



## Особенности расчета и усиления оснований фундаментов здания распределительного центра в условиях слабых грунтов

*В.В. Подтелков, А.В. Прокопенко, Д.С. Зеленков, М.А. Пишдаток*

*Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар*

**Аннотация:** Грузооборот современных распределительных центров сетевых операторов достигает сотен тысяч тонн в год. Технологическая нагрузка на полы в складской части здания составляет 8-10 т/м<sup>2</sup> (80-100 кПа), на перекрытия – до 2,4 т/м<sup>2</sup> (24 кПа). Указанные нагрузки передают через фундаменты каркаса на грунт значительное давление, которое при больших размерах подошвы и взаимном влиянии увеличивает нижнюю границу сжимаемой толщи и, как следствие, осадку конструкций. При наличии в основании слабых грунтов, осадки достигают предельных значений. Положение усугубляется высоким уровнем грунтовых вод, что также увеличивает осадку фундаментов. В статье приведены и проанализированы варианты решения проблемы путем усиления основания уплотнением верхнего слоя и цементацией его на различную глубину в зависимости от давления и конструкции фундамента.

**Ключевые слова:** усиление основания, ресайклинг, допустимая расчётная осадка, расчётное сопротивление грунта.

Современные распределительные центры (РЦ) сетевых операторов представляют собой огромные здания складного типа с большим количеством персонала. Грузооборот таких РЦ достигает сотен тысяч тонн в год [1, 2]. При этом технологическая нагрузка на полы 1-го этажа имеет порядок 8-10 т/м<sup>2</sup> (80-100 кПа), а на перекрытия 2-3 этажей – до 2,4 т/м<sup>2</sup> (24 кПа). В итоге указанные нагрузки передают посредством несущих конструкций и фундаментов довольно существенное давление на грунт. Площадь подошвы фундаментов в таких случаях имеет, как правило, большие значения. Число работающих, обеспечивающих производственный процесс приемки – сортировки – формирования отправочной партии – отгрузки, может составлять до тысячи человек и более [3]. Для их размещения требуются многоэтажные административно-бытовые корпуса (АБК).

Нагрузки на полы и перекрытия АБК, конечно, ниже, чем в производственных помещениях, но, с учетом этажности, давление на



грунтовое основание под подошвой фундаментов от вышележащих этажей также достигает существенных значений.

Если в грунтовом основании имеются включения слабых инженерно-геологических элементов (ИГЭ), то перечисленные выше факторы в совокупности могут представлять проблему с точки зрения превышения расчетного давления на основание и предельных абсолютных и относительных осадок фундаментов [4, 5].

Рассмотрим расчетные значения сопротивления грунтов и осадок фундаментов на примере объекта: «Универсальный склад продовольственных и непродовольственных товаров, расположенный в г. Благовещенске, Республика Башкортостан». Согласно расчетам, данные показатели имеют критические величины давления под подошвой фундаментов и осадки [6].

В соответствии с отчетом об инженерно-геологических изысканиях, нормативная глубина промерзания принята:  $d_{fn} = 2$  м. Расчетная глубина промерзания  $d_f = 0,8 \times 2 = 1,6$  м.

Конструктивная схема комплекса универсального склада имеет три характерные технологические зоны с разными нагрузками на основание:

- 1) зона основного склада с полезными нагрузками на полы 80-100 кПа;
- 2) зона 3-этажной антресоли с нагрузками на перекрытия до 24 кПа;
- 3) зона 3-этажного АБК с полезными нагрузками на полы 3-4 кПа.

Ниже приведены расчёты осадок и расчётного сопротивления грунтов основания фундаментов по указанным зонам.

### **1. Расчетное сопротивление грунта и осадка фундаментных лент под колоннами основного склада.**

Фундаментные ленты под колоннами основного склада опираются на грунты ИГЭ-2. Расчёт выполнен на расчётное сочетание нагрузок РСН2.

