

УДК 614.8.084:699.887

**Хузиахметов Р.А.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [hroustam@mail.ru](mailto:hroustam@mail.ru)

**Нуриева Д.М.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [danm\\_n@mail.ru](mailto:danm_n@mail.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

## **Оценка состояния откоса котлована при устройстве свайных фундаментов**

### **Аннотация**

*Постановка задачи.* Целью исследования является выявление причин нарушения градостроительного законодательства, приведших к обрушению земляного откоса котлована, опрокидыванию сваебойного копра и гибели машиниста сваебойного копра.

*Результаты.* Основные результаты исследования состоят в определении устойчивости откоса грунта при забивке железобетонных свай вблизи бровки откоса нижележащего котлована. Расчеты проведены с применением четырех известных методов – Феллениуса, Крея, Терцаги, Чугаева. Потеря устойчивости грунта была вызвана нарушением равновесия внешних и внутренних сил (присутствие строительной техники и складированных материалов вблизи откоса и собственный вес грунта). Расчеты были проведены для шести вариантов загрузки земляного откоса. В статье подробно представлен вариант, при котором произошло обрушение откоса.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в необходимости всесторонней проработки вопросов безопасности на всех стадиях жизненного цикла объектов строительства, начиная с подготовки задания на проектирование, изысканий, проектирования, строительства, эксплуатации, ремонта, реконструкции и т.д.

**Ключевые слова:** травматизм, несчастный случай, бровка откоса котлована, устойчивость откоса, призма обрушения грунта, инженерно-геологические условия, сваебойный копер.

### **Введение**

Строительство, являясь высокоопасной отраслью промышленности, постоянно присутствует отдельной позицией в статистических списках по производственному травматизму. Это объясняется значительным числом производственных факторов, постоянно или потенциально сопровождающих процессы строительства.

Признается, что в строительстве существующий уровень производственного травматизма, в том числе и со смертельным исходом, остается сопоставимым с уровнем травматизма в других травмоопасных отраслях промышленности (например, транспорт, сельское хозяйство и др.). Производственные травмы, профессиональные заболевания и смертельные исходы приводят к людским и материальным потерям, несмотря на то, что количественное снижение показателей травматизма в стране снижается [1-6]. Однако, это не связано со значительным улучшением производственных условий труда и с мотивацией работать без нарушения требований безопасности. На сегодняшний день невозможно создание такого состояния в области безопасности труда в промышленности в целом, и в строительстве в частности, когда должно быть гарантировано обеспечен уровень безопасного труда. Примером обеспечения организации безопасного выполнения работ являются технические исследования и решения по укреплению глубокого котлована при строительстве жилого дома с многоуровневой парковкой в стесненных условиях в г. Казани [7].

Федеральный закон от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» требует обеспечения безопасности на всех этапах жизненного цикла объекта (здания, сооружения), начиная от разработки задания на проектирование, инженерно-геологических изысканий, проектирования, строительства, надзора в период строительства, эксплуатации и т.д.

Перед строительной отраслью стоят грандиозные задачи по возведению новых, ремонту, реконструкции и восстановлению существующих капитальных объектов, причем экономические условия существования отрасли не являются соответствующими грандиозности стоящих перед ней задач. Строительная отрасль в настоящее время испытывает недостаток квалифицированных рабочих кадров, линейных руководителей на строительных площадках (мастеров, прорабов).

Настоящая статья написана по результатам экспертного исследования причин нарушения градостроительного законодательства при строительстве крупного промышленного объекта, в результате которых произошло обрушение грунтовых масс откоса котлована, приведшее к опрокидыванию сваебойного копра. Машинист этой установки погиб, выпрыгнув из кабины машины при развивающейся аварии.

Рассмотренная в статье задача по оценке условий обрушения откоса позволила связать воедино и установить причинно-следственные связи с другими техническими и организационными событиями, приведшими к гибели человека.

### Основная часть

В октябре 2016 года в г. Казани при выполнении работ по забивке железобетонных свай вблизи бровки откоса котлована произошло опрокидывание в котлован сваебойного копра, результате чего погиб машинист этой установки.

При проведении экспертного исследования были изучены материалы опроса очевидцев и должностных лиц, проектные материалы по объекту капитального строительства, фотографии места происшествия, осмотрен сваебойный копер. Также были изучены нормативно-технические документы и законодательные акты.

При выполнении экспертного исследования применялась терминология в соответствии с ВСН 04-71 «Указания по расчету устойчивости земляных откосов»<sup>1</sup>.

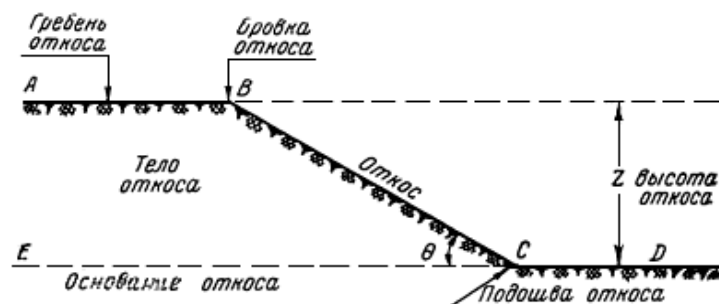


Рис. 1. Земляной откос – земляная поверхность с углом наклона к горизонту более  $10^\circ$  (линия BC).

Гребень откоса – земляная поверхность (линия AB) с углом наклона к горизонту менее  $10^\circ$ .

