

Т.Т. Мусабаев<sup>1</sup>, Н.Ж. Жумадилова<sup>2\*</sup>, В.С. Портнов<sup>2</sup>, С.К. Мусина<sup>3</sup>

<sup>1</sup>РГП «Госградкадастр», Астана, Казахстан

<sup>2</sup>Кагарандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова,  
Караганда, Казахстан

<sup>3</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия  
E-mail: n-j-93@mail.ru

## Инженерно-геологические условия территорий объектов строительства правобережья города Астаны

**Аннотация.** Природная опасность возникающая в результате подтопления застраиваемой правобережной части города Астаны паводковыми водами реки Есиль является на сегодняшний день актуальной проблемой столичного строительного комплекса. Подтопление является опасной проблемой за счет изменения геологической среды под воздействием влияния нагрузок от зданий и сооружений. Характер изменения свойств геологической среды в процессе обводнения зависит от устойчивости геологической среды во времени. Геологическая среда за счет природно-техногенных воздействий переходит в стадию неустойчивости геологической среды. Исследование инженерно-геологических условий участков объектов строительства позволит регламентировать функциональное использование территорий. Авторами разработаны геотехнические методы применения надежных расчетов напряженного состояния осадок фундаментов при проектировании зданий и сооружений, что позволило обеспечить безопасность и эксплуатационную пригодность объектов строительства. Предложен эффективный расчет осадки фундаментов для однородного грунта, в котором равновесие обеспечивается за счет сил сцепления и трения на границе вертикальных уплотняющих напряжений. Полученные результаты исследования применимы при решении геотехнических задач на стадии строительства зданий и сооружений.

**Ключевые слова:** подтопление грунтов, инженерно-геологические условия, влияние нагрузки, физико-механические свойства.

DOI: [doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-275-291](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-275-291)

### 1. Введение

На сегодняшний день одной из актуальных проблем столицы Казахстана является подтопление территории города: 75% застроенной территории находится в подтопленном состоянии, 10% из которых заболочены. В связи с внедрением в геологическую среду свайных фундаментов и глубокого заложения трубопроводов существует риск поднятия уровня грунтовых вод на всей территории строительных площадок столицы. Возникновение дефектов строительных конструкций и их оснований наиболее тесно связано с влиянием изменения физико-механических свойств грунтов и фильтраций грунтовых вод.

Настоящее исследование посвящено изучению геологической среды территорий участков правобережья для определения наличия природных и техногенных рисков для города Астаны. Изучение инженерно-геологических условий позволяют прогнозировать изменения геологической среды на ближайшую перспективу.

Вопросы влияния содержания воды в частицах грунта на дезинтеграцию грунтов по минеральному составу, размерам частиц, структуры физическим характеристикам исследовано во многих трудах отечественных и зарубежных исследователей [1-6]. Поведение осадки фундаментов в условиях мягких грунтов изучено в публикациях отечественных ученых [7]. Влияние нагрузок фундаментов зданий и сооружения городской застройки со временем приводит к изменению физико-механических свойств грунтов. Прогноз изменения физико-механических свойств, при разных условиях строительства и эксплуатации является основой выбора конструктивного решения и разработки метода предотвращения осадок и деформации строительных конструкций.

## 2. Методы

Гидрологические условия города Астаны определяются водами рек Ишим, озер Малый Талдыколь, Талдыколь и канала Нура-Ишим. Сток реки Ишим формируется тальми водами и атмосферными осадками. Площадь озер в ходе строительства засыпается грунтом для вертикальной планировки территорий, согласно генеральному плану столицы. В многоводные годы в озера Талдыкольской группы поступают воды из рек Есил. В геологическом строении участвуют породы мезо-кайнозойской коры выветривания (eMZ-KZ), включающей алевролиты и кремнистые известняки. Породы сильновыветрелые, до состояния суглинка, образуют дисперсную зону коры выветривания на глубине от 1 до 7 м.

Толща элювиальных пород перекрыта аллювиально-пролювиальными и аллювиальными отложениями средне – позднечетвертичного возраста ( $apQ_{II-III}$ ,  $aQ_{II-III}$ ), состоящими из глин полутвердых, заиленных, суглинков от твердой до мягкопластичной консистенции, песков разнозернистых. Данная толща залегает на глубине от 3 до 5 м.

В толще суглинков на глубине от 4 до 7 м встречаются прослой и линзы водонасыщенных песков.

Современные четвертичные образования представлены насыпными (техногенными) грунтами и почвенно-растительным слоем.

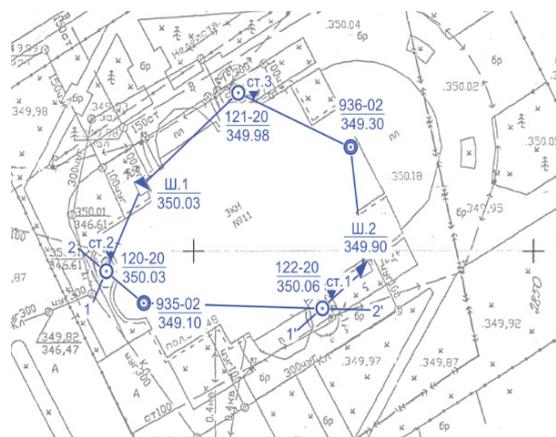
Грунтовые воды встречаются периодически. В четвертичных глинистых отложениях водоносный горизонт приурочен к линзам и прослоям песка, а в мезозойских отложениях – к трещинам и линзам дресвы. Экзогенные геологические процессы (оползни, сели, карст, разломы) не зафиксированы. Насыпные грунты сложены четвертичными суглинками, являються продуктом техногенного воздействия.

Рассмотрим инженерно-геологические условия отдельных строительных территорий на правобережье г. Астаны. Исследуемый участок находится на правом берегу р. Ак-булак, между руслом реки и улицей Пушкина (рис. 1).

