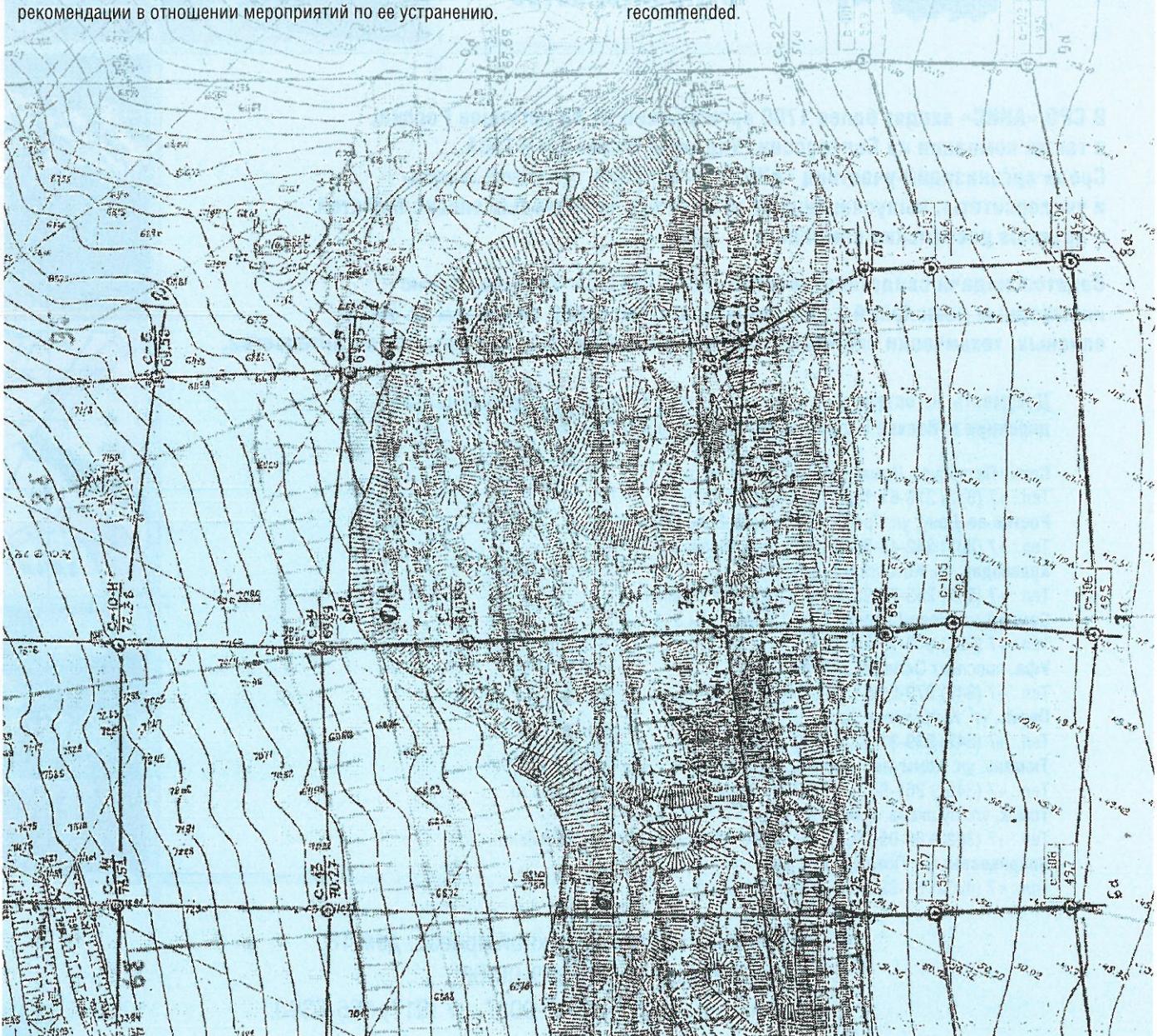


Ключевые слова: Куйбышевское водохранилище; оползневый склон; оползневая опасность; устойчивость склона; геомеханические модели; расчеты устойчивости; противооползневая защита; инженерная защита склона; контрольные расчеты.