Поверхность основания откоса – земляная поверхность (линия CD) с углом наклона к горизонту менее  $10^\circ$ .

Бровка откоса – линия пересечения откоса с его гребнем, проектирующаяся на в точку B. Подошва откоса – линия пересечения земляного откоса с поверхностью его основания (точка C)

В результате исследования было установлено, следующее:

- строительство производилось в стесненных условиях, что отражается в проектной документации;

- в процессе строительства на смежных участках было в проектной документации заложено совмещение различных работ. При этом требуется четкая увязка параллельно выполняющихся строительных работ без ущерба для безопасности [10];

- верхние слои грунта всей территории строительства сформировались за десятилетия и имеют техногенное происхождение, несвязную структуру с присутствием в его составе различных органических включений (подробнее ниже по тексту). Ранее на этой территории размещался асфальтобетонный завод;

<sup>1</sup>ВСН 04-71 «Указания по расчету устойчивости земляных откосов». Дата актуализации: 12.02.2016 г.).

- глубинная мощность такого типа грунтов – от десятка сантиметров до 7-9 метров, поэтому были выбраны свайные фундаменты под все сооружения объекта;

- котлован под основной блок с одной стороны в соответствии с проектом разрабатывался со шпунтовым креплением, а с другой стороны, где рядом располагались смежные и сопутствующие сооружения разрабатывался с уступом и откосами. Ширина горизонтальной части уступа по проекту должна была быть до 15 м (в реальности ширина уступа не превышала 10-12 м). Глубина котлована, параметры откосов приведены ниже по тексту;

- забивка свай производилась сваебойным копром СП-49 на базе трактора ТБ-100, при передвижении которых следует учитывать их разрушающее влияние на структурные связи в грунте [8, 9];

- опрокидывание сваебойного копра произошло при подготовке к забивке сваи № 62, которая находилась в кусте свай «61-62-63-64», на уступе (гребне) на расстоянии 3,1 м по горизонтали от бровки откоса нижележащего котлована;

- опрокидывание сваебойного копра сопровождалось обрушением откоса грунта.

В соответствии с заданием на выполнение экспертизы было проведено выполнение расчетного обоснования по оценке возможности обрушения грунта вблизи места производства работ по механизированному погружению свай с использованием сваебойного копра СП-49.

### Основные расчетные положения

Под термином «устойчивость откоса» понимаем устойчивость его призмы или части откоса на сползание из-за нарушения равновесия внешних и внутренних сил, которые слагаются из собственного веса грунта и дополнительных нагрузок, связанных с наличием вблизи откоса техники и складированных материалов. Значение коэффициента запаса устойчивости устанавливаются исходя из условия статического равновесия:

$$S(M) = 0, \quad (1)$$

где  $M$  – моменты, действующие на блоки откоса.

Расчеты устойчивости откоса для надежности производились несколькими методами (В. Феллениуса, Г. Крея, К. Терцаги и Р.Р. Чугаева) с использованием, зарекомендовавших с советского периода себя, справочников проектировщика<sup>2, 3</sup>.

На основании проведенных расчетов были получены значения коэффициентов запаса ( $K_3$ ) и возможные линии скольжения.

Критерием устойчивости откоса являлось выполнение условия ВСН 04-71:

$$K_3 \geq [K_3], \quad (2)$$

где  $[K_3]$  – допускаемый коэффициент запаса устойчивости, который был принят на основании табл. 2 ВСН 04-71 равным 1,15 для класса сооружения I при сочетании факторов, отвечающих строительному периоду.

Расчетное сечение откоса было принято в зоне оси 9 (рис. 2).

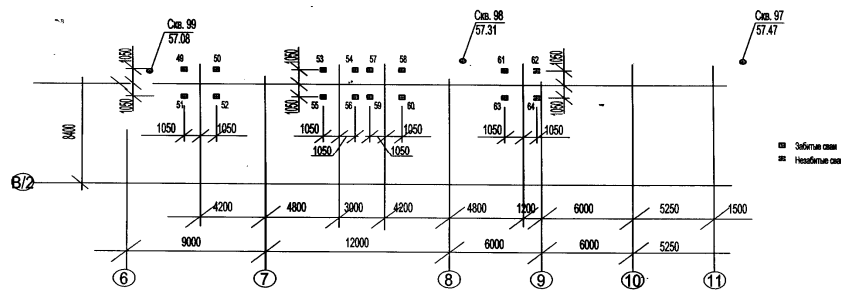


Рис. 2. Фрагмент схемы свайного поля

<sup>2</sup>Справочник проектировщика. Гидротехнические сооружения / Под ред. В. П. Недриги. – М.: Стройиздат, 1983. – 543 с.

<sup>3</sup>Изыскания и проектирование автомобильных дорог: Справочник инженера-дорожника / Под ред. О.В. Андреева. – М.: Транспорт, 1989.

### Варианты нагружения

- вариант 1 – отсутствие внешних пригрузок;
- вариант 2 – пригрузка по верхнему краю откоса от веса сваи С12-35, подготовленной для забивки 62-ой сваи (размещение сваи перпендикулярно бровке котлована);
- вариант 3 – пригрузка по верхнему краю откоса от веса двух свай С12-35, подготовленных для забивки 62-ой и 64-ой свай, (размещение свай перпендикулярно бровке котлована);
- вариант 4 – пригрузка по верхнему краю откоса от веса сваи С12-35 подготовленной для забивки 64-ой сваи (размещение сваи вдоль бровки котлована);
- вариант 5 – пригрузка по верхнему краю откоса от веса копра СП-49 и сваи С12-35 (расположение копра и сваи перпендикулярно бровке котлована);
- вариант 6 – пригрузка по верхнему краю откоса от веса копра СП-49 и сваи С12-35 (расположение копра и сваи параллельно бровке котлована).

