



**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
Т. 10, № 2, 2019
PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2019.2.02

УДК 624.131.7

СЛОВО О ФУНДАМЕНТЕ, ИЛИ ФУНДАМЕНТ ЗДАНИЯ КАК АНАЛОГ ОПОР ТВОРЕНИЙ ПРИРОДЫ

В.В. Лушников

ООО «ГеоСтройЭксперт», Екатеринбург, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 09 января 2019
Принята: 25 февраля 2019
Опубликована: 28 июня 2019

Ключевые слова:

нога человека или животного,
корень дерева, адаптивное пове-
дение, адаптивное управление,
искусственное основание.

АННОТАЦИЯ

Фундаменты, служащие вместе с грунтами фундаментами зданий и сооруже-
ний, прямо или косвенно заимствованы Человеком из того, что создано в Природе –
опоры живых и неживых ее творений: ног человека или животных, корней растений.
Различные виды фундаментов имеют свои аналоги в природе. Интересно посмот-
реть, как и почему появились те или иные формы опор, их размеры, как они меня-
ются, приспосабливаются к изменениям в окружающей среде за время существова-
ния творений Природы. И как Человек может использовать находки Природы в сво-
ей деятельности при проектировании фундаментов и даже зданий и сооружений.
Примерами являются столбчатый фундамент, который можно сравнить с ногой че-
ловека; плитный фундамент – с лапами водоплавающих птиц; свайный фундамен-
т, по сути, имеет много общего с ногами копытных животных. Теплоизолированный
фундамент можно сравнить с лапами белого медведя, стопы которого «подбиты»
мехом. Особое внимание уделено корневой системе дерева, которая может счи-
таться идеальным фундаментом. Способность различных деревьев адаптироваться
к местности, на которой оно растет, является примером возможного подхода к про-
ектированию рациональных типов фундаментов. В дереве реализован принцип
включения в работу под нагрузками самого грунта, окружающего корневую систему.
При этом корни как бы «армируют» окружающий грунт, создают из него единую сис-
тему, которая и воспринимает действующие на дерево нагрузки. В строительстве
такой подход реализуется, например, при устройстве фундаментов или упрочнении
грунтов методом геотехногенной системы.

© ПНИПУ

© **Лушников Владимир Вениаминович** – доктор технических наук, профессор, e-mail: gsexpert@list.ru

Vladimir V. Lushnikov – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: gsexpert@list.ru

THE WORD ABOUT THE FOUNDATION (OR THE FOUNDATION AS AN ANALOGUE OF THE SUPPORTS OF THE CREATIONS OF NATURE)

V.V. Lushnikov

“GeoStroyExpert”, Ekaterinburg, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 09 January 2019
Accepted: 25 February 2019
Published: 28 June 2019

Keywords:

Human or Animal foot, Tree root, adaptive behavior, adaptive control, artificial base.

ABSTRACT

The foundations that serve together with the soils of the foundations of buildings and structures are directly or indirectly borrowed by Man from what was created in Nature – supports of her living and non-living creations: the feet of Man or animals, the roots of plants. Different types of foundations have their counterparts in nature. It is interesting to see how and why these or other forms of Supports appeared, their sizes, how they change, adapt to changes in the environment during the existence of the creation of Nature. And how a Man can use the finds of Nature in his activities in the design of foundations and even buildings and structures. Examples are a pillar foundation that can be cut from a person's foot; slab foundation – paws of waterfowl; Pile foundation essentially has much in common with the legs of hoofed animals. The heat-insulated foundation can be compared with the paws of a polar bear, whose feet are “lined” with fur. Particular attention is paid to the root system of the tree, which can be considered an ideal foundation. The ability of various trees to adapt to the terrain on which it grows is an example of a possible approach to designing rational types of foundations. The principle of inclusion in the work under the loads of the soil surrounding the root system is implemented in the Tree. At the same time, the roots “reinforce” the surrounding soil, create from it a single system, which perceives the loads acting on the tree. Such an approach is implemented, for example, when constructing foundations or hardening soils using the geotechnogenic system.

© PNRPU

Фундамент – важная часть строения, которую образно можно оценить как конструкцию, стоящую на границе естественной (природный грунт) и искусственной (надземное строение) субстанций. Если в надземном строении проектировщик определяет применяемые материалы и их качества (по справочникам или интуитивно, пользуясь здравым смыслом) и при необходимости отбраковывает негодные, то возможности его в выборе основания ограничены. Можно немного подвинуть будущий дом в ту или другую сторону, чтобы «поискать» грунты «получше», но, как правило, это невозможно и не меняет сущности проблемы. Скорее всего, приходится строить там, где надо, и мириться с тем, что «Бог послал». И для этого надо знать, где и какие фундаменты можно применить [1–3].

Рассмотрим некоторые «находки» природы, примеры адаптивного поведения, которые человек заимствует в строительстве при устройстве фундаментов и которые можно назвать примерами *адаптивного управления*.