---

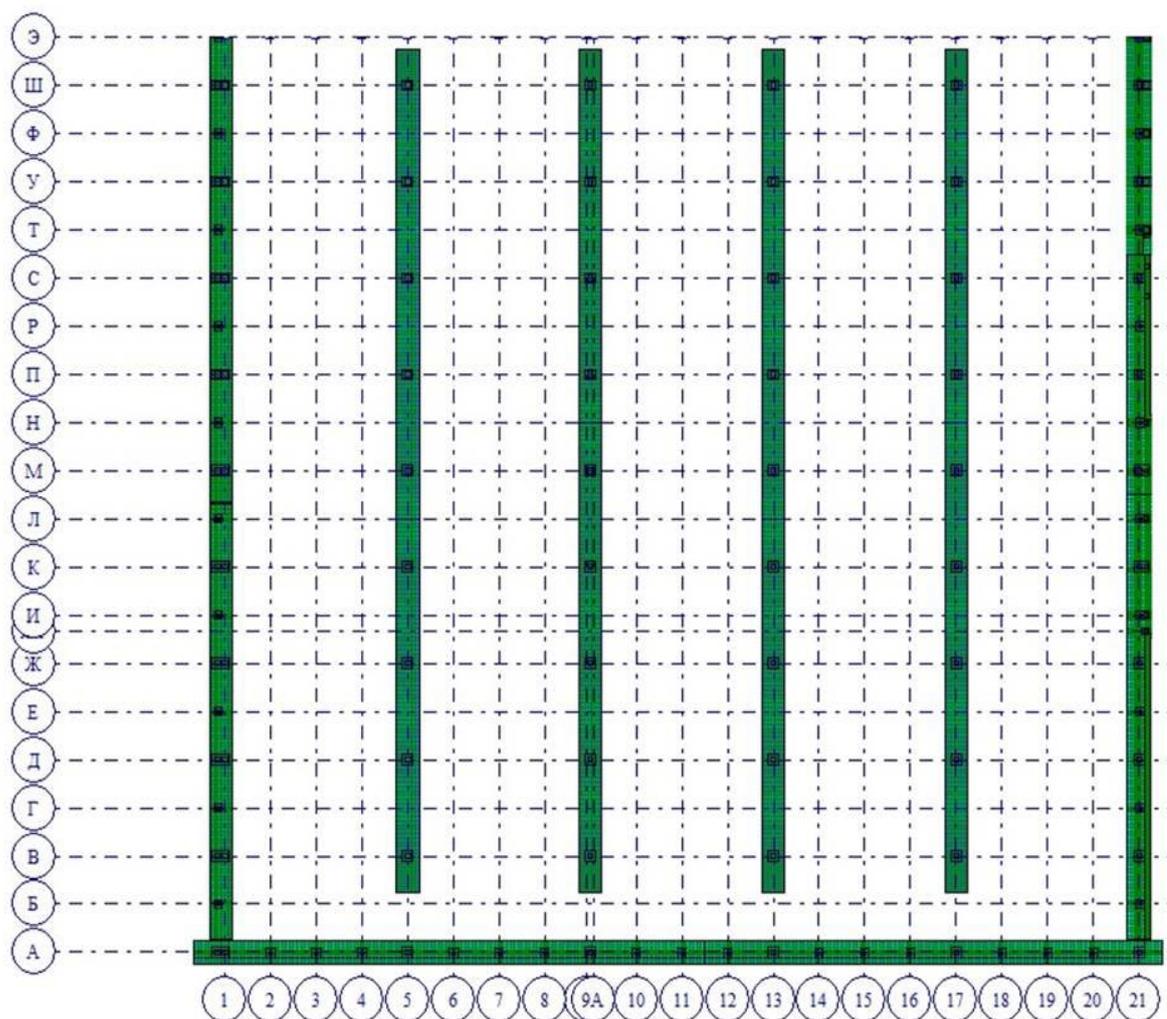


Рис. 1. – Картина давления фундаментных лент основного склада на основание от РСН2 (колонны склада)

Ширина лент - 3 м. Давление, передаваемое на основание в наиболее нагруженном месте, равно 180 кПа (рис. 1), что превышает расчетное сопротивление  $R=132,2$  кПа [7]. Устройство подушки толщиной 1 м под лентами с характеристиками, как у ИГЭ-3, позволит увеличить расчетное сопротивление до  $R=185$  кПа. Осадка ленты в этом случае составит 53,67 мм, что меньше предельного значения 150 мм.

