



Д. В. КАРЕЛИН
Ю. Э. ЧМИР

АРХИТЕКТОНИКА РАСТЕНИЙ В АСПЕКТЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПРИРОДОПОДОБНЫХ ОБЪЕКТОВ

ARCHITECTONICS OF PLANTS IN ASPECT OF FORMATION
OF NATURE-LIKE OBJECTS

Большой интерес современного научного общества к архитектурной бионике обусловлен значительной практической направленностью этой науки, изучающей принципы построения и функционирования биологических систем, прежде всего с целью создания новых бионических объектов, характеристики которых были бы столь же совершенными и высокоэффективными, как в живых системах. Архитектурно-бионическая практика породила необычные формы, целесообразные в функционально-утилитарном отношении. Архитектурной бионике может многое предложить семейство злаков, несущее в себе свойство упругости и устойчивости к изгибу и разрушению. В структуре статьи раскрывается понятие устойчивой архитектуры. За основу исследования берётся бионический объект, отображённый в виде стебля пшеницы, свойства которого позволяют пшенице претерпевать атмосферные воздействия при имеющейся нагрузке колосом, который в значительной степени превышает собственный вес соломины. Рассматриваются свойства упругости стебля пшеницы через модуль Юнга (E), обеспечивающий устойчивость к полеганию. В экспериментальной части приводится объяснение механической прочности стебля пшеницы, характерной для большинства злаков, за счёт высоты, диаметра стебля, их соотношения, толщины стенок соломины, развития механических тканей. В качестве примера преимущественных свойств стебля пшеницы приводятся расчёты относительного объёма с использованием стандартных материалов при возведении зданий и сооружений.

Ключевые слова: бионика, устойчивость, архитектоника растений, стебель пшеницы, модуль упругости, устойчивая архитектура

The great interest of modern scientific society in architectural bionics is due to the significant practical orientation of this science, which studies the principles of construction and functioning of biological systems, primarily with the aim of creating new bionic objects whose characteristics would be as perfect and highly effective as in living systems. Architectural-bionic practice gave rise to unusual forms, suitable in a functional and utilitarian sense. The architectural bionics family can offer a lot of cereals, which have the property of elasticity and resistance to bending and fracture with a few materials. In wheat, as in a number of other grain crops, the strength of the stem is determined by a set of features of the anatomical structure. The structure of the article reveals the concept of sustainable architecture, referring to antiquity. The basis of the study is a bionic object displayed in the form of a stalk of wheat, the properties of which allow wheat to undergo atmospheric influences under the existing load of ears, which greatly exceeds the own weight of the straw. The properties of the elasticity of the stem of the wheat are examined through the Young's modulus (E), which provides resistance to lodging. In the experimental part, an explanation is given of the mechanical strength of the wheat stalk, characteristic of most cereals, due to: height, diameter of the stem, their ratio, the thickness of the walls of the straw, the development of mechanical tissues. For an illustrative example, the predominant properties of the stalk of wheat, the calculations of the relative volume using standard materials in the construction industry of uplifting buildings and structures are given.

Keywords: bionics, resistance, plant architectonics, wheat stalk, modulus of elasticity

Основной целью изучения архитектурной бионики является уменьшение номенклатуры материалов и энергии, необходимой для их производства, при этом создаваемый объект использует прогрессивные конструктивные возможности зданий и сооружений. Примером легких конструкций и одновременно способных воспринимать значительные усилия в архитектурной бионике выступает природа, служащая источником рациональных и утилитарных решений для технического прогресса. Природоподобные здания и сооружения обуславливаются не только формой, заимствованной из природы, но и учитываются тектонические особенности и закономерности [1].

В строительной бионике легкие конструкции, взятые по аналогии из природы, служат вдохновением для технических решений. Подобно тому, как Эйфелева башня была построена с использованием принципов полых трубок (как и некоторые кости в организме человека), биологические структуры могут служить моделями для разработки новых строительных материалов и конструкций. Например, стебель злаков (соломина) несет в себе большую прочность за счет взаимных расположений прочных и мягких тканей, способность которых заключается в восприятии знакопеременных нагрузок. Большую роль играет в стебле злаков веретенообразная форма и расположенные на них узлы, представляющие собой встроенные упругие шарнирные демпферы. При активных атмосферных осадках возможность вырвать дерево с корневой системой более вероятна, чем стебель злаков.