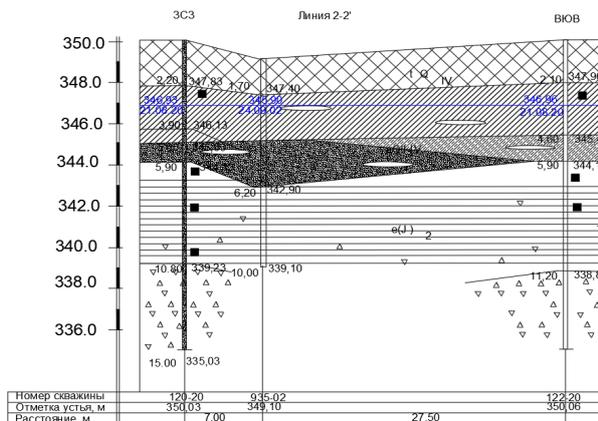


Рисунок 1. Общий вид фасада здания Синагоги в г.Астане

Здание Синагоги функционально разделяется на несколько зон, расположенных как горизонтально, так и вертикально. Здание состоит из трех основных частей: молебельного зала и административно-бытовых помещений. Центром композиции здания является молебельный зал, перекрытый куполом.



а) Схема расположения геологических скважин



б) Инженерно-геологический разрез объекта

Рисунок 2. Разрез геологических скважин с указанием их местоположения на участке здания Синагога

По периметру здания Синагоги расположены 7 горных выработок (скважины и шурфы). На схемах указаны их размещения и номера, абсолютные отметки устьев и линии геологического разреза (рисунок 2). Количество и расположение скважин определялось площадью участка с учетом подземных инженерных коммуникаций согласно топографическому плану участка. В геологическом строении здесь участвуют аллювиальные четвертичные отложения (суглинки и супеси, пески средней крупности), а также элювиальные образования (глины и щебенистые грунты) среднеюрского возраста. Сверху данные отложения перекрыты насыпными грунтами.

Слежавшиеся насыпные грунты мощностью 1,9-2,2 м представлены суглинками с дресвой, щебнем и песком. Суглинки буро-коричневые, тугопластичные, известковистые с линзами и прослоями песка средней крупности; суглинки мощностью 1,1-2,5 м вскрыты повсеместно на глубинах 1,9-2,2 м. Пески коричневые среднезернистые водонасыщенные мощностью 0,9-2,1 м вскрыты на глубинах 3,9-5,0 м с маломощными (до 5-7 см) прослоями супесей. Глины желтые, светло-серые, полутвердые с включением дресвы и щебня до 10-15 %, омарганцованные и ожелезненные вскрыты повсеместно на глубине 5,9-6,0 м; мощность их составляет 9,0-9,1 м. Щебенистые грунты мощностью 2,9-4,2 м с суглинистым заполнителем (до 4,0-7,4%) желтовато-, зеленовато-серые средневыветрелые с обломками аргиллитов вскрыты на глубинах 10,8-12,1 м.

По гидрогеологическим условиям территория реки Ак-Булак относится к району с нарушенным режимом грунтовых вод и интенсивной техногенной нагрузкой.

Грунтовые воды вскрыты на глубине 3,10 м (абсолютные отметки установившегося уровня составили 346,88 - 346,96 м). Река Ак-булак (правый приток реки Есиль) протекает вблизи здания Синагоги и является естественной дренажной, на которую разгружаются грунтовые воды прибортовой части долины, застроенной жилыми зданиями. Слабо- и среднедренированные уклоны грунтовых притоков на всем протяжении реки направлены в сторону ее русла и составляют по левому берегу 0,0013-0,0015. Естественный сток реки формируется также за счет притока в русло дренажных вод из отстойника ТЭЦ-2. Пик весеннего подъема, как правило, отмечается на несколько дней раньше прохождения максимума на р. Есиль. Расход воды при 1% обеспеченности 49 тыс.м<sup>3</sup>/сек, при обычном режиме 100 л/сек. Скорость воды 1,6 м/сек.

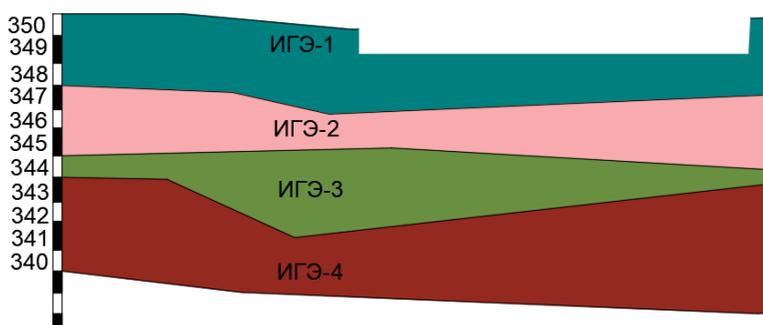


Рисунок 3. Схема залегания фундаментных блоков в толщах напластования грунтов здания Синагоги

Слои инженерно-геологических элементов и глубина залегания свайных фундаментов 1,8 м на верхнем слое ИГЭ-1 (насыпной грунт суглинка). В данном случае для надежной устойчивости здания необходимая глубина залегания должна быть ниже глубины промерзания грунтов не менее 2 м. Возможное влияние пучения насыпного грунта уменьшена при помощи конструктивных решений (трапециевидной опалубки, защитных экранов для ленты, засыпки пазух непучинистым грунтом, прокладки водоотводных каналов).

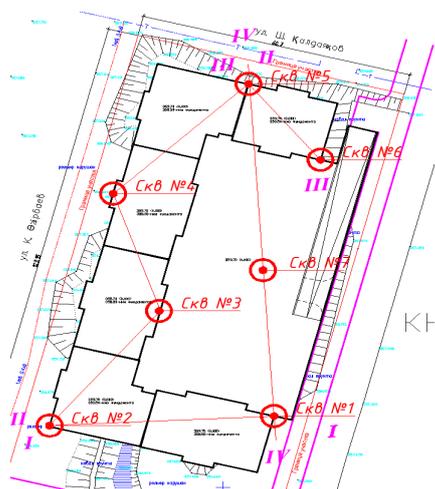
Рассмотрены инженерно-геологические условия территорий участка многоквартирного жилого комплекса Кок-Тобе в городе Астане. Исследуемый участок жилого комплекса расположен на правом берегу реки Ишим, в районе пересечения улиц Ш.Қалдаяқова и К.Әзірбаева (рис. 4).



