ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

УДК 627.8.09

Ким Э.А.
КР УИА Машина таануу, автоматика жана геомеханика институту
Бишкек, Кыргыз Республикасы
Институт машиноведения, автоматики и геомеханики НАН КР, Бишкек, Кыргызская Республика

E.A. Kim
Institute of Mechanical Science, Automation and Geomechanics
of National academy of Sciences K.R., Bishkek, Kyrgyz Republic
elvenakim@mail.ru

ПРИНЦИПЫ СХЕМАТИЗАЦИИ ГРУНТОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ РАСЧЕТНОЙ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

ЭСЕПТИК ГЕОМЕХАНИКАЛЫК МОДЕЛЬ ТҮЗҮҮ ҮЧҮН ТОПУРАКТАРДЫ СХЕМАЛАШТЫРУУ НЕГИЗДЕРИ

PRINCIPLES OF SOIL SCHEMATICS FOR CONSTRUCTING A CALCULATION GEOMECHANICAL MODEL

Макалада ИГЭнин инженердик-геологиялык элементтерин РГЭнин эсептөөчү топурак элементтерине бириктирүү принцибинин негизинде эсептөө геомеханикалык моделин түзүү максатында топурактын инженердик-геологиялык схемасы каралат. Стьюденттин жана Фишердин критерийлеринин негизинде кыртыштын бекемдик касиеттерин статистикалык иштетүү аркылуу бир нече ИГЭлерди бириктирүү мүмкүнчүлүгү.

Топурактарды мындай схемалаштыруу чоңураак литологиялык секцияга, кенири үлгү алуу диапазонунда топурак сынагынын натыйжаларын статистикалык иштетүүгө жана натыйжада геотехникалык объектинин коопсуздугун ишенимдүү баалоого мүмкүндүк берет.

Ачкыч сөздөр: *инженердик-геологиялык элемент, эсептелген топурак элементи, сыпаттама статистика, Стьюденттик критерий, Фишер критерийи, топурактын схемасы.*

В статье рассмотрена инженерно-геологическая схематизация грунтов с целью построения расчетной геомеханической модели, основанной на принципе объединения инженерно-геологических элементов ИГЭ в расчетные грунтовые элементы РГЭ. Проверка возможности объединения нескольких ИГЭ была произведена с помощью статистической обработки прочностных свойств грунтов на основе критериев Стьюдента и Фишера.

Такая схематизация грунтов позволяет укрупнить литологический разрез, а также обеспечить надежную оценку безопасности геотехнического объекта.

Ключевые слова: *инженерно-геологический элемент, расчетный грунтовый элемент, описательные статистики, критерий Стьюдента, критерий Фишера, схематизация грунтов.*

The article considers the engineering-geological schematization of soils with the aim of constructing a computational geomechanical model based on the principle of combining

engineering-geological elements of the EGE into computational soil elements of the RGE. The possibility of combining several EGEs was tested using statistical processing of the strength properties of soils based on Student's and Fisher's criteria.

This schematization of soils allows for a larger lithological section, statistical processing of soil test results over a wider sampling range, and, consequently, a reliable assessment of the safety of a geotechnical facility.

Key words: *engineering-geological element, calculated soil element, descriptive statistics, Student's criterion, Fisher's criterion, soil schematization.*

Введение

За инженерно-геологический элемент ИГЭ принимают некоторый объем грунта одного и того же происхождения, подвида или разновидности при условии, что значения характеристик грунта изменяются в пределах элемента случайно (незакономерно) либо наблюдающаяся закономерность такова, что ею можно пренебречь [1].

За расчетный грунтовый элемент РГЭ принимают некоторый объем грунта не обязательно одного и того же происхождения, подвида или разновидности, в пределах которого нормативные и расчетные значения характеристик по условиям применяемого расчетного или экспериментального метода проектирования объекта могут быть постоянными или закономерно изменяющимися по направлению (чаще всего по глубине) [1,6].

Схематизация грунтов с выделением расчетных грунтовых элементов позволяет укрупнить литологический разрез, выполнить статистическую обработку результатов испытаний с более широким диапазоном выборки, а, следовательно, обеспечить надежную оценку безопасности геотехнического объекта.

Объектом исследования выбран участок проектируемого створа плотины на реке Нарын. В литологическом строении участка проектируемого строительства плотины принимают участие пылевато-глинистые грунты современного возраста, представленные просадочными суглинками и супесями, песчаными грунтами и галечниками с песчаным и супесчаным заполнителем.