Цель и постановка задачи исследования

Изучить параметры прочности и устойчивости растений при эквивалентных нагрузках в аспекте адаптации таких параметров, как уменьшение веса зданий и сооружений за счет оптимизации геометрических размеров сечения конструкций. Определить оптимальные пропорции путем обоснования напряженно-деформируемого состояния. Выявить структуры в природе, используя не только внешние сходства, но и конструктивные особенности бионических объектов с внедрением в архитектурную бионику. Определить опоры стоечного типа в структуре растений семейства злаков, вычислить пропорции, влияющие на сохранение упругости и устойчивости в существующих в природе бионических объектах.

Устойчивость в архитектурном проектировании

Устойчивость в архитектуре – способность сохранять и передавать последующим поко-

лениям характерные стилистические черты, отражающие те или иные философские, религиозные и художественные представления, выраженные в объемно-пространственной композиции, декоре, конструкциях зданий и сооружений [2].

Древняя архитектура была более устойчивой, так как использовались локальные и многообразные ресурсы. Люди привыкли строить жилища таким способом, который не позволял тратить слишком много энергии и материалов.

Устойчивость в архитектуре – это результат рефлексии, которую еще нужно достичь знаниями, полученными благодаря процессам, происходящим в природе [3].

Упругость

Природа создаёт различные материалы и конструкции самыми разнообразными способами. Интересно понять взаимосвязь между структурой и свойствами биологических материалов для разработки и развития искусственно полученных материалов и конструкций. Встает вопрос об основах природных аналогов, которые имеют более высокую производительность, чем существующие.

Идея о том, что здания будущего могут быть вдохновлены знаниями и пониманием структуры и функционирования растений, может помочь многим научным исследованиям – от ботаники до архитектуры.

Важным приспособлением растений к обитанию в наземной среде явилось развитие у них комплекса тканей и анатомических структур, обеспечивающих прочность их осевых и боковых органов, устойчивость к механическим нагрузкам. Обратим, например, внимание на такую часто используемую в быту культуру, как пшеница – семейство злаки, род травянистых, в основном однолетних, которая занимает ведущее место как важнейшая продовольственная зерновая культура во многих странах. Прочность, упругость и устойчивость стебля к полеганию являются обязательным критерием качества сорта пшеницы [4].

Упругость описывается с помощью модуля Юнга (E), который связывает нормальное напряжение и относительное удлинение материала при его деформации. Коэффициент описывает значение упругости материала и не зависит от геометрических особенностей стебля пшеницы (рис. 1).

Экспериментальные исследования

В исследованиях, посвященных продуктивности пшеницы, часто подвергаются экспериментам мягкие сорта. Это обуславливается тем, что твердые сорта пшеницы требуют континентального

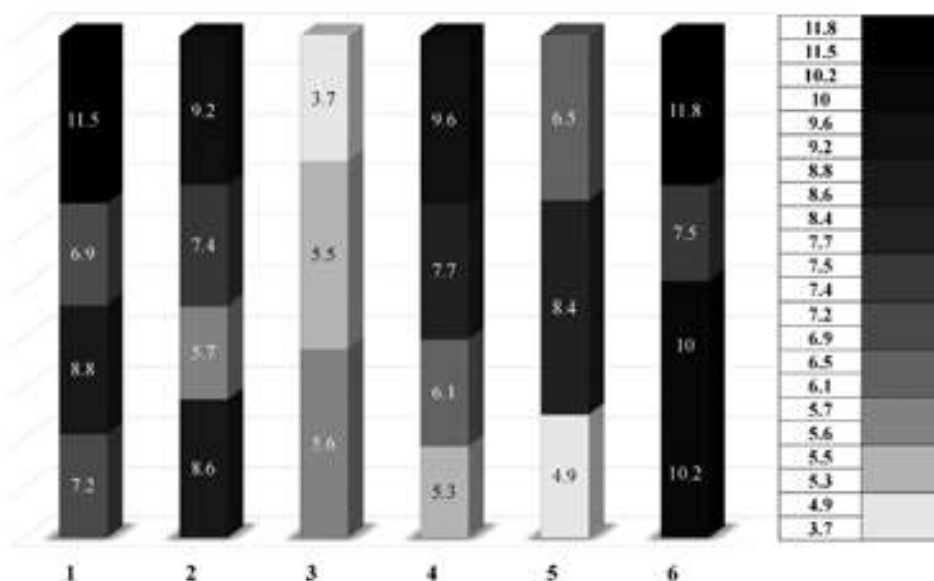


Рис. 1. Значение модуля упругости (Е) стебля у видов пшеницы в период уборки (ГПа)*.