## 2. Расчетное сопротивление грунта и осадка фундамента 3-этажной антресоли

Расчет выполнен на РСН2. Фундаменты под колонны размером  $10 \times 10$  м

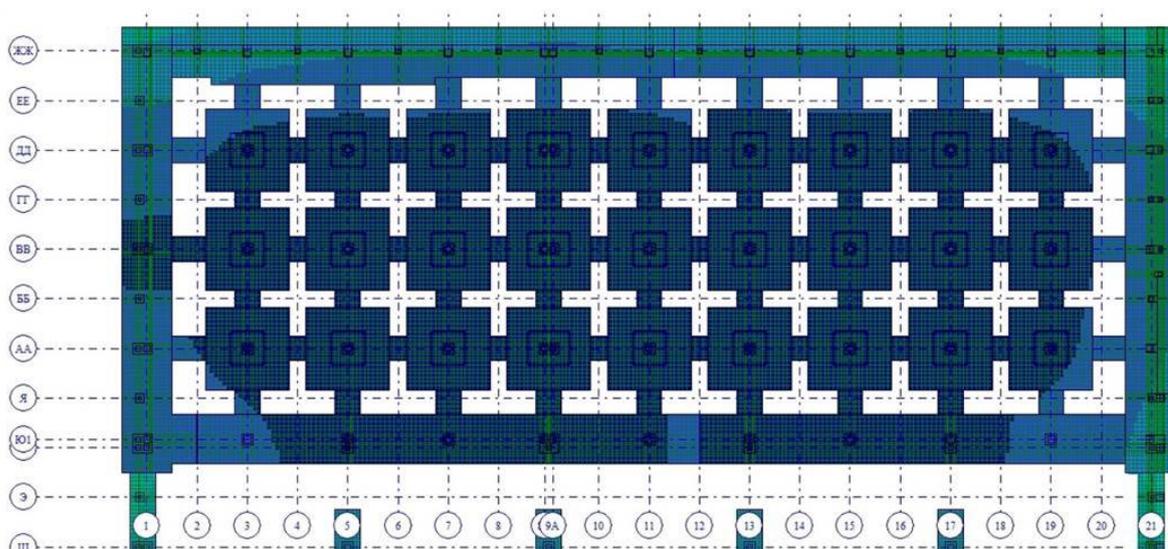


Рис. 2. – Картина давления отдельных фундаментов на основание от РСН2 (колонны 3-этажной антресоли)

В РСН2 учитывались следующие расчетные нагрузки:

- 1) На пол 1 этажа расчетная 96 кПа + плита пола + засыпка грунта (постоянная и временная длительная);
- 2) На пол 2 этажа стяжка 3,575 кПа (постоянная) + 24 кПа (временная длительная);
- 3) На пол 3 этажа стяжка 3,575 кПа (постоянная) + 18 кПа (временная длительная).

Первоначально расчет был произведен для фундамента под среднюю колонну, когда фундамент «садится» на ИГЭ-2. Размеры фундамента 10×10 м, нагрузка на фундамент 25000 кН. Среднее давление под подошвой фундамента 250 кПа, что превышает расчетное сопротивление 132,2 кПа. Расчет осадки дает 157,314 мм без учета влияния соседних фундаментов. Как правило, соседние фундаменты увеличивают осадку до 30 %, т.е. осадка будет  $157,314 \times 1,3 = 204,5$  мм, что значительно превышает 150 мм.

Поэтому, с целью уменьшения осадки, верхние 2 м грунта ИГЭ-2, имеющего модуль общей деформации 8 мПа, под подошвой фундамента были заменены в расчетной модели на грунт с характеристиками, как

у ИГЭ-3, с модулем общей деформации 25 МПа. Однако, все равно осадка получилась 136 мм, что с учётом влияния соседних фундаментов даст увеличение осадки на 30 %, т.е.  $136 \times 1,3 = 177$  мм, что превышает 150 мм. Кроме того, давление под подошвой фундамента 255 кПа (рис. 3) превышает расчетное сопротивление для ИГЭ-2 (132,2 кПа) и ИГЭ-3 (237 кПа). Это свидетельствует от том, что необходимо усилить основание под средними колоннами и, таким образом, убрать под ними «пузо» прогиба фундаментов. Тогда уменьшится и относительная разность осадок.

Поскольку устройство грунтовой подушки с модулем общей деформации 25 МПа недостаточно для обеспечения прочностных и деформативных характеристик основания, то необходимо усиление основания под средними колоннами антресоли [8].