Результаты исследования

На рисунке 1 представлена схема построения расчетной геомеханической модели объекта:

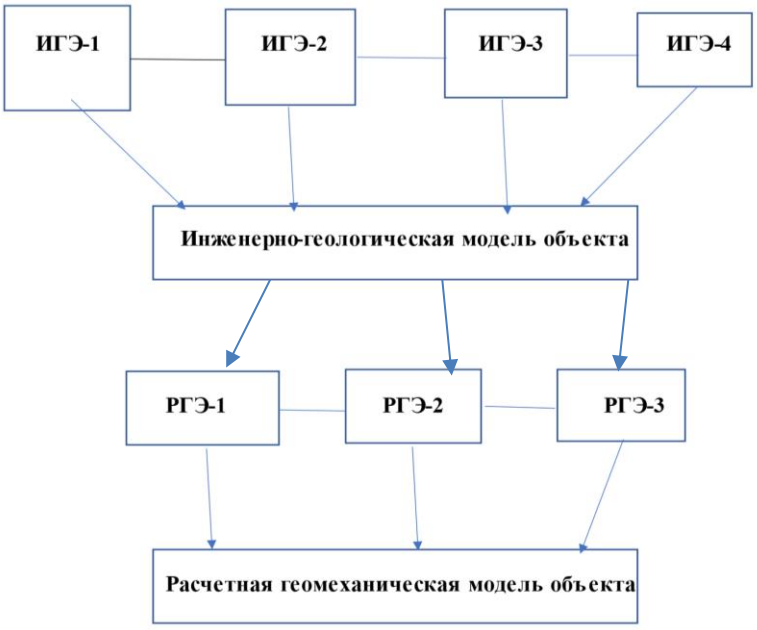


Рисунок 1 - Схема построения расчетной геомеханической модели объекта

Для оценки неоднородности грунтов, выделения ИГЭ, а при необходимости и РГЭ, и вычисления нормативных и расчетных значений характеристик грунтов необходимо провести статистическую обработку результатов испытаний. Для всех характеристик грунта вычисляют нормативные, а для характеристик, используемых в расчетах, и расчетные значения [2].

По результатам инженерных изысканий на участке проектирования было выделено 38 ИГЭ.

Цель данной работы - проверка возможности выделения РГЭ на основе объединенных ИГЭ, согласно нормативным документам [2].

Для проверки возможности объединения двух ИГЭ в один РГЭ используют критерии Стьюдента и Фишера. Критерий Стьюдента t показывает степень различия средних значений выборки, критерий Фишера F показывает однородны ли дисперсии.

Значения t_α принимают по статистическим таблицам при двусторонней доверительной вероятности $\alpha = 0{,}95$ для числа степеней свободы $K = n_1 + n_2 - 2$.

Значение F_α принимают по статистическим таблицам при доверительной вероятности $\alpha = 0{,}95$ для числа степеней свободы $K_1 = n_1 - 1$ и $K_2 = n_2 - 1$.

Два ИГЭ объединяют в один РГЭ, если одновременно выполняются условия [2]:

$$F < F_a \quad \text{и} \quad t < t_a$$

Статистический анализ на возможность объединения двух ИГЭ в РГЭ производился с помощью программ Excel и STATISTICA 10 [3-5]. В качестве характеристик грунтов первоначально были выбраны прочностные свойства – углы внутреннего трения φ и сцепление С, но в дальнейшем анализировались только углы внутреннего трения из-за недостаточности лабораторных данных по сцеплению грунтов.

Проверка возможности объединения ИГЭ проводилась на принципе однотипности наименования грунтов без учета детальности, например, небольшого разброса в процентном содержании обломочного материала или разной влажности и т.д.

В итоге анализировались 7 групп литологически однотипных грунтов, в пределах которых проверке возможности объединения подверглись 12 пар ИГЭ.