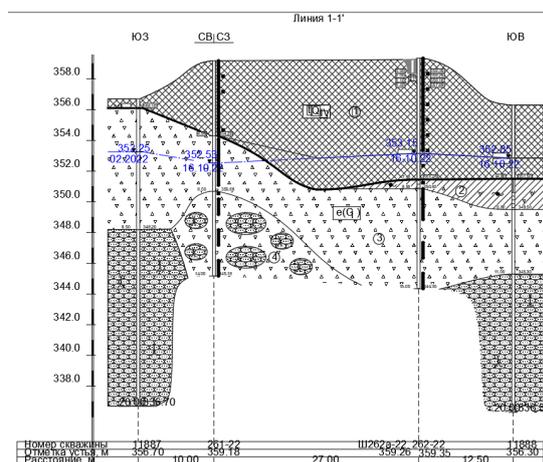
Рисунок 4. Общий вид строительных конструкций (пилоны, диафрагмы жесткости) на участке многоквартирного жилого комплекса Кок-Тобе, г.Астана

Рельеф строительной площадки относительно ровный, спланирован насыпным грунтом, абсолютные отметки от 356.30 до 356.80 (приведены по инженерно-геологическим выработкам). Ранее почти на всей площадке действовал карьер – в настоящее время засыпан, реки и озера отсутствуют. Объект расположен в секторе новой застройки г. Астаны. Объект состоит из 6 блоков, расположенных в целом С-образно и разделенных деформационными швами. Жилые здания с монолитным железобетонным каркасом и безбалочной системой. Фундаменты – свайные с монолитными железобетонными отдельно стоящими ростверками. Пилоны – монолитные железобетонные размерами 120х25 см, 165х25 см, 250х25 см. Диафрагмы жесткости – толщиной 20 см.

На схеме участка многоквартирного жилого комплекса Кок-Тобе продемонстрированы места расположения инженерно-геологических скважин (рис. 5).



а) Схема расположения геологических скважин



б) Инженерно-геологический разрез объекта

Рисунок 5. Разрез геологических скважин с указанием их местоположения на участке многоквартирного жилого комплекса Кок-Тобе

В геологическом строении до глубины 14,0 м участвуют элювиальные образования по осадочным породам нижнего карбона, представленные суглинками, дресвяно-щебенистыми грунтами, щебенисто-глыбовой зоной и песчаниками.

Неслежавшиеся насыпные грунты (tQ) мощностью 4,9-7,9 м представлены суглинками, супесями, реже – глинами с включениями дресвы и щебня (до 49,8 %) и бетоном. В скважине №260-22 с глубины 4,9 м пустоты заполнены льдом и снегом.

Суглинки желтовато-серые, омарганцованные и ожеженненные мощностью 1,10 м с прослоями дресвы и щебня выветрелых песчаников (до 10 %) встречаются на глубине 7,9 м.

Дресвяно-щебенистые грунты (кора выветривания песчаников) желто-серые, зеленовато-серые с суглинистым заполнителем (до 37,9 %); дресва и щебень мощностью 0,8-6,0 м представлены обломками слабо-средне выветрелых малопрочных песчаников и на глубине 4,9-9,7 м.

Щебенисто-глыбовая зона представлена переслаиванием щебенистых грунтов и глыб песчаников. Зона вскрыта всеми скважинами, ее мощность от 1,0 до 3,80 м. Щебень представлен средне-сильно выветрелыми и мало-прочными песчаниками серого и зеленовато-серого цвета.

Песчаники серые, темно-серые, плотные и очень плотные, выветрелые, трещиноватые, по трещинам ожеженненные мощностью от 1,1 до 2,8 м.

Абсолютные отметки установившегося уровня грунтовых вод составили 352,39-353,81 м; уровень вод подвержен сезонным колебаниям в диапазоне 1,0-2,0 м. Так, в весенний период ожидается подъем уровня грунтовых вод на 1,20 м с достижением абсолютных отметок 353,59 – 355,01 м.

На рисунке 6 представлены слои инженерно-геологических элементов и глубины залегания свайных фундаментов.

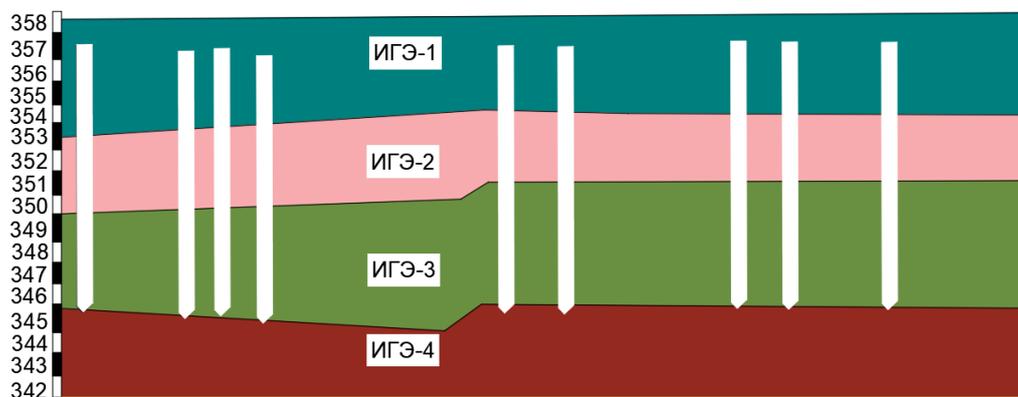


Рисунок 6. Схема залегания свайных фундаментов в толщах напластования грунтов многоквартирного жилого комплекса Кок-Тобе

На схеме залегания под блоками наблюдается резкое различие в толщах напластования грунтов основания ввиду того, что значительную часть площадки изначально занимал карьер, который впоследствии был заполнен насыпным грунтом общим объемом  $V = 24733.015 \text{ м}^3$ . В процессе возведения фундаментов указанное в проекте послойное уплотнение насыпного грунта не было выполнено должным образом, что привело к неравномерным осадкам фундаментов; кроме того, имеются нарушения требований норм в части устройства свайных фундаментов. На это все указывает наличие недопустимых деформаций грунтов основания и отклонения от проектного положения свайных фундаментов, выявленные на стадии строительства здания. В период установки свай, которые проводились в зимний период времени года, в грунтах обнаружен лед. Вода в твердом состоянии в виде линз с прослоями. Передвижение грунтовых вод переходит фазовое состояние под действием давления как пластичное тело.