### 3. Расчетное сопротивление грунта и осадка фундамента под зданием АБК

Фундамент АБК - сплошная плита толщиной 500 мм. Расчет выполнен на РСН2.

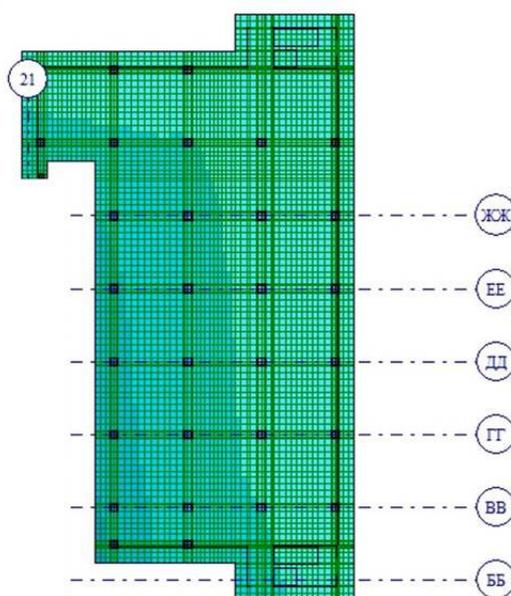


Рис. 3. – Картина давления фундаментной плиты на основание от РСН2 (колонны 3-этажного АБК).



По расчёту среднее давление под плитой равно 120 кПа, что не превышает расчетного сопротивления 132,2 кПа. Осадка фундамента 91,8 мм, что не превышает 150 мм.

**По результатам расчетов можно сделать следующие выводы:**

1. Проблемными с точки зрения геотехники являются фундаменты антресоли, т. к. испытывают большую нагрузку, имеют большие размеры и глубину влияния. Необходимо выполнить усиление грунтов основания [9].

2. Для остальных технологических зон здания ситуация вполне регулируемая и не требует больших затрат (достаточно устройства грунтовых подушек с прочностными и деформативными характеристиками, как у ИГЭ-3).

Одним из эффективных методов усиления поверхностных слоёв грунтовых оснований является устройство укрепленного основания с применением технологии стабилизации грунтов путем внесения вяжущих материалов (например, известь негашёная). Процесс перемешивания грунта с известью на поверхности основания называют ресайклингом [10].

Технология усиления основания с помощью ресайклинга включает, помимо перемешивания, следующие процессы:

- 1) равномерное распределение извести по поверхности грунта распределителем вяжущего (например, 25 кг/м<sup>2</sup>);
- 2) ресайклинг поверхности (перемешивание грунта с известью) ресайклером на глубину до 400 мм;
- 3) предварительное уплотнение обработанной поверхности катками;
- 4) планировка поверхности грейдером;
- 5) окончательное уплотнение катками.

Перед ресайклером на площадку выходит распределитель вяжущего, который рассыпает по поверхности известь с шириной захватки

---

3,0 м. После прохода ресайклера, грунт, перемешанный с известью, уплотняется катками, а затем поверхность профилируется грейдером и окончательно уплотняется. Допускается непрерывно выполнять завоз грунта на промежуточные слои по стабилизированному известью основанию.

Промежуточные слои насыпи из стабилизированного грунта уплотняются до коэффициента уплотнения 0,95. При устройстве верхнего слоя стабилизации известью под проектную отметку бетонной подготовки фундаментов, стабилизированному слою необходимо отстояться 5-7 дней с момента завершения уплотнения.

С учётом того, что на строительной площадке довольно трудно добиться оптимальной для уплотнения влажности природных глинистых грунтов (из-за выпадения атмосферных осадков), было принято решение выполнить усиление основания с применением технологии ресайклинга для устройства фундаментов в первой (склад) и второй (антресоль) технологических зонах складского комплекса. В первом случае толщина усиленного основания составила 1000 мм, во втором – 2000 мм. (рис. 4)