Аннотация: рассматриваемый в статье оползневый участок крутого склона Куйбышевского водохранилища, расположенный в 112 км выше плотины Куйбышевской (Волжской, Жигулевской) ГЭС, опасно примыкает к трассе подводного перехода трубопровода. В настоящей работе оценивается оползневая опасность данного участка, и даются рекомендации в отношении мероприятий по ее устраниению.

Key words: the Kuibyshev Reservoir; landslide slope; landslide hazard; slope stability; geomechanical models; stability calculations; landslide protection; engineering slope protection; control computations.

Abstract: the landslide site (112 km upstream the Kuibyshev hydropower plant dam) of a steep slope of the Kuibyshev Reservoir shore considered in the article dangerously abuts on the right-of-way of a pipeline subaqueous crossing. The article estimates the landslide hazard of the site. Measures to eliminate the hazard are recommended.



**ДАРЕВСКИЙ В.Э., РОМАНОВ А.М.,
ШЕСТОВ Г.Е.**

ОАО «Гипроречтранс», giprt@giprt.ru

**DAREVSKY V.E., ROMANOV A.M.,
SHESTOV G.E.**

The «Giprorechtrans» OJSC, giprt@giprt.ru

ОЦЕНКА ОПОЛЗНЕВОЙ ОПАСНОСТИ ДЛЯ ОДНОГО ИЗ УЧАСТКОВ БЕРЕГА КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

ANTI-LANDSLIDE PROTECTION OF A SHORE SITE OF THE KUIBYSHEV RESERVOIR

На крутых бортах Куйбышевского водохранилища наблюдаются склоновые процессы, вызванные переработкой и размывом береговой линии, а также особенностями геологического строения и гидрогеологического режима территории водохранилища. После заполнения водохранилища последние 50 лет берег во многих местах отступает со скоростью 1,5–1,8 м в год, что сопровождается оползнями.

Рассматриваемый в статье участок расположен в 112 км выше плотины Куйбышевской (Волжской, Жигулевской) ГЭС, в 3,5 км юго-восточнее с. Криуши. Здесь высота крутой части склона, ограничивающей полого наклоненное плато, составляет всего 10–15 м и оползневый участок опасно примыкает к трассе подводного перехода трубопровода. Общий вид оползневого склона показан на рис. 1. Целью настоящей работы была разработка мероприятий по устранению оползневой опасности для трубопровода.

При проектировании и строительстве береговых участков подводных переходов трубопроводов практически всегда приходится учитывать возможность развития оползневых процессов, как правило, сопровождающихся деформациями и опасными повреждениями труб, так как аварийные ситуации на продуктопроводах из-за подвижек грунта в местах их подводных переходов не являются чем-то необычным. Достаточно только вспомнить известные нам аварии в районах Котласа, Сарапула и Чебоксар [1, 2]. После крупной аварии на подводном переходе газопровода через р. Каму у г. Сарапула были проведены комплексные исследования склона и трубопроводов, включая выполненные авторами расчеты устойчивости методами, примененными и в настоящей работе. Расчеты показали, что положение неустойчивых участков склона достаточно хорошо согласуется с результатами наблюдений за склоном, работ по дефектоскопии труб и измерению их напряженного состояния. На основании расчетов были указаны наиболее слабые места, что и было подтверждено новой аварией на газопроводе после опубликования статьи [1].

Для исследований и проектирования, выполненных в 2007 году, авторы располагали геоподосновой в масштабе 1:500 с фрагментом в масштабе 1:200 по данным 2004 года, инженерно-геологическим описанием объекта и инженерно-геологическими разрезами, выполненными ООО «Самаратрансгаз» и



Рис. 1. Общий вид оползневого склона

ООО «Компания МАКОМ». Кроме того, были сопоставлены топосъемки 1963, 2002 и 2004 годов, которые показали, как шло разрушение берега, и дали важный материал для контрольных расчетов склона.

