

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

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, 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

## Методика прогнозирования осадок подтопляемых фундаментов электропечей Аксуского завода ферросплавов

**Аннотация.** Авторами предложена новая методика прогнозирования осадков подтопляемых фундаментов после их возведения. Разработанная методика позволяет определить требуемую мощность не замоченного грунта в несущем слое основания, а также выбрать оптимальную глубину водопонижения. Данная методика прогнозирования предоставляет возможность вносить изменения в значения компрессионного модуля деформации грунта и переводных коэффициентов для получения более точных значений штампового модуля.

Основная тематика исследования связана с комплексным анализом оснований и фундаментов электропечей № 61 и 63 в плавильном цехе Аксуского завода ферросплавов. В ходе работы были проведены инженерно-геологические и гидрогеологические изыскания, геофизические исследования, а также анализ технического состояния уже существующих фундаментов. На комплексных научно-технических исследованиях разработана новая расчетная модель, которая позволяет предсказать осадки зданий, учитывая многолетнее водонасыщение грунтов в основании. Кроме того, проведена оценка надежности существующих фундаментов электропечей № 61 и 63 и возможности их последующей реконструкции в контексте предстоящей реновации.

Таким образом, данное исследование и разработанная новая методика анализа осадок подтопляемых фундаментов и оценки их надежности вносит важный вклад в геотехническое проектирование. Результаты данной работы могут быть применены для оптимизации проектирования и реновации зданий и сооружений на основе более точного учета воздействия грунтовых вод на основания.

**Ключевые слова:** водонасыщенные грунты, неводонасыщенные грунты, подтопление, водопонижение, фундамент, прогнозирование осадки, компрессионные испытания.

DOI: [doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-143-153](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-143-153)

### 1. Введение

Современное геотехническое проектирование зданий и сооружений требует всестороннего и точного подхода к расчету осадок, особенно в условиях подтопляемых грунтовых оснований. Этот этап проектирования оказывает важное влияние на надежность

и долговечность строительных конструкций, включая фундаменты, что приобретает особенную актуальность в условиях ухудшения экологической обстановки.

Геотехническое проектирование основания включает в себя корректировку размера и глубины основания до тех пор, пока оно не будет соответствовать как несущей способности, так и критериям осадки. Среди этих двух критериев критерий осадки обычно определяет проектирование неводонасыщенных оснований. Как теория несущей способности, так и теория анализа осадок, используемые на практике, основаны на предположении, что грунт либо сухой, либо полностью водонасыщенный. Таким образом, водонасыщенность поверхностного слоя почвы в зоне влияния неводонасыщенного грунта значительно меняется из-за гидрологических явлений (сильных осадков и/или наводнений).

В последние годы многими исследователями для геотехнического проектирования предложено методы расчета несущей способности и осадки, основанные на принципах механики неводонасыщенных грунтов [1, 2]. Также предложен новый метод, который учитывает исторические данные об осадках и уровне грунтовых вод на конкретном участке при проектировании на неводонасыщенных грунтах. Данное исследование показало, что отдельное мероприятие водопонижения увеличило предельную несущую способность основания почти на 230% от несущей способности по сравнению с состоянием полного водонасыщения. Кроме того, упругая осадка различных оснований была снижена примерно до 87% и 40% от осадки, учитывая условия полной водонасыщенности [3]. В результате этих исследований был сделан вывод о том, что анализ несущей способности и осадок возможно улучшить, а стоимость строительства – снизить при проектировании неводонасыщенного основания при условии учета гидрологических параметров конкретного участка и использования механики неводонасыщенных грунтов [4, 5].

Для точного расчета осадок и обеспечения безопасности строений как в процессе строительства, так и для уже существующих сооружений, очень важно иметь точные данные размеров местных участков водонасыщенного грунта в активной зоне фундамента и области неоднородных участков основания. Эти данные необходимы для определения способности грунта выдерживать нагрузки и для принятия соответствующих мер для устранения проблем, связанных с деформацией грунта [6, 11]. Сложные геотехнические задачи могут ограничивать применение существующих методов теории линейно-деформируемых тел [7]. Данная теория предполагает, что грунт ведет себя как идеализированное изотропное твердое тело, что в реальности не всегда адекватно описывает фактическое состояние грунта. Это ограничение может привести к значительным погрешностям, допускаемым при расчете осадок практически во всех случаях.

