

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian Journal of Transport Engineering <https://t-s.today>

2021, №2, Том 8 / 2021, N 2, Vol. 8 <https://t-s.today/issue-2-2021.html>

URL: <https://t-s.today/PDF/05SATS221.pdf>

DOI: 10.15862/05SATS221 (<https://doi.org/10.15862/05SATS221>)

## Влияние свободной длины анкеров из трубчатых винтовых штанг на распределение усилий в свайно-анкерных удерживающих сооружениях на автомобильных дорогах

Любарский Н.Н., Лейер Д.В.

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Краснодар, Россия

Автор, ответственный за переписку: Любарский Николай Николаевич, e-mail: [lubarskynikolai@mail.ru](mailto:lubarskynikolai@mail.ru)

**Аннотация.** Для защиты участков автомобильных дорог от оползневых процессов широко применяются свайные удерживающие сооружения. В статье описаны особенности проектирования и расчета свайных удерживающих сооружений, усиленных буроинъекционными анкерами из трубчатых винтовых штанг. Авторами рассмотрены два варианта устройства анкеров данного типа: без свободной длины и с заданной свободной длиной. В программном геотехническом комплексе Plaxis, на основе метода конечных элементов, выполнено математическое моделирование и расчет свайно-анкерного удерживающего сооружения с различной свободной длиной анкеров из трубчатых винтовых штанг для различных типов грунтов. Получены количественные зависимости между свободной длиной анкеров и возникающими усилиями в удерживающем сооружении. Выполненная серия расчетов тестовой схемы показала, что при увеличении свободной длины анкеров в удерживающем сооружении происходит снижение действующих усилий в его несущих элементах за

счет роста горизонтальных перемещений. В статье приведены результаты обследования реального участка автомобильной дороги, на котором подготавливается оползневое смещение, и рассмотрено проектное решение свайно-анкерного удерживающего сооружения для обеспечения его безопасной эксплуатации. Выполненная серия расчетов для различных этапов развития оползневой массы на данном участке, показала, что влияние свободной длины анкеров также в значительной степени зависит от состояния прилегающего к нему грунтового массива. Полученные результаты наглядно показывают, что устройство участка свободной длины для анкеров из трубчатых винтовых штанг позволяет запроектировать более экономически выгодные свайно-анкерные удерживающие сооружения без снижения их надежности.

**Ключевые слова:** автомобильная дорога; оползни; свайно-анкерные сооружения; анкера из трубчатых винтовых штанг; свободная длина анкера

## Effect of the anchors' free length that made of tubular screw rods on the forces distribution in pile-anchor retaining structures on highways

**Nikolai N. Lubarsky, Darya V. Leyer**

Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

**Corresponding author: Nikolai N. Lubarsky, e-mail: lubarskynikolai@mail.ru**

**Abstract.** Pile-supported retaining structures are widely used to protect road sections from landslide processes. The article describes the design and calculation peculiarities of pile-supported retaining structures reinforced with a drill and inject anchors from tubular screw rods. The authors considered two options for this type of anchors setup: without free length and with a pre-set free length. In the software geotechnical complex Plaxis, on the finite element method basis, mathematical modeling and calculation of a pile-supported anchor retaining structure with different free anchors lengths from tubular screw rods for various soils types have been performed. Numerical relationships have been obtained between the anchors' free length and the resulting forces in the retaining structure. The performed calculations series of the test scheme showed that with an increase in the free anchors' length in the retaining structure, there is a decrease in the applied load in its load-bearing

elements due to the horizontal displacements growth. The article presents the survey results of a real road section, on which a landslide displacement is being prepared, and considers a design solution for a pile-supported anchor retaining structure to ensure its safe operation. Performed a series of calculations for various landslide process development stages in this area showed that the effect of the anchors' free length also largely depends on the state of the adjacent soil mass. Obtained results clearly show that the design of a free length section for anchors made of tubular screw rods makes it possible to design more cost-effective pile-supported anchor holding structures without reducing their reliability.

**Keywords:** road; landslides; pile-supported anchor structures; anchor made of tubular screw rods free length of the anchor

Данная статья доступна по лицензии Creative Commons “Attribution” («Атрибуция») 4.0 Всемирная

This article is available under the Creative Commons “Attribution” 4.0 Global License



## Введение

### Introduction

На участках автомобильных дорог свайные сооружения являются одним из наиболее эффективных решений для удержания оползневых масс, значительной мощности, как с позиции финансовых затрат, так и с точки зрения технологичности выполнения работ [1–7]. Конструкция данных сооружений хорошо сочетается с другими мероприятиями, которые позволяют уменьшить размеры и количество свай, а также снизить общую стоимость строительства [8]. Наиболее часто встречаются решения по их усилению грунтовыми анкерами, которые позволяют снизить усилия, возникающих в сваях, а также уменьшить горизонтальные деформации [9–10]. Существуют различные виды грунтовых анкеров: стержневые, прядевые, канатные и др., но в последние годы для инженерной защиты на автомобильных дорогах наиболее широко применяются буроинъекционные анкера из трубчатых винтовых штанг.

## Особенности проектирования и расчета свайных удерживающих сооружений, усиленных анкерами из трубчатых винтовых штанг

### Peculiarities of the pile-supported retaining structures design and calculation reinforced with anchors from tubular screw rods

Работа удерживающих сооружений в первую очередь связана с необходимостью воспринимать значительные горизонтальные нагрузки от давления грунта. Величина этого давления зависит не только от физико-механических свойств прилегающего грунтового массива, но и от податливости самого сооружения [11–13].

В свайно-анкерном удерживающем сооружении жесткость свай определяется их диаметром и классом бетона, а жесткость анкеров определяется площадью сечения и упругостью стали штанги, диаметром буровой коронки, а также их свободной длиной.

В общепринятом понимании свободная длина анкера — это часть анкера, расположенная от точки крепления на удерживающем сооружении до точки защемления его в грунте. Соответственно, чем больше свободная длина анкера, тем он податливее. В буроинъекционных анкерах из трубчатых винтовых штанг отсутствует ярко выраженный свободный участок, так как они способны передавать нагрузку на грунт по всей своей длине. Тем не менее, данный вид анкеров все же обладает эффективной свободной длиной, так как под прикладываемой нагрузкой прилегающий грунт будет деформироваться.

Согласно нормативным документам, таким как СП 381.1325800.2018<sup>1</sup> и СП 248.1325800.2016<sup>2</sup> при проектировании удерживающих сооружений грунтовый массив за сооружением в общем случае рассматривается как клин обрушения. В соответствии с этим, для обеспечения требуемой надежности, при определении несущей способности анкера, его заделка в расчетной схеме определяется участком, расположенным за границей данного клина. Однако в реальности, после устройства удерживающего сооружения, потенциально оползневой массив грунта переходит в устойчивое состояние, и становится способен воспринимать внешние нагрузки. Поэтому в случае буроинъекционного анкера из трубчатых винтовых штанг его фактическая точка защемления будет смещена ближе к оголовку и тем самым будет увеличена общая жесткость всего сооружения. Для данного вида анкеров также существует способ назначить свободную длину «принудительно», путем устройства дополнительной гладкой оболочки в виде пластиковой трубки заданной длины, которая исключает сцепление между бетонной поверхностью и прилегающим грунтом.

Для сооружений инженерной защиты СП 381.1325800.2018 допускает применять грунтовые анкера, как со свободной длиной, так и без нее. Тем не менее, в современной отечественной нормативно-технической литературе отсутствуют рекомендации по подбору свободной длины для буроинъекционных анкеров из трубчатых винтовых штанг [14].

При этом следует учитывать, что удерживающие сооружения на автомобильных дорогах имеют не столь строгие ограничения по максимальным деформациям, как например, подпорные стены котлованов на застроенной городской территории, перемещения которых связаны с осадкой прилегающих зданий [15].

## **Математическое моделирование влияния свободной длины анкера на распределение усилий в свайно-анкерных удерживающих сооружениях**

### **Mathematical modeling of the anchor free length influence on the force distribution in the pile-anchor restraining structures**

Для оценки влияния свободной длины буроинъекционных анкеров из трубчатых винтовых штанг на распределение усилий в элементах свайно-анкерного удерживающего сооружения выполнено моделирование

---

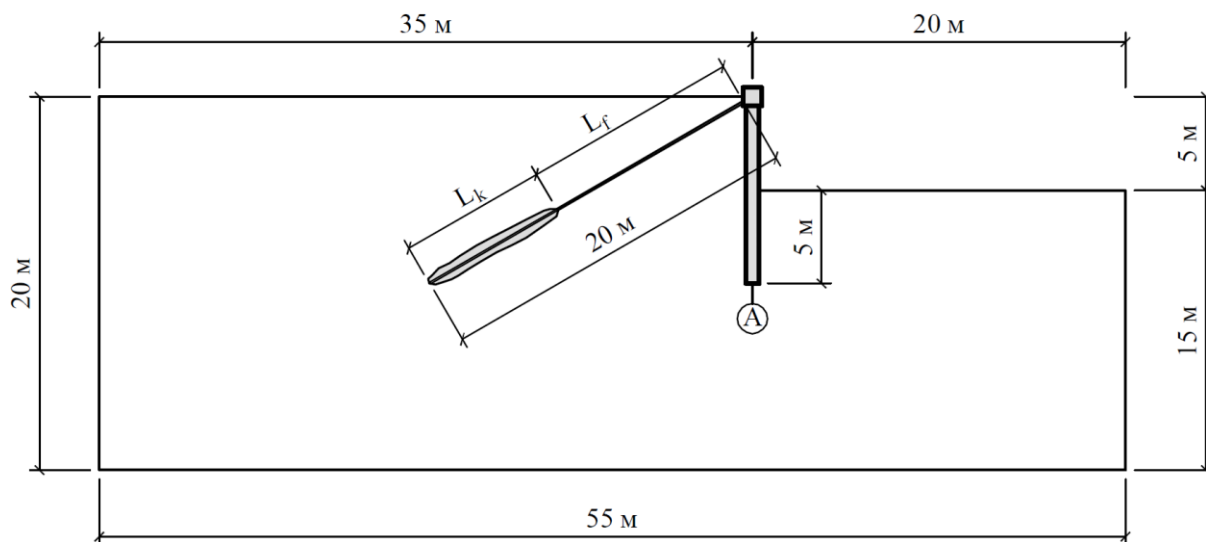
<sup>1</sup> СП 381.1325800.2018 Сооружения подпорные. Правила проектирования. — М.: институт АО «НИЦ «Строительство», 2018. — 109 с.

<sup>2</sup> СП 248.1325800.2016 Сооружения подземные. Правила проектирования. — М.: институт АО «НИЦ «Строительство», 2016. — 112 с.

данного вида конструкций в геотехническом расчетном комплексе Plaxis. Для этого рассмотрена расчётная модель, которая представляет собой фрагмент грунтового массива длиной 55 м и мощностью 20 м (рисунок 1). Диаметр свай принят равным 1,0 м, а их шаг поперек расчетной схемы — 2,0 м. Рассмотрены анкера из трубчатых винтовых штанг с размерами: 30/16, 40/20, 52/26, 73/53 и 103/51 (внешний диаметр штанги / внутренний диаметр штанги, в мм). Длина анкеров принята 20 м, а их шаг назначен, аналогично шагу свай — 2,0 м.

Для моделирования свай удерживающего сооружения, используются элементы «plate». Моделирование корня анкера выполняется с помощью элементов «geogrid». А участок свободной длины анкера, который считается расположенным в пластиковой трубке, моделируется элементом «node-to-node anchor». Принятые жесткости анкерных и свайных элементов представлены в таблице 1.

