

УДК 622.691.4.052

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ «КУБАНСКАЯ»



FEATURES OF DESIGNING AND CONSTRUCTION OF THE «KUBANSKAYA» COMPRESSOR STATION

Шиян Станислав Иванович

кандидат технических наук,
доцент кафедры оборудования
нефтяных и газовых промыслов,
Кубанский государственный
технологический университет
akngs@mail.ru

Дунаев Владислав Игоревич

доктор физико-математических наук,
профессор кафедры
оборудования нефтяных
и газовых промыслов,
Кубанский государственный
технологический университет
dunaevatv@mail.ru

Аннотация. Необходимость строительства компрессорной станции «Кубанская», которая входит в состав газотранспортной системы «Южный коридор», обусловлена расширением мощностей транспортировки газа по направлению «Джубга – Лазаревское – Сочи». В свою очередь, газопровод позволяет обеспечить надёжное и бесперебойное газоснабжение г. Сочи и курортной зоны побережья Чёрного моря, активно развивать газификацию г. Сочи и Туапсинского района Краснодарского края, повысить качество жизни населения и придать мощный импульс развитию курортного бизнеса региона, а также обеспечить поставки в газопровод «Россия – Турция». В статье описано проведение инженерно-геологических изысканий на строительной площадке для возведения компрессорной станции «Кубанская», обработка данных и составление выводов и рекомендаций.

Ключевые слова: изученность инженерно-геологических условий; физико-географические и техногенные условия; геологическое строение и гидрогеологические условия; физико-механические свойства грунтов; геологические и инженерно-геологические процессы; виды и объёмы полевых инженерно-геологических работ; результаты испытаний грунтов статическими нагрузками.

Shiyani Stanislav Ivanovich

Candidate of technical sciences,
Associate Professor of Oil
and gas field equipment,
Kuban state technological university

Dunaev Vladislav Igorevich

Doctor of physical
and mathematical sciences,
Professor of department
Equipment of oil and gas fields,
Kuban state technological university

Annotation. The need to build the «Kubanskaya» compressor station, which is part of the «Southern Corridor» gas transmission system, is due to the expansion of gas transportation capacities in the «Dzhubga – Lazarevskoye – Sochi» direction. In turn, the gas pipeline ensures reliable and uninterrupted gas supply to Sochi and the Black Sea resort area, actively develops gasification in Sochi and the Tuapse district of the Krasnodar Territory, improves the quality of life of the population and gives a powerful impetus to the development of the region's resort business, as well as ensures supplies to the «Russia – Turkey» gas pipeline. The article describes the conduct of engineering and geological surveys at a construction site for the construction of the «Kubanskaya» compressor station, data processing and drawing conclusions and recommendations.

Keywords: knowledge of geotechnical conditions; physical and geographical and technological conditions; geological structure and hydrogeological conditions; physical and mechanical properties of soils; geological and geotechnical processes; types and volumes of field engineering and geological work; static stress test results.

Введение

Природный газ – один из ключевых бюджетобразующих ресурсов Российской Федерации. Об этом знают и те, кто когда-либо учился в школе, и те, кому знакомо имя ключевого энергетического бренда нашей страны. То есть абсолютно все. А меж тем едва ли вам удастся сходу найти человека, который видел своими глазами, как выглядит сердце любого газопровода – компрессорная станция. Рассмотрим введённую в эксплуатацию в 2013 году компрессорную станцию «Кубанская», которая стала одним из ключевых элементов в системе газопроводов «Южный коридор».

Компрессорная станция «Кубанская» – одна из 10 компрессорных станций общей мощностью 1516 МВт, которые введены в эксплуатацию в рамках реализации проекта «Южный коридор». Кстати, построена «Кубанская» была в рекордные сроки – всего за 10 месяцев! В рамках реализации проекта «Южный коридор» помимо станций проложено 2506,2 км линии газопровода по территории 8 регионов Юга и Центра России (рисунок 1): Нижегородской, Пензенской, Саратовской, Волгоградской, Воронежской, Ростовской областей, Республики Мордовии, Краснодарского края. Общая пропускная способность системы газопроводов «Южный коридор» составляет 63 млрд м³ газа в год и позволяет обеспечить регионы центральной и южной частей России дополнительными объёмами природного газа для развития промышленности, сельского хозяйства, коммунальной сферы, улучшить условия проживания населения, а также обеспечить подачу газа в газопроводы экспортной направленности.

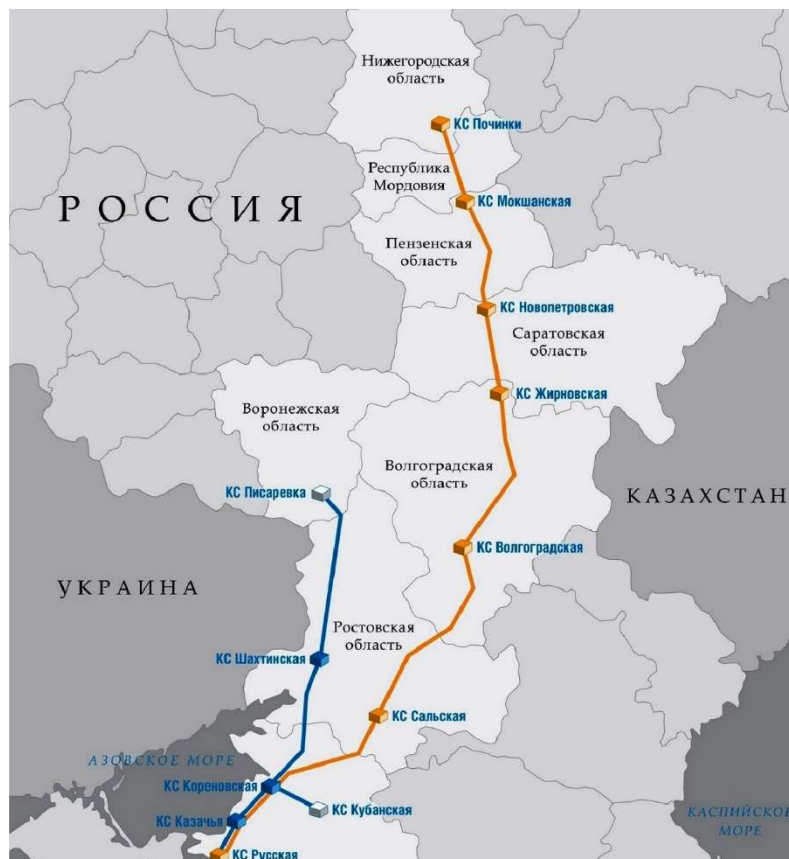


Рисунок 1 – Система газопроводов «Южный коридор»

Станция «Кубанская» расположена в Усть-Лабинском районе Краснодарского края. Мощность станции составляет 38 млн м³ газа в сутки. Для понимания, этого объёма хватит на то, чтоб полноценно обогреть и осветить более 150 000 жилых домов в течение года.