В геологическом строении участка торгово-развлекательного центра Сити-Палас (ТРЦ Сити-Палас) до глубины 23,0 м встречаются аллювиальные средне-верхнечетвертичные отложения, представленные суглинками, супесями, песками мелкими и крупными, а также элювиальные образования мезозойского возраста (суглинки, щебенистые грунты), которые перекрыты несслежавшимися насыпными техногенными грунтами. Последние представлены дресвой, щебнем, строительным мусором, суглинистым заполнителем мощностью от 1,3 до 2,5 м.

Аллювиальные отложения средне-позднечетвертичного возраста включают суглинки коричневые, известковистые, твердые и полутвердые, на глубине 2,8-3,1 м – тугопластичные, на глубине 3,5-4,5 м – мягкопластичные с маломощными (2-5 см) прослойками супесей и разнозернистых песков. Аллювий вскрыт повсеместно под насыпными грунтами с глубины 1,3-2,5 м с мощностью 0,6-2,1 м. Супеси коричневые, известковистые с прослойками суглинков и песков. Супеси встречаются повсеместно, залегают под суглинками с глубины 1,9-3,7 м; мощность супесей от 0,8 до 2,6 м. Пески мелкие коричневые, полимиктовые, водонасыщенные с маломощными (1-3 см) прослойками суглинков. Пески вскрываются скважинами под супесями с глубины 4,5 м; их мощность 1,0 м.

Пески крупные коричневые, полимиктовые, водонасыщенные с маломощными (5-10 см) прослойками суглинков вскрыты под суглинками и мелкозернистыми песками с глубины 5,5 – 5,6 м; мощность их от 0,9 до 1,2 м.

Элювиальные образования мезозойского возраста представлены суглинками желто-бурыми, буровато-желтыми, твердыми, трещиноватыми со щебнем в виде рухляка из обломков сильновыветрелых алевролитов. Элювий вскрыт повсеместно под четвертичными отложениями, начиная с глубины 3,0-6,7 м. Вскрытая его мощность изменяется от 6,1 до 10,5 м.

Подземные воды на площадке ТРЦ Сити-Палас вскрыты повсеместно на глубинах 2,8-3,5 м с абсолютными отметками установившегося уровня вод 345,8-346,2 м. Режим грунтовых вод на площадке подвержен сезонным колебаниям с прогнозируемым максимальным подъемом уровня вод на 2,0 м выше от установившегося. Водовмещающими породами являются аллювиальные суглинки, супеси, пески, элювиальные суглинки и щебенистые грунты.

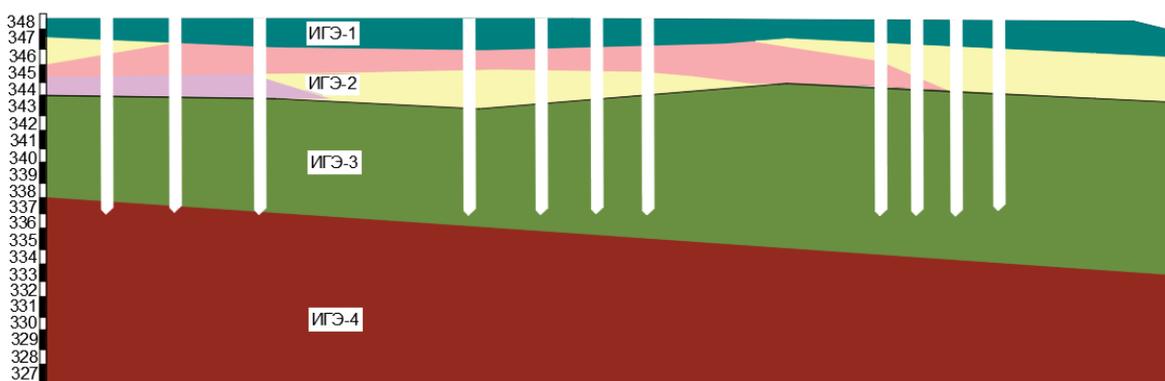


Рисунок 9. Схема залегания свайных фундаментов в толщах напластования грунтов ТРЦ Сити-Палас

На рисунке 9 отображены слои инженерно-геологических элементов и глубины залегания свайных фундаментов. Глубина заложения сваи составляет 10 м, нижний конец сваи заглублен суглинка твердой консистенции в слой перемещая более слабые по прочности грунты.

## 3. Результаты и обсуждение

В таблице 1 представлены результаты анализа физико-механических свойств грунтов основания объектов правобережья города Астаны.

Таблица 1 – Физико-механические характеристики грунтов исследуемых объектов

Основные физико-механические характеристики	Значения		
	МЖК Кок-Тобе	ТРЦ Сити Палас	Здание Синагоги
	ИГЭ 1 Насыпной грунт (суглинки и супеси)	ИГЭ 1 Насыпной грунт (суглинки)	ИГЭ 1 Насыпной грунт (суглинки)
Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	1,85	1,77	1,87
Плотность сухого грунта $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	1,51	1,50	1,48
Плотность сухого грунта $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	2,68	2,60	2,65
Влажность природная, %	7,9	15,5	10
Пористость $n$ , %	39	44	35
Коэффициент пористости $e$	0,640	0,771	0,720
Степень влажности $S_r$	0,55	0,58	0,51
Влажность на границе текучести $w_L$ , %	16,9	15,9	17
Влажность на границе текучести $w_p$ , %	14,7	17	24
Число пластичности $I_p$	2,1	13	7
Показатель текучести $I_L$	<0	<0	
Удельное сцепление $C$ , КПа	15	15	20
Угол внутреннего трения, градус	17	16	18
Модуль деформации $E$ , МПа	5	5	7,5
Расчетное сопротивление $R_0$ , КПа	120	120	100
Основные физико-механические характеристики	ИГЭ 2 суглинок полутвердой и тугопластичной консистенции	ИГЭ 2 суглинок полутвердой и тугопластичной консистенции	ИГЭ 2 суглинок полутвердой и тугопластичной консистенции
Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	1,92	2,04	2,12
Плотность сухого грунта $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	1,51	1,52	1,86
Плотность сухого грунта $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	2,71	2,80	2,73
Влажность природная, %	24,2	19,8	13,9
Пористость $n$ , %	43	40	39
Коэффициент пористости $e$	0,753	0,590	0,390
Степень влажности $S_r$	0,87	0,86	0,78
Влажность на границе текучести $w_L$ , %	37,6	27	25
Влажность на границе текучести $w_p$ , %	23,3	16	18