Для расчетов выбрано два типа грунта: глинистый, в котором преобладают силы сцепления, и песчаный, с более высоким значением угла внутреннего трения. Принятые расчетные физико-механические характеристики представлены в таблице 2.



$L_f$  — свободная длина анкера; корня  $L_k$  — корень анкера

**Рисунок 1.** Геометрические параметры принятой расчетной схемы (разработано автором)

$L_f$  — anchor free length; root  $L_k$  — anchor root

**Figure 1.** Geometric parameters of the established design scheme (developed by the author)

Таблица 1 / Table 1

**Жесткости элементов свайно-анкерного удерживающего сооружения**  
**Elements stiffnesses of the pile-supported anchor restraining structure**

Параметр / Parameter	Типоразмер анкера (внешний диаметр штанги / внутренний диаметр штанги, в мм) Standard anchor size (outer rod diameter / inner rod diameter, mm)				
	30/16	40/20	52/26	73/53	103/51
Диаметр корня анкера, мм Anchor root diameter, mm	75	110	130	130	280
Площадь сечения корня анкера, м <sup>2</sup> Anchor root cross-section area, m <sup>2</sup>	0,004	0,009	0,012	0,030	0,056
Нормальная жесткость анкера с учетом их шага, МПа·м <sup>2</sup> Normal anchor stiffness, with the anchor pitch account, MPa m <sup>2</sup>	76	164	244	492	1124
Изгибная жесткость свай с учетом их шага, МПа·м <sup>3</sup> Bending pile-supported stiffness with the pile-supported pitch account, MPa m <sup>3</sup>	589	589	589	589	589
Нормальная жесткость свай с учетом шага, МПа·м Normal pile-supported stiffness with the pitch account, MPa m	9424	9424	9424	9424	9424

*Разработано автором / Developed by the author*

Таблица 2 / Table 2

**Расчетные значения физико-механических характеристик грунтов**  
**Physical and mechanical calculated values of soils characteristics**

Параметр / Parameter	Тип грунта / Soil type	
	Глинистый / Clayey	Песчаный / Sandy
Удельный вес, кН/м <sup>3</sup> Specific weight, kN/m <sup>3</sup>	18	18
Модуль деформации, МПа Deformation modulus, MPa	15	30
Poisson's ratio, decimal quantity	0,3	0,3
Сцепление, кПа Grip, kPa	30	5
Угол внутреннего трения, град. Internal friction angle, degrees	10	30

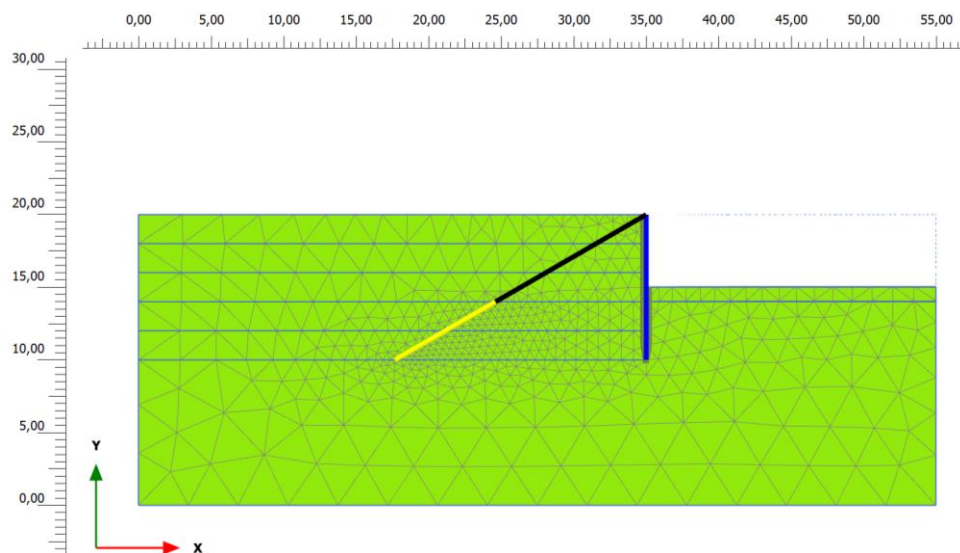
*Разработано автором / Developed by the author*

Для оценки изменения напряженно-деформированного состояния удерживающего сооружения рассмотрены различные случаи соотношения свободной длины анкера  $L_f$ , к длине его корня  $L_k$ : от ситуации, когда «проектная» свободная длина полностью отсутствует ( $L_f = 0$  м), до случая, когда свободная длина составляет 80 % от всей длины анкера ( $L_f = 16$  м).

Этапность расчетов включает в себя: расчет начальных напряжений при горизонтальном залегании грунта, устройство удерживающего сооружения и выемку грунта перед сооружением.

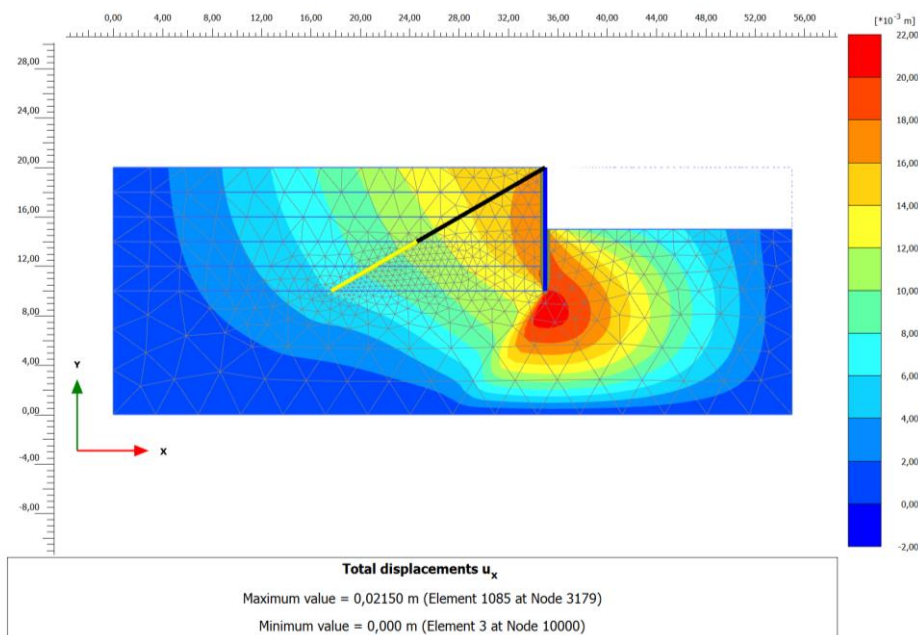
Поведение грунта описывается моделью Мора-Кулона, который не позволяет разделять ветви нагружения и разгрузки. Поэтому, так как на этапе выемки грунт перед сооружением будет стремиться «подняться» вверх, то для более корректного моделирования модуль деформации грунта с правой стороны от сооружения повышен в 5 раз.

Расчетная схема с сеткой конечных элементов и результаты расчетов удерживающего сооружения, усиленного анкером 30/16 со свободной длиной 12 м, в глинистом грунте представлены на рисунках 2–5. Сводные результаты вычислений представлены в таблицах 3 и 4, а также на рисунках 6–11.



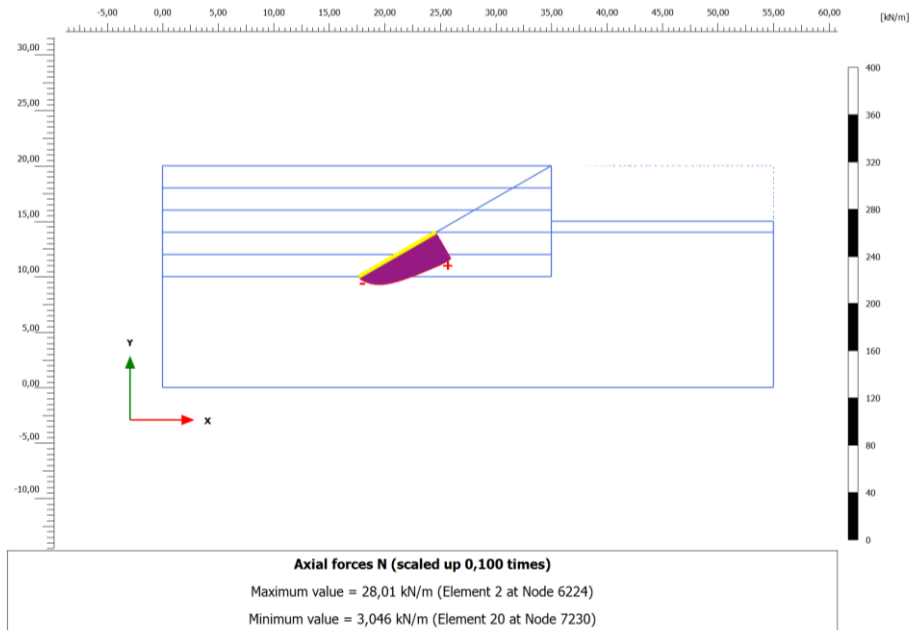
**Рисунок 2.** Расчетная схема с сеткой конечных элементов для удерживающего сооружения, усиленного анкером 30/16 со свободной длиной 12 м, в глинистом грунте (разработано автором)

**Figure 2.** Design model with a finite element grid for a retaining structure reinforced with a 30/16 anchor with a free length of 12 m, in clay soil (developed by the author)



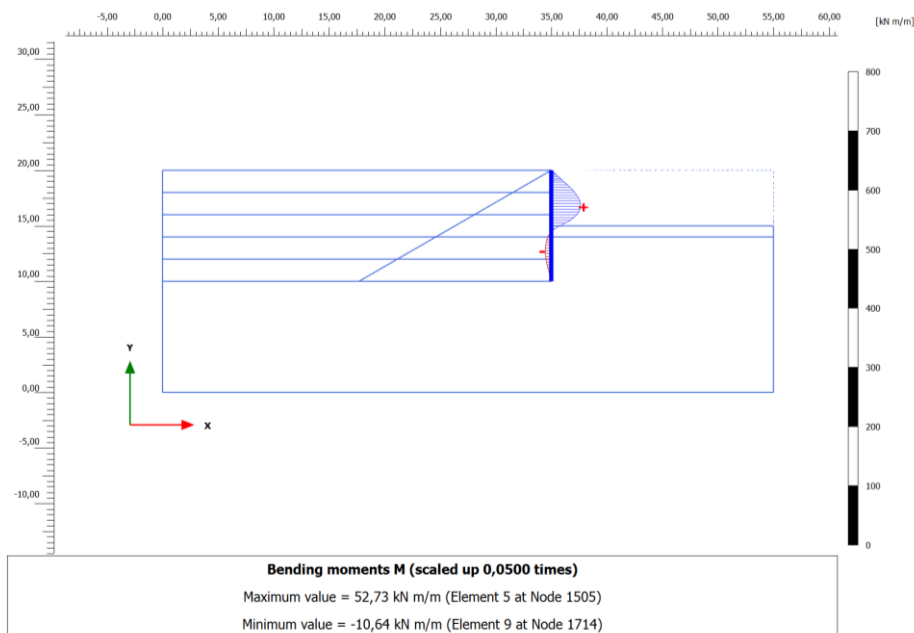
**Рисунок 3.** Деформации расчетной схемы в горизонтальном направлении (разработано автором)

**Figure 3.** Design model deformations in the horizontal direction (developed by the author)



**Рисунок 4.** Эпюра растягивающих усилий в анкере 30/16 со свободной длиной 12 м. С учетом шага анкеров 2,0 м максимальное растягивающее усилие составляет  $N_{max} = 56,0$  кН (разработано автором)