В то же время анализ указанных материалов показал, что рассматриваемый участок строительства был недостаточно полно обеспечен результатами инженерно-геологических изысканий с точки зрения требований к ним для районов развития склоновых процессов [8]. По горным выработкам не была описана территория за пределами существующего оползневого тела, не было выявлено зеркало сдвига и не были определены параметры прочности глинистых грунтов вдоль поверхности сдвига и вблизи горизонта грунтовых вод в проницаемом грунтовом массиве. Поэтому при построении геомеханических моделей склона (расчетных схем) потребовалось сделать ряд существенных допущений относи-

тельно геологического строения и прочего, что оказало влияние на результаты расчетов.

При гидроморфологическом описании участка было отмечено, что тело современного оползня представляет собой смещенный массив связных грунтов оползневой террасы — сложно перемятых суглинков с выжатым по фронту (на побережье водохранилища) валиком подстилающей глины (рис. 2), прочностные характеристики которой не были определены. Нижняя граница оползневого тела по предварительной оценке находилась на отметке 51,50 м. При описании оползня его базис был отнесен к отметке 52,25 м.

В материалах изысканий имеется пять построенных геологических разрезов, обозначенных номерами 5а–9а (рис. 3). Несколько отличается от них положение расчетных разрезов (обозначенных на рис. 3 номерами 5б–9б соответственно), построенных по направлению наиболее вероятного сползания.



Рис. 2. Выходы пластичных черных глин в основании оползня



Рис. 3. Расположение геологических и расчетных разрезов



Рис. 4. Выход черных глин, по поверхности которых видны выходы грунтовых вод

Инженерно-геологическое строение по этим разрезам с незначительными изменениями затем было отражено в геомеханических моделях, проверено и уточнено на основании большого количества контрольных расчетов (математического моделирования) склона до начала строительства.

Критерием достоверности геомеханической модели является близкое к 1 расчетное значение коэффициента устойчивости склона, находящегося, как в рассматриваемом случае, в состоянии предельного равновесия хотя бы для одного из возможных уровней воды в водохранилище.

Уровенный режим Куйбышевского водохранилища характеризуется следующими округленными данными, имеющими отношение к оценке оползневой опасности:

- нормальный подпорный уровень 5% обеспеченности: 53,9 м.
- максимальный уровень 1% обеспеченности: 54,2 м.
- минимальный уровень летом по ближайшему водостоку: 48,7 м.
- минимальный уровень зимой по ближайшему водостоку: 45,6 м.
- максимальная высота волны 5% обеспеченности: 2,5 м.

Для обеспечения согласования геологического строения с результатами наблюдений пришлось ввести дополнительный тонкий слой ослабленной глины ИГЭ-2г, не отраженный на геологическом разрезе, но обнаруженный при осмотре склона (см. рис. 2, 4) вдоль предполагаемого зеркала сдвига, в зоне попеременного длительного увлажнения и высыхания глины. На основании контрольных расчетов были подобраны такие параметры ее прочности, которые можно было бы ожидать (по аналогам) при повторном сдвиге образцов в условиях водонасыщения («плашка по плашке») глины ИГЭ-2в. Они оказались одинаковыми для всех разрезов.

Расчеты устойчивости были выполнены в соответствии с требованиями СНиП 2.02.01-83 [6], СНиП 22-02-2003 [7], части II СП 11-105-97 [8] и ведомственных нормативных документов. Они выполнялись по программе RUST-51W исходя из предположения, что определяющим, как это чаще всего и бывает при неоднородной толще грунтов, является поступательное перемещение. Краткое описание основных положений и методов расчета, а также программы RUST-51W приведено в работе [4]. В названной программе реализован общепри-

нятый «метод блоков». При этом также в соответствии с общепринятой практикой для небольшого запаса (поскольку в натуре склон должен быть немножко более устойчивым, чем по расчету) наклон сил взаимодействия между вертикальными блоками, на ко-

торые разделен сдвигаемый массив грунта, принят равным 0° .

