

Некоторые модели потери устойчивости оснований фундаментов и прогрессирующего обрушения многоэтажных зданий

¹ОЛЕЙНИК Александр Иванович, д.т.н., доцент, aoleinik@mail.ru,

¹АХМЕДОВ Камандар Масим-Оглы, к.т.н., старший преподаватель, kamandar1960@mail.ru,

¹ШАМОВ Владимир Васильевич, к.т.н., доцент, shamov62@mail.ru,

¹*ГРАБОВЕЦ Татьяна Николаевна, преподаватель, kutukova84@mail.ru,

¹Рудненский индустриальный институт, Казахстан, Рудный, ул. 50 лет Октября, 38,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Целью данной работы являются исследования вопросов устойчивости многоэтажных зданий и сооружений, расположенных на слабых грунтах. Рассматриваются различные кинематические модели потери устойчивости грунтового основания и развития прогрессирующих разрушений. В анализе потери устойчивости приняты линейно упругие модели здания и основания. Численно исследуются проблемы потери устойчивости и обрушения высотных зданий, расположенных на слабых грунтах. Задача решается в нелинейной постановке с использованием билинейной модели грунтового основания. С позиций строительной механики критическое состояние системы «грунтовое основание – сооружение» рассматривается как безразличное состояние. Обсуждаются причины, создающие предпосылки развития различных механизмов деформирования и мероприятия, которые могут предупредить возникновение аварийных ситуаций.

Ключевые слова: устойчивость грунтовых оснований, многоэтажные здания, деформации, обрушения, структурно неустойчивые породы, разрушения зданий, увлажнение, глинистые породы, исследования, механизм, потеря устойчивости.

Введение

Неувязка стойкости грунтовых оснований определяется количеством откосов и склонов, особенно в случае пластичных пород. В случае если для откосов и склонов в технологии горных дел расчеты на стабильность ведутся в обязательном порядке, то в строительной практике нередко данный вопрос в общем упускают из вида. Проявления неустойчивости причин имеют все шансы быть очень внезапными и происходят в том числе при недоступности склонов откосов и выработок.

Строительство высотных домов в развивающихся административных и промышленных центрах содержат высочайшие темпы, впрочем, в погоне за снижением себестоимости и уменьшением сроков постройки строительства не всякий раз изучаются условия в которых строятся здания и сооружения. Нередко здания строятся на площадках с малоизученными инженерно-геологическими критериями, на подрабатываемых землях или на грунтах, содержащих всевозможные разнородности в облике пустот, линз и пластических отклонений, качество коих изменяются при конфигурациях температурных и влажностных режимов [1, 2], – это имеет возможность послужить толчком к потере стойкости. Не считая тако-

го, источником издержки стойкости может быть промышленная сейсмика, вызванная взрывными работами в горнодобывающих ареалах.

В причинах падения зданий нередко можно пронаблюдать неуравновешенные, которые в предельном состоянии ведут себя как безупречно пластичные материалы [3]. При достижении критичных напряжений в данных слоях развиваются лишние пластические деструкции, не укладываемые в рамки движений, получаемых традиционными способами определения осадок и просадок зданий и сооружений. Случается, утрата стойкости причины, которая вызывает утрату стойкости самого строения или же сооружения в целом. С подобными задачами сталкиваются в г. Костанай при строительстве домов на некрепких грунтах – в районах с высочайшим уровнем грунтовых вод (строительство жилых домов в регионе Юбилейный г. Костаная).

Материал и методы анализа

При рассмотрении стойкости домов целенаправленно всеобщее обсуждение строения и причины в единственной модели с учетом взаимовлияния всевозможных сопутствующих моментов. Эта постановка задач и ее направление считается

весьма целесообразной.