Согласно установленным правилам, строительство газопроводов ведётся вдали от населённых пунктов. «Кубанская» расположена в нескольких десятках километров от ближайшей цивилизации. В самом настоящем чистом поле.

Изученность инженерно-геологических условий

В геологическом строении рассматриваемого участка до глубины 40 м принимают участие следующие стратиграфо-генетические комплексы:

- комплекс элювиальных отложений (eQ_{IV}) представлен почвой суглинистой тёмно-серого цвета, до чёрной, макропористой, твёрдой, с нитевидными корнями растений. Залегают повсеместно с поверхности и до глубины 1,1–1,2 м;
- комплекс золово-делювиальных верхнеплейстоценовых отложений (vdQ_{III}) представлен суглинками;

- под элювиальными грунтами (eQ_{IV}) залегает суглинок палево-жёлтого, желтовато-коричневого, жёлто-бурого цветов, макропористый, твёрдый, с карбонатными включениями;
- под макропористыми (просадочными) грунтами залегает мощная толща суглинков жёлто-бурого, буровато-жёлтого цветов, от твёрдой до тугопластичной консистенции, с карбонатными включениями, с вкраплениями марганца. Распространены до глубины 25,5–26,7 м;
- комплекс элювиальных отложений (eQ_{III}) представлен почвой суглинистой (погребённой) коричневого цвета, твёрдой, с карбонатными включениями. Она залегает под макропористыми суглинками, либо прослоем в них в интервалах глубин от 7,2–8,5 до 7,8–9,0 м. Мощность составляет от 1,1 м до 1,2 м;
- комплекс золово-делювиальных среднеплейстоценовых отложений (vdQ_{II}) представлен суглинками жёлто-бурого, серовато-бурого цветов, от твёрдой до тугопластичной консистенции, с карбонатными включениями, вкраплениями гидроокислов железа и марганца, местами запесоченными. Залегают под золово-делювиальными верхнеплейстоценовыми суглинистыми отложениями с глубины 25,5–26,7 м и до разведанной глубины 40 м.

Инженерно-геологические условия территории соответствуют III категории сложности (согласно приложению 1 РД 153-39.4Р-128-2002 (ВСН) и СП 11-105-97, часть I, приложение Б).

Физико-географические и техногенные условия

Участок изысканий расположен на юге европейской части Российской Федерации, в центральной части Краснодарского края на территории Усть-Лабинского района в 7–8 км северо-восточнее г. Усть-Лабинск.

Исследуемый участок в геоморфологическом отношении расположен на нижнеплейстоценовой правобережной террасе р. Кубань.

В целом рельеф территории изысканий равнинный, абсолютные отметки колеблются от 88,09 м до 94,36 м.

Техногенная нагрузка на площадку работ достаточно слабая. Существенное и решающее влияние на формирование ландшафта в районе площадки работ оказали антропогенные факторы, в большинстве своём связанные с сельскохозяйственной деятельностью.

Геологическое строение

Исследуемая площадка сложена элювиальными (eQ_{IV} , eQ_{III}) и золово-делювиальными (vdQ_{III} , vdQ_{II}) отложениями четвертичного возраста.

Геологический разрез изучен до глубины 40,0 м и представлен сверху вниз следующими разностями грунтов:

Элювиальные отложения (eQ_{IV}) представлены почвой суглинистой тёмно-серого цвета, до чёрной, макропористой, твёрдой, с корнями растений. Залегают повсеместно с поверхности и до глубины 0,5–1,5 м.

Золово-делювиальные верхнеплейстоценовые отложения (vdQ_{III}) представлены суглинками.

Под элювиальными грунтами (eQ_{IV}) залегает суглинок палево-жёлтого, желтовато-коричневого, жёлто-бурого цветов, макропористый, твёрдый, маловлажный, с карбонатными включениями. Вскрыт повсеместно. Глубина распространения макропористых суглинков, а также их мощность изменяются в значительных пределах. Подошва этих суглинков зафиксирована на глубинах от 1,5–5,6 до 10,5–14,0 м. В толще просадочных суглинков и непосредственно под ними, залегает почва суглинистая (погребённая) в виде выдержанного слоя или же в виде отдельных прослоев. Мощность макропористых суглинков изменяется от 5,9 м до 13,2 м с учётом прослоев погребённой почвы.

Под макропористыми (просадочными) грунтами залегает мощная толща суглинков жёлто-бурого, буровато-жёлтого цветов, твёрдой, полутвёрдой, тугопластичной и мягкопластичной консистенции, с карбонатными включениями, с вкраплениями марганца.

Твёрдые и полутвёрдые разности занимают преобладающее положение в геологическом разрезе, тугопластичные суглинки отмечаются реже, а мягкопластичная разновидность характеризуется фрагментарным распространением в толще отложений, мощность прослоев составляет 0,5–3,5 м. Мощность тугопластичных суглинков изменяется в пределах 0,8–5,1 м.

В целом распространение эолово-делювиальных суглинистых отложений верхнеплейстоценового возраста в пределах площадки изысканий отмечено до глубины 19,3–28,4 м. Общая мощность этих отложений составляет 18,5–27,6 м.

Элювиальные отложения (eQ_{III}) представлены почвой суглинистой (погребённой) коричневого цвета, твёрдой, с карбонатными включениями. Залегают под макропористыми суглинками, либо прослоем в них в интервалах глубин от 1,5–6,2 до 6,3–12,0 м. Мощность её изменяется от 0,5 м до 3,4 м.

Эолово-делювиальные среднеплейстоценовые отложения (vdQ_{II}) представлены суглинками жёлто-бурого, серовато-бурого цветов, твёрдой и тугопластичной консистенции, с карбонатными включениями, вкраплениями гидроокислов железа и марганца.