Согласно указанным выше нормативным документам критерием устойчивости является соблюдение следующего неравенства для любой поверхности в массиве грунта:

$$\gamma_{lc} \times F \leq \gamma_c \times R / \gamma_n,$$

где F — расчетное значение сдвигающей силы (или момента этой силы); R — расчетное значение силы предельного сопротивления (или момента этой силы); γ_{lc} — коэффициент соче-

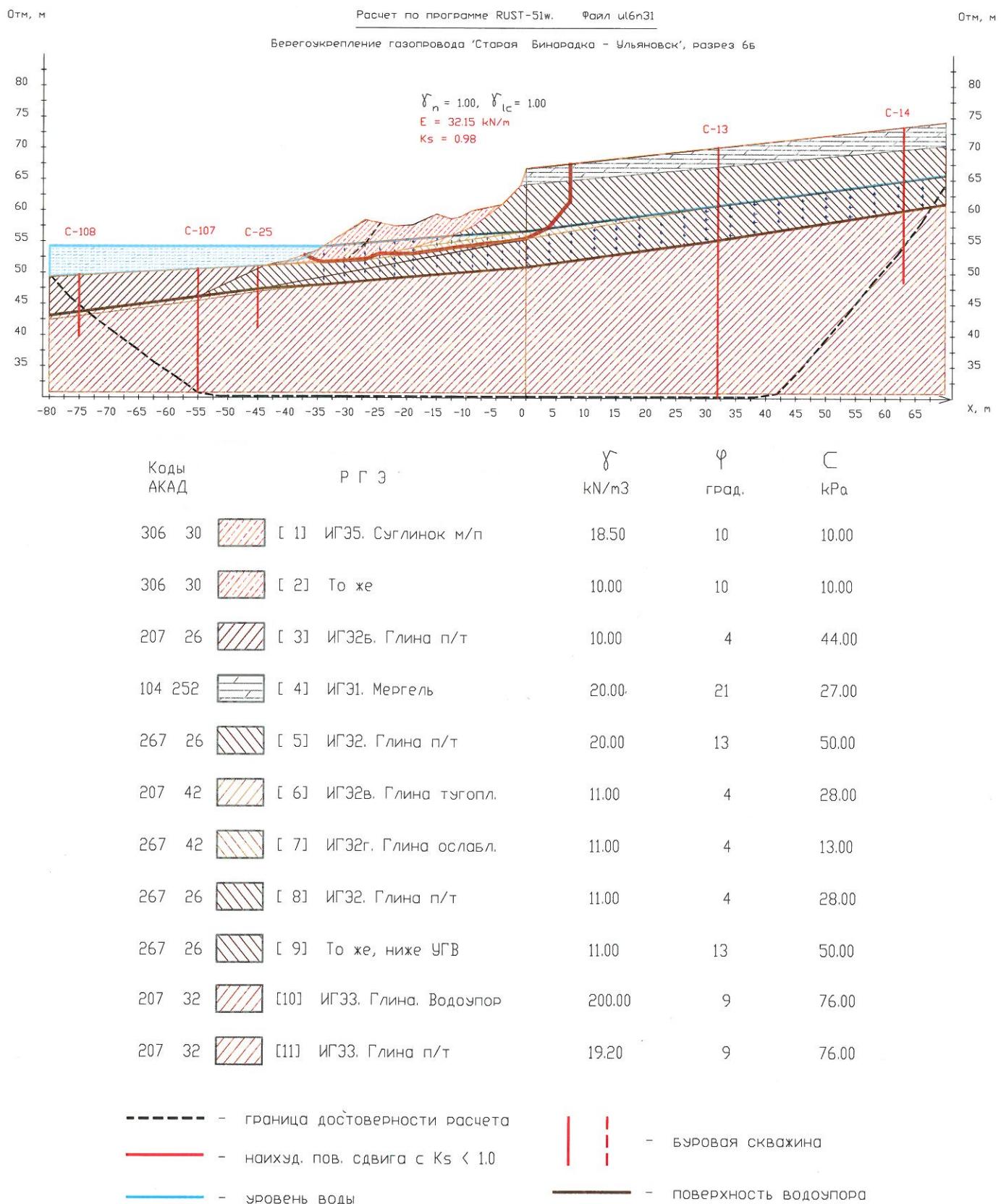


Рис. 5. Контрольный расчет склона по разрезу 6б

тания нагрузок (для строительного периода равный 0,95); γ_c — коэффициент условий работы (для примененного авторами метода расчета равный 1,0); γ_n — коэффициент безопасности по ответственности.