В механике грунтов, как правило, вопрос о стойкости строения в целом не изучается, и при расчете учитываются только осадки и просадки самих оснований. Подобный однобокий расклад приводит к аварийным обстановкам (рисунки 1,2). Возможно привести бесчисленные примеры ужасающих разрушений домов, в коих очевидно выслеживается воздействие издержки стойкости причин. К примеру, в Китае 29.06.2009 (г. Шанхай) обрушился строящийся цельный 13-этажный дом (рисунок 1), находившийся в стадии выполнения отделочных работ. По мнению экспертизы,

катастрофа могла случиться в итоге постройки подземного гаража и воздействия проливных дождей, которые подмыли базу. Не считая такого, помещение строилось на не внушающем доверие глинистом грунте вблизи речки. Аналогичное падение высотного строения случилось в жилом ансамбле «Бесоба» г. Караганды (04.2012г.) (рисунок 2). Падению и абсолютному разрушению строения предшествовало резкое нарастание наклона за счет сезонного увлажнения.

Отметим, собственно, что сущность трудности не в качестве стройматериалов, применяемых при строительстве, или же промахах технологии



Рисунок 1 – Падение многоэтажного здания в Китае (Шанхай, 06.2009г.)



Рисунок 2 – Обрушение здания новостройки в Караганде (04.2012г.)

построения, как это, как правило, рассматривается в решениях экспертизы, а в потере стойкости причины, взаимодействующей с поддерживаемой системой строения. Это тем более очевидно просматривается на рисунке 1, где рухнувшее цельное помещение всецело сохранило единство. Анализ приведенных примеров показывает, что в обоих случаях увлажнение послужило пусковым механизмом для потери устойчивости основания, повлекшее потерю устойчивости здания в целом. Это еще раз подчеркивает необходимость учета взаимовлияния сооружения и основания при оценке устойчивости зданий на слабых грунтах. Следует отметить, что при существенном увлажнении глинистые породы, а также линзообразные включения песка ведут себя как идеально пластичные материалы. Основное влияние увлажнения сказывается на снижении модуля упругости грунта. Это можно учесть в рамках упругой постановки решаемой задачи. В таком случае решение задачи должно быть выполнено в нелинейной постановке с учетом преобладающего влияния сдвиговых деформаций в грунтах, что хорошо описывается моделью Кулона [4, 5].

На практике возможно влияние на устойчивость других факторов, таких как нелинейное изменение модуля упругости по толщине слоя основания [3], морозное пучение и неравномерное оттаивание пород и связанное с этим появление термоупругих деформаций. Для уточнения расчетной модели целесообразно проведение углубленных экспериментов и численных расчетов [2].

В данном случае ограничимся рассмотрением исследованием многоэтажного монолитного здания, расположенного на линейно-упругом многослойном основании, с различными модулями упругости. Учитывая протяженные размеры здания, поставленную задачу будем рассматривать в плоской постановке. В научной литературе, с использованием известного решения Прандтля [4, 5] в сочетании с широко используемым в механике разрушения принципом «отвердения», обычно рассматривается приближенная жест-

ко-пластичная модель системы здание-основание (рисунок 3). Анализ приведенных на рисунке 3 линий скольжения служит основой для исследования различных случаев потери устойчивости основания [4, 5]. В соответствии с теоретическими и экспериментальными данными в основании фундамента образуется жесткое треугольное ядро; а линии скольжения описываются аналитическим выражением логарифмической спирали.

Рассмотрим возможные механизмы потери устойчивости комплексной системы здание-основание и определим пути решения поставленной задачи.

Результаты и их обсуждение

Механизм потери устойчивости I

Классический метод решения поставленной задачи, который хорошо отражен в специальной литературе [4-6], связан с исследованием выпора грунта и потерей по линии скольжения I (рисунок 3). В этом случае линии скольжения целесообразно аппроксимировать цилиндрической поверхностью, а при рассмотрении плоской задачи – аппроксимировать окружностью радиуса R с центром O . При определении положения центра O и радиуса окружности R область грунта в основании разбивается на элементарные вертикальные призмы, которые не давят друг на друга и смещаются по линии скольжения I [4, 5].