Для оценки наиболее неблагоприятных условий работы грунтового массива были рассмотрены вышеназванные шесть вариантов нагружения, из которых наиболее опасными являются – вариант 5 и вариант 6, причем в реальной ситуации, при которой произошло опрокидывание сваебойного копра, соответствует вариант 5 (рис. 3-4).

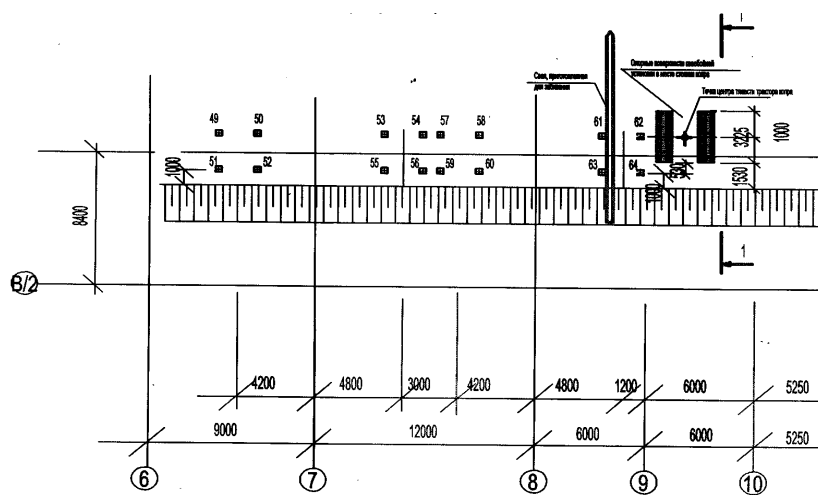


Рис. 3. Схема расчетного участка в плане с пригрузом по верхнему краю откоса от веса сваебойного копра СП-49 и сваи С12-35 (расположение копра и сваи перпендикулярно бровке котлована для забивки 62-ой сваи) (вариант 5)

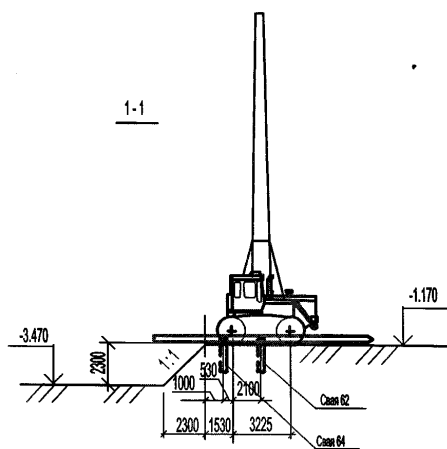


Рис. 4. Вертикальная схема расчетного участка с пригрузом по верхнему краю откоса от веса сваебойного копра СП-49 и сваи С12-35 (расположение копра и сваи перпендикулярно бровке котлована для забивки 62-ой сваи) (вариант 5)

**Методы расчета**

**Метод В. Феллениуса**

В основе метода В. Феллениуса лежит статический расчет устойчивости отдельных вертикальных элементов массы грунта, ограниченных сверху поверхностью грунта, а снизу – круглой дугой скольжения. Метод носит название расчета по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения. Для определения коэффициента устойчивости сползающую часть массива делят вертикальными сечениями на ряд отсеков (рис. 8). На каждый отсек действуют удерживающая сила и сдвигающая.

За коэффициент устойчивости откоса  $K_y$  принимают отношение момента сил, удерживающих откос от сдвига  $M_{уд}$  к моменту сил, стремящихся сдвинуть откос  $M_{сдв}$ :

$$K_y = \frac{M_{уд}}{M_{сдв}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i + c_i l_i + P_i \frac{b_i}{R}}{\sum P_i \sin \alpha_i} \quad (3)$$

При этом рассматривается устойчивость полосы, шириной 1 м, перпендикулярной бровке откоса.

Для определения координат центра  $O$  наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения, для которой коэффициент устойчивости  $K_y$  получается минимальным, часто используется график Янбу (рис. 5).

**Метод Г. Крея**

Метод Г. Крея (или метод горизонтальных сил взаимодействия) достаточно точен, и рекомендован для расчетов устойчивости откосов из неоднородных грунтов.

Определение коэффициента запаса устойчивости  $K_3$  производится путем подбора, так как  $K_3$  выражен в формуле неявно. Подбор  $K_3$  производится с такой степенью точности, чтобы разница в соседних определениях  $K_3$  не превышала 0.1%. Формула для расчета имеет вид:

$$k_3 = \frac{1}{\sum (G_i \sin \alpha_i + \frac{f_i F_i}{R})} \sum \frac{(G + P_D \cos \alpha)_i \operatorname{tg} \varphi_i + c_i b_i}{\cos \alpha_i (1 + \operatorname{tg} \alpha_i \frac{\operatorname{tg} \varphi_i}{k_3})} \quad (4)$$