**Figure 4.** Stretching stress epure within the anchor 30/16 with a free length of 12 m. With the anchor 2.0 m pitch account, the maximum tensile force is  $N_{max} = 56.0$  kN (developed by the author)



**Рисунок 5.** Эпюра изгибающих моментов в свае. С учетом шага свай 2,0 м максимальный изгибающий момент составляет  $M_{max} = 105,5$  кН·м (разработано автором)

**Figure 5.** Bending moments epure in a pile. With the pile 2.0 m spacing account, the maximum moment of flexion is  $M_{max} = 105.5$  kN m (developed by the author)



Таблица 3 / Table 3

Результаты расчетов свайно-анкерных удерживающих сооружений с различной свободной длиной анкера в глинистом грунте

Pile-supported anchor restraining structures calculation results with different free anchor lengths in clay soil

Типоразмер анкера Anchor standard size	Свободная длина анкера, м Anchor free length, m	Максимальное усилие в анкере, кН Maximum anchor force, kN	Максимальный изгибающий момент в свае, кН·м Maximum moment of flexion within a pile, kN m	Горизонтальные перемещения сооружения, мм Horizontal displacement of the structure, mm
30/16	0	81,8	139,4	15,1
	4	75,6	114,6	15,8
	8	67,9	107,4	16,2
	12	56,0	105,5	16,4
	16	47,6	104,6	16,5
40/20	0	97,2	160,6	13,2
	4	94,4	138,0	14,0
	8	90,0	132,8	14,5
	12	81,0	130,2	15,0
	16	69,2	128,8	15,2
52/26	0	112,0	167,0	12,5
	4	108,6	151,8	13,3
	8	103,6	146,7	13,8
	12	93,8	143,9	14,1
	16	80,6	140,8	14,3
73/53	0	122,6	171,4	12,0
	4	121,2	160,7	12,5
	8	115,2	155,6	12,9
	12	105,2	153,4	13,2
	16	91,4	151,8	13,4
103/51	0	129,0	175,6	11,8
	4	127,2	167,4	12,2
	8	121,4	163,4	12,4
	12	113,2	162,2	12,6
	16	99,8	160,6	12,8

Разработано автором / Developed by the author

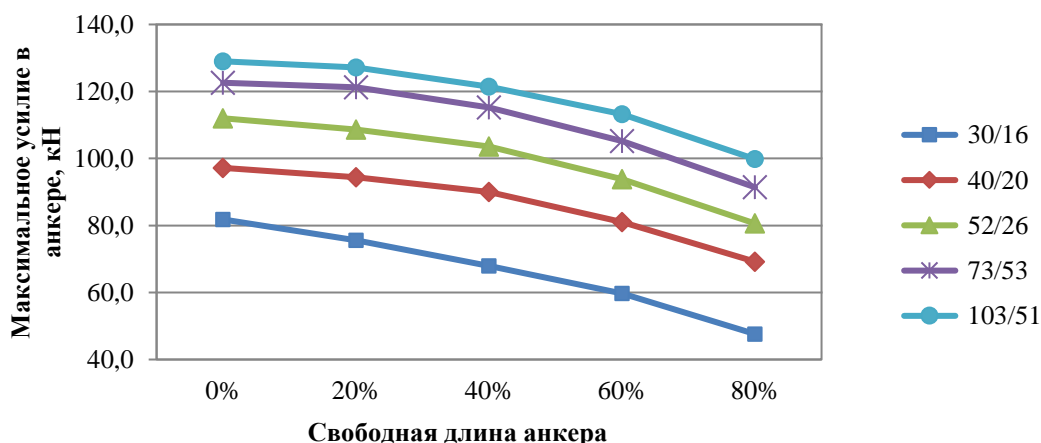
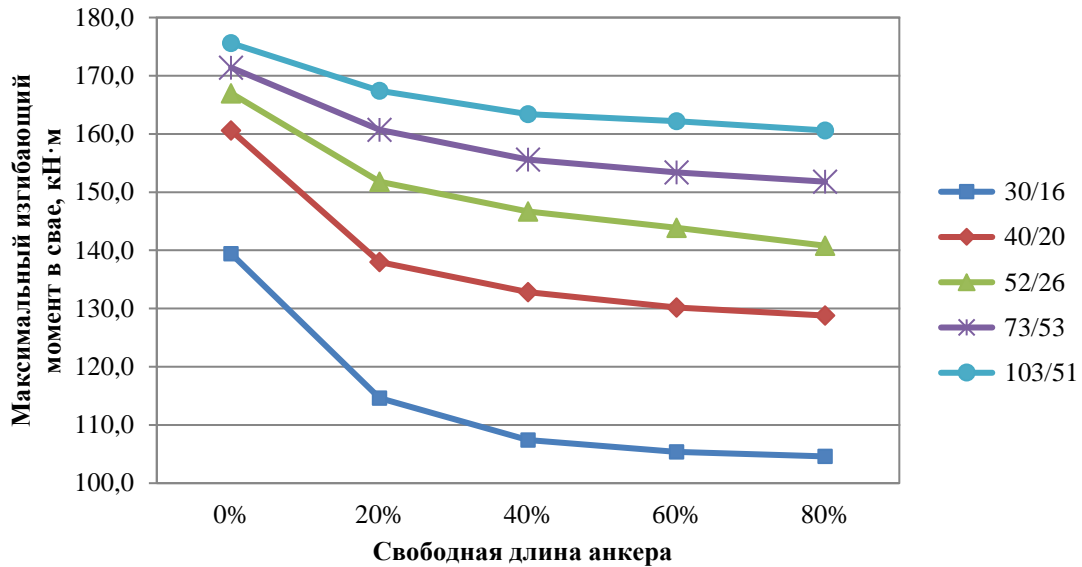


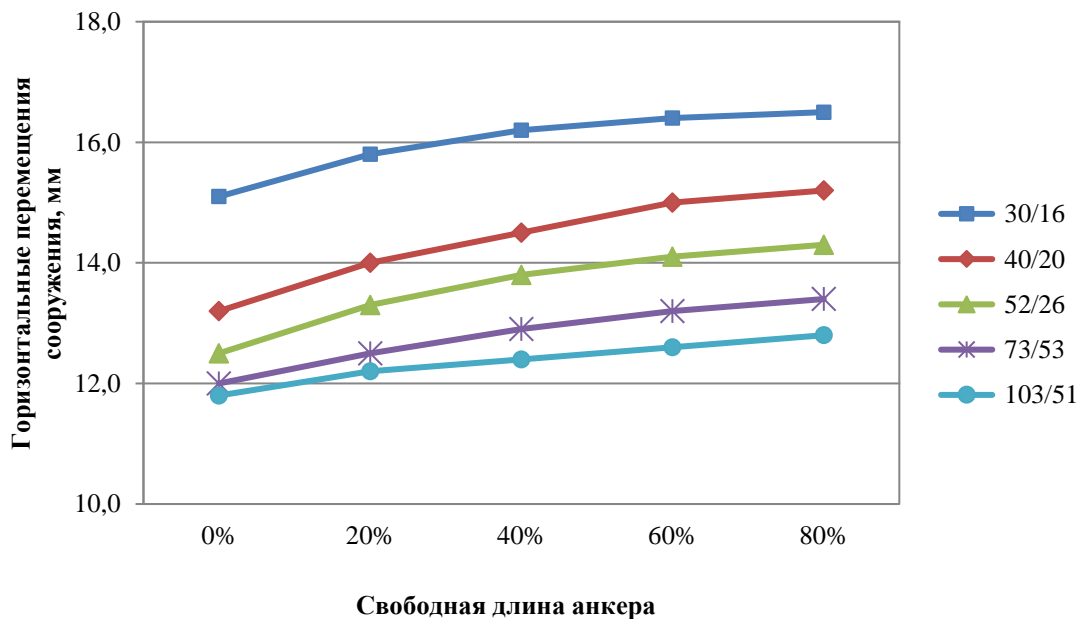
Рисунок 6. Уменьшение максимальных усилий в анкере в зависимости от увеличения его свободной длины в глинистом грунте (разработано автором)

Figure 6. Decrease in maximum anchor forces depending on the increase in its free length in clay soil (developed by the author)



**Рисунок 7.** Уменьшение максимального изгибающего моментов в свае в зависимости от увеличения свободной длины анкера в глинистом грунте (разработано автором)

**Figure 7.** Reduction of the maximum moment of flexion in the pile depending on the increase in the free anchor length in clay soil (developed by the author)



**Рисунок 8.** Увеличение горизонтальных перемещений сооружения в зависимости от увеличения свободной длины анкера в глинистом грунте (разработано автором)

**Figure 8.** Increase in structure's horizontal displacements depending on the increase in the free anchor length in clay soil (developed by the author)

Таблица 4 / Table 4

Результаты расчетов свайно-анкерных удерживающих сооружений с различной свободной длиной анкера в песчаном грунте

Pile-supported anchor restraining structures calculation results with different free anchor lengths in sandy soil

Типоразмер анкера Anchor standard size	Свободная длина анкера, м Anchor free length, m	Максимальное усилие в анкере, кН Maximum anchor force, kN	Максимальный изгибающий момент в свае, кН·м Maximum moment of flexion within a pile, kN m	Горизонтальные перемещения сооружения, мм Horizontal displacement of the structure, mm
30/16	0	65,2	77,4	6,6
	4	58,6	66,4	7,0
	8	50,1	62,0	7,3
	12	40,8	59,6	7,5
	16	30,0	59,4	7,6
40/20	0	88,0	93,4	5,6
	4	80,6	83,9	5,9
	8	73,4	79,1	6,1
	12	62,2	77,9	6,3
	16	53,0	76,5	6,5
52/26	0	107,2	103,9	4,8
	4	101,3	94,8	5,2
	8	94,1	91,2	5,5
	12	83,4	89,5	5,6
	16	73,2	87,4	5,7
73/53	0	125,2	113,4	4,0
	4	120,3	103,4	4,4
	8	113,2	99,7	4,6
	12	104,4	97,9	4,8
	16	92,1	96,5	4,9
103/51	0	143,0	121,0	3,4
	4	138,2	112,0	3,7
	8	129,8	108,5	3,9
	12	120,2	106,6	4,1
	16	105,8	105,1	4,2