Пример определения положения центра O , значения радиуса R и соответствующей линии скольжения для жесткого фундамента многоэтажного здания шириной 12 м приведен на рисунке 4.

В критической ситуации, соответствующей потере устойчивости грунтового основания, вдоль линии скольжения G-N действуют только касательные напряжения, равные коэффициенту сцепления в модели Кулона. Вертикальное давление от веса сооружения и собственного веса элементарных призм компенсируется вертикальным отпором основания по линии G-N. Критическая нагрузка P_I и соответствующий ей коэффициент

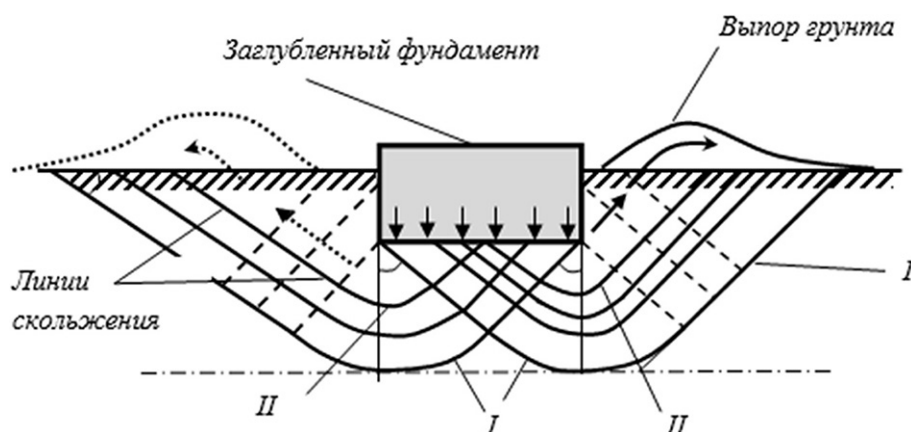


Рисунок 3 – Возможные линии скольжения в основании (модель Прандтля)