Исследования, проведенные Утеновым Е.С. и его коллегами, показывают перспективу применения теории линейно-деформируемых тел для расчета напряжений в реальных грунтах. В работах отечественных ученых представлен метод расчета осадок фундаментов надстраиваемых зданий с использованием безмодульного подхода [8, 9]. В других работах [10, 11] рассмотрен вопрос использования модуля деформации грунта при геотехническом проектировании. Исследования показали, что несмотря на ограничения теории линейно-деформируемых тел, ее применение при расчете напряжений в реальных грунтах дает удовлетворительные результаты с точностью около 20%. Это подтверждает перспективность использования данного метода при решении сложных геотехнических задач при градостроительном планировании [12].

## 2. Методы

Аксуский завод ферросплавов расположен на левом берегу реки Иртыш территории Павлодарской области, на расстоянии 20 километров на юго-запад от города Павлодар и 2,5 километра на север от города Аксу. В структуре промышленной инфраструктуры города имеются два ведущих предприятия: Аксуский завод ферросплавов и электрическая станция АО «ЕЭК». Завод связан с другими городами, такими как Астана, Павлодар, Экибастуз и Семипалатинск через асфальтированные и железнодорожные пути.

Аксуский завод ферросплавов является ключевым предприятием в области черной металлургии, специализирующимся на производстве высокоуглеродистых феррохромовых, марганцевых и кремнистых сплавов. Особый акцент сделан на плавильный корпус цеха №6, где осуществляется производство высокоуглеродистого феррохрома. Завод представляет собой двухпролетное промышленное здание сложной формы в плане, обладающее габаритными размерами «1-24, А-Б» в размере 276 на 24 метра и «1-20, Б-В» в размере 228 на 24 метра. Важно отметить также присутствие деформационного шва в осях «21, А-Б». К зданию плавильного корпуса примыкают газоочистные сооружения в осях «1-4, А». Жесткость данной конструкции обеспечивается взаимодействием фундаментов, элементов металлического каркаса, вертикальных и горизонтальных связей жесткости, а также плит покрытия и перекрытия.

Проведенные инженерно-геологические исследования выявили, что несущим основанием под фундаменты электропечей №61 и №63 являются глины. Толщина этих глин варьирует от 3,2 метра до 26,7 метров с приблизительным давлением набухания 3,0 кгс/см<sup>2</sup> при относительном набухании 0,005. Толщина неогеновых глин аральской свиты, вскрытая в ходе исследований, классифицируется как сильно набухающая, и согласно СП РК 1.02-102-2014, участок изысканий относится к III категории сложности инженерно-геологических условий.

По полевому описанию глины зеленовато-серые, светло-серые, темно серые с включением гипса, плотные, обладающий следующими характеристиками:  $\gamma = 18,1$  кН/м<sup>3</sup>,  $\gamma_s = 25,2$  кН/м<sup>3</sup>;  $\gamma_d = 13,9$  кН/м<sup>3</sup>;  $\varphi_{II} = 70$ ;  $c_{II} = 10,8$  кПа;  $E_0 = 10$  МПа;  $S_r = 0,95$ ;  $e = 0,816$ . Подробное описание перечисленных параметров приведено в таблице 1.

Таблица 1. Описание параметров характеристики грунта

Обозначение параметра	Наименование параметра	Описание параметра
$\gamma$	Удельный вес грунта	Вес единицы объема грунта в его естественном состоянии
$\gamma_s$	Удельный вес твердых частиц	Мера массы твердых частиц грунта на единицу их объема
$\gamma_d$	Удельный вес сухого грунта	Мера массы сухой части грунта на единицу его объема
$\varphi_{II}$	Угол внутреннего трения	Мера сопротивления грунта к сдвиговым напряжениям
$c_{II}$	Удельное сцепление грунта	Мера сопротивления межчастичного скольжения в грунте
$E_0$	Модуль упругости	Соотношение между сжимающим напряжением грунта и относительной обратимой деформацией, которую оно вызывает
$S_r$	Степень водонасыщения	Отношение объема воды в грунте к его полному объему
$e$	Коэффициент пористости	Отношение объема порового пространства в грунте к его общему объему

Фундамент Ф0-37 электропечи РКЗ-63-И1 №61 выполнен из монолитного железобетона и имеет форму диска с диаметром 12.00 м. Его глубина заложения составляет 3.0 м от уровня чистого пола первого этажа плавильного цеха №6. Следующий фундамент Ф0-1 электропечи РКЗ-63-И1 №63. Он также выполнен в форме диска, но имеет диаметр 14.26 м с прямоугольными выступами. Глубина заложения этого фундамента составляет -2.30 м от уровня чистого пола первого этажа плавильного цеха №6.