Разработано автором / Developed by the author

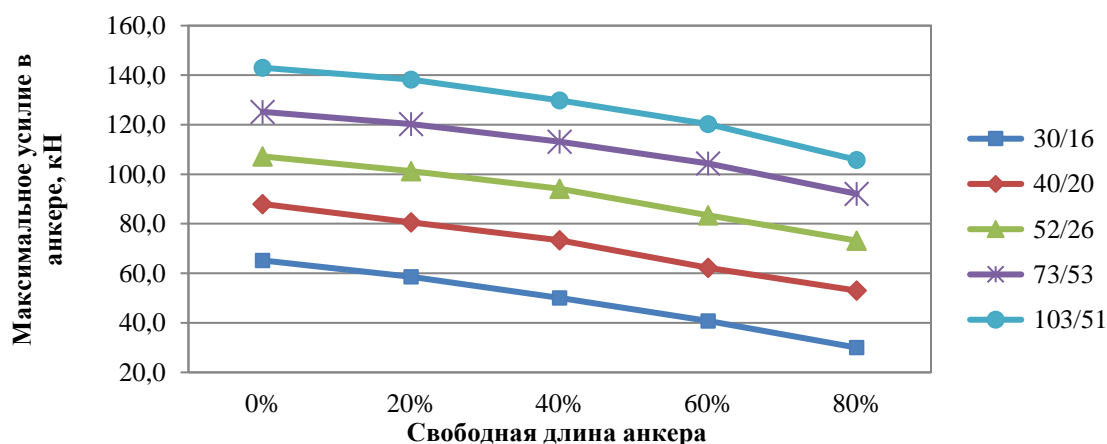
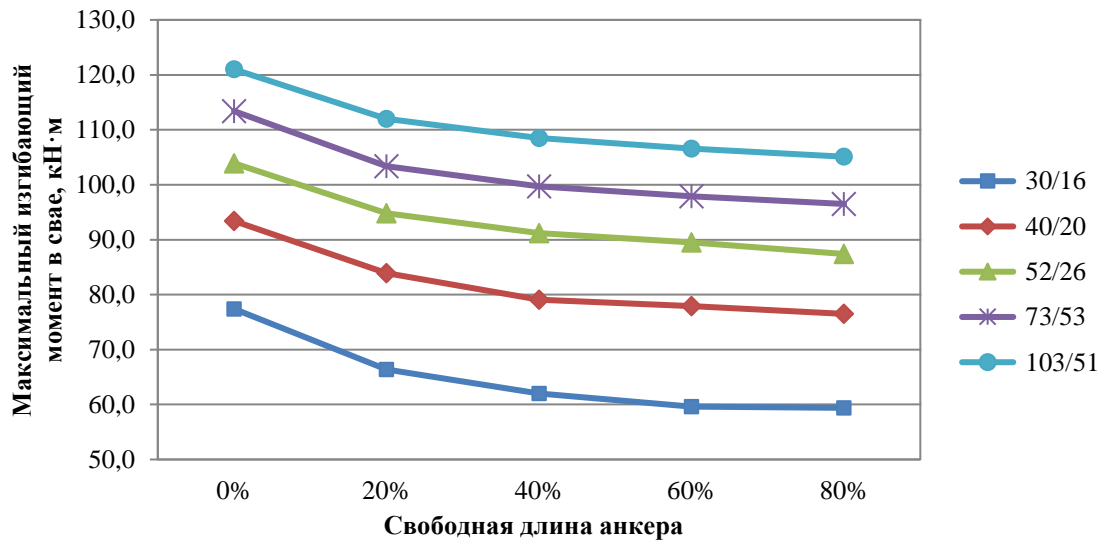


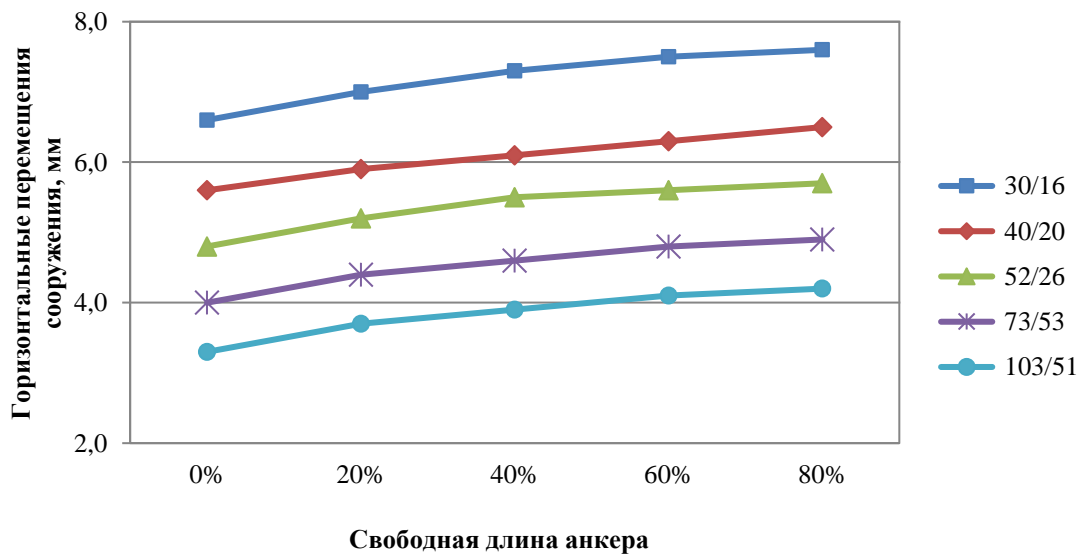
Рисунок 9. Уменьшение максимальных усилий в анкере в зависимости от увеличения его свободной длины в песчаном грунте (разработано автором)

Figure 9. Decrease in maximum forces in the anchor depending on the increase in its free length in sandy soil (developed by the author)



**Рисунок 10.** Уменьшение максимального изгибающего моментов в свае в зависимости от увеличения свободной длины анкера в песчаном грунте (разработано автором)

**Figure 10.** Maximum moment of flexion decrease in the pile depending on the increase in the free anchor length in sandy soil (developed by the author)



**Рисунок 11.** Увеличение горизонтальных перемещений сооружения в зависимости от увеличения свободной длины анкера в песчаном грунте (разработано автором)

**Figure 11.** Increase in structure's horizontal displacements depending on the increase in the free anchor length in sandy soil (developed by the author)

Полученные результаты показывают, что для рассмотренной расчетной схемы при увеличении свободной длины анкера с 0 % до 80 % от его общей длины горизонтальные перемещения сооружения вырастают на 12,5–23,5 %, но при этом момент в сваях снижается на 23,3–25,0 %, а усилие в анкере падает на 41,8–54,0 %. То есть, при увеличении свободной длины анкера и снижении его жесткости будут расти деформации удерживающего сооружения, а усилия в его несущих элементах будут снижаться.

## Практический пример влияния свободной длины анкера на распределение усилий в свайно-анкерных удерживающих сооружениях

### A practical example of the anchor free length influence on the force distribution in pile-supported anchor restraining structures

В качестве практического примера влияния свободной длины буроинъекционных анкеров из трубчатых винтовых штанг на распределение усилий в элементах свайно-анкерного удерживающего сооружения рассмотрим оползневой участок, расположенный на км 43+064 — км 43+107 автомобильной дороги А-159 Майкоп — Гузерипль, рядом с поселком Каменноостский.

В ходе проведенного обследования участка на его низовом склоне выявлено развитие оползневого процесса, приведшее к появлению просадочных трещин до 50 мм на проезжей части (рисунок 12). В рамках выполненных инженерно-геологических изысканий установлено, что оползневой процесс вызван образованием ослабленной прослойки глинистых грунтов на границе контакта с коренными породами, вследствие их регулярного замачивания. Более подробное описание оползневого процесса приведено в таблице 5.



*Рисунок 12. Деформации проезжей части на участке автомобильной дороги А-159 Майкоп — Гузерипль, км 43+064 — км 43+107 (разработано автором)*

*Figure 12. Deformations of the carriageway on the highway A-159 Майкоп — Guzeripl section, km 43+064 — km 43+107 (developed by the author)*

Таблица 5 / Table 5

**Характеристика оползневого процесса на участке  
автомобильной дороги А-159 Майкоп — Гузерипль, км 43+064 — км 43+107**

**Landslide process characteristic on the highway  
A-159 Maykop — Guzeriply section, km 43+064 — km 43+107**

Характеристика Characteristic	Описание Description
Тип оползня Landslide type	оползень сдвига landslide shear
Подтип Subtype	консеквентный (соскальзывающий) consequent (sliding)
Характер проявления The nature of the manifestation	смещения масс грунта по поверхности ослабления soil mass displacement along the weakening surface
По фазам развития By development phases	начальный период проявления (образование трещин растяжения в асфальте, оседание поверхности с образованием западин) the initial period of manifestation (the formation of the tensile crack in the asphalt, surface subsidence with the formation of the depression)
Ширина оползня Landslide width	43 м 43 m
Глубина захвата Capture depth	4,5–5,0 м 4.5–5.0 m
По форме в плане By shape in the plan	языкообразный linguiform
Породы основного деформируемого горизонта Basic rocks deformable horizon	суглинок тяжелый щебенистый полутвердый с отдельными глыбами песчаника и известняка a heavy gravelly semi-hard loam with separate sandstone and limestone blocks
Состояние поверхности оползневого тела Landslide body surface condition	тело оползня покрыто травянистой и кустарниковой растительностью the landslide body is covered with herbaceous and shrubby vegetation

*Разработано автором / Developed by the author*

На рассматриваемом участке выделены следующие стратиграфо-генетические комплексы:

- техногенные грунты, представленные галечниковым грунтом с твердым серым песчаным заполнителем, малой степени водонасыщения ИГЭ-1 (инженерно-геологический элемент);
- комплекс элювиально-делювиальных отложений, представленный суглинком тяжелым щебенистым полутвердым с отдельными глыбами песчаника и известняка ИГЭ-2;
- комплекс оползневых отложений, представленный суглинком тяжелым щебенистым полутвердым с отдельными глыбами песчаника и известняка ИГЭ-3;
- комплекс среднетриасовых отложений Даховской свиты, представленный аргиллитом малопрочным плотным ИГЭ-4.

Расчетные физико-механические характеристики грунтов оползневого участка приведены в таблице 6, а его геологический разрез представлен на рисунке 13.

Таблица 6 / Table 6

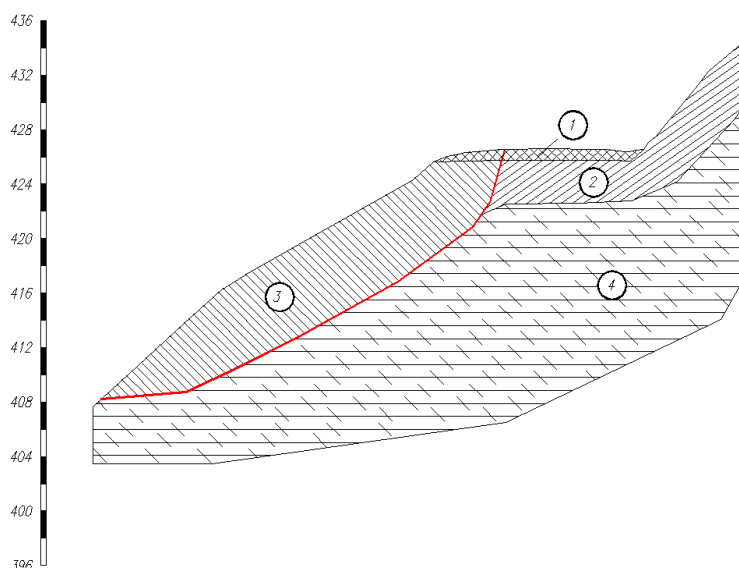
Расчетные значения физико-механических характеристик грунтов оползневого участка

Physical and mechanical characteristics calculated values of the landslide area soils

Параметр Parameter	ИГЭ-1 Щебенистый грунт Engineering- geologic element-1 Crushed plant soil	ИГЭ-2 Суглинок полутвердый Engineering- geologic element-2 Semisolid loam	ИГЭ-3 Суглинок полутвердый Engineering- geologic element-3 Semisolid loam	ИГЭ-4 Аргиллит малопрочный Engineering- geologic element-4 Low-strength argillite
Удельный вес, кН/м <sup>3</sup> Specific weight, kN/m <sup>3</sup>	20,0	20,6	20,7	24,0
Сцепление в природном состоянии, кПа Natural adhesion, kPa	7,0	41,9	15,0	–
Угол внутреннего трения в природном состоянии, град. Internal friction angle in a natural state, deg.	28,2	34,0	29,0	–
Сцепление при испытаниях с подготовленной поверхностью, кПа Adhesion during tests with a prepared surface, kPa	–	–	6,0	–
Угол внутреннего трения при испытаниях с подготовленной поверхностью, град. Internal friction angle during tests with a prepared surface, deg.	–	–	12,0	–
Модуль деформации, МПа Deformation modulus, MPa	18,0	15,9	17,2	40,0
Коэффициент поперечной деформации, д. е. Lateral deformation coefficient, decimal quantity	0,30	0,30	0,30	0,25
Предел прочности на одноосное сжатие МПа Tensile strength in uniaxial compression MPa	–	–	–	6,8
Параметр ненарушенной породы Parameter undisturbed rock	–	–	–	4
Геологический индекс прочности Geological strength index	–	–	–	25
Коэффициент нарушенности скального массива The coefficient of rock mass disturbance	–	–	–	0

