

# ОПОЛЗЕНЬ 2016 ГОДА В Г. УЛЬЯНОВСКЕ: ЕГО МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ РАСЧЕТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНА



**Чубатов И. В.,**  
инженер отдела научных  
исследований и экспериментального  
проектирования  
ОАО «Гипроречтранс»

**Аннотация.** В статье представлены итоги инженерно-геологических изысканий территории г. Ульяновска, подверженной оползневым явлениям. Проведены расчеты их устойчивости. По итогам математического моделирования оползня построены его геомеханические модели, и выполнены контрольные расчеты по каждой модели при помощи программы RUST-51w. Обоснованы инженерные решения ликвидации последствий оползня и дальнейших противооползневых мероприятий.

**Ключевые слова:** противооползневые мероприятия, математическое моделирование оползня, расчет устойчивости грунтов, геомеханическая модель объекта.

*I. V. Chubатов, Engineer, Department of scientific studies and experimental designing of OJSC «Giprorrechtrans»*

*LANDSLIDE IN 2016 IN ULYANOVSK: ITS MATHEMATICAL SIMULATION AND PROPOSALS ON SUPPORTING OF SLOPE DESIGN STABILITY*

**Abstract.** The article presents the results of geotechnical survey of landslide-prone Ulyanovsk area. We can see soil physical and mechanical properties and calculations of their stability. As a result of mathematical landslide simulation its geomechanical models are given as well as checking calculations for each model, completed in RUST-51w program. The authors prove engineering solutions of landslide recovery and further landslide control measures.

**Keywords:** landslide control, mathematical simulation of landslide, soils stability calculations, geomechanical object's model.

Из-за особенностей рельефа, гидрографии и климатических условий Ульяновская область является классическим районом оползневых процессов. Оползневые явления наблюдаются в Ульяновском, Цильнинском, Сурском, Новоспасском и Сенгилеевском районах на береговых склонах Суры, Свяги, Барыша. Все правобережье Волги, от Ундор до Ульяновска, представляет непрерывный ряд разновременных оползней, но наиболее крупные из них происходят и происходили на Симбирском косогоре [1].

Рассматриваемый участок склона находится в районе Минаевского спуска г. Ульяновска. Вот как характеризует этот район И. С. Рогозин в книге «Оползни Ульяновска и опыт борьбы с ними» [2]: «Район Минаевского спуска, а также верхняя часть цирка, расположенного к югу от него, благодаря обильным выходам воды аптского водоносного горизонта в недалеком прошлом был очень неустойчив. Оползни здесь происходили постоянно и причиняли много вреда железной дороге. В настоящее время (1960 г. — Прим. авт.), в связи с постройкой дренажной штольни, оползни прекратились».

Ниже на участке, где почти закончился весь цикл развития оползневого рельефа, склон устойчив. Крутизна откоса здесь равна примерно 6° или 7°. Выше, там, где происходили оползни, крутизна в среднем равна 10°, а на отдельных участках — 20°.

Для местных условий, следовательно, можно считать, что при углах откосов 6° или меньше оползни не происходят, если, конечно, не будет подрезаться или увлажняться склон».

Известно, что на верхнюю часть склона в зимнее время много лет свозились снег и мусор, убранные с улиц города. В итоге здесь была образована насыпь высотой до 9 м и размером в плане 60×65 м. Причем эта насыпь была расположена на теле оползня, сползшего в 1959 г. Нагрузка от насыпи вызывала небольшие подвижки грунта на этом участке.

На автомобильной дороге по спуску Степана Разина (грунтовой «восьмерке») была устроена решетка ливнеприемника. Вода из него по трубе сбрасывалась на крутой участок склона, размывая его. Поверхностные водопроявления были зафиксированы только ниже бровки склона. На участках с достаточным уклоном вышедшая вода собиралась в ручьи. Некоторые ручьи не были оборудованы лотками, текли в промоинах в грунте.