Число пластичности $I_p$	14,3	11	7
Показатель текучести $I_L$	0,05	0,05	0,04
Удельное сцепление $C$ , КПа	35	13	53
Угол внутреннего трения, градус	18	16	17
Модуль деформации $E$ , МПа	9	7	13,2
Расчетное сопротивление $R_0$ , КПа	150	-	-
<b>Основные физико-механические характеристики</b>	<b>ИГЭ 3 Щебенистый грунт характеризуется содержанием фракции (частиц крупнее 10мм) составляет от 69% до 87%</b>	<b>ИГЭ 3 Супеси пластичные с прослойками суглинка</b>	<b>ИГЭ 3 суглинок полутвердой и тугопластичной консистенции</b>
Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	2,20	2,07	2,01
Влажность природная, %	8	17,1	17
Влажность на границе текучести $w_L$ , %	28,9	20	23
Число пластичности $I_p$	6,7	5	5
Показатель текучести $I_L$	<0	-	<0
Модуль деформации $E$ , МПа	27	8	16,7
Расчетное сопротивление $R_v$ , КПа	450	-	-
<b>Основные физико-механические характеристики</b>	<b>ИГЭ 4 Песчаники среднезернистые, при замачивании в воде неразмягчаемые</b>	<b>ИГЭ 4 Пески полимиктовые водонасыщенные</b>	<b>ИГЭ 4м Глины желтые полутвердые</b>
Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	2,67	-	1,44
Предел прочности на одноосное сжатие при природной влажности $R_c$ , МПа	12,5	-	10,6
Предел прочности на одноосное сжатие при замачивании влажности $R_{cv}$ , МПа	8,7	-	9,2
Модуль деформации $E$ , МПа	>40,0	24	7,7

По результатам лабораторных исследований суглинка четвертичного возраста, твердые и полутвердые. Прочностные характеристики определялись методом медленного консолидированного сдвига с предварительным уплотнением, а деформационные свойства - на компрессионных приборах одноосного сжатия.

Определение трехосного испытания грунтов проводилось с помощью стабилометра. Для построения графика результатов трехосного испытания четвертичного суглинка ИГЭ 2 (рис. 10) параметры вычислялись по формуле (1):

$$(\sigma_i) = f(\sigma); e_i = f(\sigma_i); e_v = f(\sigma), \quad (1)$$

где  $\sigma_i = (1/\sqrt{3})(\sigma_1 - \sigma_3)$  – интенсивность касательных напряжений;  $e_i = (2/\sqrt{3})(\varepsilon_1 - \varepsilon_3)$  – интенсивность деформации сдвига;  $\sigma = (1/\sqrt{3})(\sigma_1 - 2\sigma_3)$  – среднее эффективное напряжение;  $e_v = (2/\sqrt{3})(\varepsilon_1 - 2\varepsilon_3)$  – объемная деформация.

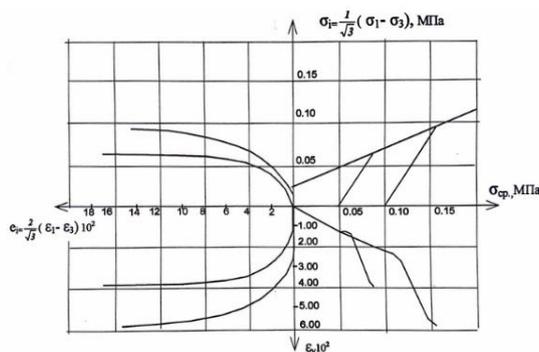


Рисунок 10. График трехосного испытания четвертичного суглинка

Для определения деформационных показателей в массиве грунтов проведена оценка сопротивления проникновению зонда в толщу пород. На рисунке 11 представлен график зависимости осадки от удельного давления  $S = f(p)$ .

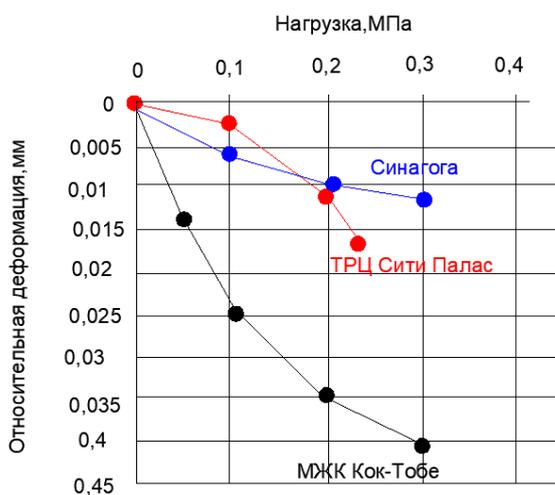


Рисунок 11. График зависимости осадки от удельного давления  $S = f(p)$

Из графика установлено: значения зависимости осадок от нагрузок были получены при помощи штамповых испытаний, а также прочностные характеристики суглинка полутвердого и тугопластичной консистенции, интервал нагрузок составлял от 0,1 до 0,3 МПа; в результате получены заниженные значения модуля деформации, которые соответствуют разуплотненному состоянию грунта и не отражает его свойства в природном

залегании. К слабопучинистым грунтам относятся суглинки, расположенные на территории здания Синагоги и торгово-развлекательного центра Сити-Палас. К среднепучинистым грунтам относятся суглинки, расположенные на территории многоквартирного жилого комплекса Кок-Тобе.

Модуль деформации определен по формуле (2):

$$E = k \cdot d(1 - \mu^2) \frac{\Delta p}{\Delta s}, \tag{2}$$

где  $k$  – безразмерный коэффициент, зависящий от материала штампа и его формы;  $d$  – диаметр штампа;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $\Delta p$  – приращение среднего давления по подошве штампа;  $\Delta s$  – приращение осадки штампа при изменении давления на  $\Delta p$ .

Процесс подтопления грунтов влияет на изменения значения модуля деформаций, который является основной прочностной характеристикой грунтов основания. Значение модуля деформации глинистых грунтов при естественной влажности находится в пределах 9-12 МПа, а в водонасыщенном состоянии 4-7 МПа.