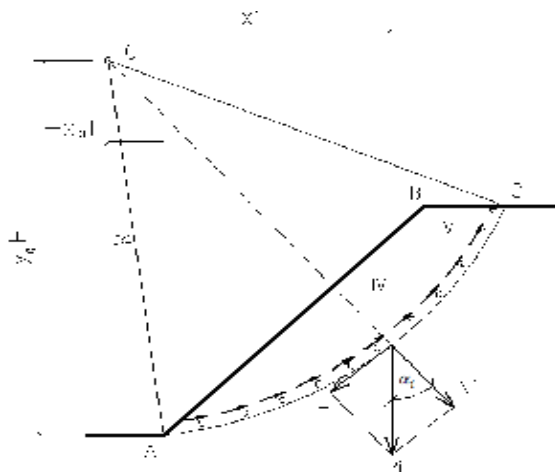


Рис. 5. Расчетная схема к расчету устойчивости по методу Феллениуса

**Метод К. Терцаги**

Метод К. Терцаги (или метод наклонных сил взаимодействия, параллельных подошве отсека) нашел широкое применение на практике благодаря своей простоте, однако при расчетах пологих откосов с заложением больше 2,5, он приводит к занижению величины  $K_3$ , то есть дает значение «в запас». Формула для расчета имеет следующий вид:

$$k_3 = \frac{\sum (G - P_D \cos \alpha)_i \cos \alpha_i + \operatorname{tg} \varphi_i + \frac{c_i b_i}{\cos \alpha_i}}{\sum G_i \sin \alpha_i + \frac{f_i F_i}{R}} \quad (5)$$

### Метод Р.Р. Чугаева

Метод предложен Р.Р. Чугаевым, основан на формальном совпадении результатов расчета по нему с результатами, полученными по методу Тейлора для однородных грунтов при заложениях откосов больше 2,5. Формула для расчета имеет вид:

$$k_{\Sigma} = \frac{\sum(G - P_B \cdot \cos\alpha)_i + tg\varphi_i + \frac{c_i b_i}{\cos\alpha_i}}{\sum G_i + \sin\alpha_i + \frac{l_i F_i}{R}} \quad (6)$$

В приведенных формулах использованы обозначения:

$G_i$  (или  $P_i$ ) – вес грунта и воды в пределах отсека с учетом нагрузки на поверхности земли;

$F_i$  – горизонтальная составляющая внешней нагрузки на отсек (поверхностные и объемные силы, исключая фильтрационные);

$\varphi_i$  – угол внутреннего трения грунта на поверхности скольжения;

$c_i$  – удельное сцепление грунта отсека;

$b_i$  – ширина отсека;

$R$  – радиус круглоцилиндрической дуги скольжения;

$\alpha_i$  – наклон поверхности скольжения к горизонту;

$l_i$  – длина поверхности скольжения.

### Нагрузки

#### 1. Свая С12-35.

- масса сваи: 3,73 т (черт. 1102.01-2.2-КЖ3);
- приведенная равномерно распределенная нагрузка от веса одной сваи:
  - на полосу шириной 1 м: 0,31 т/м<sup>2</sup>;
  - на полосу шириной 0,35 м: 0,8857 т/м<sup>2</sup>;
  - на полосу шириной 0,4 м: 0,78 т/м<sup>2</sup>;
- равномерно распределенная нагрузка от веса двух свай на полосу шириной 1 м - 0,62 т/м<sup>2</sup>;

#### 2. Копер СП-49<sup>4</sup>.

- полная масса механизма с оборудованием: 31,06 т;
  - максимальное удельное давление на грунт: 5,351 т/м<sup>2</sup> («Копер КоГ-12.0.1.1-01 (СП49Д). Руководство по эксплуатации СП-49Д.00.00.000 РЭ»);
  - приведенное давлением на полосу шириной 1 м: 4,8159 т/м<sup>2</sup>.
- Размеры опорных поверхностей копра приведены на рис. 6.

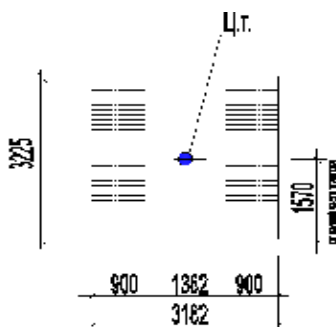


Рис. 6. Горизонтальная проекция опорных поверхностей сваебойного копра СП-49 (следы гусениц)

### Грунты строительной площадки

Расчетные характеристики грунтов, расположенных в пределах площадки строительство приняты на основании данных инженерно-геологических изысканий, выполненных КазГИСИЗ в 2015 г. (табл. 1-2). Характеристики, заложенные в расчет приведены в табл. 3.

<sup>4</sup>Характеристики по сваебойному копру выбраны из руководства «Копер КоГ-12.0.1.1-01 (СП49Д). Руководство по эксплуатации СП-49Д.00.00.000 РЭ».

Таблица 1

1	ИГЭ № НС	Насыпной грунт разнородный песчаный, супесчаный, реже суглинистый с включением строительного мусора до 20-75 %, битого красного кирпича, гальки до 45 %, щебня 5-35 %, песчано-гравийной смеси, в отдельные скважинах шлака до 30-70 %, стекла, извести, в отдельных скважинах с запахом нефтепродуктов и сероводорода, с остатками бетона, отсыпан сухим способом, слежавшийся, несслежавшийся и неравномерно-слежавшийся.
2	ИГЭ № НС1	Насыпной грунт разнородный суглинистый, реже супесчаный, с включением золы, сажи, угольной пыли, полуразложившейся щепы, участками с включениями строительного мусора до 25-40 %, с остатками древесины, гудрона, извести, с запахом нефтепродуктов, участками заторфованный, отсыпан сухим способом, слежавшийся, несслежавшийся и неравномерно-слежавшийся.
3	ИГЭ № ба	Песок мелкий водонасыщенный, средней плотности, слюдистый, ожелезненный, слабоглинистый, с прослоями суглинка и супеси.
4	ИГЭ № ба'	Песок мелкий водонасыщенный, плотный, с прослоями суглинка и супеси, ожелезненный, с единичными включениями дресвы.