Анализ инженерно-геологических выработок и результатов лабораторных испытаний грунтов позволил определить геологическое строение участка на глубину 8,0-30,0 м. От верхнего слоя к нижнему присутствуют следующие образования: сначала четвертичные отложения, представленные песками крупными и песками гравелистыми, затем неогеновые глины павлодарской свиты. Эти образования покрываются слоем насыпных грунтов.

Для проведения контрольных расчетов осадок грунтов основания фундаментов были использованы требования действующих строительных норм, в частности СП РК 5.01-102-2013 Основания зданий и сооружений.

**Расчет осадок существующего фундаментов печей №61 и №63 Аксуцкого завода ферросплавов с учетом подтопления грунтов основания в эксплуатационный период безмодульным методом**

Проектирование и прогнозирование осадки фундамента при подтоплении предварительно уплотненных грунтов основания является сложной задачей в геотехнической практике. Подтопление предварительно уплотненных грунтов фундамента может привести к возникновению дополнительных осадок, которые необходимо учитывать при проектировании. Эти осадки могут быть вызваны изменением гидрологических условий а также повышением уровня грунтовых вод в окружающей области. Для прогнозирования осадки фундамента при подтоплении предварительно уплотненных грунтов используются различные методы и модели. Важно проводить детальное исследование геотехнических свойств грунтов и прогнозировать их поведение под воздействием влаги. Для решения этой задачи мы можем использовать определенные допущения, которые помогут приблизительно оценить данное явление. Согласно этим допущениям предполагаем, что «вызванные длительным воздействием нагрузок осадки основания имеют стабильный характер с неоднородно уплотняемыми грунтами в пределах сжимаемой зоны в соответствии с их напряженным состоянием. Поэтому дополнительная осадка существующего фундамента в процессе подтопления его основания происходит по аналогии с явлением просадки, вызванной ослаблением структуры грунтов в процессе их замачивания».

Для определения осадки безмодульным методом используется следующая формула:

$$S = \frac{1}{A_{\phi}} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} \left[ V_{iz} \cdot \left( 1 - \frac{1+e_2^{iz}}{1+e_1} \right) \right], \quad (1)$$

где  $i$  и  $n$  – номер и количество выделенных уплотняемых зон основания;  $A_{\phi}$  – площадь подошвы фундамента;  $V_{iz}$  – объем  $i$  – ой уплотняемой зоны основания;  $e_1$  – коэффициент пористости грунта природного сложения;  $e_2^{iz}$  – коэффициент пористости грунта, уплотненного под действием сжимающего напряжения  $\Delta\sigma_1^{i3}$ , возникающего в  $i$  – ой зоне от внешней нагрузки.

Для расчета осадок фундаментов с разными формами подошвы, такими как круг, квадрат и прямоугольник, применяется безмодульный метод. Этот метод позволяет учесть особенности грунта и геометрии фундамента при расчете осадок, не требуя информации о модуле упругости грунта.

В случае, если основание фундамента подвергается подтоплению до начала строительства, можно упростить расчет ожидаемой осадки для проектируемого фундамента, исходя из заданных условий (см. рисунок 1а):

$$S = (S_n + S_{sat.new}) \leq S_u, \quad (2)$$

где  $S_n$  – находящаяся выше уровня грунтового водного зеркала (УГВ) и состоящая из грунтов естественной влажности и плотности осадка не замоченной части активной зоны основания;  $S_{sat.new}$  – находящаяся ниже уровня грунтового водного зеркала (УГВ) и включающаяся подверженные подтоплению водонасыщенные грунты естественного состояния осадка ослабленной части активной зоны основания;  $S_u$  – нормативная предельно допустимая величина осадки фундамента [1, 2, 3]. Осадки  $S_n$  и  $S_{sat.new}$  находятся формулой безмодульного метода расчета осадок [9, 10] путем учета измененных значений коэффициента пористости грунта  $e$  по компрессионным кривым 1 и 2 (рис. 2), отражающим законы сжатия грунта в различных физических и напряженных состояниях в пределах соответствующих зон I, II, III активной области основания (рис. 1б).