В начале апреля 2016 г. после продолжительных дождей под влиянием одновременного воздействия ряда факторов (таких как: подъем уровня грунтовых вод и взвешивание песков нижней части склона, водонасыщение грунтов, подрезание склона потоками воды, навал современных техногенных грунтов и др.) на рассматриваемом участке снова сошел оползень. Произошел частичный обвал полотна трехполос-



**Рис. 1. Верхняя часть оползня. 27.04.2016 г.**

ной проезжей части на протяжении примерно 100 м. Язык оползня дошел до насыпи железнодорожных путей. Встреченные опасной близостью оползневых масс к насыпи, железнодорожники разгрузили нижнюю часть склона, убрав сползший грунт. Это могло привести к дальнейшим подвижкам склона, но по счастливой случайности не привело. Общий вид оползня показан на **рис. 1 и 2.**

Математическое моделирование оползня и анализ возможных мероприятий по его стабилизации были проведены в ОАО «Гипроречтранс» в отделе научных исследований и экспериментального проектирования (начальник отдела Г. В. Мельник) под руководством главного специалиста, к. т. н. В. Э. Даревского. Ниже приведены результаты исследований.

Геология спуска Степана Разина в 1950 гг. подробно исследована и наиболее детально изложена в книге [2]. По материалам отчета о комплексных инженерных изысканиях на объекте, выполненных инженерно-геологической экспедицией ЗАО «УльяновскТИСИЗ» (2012 г., инв. № Г-8996), в геологическом строении до глубины 35,0 м принимают участие нижнемеловые отложения аптского, барремского и готеривского ярусов (K1ар, K1б, K1h). Верхняя часть нижнемеловых отложений в современное и современно-четвертичное время подверглась оползневому смещению (dpQIV, dpQIII-IV). На некоторых участках эти отложения были размыты оврагом с последующим заполнением пролювиальными грунтами (pIQIV). На не затронутом оползневыми процессами участке сверху залегают современные четвертичные делювиальные отложения (dQIV). С поверхности отмечены современные элювиальные образования (eQIV) и техногенные грунты (tQIV).

Физико-механические характеристики практически для всех грунтов приведены в указанном выше отчете. Но нет данных о свойствах насыпного грунта, поэтому в расчетах они были приняты как для супеси по СН-РФ 54.1-85 [3]: удельный вес грунта естественной влажности  $\gamma_1 = 16 \text{ кН/м}^3$ , удельный вес грунта при полном водонасыщении  $\gamma_{\text{max}} = 20 \text{ кН/м}^3$ , угол внутреннего трения  $\varphi_1 = 21^\circ$ , удельное сцепление  $c_1 = 0,3 \text{ кПа}$ .

Для обеспечения согласования модели геологического строения с результатами наблюдений было необходимо учесть тонкий слой ослабленной глины, не отраженный на геологическом разрезе по поверхности водоупора. Параметры его прочности: угол внутреннего трения ( $\varphi$ ) был принят по результатам испытания плашка по плашке самого слабого прилегающего грунта ИГЭ 8 ( $\varphi = 9^\circ$ ); значение удельного сцепления ( $c$ ) для этого слоя, согласно рекомендациям СН-РФ 54.1-85 [3], принимает-



**Рис. 2. Общий вид оползня. Прокладывание дорог для новых инженерно-геологических изысканий. 19.06.2016 г.**

ся не более 5 кПа. Аналогичное решение было принято в расчетах для устранения оползневой опасности на участке, примыкающем к трассе газопровода «Старая Бинарадка — Ульяновск» [4].

Для расчетов были выбраны три характерных разреза (**рис. 3**), проходящих по наиболее вероятной траектории движения оползня.

Инженерно-геологическое строение по выбранным профилям с незначительными изменениями отражено в геомеханических моделях, т. е. пригодных для машинной обработки расчетных разрезах.

В отличие от геологической модели, образуемой комплексом инженерно-геологических элементов (ИГЭ), расчетная геомеханическая модель объекта образуется комплексом расчетных геологических элементов (РГЭ), согласно ГОСТ 20522-2012 [5].