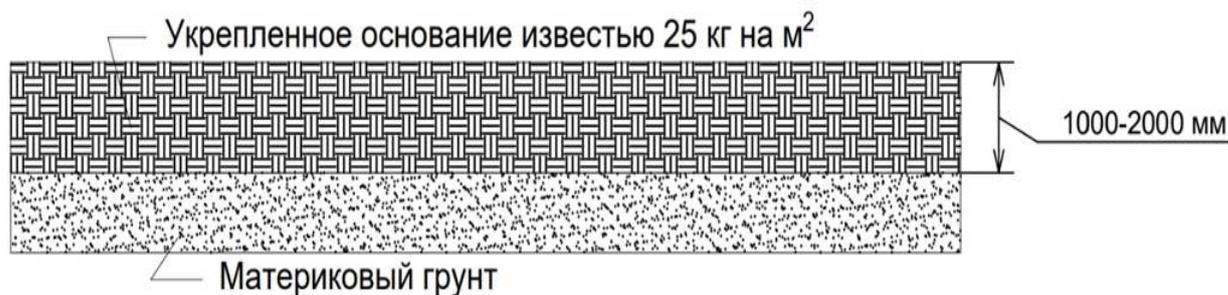


Рис. 4. – Схема усиленного ресайклингом грунтового основания

Для третьей зоны (АБК) оставлено решение с устройством уплотненной грунтовой подушки с прочностными и деформативными характеристиками, как у ИГЭ-3 (рис. 5).