Залегают под эолово-делювиальными верхнеплейстоценовыми суглинистыми отложениями с глубины 19,3–28,4 м до разведанной глубины 40,0 м.

Вскрытая мощность суглинков пылеватых твёрдой консистенции изменяется в широких пределах от 1,8 до 15,5 м. Мощность суглинков песчанистых тугопластичной консистенции от 1,0 до 15,4 м.

Гидрогеологические условия

Гидрогеологические условия участка изысканий характеризуются наличием одного водоносного горизонта.

Воды описываемого горизонта безнапорные.

Водовмещающими породами являются эолово-делювиальные отложения четвертичного возраста.

Питание водоносного горизонта идет за счёт атмосферных осадков, разгрузка происходит в сторону р. Кубань. Режим подземных вод – террасовый, ненарушенный.

На момент проведения инженерно-геологических изысканий установившийся уровень подземных вод был зафиксирован в интервале глубин 13,7–15,6 м, что соответствует абсолютным отметкам 85,69–86,62 м.

Прогнозный уровень подземных вод, исходя из анализа архивных отчётов, следует ожидать на 1,5 м выше установившегося, что будет соответствовать абсолютным отметкам 87,19–88,12 м.

Расчётные значения содержания компонентов, степень агрессивности подземных вод к строительным конструкциям приведены по данным лабораторных исследований. Согласно СНиП 2.03.11-85, подземные воды по всем показателям неагрессивны по отношению к бетону на любом из цементов, отвечающих требованиям ГОСТ 10178-76 и ГОСТ 22266-76.

Согласно результатам химического анализа подземных вод среднее значение содержания сульфатов составляет 945,86 мг/л. Максимальное значение составляет 1061,93 мг/л. Степень агрессивного воздействия жидкой неорганической среды для площадки изысканий приводится по максимальному значению.

В соответствии с СНиП 2.03.11-85, степень агрессивного воздействия подземных вод по содержанию сульфатов, при содержании ионов HCO_3^- свыше 6,0 мг-экв./л ($\text{HCO}_3^- = 8,56$ мг-экв./л), является слабоагрессивной на бетон марки W₄ по водонепроницаемости. Для бетона марки по водонепроницаемости W₆ и W₈ подземные воды неагрессивны.

Согласно СНиП 2.03.11-85 (с учётом примечания 2, Cl⁻ = 259,46 мг/кг) подземные воды по содержанию хлоридов неагрессивны при постоянном погружении и слабоагрессивны при периодическом смачивании к арматуре железобетонных конструкций.

Согласно СНиП 2.03.11-85 подземные воды среднеагрессивны по отношению к металлическим конструкциям при свободном доступе кислорода в интервале температур от 0 до 50 °С и скорости движения до 1 м/с.

На основании СНиП 2.03.11-85 грунты, залегающие ниже уровня подземных вод, по суммарной концентрации сульфатов и хлоридов до 5 г/л ($\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^- = 1,0$ г/л) среднеагрессивные по отношению к конструкциям из углеродистой стали при pH свыше 5 (pH = 7,0) и среднегодовой температуре свыше 6 °С.

Согласно ГОСТ 9.602-2005 ЕСЗКС коррозионная агрессивность подземных вод к свинцовой оболочке кабеля:

- по значению pH – низкая;
- по органическому веществу – низкая;
- по содержанию нитрат-ионов – средняя;
- по показателю общей жесткости – низкая.

Согласно ГОСТ 9.602-2005 ЕСЗКС коррозионная агрессивность подземных вод к алюминиевой оболочке кабеля:

- по значению pH – низкая;
- по хлор-иону – средняя;
- по ион-железу – низкая.

Физико-механические свойства грунтов

Лабораторные исследования грунтов выполнены по действующим ГОСТам. Были проанализированы: показатели физико-механических свойств дисперсных грунтов, содержание органических веществ в пробах, проведена статическая обработка физико-механических свойств грунтов и гранулометрического состава, а также определён гранулометрический состав грунтов.

Согласно классификации ГОСТ 25100-95 в пределах исследуемого участка распространены:

- класс – дисперсные грунты;
- группа – связные;
- подгруппа – осадочные;
- тип – минеральные;
- вид – глинистые;
- разновидности – суглинки.

На основании материалов полевых и лабораторных исследований физико-механических свойств грунтов на исследуемой территории согласно ГОСТ 20522-96 и в соответствии с классификацией грунтов по ГОСТ 25100-95 выделено 10 инженерно-геологических элементов (ИГЭ):

ИГЭ-1 (eQ_{IV}) – почва суглинистая, тяжёлая пылеватая, твёрдая, просадочная, с примесью органических веществ. Подлежит срезке для последующей рекультивации.

ИГЭ-2 (vdQ_{III}) – суглинок лёгкий пылеватый, твёрдый, просадочный, незасоленный.

ИГЭ-3 (vdQ_{III}) – суглинок лёгкий пылеватый, твёрдый, просадочный, незасоленный.

ИГЭ-4 (eQ_{III}) – почва суглинистая, лёгкая пылеватая, твёрдая (погребённая).

ИГЭ-5 (vdQ_{III}) – суглинок лёгкий пылеватый, твёрдый, непросадочный.

ИГЭ-6 (vdQ_{III}) – суглинок лёгкий пылеватый, полутвёрдый, непросадочный.

ИГЭ-6а (vdQ_{III}) – суглинок лёгкий пылеватый, тугопластичный.

ИГЭ-6б (vdQ_{III}) – суглинок лёгкий пылеватый, мягкопластичный.

ИГЭ-7 (vdQ_{II}) – суглинок лёгкий пылеватый, твёрдый.

ИГЭ-8 (vdQ_{II}) – суглинок лёгкий песчанистый, тугопластичный.

Для ИГЭ-2 и ИГЭ-3 определялось сопротивление грунта срезу по трём схемам: консолидированный в водонасыщенном состоянии, неконсолидированный в водонасыщенном состоянии и неконсолидированный при природной влажности. Также для грунтов ИГЭ-2 и ИГЭ-3 определялось сопротивление грунта срезу при максимальной плотности и оптимальной влажности. Для ИГЭ-2 среднее значение сцепления $c = 0,043$ МПа, угла внутреннего трения $\varphi = 21^\circ$. Для ИГЭ-3 среднее значение сцепления $c = 0,043$ МПа, угла внутреннего трения $\varphi = 22^\circ$.