Виды пшеницы: 1 – T.monococcum; 2 – T.timopheevii; 3 – T.durum 'Augusto';

4 – T.spelta; 5 – T.aestivum 'Pavon'; 6 – T.zhukovskyi. Шкала модуля упругости (Е)

*(Лазаревич с.В. Упругие свойства стебля пшеницы // Известия Академии аграрных наук Республики Беларусь. 1997. № 4. С. 55 (табл. 5)

климата, чистых неистощенных почв и по урожайности, как правило, уступают мягким сортам.

Для анализа нами были взяты данные из опубликованных статей, непосредственно посвященных продуктивности стебля сортов мягкой пшеницы в процессе селекции. Это позволило произвести расчеты для дальнейшего анализа бионических объектов с применением часто используемых строительных материалов в соответствующей отрасли, при имитации наложения различных строительных материалов на условно взятую форму подколосового междоузлия стебля пшеницы.

Прочность стебля и устойчивость к полеганию являются обязательными критериями качества сорта пшеницы [5], и во многом данные показатели зависят от типа поперечного сечения. Стебель представляет собой соломину цилиндрической формы, она может быть полая у мягкой пшеницы или заполненная рыхлой паренхимной тканью под колосом у твердой пшеницы.

Стебель пшеницы обладает соотношением объема элемента и веса. Сам стебель мягкой яровой пшеницы представлен полый в междоузлиях соломиной, имеющей метамерное строение. Каждый метамер включает в себя узел, междоузлие, лист и пазушную почку [6] (рис. 2). Под микроскопом показано объяснение механической прочности стебля пшеницы (рис. 3).

Междоузлие на поперечном срезе имеет следующий вид, характерный для большинства злаков. Снаружи стебель покрыт тонкой эпидермой, самой прочной тканью, под которой расположена первичная кора. Она сильно редуцирована и представлена островками хлоренхимы с проводящими пучками первичной коры. Глубже расположено кольцо склеренхимы, составляющей основную часть механической ткани, и усиливается изнутри давлением других тканей, придающим прочность стеблю. Далее расположена основная ткань – паренхима, в самой сердцевине которой у мягкой пшеницы имеется полость – медуллярная лакуна.

Внутренняя стенка стебля построена в виде градиентов, размер ячеек и толщина стенки ячейки изменяются постепенно и сливаются в друг с другом, что способствует прочности стебля. Именно поэтому внутренняя стенка стебля построена в виде градиентов, в которых различные свойства, размер таких ячеек и толщина стенки ячейки изменяются постепенно и сливаются в жидкость друг с другом, что делает композиционный материал более устойчивым и упругим (см. рис. 3).

Рассмотрим поперечное сечение стебля пшеницы под микроскопом и тем самым аргументируем механические свойства прочности семейства злаки. Наружный слой твердой, лиг-

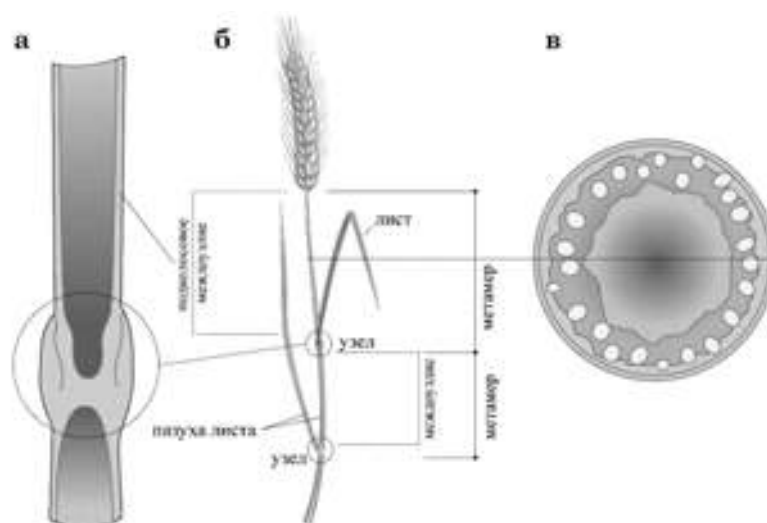


Рис. 2. Строение стебля пшеницы:
б – колос пшеницы; а – продольный срез;
в – поперечное сечение колосonoсного междоузлия