*Разработано автором / Developed by the author*

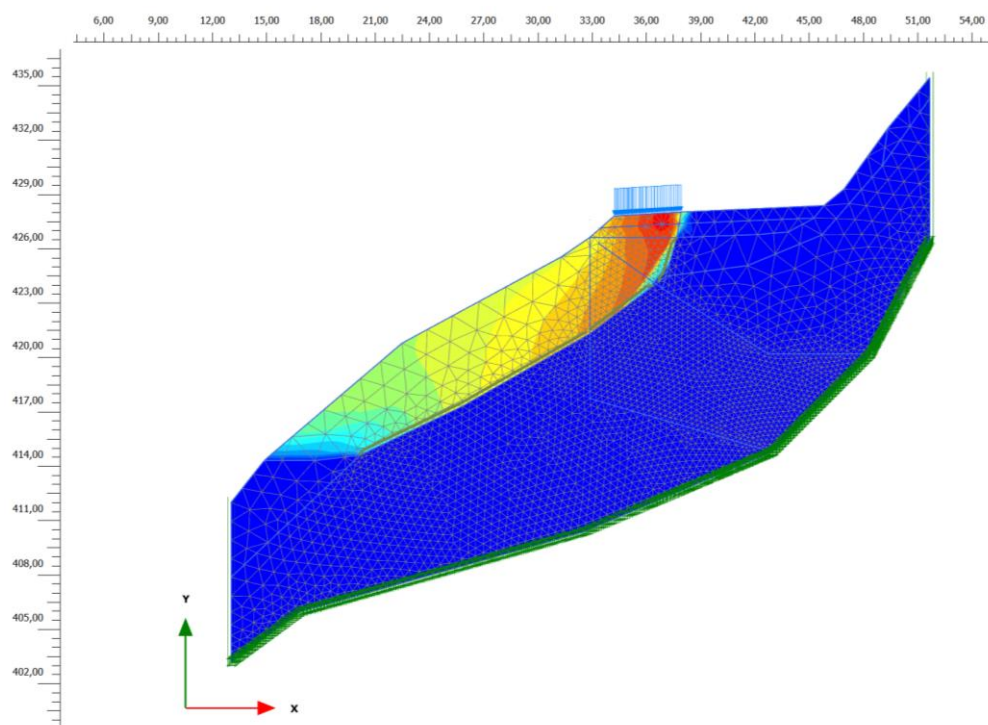
Расчеты оползневого склона выполнены в программном комплексе Plaxis. Для описания работы дисперсных грунтов использована модель Кулона-Мора, так как для нее имеется наиболее полный набор необходимых данных. Ослабленная прослойка в грунте ИГЭ-3 моделируется элементом «interface», которому заданы прочностные характеристики, полученные при испытаниях с подготовленной поверхностью (испытания «плашка по плашке»).



**Рисунок 13.** Геологический разрез оползневого участка (разработано автором)

**Figure 13.** Geological landslide area section (developed by the author)

Так как поведение скальных грунтов в значительной степени отличается от поведения дисперсных грунтов, то для грунта ИГЭ-4 использована модель Хека-Брауна, которая на сегодняшний момент является одной из лучших аппроксимаций прочности скальных пород.



**Рисунок 14.** Результаты расчета устойчивости оползневого склона в естественном состоянии. Коэффициент устойчивости  $k_{st} \approx 1,0$  (разработано автором)

**Figure 14.** Calculation results of the landslide slope stability in a natural state. Stability coefficient  $k_{st} \approx 1.0$  (developed by the author)



Расчет склона в естественном состоянии показал, что оползневое тело имеет устойчивость близкую к единице, то есть он находится в состоянии предельного равновесия (рисунок 14).

Для обеспечения безопасной эксплуатации участка автомобильной дороги предлагается устройство в головной части оползня низового удерживающего сооружения ПС-1 (противооползневое сооружение). Сооружение представляет собой конструкцию из буронабивных свай, диаметром 750 мм, длиной 8 м, с шагом 2,5 м. Сваи объединены монолитным железобетонным ростверком, на котором устраивается стена высотой до 1,0 м. Удерживающее сооружение усилено буронабивными анкерами из винтовых штанг диаметр 52 мм и длиной 12 м. Расчетные параметры несущих элементов удерживающего сооружения ПС-1 приведены в таблице 7.

Таблица 7 / Table 7

Расчетные параметры удерживающего сооружения ПС-1

Landslide protection structures-1 restraining structure estimated parameters

Параметр / Parameter	Величина / The quantity
Диаметр свай, мм / Pile diameter, mm	750
Количество рядов свай / Number of pile rows	1
Шаг свай, м / Pile pitch, m	2,5
Ширина ростверка, мм / Grillage width, mm	1150
Толщина стены, мм / Wall thickness, mm	300
Класс бетона / Concrete class	B25
Класс продольной арматуры / Longitudinal reinforcement class	A400
Продольное армирование свай / Longitudinal piles reinforcement	12Ø32
Нормальная жесткость: / Normal hardness:	
сваи с учетом их шага, кН·м <sup>2</sup> / piles, with the account their pitch, kN m <sup>2</sup>	4,2E+06
анкера с учетом их шага, кПа·м <sup>2</sup> / anchor, with the account their pitch, kPa m <sup>2</sup>	0,2E +06
ростверка, кНм <sup>2</sup> /м / grillage, kNm <sup>2</sup> /m	27,6E+06
подпорной стены, кНм <sup>2</sup> /м / retaining wall, kNm <sup>2</sup> / m	7,2E+06
Изгибная жесткость: / Bending stiffness:	
сваи с учетом их шага, кН·м <sup>2</sup> / piles, taking into account their pitch, kN m <sup>2</sup>	0,1E+06
ростверка, кНм <sup>2</sup> /м / grillage, kNm <sup>2</sup> /m	3,0E+06
подпорной стены, кНм <sup>2</sup> /м / retaining wall, kNm <sup>2</sup> /m	0,1E+06
Вес элемента длиной 1 м: / Weight of 1 m element:	
сваи с учетом их шага, кН/м / piles, taking into account their pitch, kN/m	4,1
ростверка, кН/м / grillage, kN/m	26,5
подпорной стены, кН/м / retaining wall, kN/m	6,9
Типоразмер анкера, мм / Anchor standard size, mm	52/26
Длина анкеров, м / Anchor length, m	12
Количество ярусов анкеров / Number of anchors tiers	1
Шаг анкеров, м / Anchor pitch, m	2,5
Угол наклона анкеров к горизонту, град. / The inclination angle of anchors to the horizon, deg.	30
Диаметр буровой коронки анкеров, мм / Anchor drill bit diameter, mm	130

Разработано автором / Developed by the author

Рассмотрены два варианта устройства анкера:

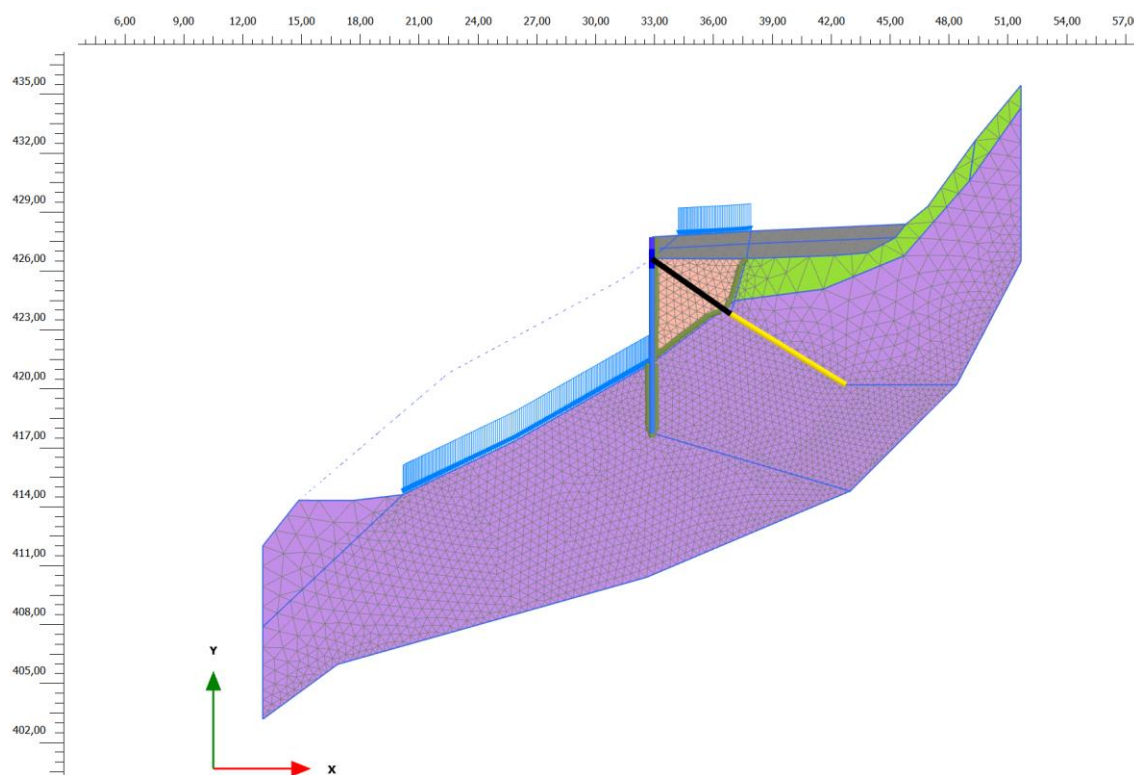
- без дополнительной пластиковой трубки. В этом случае заданная свободная длина анкера отсутствует (0 м) и он взаимодействует с прилегающим грунтом по всей поверхности;
- с устройством дополнительной пластиковой трубки длиной 5 м (что составляет  $\approx 40\%$  от общей длины анкера), которая исключает его взаимодействие с прилегающим грунтом оползневого массива.

Также рассмотрено несколько расчетных ситуаций, в которых характеристики грунта ИГЭ-3 изменяются в зависимости от стадии развития оползневого процесса:

- расчетная ситуация №1: до начала развития оползневого процесса. В этом случае всему массиву грунта ИГЭ-3, слагающему оползневое тело, заданы прочностные характеристики, полученные при испытаниях в природном состоянии;
- расчетная ситуация №2: подготовка к основному смещению. Оползневое тело все еще сохраняет свою целостность, а основные деформации происходят по поверхности ослабления. В этом случае контакту между оползневым телом и подстилающим коренным грунтом заданы прочностные характеристики ИГЭ-3, полученные в ходе «плашковых» испытаний. Данная расчетная ситуация соответствует фактическому состоянию исследуемого участка на момент проведения изысканий;
- расчетная ситуация №3: после основного смещения. Оползневое тело разрушено и потеряло единую структуру. В этом случае всей мощности грунтов ИГЭ-3 назначены значения сцепления и угла внутреннего трения, полученные в ходе испытаний с подготовленной поверхностью.