Рассмотрим алгоритм расчета осадок проектируемого фундамента включает учет различных положений уровня грунтовых вод относительно глубины сжимаемой зоны фундамента  $H_a$  (рис. 1).

Положение 1 ( $WL_0$ ) соответствует нахождению УГВ на глубине  $\bar{z} = \bar{z}_1$  относительно отметки подошвы фундамента; при этом величина поднятия уровня грунтовых вод равно нулю  $h_{GW0} = 0$ , а уровень грунтовых вод достигает нижней границы сжимаемой зоны основания. В данном случае основание является незатопленным и состоит из грунта с естественной влажностью и осадку фундамента следует определять исходя из этого. Для этого используется компрессионная кривая 1, которая позволяет оценить степень сжатия грунта и соответствующую осадку фундамента. При расчете следует учесть величину нагрузки на фундамент и характеристики грунта (рис. 2).

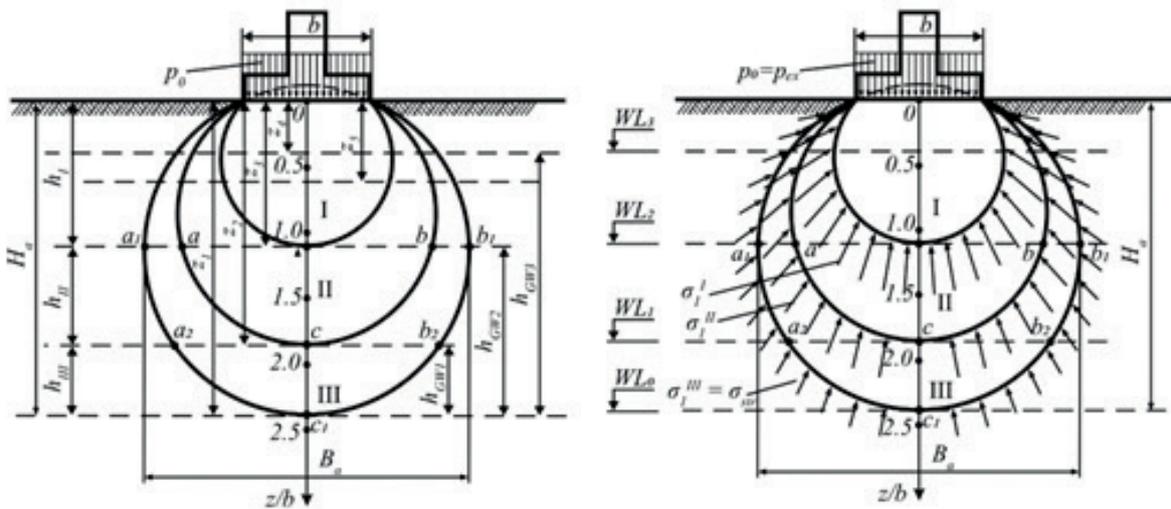
Положение 2 ( $WL_1$ ) при  $\bar{z} = \bar{z}_2$  соответствует случаю, если основание частично подтоплено, то уровень грунтовых вод будет подниматься и достигнет значения, равного разнице между поднятием УГВ и нижней границей сжимаемой зоны основания. Это означает, что вода проникает в глубину, где происходит сжатие грунтов, и создается определенное давление на основание. Величина поднятия УГВ является важным фактором при проектировании и оценке стабильности основания:

$$h_{GW1} = [H_a - (h_I + h_{II})], \quad (3)$$

где  $H_a$  – фактическая глубина сжимаемой зоны основания;  $h_I$  и  $h_{II}$  – мощности зон I и II по оси  $0 \bar{z}/b$ . В этом положении УГВ подтоплению подвергается только слой грунта в самой мало загруженной зоне III основания как видно из рис. 1а. Поэтому с учетом уменьшенного значения коэффициента пористости  $e$  по кривой 2 (рис. 2) в соответствии с напряженным состоянием грунта в зоне III (при  $\Delta\sigma_1^{III}$ ) для определения  $S_{sat.new}$  в расчет вводится величина изменения (уменьшения) объема сжимаемой зоны основания в его участке  $a_2c_1b_2$

Когда обводнению подвержена значительная часть сжимаемой области основания, состоящая из нескольких зон (III и II), отличающихся напряженным состоянием, положение 3 ( $WL_2$ ) при  $\bar{z} = \bar{z}_3$  показывает более общий случай подтопления. В этом случае следует учитывать изменения объемов зон III и II в участках основания  $a_1aca_2, bb_1b_2c, a_2c_1b_2$  и  $abc$  путем введения в расчет измененных значений коэффициента пористости  $e$  по кривой 2 (рис. 2) в соответствии с напряженным состоянием грунта в зонах III и II (при  $\Delta\sigma_1^{III}$  и  $\Delta\sigma_1^{II}$ ) для определения  $S_{sat.new}$ .