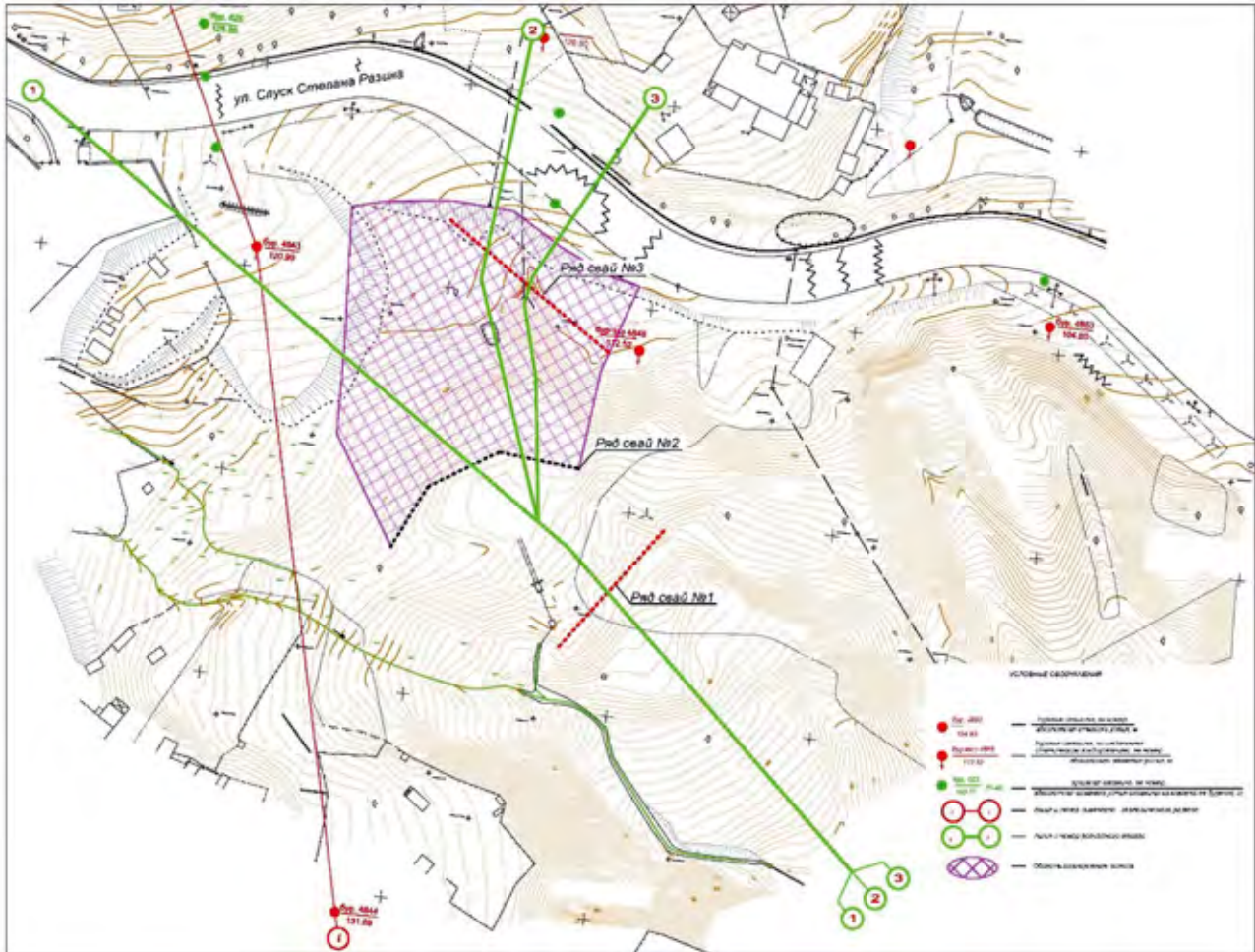
Мы принимали как для взвешенного грунта. Удельный вес грунта ниже установившегося уровня грунтовой воды (УГВ) и выше водоупора принимали как для взвешенного грунта. Выше УГВ — как для грунта естественной влажности (в пределе — водонасыщенного).

Чтобы учесть вертикальное давление грунтовой воды, приложенное к поверхности водоупора, его имитировали тонким слоем грунта, вес которого приблизительно равен весу воды в порах вышележащего грунта между водоупором и кривой депрессии.

Критерием достоверности геомеханической модели является близкое к 1 расчетное значение коэффициента устойчивости склона  $K_s$ , находящегося, как в рассматриваемом случае, в состоянии предельного равновесия [5, 6].

Расчеты устойчивости были выполнены с применением вариационного метода расчета в соответствии с требованиями СП [7-10] и ведомственных нормативных документов [6, 11].

Указанным выше требованиям удовлетворяет программа RUST-51w [11-13], в которой реализован общепринятый метод расчета, регламентированный рядом нормативных документов в строительстве, так называемый «метод блоков» или «наклонных сил». Эта программа и ее предшественники



**Рис. 3.** Расположение геологических и расчетных разрезов

прошли успешную многолетнюю апробацию на тысячах расчетов, в том числе для аварийных объектов и модельных экспериментов различных исследователей.