Заметим, что адаптивное управление (поведение) следует считать основополагающим принципом развития и существования жизни на Земле. Любое живое и неживое существо в процессе эволюции так и иначе адаптируется к объективным и часто меняющимся условиям существования. И далее продолжает адаптироваться, но уже, в процессе своей жизни, – также в зависимости от постоянно меняющихся условий окружающей среды, в частности – грунтов в среде их обитания.

За многомиллионную историю в природе созданы опоры живых и неживых творений – ног самого человека или животных, корней растений. На вопрос, как и почему появилась та или иная форма опор, их размеры, как они изменяются, адаптируются к изменениям окружающей среды за время существования творения, можно ответить следующим образом: это результат эволюции и постепенной адаптации «всего и вся» к постоянно меняющимся условиям существования.

Далее рассматриваются только примеры, когда Природа для человека, животного или дерева создает именно опору – прототип, прообраз фундамента. Но можно привести и другие уникальные примеры адаптации без образования опоры: например, некоторые пауки могут ходить по воде, используя эффект минойского натяжения воды; некоторые водные животные, предварительно ударяя лапами по воде, образуют пузырьки воздуха и тоже могут передвигаться по воде, используя восходящие пузырьки как опору.



Ноги человека
Мужские Женские

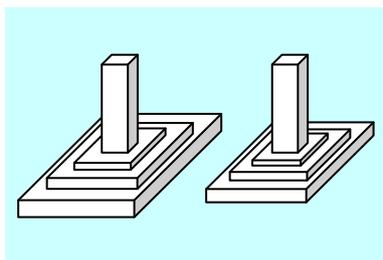


Рис. 1. Столбчатые фундаменты – аналоги ног человека
Fig. 1. Post foundations – analogs of human feet

Рассмотрим, как формировались известные типы фундаментов.

1. Столбчатый фундамент

Всем известен так называемый «классический» фундамент (рис. 1). Он, как правило, делается в виде лент или столбов из прочного и долговечного материала – камня, бетона, реже – дерева (но раньше, напротив, – чаще из дерева!). Этот фундамент представляет собой определенный массив из прочного материала в виде столбов, углубленный на нужную глубину в грунт и расширенный внизу по теперь всем известным соображениям – по условиям промерзания, прочности и деформируемости грунтов [1, 4].

Столбчатые фундаменты, показанные на рис. 1, копируют размеры ног человека: у тяжелых строений площадь их больше, как у мужчин, у легких – меньше, как у женщин. Разумеется, размеры их также зависят от прочности грунтов.

Откуда возникла много веков известная идея «классического» столбчатого фундамента? Вероятнее всего, идея появилась в результате наблюдения за тем, как устроен сам человек. Ему дана нога с площадью стопы, которая способна передавать на грунт «не больше и не меньше», чем может воспринять реальный грунт, встречающийся человеку. Например, средний человек весом 70 кгс при ходьбе опирается

примерно на половину передней или задней части стопы (площадь их около 60–70 см²), т.е. передает на средний по прочности грунт давление около 1–2 кгс/см².

Интересно, что природа человеку дала ногу нужного размера с юности – размер ее она как бы «рассчитывала» на будущий его вес; в дальнейшем размер ноги почти не меняется – вероятно, природа учитывала, что первые люди редко доживали до 30 лет и почти не меняли веса после юности.

Природа могла бы «приспособить» человека и к слабым грунтам (к болоту), увеличив, например, размер его стопы до размеров ласт. Но, видимо, ей это показалось неразумным ... Она дала человеку голову, точнее – разум: «Иди, но смотри, куда идешь!» (это почти библейская фраза!).

Следовательно, разум дан человеку, чтобы он не залез в болото и не погиб. Для этого человек долгое время учится у родителей, наблюдает за поведением других людей, копит собственный опыт...

Можно даже с некоторым вызовом утверждать о том, что *человеческий разум появился только потому, что на Земле есть слабые грунты!*

Но известно, что слон (рис. 2) создает при ходьбе гораздо большее давление на грунт – до 5 кгс/см² и более. Значит, слон тоже «рассчитан» для ходьбы только по прочным грунтам! А чтобы не погибнуть, слону дана голова с объемом мозга, в несколько раз превосходящим человеческий! Чтобы он тоже мог отличить, куда следует или не следует идти!

Но надо учесть, что объем мозга слона еще не означает наличия у него *разума*. Человек – единственное из живущих существо, обладающее способностью к членораздельной речи и развитому абстрактному мышлению, способностью адаптироваться к новым условиям, к обучению на основе опыта, пониманию и применению появляющихся новых знаний для управления окружающей средой, включая изготовление и использование орудий труда для создания предметов и объектов материальной и нематериальной культуры.

Но и у слона человек многое заимствует – уширенные фундаменты, способы уплотнения слабых грунтов и др. [1, 5].

2. Плитные фундаменты

На рис. 3 показаны плитные фундаменты – аналоги лап водоплавающих, например гуся утки. Они живут на болотах, вынуждены опираться ногами на ил, тину, которые почти не имеют несущей способности в человеческом понимании. Поэтому и площадь лап у них гораздо больше, как и у плитных фундаментов в сравнении со столбчатыми [1, 6].