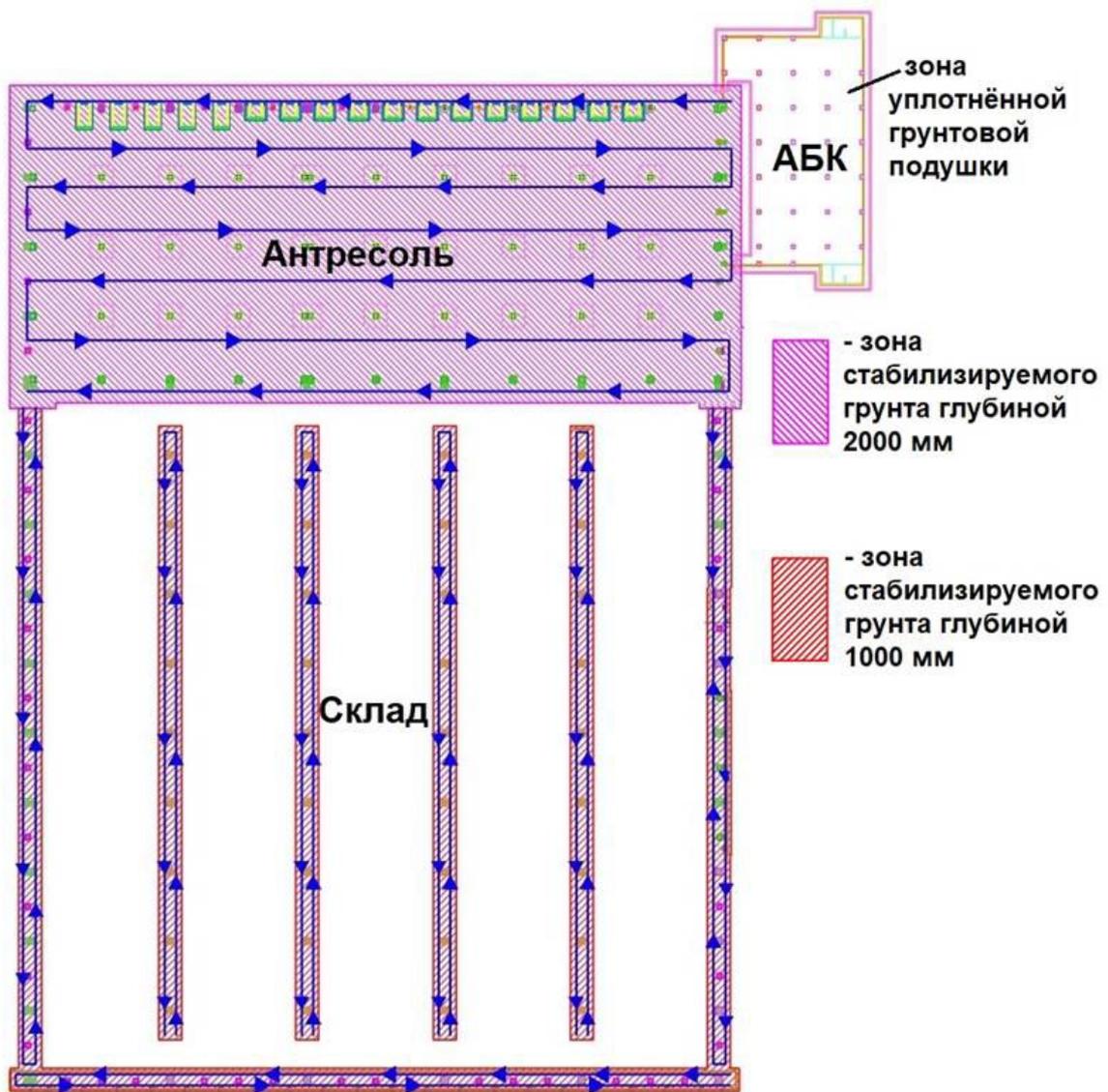


Рис. 5. – Технологическая схема стабилизации грунтов основания

Подбор состава известково-грунтовой смеси (расход извести на 1 м<sup>2</sup> поверхности основания) перед производством работ по усилению грунта уточняется путём выполнения в полевых условиях опытных участков с применением технологии ресайклинга и последующим исследованием образцов в лаборатории и штамповыми испытаниями на площадке. Предварительно, на основе грунтов слоя ИГЭ-2 и слоя ИГЭ-1 были испытаны в лаборатории четыре различных состава известково-грунтовой смеси под ресайклинг (таблица № 1):



Таблица № 1

Подбор состава под ресайклинг

№ состава	Наименование	Навеска влажного, гр	На сухой, гр	Дозировка извести, гр	Дозировка цемента, гр	Модуль деформации, мПа
Состав 1	ИГЭ-2 (1,5 % изв.)	1400	1055,8	15,84	0,00	21,3
Состав 2	ИГЭ-2 (2,0 % изв.)	1400	1055,8	21,12	0,00	31,1
Состав 3	ИГЭ-2 (1,5 % изв.+2,0 % цем.)	1400	1055,8	15,84	21,12	17,6
Состав 4	ИГЭ-1 (1,5 % изв.)	1400	1100,6	16,51	0,00	22,2

Анализ таблицы 1 показал, что 1,5 - 2 % добавка извести в смеси с грунтами ИГЭ-2 и ИГЭ-1 не даёт требуемого результата по деформативности, так как, несмотря на то, что модуль деформации увеличился практически в два раза, суммарная осадка фундаментов в зоне антресоли остаётся более 150 мм.

Поэтому опытные участки с ресайклингом грунта на площадке строительства были выполнены с 4 % добавкой извести к грунтам слоя ИГЭ-2.

Ниже приведены данные по проведённым штамповым испытаниям на опытных участках площадки строительства методом статического нагружения по ГОСТ 20276.1-2020.

Испытания были проведены на отметке низа бетонной подготовки под фундаменты. Фактическая дозировка извести оказалась равна 4,2 % от массы скелета грунта.

По результатам проведённых испытаний:

- на участке №1 в осях 9/Б-Э на абсолютной отметке 154,00 модуль деформации составил  $E = 66,21$  мПа;
- на участке №2 в осях 5/Б-Э на абсолютной отметке 153,99 модуль деформации составил  $E = 35,04$  мПа;
- на участке №3 в осях 13/Б-Э на абсолютной отметке 153,99 модуль деформации составил  $E = 42,02$  мПа.

Согласно полученным натурным данным, фактический модуль соответствует требованиям расчёта и позволяет снизить расчётную осадку фундаментов в зоне антресоли до допустимых значений.

Посадка фундаментов на геологическом разрезе в различных по технологическим нагрузкам зонах складского комплекса показана на рис. 6.