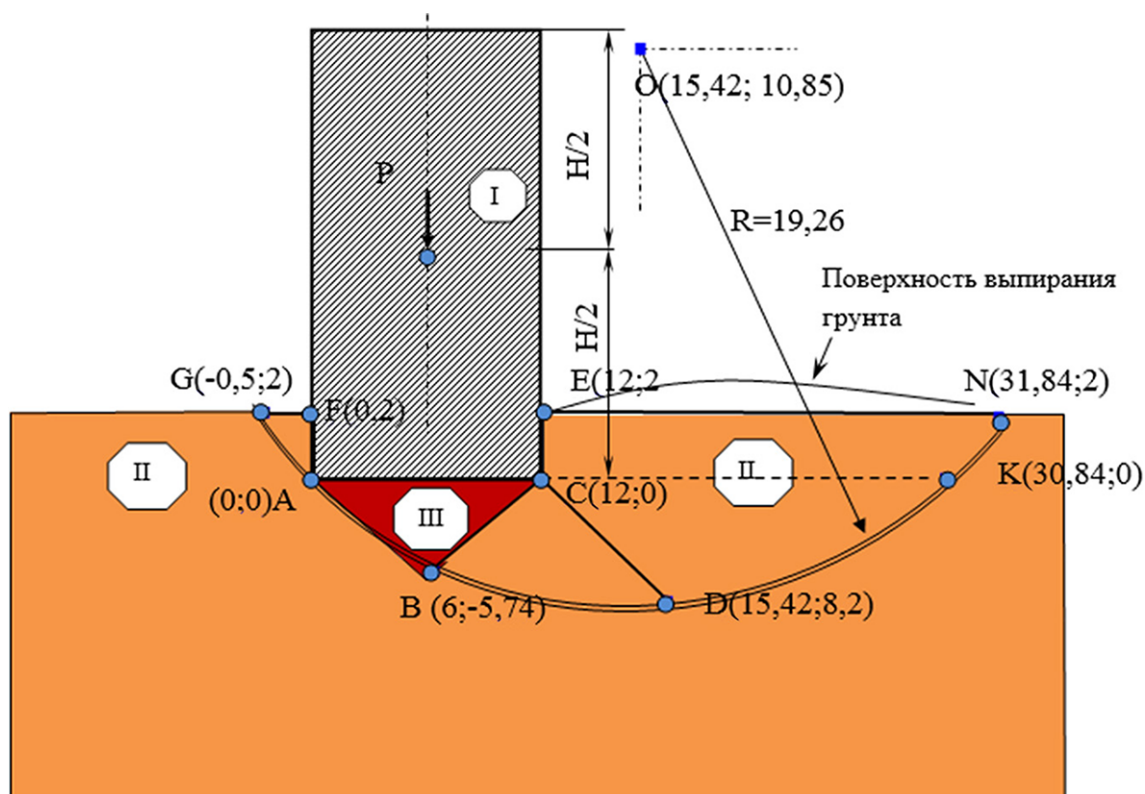


Рисунок 4 – Механизм потери устойчивости I со скольжением по кругло-цилиндрической поверхности радиуса R вокруг центра O

запаса на устойчивость в данной ситуации определяются известными методами строительной механики из уравнения суммы моментов внешней нагрузки и касательных напряжений относительно центра O .

Следует отметить, что при симметричных условиях коэффициент запаса на устойчивость достаточный, однако предпосылкой или пусковым механизмом потери устойчивости по этой форме может служить наличие часто встречающихся на практике различных косо-симметричных нагрузок на здание. К числу последних можно отнести, например, ветровую нагрузку, горизонтальную сейсмическую нагрузку (включая промышленную сейсмику), неравномерную осадку или просадку стен и вызванный этим перекося здания.

Механизм потери устойчивости II

Потеря устойчивости по окружности скольжения II с радиусом, равным половине ширины фундамента, приводится на рисунке 5.

Механизм II (рисунок 5) соответствует локальной потере устойчивости грунтового основания под одной из сторон здания. В этом случае вокруг центра вращения O_1 будет действовать внешний момент от здания, создаваемый силой, равной половине равнодействующей P с таким же плечом, как и в схеме I. При определении внутренних напряжений по линии $ABCD$ вместо b следует положить $b/2$.

Приравнявая работу внешних и внутренних сил для возможного отклоненного состоя-

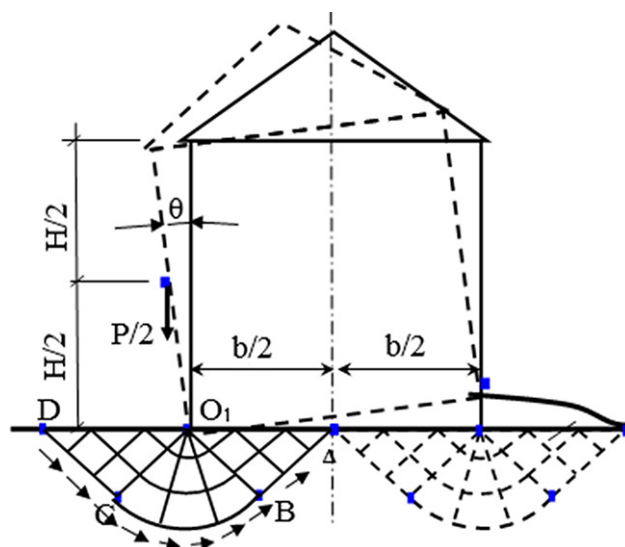


Рисунок 5 – Механизм II потери устойчивости системы «сооружение-основание»

ния, получим величину критической нагрузки P_{II} и соответствующий коэффициент запаса на устойчивость.

В работе [1] проводилось сравнение схем I, II для условий г. Караганды. Было показано, что наиболее вероятный механизм для данных условий осуществляется по схеме II.