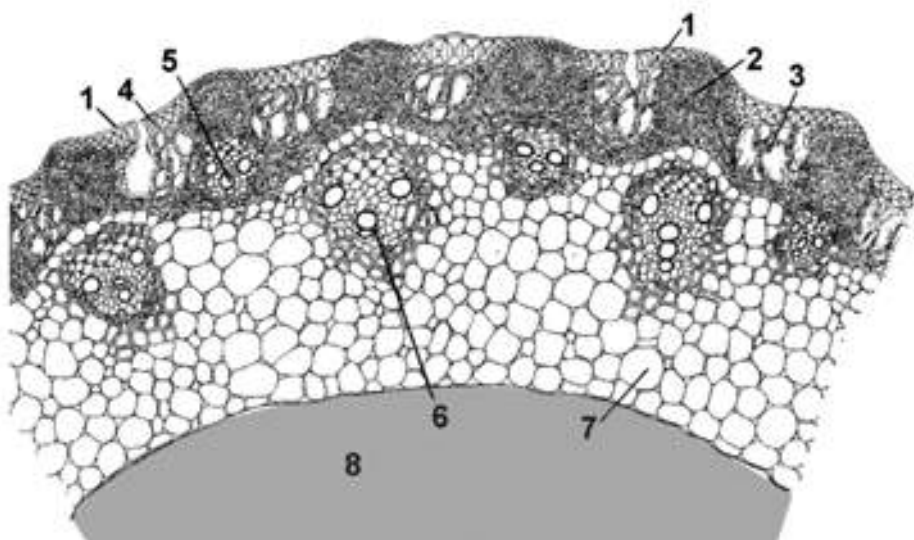


Рис. 3. Микроскопическое изображение (увеличение на 100 см)
поперечного сечения стебля пшеницы:

- 1 – эпидермис; 2 – хлоренхима; 3 – островки хлоренхимы; 4 – склеренхима (механическая ткань); 5 – проводящие пучки первичной коры; 6 – проводящие пучки паренхимы; 7 – паренхима (основная ткань); 8 – медулярная лакуна (полость)

нифицированной (древесной) ткани, называемой склеренхимой, усиливается изнутри давлением других тканей, таких как сосудистая ткань и паренхима (см. рис. 3). Вся структура образует цилиндр с самой сильной тканью снаружи. Но у растения есть еще один дополнительный участок, воспринимающий усилия: за внешней стенкой стебля находится волокнистый композитный материал. Лигнифицированные волокна внедряются в более мягкие внутренние ткани, образуя материал, сопоставимый по структуре с железобетоном, – композитный ма-

териал, изготовленный из бетонной матрицы, покрытой стальными подкреплениями [7].

Толщина соломины, ее анатомическое строение (толщина стенок соломины и склеренхимного кольца, количество проводящих пучков) определяют устойчивость пшеницы против полегания. Наличие небольших периферических проводящих пучков, обслуживающих хлоренхиму, крупных пучков в паренхиме стебля, кольца склеренхимы перициклического происхождения обеспечивает высокую устойчивость стебля против постоянно возникающих осевых

нагрузок. Упругие свойства стебля усиливаются также благодаря ритмическому чередованию крупных и малых пучков и наличию у крупных пучков склеренхимы обкладок, хорошо развитых со стороны ксилемы и флоэмы [3].

Стебель по длине разделен на 5–6 участков узлами в виде кольцеобразных утолщений. Участки стебля между узлами называются междоузлиями. Первым нижним междоузлем принято называть промежуток между двумя коль-

цеобразными утолщениями, расположенными над узлом кушения. Длина его неодинакова: в зависимости от сорта и условий выращивания она может колебаться от 2 до 15 см. Длина второго и последующих междоузлий при нормальных условиях роста превышает длину первого. Наиболее длинное у растений последнее колососное междоузлие. Подколосовое междоузлие является оптимальным параметром для характеристики целостного растения (табл. 1).

Таблица 1

Соотношение высоты колоса к высоте верхнего междоузлия

Сорт	Высота пшеницы*, м	Длина колососного междоузлия, м	Отношение длины колососного междоузлия к высоте растения, %
Симбирцит, стандарт	0.659	0.322	48.86191199
Йолдыз	0.671	0.311	46.34873323
Иделле	0.64	0.302	47.18750000
Хаят	0.647	0.253	39.10355487
К-43/04-1	0.674	0.29	43.02670623
Л-48/04-2	0.714	0.325	45.51820728
О-192/03-5	0.774	0.328	42.37726098
Среднее значение	0.682714286	0.304428571	44.63198208

*Признаки продуктивности новых сортов и перспективных линий яровой мягкой пшеницы селекции Татарского НИИСХ / Василова Н.З., Асхадуллин Д. Ф., Асхадуллин Д. Ф., Багавиева Э. З., Тазутдинова М. Р., Хусаинова И.И., Насихова Г.Р. Казань, 2016.