Программа RUST-51w решает вариационную задачу поиска наихудшей поверхности скольжения произвольной формы одним из численных методов динамического программирования, обеспечивающим достаточно точное решение многоэкстремальной задачи. При этом критерием оптимизации является разность удерживающих и сдвигающих сил.

К поверхности грунта может быть приложена вертикальная равномерно-распределенная ступенчатая (до 40 ступеней) нагрузка двух типов: постоянная и временная.

В случае, когда задана поверхность воды в грунте и положение водоупора, величины и направление фильтрационных сил определяются автоматически.

Программа RUST-51w позволяет выполнять расчет для условий пространственной задачи. Для этого выделяют на оползневом склоне — по его ширине — ряд полос, в пределах которых геологические условия и нагрузки можно принять одинаковыми.

Было выполнено около 80 контрольных расчетов для профиля 1, профиля 2 и профиля 3 (см. рис. 3) при коэффициенте надежности по назначению  $\gamma_n = 1$ . Эти расчеты были проведены для проверки геомеханической модели. В **табл. 1** приведены результаты расчетов, только наиболее значимых для окончательных выводов. Исходные данные и результаты расчетов для трех характерных профилей при-

ведены на **рис. 4–6** (в том виде, как они выдаются на печать в AutoCad).

Были выполнены расчеты пространственной задачи для профиля 2 путем добавления сдвигающей силы за счет передачи действия от соседних блоков профиля 3. Расчеты показали, что при подъеме грунтовых вод и увеличении веса насыпных грунтов, склон находился в неустойчивом состоянии. Т. е. оползень захватывает и профиль 2, и профиль 3.

Расчеты показали, что для всех профилей возможные поверхности скольжения располагаются на относительно небольшой глубине (до 10 м), и древесная растительность может быть одним из факторов, повышающих устойчивость склона.

Расчеты по предварительным поискам решения ликвидации оползневой угрозы были выполнены для профиля 3, при основном и особом сочетании нагрузок. Были проверены расчетами и забракованы предложенные ранее мероприятия по обеспечению требуемой устойчивости склона за счет его планировки с устройством подпорных стен, анкеровок и глубинного дренирования. Наилучшим решением на данном этапе исследований оказалось классическое укрепление склона рядами (полями) свай (шпонов).

Рассмотрены разные варианты расположения рядов свай с учетом планирования откоса от дороги. Результаты расчетов приведены в **табл. 2**. Исходные данные и результаты расчета для профиля № 3 приведены на **рис. 7** (в том виде, как они выдаются на печать в AutoCad).

| № профиля                         | № расчета (№ рисунка) | Поверхность, проходящая через начало координат |         | Поверхность, не проходящая через начало координат |         | Примечание  |
|-----------------------------------|-----------------------|--|---------|---|---------|---|
|                                   |                       | $K_s$  | E, кН/м | $K_s$   | E, кН/м |   |
| 1 профиль (по площадке)           | 1 (4)                 | 0,97   | 139,5   | 0,96  | 179,2   | $\gamma_{ИГЭ1} = 16 \text{ кН/м}^2$   |
|                                   | 2                     | 0,96   | 221,8   | 0,94  | 272,4   | $\gamma_{\text{max ИГЭ1}} = 20 \text{ кН/м}^2$  |
|                                   | 3                     | 0,95   | 322,2   | 0,81  | 490,8   | $\gamma_{\text{max ИГЭ1}} = 20 \text{ кН/м}^2$<br>$\gamma_{\text{ИГЭ3}} = 10 \text{ кН/м}^2$<br>УВ по поверхности ИГЭ3 (РГЭ6) |
| 2 профиль (по дороге и по бугру)  | 4                     | 1,09   | -103,5  | 0,89  | 55,9    | $\gamma_{ИГЭ1} = 16 \text{ кН/м}^2$   |
|                                   | 5                     | 1,07   | -85,8   | 0,85  | 101,4   | $\gamma_{\text{max ИГЭ1}} = 20 \text{ кН/м}^2$  |
|                                   | 6                     | 1,01   | -45,5   | 0,95  | 157,4   | $\gamma_{\text{max ИГЭ1}} = 20 \text{ кН/м}^2$<br>$\gamma_{\text{ИГЭ3}} = 10 \text{ кН/м}^2$<br>УВ по поверхности ИГЭ3 (РГЭ7) |
|                                   | 7                     | 1,08   | -88,4   | 0,89  | 60,5    | Добавление сдвигающей силы за счет передачи действия от соседних блоков профиля 3 (файл K211)                                 |
|                                   | 8                     | 1,05   | -62,5   | 0,85  | 101,4   | Добавление сдвигающей силы за счет передачи действия от соседних блоков профиля 3 (файл K21)                                  |
| 3 профиль (по дороге и по оврагу) | 9 (5)                 | 0,97   | 95,3    | 0,95  | 157,4   | Добавление сдвигающей силы за счет передачи действия от соседних блоков профиля 3 (файл K2122)                                |
|                                   | 10                    | 0,97   | 30,2    | -   | -       | $\gamma_{ИГЭ1} = 16 \text{ кН/м}^2$   |
|                                   | 11                    | 0,96   | 44,4    | -   | -       | $\gamma_{\text{max ИГЭ1}} = 20 \text{ кН/м}^2$  |
|                                   | 12 (6)                | 0,92   | 281,5   | 0,93  | 216,5   | $\gamma_{\text{max ИГЭ1}} = 20 \text{ кН/м}^2$<br>$\gamma_{\text{ИГЭ3}} = 10 \text{ кН/м}^2$<br>УВ по поверхности ИГЭ3 (РГЭ7) |