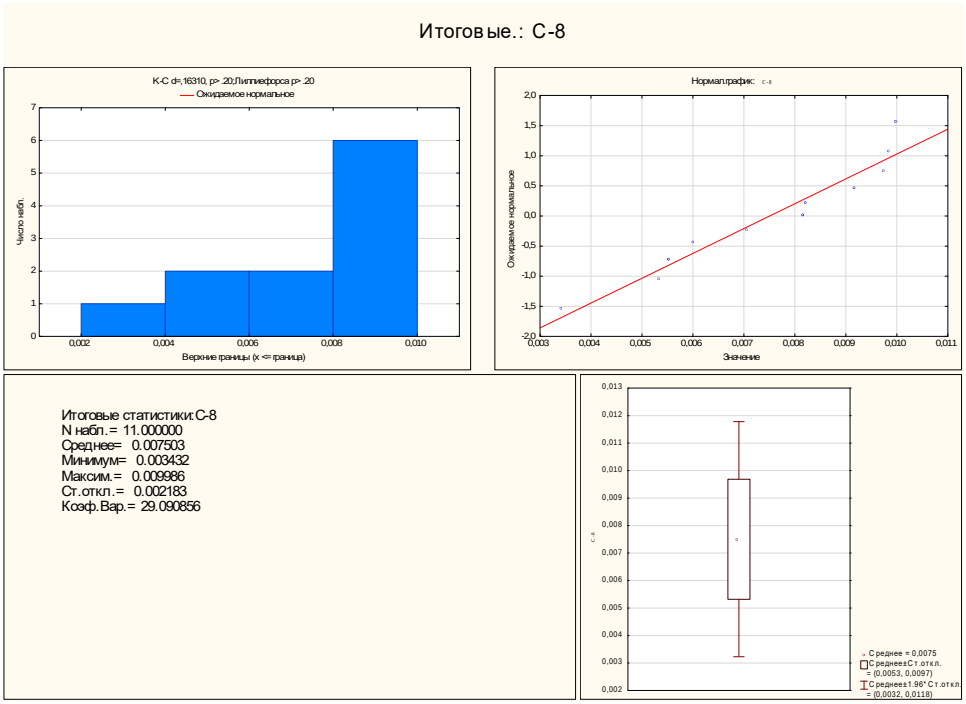
В данной статье для наглядности рассматривается анализ только трех пар ИГЭ: 8-13; 5-9 и 9а-13а.

Объединение ИГЭ-8 и ИГЭ-13. Супесь лессовидная, твердая, просадочная.

Таблица 1 –Исходные данные и описательные статистики ИГЭ-8 и ИГЭ-13

	1 Fi-8	2 C-8	3 Fi-13	4 C-13
1	20	0,007	20	0,008
2	18	0,003	21	0,007
3	18	0,006	19	0,006
4	19	0,006	20	0,007
5	18	0,010	21	0,006
6	19	0,008	21	0,005
7	18	0,008	19	0,009
8	21	0,010	19	0,005
9	21	0,005	21	0,005
10	20	0,009	18	0,007
11	21	0,010	20	0,010

	Описательные статистики (Таблица)					
Переменная	N набл.	Среднее	Минимум	Максим.	Ст.откл.	Коэф.Вар.
Fi-8	11	19,36	18,00	21,00	1,286	6,64
C-8	11	0,01	0,00	0,01	0,002	29,09
Fi-13	11	19,91	18,00	21,00	1,044	5,25
C-13	11	0,01	0,00	0,01	0,002	22,19