Критерием устойчивости также является значение коэффициента устойчивости $K_s \geq 1,0$, где $K_s = (\gamma_c R)/(\gamma_n F)$.

Потеря устойчивости относится к первой группе предельных состояний, и согласно требованиям указанных выше нормативных документов расчеты необходимо вести по расчетным параметрам прочности грунтов, при этом коэффициент безопасности по ответственности, который учитывает факто-

ры, прямо не вошедшие в расчет, должен быть больше 1. Коэффициент сочетания нагрузок для периода нормальной эксплуатации сооружений (основного сочетания нагрузок и воздействий) принят равным 1.

На основе инженерно-геологических разрезов (геологических моделей основания) были построены пригодные для машинной обработки расчетные разрезы — геомеханические модели склона.

В отличие от геологической модели, образуемой комплексом инженерно-геологических элементов (ИГЭ), расчетная геомеханическая модель объекта образуется комплексом расчетных

геологических элементов (РГЭ). Согласно ГОСТ 20522-96 [3] за РГЭ принимают некоторый объем грунта, необязательно одного и того же происхождения и вида, в пределах которого нормативные и расчетные значения характеристик при проектировании грунтового объекта по условиям применяемого расчетного или экспериментального метода могут быть постоянными. РГЭ может включать часть одного или нескольких ИГЭ.

При объединении в один РГЭ двух и более одинаковых по происхождению и близких по прочности ИГЭ «в запас», как правило, принимаются параметры прочности, наихудшие из