3. Свайные фундаменты

На рис. 4 показаны свайные фундаменты – аналоги ног копытных животных; их ноги почти не имеют уширения внизу – они мешают быстро бегать. Парнокопытное животное, спасаясь от хищников, вынуждено забегать даже в болота – места, труднодоступные для хищников, куда те так просто не пройдут. Но в болотистом грунте его нога углубляется в землю, превращаясь в подобие сваи, которая, к тому же, еще и расширяется в стороны (за счет раздвижения копыт), увеличивая площадь опирания и передавая меньшее давление на слабый грунт болота. Она, эта нога, тоже как бы приспосабливается к тому грунту, который попадает парнокопытному.

Не от наблюдения ли за этими животными возникла сама идея свайных построек (рис. 5)? Ведь сваи считаются одним из самых ранних изобретений человека – есть даже период развития человечества, называемый «*эпохой свайных построек*». Многие считают, что сваи – это изобретение ранних египтян, которые придумали их, чтобы во время половодий Нила не уходить в степи, а оставаться здесь же, возле Нила, до конца половодья. Обуглившиеся остатки свай встречаются даже в слоях каменноугольных месторождений, которым больше 10 тысяч лет [1, 7].

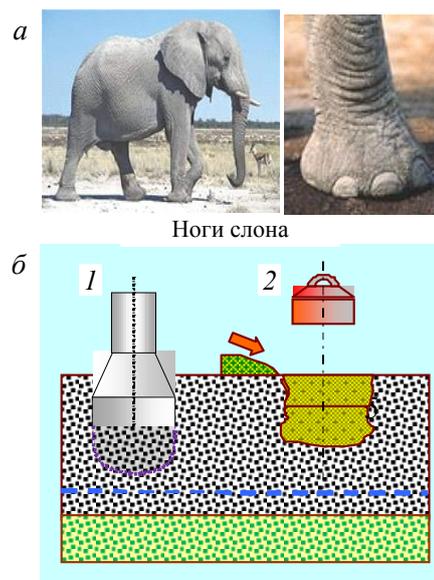


Рис. 2. а – Слон и его нога; б – аналоги его тяжелой поступи – фундамент с уширенной подошвой (1) и уплотнение грунта (2)

Fig. 2. а – Elephant and his leg; б – analogs of His heavy step – foundation with a broadened sole (1) and soil compaction (2)



Лапы гуся

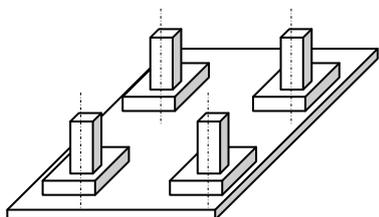


Рис. 3. Плитный фундамент – аналог лап водоплавающих
 Fig. 3. Panel-wall foundation



Лошадь

Олень

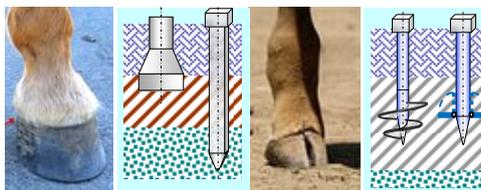


Рис. 4. Копытные животные, их ноги и фундаменты – аналоги: сваи, сваи-столбы, винтовые и раскрывающиеся сваи
 Fig. 4. Hoofed animals, their legs and foundations-analogues: piles, column piles, screw and drop piles

4. Теплоизолированный фундамент

На рис. 6 показан теплоизолированный фундамент – аналог лап белого медведя, который живет на Севере, ходит и долго стоит на льдинах, высматривая и поджидая добычу. И чтобы не проморозить ноги (и не растопить льдину), его стопы «подбиты» мехом.

Это послужило основой идеи ПТФ – поверхностного теплоизолированного фундамента, не заглубляемого глубоко в землю, но имеющего под подошвой теплоизолирующий слой из пенополистирола, прочного и долговечного материала, который не дает грунту промерзнуть и исключает опасности, связанные с промерзанием.



Свайные постройки

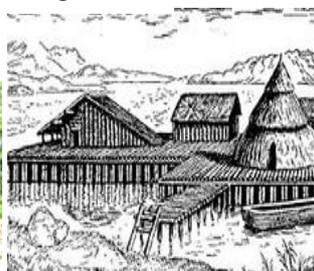


Рис. 5. Дома эпохи свайных построек
 Fig. 5. Houses of the era of pile construction



Белый медведь и его теплые лапы

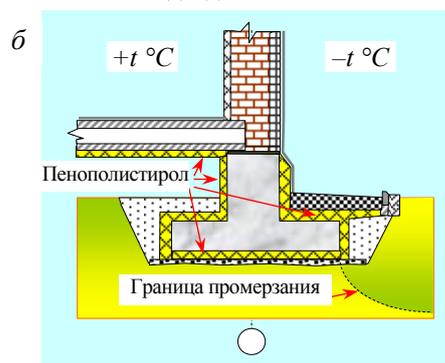


Рис. 6. Теплые лапы белого медведя (а) и их аналог – теплоизолированный фундамент (б)
 Fig. 6. Warm paws of a polar bear (a) and their analogue – a heat-insulated foundation (b)