Для определения предполагаемой осадки фундаментов за счет замачивания грунтов предложен метод расчета осадки фундаментов с учетом подтопления по двум характерным сценариям: Сценарий 1 – Здание возводится на частично обводненном основании; Сценарий 2 – Обводнение подверженных ранее уплотненным грунтам оснований существующих зданий.

Для объектов рассмотренных в данном исследовании наиболее оптимальный вариант определен – сценарий 2 (рисунок 12).

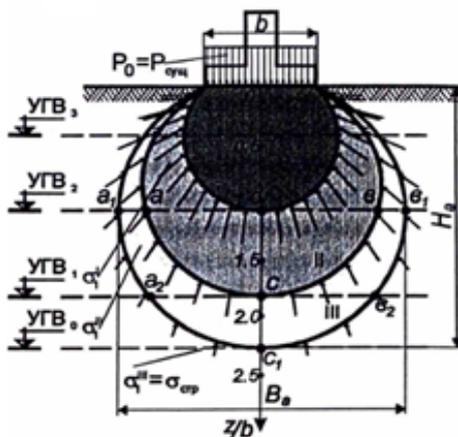


Рисунок 12. Расчет осадки фундамента, подверженного ранее уплотненным грунтам оснований

Расчет осадки фундамента проведен на основе следующих параметров:

$H_a$  – толщина сжимаемой зоны, величина осадки будет зависеть от положения уровня грунтовых вод (УГВ);

УГВ0 – находится на глубине  $Z = Z_1$  и не влияет на осадку фундамента;

УГВ1 – находится на глубине  $Z = Z_2$  и зона III подвержена обводнению (малонагруженная), в этой зоне уменьшается коэффициент пористости в соответствии с напряженным состоянием III ( $\Delta \sigma_1^{III}$ ).

УГВ2 находится на глубине  $Z = Z_3$  и подвержена значительная часть активной зоны основания; этом случае будет отвечать соответствующим напряженным состояниям ( $\Delta\sigma_1^{III}$ ) и  $\Delta\sigma_1^{II}$ ).

Вокруг свайных фундаментов образуется уплотненная зона, которая превышает минимальное расстояние между сваями и является наиболее надежным основанием для территорий подверженным частым подтоплениям.

Пористость ИГЭ 1 и 2 не значительно отличаются друг от друга по характеристикам и являются тугопластичные.

По деформационным свойствам грунтов верхние слои инженерно-геологических элементов обладают пониженной прочностью, имеют небольшую влажность и обладают незначительной сжимаемостью: под нагрузкой, увеличение влажности грунтов приведет к снижению сжатия сопротивления, возможному растворению цементационных связей бетона ослабления и потери прочности.

Современные техногенные грунты обладают пониженной деформационной прочностью могут использоваться в качестве естественных оснований.

Грунты пониженной минеральной плотности, суглинки, пески и супеси – обладают высоким водонасыщением.

Расхождение прогнозируемых и фактических осадок глинистых грунтов возникает в связи с тем, что произведен неправильный подбор расчетной модели грунтового основания, погрешностей приборов испытания грунтов. Испытание грунтов на трехосное сжатие позволяет определить прочностные и деформационные свойства грунтов при сложном напряженном состоянии и значительно уменьшают объем лабораторных опытов [8, 9].

Так как изученные объекты имеют свайные фундаменты наиболее надежным является использование методов штампового модуля деформации  $E$ , полученного в полевых условиях. Для расчета осадки фундаментов учитывались также размеры фундаментов (глубина заложения, размеры в плане), которые по сути можно рассматривать как штамп больших размеров.

Для этого рассмотрены результаты статического испытания грунтов сваями жилого комплекса «Изумрудный квартал», расположенном на левом берегу г. Астаны [10].

Данные исследования показали, что, значения модуля деформации были заложены в расчеты осадки основания и показали хорошую сходимость с замеренной осадкой фундаментов зданий. Предлагаемый метод определения модуля деформации позволяет наиболее точно спрогнозировать осадки фундаментов зданий и заслуживает дальнейших исследований.

Результаты испытания статистической нагрузки на сваях в слоях мягких и твердых или жестковатых глинах показали пригодность и надежность свайных фундаментов по технологиям DDS/FDP и являются наиболее подходящим вариантом для строительных площадок Казахстана и наглядно продемонстрировали свои преимущества [11, 12].

Дополнительные исследования при помощи геодезических измерений за горизонтальными перемещениями фундамента сооружения и результаты инструментального обследования подтвердили влияние грунтовых вод на устойчивость фундамента. Поверочные расчеты ввелись с учетом физико-механических свойств инженерно-геологических слоев. Поверочные расчеты позволили сделать вывод что, геотехнический анализ проведения сооружений в заявленных грунтовых условиях является достоверным.

#### 4. Выводы

Состояние территорий правобережья города Астаны является источником геотехнического риска в связи с природными факторами такими как: одновременного затопления паводковыми водами, циклическое изменение уровня грунтовых вод и изменение прочностных характеристик грунтов.

Застроенные территории зданий повышенной этажности оказывает наибольшее влияние их взаимное расположение, которое подтверждается расчетами напряженно-деформированного состояния.

Предложенные методы расчета осадков фундамента позволяют спрогнозировать дальнейшие изменения прочностных характеристик грунтов основания на устойчивости зданий и сооружений в целом. Зона распространения деформации определяется из условия равновесия. Осадка грунта определялась по величине деформации грунта в зоне наименьших уплотняющих напряжений. Напряженные грунты преимущественно обладают упругими деформациями, т.е. величина остаточных деформаций в объеме общей деформации незначительны и на практике ею можно пренебречь.

Активная застройка участков подверженных к подтоплению территорий значительно влияет на геологическую среду и предполагается изменения характера взаимосвязи режима колебания подземных вод, что приводит к опасным инженерно-геологическим процессам.

Несущая способность грунтов оценивалась по показателю модуля деформаций инженерно-геологических слоев.

По итогам исследования слои суглинка, супеси щебенистого грунта относятся к второй категории.

Вторая категория является приемлемой для строительства, относится к средней несущей способности и требует специальных инженерных мер защиты. Несущая способность по показателям модуля деформаций находится в пределах 0,2-0,3 МПа.