Гидрогеологические условия строительной площадки характеризуются развитием подземных вод типа «верхводка» и подземных вод основного водоносного горизонта. Водовмещающими грунтами в пределах рассматриваемого участка являются грунты ИГЭ № НС, НС1, ба, ба'.

Таблица 2

#### Характеристики грунтов согласно отчета КазТИСИЗ

Характеристика грунта	ИГЭ № НС	ИГЭ № НС1	ИГЭ № ба	ИГЭ № ба'
Плотность грунта $\gamma$ , г/см <sup>3</sup>	1,37-2,13	1,23-2,0	2,0	2,05
Плотность при $W_{sat}$ $\gamma_{sat}$ , г/см <sup>3</sup>	-	-	2,0	2,05
Угол внутреннего трения $j$ , град	6-34	8-21	32	34
Угол внутреннего трения $j$ при $W_{sat}$ , град	6-25	8-21	32	34
Удельное сцепление $C$ , кПа	16-58	17-64	1,9	2,8
Удельное сцепление $C$ при $W_{sat}$ , кПа	12-46	12-27	1,9	2,8
Модуль деформации $E$ , МПа	2,8-40	0,8-29	26	36
Модуль деформации $E$ при $W_{sat}$ , МПа	2,8-40	0,8-н29	26	36

Таблица 3

#### Характеристики грунтов заложенные в расчет

	Мощность слоя, м	$\gamma$ , т/м <sup>3</sup>	$\gamma_{sat}$ , т/м <sup>3</sup>	$j$ , град	$C$ , кПа	$E$ , МПа
ИГЭ № НС	0,7-3,0	2,13	2,13	6	12	2,8
ИГЭ № НС1	6,8	2,0	2,0	8	12	0,8
ИГЭ № ба	2,1	2,0	2,0	32	1,9	26
ИГЭ № ба'	3,3	2,05	2,05	34	2,8	36

Примечания:

В расчете приняты наиболее неблагоприятные из представленных в отчете КазТИСИЗ характеристики грунтов. В реальных условия прочностные и деформативные характеристики грунтов могут иметь более низкие значения за счет вероятного разуплотнения грунта, вызванного динамическими воздействиями от забивки ранее погруженных свай и предвигавшихся по строительной площадке механизмов.

#### Результаты расчетов по пятому варианту

Результаты расчетов представим для пятого варианта приложения нагрузки и расположении сваебойного копра перпендикулярно бровке откоса котлована при подготовке к забивке свай № 62, расположенной на расстоянии 3,1 м от бровки откоса нижележащего котлована главного корпуса.

Отметим, что из куста свай «61-62-63-64» сваи № 61 и № 63 уже были забиты, а забивку сваи № 64, расположенную на расстоянии 1 м от бровки откоса котлована предполагалось произвести после забивки 62-ой сваи, предварительно срубив оголовки свай 61, 62 и 63, а копер расположив параллельно бровке откоса котлована.

Расчетная схема грунтового массива приведена на рис 7. Характеристики грунтов, исходные данные для расчетов по методам Г. Крея, К. Терцаги, Р.Р. Чугаева и сами расчеты представлены в табл. 4-11.

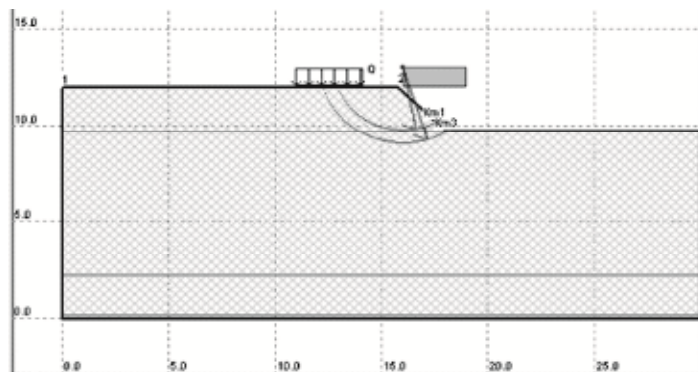


Рис. 7. Расчетная схема грунтового массива

Таблица 4

## Характеристики грунтов

№ п/п	$G_{\text{сух}}, \text{т/м}^3$	$G_{\text{нас}}, \text{т/м}^3$	$\text{tg}V, \text{град.}$	$C, \text{т/м}^2$
1	2,13	2,13	6,00	1,20
2	2,00	2,00	8,00	1,20
3	2,00	2,00	32,00	0,19
4	2,05	2,05	34,00	0,28

Таблица 5

## Координаты характерных точек откоса

№ п/п	X, [м]	Y, [м]	№ пп	X, [м]	Y, [м]
1	0,00	12,00	3	18,07	9,70
2	15,77	12,00	4	30,00	9,70

Таблица 6

## Координаты точек кривой депрессии

№ п/п	X, [м]	Y, [м]	№ п/п	X, [м]	Y, [м]
1	0,00	9,70	3	18,07	9,70
2	15,77	9,70	4	30,00	9,70