5. Корневая система дерева – идеальный фундамент

Действительно, это идеальный фундамент: дерево отличается тем, что при относительно малом весе вынуждено воспринимать большие (а на горах – очень большие) ветровые нагрузки. Способность деревьев к адаптации совершенно уникальна и заслуживает специального изучения: деревья могут расти где угодно – зацепившись за край строения, за край скалы, прямо на скале, где ищут себе опоры в тончайших трещинах, а питание прямо из грозовой воды и воздуха (рис. 7). Указанная «идеальность» характеризуется следующим:

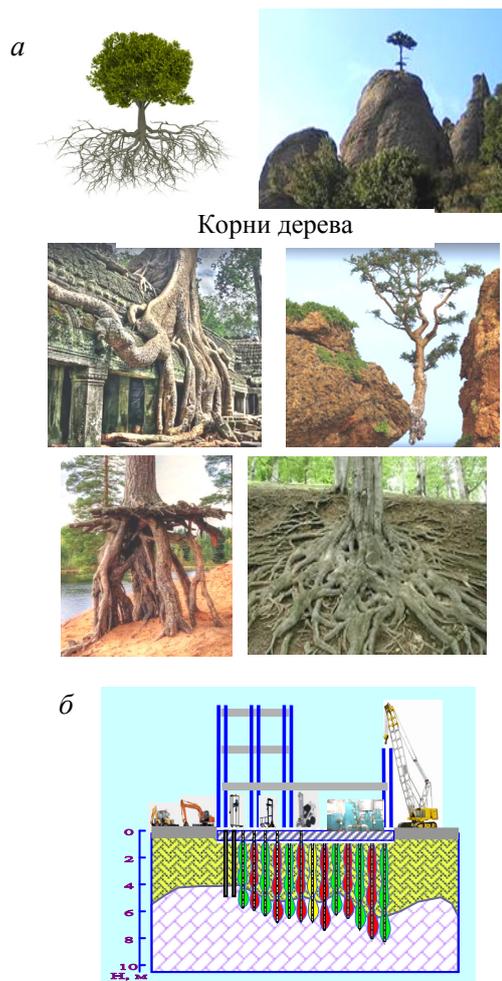
1. Если «проектировать» фундамент дерева по строительным правилам, т.е. «подводить» под него «классический» фундамент, пользуясь современными нормами, то приходим к парадоксу. Для крупного дерева высотой, к примеру, 30 м, нужно сделать бетонный (по условиям долговечности) фундамент глубиной 2 м (по условиям промерзания) и диаметром 5 м (по условиям прочности обычного грунта). А это ни много, ни мало – 40 м^3 , или больше 100 т бетона. Природа же, создавая дерево, «обошлась» общим количеством материала меньше 1 т (если откопать и взвесить все его корни). В 100 раз меньше! Как?!...

Причем, если поставить такой фундамент прямо на поверхности, он упадет вместе с деревом – под действием ветрового момента под краями фундамента возникнут растягивающие напряжения отрыва, которые не может воспринять грунт. Но чтобы дерево устояло, его бетонный фундамент придется заглубить на указанные 2 м – в этом случае ветровым воздействиям будет сопротивляться грунт не только под подошвой, но и по боковой поверхности фундамента.

2. Но и такое «бетонное» решение фундамента дерева оказывается все-таки не вполне надежным в условиях пучинистых грунтов. «Подъемная сила» пучения примерзающего к фундаменту грунта составляет около 5 т на каждый квадратный метр боковой поверхности.

При общей площади боковой поверхности его около 30 м^2 величина «подъемной силы» составит 150 т, что намного больше веса фундамента вместе с весом дерева. Другими словами, такой фундамент, увы, тоже постепенно начнет выпучиваться.

3. Очевидно, в дереве реализован совсем другой принцип приспособления к местным грунтовым условиям – принцип включения в работу под нагрузками самого грунта, окружающего корневую систему. Корни дерева как бы «армируют» окружающий грунт, соз-



Геомассив – аналог корневой системы дерева

Рис. 7. Корни деревьев (а) и их аналог – геотехногенная система (б)

Fig. 7. Tree roots (a) and their analogue – geotechnogenic system (b)

дают из него единую систему, которая и воспринимает действующие на дерево нагрузки. Кроме всего прочего, эта система осушает грунт, уменьшая его пучинистость и из-за своей гибкости не повреждается силами пучения.

4. Очень интересно и то, что эта единая система при необходимости увеличивается в размерах. Например, дерево в чаще леса имеет меньшую по размерам корневую систему, потому что на него действуют меньшие ветровые нагрузки. На опушке – на краю леса, где ветры сильнее, – корни уже больше – иначе дерево упадет. Но если в лесу прорубают широкую просеку, некоторые деревья, ранее растущие в чаще, начинают падать. Новые, более сильные ветры выдирают корни дерева, поскольку они были «рассчитаны» на меньшие ветровые нагрузки. Но со временем деревья перестают падать, поскольку обладают таинственной способностью наращивать свою корневую систему, точно соответствующую новым ветровым воздействиям. Но, повторим, такой способностью обладают не все деревья. Вероятно, старые, доживающие свой век деревья не способны перестроиться в новых обстоятельствах. Молодые же, еще растущие деревья выживают и в таких условиях. Закон природы! Выживает сильный, гибкий, точнее – *индивид*, способный адаптироваться к меняющейся обстановке. Это блистательный пример адаптации и естественного отбора на примере оснований и фундаментов в неживой природе!