Для начала нами был подсчитан процент длины подколосового междоузлия от высоты всего растения. Затем найдено среднее значение полученных процентов различных сортов мягкой яровой пшеницы для дальнейших вычислений.

Нам не известен вес подколосового междоузлия, так как исследователи, занимающиеся улучшением агрокультур в процессе селекции, придают огромное значение лишь анатомической структуре стебля мягкой яровой пшеницы, включая высоту, массу зерна и количество получившегося зерна главного колоса. Но исходя из известных показателей, относящихся к рассматриваемой агрокультуре, мы можем получить необходимые данные для анализа (табл. 2).

В свою очередь мы знаем, что отношение массы зерна к массе соломы должно соответствовать не менее 1:1,2 и не более 1:0,5.

Среднее значение площади сечения пустотелого стебля мягкой яровой пшеницы (рис. 4, табл. 4) можно определить по формуле

$$S = S_2 - S_1 = \frac{\pi d_2^2}{4} - \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{\pi(d_2^2 - d_1^2)}{4}. \quad (1)$$

Таблица 2

Масса зерен в колосе пшеницы

Сорт	Масса зерна в колосе*, кг
Диамант	0.0014
Лютесценс 62	0.0014
Артемовка	0.0020
Краснозерновая	0.0015
Московская 35	0.0018
Симбирка	0.0018
Энита	0.0019
Иволга	0.0024
Лада	0.0017
Биора	0.0023
Среднее значение	0.0018

* Хоссин Дждеид, Пыльнев В.В., Рубец В.С. Изменение анатомической структуры стебля мягкой яровой пшеницы в процессе селекции в центральном районе нечерноземья // Известия ТСХА. 2005. Вып. 4 (табл. 2).

Таблица 3

Соотношение массы зерна в колосе к массе колосоносного
междоузлия соломины пшеницы

Соотношение	Масса зерна колоса, кг	Масса соломы в соотношении с массой зерна колоса, кг	Масса колосоносного междоузлия соломины, кг
Не более 1:0,5	0.00182	0.00091	0.000406151037

Таблица 4

Площадь сечения поперечного среза середины
колосоносного междоузлия стебля пшеницы

Сорт	d_1 , м (диаметр соломины)*	d_2 , м (диаметр медуллярной лакуны)	Площадь сечения пустотелого стебля
Диамант	0.00256	0.00193	0.000002220530
Лютесценс 62	0.0024	0.00175	0.000002117538
Артемовка	0.00271	0.00197	0.000002718612
Краснозерновая	0.00257	0.00183	0.000002555960
Московская 35	0.00254	0.00182	0.000002464272
Симбирка	0.00251	0.00182	0.000002345345
Энита	0.0025	0.00172	0.000002583906
Иволга	0.0027	0.00187	0.000002977584
Лада	0.00233	0.00158	0.000002302013
Биора	0.00261	0.00180	0.000002804099
Среднее			0.000002508986

* Хоссин Джейд, Пыльнев В.В., Рубец В.С. Изменение анатомической структуры стебля мягкой яровой пшеницы в процессе селекции в центральном районе нечерноземья // Известия ТСХА. 2005. Вып. 4 (табл. 3)

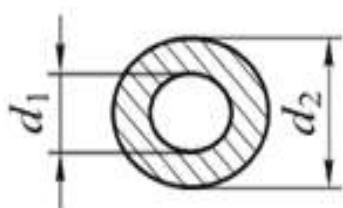


Рис. 4. Схема площади сечения
для пустотелого стебля пшеницы

Приведем сводную таблицу используемых стандартных материалов в строительстве и материалов, относящихся к колосоносному междоузлию стебля пшеницы (табл. 5). В первом столбце перечислены исследуемые материалы; во втором – фактический вес исследуемого материала, содержащегося в 1 м³; в третьем – вес исследуемого материала, содержащегося в условно взятой форме колосоносного междоузлия стебля пшеницы (табл. 6).

Приведенные расчеты (табл. 7) показывают, что в процентном соотношении взятого условного объема и массы материалов больший процент у пшеницы, чем у исследуемых материалов, активно используемых при возведении зданий и сооружений.

Проанализировав анатомическое строение стебля пшеницы и обозначив основные особенности формообразующего – размеры и строение стебля, можно сделать вывод, что имеют значение такие признаки, как высота, диаметр стебля, их соотношение, толщина стенок соломины, развитие механических тканей. Влияние всех этих признаков тесно переплетается, и значение каждого признака выявляется лишь при равенстве других показателей. В связи с этим в некоторых исследованиях не обнаруживалось четкой связи между полегаетостью, высотой и диаметром стебля. Нетрудно понять, что высокий, но толстый стебель с прочными стенками может оказаться устойчивее короткого, но не прочного стебля.