Таблица 7

## Координаты точек границы грунтов 1 и 2

№ п/п	X, [м]	Y, [м]	№ п/п	X, [м]	Y, [м]
1	0,00	9,70	3	18,07	9,70
2	15,77	9,70	4	30,00	9,70

Таблица 8

## Координаты точек границы грунтов 2 и 3

№ п/п	X, [м]	Y, [м]	№ п/п	X, [м]	Y, [м]
1	0,00	2,20	3	18,07	2,20
2	15,77	2,20	4	30,00	2,20



Таблица 9

**Координаты точек границы грунтов 3 и 4**

№ п/п	X, [м]	Y, [м]	№ п/п	X, [м]	Y, [м]
1	0,00	0,10	3	18,07	0,10
2	15,77	0,10	4	30,00	0,10

Относительная ширина отсека  $R/b = 100$ .

Внешняя нагрузка на откос:

- Значение нагрузки  $[т/м^2]$ ,  $q = 5,35$ ;
- Начальная координата  $[м]$ ,  $X_n = 10,95$ ;
- Конечная координата  $[м]$ ,  $X_k = 14,17$ .

Таблица 10

**Область центров и радиусы поверхностей скольжения**

Наименование	X, [м]	Y, [м]	R, [м]
Мин. значения	16,00	12,00	3,00
Мах. значения	19,00	13,00	4,00
Кол-во точек	5	5	10

Расчеты по методам Г. Крея, К. Терцаги, «весового давления» представлены в табл. 11.

Таблица 11

**Расчеты по методам Г. Крея, К. Терцаги, «весового давления»**

№ п/п	Значение $K_{min}$ по методу			$R_{min}$ , [м]	$X_{min}$ , [м]	$Y_{min}$ , [м]
	Г. Крея	К. Терцаги	«весового давления»			
1	1.0064667	0.9350662	0.9847378	3.00	16.00	12.75
2	0.9939433	0.9290567	0.9761909	3.11	16.00	13.00
3	0.9582398	0.8943524	0.9418034	3.22	16.00	13.00
4	0.9741007	0.9082166	0.9555005	3.33	16.00	13.00
5	0.9867023	0.9187356	0.9661336	3.44	16.00	13.00
6	0.9871081	0.9176995	0.9652927	3.56	16.00	13.00
7	0.9741159	0.9044958	0.9527369	3.67	16.00	13.00
8	0.9676948	0.8973157	0.9456558	3.78	16.00	13.00
9	0.9634240	0.8919587	0.9407392	3.89	16.00	13.00
10	0.9689656	0.8952304	0.9445436	4.00	16.00	13.00
Мин. по методу						
Г. Крея	0.9582398			3.22	16.00	13.00
К. Терцаги		0.8919587		3.89	16.00	13.00
«весового давления»			0.9407392	3.89	16.00	13.00

**Расчет по методу Феллениуса**

Расчетная схема по методу Феллениуса для 5 варианта представлена на рис. 8.

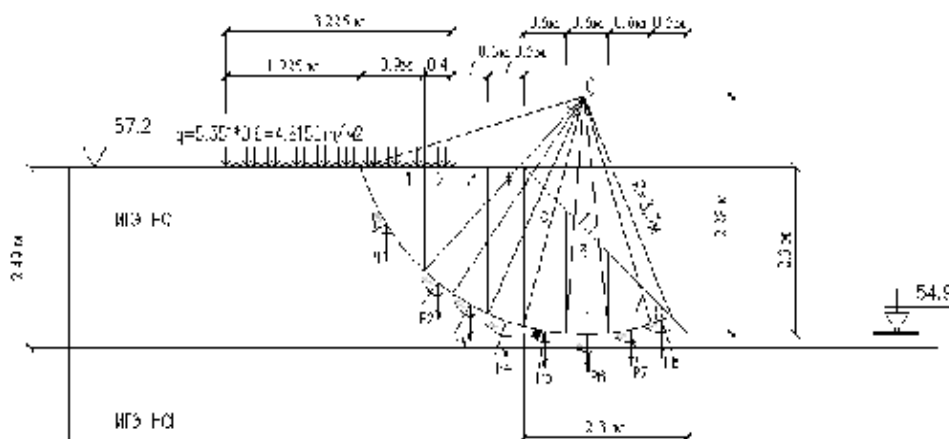


Рис. 8. Расчетная схема откоса для 6 варианта

Коэффициент устойчивости:

$$K_y = \frac{M_{yo}}{M_{cob}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i + c_i l_i + P_i \frac{\delta}{\theta}}{\sum_{i=1}^n P_i \sin \alpha_i} = 0,78. \quad (6)$$

Таблица 12

Вычислений коэффициента устойчивости для 5 варианта по методу Феллениуса  
(радиус дуги скольжения  $R = 3,3$  м)

№ блока	Средняя высота блока, м	Ширина блока, м	Объем блока, м <sup>3</sup>	Вес блока, т	Нагрузка на поверхности, т	$P_i$ , т	$\alpha_i$ , град	$\cos \alpha_i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,7145	0,9	0,64305	1,369697	5,351	6,720697	58	0,529919
2	1,5875	0,4	0,635	1,35255	0,78	2,13255	38	0,788011
3	1,881	0,5	0,9405	2,003265	0	2,003265	29	0,87462
4	2,111	0,5	1,0555	2,248215	0	2,248215	19	0,945519
5	1,95	0,6	1,17	2,4921	0	2,4921	9	0,987688
6	1,394	0,6	0,8364	1,781532	0	1,781532	1	0,999848
7	0,726	0,6	0,4356	0,927828	0	0,927828	12	0,978148
8	0,182	0,5	0,091	0,19383	0	0,19383	19	0,945519