Компрессионные модули деформации получены по результатам компрессионных испытаний, проведённых в грунтоведческой лаборатории согласно ГОСТ 12248-96.

Специфические грунты

Согласно СП 11-105-97, часть III, к специфическим грунтам в пределах площадки изысканий относятся просадочные грунты: ИГЭ-1, ИГЭ-2 и ИГЭ-3.

Просадочные грунты в пределах участка изысканий распространены повсеместно с поверхности и до глубины 1,5–14,0 м. Мощность просадочной толщи колеблется от 6,8 м до 14,0 м (с учётом прослоев погребённой почвы).

ИГЭ-1 (eQ_{IV}) – почва суглинистая, тяжёлая пылеватая, твёрдая, просадочная, с примесью органических веществ. Подлежит срезке для последующей рекультивации.

ИГЭ-2 (vdQ_{III}) – суглинок лёгкий пылеватый, твёрдый, просадочный, незасоленный.

ИГЭ-3 (vdQ_{III}) – суглинок лёгкий пылеватый, твёрдый, просадочный, незасоленный.

Для ИГЭ-1 относительная деформация просадочности составляет 0,101 доли ед.

Для ИГЭ-2 относительная деформация просадочности составляет 0,045 доли ед.

Для ИГЭ-3 относительная деформация просадочности составляет 0,032 доли ед.

Начальное просадочное давление в интервале глубин 0,0–2,0 м составляет 40 кПа.

Начальное просадочное давление в интервале глубин 2,0–3,0 м составляет 70 кПа.

Начальное просадочное давление в интервале глубин 3,0–4,0 м составляет 115 кПа.

Начальное просадочное давление в интервале глубин 4,0–5,0 м составляет 80 кПа.

Начальное просадочное давление в интервале глубин 5,0–6,0 м составляет 80 кПа.

Начальное просадочное давление в интервале глубин 6,0–7,0 м составляет 70 кПа.

Начальное просадочное давление в интервале глубин 7,0–8,0 м составляет 125 кПа.

Начальное просадочное давление в интервале глубин 8,0–10,0 м составляет 125 кПа.

Начальное просадочное давление при глубине более 10,0 м составляет 150 кПа.

В пределах площадки изысканий получили распространение участки с различными типами грунтовых условий по просадочности (I и II типа).

Геологические и инженерно-геологические процессы

Основным инженерно-геологическим процессом, осложняющим строительство, на данной территории является высокая сейсмичность района.

Сейсмичность площадки изысканий приводится по СП 14.13330.2011. Фоновая сейсмичность ближайшего населённого пункта (г. Усть-Лабинск) согласно картам ОСР – 97 А, В, С составляет:

7 баллов – по картам А и В;

8 баллов – по карте С.

Согласно таблице 1 СП 14.13330.2011 грунты ИГЭ-1, 2, 3 и 6б относятся к III-ей категории по сейсмическим свойствам; грунты ИГЭ-4, 5, 6, 6а, 7, 8 – ко II-ой категории.

По результатам геофизических изысканий по сейсмическому микрорайонированию, анализа всего комплекса данных (инженерно-геологических, инструментальных геофизических исследований, а также специальных расчётов количественных характеристик сейсмических воздействий) с учётом исходной сейсмичности, определённой по карте ОСР-97В, площадка характеризуется сейсмической интенсивностью 8 баллов.

Уточнённая расчётная сейсмичность площадки компрессорной станции «Кубанская» с учётом уровня ответственности сооружений – 8 баллов.

По приложению Б СНиП 22-01-95 категория опасности землетрясений оценивается как весьма опасная.

Опасные инженерно-геологические процессы не выявлены.

Характеристика сооружений

На площадке строительства компрессорной станции «Кубанская» возведены следующие объекты:

- установка подготовки газа;
- газоперекачивающие агрегаты (4 ед.);
- производственно-энергетический блок (ПЭБ);
- автоматизированная дизельная электростанция (АДЭС);
- закрытое распределительное устройство (ЗРУ);

- площадка для передвижной азотной станции;
 - установка термического обезвреживания;
 - резервуар для дизельного топлива $V = 25 \text{ м}^3$;
 - ёмкость аварийного слива топлива $V = 3 \text{ м}^3$;
 - насосная станция противопожарного водоснабжения;
 - 2 резервуара противопожарного запаса воды $V = 300 \text{ м}^3$;
 - проходная с узлом связи;
 - склад для хранения баллонов;
 - очистные сооружения сточных вод;
 - ремонтно-механическая мастерская со складом резервных двигателей, а также некоторые другие хозяйственные и вспомогательные сооружения.
- По ГОСТ 27751-88 уровень ответственности сооружений нормальный (II) и повышенный (I).

Цель и задачи инженерных изысканий

Целями и задачами инженерных изысканий является комплексное изучение инженерно-геологических условий площадки (рельеф, геологическое строение, гидрогеологические условия, состав, состояния и свойства грунтов, геологические и инженерно-геологические процессы) с целью получения необходимых и достаточных материалов для разработки проекта строительства сооружений компрессорной станции.

Виды и объёмы полевых инженерно-геологических работ

Полевые работы выполняются в соответствии с действующими нормативными документами. Ниже в таблице 1 приводятся виды и объёмы полевых работ.

Таблица 1 – Виды и объём проводимых полевых работ

№№ n/n	Вид и методика работ	Кат.	Ед. изм.	Объём, м	Общий объём	Всего скважин
1	Колонковое бурение скважин диаметром свыше 160 мм глубиной свыше 15 м до 25 м	II	п.м	10	60	3
		III		20		
		IV		30		
2	Колонковое бурение скважин диаметром свыше 160 мм глубиной свыше 25 м до 50 м	II	п.м	490	3250	86
		III		1180		
		IV		1580		
3	Гидрогеологические наблюдения при бурении скважин диаметром до 160 мм глубиной свыше 15 до 25 м		п.м	60		
4	Гидрогеологические наблюдения при бурении скважин диаметром до 160 мм глубиной свыше 25 до 50 м		п.м	3250		
5	Крепление скважин при бурении диаметром до 160 мм глубиной до 50 м		п.м	3310		
6	Отбор монолитов из скважин		мон.			
	до 10 м	678				
	свыше 10 м до 20 м	145				
	свыше 20 м до 30 м	34				
	свыше 30 м до 40 м	50				
7	Плановая и высотная привязка скважин с предварительной их разбивкой		скв.	89		

Методика проектируемых работ

Буровые работы

Проходка и расположение горных выработок осуществляется согласно заданию на выполнение инженерных изысканий, техническим характеристикам сооружений, генеральному плану и нормативных документов СП 11-105-97 (ч. I, II, III), СП 14.13330.2011, с учётом ранее выполненных инженерных изысканий.

