

Международная научная конференция по механике

ШЕСТЫЕ ПОЛЯХОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

*Посвящается 95-летию
со дня рождения С.В. Валландера*

ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ

31 января – 3 февраля 2012 г.

Санкт-Петербург, Россия

УДК 531+532+533+534+539

ББК 22.2

Ш52

Редакционная коллегия:

академик РАН Н.Ф. Морозов (СПбГУ),
профессор С.М. Бауэр (СПбГУ),
профессор С.А. Зегжда (СПбГУ),
профессор Е.В. Кустова (СПбГУ),
профессор С.К. Матвеев (СПбГУ),
профессор Р.Н. Мирошин (СПбГУ),
профессор Е.А. Нагнибеда (СПбГУ),
доцент Е.Н. Поляхова (СПбГУ),
доцент Л.А. Пузырева (СПбГУ),
профессор М.А. Рыдалевская (СПбГУ),
профессор А.А. Тихонов (СПбГУ),
профессор С.Б. Филиппов (СПбГУ),
профессор М.П. Юшков (СПбГУ).

Шестые Поляховские чтения: Избранные труды Международной научной конференции по механике, Санкт-Петербург, 31 января – 3 февраля 2012 г. – М.: Издатель И.В. Балабанов, 2012. – 356 с.

ISBN 978-5-91563-110-5

В сборник включены избранные труды, представленные на Международной научной конференции по механике «Шестые Поляховские чтения», посвященной 95-летию со дня рождения Сергея Васильевича Валландера (1917–1975). Обсуждаются современные проблемы теоретической и прикладной механики, динамики космического полета, механики жидкости и газа, механики деформируемого твердого тела, биомеханики, а также истории механики.

Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №11-01-06103-г), Санкт-Петербургского государственного университета (проект №6.44.217.2012) и ООО «Максидом».

ISBN 978-5-91563-110-5

© Коллектив авторов, 2012

© Санкт-Петербургский

государственный университет, 2012

Предисловие

Сборник включает избранные доклады, представленные на Международной научной конференции по механике «Шестые Поляховские чтения», посвященной 95-летию со дня рождения Сергея Васильевича Валландера (1917–1975). Конференция проводилась 31 января – 3 февраля 2012 г. в Санкт-Петербурге на базе Санкт-Петербургского государственного университета.

Организаторы конференции

- Министерство образования и науки РФ,
- Российский фонд фундаментальных исследований,
- Санкт-Петербургский государственный университет,
- Санкт-Петербургский Дом ученых РАН,
- Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,
- Институт проблем машиноведения РАН,
- Балтийский государственный технический университет («Военмех»),
- ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова.

Председатель конференции

Морозов Никита Федорович, академик РАН.

Организационный комитет конференции

Сопредседатели: Леонов Г.А. (член-корр. РАН), Матвеев С.К., Юшков М.П. (СПбГУ).

Ученые секретари: Ворошилова Ю.Н., Пузырева Л.А. (СПбГУ).

Члены оргкомитета

Даль Ю.М. (СПбГУ), Кустова Е.В. (СПбГУ), Лашков В.А. (СПбГУ), Мирошин Р.Н. (СПбГУ), Нагнибенко Е.А. (СПбГУ), Никитин Г.В. (Дом Ученых РАН), Поляхова Е.Н. (СПбГУ), Рыдалевская М.А. (СПбГУ), Рябинин А.Н. (СПбГУ), Тихонов А.А. (СПбГУ), Трифоненко Б.В. (СПбГУ), Усков В.Н. (СПбГУ «Военмех»), Цибаров В.А. (СПбГУ).

Научный комитет конференции

Белецкий В.В. (Россия)
Блекман И.И. (Россия)
Вуличич В. (Сербия)
Евров И.В. (Россия)
Журавлев В.Ф. (Россия)

Маркеев А.П. (Россия)
Мартыненко Ю.Г. (Россия)
Михайлов Г.К. (Россия)
Михасев Г.И. (Беларусь)
Мэй Фунсян (Китай)

Рыжов Ю.А. (Россия)
Смирнов Е.М. (Россия)
Спасич Д. (Сербия)
Степанов С.Я. (Россия)
Товстик П.Е. (Россия)

Иванов М.С. (Россия)
 Индейцев Д.А. (Россия)
 Карапетян А.В. (Россия)
 Каспер Р. (Германия)
 Козлов В.В. (Россия)
 Кривцов А.М. (Россия)
 Левин В.А. (Россия)