(Автор предлагает свое, необязательное объяснение механизма наращивания корневой системы деревьев. Для этого нужна *пограничная ситуация*, например, когда дерево во время урагана должно было упасть, но все-таки устояло – ураган прекратился. В корнях дерева неизбежно образуются надрывы, в которых за счет поступления сюда и твердения древесного сока постепенно нарастают утолщения, повышающие анкерующую способность корней. В следующий раз при таком же и даже более сильном урагане дерево устоит, не упадет.)

5. И еще, также интересное: у дерева, оказывается, *другой принцип адаптации к действительности* – корни у него развиваются «по мере надобности», по мере того, как оно растет, как меняется ситуация вокруг него. Нога же человека, как отмечалось, вырастает в юношеском возрасте, и в дальнейшем размер ее почти не меняется.

6. Уникальную способность дерева к адаптации поясняет рис. 8. На нем можно видеть рост размеров корневой системы с возрастом дерева (его можно установить по числу годовых колец на разных уровнях).

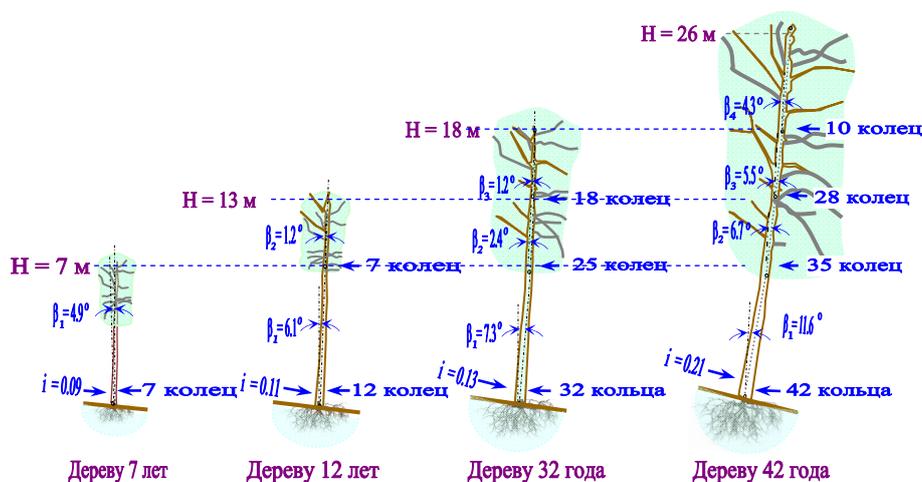


Рис. 8. Развитие корневой системы и наклона дерева по мере его роста

Fig. 8. Development of the root system

Но если дерево растет на нестабильном склоне, оно постепенно выпрямляется (как бы тянется к солнцу) даже при продолжающемся наклоне склона, поэтому ствол со временем приобретает саблеобразную форму.

7. Чрезвычайно интересно и то, что в строительстве такую же способность к адаптации иллюстрирует, например, многоэтажный дом, возводимый на нестабильном основании (рис. 9). Причиной нестабильности основания могут быть неравномерность сжимаемости грунтов, неблагоприятные воздействия на них, ошибки проектирования и др.

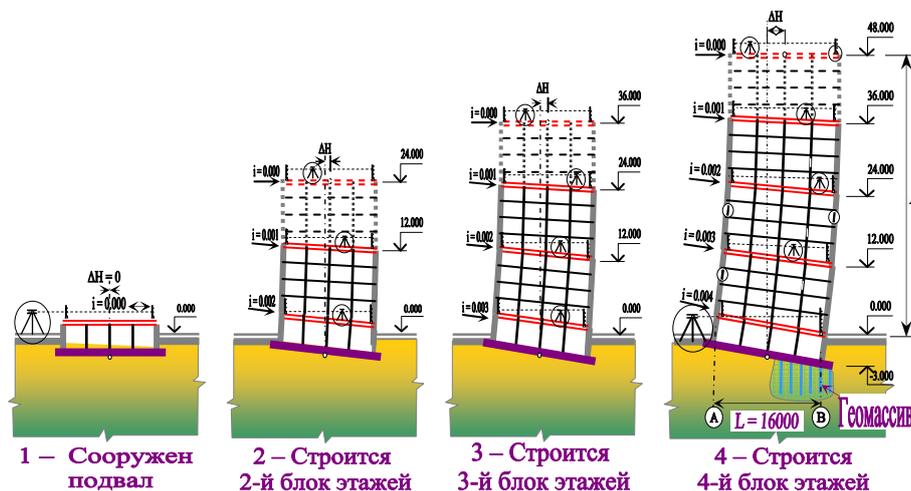


Рис. 9. Строительство дома на нестабильном основании

Fig. 9. Building a house on an unstable basis

Дом в процессе взведения по примеру дерева тоже как бы «тянется к солнцу», постепенно выпрямляясь даже при продолжающемся наклоне основания. Это объясняется тем, что в соответствии со строительными правилами при сооружении очередного этажа стены этого этажа делаются строго вертикально, а перекрытия – строго горизонтально, пусть даже дом уже продолжает наклоняться. В результате продольная ось дома также приобретает саблеобразную форму.