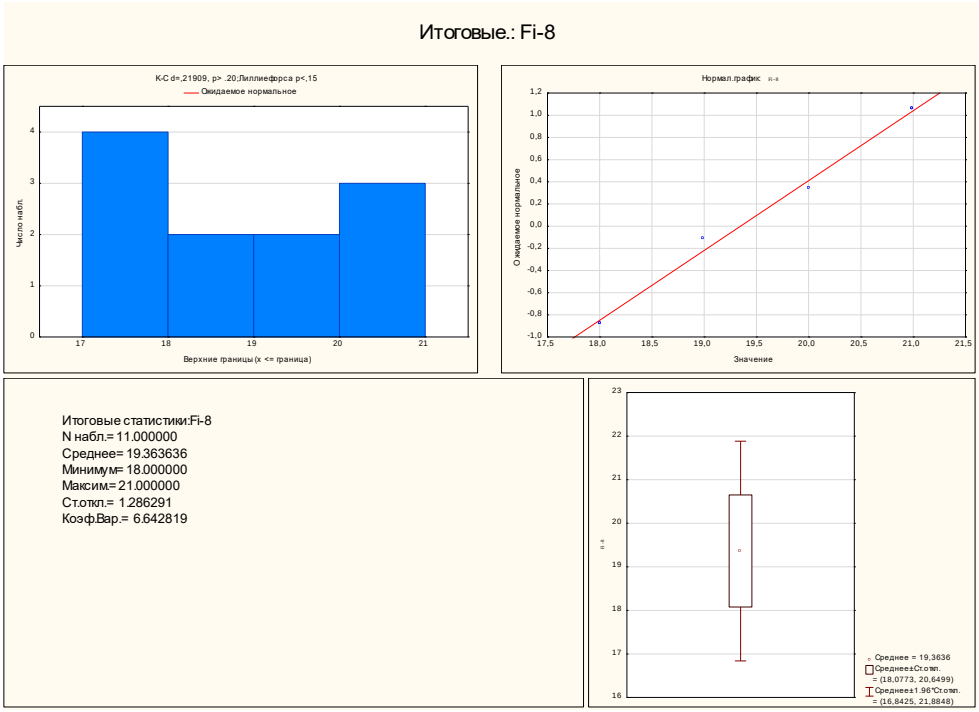
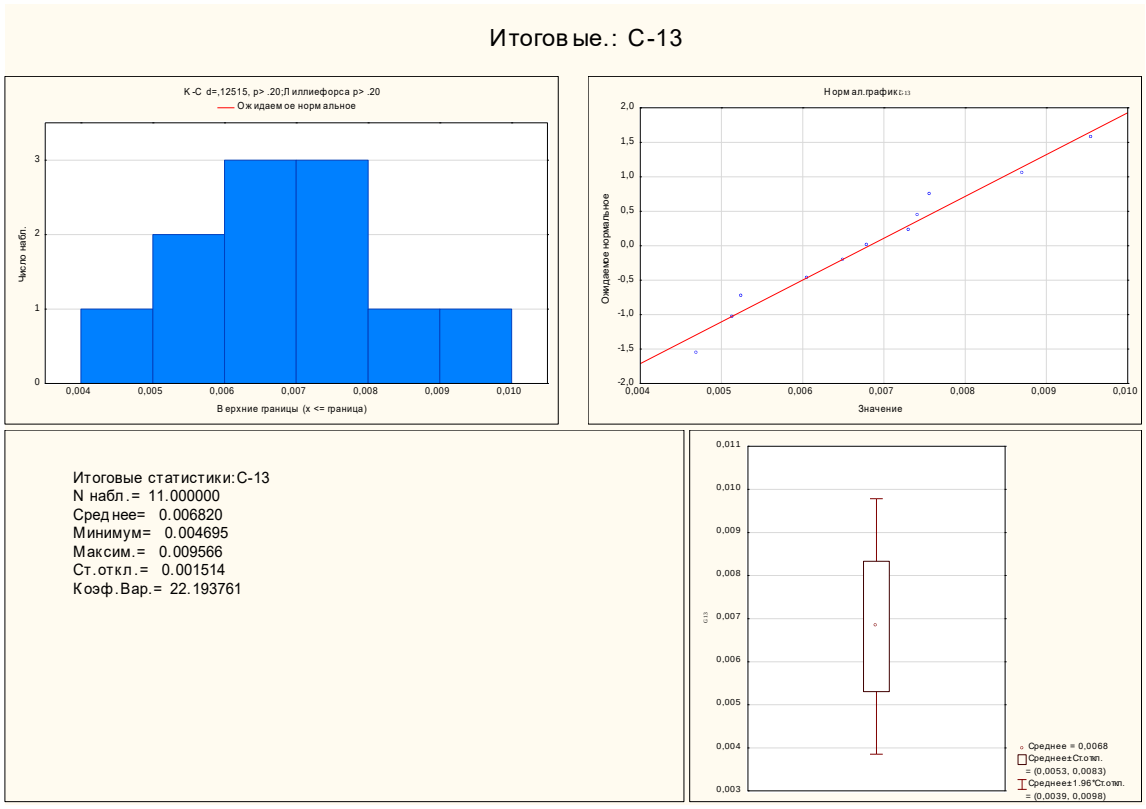