Технологический режим бурения

Полевые работы на площадке компрессорной станции выполняются в два этапа:

- на первом этапе выполнить бурение скважин №№ 1–39 глубиной 40 м;
- на втором этапе выполнить бурение скважин №№ 40, 44–51, 57, 58, 60–65, 68–70, 73, 74, 76, 77, 80, 81, 84 и 91 глубиной 40 м и скважин №№ 52-55, 66, 67, 71, 72, 75, 78, 79, 82, 83 и 85–90 глубиной 30 м.

Параллельно с работами на площадке КС выполняется бурение трёх скважин глубиной 20 м.

Произведена плановая и высотная привязка буровых скважин с предварительной их разбивкой на местности.

Проходка горных выработок осуществляется механизированным способом – колонковым, с диаметром бурения до 160 мм, следующими буровыми установками: ПБУ-1 и ПБУ-2 на базе ЗИЛ 131. Многоцелевые буровые установки ПБУ-1 и ПБУ-2 с механическим приводом подвижного вращателя предназначены для бурения инженерно-геологических, сейсморазведочных, гидро- и геологоразведочных, а также скважин различного назначения при выполнении строительных работ.

Бурение скважин сопровождается гидрогеологическими наблюдениями, отбором проб грунта нарушенной (пробы) и ненарушенной (монолиты) структуры, проб воды. Пробы воды отбираются пробоотборником с предварительным тартанием в скважине.

Скважины не должны «оставаться» в слабых по несущей способности грунтах: илы, сапропели, торф, заторфованные грунты (раздел 6 СП 11-105-97), рыхлые связные грунты с показателем текучести 0,75 и более.

В ходе документации выработок следует фиксировать все участки оглеения (пятна серого, чёрного и синеватого цвета), включения органических веществ.

Все горные выработки после окончания работ ликвидированы – обратной засыпкой грунтов с трамбовкой с целью исключения загрязнения природной среды и активизации геологических и инженерно-геологических процессов.

Отбор монолитов грунтов

При проходке скважин на площадке компрессорной станции и площадке артскважин производится отбор проб ненарушенной (монолиты) и нарушенной структуры для определения параметров просадочной толщи, типа просадочности и физико-механических свойств грунтов, залегающих ниже просадочной толщи, а также производится отбор проб воды. Опробованию подлежат все геологические скважины в соответствии с ГОСТ 12071-2000.

Особое внимание уделено опробованию «слабых» грунтов (мягко- и текучепластичные, текучие, торфа, илы и др.). При отборе монолитов просадочных грунтов применён минимальный диаметр пробоотборника – 146 мм.

Количество отобранных в процессе изысканий образцов грунта обеспечивает условие статистической обработки результатов и не должно быть менее 10 – для определения показателей физических свойств грунтов, и не менее 6 – для механических свойств по каждому выделенному на площадке слою (СП 50-101-2004 п. 5.3.16).

Отбор, консервация, хранение и транспортирование проб воды для лабораторных исследований осуществляется в соответствии с ГОСТ Р 51592-2000.

Отбор проб воды

Гидрогеологические исследования выполняются на площадке для получения информации о формировании и распространении подземных вод и их влиянии на сооружения, степени их взаимосвязи с поверхностными водами, определения фильтрационных свойств грунтов.

Полевые гидрогеологические исследования выполняются при бурении всех скважин – гидрогеологические наблюдения (замеры появившегося и установившегося уровня). Производится отбор проб воды (не менее 3 из каждого встреченного водоносного горизонта или комплекса) на стандартный химический анализ и коррозионную активность по отношению к алюминиевым и свинцовым оболочкам кабеля.

Лабораторные работы

Лабораторные методы определения показателей свойств грунтов следует использовать для классификации грунтов в соответствии с ГОСТ 25100-95, оценки их состава и физико-механические свойства. Виды и методика лабораторных работ определяется в соответствии с приложениями М и И СП 11-105-97 часть 1.

Количество отобранных в процессе изысканий образцов грунта должно быть не менее 6 для определения показателей механических свойств грунтов или не менее 10 – для определения показателей физических свойств по каждому основному литологическому слою.

Лабораторные исследования по определению химического состава подземных и поверхностных вод, а также водных вытяжек из глинистых грунтов выполняются в целях определения их коррозионной активности по отношению к свинцовой и алюминиевой оболочке кабеля, оценки влияния подземных вод на развитие геологических и инженерно-геологических процессов.

Также предусмотрено опробование воды на сокращённый химический анализ. Комплекс лабораторных исследований представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Виды и объёмы работ в комплексе лабораторных исследований

Виды работ	Объём
Полный комплекс физико-механических свойств глинистых грунтов (консолидированный срез с компрессией)	297
Полный комплекс физико-механических свойств грунта (неконсолидированный срез с компрессией)	298
Полный комплекс физико-механических свойств грунта с заданной влажностью (неконсолидированный срез с компрессией)	312
Водонасыщение грунтов перед сдвигом и компрессией	2721
Наблюдение за консолидацией при компрессионных испытаниях по 6-ти точкам	6699
Органические вещества методом прокаливания	36
Гумус по Тюрину	24
Приготовление водной вытяжки	24
Анализ водной вытяжки (засоленность)	24
Коррозионная активность грунтов по отношению к свинцовой и алюминиевой оболочке кабеля	15
Коррозионная активность грунтовых вод по отношению к свинцовой и алюминиевой оболочке кабеля	15
Сокращённый анализ воды	15

Метрологическое обеспечение работ

Метрологическое обеспечение представляет собой установление и использование научных и организационных основ, а также ряда технических средств, норм и правил, нужных для соблюдения принципа единства и требуемой точности измерений.

Государственная метрологическая служба несёт ответственность за обеспечение метрологических измерений в России на межотраслевом уровне, а также проводит контрольные и надзорные мероприятия в области метрологии.

Все измерительные средства должны быть своевременно поверены, иметь поверочные свидетельства. Не допускается производство измерений неисправными приборами и измерительными средствами с просроченной датой поверки.