Вероятно, такое совпадение особенностей роста дерева и выправления дома можно назвать случайным, но его можно оценивать и как пример реализации всеобщего закона адаптации в Природе.

8. Идея сооружения фундаментов, подобной корневой системе дерева, реализуется, например, при устройстве фундаментов или упрочнении грунтов методом ГТС – геотехнологической системы (другие названия – геомассив, геокомпозит), которая представляет собой природно-техногенное образование, служащее нулевым циклом зданий и сооружений. Создается путем образования в природном массиве и на его поверхности комплекса искусственных элементов (например, инъекцией закрепляющих растворов), которые вместе с самим строением образуют единую пространственную структуру, обладающую необходимой несущей способностью.

Идею ГТС поясняет рис. 7, б: здесь, несмотря на наличие насыпных грунтов до глубины 6–8 м, вначале была сделана железобетонная плита здания с патрубками в теле, затем велся монтаж части надземного строения и установка технологического оборудования. Одновременно с поверхности плиты бурили скважины до прочного грунта и вели инъекцию закрепляющего раствора до получения необходимой прочности основания и всего здания. И одновременно продолжали возводить надземное строение.

Тем самым удалось совместить ряд работ, сократить общую продолжительность строительства и фактически реализовать позднее появившиеся принципы строительства top-down (сверху вниз) и top-up (снизу вверх). Идея ГТС нашла широкое применение при строительстве многих объектов на Урале, в России и СНГ. Наиболее яркие примеры – строительство Газокомпрессорной станции в г. Ивдель Свердловской обл. (1975), Главного корпуса Завода «Атоммаш» в г. Волгодонске (1983).

В целом ГТС можно рассматривать как один из эффективных способов реализации идей знаменитого ученого В.И. Вернадского о ноосфере как о новом состоянии биосферы, новой эпохе, когда развитие геологической среды на Земле со временем должно стать все более и более упорядоченным.

В частности, человек может не искать прочный грунт, а напротив, помогая Природе, вместо слабого грунта самому создавать под сооружением более надежное основание, также, но по-другому реализуя описанный выше принцип адаптивного управления.

9. Прекрасный пример адаптивного поведения показала Невьянская башня [8], построенная в первой половине XVIII в. (рис. 10, а). Все ярусы башни (нижний четверик и три верхних восьмерика) получили разные отклонения от вертикали, поскольку башня строилась на нестабильном основании, причем наклон образовался в самом начале ее возведения. И как результат – продольная ось Башни получила саблеобразную форму (рис. 10, б).

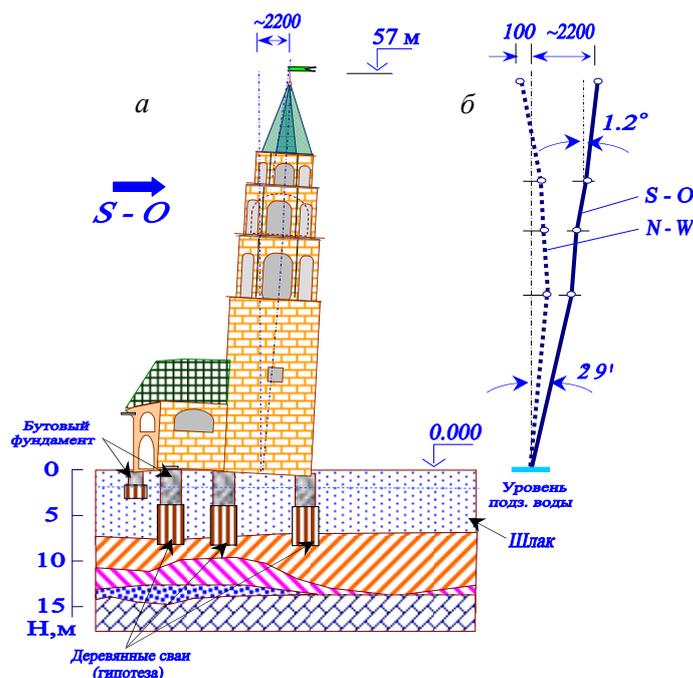


Рис. 10. Невьянская башня (а) и ее изогнутая ось (б)
Fig. 10. Nevyansk tower (a) and its curved axis (b)

10. Показанная на рис. 7, 8 особенность роста деревьев и сооружения зданий на нестабильных грунтах послужила основой патента [9], согласно которому разно наклоненные оси деревьев и перекрытий зданий могут служить источником информации об истории возникновения наклонов и для анализа напряженно-деформированного состояния любых протяженных по вертикали объектов (см. также статью [10]).