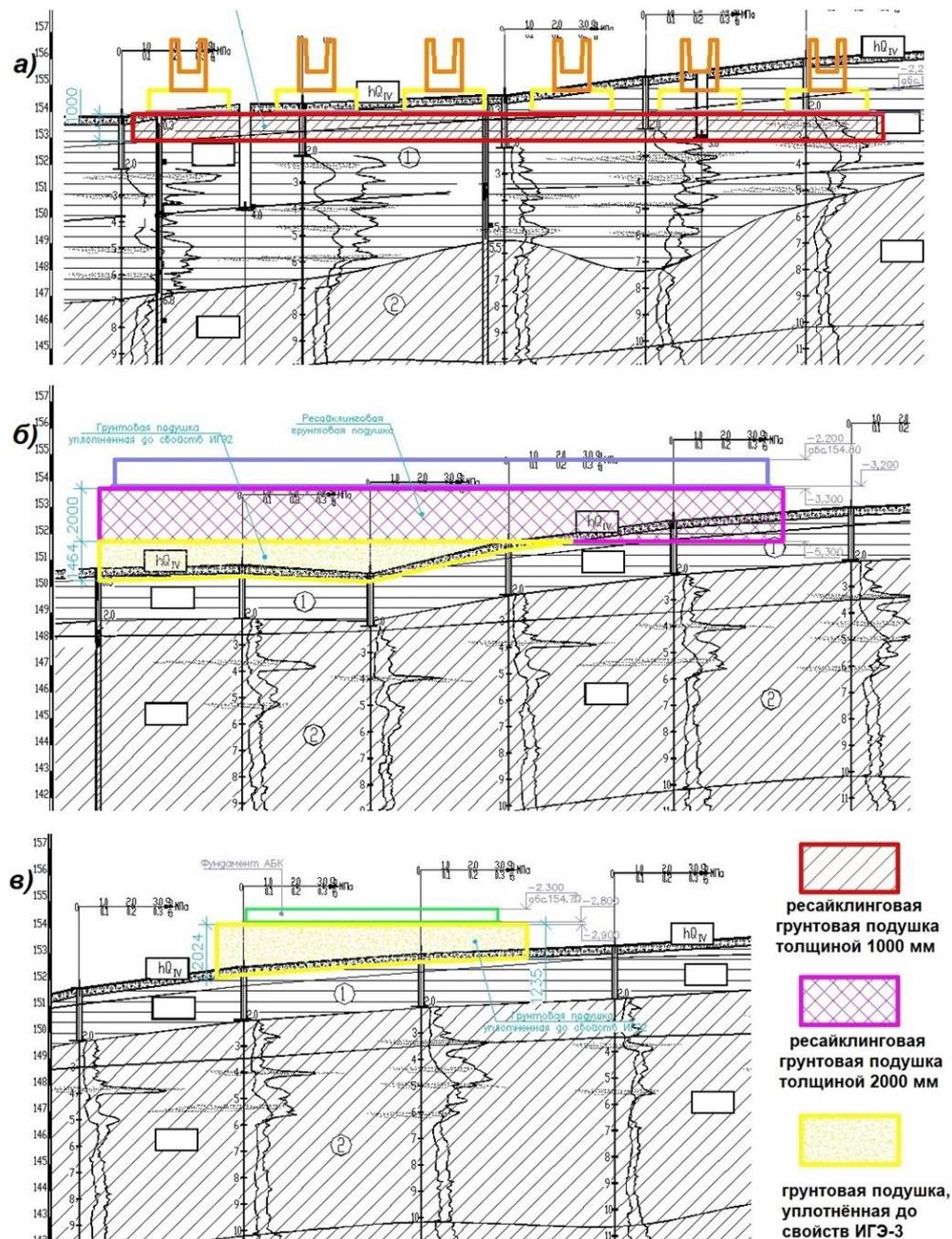


Рис. 6. – Посадка фундаментов на геологическом разрезе:  
а) основной склад, б) зона антресоли, в) здание АБК



## Выводы

По результатам расчётов и принятых решений по устройству фундаментов универсального склада продовольственных и непродовольственных товаров, расположенного в г. Благовещенске, Республика Башкортостан, можно сделать следующие выводы:

1. Для слабых грунтов проблемными с точки зрения геотехники являются фундаменты, имеющие значительные размеры в плане и испытывающие большую нагрузку. С целью обеспечения нормативных значений расчётных абсолютных и относительных осадок фундаментов в этом случае требуется усиление грунтов основания.

2. Для фундаментов, испытывающих меньшие нагрузки и/или имеющих меньшие размеры поперечного сечения, проблема укрепления слабого основания может быть решена путём устройства подушек из уплотнённого грунта, с улучшенными прочностными и деформативными характеристиками, что, как правило, не требует больших затрат.

3. Усиление грунтов, залегающих непосредственно под подошвой фундаментов, с использованием технологии ресайклинга (перемешивания грунта с вяжущим) на глубину до двух метров показывает свою высокую эффективность на строительной площадке, так как менее чувствительно к требованию обеспечения оптимальной влажности, что значительно сокращает сроки производства работ.