Рисунок 2 – Графики описательной статистики и распределения значений C и φ ИГЭ-8



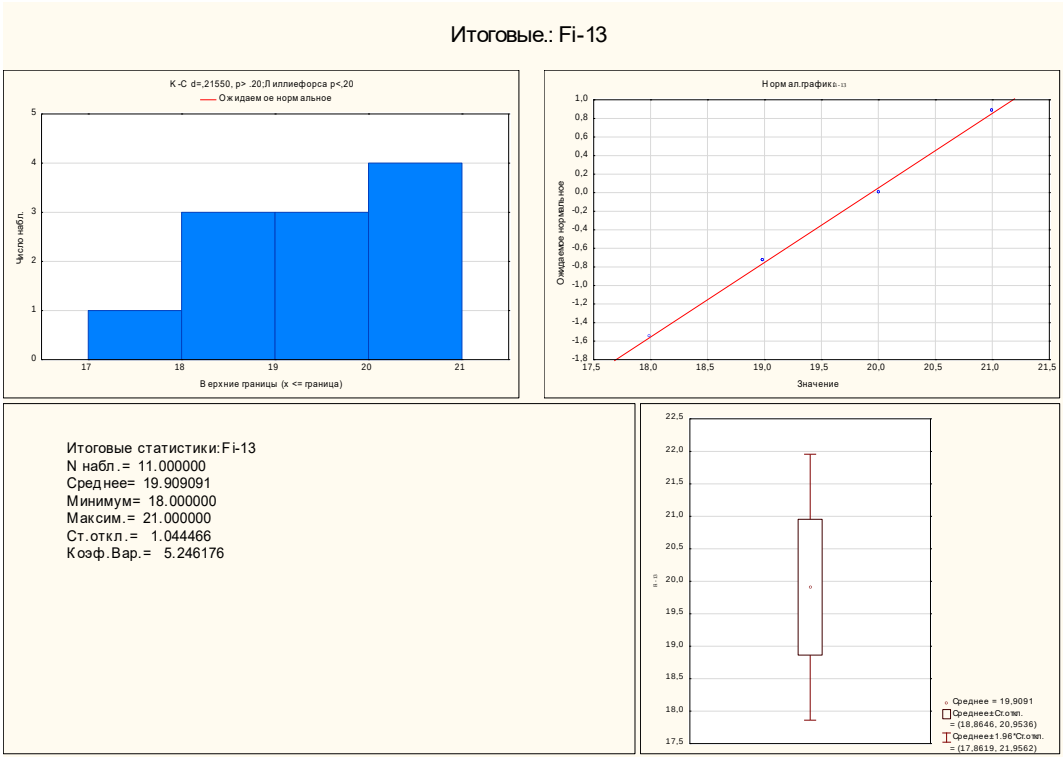


Рисунок 3 - Графики описательной статистики и распределения значений С и φ ИГЭ-13

По результатам расчетов получилось:

$t_{8\text{-}13}$ = 1,05 t_{α} = 1,72 при числе степеней свободы K=20.

$F_{8\text{-}13}$ = 1.54 F_{α} = 2,97 при числе степеней свободы K=10.

1,05<1,72 и 1,54<2,97

Условия объединения ИГЭ-8 и ИГЭ-13 **выполняются**.

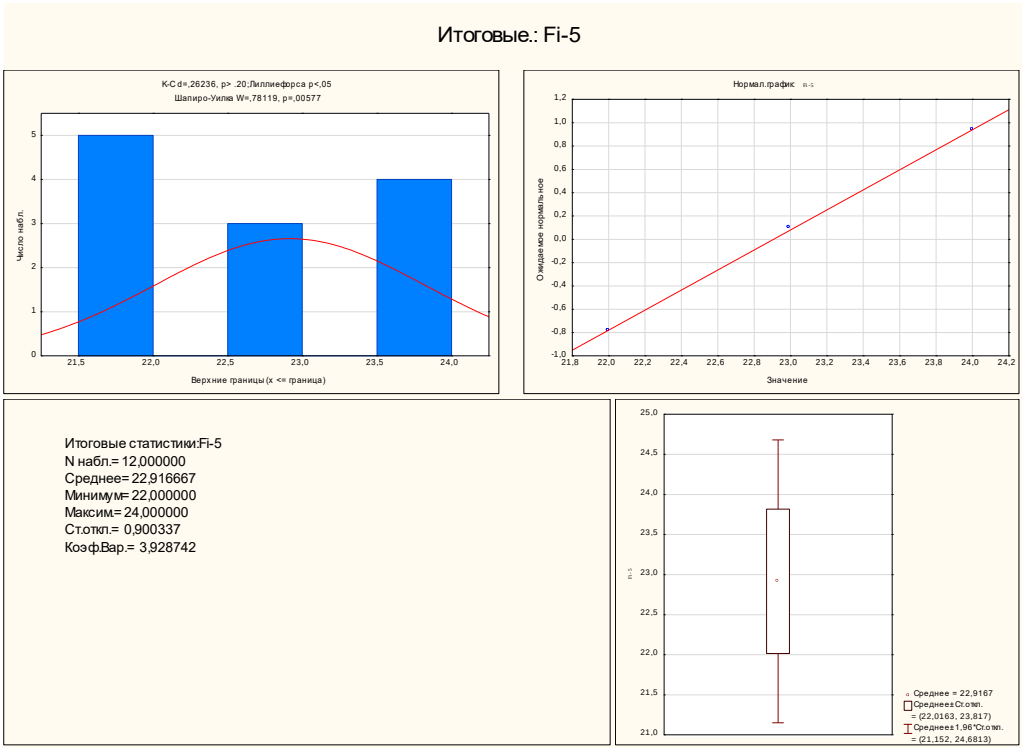
Объединение ИГЭ-5 и ИГЭ-9, ИГЭ-9а и ИГЭ-13а

Песок мелкий, пылеватый, рыхлый с линзами суглинка и супеси.