6. Два примера реализации принципа адаптивного управления в строительстве:

1-й пример

При сооружении показанного на рис. 9 дома до 12 этажей на основе программного прогноза на виртуальное состояние его до 16 этажей была установлено недопустимое отклонение дома от вертикали; безопасное же сооружение дома обеспечило принятое решение о закреплении грунтов под правым краем дома путем инъекции закрепляющих растворов по принципу геомассива.

2-й пример

В ходе сооружения 8-этажного дома на крайне неоднородных грунтах при возведении трех этажей и прогноза на виртуальное состояние его до 8 этажей установлено, что дом может получить недопустимые отклонения и наклоны перекрытий; поэтому часть столбчатых фундаментов была преобразована в плиту (рис. 11).

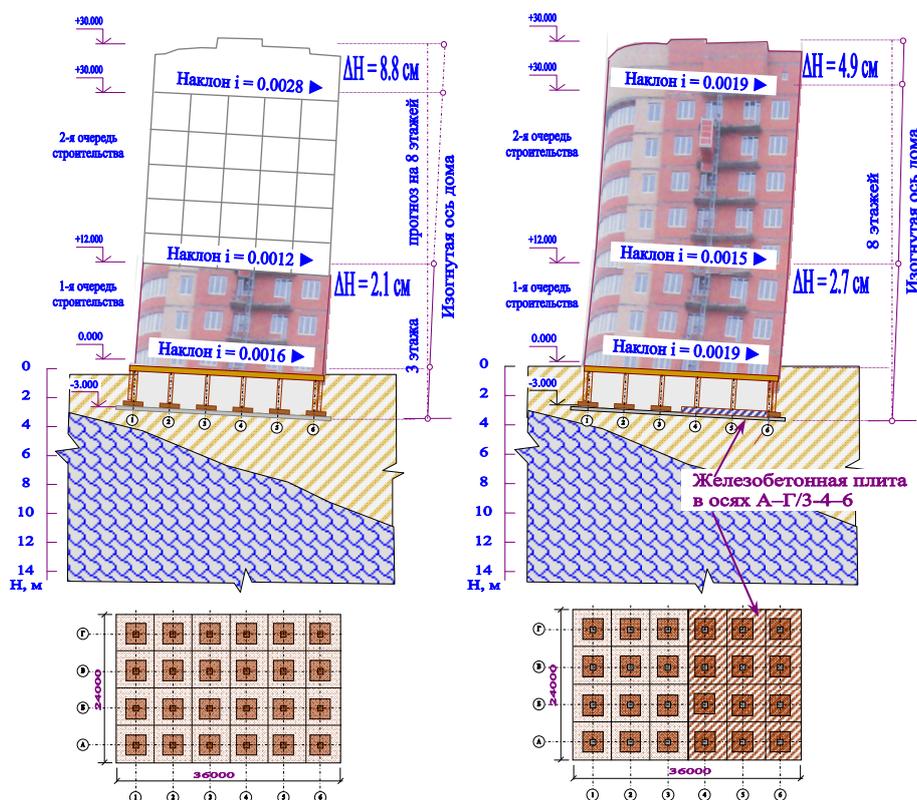


Рис. 11. Строительство 8-этажного дома: *а* – состояние дома на 3 этажа и виртуальный прогноз на 8 этажей; *б* – возведение дома до 8 этажей после сооружения монолитной плиты под частью столбчатого фундамента
Fig. 11. Construction of an 8-storey House: *a* – condition of the house on 3 floors and a virtual forecast on 8 floors; *b* – construction of a house up to 8 floors after the construction of a monolithic slab under a part of the column foundation

Заключение

Надо многому учиться у Природы! Чтобы использовать не только то, что создано Человеком, но и творчески заимствовать у Природы то, что разумно.

Бесконечное разнообразие способов приспособления к объективным обстоятельствам в Природе заставляет Человека искать разумные решения, касающиеся способов устройства оснований и фундаментов в разнообразных природных условиях.

Следует иметь в виду, что «находки» Природы пока используются Человеком далеко не в самом лучшем исполнении и, безусловно, подлежат постоянному совершенствованию на основе всеобщего принципа адаптивного управления.