Таблица 5

Вес при одном килограмме и при полученном условном объеме
используемого материала

Материал	Вес содержащегося материала, кг	
	в 1 м ³	в полученном V, м ³
Растительная конструкция (пшеница)	1.276189684	0.000406151037
Бетонная конструкция	2376	0.001814805
Деревянная конструкция (ель сухая)	450	0.000343713
Металлическая конструкция (сталь легированная)	7850	0.005995884

Таблица 6

Поэтому необходимо учитывать весь комплекс анатомо-морфологических признаков стеблей пшеницы, главнейшими из которых, как указывают В.Ф. Дорофеев и В.И. Пономарев, следует считать высоту стебля и отношение его высоты к диаметру.

Архитектоника растений

В книге «Архитектоника растений» В.Ф. Раздорский посвящает пункт одной из глав пропорциям размеров осевых органов растений и вводит такое понятие, как показатель «стройности». Данный показатель обуславливается отношением высоты растений к диаметру основания стеблей. Также автор акцентирует внимание на классической «стройности» низкорослых стеблей растений.

Например, стебель–колонна–балка с пропорциями размеров, как у соломы ржи (рис. 5, а), способен без нарушения прочности и даже не переходя за предел упругости выдержать весьма сильное искривление продольной оси – очень значительный и относительный прогиб – тогда как стебель из того же материала, но с более «громоздкими» пропорциями (как, например, на рис. 5, б) уже при незначительном относительном прогибе претерпел бы излом. Совершенно очевидно также, что при ветре данной «силы» из стеблей, построенных из одинакового материала, стебель более громоздкой конструкции (рис. 5, в) дал бы прогиб со стрелой прогиба, значительно меньшей по отношению к длине, нежели прогиб стебля конструкции менее громоздкой [8].

Как и башня, стебель пшеницы должен оставаться вертикальным, несмотря на ветер и погоду, при использовании минимальных материалов. Конструктивное решение в каждом случае одно и то же: нижняя структура является полый и трубчатой, а не твердой, сохраняя большую часть прочности без большой массы.

Аддитивные технологии

Обратимся к первичным прообразам стебля пшеницы – железобетонные полые

Сводная таблица условного объема
формообразующего объекта стебля пшеницы

L соломины	0.304428571	м
S сечения соломины	0.0000025089856000	м ²
V	0.0000007638	м ³

Таблица 7

Процентное соотношение,
зависимое от условного объема части стебля
пшеницы и веса используемого материала
для данного условного объема

Материал	%
Растительная конструкция (пшеница)	0.1880598183
Бетонная конструкция	0.0420875421
Деревянная конструкция (ель сухая)	0.2222222222
Металлическая конструкция (сталь легированная)	0.0127388535

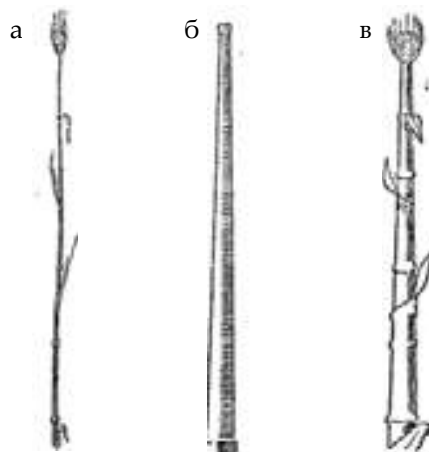


Рис. 5. Схематическая иллюстрация закона
Галилея–Барба–Кика:

а, б – пропорции размеров соломины ржи с колосом и дымоходной трубы высотой 140 м; в – пропорции размеров воображаемой соломины, которая при высоте в 140 м смогла бы находиться в устойчивом упругом равновесии при отвесном положении [8]

элементы цилиндрической формы (трубы), являющиеся инженерными сооружениями. Данные конструктивные элементы применяются в организации ливневых стоков, для отвода бытовых и промышленных стоков, устройства водоотведения через автодороги; сборки магистралей для транспортировки жидкости.

Нужно сказать, что соломина далеко превосходит любые инженерные сооружения по величине отношения высота/диаметр. У пшеницы это отношение достигает 300–400 и более, тогда как у заводских труб оно не превышает 20–25 [9] (табл. 8).