Изменение уровня грунтовых вод может иметь значительное влияние на осадку фундамента, поскольку наиболее нагруженные участки основания часто подвергаются подтоплению. Вода проникает в эти участки и может вызвать изменение свойств грунта, что может привести к дополнительным оседаниям фундамента. Поэтому при рассмотрении влияния УГВ на осадку фундамента необходимо учитывать особенности подтопления и распределение нагрузки на основание, Положение 4 ( $WL_{03}$ ) характеризуется значением  $\bar{z} = \bar{z}_4$ . Необходимо учитывать изменения объемов грунтов зон I, II и III в пределах водонасыщенного слоя  $h_{GW3}$  для определения осадки  $S_{sat.new}$  ослабленной части основания, подверженной обводнению.



а) для случая 1 - Подтопление основания возводимого фундамента

б) для случая 2 – Подтопление основания существующего фундамента

Рисунок 1. Расчетные схемы

### 3. Результаты и обсуждение

Получены соответствующие значения снижения коэффициента пористости грунта  $\Delta e_{sl}^I = 0,024$ ;  $\Delta e_{sl}^{II} = 0,018$ ;  $\Delta e_{sl}^{III} = 0,012$  в результате моделирования поведения существующего фундамента при подтоплении его основания путем проведения трех параллельных компрессионных опытов уплотненными образцами грунта, подвергнутыми уплотнению под нагрузками  $\Delta \sigma_1^I$ ,  $\Delta \sigma_1^{II}$  и  $\Delta \sigma_1^{III}$  и подвергнутыми замачиванию под этими же нагрузками (рис. 2).

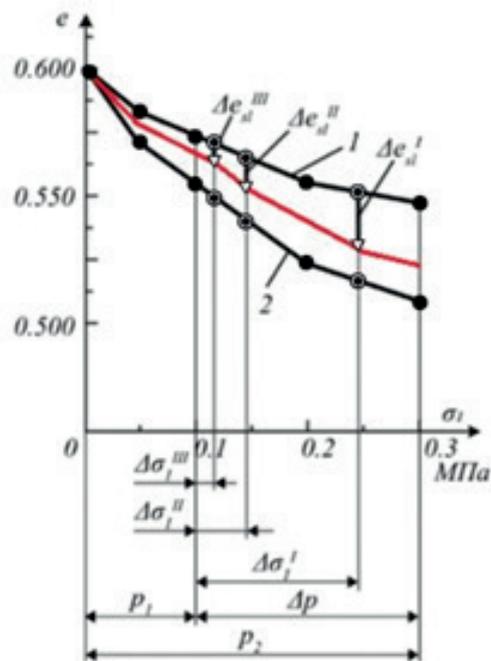


Рисунок 2. Компрессионные кривые грунта основания фундамента: 1 и 2 – опытные кривые сжатия грунта с естественной влажностью и в водонасыщенном состоянии; ● – опытные точки; ○ – точки на опытных кривых, используемые при расчете осадок по безмодульному методу; ▽ – предполагаемые опытные точки, получаемые в результате замачивания длительно уплотненных грунтов основания существующего фундамента.

Дополнительные осадки фундамента существующего здания, учитывая уровень плотности грунта и последующее подтопление, проявились значительным образом: для положения 2 ( $WL_1$ )  $S_{sat.new} = 1,40$  см; для положения 3 ( $WL_2$ )  $S_{sat.new} = 4,6$  см; для положения 4 ( $WL_3$ )  $S_{sat.new} = 7,5$  см.

Предложенный метод прогнозирования развития дополнительных осадок при подтоплении оснований существующих зданий является более точным и надежным по сравнению с рекомендациями строительных норм. Этот метод позволяет определить допустимую величину повышения уровня грунтовых вод и выбрать оптимальную глубину водопонижения.