Так как свайное удерживающее сооружение ПС-1 устраивается в головной части оползня и стабилизирует только его верхнюю часть, то нижележащий оползневой массив все еще остается в неустойчивом состоянии ( $k_{st} \approx 1,0$ ). Поэтому, при определении возникающих усилий в элементах конструкции отпор, оказываемый нижележащим грунтом, не учитывается. Однако так как простое «отлучение» в расчетной схеме нижней части оползневого массива, приведет к необоснованному уменьшению нормальных напряжений на кровлю коренных пород, а, следовательно, окажет влияние на условие работы защемленной части свай, то для более корректного моделирования рассматриваемой ситуации, данная часть оползневого тела заменяется распределенной нагрузкой с интенсивностью соответствующей его весу.

Прочность свай на изгиб, вычисленная согласно с СП 63.13330.2018<sup>3</sup>, составляет 570,7 кН·м. В соответствии с СП 381.1325800.2018 несущая способность анкера по материалу составляет 442,3 кН, а по грунту — 408,4 кН (так как для обеспечения требуемой надежности корень анкера, который учитывается при определении его несущей способности по грунту, должен находиться за пределами призмы активного давления, то для обоих случаев им будет являться только та его часть, которая располагается в скальном грунте ИГЭ-4). Согласно СП 381.1325800.2018 горизонтальные перемещения сооружения не должны превышать 1/100 от общей высоты удержания. Таким образом, для рассматриваемого случая, при высоте удержания 6,4 м (мощность оползня плюс высота ростверка с подпорной стеной), максимально допустимые перемещения составляют  $6400/100 = 64$  мм.

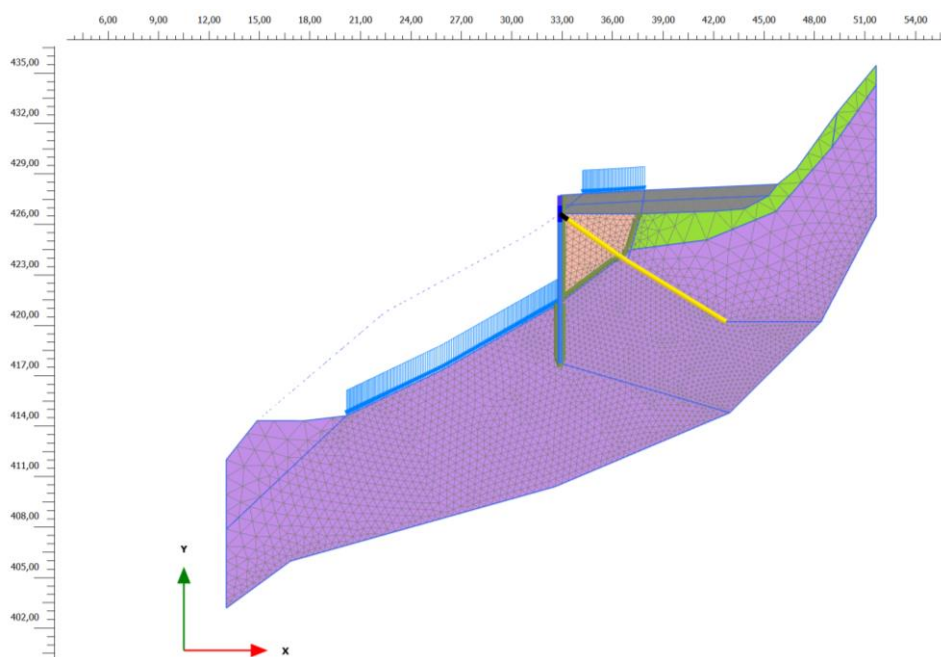


**Рисунок 15.** Расчетная схема оползневого склона с сеткой конечных элементов для ситуации №2 с сооружением ПС-1, усиленным анкером со свободной длиной 5 м (разработано автором)

**Figure 15.** Landslide slope design diagram with a finite element grid for situation No. 2 with the construction of landslide protection structures-1, reinforced with an anchor with a free length of 5 m (developed by the author)

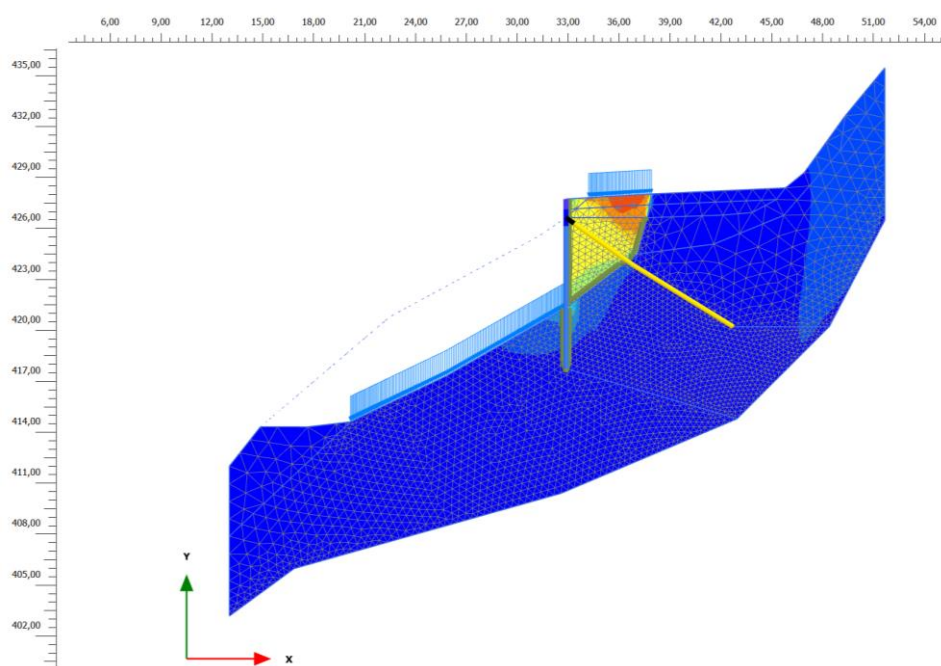
Расчетная схема для ситуации №2 с удерживающим сооружением, усиленным анкером со свободной длиной 5 м, представлена на рисунке 15.

<sup>3</sup> СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. — М.: институт АО «НИИЦ «Строительство», 2018. — 109 с.



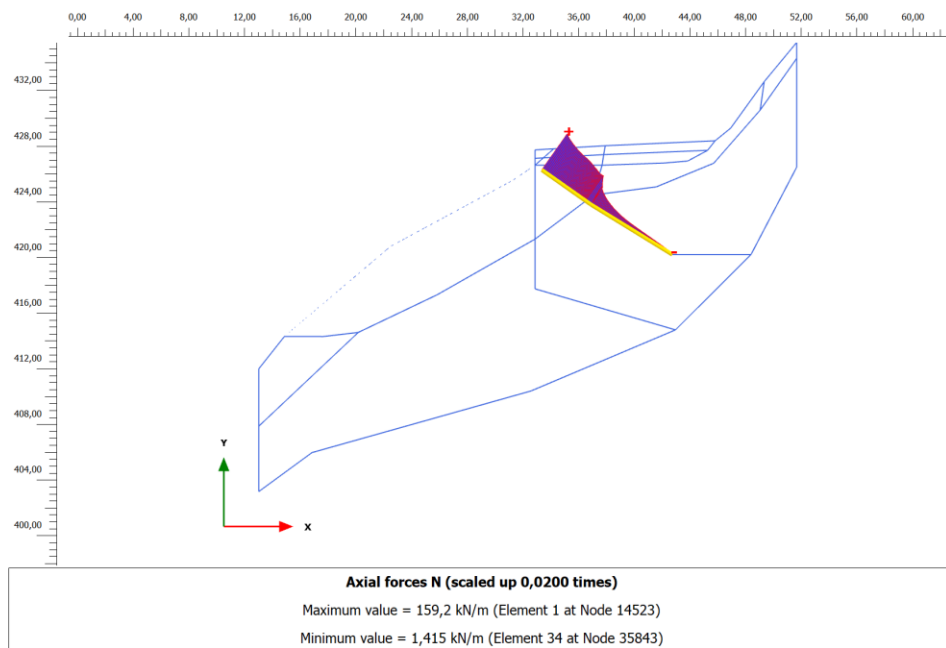
**Рисунок 16.** Расчетная схема оползневого склона с сеткой конечных элементов для ситуации №2 с сооружением ПС-1, усиленным анкером без дополнительной пластиковой трубки (разработано автором)

**Figure 16.** Landslide slope design diagram with a finite element grid for situation No. 2 with the construction of landslide protection structures-1, reinforced with an anchor without an additional plastic tube (developed by the author)



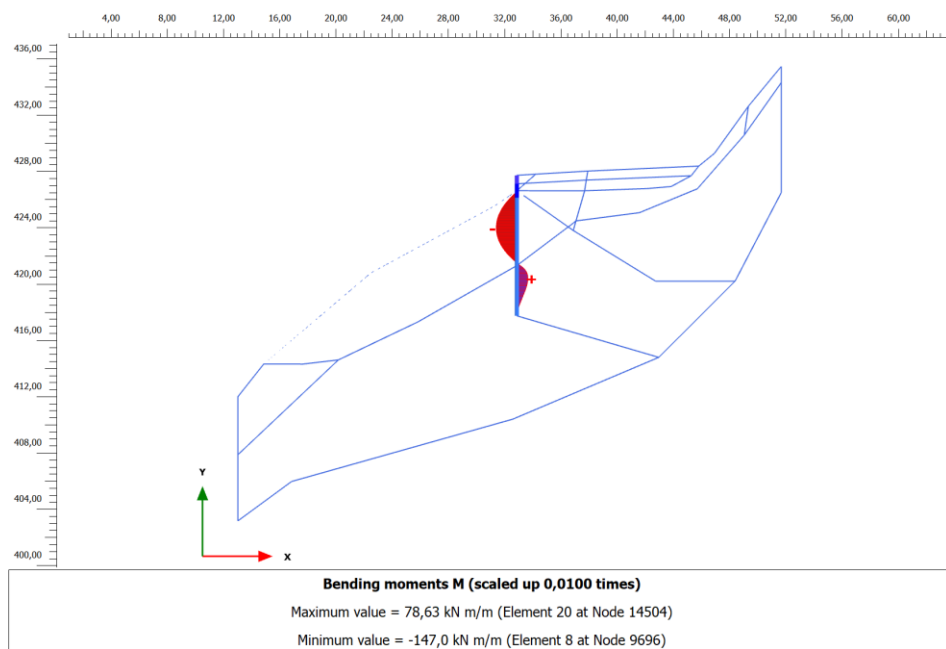
**Рисунок 17.** Результаты расчета устойчивости оползневого склона после устройства удерживающего сооружения ПС-1. Для расчетной ситуации №2 коэффициент устойчивости  $k_{st} = 1,545$  (разработано автором)

**Figure 17.** Calculation results of the landslide slope stability after the landslide protection structures-1 retaining structure installation. For design situation No. 2, the stability coefficient is  $k_{st} = 1.545$  (developed by the author)