Еще одной причиной потери устойчивости основания является возникновение несимметричных характеристик грунта в основании, вызванное

постепенным движением фронта увлажнения и, соответственно, разупрочнением и структурными изменениями в основании.

При движении фронта увлажнения (замачивания) предполагается, что грунты становятся водонасыщенными, а величина модуля деформации грунта снижается. При подходе границы фронта увлажнения к краю фундамента (фронт приближается к правому краю фундамента (рисунок 6), грунтовое основание под фундаментом сохраняет свои упругие характеристики практически в неизменном состоянии; при этом жесткое треугольное ядро в основании не разрушается. Коэффициент запаса на устойчивость меняется незначительно. Численные расчеты, выполненные для конечно-элементной модели, показывают, что при перемещении границы фронта замачивания от правого края фундамента к левому коэффициент запаса на устойчивость модели снижается в три раза. Затем, при движении фронта увлажнения за пределами левой границы фундамента снова наблюдается стабильное значение коэффициента запаса на устойчивость.

Остановимся на критической, на наш взгляд, ситуации, когда фронт разупрочнения занимает положение посредине фундамента (рисунок 6). Потеря устойчивости в этой ситуации порождается очевидной асимметрией физических свойств грунтов в основании фундамента.

В этом случае, когда основание проявляет выраженные жестко-пластичные свойства, возможны механизмы *III, IV* потери устойчивости, показанные на рисунке 6.

Механизмы потери устойчивости III, IV

III – Потеря устойчивости и поворот фундамента вместе со зданием вокруг угловой точки А (рисунок 6), расположенной в верхней граничной точке фронта разупрочнения;

IV – Механизм сползания призмы ABC по по-

верхности скольжения и поворот здания вместе с фундаментом в противоположную сторону.

Наиболее вероятной в этом случае является реализация механизма IV, учитывая относительно слабое сопротивление грунтов сдвигу. Этот случай потери устойчивости почти эквивалентен механизму I.

Механизм потери устойчивости V

Рисунок 7 иллюстрирует механизм поворота вокруг точки A_1 . Такая ситуация возникает, когда фронт увлажнения приближается к левой границе фундамента. Следует отметить, что критические нагрузки P_{III} , P_{IV} , P_V могут быть определены только численными методами.

Выводы

При одинаковых допущениях на основании результатов численных исследований можно определить, какая из схем имеет наименьший коэффициент запаса на устойчивость. Эта схема будет иметь максимальную степень вероятности потери устойчивости и наиболее реализуема. В основном речь идет о возможном начале и развитии процесса обрушения, если мы рассматриваем упругую постановку. Расчеты показывают, что при сниженных значениях модуля упругости основания, что может быть вызвано, например, замачиванием грунтов или их деконсолидацией в период оттаивания, основание и расположенные на нем сооружения становятся существенно неустойчивыми. Таким образом, имеем очень незначительный резерв по устойчивости конструкции.

Выявление наиболее опасного механизма обрушения позволяет разработать соответствующий вариант усиления основания и предупреждения обрушения здания:

- Расширение фундамента с образованием фундаментной плиты шире самого здания. Это приводит к распределению нагрузки от здания по