Данная методика отличается от стандартных рекомендаций тем, что она учитывает более реалистичные условия и изменения в свойствах грунтов в процессе подтопления. Благодаря использованию безмодульного подхода и учету коэффициента пористости грунта в различных состояниях, данная методика позволяет получить более точные результаты при прогнозировании дополнительных осадок. Таким образом, она способствует более точному определению допустимых параметров водопонижения и глубины подтопления, что может оказать существенное влияние на безопасность и надежность фундаментов существующих зданий.

#### 4. Выводы

Исследования инженерно-геологических характеристик на местности позволяют утверждать, что на площадке наблюдается неоднородное повышение уровня грунтовых вод. Это свидетельствует о долговременном воздействии влаги на грунты основания, включая набухающую глину, что, в свою очередь, часто является источником деформаций фундамента и, как следствие, ухудшает его надежность и стабильность в процессе

эксплуатации. Дополнительно, годичное периодическое подтопление площади (от минимальной отметки 127,30 до максимальной 128,00) приводит к существенным изменениям характеристик сжимаемости (модуля деформации  $E_0$ ) и прочности ( $c, \varphi$ ) грунтов в различных слоях основания. Эти изменения обычно связаны с значительным снижением данных параметров, часто в два и более раза. Важно отметить, что эти изменения имеют неоднородный характер как в пределах площади фундамента, так и вдоль его глубины.

В данном случае, наличие сложных геологических условий, особенно при ограниченной дренируемости грунтов, может создать неблагоприятные условия для надежности фундаментов. В таких ситуациях разрыв между процессом фильтрации влаги и процессом уплотнения грунта (сужение пор) может создать избыточное давление в поровой воде, что в итоге может привести к нестабильному состоянию фундамента или к существенным пластическим деформациям грунтов.

Циклический характер подтопления грунтов основания имеет неблагоприятное воздействие на развитие осадок фундамента; это приводит к неравномерности развития осадок, как показывают результаты анализа:

при использовании метода послойного суммирования для фундаментов электропечей, осадка увеличивается под воздействием грунтовых вод: 5,85 см < 6,84 см;

при расчете безмодульным методом с учетом факторов уплотненности грунтов и последующего подтопления дополнительные осадки фундамента составляют: 1,40 см < 4,6 см < 7,5 см. Эти данные показывают реальные осадки фундаментов, вызванные подтоплением грунтов основания, а также изменениями сжимаемости грунтов, зависящими от уровня обводнения или высыхания.

### Список литературы

1. Vanapalli S.K., Mohamed F.M. Bearing Capacity of Model Footings in Unsaturated Soils // Experimental Unsaturated Soil Mechanics. – 2007. – Vol. 112. – P. 483-493.
2. Kim Y., Jeong S. and Kim J. Coupled Infiltration Model of Unsaturated Porous Media for Steady Rainfall // Soils and Foundations. – 2016 – Vol. 56. – P. 1071-1081.
3. Mahmoudabadi V., Ravichandran N. Design of Shallow Footing Considering Site-Specific Rainfall and Water Table Data: Theoretical Framework and Application // International Journal of Geomechanics. – 2019. – Vol. 19 (7). doi:10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0001432.
4. СП РК 5.01-102-2013 Основания зданий и сооружений. [Электронный ресурс] – URL: <https://new-shop.ksm.kz/egfntd/ntdgo/kds/6.php> (дата обращения: 09.09.2023).
5. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. [Электронный ресурс] – URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs> (дата обращения: 09.09.2023).
6. Utenov Y.S. Calculating bulding base settling in conditions of urban built-over territories. // Proceedings of Korea-Kazakhstan joint geotechnical seminar. – Incheon, Korea, August 21-22, 2012. – P. 157-162.
7. Утепов Е.С. Расчет оснований реконструируемых зданий. – Караганда: Изд-во КарГТУ. – 2013. – 237 с.
8. Утепов Е.С., Жусупбеков А.Ж., Абдрахманова К.А., Танырбергенова Г.К., Мухамеджанова А.Т. Расчет осадок фундаментов надстраиваемых зданий безмодульным методом // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2019. – № 4. – С. 8-13.
9. Nuguzhinov Zh.S., Mukhamejanova A.T., Tokanov D., Koishybay Zh., Zhumadilova N.Zh., Beketova M.S. Comprehensive study of the basses and foundations of furnaces No. 61, 63 of the melting shop No. 6 of the Aksu Ferroalloy Plant in connection with the renovation // Smart Geotechnics for Smart Societies. CRC Press. – 2023. – P. 1309-1313.
10. Utenov Y.S., Abildin S.K., A.T. Mukhamedzhanova A.T. Concerning the use of soil deformation modulus in geotechnical design // Proceedings of the international on geotechnics fundamentals and applications in construction: new materials, structures, technologies and calculations (GFAC 2019). – Saint Petersburg, Russia, 6-8 February, 2019. – P. 451-457.