Таблица 12'

№ блока	$\sin \alpha_i$	$\varphi_i$ , град	$l_i$ , м	$C_i$ , т/м <sup>2</sup>	$C_i l_i$ , т/м	$P_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i$ , т	$P_i \sin \alpha_i$ , т	$P_i^* \sin \alpha_i$ , т
1	10	11	12	13	14	15	16	17
1	0,848048	6	1,721593	1,2	2,065911	0,374321	5,699474	0
2	0,615661	6	0,573864	1,2	0,688637	0,176625	1,312929	0
3	0,48481	6	0,573864	1,2	0,688637	0,184153	0,971202	0
4	0,325568	6	0,573864	1,2	0,688637	0,223423	0,731947	0
5	0,156434	6	0,631251	1,2	0,757501	0,258705	0,38985	0
6	0,017452	6	0,573864	1,2	0,688637	0,187218	0	0,031092
7	0,207912	6	0,631251	1,2	0,757501	0,095388	0	0,192906
8	0,325568	6	0,344319	1,2	0,413182	0,019262	0	0,063105
			$\bar{a}$		6,748644	1,519095	9,105402	0,287103

Результаты проведенных расчетов по различным методам сведены в табл. 13.

Таблица 13

Метод расчета	$K_{2, \text{мин}}$	$R$ , [м]	$X_0$ , [м]	$Y_0$ , [м]
Г. Крея	0,958240	3,22	16,00	13,00
К. Терцаги	0,891959	3,89	16,00	13,00
«Весового давления»	0,940739	3,89	16,00	13,00
В. Феллениуса	0,78	3,30		

Все расчеты по различным методам для 5 варианта определили откос как неустойчивый.

Данные расчетов по всем вариантам нагружений приведены в табл. 14.

Таблица 14

Сводная таблица результатов расчета устойчивости откоса

№ варианта	Описание	Минимальный коэффициент устойчивости	Вывод
Вариант 1	Внешние нагрузки отсутствуют	1,695	Откос устойчив
Вариант 2	На гребне откоса действует нагрузка от веса свай (размещение свай перпендикулярно бровке котлована)	1,455	Откос устойчив
Вариант 3	На гребне откоса действует нагрузка от веса двух свай (размещение свай перпендикулярно бровке котлована)	1,242	Откос устойчив
Вариант 4	На гребне откоса действует нагрузка от веса одной свай (размещение свай вдоль бровки котлована)	1,64	Откос устойчив
Вариант 5	На гребне откоса действуют нагрузки от веса копра и свай (расположение копра и свай перпендикулярно бровке котлована)	0,78	Откос не устойчив
Вариант 6	На гребне откоса действуют нагрузки от веса копра и свай (расположение копра и свай параллельно бровке котлована)	0,939	Откос не устойчив

### Заключение

1. Инженерно-геологические изыскания, проведенные КазТИСИЗ позволили выявить, что два верхних инженерно-геологических элемента (ИГЭ) представлены насыпными грунтами НС и НС1. Грунты этих слоев не только крайне неравномерны по мощности (толщине), но и нестабильны по составу и включениям, происхождению и размерам частиц, имеют значительный разброс показателей технических свойств, характеризующих эти грунты.

Грунт верхнего ИГЭ № НС является насыпным грунтом, разнородным песчаным, супесчаным, реже суглинистым с включением строительного мусора до 20-75 %, битого красного кирпича, гальки до 45 %, щебня 5-35 %, песчано-гравийной смеси, в отдельных скважинах шлака до 30-70 %, стекла, извести, в отдельных скважинах с запахом нефтепродуктов и сероводорода, с остатками бетона, отсыпан сухим способом, слежавшимся, неслежавшимся и неравномерно-слежавшимся.

В соответствии с примечанием 2 к табл.1 СНиП 12-04-2002 грунт ИГЭ № НС можно было бы считать слежавшимся, учитывая его срок формирования исчисляемый десятилетиями, т.к. к неслежавшимся насыпным относятся грунты с давностью отсыпки до двух лет для песчаных; до пяти лет – для пылевато-глинистых грунтов.

Однако, вследствие его происхождения и условий формирования верхний элемент № НС не следует относить к слежавшимся.

Поэтому изменения внутренних связей в массивах такого разнородного и изменяющегося по составу грунта при воздействии на него извне внешних нагрузок (различных по величине, динамике и статике и т.п.) в условиях строительства на данной строительной площадке можно отнести к непредсказуемыми, а грунт верхних слоев (НС и НС1) также можно считать непредсказуемыми и назвать форс-мажорным.

2. Анализ результатов расчета показал, что в условиях проявления наилучших характеристик грунтов строительной площадки при отсутствии внешних нагрузок на гребне откоса, а также при действии незначительных нагрузок от веса 1-2 свай, устойчивость откоса обеспечена.

3. При воздействии нагрузок от веса копра СП-49 при его размещении перпендикулярно относительно бровки котлована для забивки 62-ой свай, расположенной от бровки откоса на расстоянии 3,1 м, устойчивость откоса **не обеспечена**.