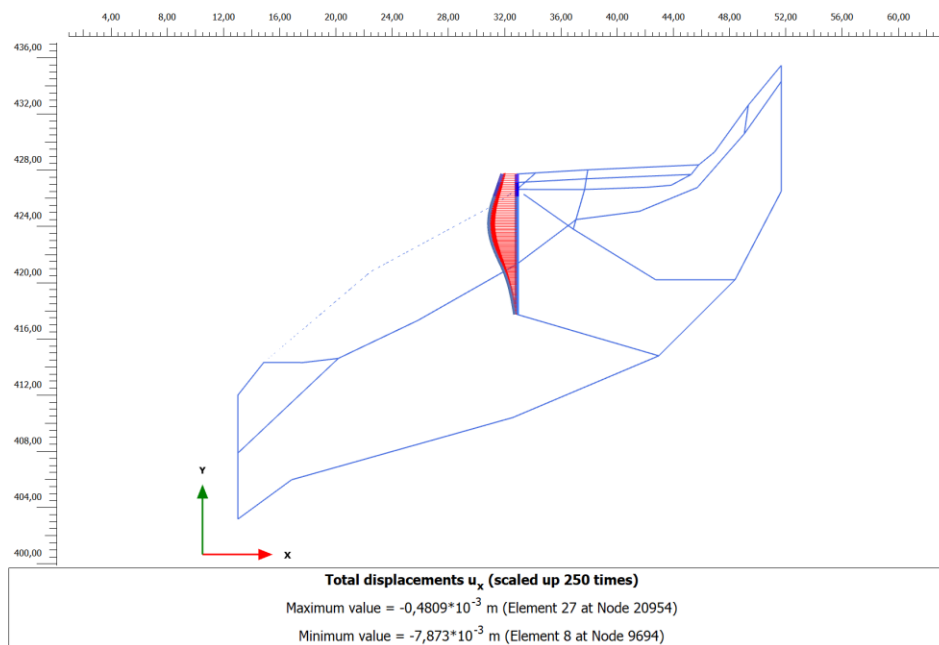
**Рисунок 18.** Эпюра растягивающих усилий в анкере. С учетом шага анкеров 2,5 м максимальное растягивающее усилие составляет  $N_{max} = 398,0$  кН (разработано автором)

**Figure 18.** Tensile forces epure within the anchor. With the account of anchor 2.5 m pitch, the maximum tensile force is  $N_{max} = 398.0$  kN (developed by the author)



**Рисунок 19.** Эпюра изгибающих моментов в свае. С учетом шага свай 2,5 м максимальный изгибающий момент составляет  $M_{max} = 367,5$  кН·м (разработано автором)

**Figure 19.** Moment of flection epure within a pile. With the account of pile 2.5 m pitch, the maximum moment of flection is  $M_{max} = 367.5$  kN m (developed by the author)



**Рисунок 20.** Эпюра горизонтальных перемещений сооружения ПС-1.  
Максимальное перемещение составляет  $U_{max} = 7,9$  мм (разработано автором)

**Figure 20.** Landslide protection structures-1 structure horizontal displacements epure. The maximum displacement is  $U_{max} = 7.9$  mm (developed by the author)

Расчетная схема и результаты расчетов для ситуации №2 с удерживающим сооружением, усиленным анкером без дополнительной пластиковой трубки, представлены на рисунках 16–20. Сводные результаты вычислений приведены в таблице 8.

**Таблица 8 / Table 8**

**Результаты расчетов удерживающего сооружения ПС-1**

**Calculation results of the restraining structure landslide protection structures-1**

Расчетная ситуация Estimated situation	Свободная длина анкера, м Free anchor length, m	Максимальное усилие в анкере, кН Maximum anchor force, kN	Максимальный изгибающий момент в свае, кН·м Maximum moment of flexion within a pile, kN m	Горизонтальные перемещения сооружения, мм Horizontal displacement of the structure, mm	Коэффициент устойчивости Stability factor
№1	0 м	292,0	170,1	2,1	1,816
	5 м	184,8	139,7	2,5	1,798
№2	0 м	398,0	367,5	7,9	1,545
	5 м	290,0	315,8	8,9	1,532
№3	0 м	649,8	597,0	14,6	1,389
	5 м	620,3	570,5	15,1	1,380

Разработано автором / Developed by the author

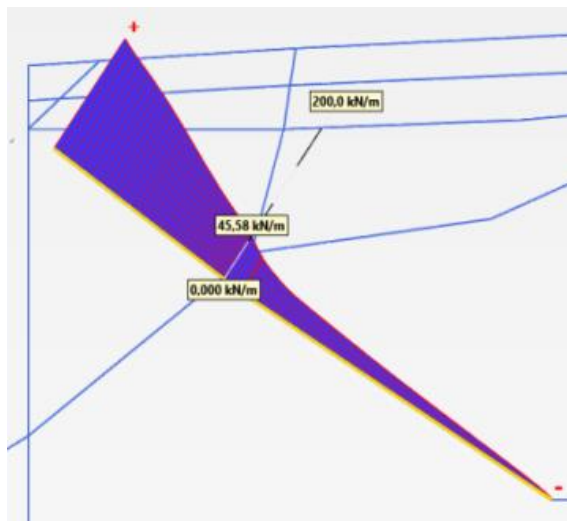
По результатам расчетов устойчивости видно, что устройство удерживающего сооружения ПС-1 во всех случаях обеспечивает достаточный запас устойчивости верхней части оползневого массива и таким образом, он становится способным воспринимать нагрузку от анкера. При этом изменение свободной длины не оказывает существенного влияния

на сам коэффициент устойчивости (изменение коэффициента не превышает 2 %).

В зависимости от состояния грунтов оползневого массива, влияние свободной длины анкера на распределение усилий в элементах удерживающего сооружения будет иметь различный характер. Так для расчетной ситуации №1, где грунт, окружающий верхнюю часть анкера, наиболее прочный, при увеличении свободной длины анкера на 5 м, усилия в нем снижаются на 36,7 %, а момент в сваях снижается на 17,9 %. Для расчетной ситуации №3, где глинистый грунт наиболее слабый, при увеличении свободной длины анкера, усилия в конструкциях изменяются незначительно: усилие в анкере снижается всего на 4,5 %, а момент в сваях на 4,4 %. При этом для расчетной ситуации №3 несущая прочность анкера и сваи будут недостаточны и, следовательно, потребуются перейти на более прочную штангу, увеличить заглубление корня в ИГЭ-4, а также увеличить армирование сваи. Для расчетных ситуаций №1 и №2 несущей способности анкера и свай будет достаточно.

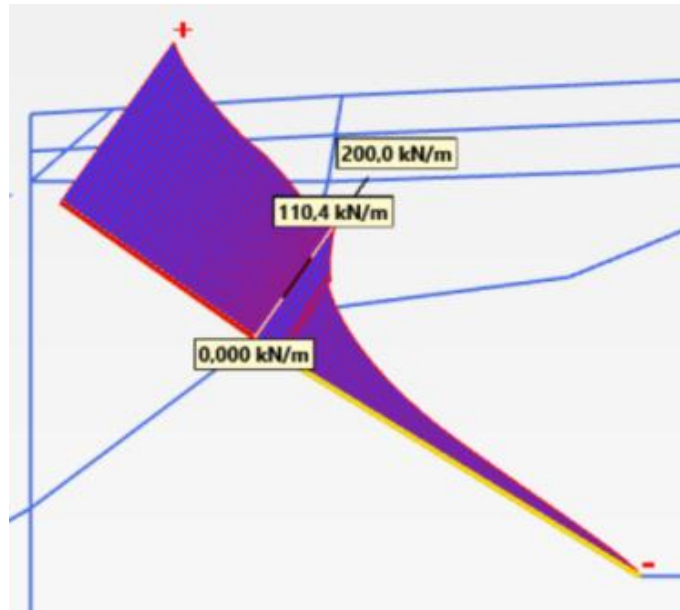
Во всех рассмотренных случаях горизонтальные перемещения удерживающего сооружения остаются гораздо ниже предельно допустимого значения, даже, несмотря на их рост при увеличении свободной длины анкера.

Распределение усилий по длине анкера без дополнительной пластиковой трубки (то есть при отсутствии заданной свободной длины) для различных расчетных ситуаций приведено на рисунках 21–23 и в таблице 9.



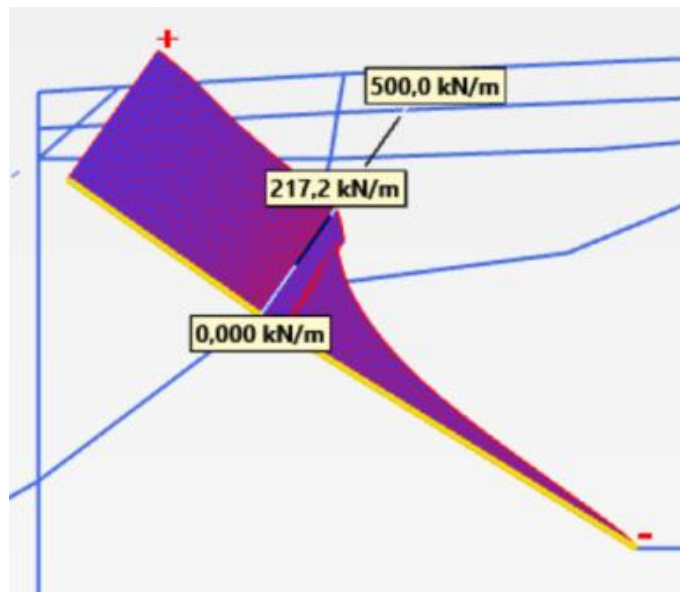
**Рисунок 21.** Эпюра растягивающих усилий в анкере без дополнительной пластиковой трубки для расчетной ситуации №1. С учетом шага анкеров 2,5 м усилие в анкере на границе глинистого и скального грунта составляет  $N_{max} = 113,9$  кН (разработано автором)

**Figure 21.** Tensile force epure within the anchor without additional plastic tube for design situation No. 1. With the account of anchor 2.5 m pitch, the force in the anchor at the border of clay and rocky soil is  $N_{max} = 113.9$  kN (developed by the author)



**Рисунок 22.** Эпюра растягивающих усилий в анкере без дополнительной пластиковой трубки для расчетной ситуации №2. С учетом шага анкеров 2,5 м усилие в анкере на границе глинистого и скального грунта составляет  $N_{max} = 276,0$  кН (разработано автором)

**Figure 22.** Tensile force epure within the anchor without additional plastic tube for design situation No. 2. With the account of anchor 2.5 m pitch, the force in the anchor at the border of clay and rocky soil is  $N_{max} = 276.0$  kN (developed by the author)



**Рисунок 23.** Эпюра растягивающих усилий в анкере без дополнительной пластиковой трубки для расчетной ситуации №3. С учетом шага анкеров 2,5 м усилие в анкере на границе глинистого и скального грунта составляет  $N_{max} = 543,0$  кН (разработано автором)

**Figure 23.** Tensile force epure within the anchor without additional plastic tube for design situation No. 3. With the account of anchor 2.5 m pitch, the force in the anchor at the border of clay and rocky soil is  $N_{max} = 543.0$  kN (developed by the author)



**Таблица 9 / Table 9**  
**Распределение усилий по длине анкера без дополнительной пластиковой трубки**  
**Force distribution along the anchor length without additional plastic tube**

Расчетная ситуация Estimated situation	Свободная длина анкера, м Free anchor length, m	Максимальное усилие в анкере, кН Maximum anchor force, kN	Усилие в анкере на границе глинистого и скального грунта, кН Anchor force on the border of clay and rocky soil, kN	Снижение усилия в анкере на участке глинистого грунта, % Decrease in anchor force in the area of clay soil, %
№1	0 м	292,0	113,9	61,0
№2	0 м	398,0	276,0	30,7
№3	0 м	649,8	543,0	16,4

*Разработано автором / Developed by the author*

Из таблицы 9 видно, что уменьшение прочности глинистого грунта, прилегающего к анкеру, приводит к снижению сопротивления сдвигу вдоль поверхности анкера и, как следствие, к уменьшению изменений растягивающих усилий на участке контакта с этим грунтом. Так для расчетной ситуации №1 снижение усилия в анкере на участке его контакта с прочным глинистым грунтом составляет 61,0 % от максимального значения, а сама эпюра усилий в анкере имеет значительный наклон. При уменьшении прочности окружающего глинистого грунта в расчетной ситуации №3 снижение усилия в анкере составляет уже всего 16,4 %, а эпюра усилий на данном участке практически горизонтальная. Таким образом, наличие контакта анкера со слабым грунтом не оказывает существенного влияния на распределение усилий в элементах удерживающего сооружения и на его перемещения. То есть данная ситуация практически аналогична случаю, когда анкер на данном участке изолирован пластиковой трубкой (см. таблицу 8, изменение исследуемых параметров не превышает 5 %).