11. Утенов Е.С. Расчет оснований зданий в условиях застроенных городских территорий. – Караганда: Изд-во КарГТУ. – 2004. – 248 с.

12. Мусабаев Т.Т. Межгосударственные схемы регионального развития как инструмент планирования приграничных территорий // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2023. – № 2(63). – С. 57-61. doi:10.55341/PTRBS.2023.63.2.005.

### Ақсу ферроқорытпа зауытындағы электр пештерінің су басқан іргетасының шөгуді болжау әдістемесі

Т.Т.Мусабаев<sup>1</sup>, Н.Ж. Жумадилова<sup>2\*</sup>, А.Т. Мухамеджанова<sup>1</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:** Авторлар су басқан іргетастар салынғаннан кейін олардың жауын-шашынын болжаудың жаңа әдісін ұсынды. Өзірленген әдіс негіздің жүк көтергіш қабатында суланбаған топырақтың қажетті қуатын анықтауға, сондай-ақ суды төмендетудің оңтайлы тереңдігін таңдауға мүмкіндік береді. Бұл болжау әдістемесі штамптау Модулінің дәлірек мәндерін алу үшін топырақтың деформациясының қысу Модулінің және аударым коэффициенттерінің мәндеріне өзгерістер енгізуге мүмкіндік береді.

Зерттеудің негізгі тақырыбы Ақсу ферроқорытпа зауытының балқыту цехындағы № 61 және № 63 электр пештерінің негіздері мен іргетастарын кешенді талдаумен байланысты. Жұмыс барысында Инженерлік-геологиялық және гидрогеологиялық зерттеулер, геофизикалық зерттеулер, сондай-ақ бұрыннан бар Іргетастардың техникалық жай-күйіне талдау жүргізілді. Кешенді ғылыми-техникалық зерттеулерде базадағы топырақтың көпжылдық су қанықтылығын ескере отырып, ғимараттардың жауын-шашынын болжауға мүмкіндік беретін жаңа есептеу моделі жасалды. Бұдан басқа, № 61 және 63 электр пештерінің қолданыстағы іргетастарының сенімділігіне және оларды алдағы жөндеу контекстінде кейіннен қайта құру мүмкіндігіне бағалау жүргізілді.

Осылайша, бұл зерттеу және су басқан Іргетастардың шөгінділерін талдаудың және олардың сенімділігін бағалаудың жаңа әдістемесі геотехникалық жобалауға маңызды үлес қосады. Бұл жұмыстың нәтижелері жер асты суларының негіздерге әсерін дәлірек есепке алу негізінде ғимараттар мен құрылыстарды жобалау мен жөндеуді оңтайландыру үшін қолданылуы мүмкін.

**Түйін сөздер:** сумен қаныққан топырақтар, сумен қанықпаған топырақтар, су басу, судың төмендеуі, іргетас, болжау жауын-шашын, қысу сынақтары.

### Methodology for predicting settlement of waterlogged foundations of electric furnace foundations at Aksu Ferroalloy Plant

T. Mussabayev<sup>1</sup>, N. Zhumadilova<sup>2\*</sup>, A. Mukhamedzhanova<sup>1</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 authors proposed a new method for predicting precipitation of flooded foundations after their construction. The developed technique makes it possible to determine the required capacity of the non-soaked soil in the bearing layer of the base, as well as to choose the optimal depth of water reduction. This forecasting technique provides an opportunity to make changes to the values of the compression modulus of soil deformation and conversion coefficients to obtain more accurate values of the stamp module.

The main research topic is related to the complex analysis of the bases and foundations of electric furnaces No. 61 and 63 in the melting shop of the Aksu ferroalloy plant. In the course of the work, engineering-geological and hydrogeological surveys, geophysical studies, as well as an analysis of the technical condition

of existing foundations were carried out. Based on comprehensive scientific and technical research, a new calculation model has been developed that allows you to predict the precipitation of buildings, taking into account the long-term water saturation of soils in the base. In addition, the reliability of the existing foundations of electric furnaces No. 61 and 63 and the possibility of their subsequent reconstruction in the context of the upcoming renovation were assessed.

