищення стійкості ґрунтів, наведено приклад розрахунку параметрів стабілізації зсуву в Криму.

Ключові слова: зсув, стабілізація, методика, параметри, стійкість.

Dolzhiikov P.N. (DonSTU, Alchevsk, Ukraine),
Kipko A.E. (VNU them Dahl, Anthracit, Ukraine),
Kirijak K.K. (CSTS «Engprotection», Yalta, Ukraine)

METHODS DESIGN TO STABILIZE LANDSLIDE BY INJECTED

The article substantiated the system of equations for the calculation of process parameters of injection landslide stabilization of soils, first introduced the criterion of increasing soil stability, is an example of calculating the parameters of landslide stabilization in the Crimea.

Key words: landslide, stabilization, methods, parameters, stability.