Пальмов В.А. (Россия)
 Папаставридис Дж. (США)
 Паскаль М. (Франция)
 Пашин В.М. (Россия)
 Петров Ю.В. (Россия)
 Радев С. (Болгария)
 Ребров А.К. (Россия)

Тхай В.Н. (Россия)
 Федоров М.П. (Россия)
 Фомин В.М. (Россия)
 Черноусько Ф.Л. (Россия)
 Эрикссон А. (Швеция)

Организации-спонсоры конференции

Международная научная конференция по механике «Шестые Поляховские чтения», посвященная 95-летию со дня рождения Сергея Васильевича Валландера, проводилась при финансовой поддержке



Российского фонда фундаментальных исследований (проект №11-01-06103-г)



Санкт-Петербургского государственного университета (проект №6.44.217.2012)



ООО «Максидом»

Научные направления конференции

1. Теоретическая и прикладная механика
2. Динамика космического полета
3. Гидроаэромеханика
4. Механика деформируемого твердого тела
5. Биомеханика
6. История механики

В работе конференции приняли участие более 260 ученых из 12 различных стран, в том числе: Армения, Белоруссия, Германия, Грузия, Израиль, Латвия, Россия (Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск и др.), Сербия, Сингапур, Турция, Украина и Франция.

На открытие конференции присутствовало свыше 300 человек, среди которых было много молодых ученых, студентов, аспирантов, а также представителей из других ВУЗов, научных институтов и организаций Санкт-Петербурга.

В программу пленарного заседания вошли следующие доклады:

- Нагнибеда Е.А., Рыдалевская М.А. (СПбГУ). О жизни и творчестве С.В. Валландера.
- Морозов Н.Ф., Товстик П.Е. (СПбГУ). Формы поверхностной и объемной потери устойчивости.
- Даль Ю.М. (СПбГУ). Некоторые актуальные задачи плоской теории упругости.
- Самсонов В.А. (НИИ механики МГУ). Геометрия и механика. Крест — содержательный геометрический образ в некоторых задачах механики.
- Зегжда С.А., Юшков М.П. (СПбГУ), Солтаханов Ш.Х. (ЧГУ), Spasic Dragan Tomislav (Университет в Новим Саде (Сербия)). Неголономная механика со связями высокого порядка и управление движением.

На секционных заседаниях было сделано 240 докладов.

Секция «Теоретическая и прикладная механика» была разбита на подсекции, отражавшие четыре научных направления: аналитическую механику, колебания и устойчивость механических систем, неголономную механику и прикладные задачи механики.

Влияние геометрии замыкающих клеток на работу устьичного аппарата у растений

С.М. Бауэр, О.В. Иванова, Е.Г. Крылова, А.А. Паутов, Ю.О. Сапач

Санкт-Петербургский государственный университет, Россия

E-mail: s_bauer@mail.ru, egkrilova@yandex.ru, pautov@bio.pu.ru, sapach_yuliya@mail.ru

растений защищены первичной покровной тканью - эпидермой. Большая часть ее клеток плотно примыкает друг к другу. Они покрыты сплошным слоем кутикулы и отложениями кутикулярного воска. Эти гидрофобные соединения предохраняют растения от неконтролируемой потери воды, их обезвоживания. Регуляцию транспирации и газообмена осуществляют устьица. Каждое устьице состоит из пары замыкающих клеток, разделенных сплошным отверстием — устьичной щелью (рис. 1, а). Замыкающие клетки способны к движениям, в результате которых изменяется

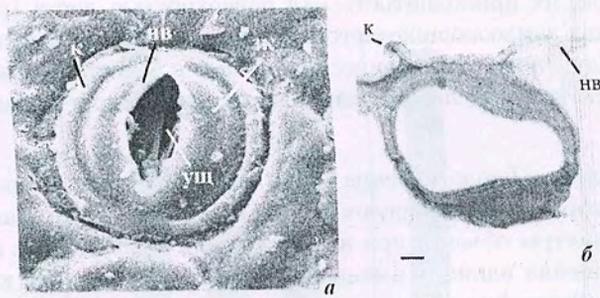


Рис. 1. Строение устьица с перистоматическим кольцом.

а — вид с поверхности, б — поперечный срез оболочки замыкающей клетки; (зк — замыкающая клетка, уш — устьичная щель, нв — наружный кутикулярный выступ, к — перистоматическое кольцо).