Инженерно-геологические работы (штамповые испытания)

Испытания грунтов статическими нагрузками проводилось на стадии рабочей документация.

Для определения деформационных характеристик просадочных суглинков были выполнены полевые опытные испытания статическими нагрузками штампом.

Испытания грунтов проводились по схеме «двух кривых» (природной влажности и в замоченном состоянии), на глубинах 2 и 4 м площадью штампа $S = 5000 \text{ см}^2$, на

глубине 6, 8 и 10 м площадью штампа $S = 600 \text{ см}^2$, удельным давлением до 0,5 МПа (при природной влажности). Нагружение штампа осуществлялось при помощи масляного насоса и домкрата, осадка штампа измерялась как среднее арифметическое из показаний трёх прогибомеров.

Лабораторные испытания грунтов производились с соблюдением требований ГОСТ 12536-79, 5180-84, 12248-96, 30416-96.

Просадочные суглинки на глубинах 2, 3 и 4 м испытывались штампом площадью 5000 см^2 (тип установки I). На глубине 3 м было выполнено 3 полевых испытания природной влажности и в замоченном состоянии, на глубинах 2 м и 0 м – по 4 полевых испытания.

Нагрузки на штамп грунта природной влажности передавались ступенями по 0,05 МПа, грунта в замоченном состоянии ступенями по 0,025 МПа. Каждая ступень давления выдерживалась до условной стабилизации деформации грунтов (осадки штампа) в соответствии с п. 5.4.3 ГОСТ 20276-99.

Просадочные суглинки на глубинах 6, 8 и 10 м испытывались штампом площадью 600 см^2 (тип установки III). На глубинах 8 и 10 м было выполнено по 3 полевых испытания природной влажности и в замоченном состоянии, на глубине 6 м – по 3 полевых испытания.

По результатам штамповых испытаний для ИГЭ-2 и ИГЭ-3 был принят корректирующий коэффициент m_k :

- для ИГЭ-2 $m_k = 2,1$ при естественной влажности; $m_k = 1,4$ при полном водонасыщении;
- для ИГЭ-3 $m_k = 1,6$ при естественной влажности; $m_k = 1,4$ при полном водонасыщении.

О возможных количественных показателях и качественных признаках критерия длительной устойчивости грунтовых массивов и безопасной эксплуатации земляных сооружений

Под критерием безопасной эксплуатации понимаются установленные с учётом классности сооружений количественные показатели и качественные признаки, характеризующие безопасность сооружения и безопасность внешней среды при всевозможных режимах эксплуатации и условиях технического обслуживания, ремонта, ввода и вывода грунтового сооружения из эксплуатации. Поэтому при решении инженерных задач об устойчивости грунтовых массивов необходимо отыскивать такие факторы, управляя которыми можно было бы обеспечить длительную устойчивость рассматриваемого объекта.

При различных условиях существуют такие поверхности скольжения, расчётные значения коэффициентов запаса устойчивости для которых меньше либо равны нормативной величине.

Если в качестве расчётных значений физико-механических характеристик грунта приняты те, что получены при испытании грунтовых образцов естественной влажности и с учётом реального уровня грунтовых вод (УГВ), то расчётные значения величины коэффициента запаса устойчивости, вычисленные для любого возможного в данном грунтовом массиве положения поверхности разрушения (скольжения), будут значительно превосходить величину нормативного значения $K = 1,2$.

Если представить, что физико-механические характеристики грунтов, составляющих откос в естественных условиях, выше тех, что установлены в день завершения инженерно-геологических изысканий, а уровни грунтовых вод колеблются во времени незначительно, то можно утверждать, что величина коэффициента запаса устойчивости откоса является функцией уровня грунтовых вод. То есть величина K зависит от объёма той части грунтового массива, что находится ниже уровня грунтовых вод, т.е. в условиях полного водонасыщения.

Для оценки величины количественного показателя критерия безопасной и длительной эксплуатации откоса выполнены расчёты значений коэффициента запаса устойчивости при выполнении следующей последовательности операций.

Сначала для заданных геологических разрезов, построенных по результатам и данным инженерно-геологических и строительных изысканий, с помощью расчётов определены наиболее вероятные поверхности (линии) скольжения, которые имеют наименьшие значения величины коэффициентов запаса устойчивости (рис. 1).

Потом для каждой из НВПС с помощью компьютерных программ найдены численные значения величин коэффициентов запаса устойчивости K четырьмя формализованными в компьютерных программах методами (Богомолова, Бишоп, Цветкова, Янбу) для восьми уровней грунтовых вод, которые теоретически возможны для рассматриваемых инженерно-геологических разрезов (всего рассмотрено 64 варианта).