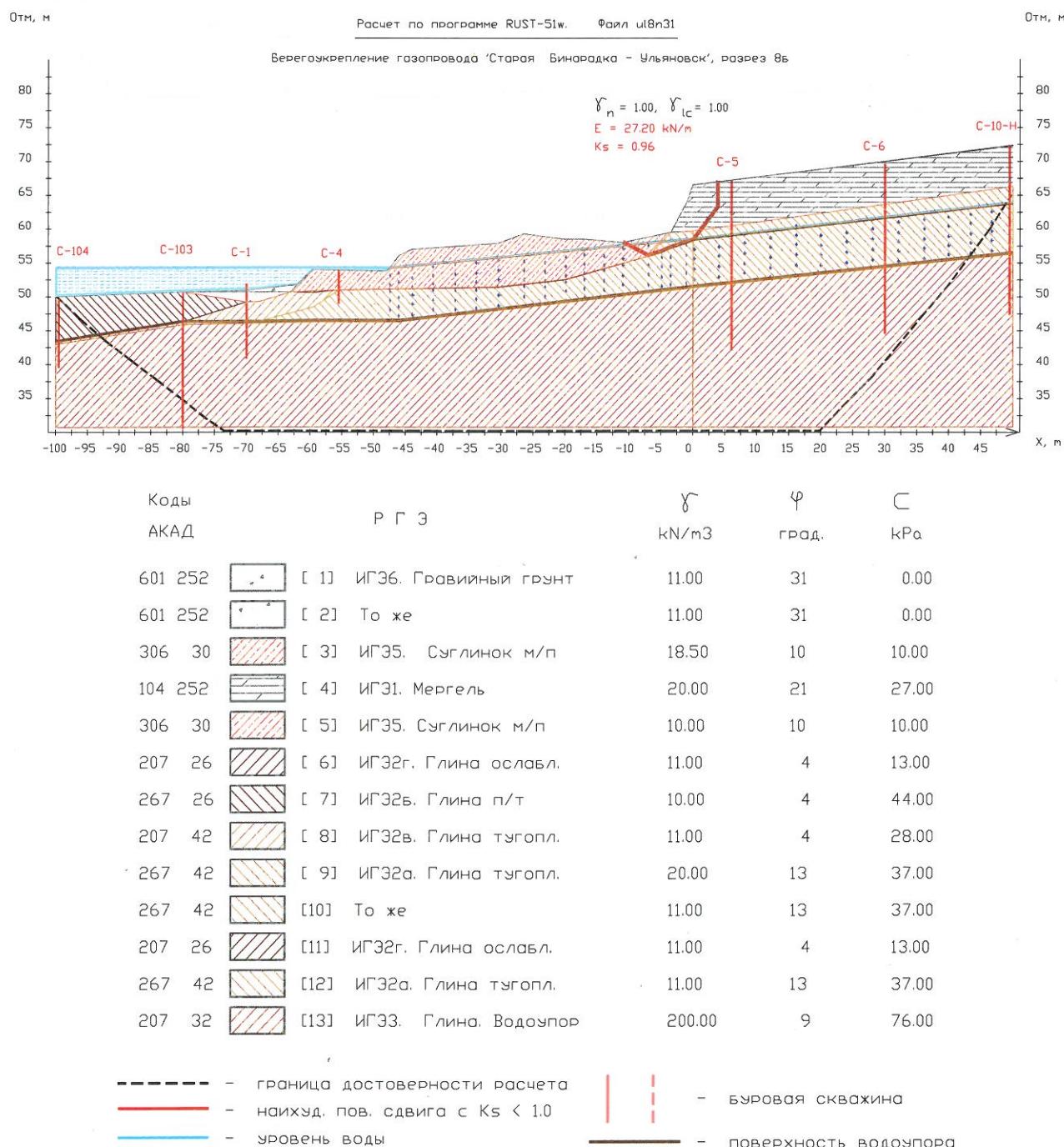


Рис. 6. Контрольный расчет склона по разрезу 8б

рекомендованных геологами. В настоящей работе геологическое строение не упрощалось, однако на основе нескольких предварительных расчетов при построении геомеханических моделей выбирались менее благоприятные для устойчивости толщина и наклон слоев грунта между скважинами (без нарушения геологических закономерностей). Поэтому литологическое строение в геомеханической модели в некоторых местах несколько отличается от такового в геологической модели, предложенной в материалах изысканий.

Удельный вес грунта ниже установленного уровня грунтовых вод

(УГВ) и выше поверхности водоупора принимали как для взвешенного грунта, а вне этих границ — как для грунта естественной влажности (в зависимости от решаемой задачи). Чтобы учесть вертикальное давление грунтовой воды, приложенное к поверхности водоупора, его имитировали тонким слоем водоупорного грунта, вес которого приблизительно равен сумме веса воды в порах вышележащего грунта между водоупором и кривой депрессии и веса столба воды над дном водоема. Для этого тонкого слоя были приняты параметры прочности, угол внутреннего трения и удельное сцепление, характерные для глины ИГЭ-3.

Учитывая, что склон является оползневым, было необходимо в соответствии с требованиями п. 4.2.10 СП 11-105-97 [8] сопоставить данные лабораторных определений прочностных свойств с результатами контрольных и обратных расчетов устойчивости склона и выявленных оползневых масс и в случае необходимости откорректировать их. Поэтому с целью проверки и уточнения геомеханических моделей основания, включая параметры прочности грунтов и положения ИГЭ и РГЭ, были выполнены контрольные расчеты склона до начала берегоукрепительных работ по принятым расчетным прочностным параметрам грун-