Табл. 1. Результаты контрольных расчетов

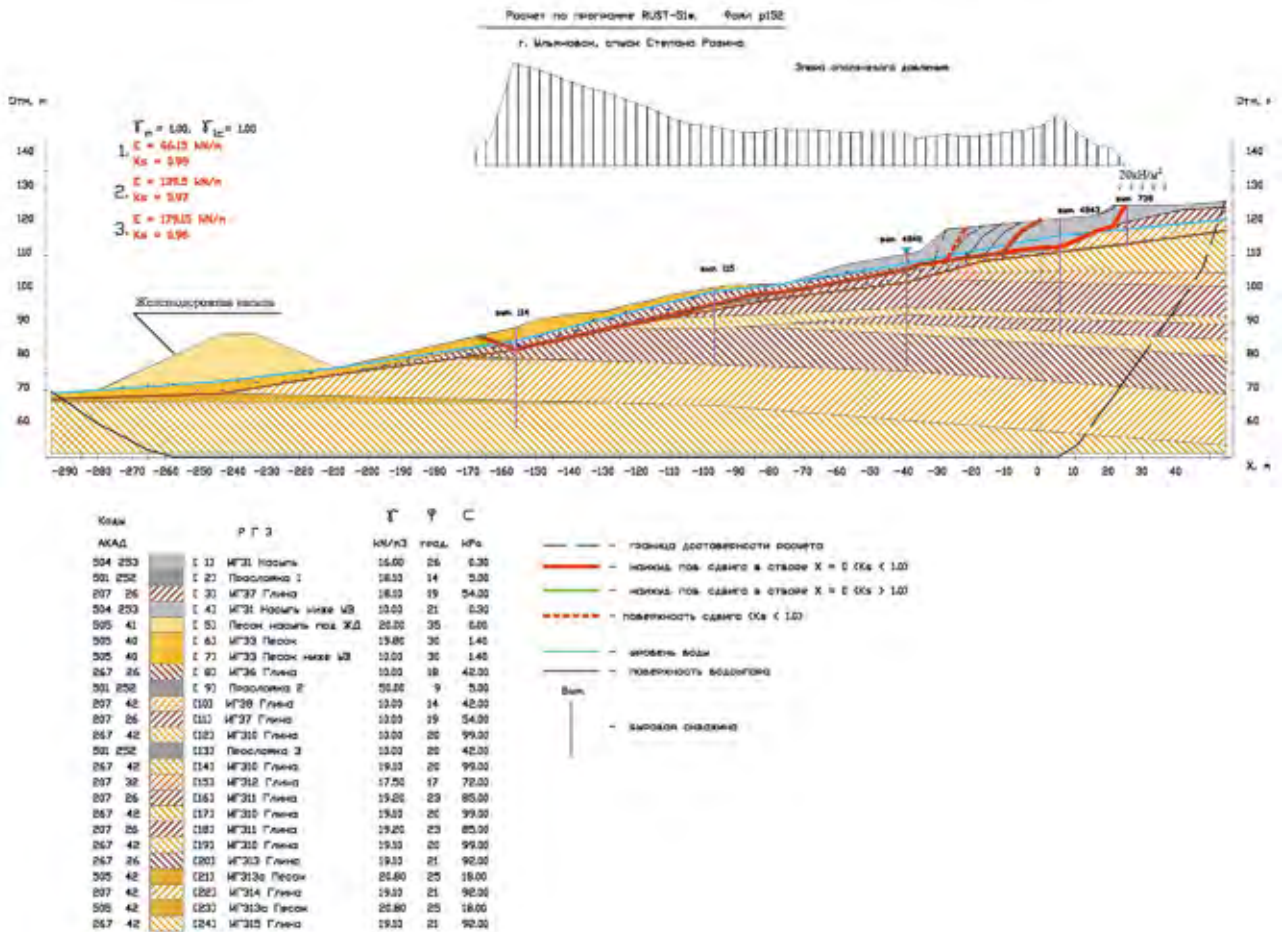


Рис. 4. Контрольный расчет профиля № 1

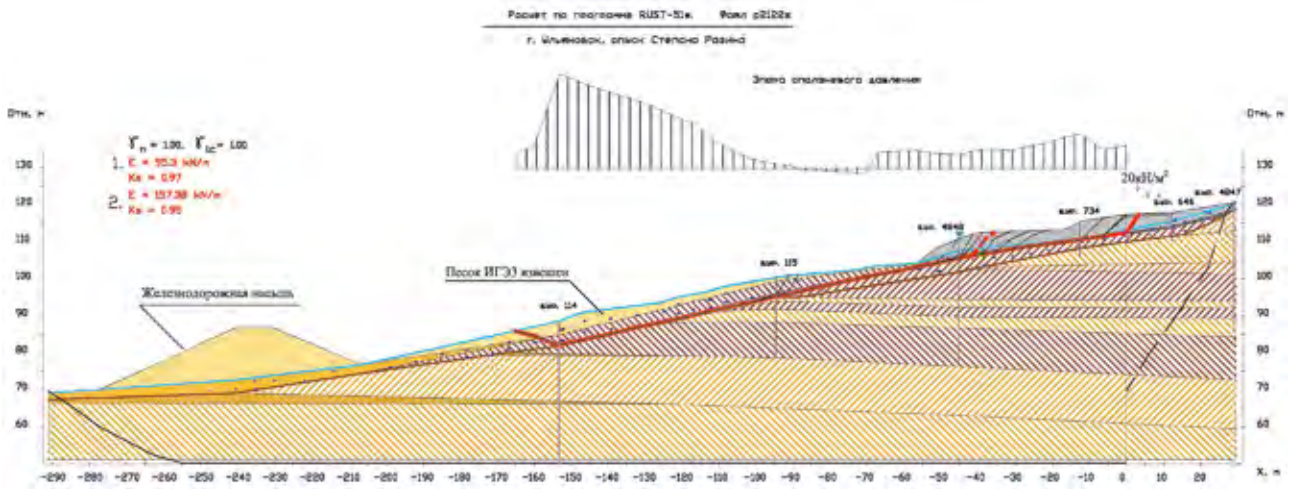


Рис. 5. Контрольный расчет профиля № 2

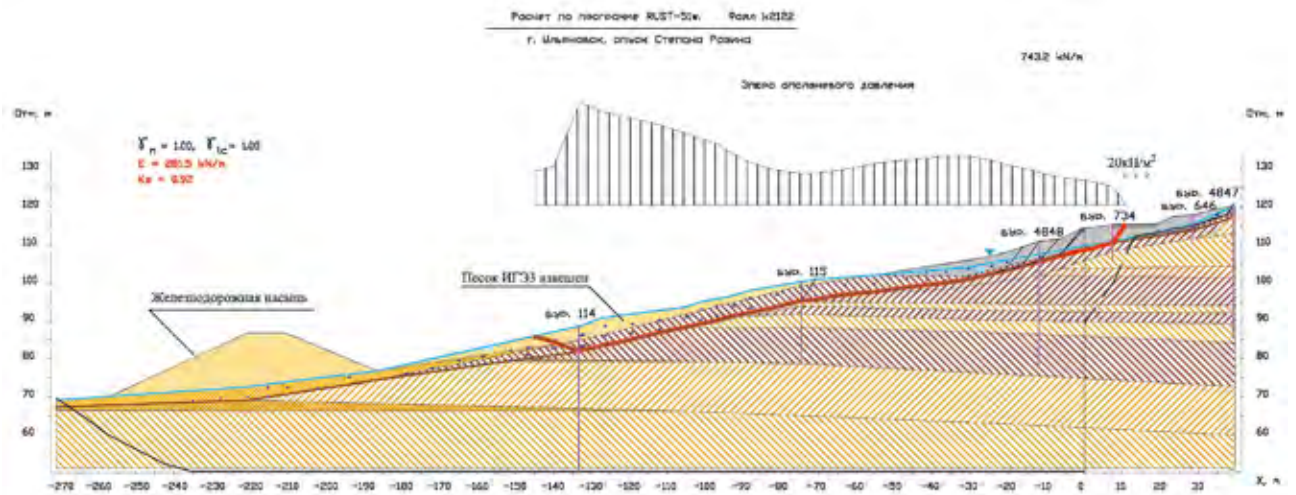


Рис. 6. Контрольный расчет профиля № 3

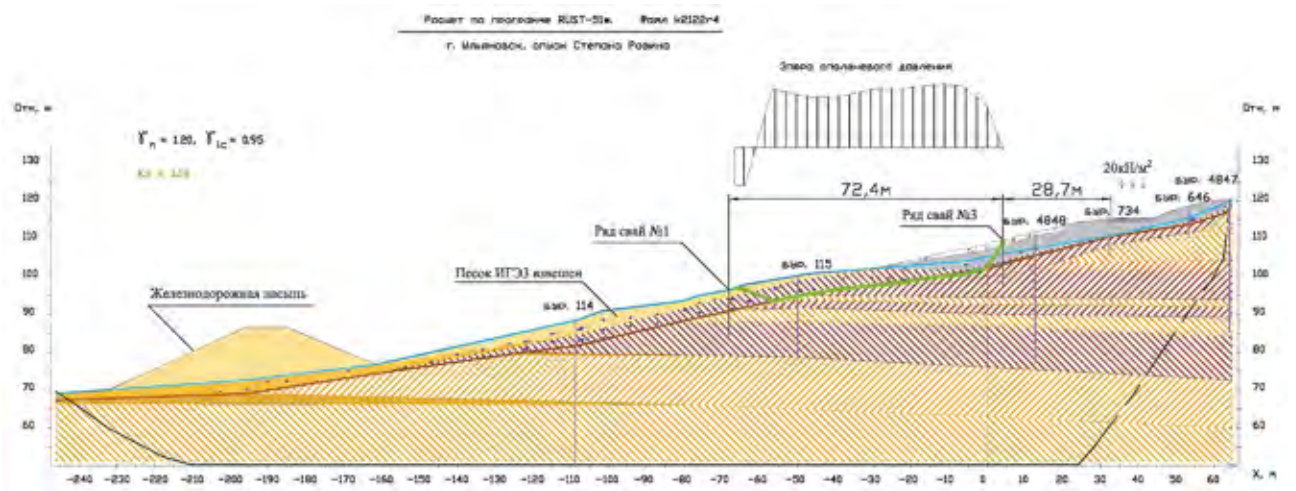


Рис. 7. Расчетный случай для проекта по профилю № 3

| № профиля                               | № расчета<br>(№ рисунка) | Поверхность, проходящая<br>через начало координат |        | Поверхность, не проходящая<br>через начало координат |        | Примечание  |
|---|--------------------------|---|--------|--|--------|---|