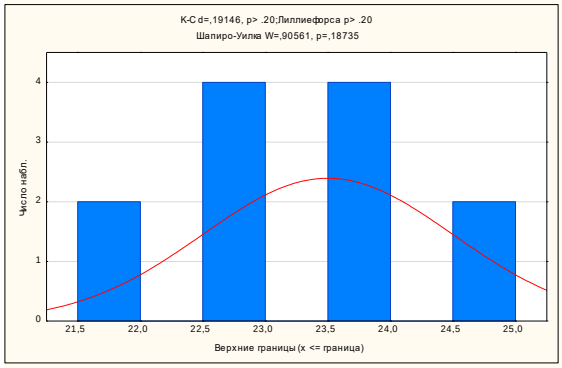
Таблица 2 – Таблица исходных данных и описательные статистики ИГЭ-5 и ИГЭ-9, ИГЭ-9а и ИГЭ-13а

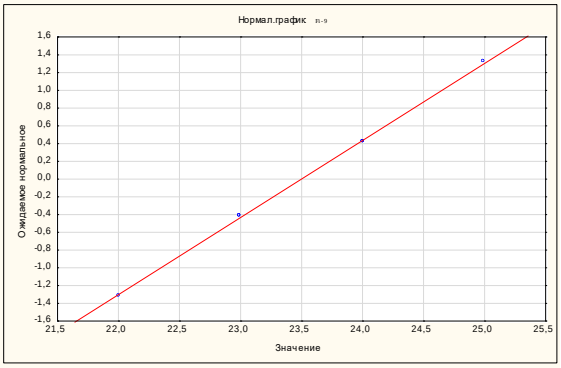
	1 Fi-5	2 Fi-9	3 Fi-9a	4 Fi-13a
1	22	23	23	22
2	24	24	22	23
3	23	22	22	22
4	23	23	22	23
5	24	24	22	22
6	22	24	24	24
7	24	23	22	21
8	22	22	24	24
9	24	23	24	21
10	22	25	22	22
11	22	24	23	21
12	23	25	24	21

Переменная	Описательные статистики (Таблица)							
	N набл.	Среднее	Доверит. -95,000%	Доверит. 95,000%	Минимум	Максим.	Ст.откл.	Коэф.Вар.
Fi-5	12	23	22,3	23,5	22	24	0,90	4
Fi-9	12	24	22,9	24,1	22	25	1,00	4
Fi-9a	12	23	22,2	23,4	22	24	0,94	4
Fi-13a	12	22	21,5	22,9	21	24	1,11	5