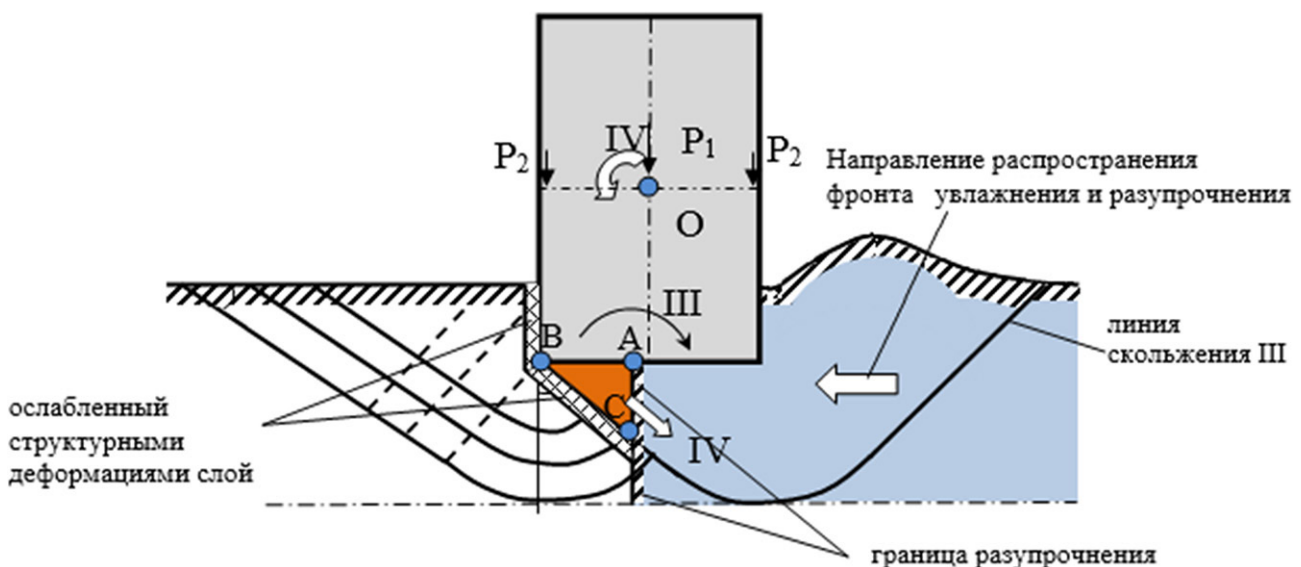


Рисунок 6 – Механизмы потери устойчивости III, IV

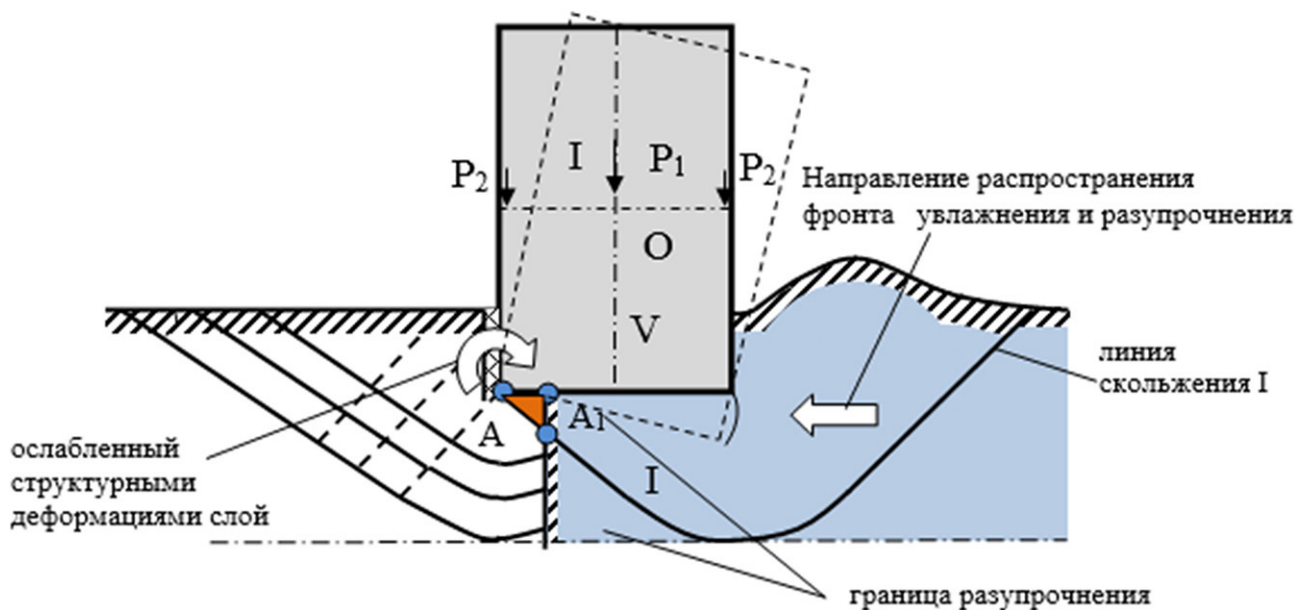


Рисунок 7 – Механизм потери устойчивости V с поворотом фундамента и здания вокруг центра A