Масштабная линейка 1 мкм.

на устьичной щели — от полностью закрытой до широко открытой. Эти движения основываются на изменении внутриклеточного давления (тургорного давления) и особенностях строения клеточных стенок. Открыванию устьиц предшествует повышение в замыкающих клетках тургорного давления. Оно следует за поступлением в клетки воды после регулируемого накопления в них осмотически активных веществ. Характер деформации наполняемых водой клеток определяется, как полагают, неравномерным утолщением их оболочек и/или специфическим расположением в них микрофибрилл целлюлозы [4, 8]. Последние могут охватывать замыкающие клетки, препятствуя их деформациям в поперечном сечении. Поэтому по мере повышения тургорного давления такие клетки стремятся к увеличению длины. Если ограничить их вытягивание утолщенными со стороны щели оболочками, клетки изогнутся и отодвинутся друг от друга. Правомерность высказанных предположений была продемонстрирована с помощью механических моделей, роль замыкающих клеток в которых играли резиновые баллоны с неравномерно утолщенными оболочками и тесьмой, имитирующей микрофибриллы целлюлозы (рис. 2) [12].



Рис. 2. Образование просвета между баллонами с намотанной на них тесьмой, имитирующей микрофибриллы целлюлозы [по Salisbury F.B., Ross, C.W., 1992].

Изложенные взгляды дают достаточно полное представление о структурных особенностях замыкающих клеток, влияющих на механику устьичных движений. Однако, в состав устьичного аппарата могут входить дополнительные структурные образования, прежде всего элементы микрорельефа поверхности. К их числу относятся, в частности, перистоматические кольца, представляющие собой выросты оболочки, опоясывающие замыкающие клетки (рис. 1). Они встречаются в представителем разных групп цветковых растений, не связанных непосредственно родством [1, 9–11, 12]. Связанность элементов микрорельефа к устьицам дает основание для предположения об их участие в работе последних [5, 6].

Цель данной работы — построение на основе морфометрических данных по реальным устьичным делениям, воспроизводящих движения устьичной щели и позволяющих оценить влияние на эти движения геометрии замыкающих клеток.

Материалы и методы. Методами сканирующей и трансмиссионной электронной микроскопии исследованы устьица в эпидерме 22 видов древесных цветковых, имеющих перистоматические кольца. Все они демонстрируют единый план строения. Их объединяет, кроме отсутствия перистоматического кольца, наличие сильно развитых наружных кутикулярных выступов, одинаковый характер утолщения стенок лопочек замыкающих клеток, их приподнятость над поверхностью листа (рис. 1). Оценены толщина оболочки в разных участках замыкающих клеток, величина и положение перистоматического кольца и наружного выступа. Полученные геометрические данные в качестве параметров использованы при построении конечно-элементной модели. Моделирование проведено с использованием программного комплекса ANSYS.

Постановка задачи. Реальные биологические ткани как правило неоднородны и анизотропны. Механические параметры, которые характеризуют степень неоднородности и анизотропии сложно определить. Геометрические параметры объекта при использовании современных приборов определяются с большой точностью. Для оценки влияния именно геометрии замыкающей клетки на ее деформацию при изменении внутреннего давления построен ряд простейших моделей с постоянной и переменной толщиной ее оболочки (рис. 3), наличием и отсутствием перистоматического кольца и наружного выступа. Тургорное давление имитируется созданием распределенной по внутренней поверхности нагрузки. Предполагается, что материал клеток является изотропным, однородным и подчиняется закону Гука. С учетом симметрии устьичного аппарата и его клеток (рис. 1) в моделях рассмотрены половинки замыкающих клеток. Так как принят линейный закон упругости, то деформации клеток пропорциональны величине p/E , где p — нормальное давление, E — модуль упругости стенок клеток. При расчетах принимается $p/E = 2$, коэффициент Пуассона равен 0.48 [7], и оценивается деформация клетки в зависимости от структуры клетки. Таким образом, различие в деформациях объясняется только строением клеток.

При сравнении модельных устьиц с перечисленными выше особенностями их строения учитывается перемещение точки O (рис. 3), являющейся до деформации центром симметрии устьица с координатами $(0, 0, 0)$. Ее положительное перемещение по оси X свидетельствует о том, что устьичная щель открывается, величина перемещений — о ширине щели; по оси Y — о движении щели вверх или вниз относительно исходного положения, при котором устьице закрыто.