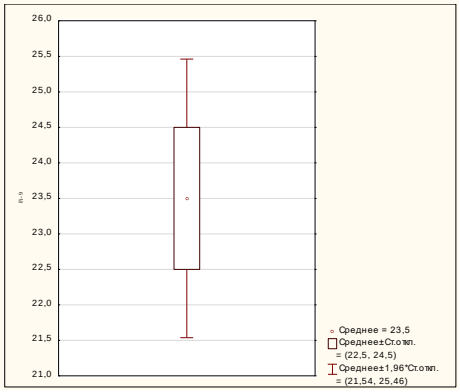


Итоговые.: Fi-9

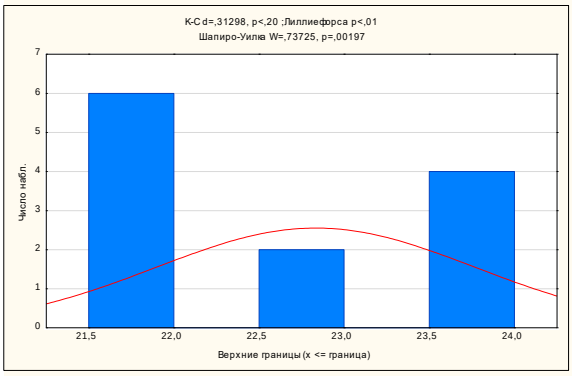


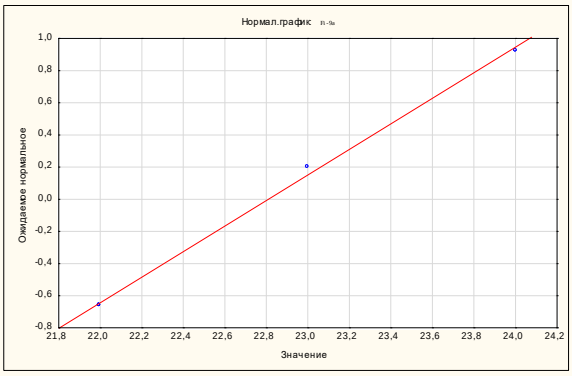


Итоговые статистики:Fi-9
N набл.= 12,000000
Среднее= 23,500000
Минимум= 22,000000
Максим.= 25,000000
Ст.откл.= 1,000000
Коэф.Вар.= 4,255319

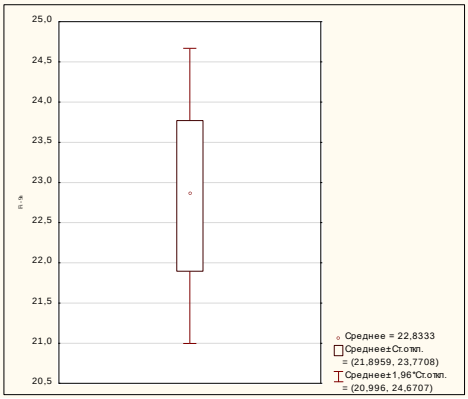


Итоговые.: Fi-9a





Итоговые статистики:Fi-9a
N набл.= 12,000000
Среднее= 22,833333
Минимум= 22,000000
Максим.= 24,000000
Ст.откл.= 0,937437
Коэф.Вар.= 4,105563



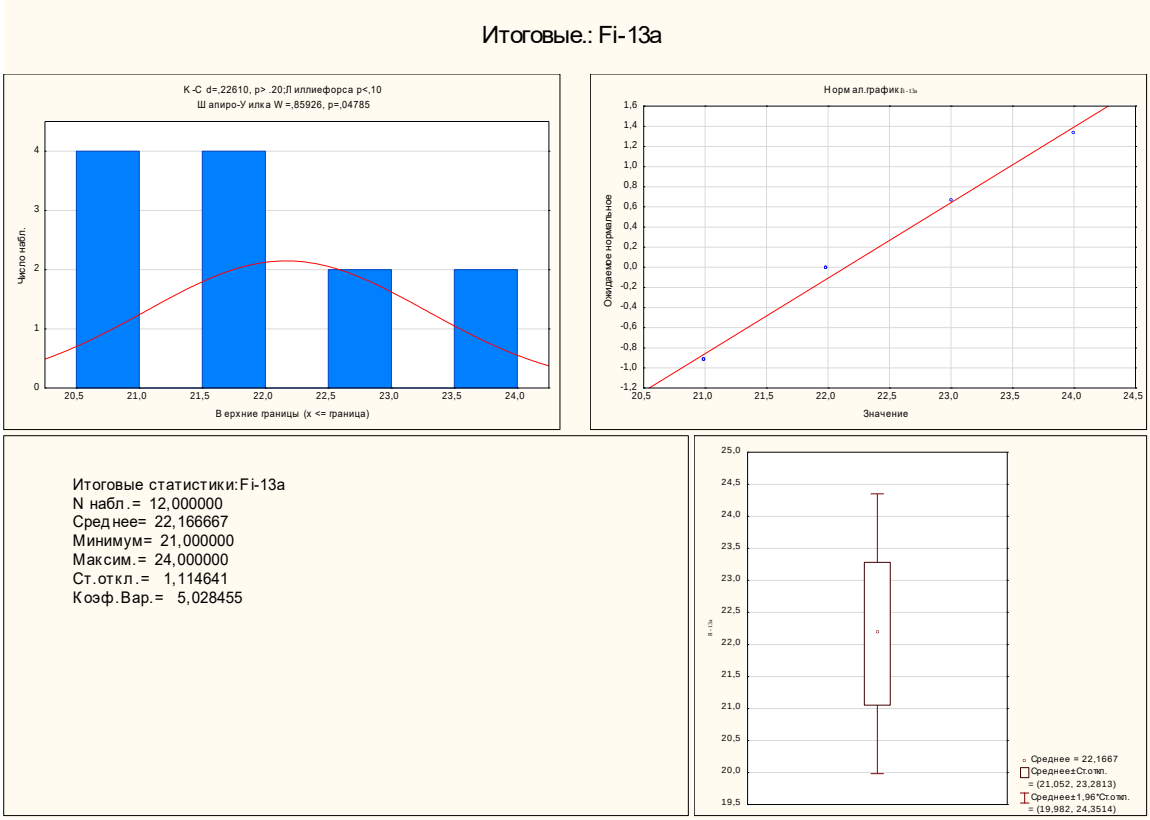


Рисунок 4 - Графики описательной статистики и распределения значений φ ИГЭ -5, 9, 9а, 13а