## **Вывод**

### **Conclusion**

Выполненная серия расчетов показывает, что при увеличении свободной длины буроинъекционных анкеров из трубчатых винтовых штанг в свайно-анкерном удерживающем сооружении происходит снижение действующих усилий в его несущих элементах за счет роста горизонтальных перемещений. Так для рассмотренной тестовой расчетной схемы при увеличении свободной длины анкера момент в сваях снижается на 23,3–25,0 %, усилие в анкере падает на 41,8–54,0 %, при росте горизонтальных перемещений на 12,5–23,5 %.

Расчеты удерживающего сооружения на существующем оползневом участке показали, что влияние свободной длины анкера также в значительной степени зависит от состояния вмещающего его грунтового массива. Так в случае прочного грунта, при увеличении свободной длины

момент в сваях снижается на 17,9 %, усилие в анкере снижается на 36,7 %, а перемещения сооружения вырастают на 19,0 %. В случае если вмещающий грунт оказывается слабым, то влияние свободной длины анкера на изменение усилий и перемещений не существенно, так как данный грунт становится не способным воспринимать усилия от анкера.

Полученные результаты наглядно говорят о необходимости учитывать в геотехнических расчетах свободную длину анкеров при проектировании. При этом следует помнить, что предельно допустимые перемещения удерживающих сооружений на автомобильных дорогах имеют не столь строгие ограничения, как например, у подпорных стен котлованов на застроенной городской территории. И хотя свободная длина буроинъекционных анкеров из трубчатых винтовых штанг и не является определяющим при выборе параметров свайно-анкерных удерживающих сооружений на автомобильных дорогах, но она может стать еще одним инструментом, который позволяет запроектировать более экономически выгодные конструкции без снижения их надежности. Однако следует помнить, что это также потребует от проектировщика более тщательного анализа текущей геологической ситуации на участке и составление детального прогноза ее развития.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Добров Э.М.** Обеспечение устойчивости склонов и откосов в дорожном строительстве с учетом ползучести грунтов / Э.М. Добров. — М.: Транспорт, 1975. — 216 с.
2. **Гребнев Ю.С.** Инженерная защита от опасных геологических процессов. Руководство по расчету и проектированию противооползневых мероприятий. / Ю.С. Гребнев. — М.: ГЕОС, 2008. — 274 с.
3. **Гинзбург Л.К.** Противооползневые удерживающие конструкции / Л.К. Гинзбург. — М.: Стройиздат, 1979. — 81 с.
4. **Маций С.И.** Управление оползневым риском / С.И. Маций, Е.В. Безуглова. — Краснодар: АлВи-дизайн, 2010. — 239 с.
5. **Bezuglova E.** Engineering and geological grounds of landslide protection reliability of structures / E. Bezuglova, S. Matsiy. — DOI <https://doi.org/10.1007/978-3-642-31319-6-90> // Landslide Science and Practice. Volume 6: Risk Assessment, Management and Mitigation / Рим: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. — С. 709–714. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21915606> (дата обращения: 10.05.2021).
6. **Bezuglova E.** Landslide risk management at transport facilities / E. Bezuglova, S. Matsiy, V. Podtelkov. — DOI <https://doi.org/10.1201/b21520-40> // Landslides and engineered slopes. experience, theory and practice. 12th international symposium on landslides, 2016. / Неаполь: Taylor & Francis Group, 2016. — С. 405–409. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27569044> (дата обращения: 10.05.2021).
7. **Sergey M.** Modeling of Engineered Slopes for the Effective Design of Protection Structures: Example in the City of Sochi (Russia) / Sergey M., Darya L., Ekaterina B., Aleksandr R. — DOI [https://doi.org/10.1007/978-3-319-09057-3\\_370](https://doi.org/10.1007/978-3-319-09057-3_370) // Engineering Geology for Society and Territory — Volume 2 / Под ред. Lollino G. и др. Кам: Springer, 2015. — С. 2071–2075. — URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-09057-3\\_370](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-09057-3_370) (дата обращения: 10.05.2021).
8. **Гинзбург Л.К.** Особенности устройства подпорных стен на оползневых участках / Л.К. Гинзбург // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 1989. — № 3. — С. 3–5.
9. **Ryabukhin A.** In-Situ Measurement of the Anchor-Pile Displacement in the Geotechnical Conditions of Sochi / A. Ryabukhin, S. Matsiy. — DOI <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-297-4-576> // Proceedings of the 5th International Young Geotechnical Engineers' Conference: 5th iYGEC 2013 (Advances in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering) / Под ред. Yu-Jun Cui, Fabrice Emeriault, Fahd Cuira и др. Амстердам: IOS Press, 2013. — С. 576–578. — URL: <https://ebooks.iospress.nl/volumearticle/34682> (дата обращения: 10.05.2021).
10. **Маций С.И.** Свайно-анкерные противооползневые конструкции / С.И. Маций, А.К. Рябухин. — Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2017. — 189 с. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42614772> (дата обращения: 10.05.2021).
11. **Маслов Н.Н.** Механика грунтов в практике строительства / Н.Н. Маслов. — М.: Стройиздат, 1977. — 32 с.

12. **Маслов Н.Н.** Основы инженерной геологии и механики грунтов / Н.Н. Маслов. — М.: Высшая школа, 1982. — 511 с.
  13. **Маций С.И.** Исследование изменения интенсивности оползневого давления, действующего на сооружение при влиянии различных нагрузок / С.И. Маций, Д.В. Лейер, А.О. Конева, А.К. Рябухин, В.В. Каленик, А.В. Федотов, А.Н. Якименко. — DOI <https://doi.org/10.21515/1990-4665-133-027> // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2017. — № 133. — С. 320–336. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32458760> (дата обращения: 10.05.2021).
  14. **Маций С.И.** Актуальные проблемы совершенствования нормативной базы в области инженерной защиты / С.И. Маций, В.Г. Федоровский, А.К. Рябухин // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 2019. — № 4. — С. 25–29. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41264924> (дата обращения: 10.05.2021).
  15. **Рябухин А.К.** Исследование диапазона допустимых горизонтальных перемещений буронабивных свай противооползневых сооружений / А.К. Рябухин, С.И. Маций, Е.В. Безуглова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. — 2013. — № 31–2(50). — С. 279–283. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20280977> (дата обращения: 10.05.2021).
- 

**Сведения об авторах:**

**Любарский Николай Николаевич** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные материалы и конструкции», ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Краснодар, Россия, e-mail: lubarskynikolai@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9194-2188>  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=751467](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=751467)

**Лейер Дарья Валерьевна** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные материалы и конструкции», ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Краснодар, Россия, e-mail: dasha\_leyer@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9893-030X>  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=794169](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=794169)

---

Статья получена: 15.05.2021. Принята к публикации: 28.06.2021. Опубликовано онлайн: 12.07.2021.

## REFERENCES

1. Dobrov E.M. [Ensuring the stability of slopes and slopes in road construction, taking into account the creep of soils]. Moscow: Transport Publ.; 1975. (In Russ.).
2. Grebnev Yu.S. [Engineering protection against dangerous geological processes. Guidelines for the calculation and design of anti-landslide measures]. Moscow: GEOS Publ.; 2008. (In Russ.).
3. Ginzburg L.K. [Anti-landslide retaining structures]. Moscow: Stroyizdat; 1979. (In Russ.).
4. Matsiy S.I., Bezuglova E.V. [Landslide risk management]. Krasnodar: AlVi design; 2010. (In Russ.).
5. Bezuglova E., Matsiy S. Engineering and geological grounds of landslide protection reliability of structures. In: Margottini, Claudio, Canuti, Paolo, Sassa, Kyoji (Eds.). *Landslide Science and Practice. Volume 6: Risk Assessment, Management and Mitigation*. Rome: Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2013. p. 709–714. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21915606> (accessed 10th May 2021). (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-31319-6-90>.
6. Bezuglova E., Matsiy S., Podtelkov V. Landslide risk management at transport facilities. In: *Landslides and engineered slopes. experience, theory and practice. 12th international symposium on landslides, 2016*. Napoli: Taylor & Francis Group; 2016. p.405–409. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27569044> (accessed 10th May 2021). (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1201/b21520-40>.
7. Sergey M., Darya L., Ekaterina B., Aleksandr R. Modeling of Engineered Slopes for the Effective Design of Protection Structures: Example in the City of Sochi (Russia). In: Lollino G. et al. (eds). *Engineering Geology for Society and Territory — Volume 2*. Cham: Springer; 2015. p.2071–2075. Available at: [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-09057-3\\_370](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-09057-3_370) (accessed 10th May 2021). (In Eng.) DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-09057-3\\_370](https://doi.org/10.1007/978-3-319-09057-3_370).
8. Ginzburg L.K. [Features of the device of retaining walls in landslide areas]. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 1989; (3): 3–5. (In Russ.).
9. Ryabukhin A., Matsiy S. In-Situ Measurement of the Anchor-Pile Displacement in the Geotechnical Conditions of Sochi. In: Yu-Jun Cui, Fabrice Emeriault, Fahd Caira et al. (eds). *Proceedings of the 5th International Young Geotechnical Engineers' Conference: 5th iYGEC 2013 (Advances in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering)*. Amsterdam: IOS Press; 2013. p. 576–578. Available at: <https://ebooks.iospress.nl/volumearticle/34682> (accessed 10th May 2021). (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-297-4-576>.
10. Matsiy S.I., Ryabukhin A.K. [Pile-anchor anti-landslide structures]. Krasnodar: Kuban State Agrarian University; 2017. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42614772> (accessed 10th May 2021). (In Russ.).
11. Maslov N.N. [Soil mechanics in construction practice]. Moscow: Stroyizdat; 1977. (In Russ.).
12. Maslov N.N. [Fundamentals of Engineering Geology and Soil Mechanics]. Moscow: Higher School pub.; 1982. (In Russ.).

13. Matsiy S.I., Leyer D.V., Koneva A.O., Ryabukhin A.K., Kalenik V.V., Fedotov A.V., Yakimenko A.N. Research of change of intensity of the landslide pressure operating on the construction at influence of various loadings. *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2017; (133): 320–336. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.21515/1990-4665-133-027>.
  14. Matsiy S.I., Fedorovskiy V.G., Ryabukhin A.K. [Actual problems of improving the regulatory framework in the field of engineering protection]. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2019; (4): 25–29. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41264924> (accessed 10th May 2021). (In Russ.).
  15. Ryabukhin A.K., Matsiy S.I., Bezuglova E.V. [Investigation of the range of permissible horizontal displacements of bored piles of anti-landslide structures]. *Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering Series: Civil Engineering and Architecture*. 2013; (31–2(50)): 279–283. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20280977> (accessed 10th May 2021). (In Russ.).
- 

**Information about the authors:**

**Nikolai N. Lubarsky** — Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia, e-mail: [lubarskynikolai@mail.ru](mailto:lubarskynikolai@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9194-2188>  
РИИЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=751467](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=751467)

**Darya V. Leyer** — Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia, e-mail: [dasha\\_leyer@mail.ru](mailto:dasha_leyer@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9893-030X>  
РИИЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=794169](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=794169)

---

Submitted: 15th May 2020. Revised: 28th June 2020. Published online: 12th July 2020.