Thus, this study and the developed new methodology for analyzing the sediment of flooded foundations and assessing their reliability makes an important contribution to geotechnical design. The results of this work can be applied to optimize the design and renovation of buildings and structures based on more accurate consideration of the impact of groundwater on the foundations.

**Keywords:** water-saturated soils, non-water-saturated soils, flooding, water reduction, foundation, precipitation forecasting, compression tests.

## References

1. Vanapalli S.K., Mohamed F.M. Bearing Capacity of Model Footings in Unsaturated Soils // *Experimental Unsaturated Soil Mechanics*. – 2007. – Vol. 112. – P. 483-493.
2. Kim Y., Jeong S. and Kim J. Coupled Infiltration Model of Unsaturated Porous Media for Steady Rainfall // *Soils and Foundations*. – 2016 – Vol. 56. – P. 1071-1081.
3. Mahmoudabadi V., Ravichandran N. Design of Shallow Footing Considering Site-Specific Rainfall and Water Table Data: Theoretical Framework and Application // *International Journal of Geomechanics*. – 2019. – Vol. 19 (7). doi:10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0001432.
4. SP RK 5.01-102-2013 Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy [Foundations of buildings and structures]. – URL: <https://new-shop.ksm.kz/egfntd/ntdgo/kds/6.php> (Accessed: 09.09.2023) [in Russian].
5. SP 22.13330.2016 Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy [Foundations of buildings and structures]. – URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs> (Accessed: 09.09.2023) [in Russian].
6. Utenov Y. Calculating bulding base settling in conditions of urban built-over territories. *Proceedings of Korea-Kazakhstan joint geotechnical seminar*. Incheon, Korea, August 21-22, 2012. P. 157-162.
7. Utenov Y.S. Raschet osnovaniy rekonstruiruyemykh zdaniy [Calculation of the foundations of reconstructed buildings] (KSTU, Karaganda, 2013, 237 p.) [in Russian].
8. Utenov Y., Zhusupbekov A., Abdrakhmanova K., Tanyrbergenova G., Mukhamedzhanova A. Raschet osadok fundamentov nadstraivayemykh zdaniy bezmodul'nym metodom [Calculation of foundation settlements of built-on buildings using a modular method], *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov* [Foundations, foundations and soil mechanics], 2019.– № 4. P. 8-13 [in Russian].
9. Nuguzhinov Zh.S., Mukhamejanova A.T., Tokanov D., Koishybay Zh., Zhumadilova N.Zh., Beketova M.S. Comprehensive study of the bassetes and foundations of furnaces No. 61, 63 of the melting shop No. 6 of the Aksu Ferroalloy Plant in connection with the renovation // *Smart Geotechnics for Smart Societies*. CRC Press. – 2023. – P. 1309-1313.
10. Utenov Y., Abildin S., Mukhamedzhanova A. Concerning the use of soil deformation modulus in geotechnical design // *Proceedings of the international on geotechnics fundamentals and applications in construction: new materials, structures, technologies and calculations (GFAC 2019)*. Saint Petersburg, Russia, 6-8 February, 2019, P. 451-457.
11. Utenov Y. Raschet osnovaniy zdaniy v usloviyakh zastroyennykh gorodskikh territoriy [Calculation of building foundations in built-up urban areas] (KSTU, Karaganda, 2004, 248 p.) [in Russian].
12. Mussabayev T. Mezhgosudarstvennyye skhemy regional'nogo razvitiya kak instrument planirovaniya prigranichnykh territoriy [Interstate regional development schemes as a tool for planning border areas], *Prirodnyye i tekhnogennyye riski. Bezopasnost' sooruzheniy* [Natural and man-made risks. Safety of structures], 2023. № 2(63). P. 57-61. doi:10.55341/PTRBS.2023.63.2.005 [in Russian].

### Сведения об авторах:

*Мусабаев Т.Т.* – доктор технических наук, профессор, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 11, Астана, Казахстан.

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

*Мухамеджанова А.Т.* – PhD, старший преподаватель, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Астана, Казахстан.

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

*Мұсабаев Т.Т.* – техника ғылымдарының докторы, профессор, 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 дан-лы, 56, Қарағанды, Қазақстан.

*Мұхамеджанова Ә.Т.* – PhD, аға оқытушы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Қажымұқан к-сі, 11, Астана, 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, 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.

*Mukhamedzhanova A.* – PhD, senior lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhimukan st., 11, Astana, Kazakhstan.

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