$t_{5\text{-}9}$ =2,41 при K=22 t_{α} = 2,09
$F_{5\text{-}9}$ = 1,23 при K_1=K_2=11 F_{α} =2,82
$t_{9a\text{-}13a}$ = 3,4 при K=22 t_{α} = 2,09
$F_{9a\text{-}13a}$ = 1,4 при K_1=K_2=11 F_{α} =2,82

Расчеты показали, что условие объединения ИГЭ-5 и ИГЭ-9, а также ИГЭ – 9а и ИГЭ – 13а по критерию Стьюдента (проверка средних значений выборок) не выполняется, а по критерию Фишера (проверка дисперсий) – выполняется. То есть дисперсии совместимы, а средние – нет. В итоге – объединение ИГЭ-5 и ИГЭ-9, а также ИГЭ - 9а и ИГЭ -13а **невозможно**.

Статистический анализ рекомендованных к объединению 12 пар ИГЭ показал, что можно выделить следующие РГЭ: 1) ИГЭ-8+ИГЭ-13; 2) ИГЭ-11+ИГЭ-14; 3) ИГЭ-20б+ИГЭ-20в; 4) ИГЭ-19+ИГЭ-20.

Не прошли проверку на объединение 8 пар ИГЭ.

В итоге можно констатировать, что объект исследований состоит из 34 ИГЭ.

Выводы

1. Объектом исследования выбран участок проектируемого створа плотины на реке Нарын. В литологическом строении участка проектируемого строительства плотины принимают участие пылевато-глинистые грунты современного возраста, представленные просадочными суглинками и супесями, песчаными грунтами и галечниками с песчаным и супесчаным заполнителем.
2. На участке изысканий проектной организацией выделено 38 ИГЭ. Проверка возможности объединения ИГЭ проводилась на принципе однотипности наименования грунтов без учета детальности, например, небольшого разброса в процентном содержании обломочного материала или разной влажности и т.д. В итоге анализировались 7 групп литологически однотипных грунтов, в пределах которых

проверке возможности объединения подверглись 12 пар ИГЭ. В качестве характеристик грунтов были выбраны прочностные свойства – углы внутреннего трения φ и сцепление С.

3. Согласно нормативному документу, для проверки возможности выделения РГЭ на основе объединенных ИГЭ, была произведена статистическая обработка прочностных свойств грунтов на основе критериев Стьюдента и Фишера.
4. На основе расчетов и статистического анализа выявлено, что 4 группы ИГЭ можно объединить. Не прошли проверку на объединение 8 пар ИГЭ. В итоге можно констатировать, что объект исследований состоит из 34 структурных элементов – ИГЭ.
5. Такая схематизация грунтов позволяет укрупнить литологический разрез, выполнить статистическую обработку результатов испытаний с более широким диапазоном выборки, а, следовательно, - обеспечить надежную оценку безопасности геотехнического объекта.

Список литературы

1. ГОСТ 25100-2020 Грунты. Классификация. М: Стандартинформ, 2020 - 38 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа : ttps://meganorm.ru/Data2/1/4293719/4293719820.htm

2. ГОСТ 20522-2012 Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. М: Стандартинформ, 2013 – 19 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа : https://meganorm.ru/Index2/1/4293787/4293787367.htm

3. Компьютерная программа STATISTICA Version 10.

4. Боровиков В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов [Текст]. – Санкт-Петербург: Питер, 2003. – 730 с.

5. Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики [Текст]. - М.: Наука, 1983.

6. Ким Э.А. Анализ чувствительности факторов, влияющих на надежность грунтовой плотины / Известия КГТУ имени И.Раззакова. - 2025.- №2(74). – стр. 437 –443.

7. Казакбаева Г.О. Исследование напряженно-деформированного состояния карьерных склонов поляризационно-оптическим методом – Известия КГТУ имени И.Раззакова. - 2025.- №2(74). – стр. 444 –450.