|   |                          |   |        |  |        |   |
| 3 профиль<br>(по дороге<br>и по оврагу) | 1                        | 0,95  | 139,5  | 0,88   | 182,19 | $\gamma_n=1,20$ . Особое сочетание нагрузок и воздействий.<br>Планирование откоса и добавление ряда свай № 2 L=12 м         |
|   | 2                        | 0,91  | 221,8  | —  | —      | $\gamma_n=1,20$ . Особое сочетание нагрузок и воздействий.<br>Планирование откоса и добавление ряда свай № 3 L=12 м         |
|   | 3                        | 0,95  | 322,2  | —  | —      | $\gamma_n=1,20$ . Особое сочетание нагрузок и воздействий.<br>Планирование откоса, добавление рядов свай № 1 L=12 м         |
|   | 4 (7)                    | 1,14  | -103,5 | —  | —      | $\gamma_n=1,20$ . Особое сочетание нагрузок и воздействий.<br>Планирование откоса, добавление рядов свай № 1 и № 3 L=12 м   |
|   | 5                        | 1,07  | -85,8  | —  | —      | $\gamma_n=1,20$ . Основное сочетание нагрузок и воздействий.<br>Планирование откоса, добавление рядов свай № 1 и № 3 L=12 м |

Табл. 2. Результаты расчетов для проектирования

В результате получено следующее решение:

- планирование откоса (средний уклон в верхней части 13°, или 1:4,5);
- добавление рядов свай № 1 и № 3 (рис. 3) (особое внимание было уделено подбору оптимального расположения свайных рядов на склоне).