значительно большей поверхности, предупреждает преждевременное срезание клиновидной области ABC с обрушением здания.

- Использование различных способов структурирования и уплотнения грунта [4,5].

- Применение сооружений, препятствующих распространению фронта замачивания (стены в грунте и дренажные системы), укрепление оснований химическими добавками [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Олейник, А.И., Ахмедов, К.М., Рахимов, З.Р. Об оценке устойчивости системы «Сооружение – основание» / А.И. Олейник, К.М. Ахмедов, Рахимов З.Р. // Сборник докладов МНК «Инновации в науке, образовании и производстве Казахстана», ЕТУ. – Алматы, 2015. – С. 212-218.
2. Ахмедов, К.М. Поля распределения температуры в грунтовых основаниях / К.М. Ахмедов // Топорковские чтения. – 2008. – Вып. VIII. – С. 378-384.
3. Шашкин А.Г. Вязко-упруго-пластическая модель поведения глинистого грунта / А.Г.Шашкин // Развитие городов и геотехническое строительство. – 2011. – Вып. № 2. – С. 15-25.
4. Долматов Б.И. Основания и фундаменты. – М.: АСВ, 2002. – 392 с.
5. Шамов, В.В. Технология устройства ленточных фундаментов в вытрамбованных котлованах / В.В. Шамов // Топорковские чтения. – 2008. – Вып. VIII. – С. 493-498.
6. Шашкин А.Г. Моделирование работы массива слабых глинистых грунтов. – Основания, фундаменты и механика грунтов. М., 2011, № 4. С. 10-16.
7. <http://softoroom.net/topic58457.html>
8. http://piter.tv/event/Zhiloi_dom_ruhnul_na_glaz/
9. <https://krisha.kz/content/news/2020/v-almatinskom-mkr-zerdeli-ukreplyayut-tri-doma>
10. Александров, А.В., Потапов В.Д., Зылев В.Б. Строительная механика. – М.: Высшая школа, 2008. – 384 с.

Іргетас негіздерінің тұрақтылығын жоғалтудың және көп қабатты ғимараттардың прогрессивті құлауының кейбір модельдері

¹ОЛЕЙНИК Александр Иванович, т.ғ.д., доцент, aoleinik@mail.ru,

¹АХМЕДОВ Камандар Масим-Оғлы, т.ғ.к., аға оқытушы, kamandar1960@mail.ru,

¹ШАМОВ Владимир Васильевич, т.ғ.к., доцент, shamov62@mail.ru,

¹*ГРАБОВЕЦ Татьяна Николаевна, оқытушы, kutukova84@mail.ru,

¹Рудный индустриалдық институты, Қазақстан, Рудный, Қазанға 50 жыл көшесі, 38,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Жұмыстың мақсаты – әлсіз топырақта орналасқан көп қабатты ғимараттар мен құрылыстардың тұрақтылығы мәселелерін зерттеу. Топырақ негізінің тұрақтылығын жоғалтудың және прогрессивті

бұзылулардың дамуының әртүрлі кинематикалық модельдері қарастырылады. Тұрақтылықты жоғалтуды талдауда ғимарат пен базаның сызықтық серпімді модельдері қабылданады. Әлсіз топырақтарда орналасқан биік ғимараттардың тұрақтылығын жоғалту және құлау проблемалары сандық түрде зерттелуде. Мәселе топырақ негізінің билиналық моделін қолдана отырып, сызықты емес қойылымда шешіледі. Құрылыс механикасы тұрғысынан «топырақ негізі – құрылыс» жүйесінің сыни жағдайы немқұрайлы жағдай ретінде қарастырылады. Деформацияның әртүрлі тетіктерін дамытудың алғышарттарын жасайтын себептер және төтенше жағдайлардың пайда болуына жол бермейтін шаралар талқыланады.