Таблица 8*

Процентное соотношение, зависящее от условного объема части стебля пшеницы и веса железобетона для данного условного объема

Вид материала	%
Пшеница	78.3582576052
Железобетон	0.0375000000

* Типовые конструкции, изделия и узлы зданий и сооружений. Серия 3.501.1–144 «Трубы водопропускные круглые железобетонные сборные для железных и автомобильных дорог».

Расчеты железобетонных материалов, применяемых для условной формы верхнего междоузлия, не дают приближенных результатов соотношения объема и веса элемента.

Выводы. Одним из направлений архитектурной бионики является растительный мир, который включает в себя устойчивость объемно-пространственной конструкции, принципы и методы организации форм при проектировании, строительстве зданий и сооружений.

Два неотъемлемых фактора – устойчивость и упругость, влияющих на конструктивные особенности, объединены в стебле пшеницы семейства злаки. Результативные сравнения приведенных величин, указанные в табл. 7, подтверждают дальнейшую актуальность исследования, что способствует детальному изучению формирования тканей, структуры, физических свойств, конструктивных особенностей и семейства злаки с целью воплощения полученных знаний в архитектуре. Стебель пшеницы при удивительно малом количестве материала обладает большой прочностью на изгиб и выдерживает потоки ветров и атмосферных осадков, что является ярким примером обеспечения максимальной прочности наиболее рациональным путем.

Основные принципы возведения зданий и сооружений, положенные в основу архитектурной бионики, обуславливаются обеспе-

чением оптимальной надежности – преимущественной формы при экономии энергии и материалов, что уже заложено природой в «живых» системах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сапрыкина Н.А. Основы динамического формообразования в архитектуре. М.: Архитектура - С, 2005. 312 с.
2. Лейзерова А.В. К пониманию устойчивости в архитектуре // Международный научно-исследовательский журнал. Екатеринбург, 2017. № 03(57). Ч. 2. 155 с.
3. Альберто Т. Эстевес: Устойчивость: настоящее и будущее (архитектура и города) [Электронный ресурс] / Т. Афонина // BERLOGOS. 2016. Режим доступа: <http://www.berlogos.ru/interview/ustojchivost-nastoyashee-i-budushee-arhitektura-i-goroda/>.
4. Дорофеев В.Ф., Пономарев В.И. Проблема полягания пшеницы и пути её решения» / ВНИИТЭИСХ МСХ СССР. М., 1970. 124 с.
5. Лазаревич С.В. Упругие свойства стебля пшеницы // Известия Академии аграрных наук Республики Беларусь. 1997. № 4. С. 53–57.
6. Хоссин Дждеид, Пыльнев В.В., Рубец В.С. Изменение анатомической структуры стебля мягкой яровой пшеницы в процессе селекции в центральном районе нечерноземья // Известия ТСХА. 2005. Вып. 4. С. 53–58.
7. Bionic structures: from stalks to skyscrapers», Biology, Engineering, Physics // UNDERSTAND , vol. 12 I Issue 40: Summer 2017 I Science in School.
8. Раздорский В.Ф. Архитектоника растений. М.: Советская наука, 1955. 150 с.
9. Типовые конструкции, изделия и узлы зданий и сооружений. Серия 3.501.1–144 «Трубы водопропускные круглые железобетонные сборные для железных и автомобильных дорог».
10. Zahedinia S. The role of Bionic architecture in achieving sustain-ability (Case study: Mashhad metropolitan) / S. Zahedinia // International Journal of Scientific & Engineering Research, Vol. 7, Issue 11, November-2016. Pp. 211–217.
11. Siddaiah A. Advances in Bio-inspired Tribology for Engineering Applications / A. Siddaiah, P. L. Menezes // J Bio Tribo Corros - Springer 2016. Pp. 2:23. DOI 10.1007/s40735-016-0053-0.
12. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. 17-е изд., испр. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 542 с.: ил.
13. Yin J., Yang W. Review of the research on “structural bionic” method of large sculpture // IOP Publishing Conf. Series: Materials Science and Engineering 242 (2017) 012083 DOI:10.1088/1757-899X/242/1/012083.
14. Дорофеев В.Ф., Пономарев В.И. Проблема полягания пшеницы и пути её решения / ВНИИТЭИСХ МСХ СССР. М., 1970. 124 с.

15. Sun J, Dai Z. Bionics today and tomorrow. *Acta Biophysica Sinica*, 2007, 32(2): 109–115.

REFERENCES

1. Saprykina N.A. *Osnovy dinamicheskogo formoobrazovaniya v arkhitekture* [The basics of dynamic shaping in architecture]. Moscow, Arkhitektura – S Publ., 2005. 312 p.