4. При воздействии нагрузок от веса копра СП-49 при его размещении параллельно относительно бровки котлована для забивки 64-ой свай, расположенной от бровки откоса на расстоянии 1,0 м, устойчивость откоса **не обеспечена**.

5. Возможные плоскости сдвига грунтового массива проходят в зоне верхнего слоя грунта (ИГЭ-НС).

6. Всесторонняя проработка вопросов безопасности на всех стадиях жизненного цикла объектов строительства должна начинаться при подготовке задания на проектирование, при проведении изысканий, проектирования, строительства, эксплуатации, ремонта, реконструкции и т.д.

### Список библиографических ссылок

1. Хузиахметов Р. А., Хузиахметова К. Р., Шарапова Н. Б. Обеспечение повышения уровня безопасности труда при организации и выполнении строительных работ // Известия КГАСУ. 2016. № 4 (38). С. 339–345.
2. Статистика производственного травматизма. URL: [vawilon.ru](http://vawilon.ru) (дата обращения: 04.07.2017).
3. Уровень производственного травматизма в России достиг исторического минимума. URL: <http://ohranatruda.ru> (дата обращения 04.07.2017).
4. Статистика. URL: [www.trudcontrol.ru/press/statistics](http://www.trudcontrol.ru/press/statistics) (дата обращения: 24.07.2017).
5. Анализ производственного травматизма // URL: <http://otfi.ru> (дата обращения: 24.07.2017).
6. Производственный травматизм, или на чем экономят капиталисты. URL: [comstol.info](http://comstol.info) (дата обращения: 24.07.2017).
7. Мирсаяпов И. Т., Хасанов Р. Р., Сафин Д. Р. Проектирование ограждений глубокого котлована жилого комплекса в условиях стесненной городской застройки // Известия КГАСУ. 2015. № 2 (32). С. 183–191.

8. Sakhapov R. L., Nikolaeva R. V., Gatiatullin M. R., Makhmutov M. M. Risk management model in road transport systems // Journal of Conference Series. 2016. T. 738. № 1. С. 012008.
9. Sakhapov R. L., Nikolaeva R. V., Gatiatullin M. R., Makhmutov M. M. Modeling the dynamics of the chassis of construction machines // Journal of Conference Series. 2016. T. 738. № 1. С. 012119.
10. Pinto R. C. A., Shindler A. K. Unified modeling of setting and strength development // Cement and Concrete Research. 2010. V. 40. № 1. С. 58–65.

**Khuziakhmetov R.A.** – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [hroustam@mail.ru](mailto:hroustam@mail.ru)

**Nurieva D.M.** – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [danm\\_n@mail.ru](mailto:danm_n@mail.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

### Assessment of a condition of a slope of a ditch at the device of the pile bases

#### Abstract

*Problem statement.* The purpose of the study is to identify the causes of violation of town planning legislation that led to the collapse of the earthen slope of the excavation, the overturning of the pile-driving copra and the death of the machinist pile-driving copra.

*Results.* The main results of a research consist in definition of stability of a slope of a soil when clogging reinforced concrete piles near a brow of a slope of an underlying ditch. Calculations are carried out with application of four known methods – Fellenius, Cray, Tertsagi, Chugayev. Loss of stability of a soil was caused by a disbalance of external and internal forces (presence of the construction equipment and the stored materials near a slope and sole weight of a soil). Calculations were carried out for six options of loading of earthen slope. The option at which there was a collapse of a slope explicitly is presented in article.

*Conclusions.* The significance of the received results for the construction industry in need of multifold study of safety issues at all stages of life cycle of construction objects, since preparation of a design assignment, researches, projection, construction, operation, repair, reconstruction etc.

**Keywords:** traumatism, accident, ditch slope brow, stability of a slope, prism of collapse of a soil, engineering-geological conditions, pile-driving.

#### References

1. Khuziakhmetov R. A., Khuziakhmetova K. R., Sharapova N. B. Ensuring increase in level of safety of work at the organization and realization of construction works // Izvestiya KGASU. 2016. № 4 (38). P. 339–345.
2. Statistics of operational injuries. URL: [vawilon.ru](http://vawilon.ru) (reference date: 04.07.2017).
3. Level of operational injuries in Russia reached a historical minimum. URL: <http://ohranatruda.ru> (reference date: 04.07.2017).
4. Statistics. URL: [www.trudcontrol.ru/press/statistics](http://www.trudcontrol.ru/press/statistics) (reference date: 24.07.2017).
5. Analysis of operational injuries. URL: <http://otfi.ru> (reference date: 24.07.2017).
6. Operational injuries or what capitalists. URL: [comstol.info](http://comstol.info) (reference date: 24.07.2017).
7. Mirsaypov I. T., Khsanov R. R., Safin D. R. Design fence of deep foundation pit of residential complex in a congested urban area // Izvestiya KGASU. 2015. № 2 (32). P. 183–191.
8. Sakhapov R. L., Nikolaeva R.V., Gatiatullin M. R., Makhmutov M. M. Risk management model in road transport systems // Journal of Conference Series. 2016. T. 738. № 1. P. 012008.
9. Sakhapov R. L., Nikolaeva R. V., Gatiatullin M. R., Makhmutov M. M. Modeling the dynamics of the chassis of construction machines // Journal of Conference Series. 2016. T. 738. № 1. P. 012119.
10. Pinto R. C. A., Shindler A. K. Unified modeling of setting and strength development // Cement and Concrete Research. 2010. V. 40. № 1. P. 58–65.