## Литература

1. Григорьев Ю. С., Фатеев В. В. Опыт замены свайных фундаментов на фундамент коробчатого типа на искусственном основании в малоэтажном строительстве // Приволжский научный журнал. 2023. № 1(65). С. 42-47.

2. Сидоренко О. Д., Мальцева К. А., Макагонов Р. А. Влияние параметров системы «основание-фундамент» на относительную разность осадок



соседних фундаментов // Будущее науки-2021. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. С. 481-485.

3. Подтелков В. В., Прокопенко А. В., Зеленков Д. С., Пшидаток М. А. Вопросы достаточности инженерно-геологических изысканий на подрабатываемой территории для устройства оснований силовых полов и фундаментов логистического центра // Инженерный вестник Дона. 2024. № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8929](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8929)

4. Krutov V. I., Kovalev A. S. Strengthening the foundations of an existing building during installation of foundations for an addition // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2001. Vol. 38, No. 1. pp. 20-24.

5. Мирсаяпов И. Т., Шарафутдинов Р. Ф. Осадки оснований свайных фундаментов с учетом реологических свойств грунтов и конструкций фундаментов // Современные методы проектирования, подземного строительства и реконструкции оснований и фундаментов (GFAC 2024). Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2024. С. 37-38.

6. Plotnikov A. A., Merzlyakov V. P. Increasing the Bearing Capacity and Durability of Building Foundations on Frozen Soils // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2021. Vol. 58, No. 1. pp. 71-77.

7. Пшидаток М. А., Маций С. И. Планово-предупредительные работы на автомобильных дорогах // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14, № 4. С. 764-776.

8. Линовский С. В., Якушкина Т. А. Влияние учета демпфирующих свойств системы "машина - фундамент - основание" на колебания свайного фундамента // Актуальные вопросы архитектуры и строительства. Новосибирск: Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 2021. С. 22-28.



9. Подтелков В. В., Прокопенко А. В., Зеленков Д. С., Пшидаток М. А. Особенности устройства примыканий проектируемых проездов производственных предприятий к существующему благоустройству // Инженерный вестник Дона. 2023. № 10. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2023/8769](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2023/8769)

10. Беланчук Е. А., Мальцев А. В. Методика оценки влияния характеристик системы «основание-фундамент» на допустимую разницу в отметках заложения соседних фундаментов // Проектирование и строительство. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. С. 21-25.

### References

1. Grigor'ev Ju. S., Fateev V. V. Privolzhskij nauchnyj zhurnal. 2023. № 1(65). pp. 42-47.

2. Sidorenko O. D., Mal'ceva K. A., Makagonov R. A. Budushhee nauki-2021. Kursk: Jugo-Zapadnyj gosudarstvennyj universitet, 2021. pp. 481-485.

3. Podtelkov V. V., Prokopenko A. V., Zelenkov D. S., Pshidatok M. A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2024. № 1. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8929>

4. Krutov V. I., Kovalev A. S. Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2001. Vol. 38, No. 1. pp. 20-24.

5. Mirsajapov I. T., Sharafutdinov R. F. Sovremennye metody proektirovaniya, podzemnogo stroitel'stva i rekonstrukcii osnovanij i fundamentov (GFAC 2024). Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet, 2024. pp. 37-38.

6. Plotnikov A. A., Merzlyakov V. P. Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2021. Vol. 58, No. 1. pp. 71-77.

7. Pshidatok M. A., Macij S. Izvestija vuzov. Investicii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'. 2024. T. 14, № 4. pp. 764-776.



8. Linovskij S. V., Jakushkina T. A. Aktual'nye voprosy arhitektury i stroitel'stva. Novosibirsk: Novosibirskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet (Sibstrin), 2021. pp. 22-28.

9. Podtelkov V. V., Prokopenko A. V., Zelenkov D. S., Pshidatok M. A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2023. № 10. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2023/8769](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2023/8769)

10. Belanchuk E. A., Mal'cev A. V. Proektirovanie i stroitel'stvo. Kursk: Jugo-Zapadnyj gosudarstvennyj universitet, 2021. pp. 21-25.

**Дата поступления: 14.02.2025**

**Дата публикации: 15.03.2025**