2. Leyzerova A.V. To understanding sustainability in architecture *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Research Journal], 2017, no. 03 (57), pp. 150–151. (in Russian)

3. Alberto T. Estevez: Sustainability: present and future (architecture and cities) BERLOGOS (2016). Available at: <http://www.berlogos.ru/interview/ustojchivost-nastoyashee-i-budushee-arhitektura-i-goroda/> (accessed 23 march 2016).

4. Dorofeyev V.F., Ponomarev V.I. *Problema polevaniya pshenitsy i puti ee resheniya* [The problem of lodging wheat and ways to solve it]. Moscow, VNIITEISKH MSKh SSSR Publ., 1970. 124 p.

5. Lazarevich S.V. Elastic properties of the stem of wheat. *Izvestiya Akademii agrarnykh nauk Respubliki Belarus* [News of the Academy of Agricultural Sciences of the Republic of Belarus], 1997, no.4, pp. 53–57. (in Russian)

6. Khossin Dzhdeid, Pylnev V.V., Rubets V.S. Changes in the anatomical structure of the stem of soft spring wheat during selection in the central region of the non-black soil. *Izvestiya TSKhA* [News TSHA], 2005, vol. 4, p. 53–59. (in Russian)

7. Bionic structures: from stalks to skyscrapers. [Biology, Engineering, Physics UNDERSTAND], 2017 Vol. 12 I. 40.

8. Razdorskiy V. F. *Arkhitektonika rasteniy* [Plant architectonics]. Moscow, Sovetskaya nauka Publ., 1955. 431 p.

9. Culverts, round reinforced concrete prefabricated pipes for railways and highways. *Tipovyye konstruksii. izdeliya i uzly zdaniy i sooruzheniy* [Typical constructions, products and units of buildings and structures], Series 3.501.1–144.

10. Zahedinia S. The role of Bionic architecture in achieving sustainability (Case study: Mashhad metropolitan). *Mezhdunarodnyy zhurnal nauchnykh i inzhenernykh issledovaniy* [International Journal of Scientific & Engineering Research], 2016, Vol. 7, I. 11, p. 211–217. (in English)

11. Siddaiah A. Menezes P. L. Advances in Bio-inspired Tribology for Engineering Applications. *Zhurnal Bio Tribo Korros* [Journal Bio Tribo Corros], 2016, pp. 2:23. (in English) DOI 10.1007 / s40735–016–0053–0

12. Feodosyev V.I. *Soprotivleniye materialov* [Strength of materials]. Moscow, Publishing House MSTU. N.E. Bauman Publ., 2018. 542 p.

13. Yin J., Yang W. Review of the research on “structural bionic” method of large sculpture. [IOP Publishing Conf. Series: Materials Science and Engineering], 2017 vol. 242. (in English) DOI: 10.1088 / 1757–899X / 242/1/012083

14. Sun J, Dai Z. Bionics today and tomorrow. [*Acta Biophysica Sinica*], 2007, vol. 32 (2), pp. 109–115. (in English)

Об авторах:

КАРЕЛИН Дмитрий Викторович

кандидат архитектуры, доцент, заведующий кафедрой градостроительства и городского хозяйства Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
Институт архитектуры и градостроительства
630008, г. Новосибирск, ул. Белинского, 151
E-mail: ggxsibir@mail.ru

ЧМИР Юлия Эдуардовна

аспирант, ассистент кафедры градостроительства и городского хозяйства
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет,
Институт архитектуры и градостроительства
630008, г. Новосибирск, ул. Белинского, 151
E-mail: yuliya.chmir.95@mail.ru

KARELIN Dmitry V.

PhD in Architecture, Associate Professor, Head of the Urban Planning and Management Chair
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering
Institute of Architecture and Urban Planning
630008, Novosibirsk, Belinskogo str., 151
E-mail: ggxsibir@mail.ru

CHMIR Yulia E.

Postgraduate Student, Assistant of the Urban Planning and Management Chair
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering
Institute of Architecture and Urban Planning
630008, Novosibirsk, Belinskogo str., 151
E-mail: yuliya.chmir.95@mail.ru

Для цитирования: Карелин Д.В., Чмир Ю.Э. Архитектоника растений в аспекте формирования природоподобных объектов // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, № 4. С. 82–90. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.13.
For citation: Karelin D.V., Chmir Yu.E. Architectonics of Plants in Aspect of Formation of Nature-Like Objects. *Gra-dostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019. Vol. 9, no. 4. Pp. 82–90. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.13.