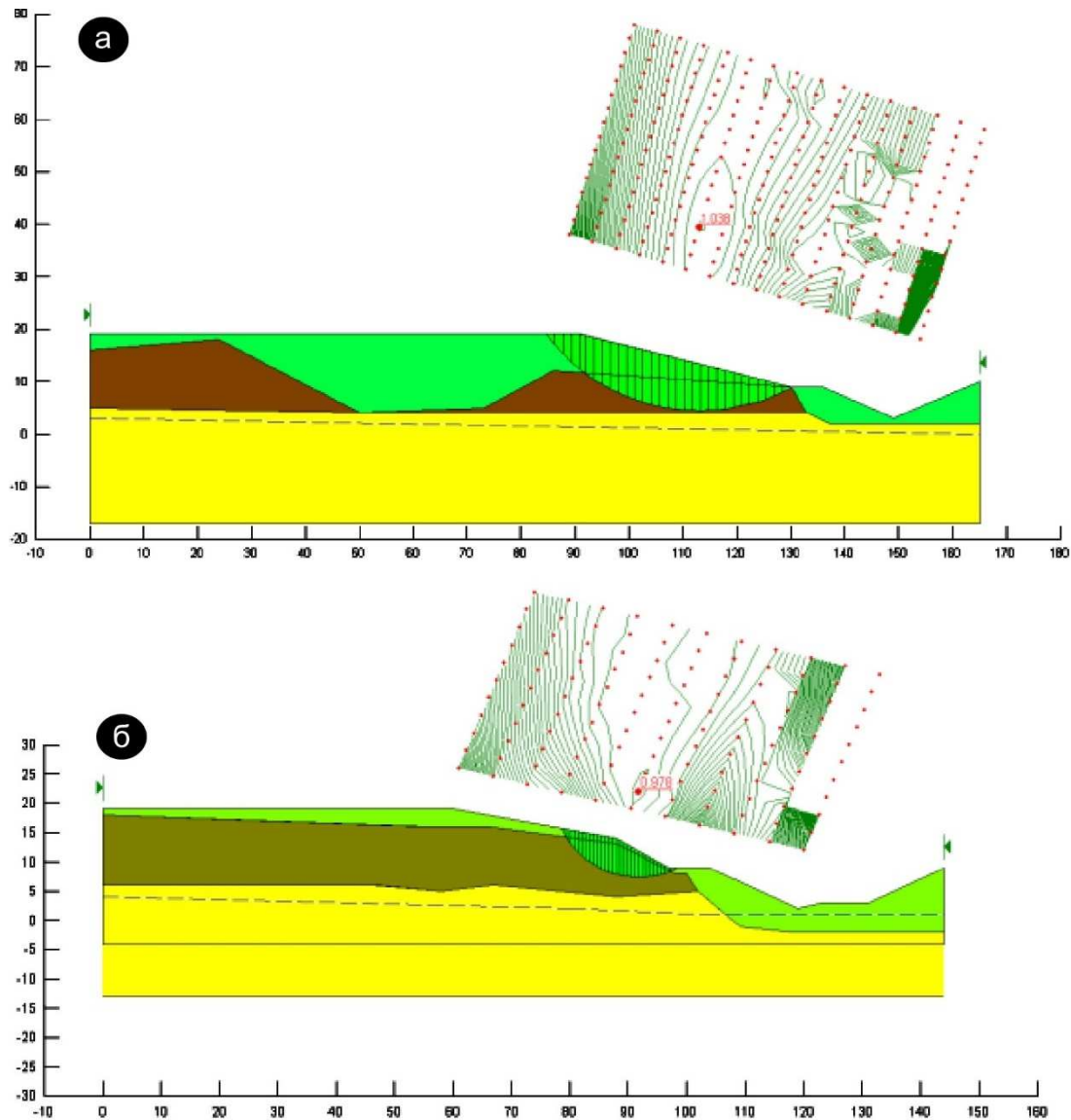


Рисунок 1 – Расчётная схема, сетка центров кривизны, вероятная поверхность скольжения и численное значение коэффициента устойчивости, вычисленное по классическому методу (Бишоп) круглоцилиндрических поверхностей скольжения для разреза I-I (а) и для разреза II-II (б)

В результате обработки и анализа результатов расчётов построены кривые графических зависимостей величины численного значения коэффициента запаса устойчивости грунтового откоса K от высоты уровня подземных вод. Имея в виду отметку уровня нижнего горизонта грунтовых вод и опираясь на полученные графики, можно без труда определить количественный показатель критерия длительной и безопасной эксплуатации (критерия надёжности) – критическую величину значения уровня грунтовых вод, которое соответствует выполнению условия $K = 1$, т.е. условию предельного равновесия.

Литература

1. Алиев В.К., Савенок О.В., Сиротин Д.Г. Влияние надёжности нефтепромыслового оборудования на экологическую безопасность разработки северных нефтегазовых месторождений. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВПО «КубГТУ», 2016. – 135 с.

2. Алиев В.К., Савенок О.В., Сиротин Д.Г. Повышение износостойкости сопряжённых деталей нефтепромыслового и бурового оборудования : учебное пособие. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – 78 с.
3. Ананьев В.П., Потапов А.Д., Филькин Н.А. Специальная инженерная геология : учебник для вузов. – М. : Высшая школа, 2008. – 263 с.
4. Молоков Л.А. Взаимодействие инженерных сооружений с геологической средой. – М. : Недра, 1988. – 220 с.
5. Солодухин М.А., Архангельский И.В. Справочник техника-геолога по инженерно-геологическим и гидрогеологическим работам. – М. : Недра, 1982. – 288 с.
6. Теличенко В.И. Современные методы инженерных изысканий в строительстве. – М. : МГСУ, 2001. – 178 с.
7. «Расширение мощностей газопровода Россия – Турция на участке Изобильное – Джубга для обеспечения поставок газа в газопровод Джубга – Лазаревское – Сочи» (Строительство КС Кубанская), № 7020.079.001.21. 14.04.01. Стадия ПД. – ЗАО «СевКавТИСИЗ», 2009–2010.
8. Богомолов А.Н., Вихарева О.А., Шиян С.И. К вопросу о минимальных значениях коэффициента бокового давления грунтов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета; Серия: Строительство и архитектура. – 2007. – № 7. – С. 6–10.
9. Богомолов А.А. [и др.]. Некоторые новые характеристики процесса развития областей пластических деформаций в однородном связном основании заглубленного фундамента // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета; Серия: Строительство и архитектура. – 2008. – № 9 (28). – С. 12–16.
10. Богомолов А.Н., Богомолова О.А., Шиян С.И. О двух критериях устойчивости грунтовых откосов и склонов // Материалы Всероссийского семинара-совещания зав. каф. «Строительное производство» и Международной научно-практической конференции «Современные технологии в строительстве. Теория и практика», посвященной 50-летию строительного факультета ПГТУ (22–23 сентября 2009 года, г. Пермь). – Пермь : Издательство ПГТУ, 2009. – С. 54–58.
11. Богомолов А.Н. [и др.]. Назначение коэффициентов запаса при расчете грунтовых откосов и оснований сооружений на устойчивость // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета; Серия: Строительство и архитектура. – 2010. – № 19 (38). – С. 39–43.
12. Зиянгиров А.Г., Мухамедьянов Т.И., Павлюченко В.И. Перспективы применения мобильных компрессорных установок в условиях завершающей стадии разработки газовых месторождений // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 4. – С. 62–64.
13. Зотов Н.И., Абакумова В.В. Проектирование, строительство и эксплуатация систем трубопроводного транспорта на подрабатываемых территориях // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 4. – С. 65–67.
14. Кодаш А.С. Седиментологический анализ коллекторов нижнемеловых отложений Западного Предкавказья // Булатовские чтения. – 2017. – Т. 1. – С. 88–93.
15. Королёв В.С. [и др.]. Блочно-комплектная компрессорная станция для газовой промышленности // Компрессорная техника и пневматика. – 2009. – № 2. – С. 2–7.
16. Кусов Г.В., Савенок О.В. Обоснование применимости экспоненциального закона распределения при оценке надёжности блочного автоматизированного нефтепромыслового оборудования // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – № 8. – С. 158–165.
17. Кусов Г.В., Савенок О.В., Бекетов С.Б. Выбор и обоснование показателей надёжности блочного автоматизированного нефтепромыслового оборудования // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2016. – № 4. – С. 8–12.
18. Кусов Г.В., Богатырёв В.С., Савенок О.В. Классификация отказов и анализ работы технологического нефтепромыслового оборудования в условиях Крайнего Севера // Нефть. Газ. Новации. – 2016. – № 7/2016. – С. 64–68.
19. Кусов Г.В., Бекетов С.Б., Савенок О.В. Исследование надёжности блочных автоматизированных технологических установок // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2017. – № 1. – С. 47–50.
20. Кусов Г.В., Бекетов С.Б., Савенок О.В. Оценка и пути повышения надёжности систем автоматизации и контроля нефтегазодобычи // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 1. – С. 127–132.
21. Шиян С.И., Богомолов А.Н., Вихарева О.А. К вопросу о минимальных значениях коэффициента бокового давления грунтов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Естественные науки. – 2007. – № 6. – С. 110–114.
22. Богомолов А.Н. [и др.]. Устойчивость (Напряжённо-деформированное состояние). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009613499 от 30 июня 2009 года. Заявка № 2009612297 от 19 мая 2009 года.