### Список литературы

1. Awwad T., Mussabayev T., Tulebekova A., Jumabayev A. Development of the computer program of calculation of concrete bored piles in soil ground of Astana city // GEOMATE Journal. – 2019. – Vol. 17(60). – P. 176-182. <https://doi.org/10.21660/2019.60.17339>.
2. Benin A., Gorodnova E. Geotechnical Analysis of Structural Behaviour Under Complex Geological Engineering Conditions // Procedia Engineering. – 2018. – Vol. 189. – P. 65-69. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.011>.
3. Zhussupbekov A., Alibekova N., Akhazhanov S., Sarsembayeva A. Development of a Unified Geotechnical Database and Data Processing on the Example of Nur-Sultan City // Applied Sciences. – 2021. – Vol. 11(1). – 306. <https://doi.org/10.3390/app11010306>.
4. Xia D., Zhao B., Liu D., Deng Y., Cheng H., Yan Y. Effect of soil moisture on soil disintegration characteristics of different weathering profiles of collapsing gully in the hilly granitic region, South China // Plos one. – 2018. – Vol. 13 (12). – e0209427. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209427>.
5. Sarah P. Soil aggregation response to long- and short-term differences in rainfall amount under arid and Mediterranean climate conditions // Geomorphology. – 2005. – Vol. 70. – P. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.03.007>.
6. Mussabayev T.T., Nuguzhinov Z.S., Nemova D., Kayupov T., Tolkyubaev T.A., Akmakanova A.Z., Khafizova G.S. Creep of concrete in shell structures: nonlinear theory // Materials. – 2023. Vol. 16(16). – 5587. <https://doi.org/10.3390/ma16165587>.
7. Жусупбеков А. Ж., Енкебаев С. Б., Лукпанов Р. Е., Тулебекова А. С. Расчет осадки свайных фундаментов высотных зданий в грунтовых условиях Астаны // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2012. – № 3. – С. 14-17. – EDN RXHSDB.
8. Утепов Е. С., Попов В. Н. Методика оценки сжимаемости грунтов застроенных территорий, подверженных техногенезу // Труды университета. – 2002. – № 4. – С. 50-52. – EDN NZGQPJ.
9. Попов В. Н. Геологическая среда и ее значение при планировании подземного строительства в г. Астане // Вестник «Зодчий 21 век». – 2012. – № 2. – С. 68-71.
10. Жусупбеков А. Ж., Енкебаев С. Б., Лукпанов Р. Е., Султанов Г. А., Бойко М. В. К расчёту осадки свайных фундаментов высотных зданий в грунтовых условиях Астаны // [Электронный ресурс] Репозиторий Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева – URL: <https://dspace.enu.kz> (дата обращения: 25.11.2023).

11. Issakulov A., Omarov A., Zhussupbekov A., Mussakhanova S., Issakulov, B. Investigation of the interaction of the bored micro pile by DDS (FDP) technology with the soil ground. // GEOMATE Journal. – 2023. – Vol. 24(105). P. 11–17.

12. Alibekova N., Abisheva A., Dosmukhambetova B., Saktaganova N., Abdikerova U., Budikova A. Use of GIS technologies for zoning urban areas taking into account engineering-geological conditions // GEOMATE Journal. – 2023. - Vol. 25(110), P. 167-175.

### Астана қаласының оң жағалауындағы құрылыс нысандары аумақтарының инженерлік-геологиялық жағдайлары

Т.Т. Мусабаяев<sup>1</sup>, Н.Ж. Жумадилова<sup>2</sup>, В.С. Портнов<sup>2</sup>, С.К. Мусина<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

<sup>2</sup>Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

<sup>3</sup>М.В. Ломоносов атындағы Мәскеу мемлекеттік университеті, Мәскеу, Ресей

**Аңдатпа:** Есіл өзенінің тасқын суларының Астана қаласының оң жағалауының іргелі бөлігін тасуы нәтижесінде туындайтын табиғи қауіп бүгінде елордалық құрылыс кешеніндегі өзекті мәселе болып отыр. Ғимараттар мен құрылыстардан түсетін жүктердің әсерінен геологиялық ортаның өзгеруіне байланысты су басу қауіпті мәселе. Суару кезінде геологиялық ортаның қасиеттерінің өзгеру сипаты уақыт бойынша геологиялық ортаның тұрақтылығына байланысты. Табиғи және техногендік әсерлердің әсерінен геологиялық орта геологиялық ортаның тұрақсыздығы кезеңіне өтеді. Құрылыс алаңдарының инженерлік-геологиялық жағдайларын зерттеу аумақтарды функционалды пайдалануды реттеуге мүмкіндік береді. Авторлар ғимараттар мен құрылыстарды жобалау кезінде іргетас шөгінділерінің кернеулік күйінің сенімді есептеулерін қолданудың геотехникалық әдістерін әзірледі, бұл құрылыс жобаларының қауіпсіздігі мен жұмысқа жарамдылығын қамтамасыз етуге мүмкіндік берді. Тік нығыздаушы кернеулер шекарасында адгезия мен үйкеліс күштерінің есебінен тепе-теңдік қамтамасыз етілетін біртекті топырақ үшін іргетастың шөгудің тиімді есебі ұсынылады. Алынған зерттеу нәтижелері ғимараттар мен құрылыстарды салу сатысында геотехникалық мәселелерді шешуде қолданылады.

**Түйін сөздер:** топырақтың су басуы, инженерлік-геологиялық жағдайлары, жүктеменің әсері, физикалық-механикалық қасиеттері.

### Engineering-geological conditions of the territories of construction sites on the right bank of the city of Astana

T. Mussabayev<sup>1</sup>, N. Zhumadilova<sup>2</sup>, V. Portnov<sup>2</sup>, S. Mussina<sup>3</sup>

<sup>1</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

<sup>2</sup>Abylqas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

<sup>3</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

**Abstract.** The natural hazard that arises as a result of flooding of the built-up right bank part of the city of Astana by flood waters of the Yesil River is today an urgent problem in the capital's construction complex. Flooding is a dangerous problem due to changes in the geological environment under the influence of loads from buildings and structures. The nature of changes in the properties of the geological environment during watering depends on the stability of the geological environment over time. Due to natural and man-made influences, the geological environment moves into the stage of instability of the geological environment. The study of engineering and geological conditions of construction sites will make it possible to regulate the functional use of territories. The authors have developed geotechnical methods for using reliable calculations of the stress state of foundation settlements in the design of buildings and structures, which made it possible to ensure the safety and serviceability of construction projects. An effective calculation of foundation settlement for homogeneous soil is proposed, in which equilibrium is ensured due to the forces of adhesion and friction at the boundary of vertical compacting stresses. The

obtained research results are applicable when solving geotechnical problems at the stage of construction of buildings and structures.