Конструкция свайных рядов и их проверка на прочность в данной работе не рассматривались.

#### ВЫВОДЫ

1. Контрольные расчеты склона показали, что при принятых геомеханических моделях массива грунта, включая расчетные параметры прочности, рекомендованные на основании инженерно-геологических изысканий, склон находился в предельном состоянии. А при водонасыщении насыпных грунтов и взвешивании песка ИГЭЗ в нижней части склона значительно уменьшились удерживающие силы, и склон стал неустойчивым. Обнаруженные расчетами небольшие неустойчивые участки (сплывы), по видимому, ранее были устойчивы за счет растительности.
2. Расчеты показали, что из всех методов инженерной защиты склона от оползневой опасности наиболее подходящим в конкретных условиях является планирование откоса дороги уклоном 1:4,5 и добавление двух рядов свай длиной порядка 12 м. Ряды свай не должны быть сплошными для исключения барражного эффекта.
3. Контрольные расчеты, в которых не учитывалось снижение прочностных параметров глинистого грунта на границе водоупора, не обнаруженных при бурении, не смогли объяснить причину и характер наблюдаемого склонового процесса. А такие условия достаточно часто присутствуют на границе водоупора. Таким образом, на рассматриваемом объекте контрольные расчеты оказались хорошим средством уточнения не только параметров прочности грунтов, но литологического строения склона.
4. При проектировании зданий и сооружений в пределах оползнеопасной зоны необходимо проводить расчеты устойчивости склонов при помощи современных расчетных программ, соответствующих требованиям СП [7–10] и ведомственных нормативных документов [6, 11]. Одной из таких программ является RUST, в которой реализован общепринятый метод расчета, регламентированный рядом нормативных документов в строительстве, так называемый «метод блоков» или «наклонных сил».

Отметим при этом, что на выполнение настоящей работы у администрации города не нашлось относительно небольших средств, и она выполнена на общественных началах.

Зато были предприняты очередные совершенно излишние в данном случае буровые работы на хорошо изученном ранее склоне. Причем работы общего характера, даже не направленные на проверку или уточнение геологической и геомеханической моделей склона.

#### Литература

1. История катастроф на территории Ульяновской области [электронный ресурс]: главное управление МЧС России по Ульяновской области. Режим доступа: <http://73.mchs.gov.ru>.
2. Рогозин И. С. Оползни Ульяновска и опыт борьбы с ними. М.: Издательство АН СССР, 1961. 149 с.
3. Пособие к СН-РФ 54.1-85, книга 2. Основные положения по расчету. Характеристики материалов и грунтов. Нагрузки и воздействия.
4. Даревский В. Э., Романов А. М., Шестов Г. Е. Мельник Г. В. Использование современных методов расчета при проектировании защиты берега Куйбышевского водохранилища // Гидротехника. 2013. № 3 (32). С. 21–27.
5. ГОСТ 20522-2012. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний.
6. Рекомендации по количественной оценке устойчивости оползневых склонов/ ПНИИИС. М.: Стройиздат, 1984. 80 с.
7. СП 23.13330.2011. Основания гидротехнических сооружений.
8. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений.
9. СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования.
10. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов.
11. Руководство по количественной оценке с помощью ЭВМ общей устойчивости оползнеопасных склонов (окончательная редакция) / АО Гипроречтранс, 1995.
12. Даревский В. Э. Романов А. М. Проектирование сооружений, обеспечивающих устойчивость грунтовых массивов (набережные, берегоукрепления, подпорные стены, защита от оползней и пр.) / Гипроречтранс. М.: ООО «Издательство Мастер», 2011. 596 с.
13. Романов А. М., Даревский В. Э. Программа RUST — эффективное средство выполнения расчетов устойчивости грунтовых массивов при проектировании бережных и инженерной защиты территорий // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1998. № 1.