References

1. Aliyev V.K., Savenok O.V., Sirotin D.G. Influence of reliability of oilfield equipment on ecological safety of development of northern oil and gas fields. – Krasnodar : FSBOU VPO «KubGTU» Publishing House, 2016. – 135 p.
2. Aliev V.K., Savenok O.V., Sirotin D.G. Increase of wear resistance of conjugated details of oilfield and drilling equipment: a training manual. – Krasnodar : Publishing house – South, 2016. – 78 p.
3. Anan'ev V.P., Potapov A.D., Filkin N.A. Special engineering geology : a textbook for universities. – M. : Higher School, 2008. – 263 p.
4. Molokov L.A. Interaction of the engineering structures with the geological medium. – M. : Nedra, 1988. – 220 p.
5. Solodukhin M.A., Arkhangel'skiy I.V. Handbook of engineering-geological and hydrogeological works. – M. : Nedra, 1982. – 288 p.
6. Telichenko V.I. Modern methods of engineering investigations in construction. – M. : MGSU, 2001. – 178 p.
7. «Expansion of capacities of the gas pipeline Russia – Turkey in the section Izobilnoye – Dzhubga to provide gas supplies to Dzhubga – Lazarevskoye – Sochi». (Construction of Kubanskaya CS), № 7020.079.001.21. 14.04.01. PD stage. – CJSC SevKavTISIZ, 2009–2010.
8. Bogomolov A.N., Vikhareva O.A., Shiyani S.I. To the question of minimum values of coefficients of lateral pressure of soils // Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering; Series: Construction and architecture. – 2007. – № 7. – P. 6–10.
9. Bogomolov A.A. [et al.]. Some new characteristics of development process of the plastic deformation regions in the homogeneous coherent base of the buried foundation // Vestnik of Volgograd State University of Architecture and Construction; Series: Construction and Architecture. – 2008. – № 9 (28). – P. 12–16.
10. Bogomolov A.N., Bogomolova O.A., Shiyani S.I. About two criteria of the ground slopes and slopes stability // Proc. of All-Russian seminar-meeting of the head of cafe. «Construction production» and International scientific-practical conference «Modern technologies in construction. Theory and Practice» dedicated to the 50th anniversary of the Faculty of Construction of PSTU (22–23 September 2009, Perm). – Perm : PSTU Publishing House, 2009. – P. 54–58.
11. Bogomolov A.N. [et al.]. Assignment of stock factors at calculation of ground slopes and the bases of constructions on stability // Vestnik of Volgograd State Architectural and Construction University; Series: Construction and Architecture. – 2010. – № 19 (38). – P. 39–43.
12. Ziyangirov A.G., Mukhamedianov T.I., Pavlyuchenko V.I. Perspectives of the mobile compressor units application in the conditions of the final stage of the gas fields development // Bulatovskie readings. – 2018. – Vol. 4. – P. 62–64.
13. Zotov N.I., Abakumova V.V. Designing, construction and operation of the pipe-wire transport systems on the secondary territories // Bulatovskie readings. – 2018. – Vol. 4. – P. 65–67.
14. Kodash A.S. Sedimentological analysis of the Lower Cretaceous deposits collectors in the West Caucasus // Bulatovskie readings. – 2017. – Vol. 1. – P. 88–93.
15. Korolev V.S. [et al.]. Block-component compressor station for the gas industry // Compressor technique and pneumatics. – 2009. – № 2. – P. 2–7.
16. Kusov G.V., Savenok O.V. Justification of the exponential distribution law applicability at reliability estimation of the block automated oilfield equipment // Gornyi Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). – 2016. – № 8. – P. 158–165.
17. Kusov G.V., Savenok O.V., Beketov S.B. Selection and justification of the reliability indices of the block automated oil-field equipment // Equipment and technologies for oil and gas complex. – 2016. – № 4. – P. 8–12.
18. Kusov G.V., Bogatyrev V.S., Savenok O.V. Classification of failures and analysis of the technologic oilfield equipment operation in the Far North // Oil. Gas. Innovations. – 2016. – № 7/2016. – P. 64–68.
19. Kusov G.V., Beketov S.B., Savenok O.V. Reliability research of the block automated bath technological installations // Equipment and technologies for oil-and-gas complex. – 2017. – № 1. – P. 47–50.
20. Kusov G.V., Beketov S.B., Savenok O.V. Estimation and the ways to increase the reliability of the automatic automation systems and the oil-and-gas production control // Gornyi information-analytical bulletin-and-shade (scientific and technical journal). – 2017. – № 1. – P. 127–132.
21. Shiyani S.I., Bogomolov A.N., Vikhareva O.A. To the question of the minimum values of coefficients of the soil side pressure // Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Natural sciences. – 2007. – № 6. – P. 110–114.
22. Bogomolov A.N. [et al.]. Stability (Stress-strain state). Certificate of state registration of the program for computer № 2009613499 from June 30, 2009. Application form No. 2009612297 of 19 May 2009.