Библиографический список

1. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под ред. В.А. Ильичева, Р.А. Мангушева. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Изд-во АСВ, 2016. – 1040 с.
2. Лушников В.В. Оценка двух нормативных методов расчета осадок фундаментов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 7, № 4. – С. 15–30. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.4.02
3. Анализ влияния различных типов армирования на деформационные характеристики глинистого грунта [Электронный ресурс] / А.Н. Богомолов, А.Б. Пономарев, А.В. Мащенко, А.С. Кузнецова // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Серия: Политематическая. – 2014. – Вып. 4(35). – Ст. 11. – URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/11BogomolovPonomarevMashchenkoKuznetsova-2014_4\(35\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/11BogomolovPonomarevMashchenkoKuznetsova-2014_4(35).pdf) (дата обращения: 10.12.2018).
4. Цытович Н.А. Механика грунтов: Краткий курс: учебник. – 6-е изд. – М.: ЛИБРОКОМ, 2011. – 272 с.
5. Гончарова Л.В. Основы искусственного улучшения грунтов / под ред. В.М. Безрука. – М.: Изд-во МГУ, 1973. – 376 с.
6. Пронозин Я.А., Наумкина Ю.В., Рачков Д.В. Уточненный метод послойного суммирования для определения осадки плитных фундаментов // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2015. – № 3. – С. 82–86.
7. Сваи и свайные фундаменты / Р.А. Мангушев, А.Л. Готман, В.В. Знаменский, А.Б. Пономарев; под ред. Р.А. Мангушева. – М.: Изд-во АСВ, 2015. – 320 с.
8. Лушников В.В. Упадёт ли Невьянская башня. И как выпрямляли Пизанскую кампанию. – Екатеринбург: Учебная книга, 2011. – 88 с.
9. Способ строительства и анализа напряженно-деформированного состояния зданий, сооружений и других протяженных по вертикали объектов на неравномерно сжимаемых грунтах: пат. Рос. Федерация / В.В. Лушников, Ю.Р. Оржеховский, А.Я. Эпп и М.В. Сметанин. – № 2476642, опубл. 27.02.2013. Бюл. № 6.
10. Соломин В.И., Лушников В.В., Оржеховский Ю.Р. Адаптивное управление параметрами грунтов и фундаментов при возведении сооружений // Сб. тр. научн. конф. СПбГАСУ. – СПб., 2012. – С. 337–342.

References

1. Spravochnik goetehnika. Osnovaniia, fundamenty i podzemnye sooruzheniia [Reference geotechnics. Bases, foundations and underground structures]. Eds. V.A. Illichev, R.A. Mangushev. 2nd ed. Moscow, ASV, 2016, 1040 p.
2. Lushnikov V.V. Otsenka dvukh normativnykh metodov rascheta jsadok fundamentov [Evaluation of two normative methods of calculation deformations of foundations]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2016, vol. 7, no. 4, pp. 15-30. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.4.02
3. Bogomolov A.N., Ponomarev A.B., Mashchenko A.V., Kuznetsova A.S. Analiz vliianiia razlichnykh tipov armirovaniia na deformatsionnye kharakteristiki glinistogo grunta [Analysis of

the influence of different types of reinforcement on the deformation characteristics of clay soils]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2014, no. 4(35), paper 11, available at: [http://www.vestnik.vgasu.ru/http://vestnik.vgasu.ru/attachments/11BogomolovPonomarevMashchenkoKuznetsova-2014_4\(35\).pdf](http://www.vestnik.vgasu.ru/http://vestnik.vgasu.ru/attachments/11BogomolovPonomarevMashchenkoKuznetsova-2014_4(35).pdf) (accessed 10 December 2018).

4. Tsytovich N.A. *Mekhanika gruntov: Kratnyi kurs* [Mechanics of soil: Short Course]. 6th ed. Moscow, LIBROCOM. 2011, 272 p.

5. Goncharova L.V. *Osnovy iskusstvennogo uluchsheniya gruntov* [Fundamentals of artificial improvement of soils]. Ed. V.M. Bezruk. Moscow, MGU, 1973, 376 p.

6. Pronozin Ja.A., Naumkina Ju.V., Rachkov D.V. *Utochnennyj metod poslojnogo summirovaniya dlja opredelenija osadki plitnyh fundamentov* [Qualified method of layer-by-layer summation to calculate settlement in slab foundations]. *Akademicheskij vestnik UralNIiproekt RAASN*, 2015, no. 3, pp. 82-86.

7. Mangushev R.A., Gotman A.L., Znamenckiy V.V., Ponomarev A.B. *Svai i svaynye fundamenty. Konstruirovaniye, proektirovaniye, tekhnologii* [Piles and pile slabs. Design, analysis, technologies]. Eds. R.A. Mangushev. Moscow, ASV, 2015, 320 p.

8. Lushnikov V.V. *Upadet li Nev'yanskaya bashnya. I kak vypryamlyali Pizanskuyu kampanilu* [Will Nevyansk tower fall. And how to straighten the Pisa Campanile]. Ekaterinburg, Uchebnaiia knuga, 2011, 88 p.

9. Lushnikov V.V., Orzhekhovskii Iu.R., Epp A.Ia., Smetanin M.V. *Sposob stroitel'stva i analiza napriazhenno-deformirovannogo sostoianiia zdaniy, sooruzheniy i drugikh protiazhennykh po vertikali ob'yektov na neravnomerno szhimayemykh gruntakh* [The method of construction and analysis of the stress-strain state of buildings, structures and other vertically extended objects on unevenly compressible soils]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2476642 (2013).

10. Solomin V.I., Lushnikov V.V., Orzhekhovskiy YU.R. *Adaptivnoye upravleniye parametrami gruntov i fundamentov pri vozvedenii sooruzheniy* [Adaptive management of soil and foundation parameters during the construction of structures]. *Sbornik trudov nauchnoi konferentsii SPbGASU*. Saint Petersburg, 2012, pp. 337-342.