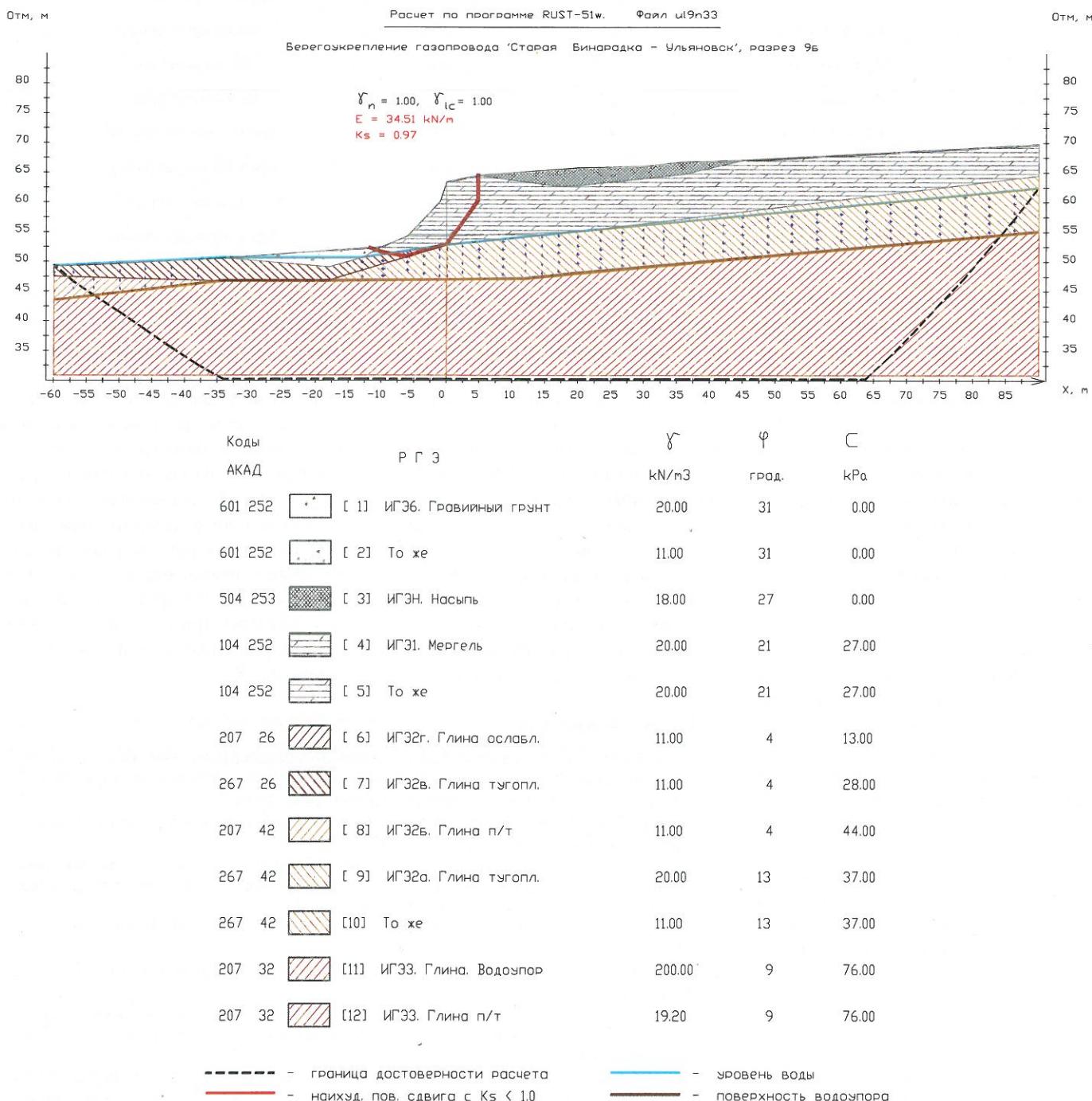


Рис. 7. Контрольный расчет склона по разрезу 96

Результаты контрольных расчетов общей устойчивости

Файл/ разрез	Рис.	Уровень воды в реке, м/наличие закольной трещины	Результаты расчета		
			E, kN/m	Ks	Примечание
Ul5n31/56		54,2 (ФПУ)/есть	13,38	0,99	Предельное равновесие
Ul5n32/56		54,2 (ФПУ)/нет	-	1,08	Склон устойчив
Ul5n32/56		48,6 (низкий)/есть	7,81	0,99	Предельное равновесие
Ul6n31/66	5	54,2 (ФПУ)/есть	22,15 (склон)/12,6 (урез)	0,98/0,96	Предельное равновесие/Откос неустойчив
Ul6n32/66		54,2 (ФПУ)/нет	- (склон)/12,6(урез)	1,06/0,96	Склон устойчив/Откос неустойчив
Ul6n33/66		48,6 (низкий)/есть	- (откос)/3,34 (урез)	1,00/0,99	Предельное равновесие/Предельное равновесие
Ul7n31/76		54,2 (ФПУ)/есть	34,81	0,97	Склон неустойчив
Ul7n32/76		54,2 (ФПУ)/нет	-	1,03	Склон устойчив
Ul7n33/76		48,6 (низкий)/есть	24,27	0,98	Предельное равновесие
Ul8n31/86	6	54,2 (ФПУ)/есть	27,20	0,96	Склон неустойчив
Ul8n32/86		54,2 (ФПУ)/нет	-	1,06	Склон устойчив
Ul8n33/86		48,6 (низкий)/есть	23,63	0,97	Склон неустойчив
Ul9n31/96		54,2 (ФПУ)/есть	28,86	0,98	Предельное равновесие
Ul9n32/96		54,2 (ФПУ)/нет	-	1,01	Предельное равновесие
Ul9n33/96	7	48,6 (низкий)/есть	34,51	0,97	Склон неустойчив
Ul9n34/96		54,2 (ФПУ)/нет	-	1,01	Предельное равновесие

тов. Для контрольных расчетов коэффициенты безопасности по ответственности и сочетанию нагрузок были приняты равными 1. Расчеты были выполнены при ожидаемом высоком и относительно низком положении УГВ, с учетом и без учета закольной трещины. Основные результаты расчетов приведены в таблице, исходные данные и результаты расчетов для трех характерных разрезов — на рис. 5–7 (в том виде, в каком они выдаются на печать в ACAD).

Выводы

1. Расчеты показали, что при принятых геомеханических моделях основания склон устойчив против сдвигов, но без больших запасов или близок к состоянию предельного равновесия, если не учитывать образование закольной трещины (после ее образования склон уже неустойчив). Оползневая терраса, образовавшаяся в результате оползней, как это обычно и бывает в таких случаях [5], в основном устойчива и может быть подвержена мелким подвижкам и обвалам (см. выше расчет по разрезу 6б). Все это не противоречит описанию в материалах изысканий, поэтому рассмотренные геомеханические модели были использованы для оценки устойчивости склона в эксплуатационный и строительный периоды.