**Keywords:** soil flooding, engineering-geological conditions, load influence, physical and mechanical properties.

## References

1. Awwad T., Mussabayev T., Tulebekova A., Jumabayev A. Development of the computer program of calculation of concrete bored piles in soil ground of Astana city // GEOMATE Journal. – 2019. – Vol. 17(60). – P. 176-182. <https://doi.org/10.21660/2019.60.17339>.
2. Benin A., Gorodnova E. Geotechnical Analysis of Structural Behaviour Under Complex Geological Engineering Conditions // Procedia Engineering. – 2018. – Vol. 189. – P. 65-69. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.011>.
3. Zhussupbekov A, Alibekova N, Akhazhanov S, Sarsembayeva A. Development of a Unified Geotechnical Database and Data Processing on the Example of Nur-Sultan City // Applied Sciences. – 2021. – Vol. 11(1). – 306. <https://doi.org/10.3390/app11010306>.
4. Xia D, Zhao B, Liu D, Deng Y, Cheng H, Yan Y, et al. Effect of soil moisture on soil disintegration characteristics of different weathering profiles of collapsing gully in the hilly granitic region, South China // Plos one. – 2018. – Vol. 13 (12). – e0209427. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209427>.
5. Sarah P. Soil aggregation response to long- and short-term differences in rainfall amount under arid and Mediterranean climate conditions // Geomorphology. – 2005. – Vol. 70. – P. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.03.007>.
6. Mussabayev T.T., Nuguzhinov Z.S., Nemova D., Kayupov T., Tolkyndaev T.A., Akmakanova A.Z., Khafizova G.S. Creep of concrete in shell structures: nonlinear theory // Materials. – 2023. Vol. 16(16). – 5587. <https://doi.org/10.3390/ma16165587>.
7. Zhussupbekov A. Zh., Enkebaev S. B., Lukpanov R. E., Tulebekova A. S. Raschet osadki svajnykh fundamentov vysotnykh zdaniy v gruntovykh usloviyakh Astany [Calculation of settlement of pile foundations of high-rise buildings in soil conditions of Astana], Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov [Foundations, foundations and soil mechanics], 2012. № 3. P. 14-17. – EDN RXHSDB [in Russian].
8. Utenov E. S., Popov V. N. Metodika ocenki szhimaemosti gruntov zastroennykh territorij, podverzhennykh tekhnogenezu [Methodology for assessing the compressibility of soils in built-up areas subject to technogenesis], Trudy universiteta [Proceedings of the University], 2002. № 4. P. 50-52. – EDN NZGQPJ [in Russian].
9. Popov V. N. Geologicheskaya sreda i ee znachenie pri planirovanii podzemnogo stroitel'stva v g. Astane [Geological environment and its importance when planning underground construction in Astana], Vestnik «Zodchij 21 vek» [Bulletin "Architect 21st century"], 2012. № 2. C. 68-71. [in Russian].
10. Zhussupbekov A. Zh., Enkebaev S. B., Lukpanov R. E., Sultanov G. A., Bojko M. V. K raschetu osadki svajnykh fundamentov vysotnykh zdaniy v gruntovykh usloviyakh Astany [To calculate the settlement of pile foundations of high-rise buildings in the soil conditions of Astana], [Electronic resource] Repozitorij Evrazijskogo nacional'nogo universiteta imeni L.N. Gumileva [Repository of the Eurasian National University named after L.N. Gumilyov], URL: <https://dspace.enu.kz> (date of the application: 25.11.2023) [in Russian].
11. Issakulov A., Omarov A., Zhussupbekov A., Mussakhanova S., Issakulov, B. Investigation of the interaction of the bored micro pile by DDS (FDP) technology with the soil ground. // GEOMATE Journal. – 2023. – Vol. 24(105). P. 11–17.
12. Alibekova N., Abisheva A., Dosmukhambetova B., Saktaganova N., Abdikerova U., Budikova A. Use of GIS technologies for zoning urban areas taking into account engineering-geological conditions // GEOMATE Journal. – 2023. - Vol. 25(110), P. 167-175.

### Сведения об авторах:

**Мусабаев Т.Т.** – доктор технических наук, профессор, академик Национальной инженерной академии Республики Казахстан, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 11, Астана, Казахстан.

**Жумадилова Н.Ж.** – PhD докторант, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, пр. Нурсултана Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан.

**Портнов В.С.** – доктор технических наук, профессор, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, пр. Нурсултана Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан.

**Мусина С.К.** – аспирант, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, ул. Ленинские горы, 1, стр. 52, Москва, Россия.

**Мұсабаев Т.Т.** – техника ғылымдарының докторы, профессор, Қазақстан Республикасы Ұлттық инженерлік академияның академигі, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Қажымұқан к-сі, 11, Астана, Қазақстан.

**Жумадилова Н.Ж.** – PhD докторанты, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Нұрсұлтан Назарбаев даң-лы, 56, Қарағанды, Қазақстан.

**Портнов В.С.** – техника ғылымдарының докторы, профессор, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Нұрсұлтан Назарбаев даң-лы, 56, Қарағанды, Қазақстан.

**Мұсина С.К.** – аспирант, М.В. Ломоносов атындағы Мәскеу мемлекеттік университеті, Ленин таулары к-сі, 1, 52-бет, Мәскеу, Ресей.

**Mussabayev T.** – doctor of technical sciences, professor, academician of the National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhimukan st., 11, Astana, Kazakhstan.

**Zhumadilova N.** – PhD student, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, 56 Nursultan Nazarbayev ave., Karaganda, Kazakhstan.

**Portnov V.** – doctor of technical sciences, professor, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, 56 Nursultan Nazarbayev ave., Karaganda, Kazakhstan.

**Mussina S.** – PhD student, Lomonosov Moscow State University, bld. 52, 1 Leninskiye gory st., Moscow, Russia.