Кілт сөздер: топырақ негіздерінің тұрақтылығы, көп қабатты ғимараттар, деформациялар, құлау, құрылымдық тұрақсыз жыныстар, ғимараттардың бұзылуы, ылғалдану, сазды жыныстар, зерттеулер, механизм, тұрақтылықтың жоғалуы.

Some Models of Loss of Stability of Foundations and Progressive Collapse of Multi-storey Buildings

¹**OLEINIK Alexander**, Dr. of Tech. Sci., Docent, aoleinik@mail.ru,

¹**AKHMEDOV Kamandar**, Cand. of Tech. Sci., Senior Lecturer, kamandar1960@mail.ru,

¹**SHAMOV Vladimir**, Cand. of Tech. Sci., Docent, shamov62@mail.ru,

^{1*}**GRABOVETS Tatiana**, teacher, kutukova84@mail.ru,

¹Rudny Industrial Institute, Kazakhstan, Rudny, 50 years of October Street, 38,

*corresponding author.

Abstract. The purpose of this work is to study the issues of stability of multi-storey buildings and structures located on weak soils. Various kinematic models of the loss of stability of the soil base and the development of progressive destruction are considered. In the analysis of the loss of stability, linear elastic models of the building and the foundation are adopted. The problems of loss of stability and collapse of high-rise buildings located on weak soils are numerically investigated. The problem is solved in a nonlinear formulation using a bilinear model of the soil base. From the standpoint of structural mechanics, the critical state of the «ground foundation – structure» system is considered as an indifferent state. The reasons that create prerequisites for the development of various deformation mechanisms and measures that can prevent the occurrence of emergency situations are discussed.

Keywords: stability of soil foundations, multi-storey buildings, deformations, collapses, structurally unstable rocks, destruction of buildings, humidification, clay rocks, research, mechanism, loss of stability.

REFERENCES

1. Oleynik, A.I., Akhmedov, K.M., Rakhimov, Z.R. On the assessment of the stability of the «Construction – foundation» system / A.I. Oleynik, K.M. Akhmedov, Rakhimov Z.R. // Collection of reports of the MNC «Innovations in science, education and production of Kazakhstan», ETU. – Almaty, 2015. – pp. 212-218.
2. Akhmedov, K.M. Temperature distribution fields in soil bases / K.M. Akhmedov // Toporkov readings. – 2008. – issue VIII. – pp. 378-384.
3. Shashkin A.G. Visco-elastic-plastic model of clay soil behavior / A.G. Shashkin // Urban development and geotechnical construction. – 2011. – Issue No. 2. – pp. 15-25.
4. Dolmatov B.I. Foundations and foundations. – Moscow: DIA, 2002. – 392 p.
5. Shamov, V.V. Technology of the device of tape foundations in rammed pits / V.V. Shamov // Toporkov readings. – 2008. – issue VIII. – pp. 493-498.
6. Shashkin A.G. Modeling of the work of an array of weak clay soils. – Foundations, foundations and soil mechanics. Moscow, 2011, no. 4. pp. 10-16.
7. <http://softoroom.net/topic58457.html>
8. http://piter.tv/event/Zhiloj_dom_ruhnul_na_glaz/
9. <https://krisha.kz/content/news/2020/v-almatinskom-mkr-zerdeli-ukreplyayut-tri-doma>
10. Alexandrov, A.V., Potapov V.D., Zylev V.B. Construction mechanics. – Moscow: Higher School, 2008. – 384 p.