2. Расчеты показали, что из всех методов инженерной защиты склона от оползневой опасности наиболее подходящими в данных условиях являются: перераспределение грунтовых масс путем срезки гребня склона и подсыпки основания откоса выше отметки, равной примерно 110,5 м; устройство на отдельных участках контрбанкета; организация поверхностного стока и благоустройство территории.

3. Контрольные расчеты, не учитывающие тонкую слабо наклоненную пластичную глинистую прослойку, не обнаруженную при бурении, не смогли объяснить причину и характер наблю-

даемого склонового процесса. А такие прослойки достаточно часто присутствуют на границах водоупоров. Таким образом, контрольные расчеты для рассматриваемого объекта оказались хорошим средством уточнения не только параметров прочности грунтов, но литологического строения склона. Но для выполнения таких расчетов необходимо использовать достаточно совершенные программы, которые «автоматически ищут» наиболее слабые поверхности скольжения, находясь при этом «в руках» квалифицированных специалистов-геотехников.

Список литературы

1. Даревский В.Э., Романов А.М. // Газовая промышленность. 1999. № 4. С. 44–46.
2. Даревский В.Э., Романов А.М. Расчет оползневой опасности на трассе трубопровода // ЭИ «Транспорт и хранение нефти». 1992. № 10.
3. ГОСТ 20522-96. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. М.: Минстрой РФ, МНТКС. 1996.
4. Даревский В.Э., Романов А.М., Ткачева М.В. Автоматизированные инженерные методы расчетов общей устойчивости склонов, зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2006. № 9. С. 16–21.
5. Рогозин И.С. Оползни Ульяновска и опыт борьбы с ними. М.: Изд-во АН СССР, 1961.
6. СНиП 2.02.02-85. Основания гидroteхнических сооружений. М.: Госстрой СССР, 1987.
7. СНиП 22-02-2003. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования. М.: Госстрой РФ, 2003.
8. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II: Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. М.: Госстрой РФ, 2001.