Результаты. Модель 1. Замыкающие клетки с оболочками постоянной толщины, без перистоматического кольца и наружных выступов. Для данного типа модельных устьиц отмечены наиболее сильные перемещения точки O . По мере нарастания внутриклеточного давления устьичная щель широко открывается и поднимается над поверхностью листа (рис. 4).

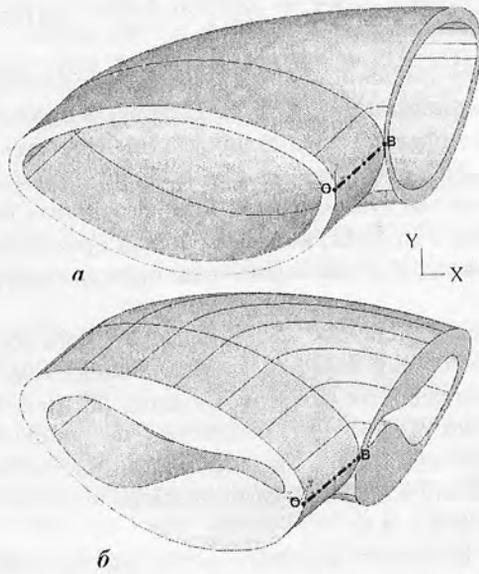


Рис. 3. Объемные реконструкции половинок замыкающих клеток с оболочками постоянной (а) и переменной (б) толщины.

Модель 2. Замыкающие клетки с оболочками постоянной толщины и наружными выступами, без перистоматического кольца. Направление и степень перемещения точки сходны с предыдущим вариантом (рис. 4).

Модель 3. Замыкающие клетки с оболочками переменной толщины без перистоматического кольца и наружных выступов. Оцениваемые перемещения в открывающихся устьицах существенно сокращены, особенно по оси Y. Открывающая устьичная щель лишь слегка приподнята над поверхностью листа (рис. 4).

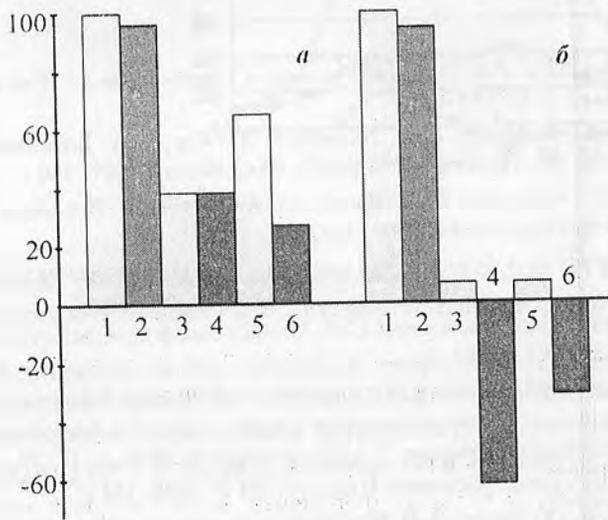


Рис. 4. Диаграммы перемещений точки вдоль осей X (а) и Y (б)

По оси абсцисс — номера моделей; по оси ординат — величина перемещений (% от максимального значения).

Модель 4. Замыкающие клетки с оболочками постоянной толщины и перистоматическим кольцом, без наружных выступов. Направление перемещений точки O по оси Y кардинально изменилось. Открывающаяся устьичная щель погружена вглубь листа. Ширина открытой устьичной щели та же, что и в модели 3.

Модель 5. Замыкающие клетки с оболочками постоянной толщины, перистоматическим кольцом и наружными выступами. Широко приподнятое устье (65% от максимального значения), как и в модели 3, слегка приподнято над поверхностью листа (рис. 4).

Модель 6. Замыкающие клетки с оболочками переменной толщины, перистоматическим кольцом и наружными выступами. Направление движений клеток устьица при повышении в лист тургорного

давления сходно с таковым в модели 4. Здесь, однако, в отличие от той модели, меньше перемещений: открытая щель уже и менее погружена вглубь листа.

Заключение. Необходимый для дыхания кислород, а для фотосинтеза диоксид углерода в листья главным образом через открытые устьица. Одновременно через них же испаряется вода. В процессе эволюции появился ряд приспособлений, призванный снизить такие потери воды. К ним относятся, в частности, погруженность устьиц в ткани листа, наличие структур, прикрывающих устьица сверху - волосков, кутикулярных выступов и др. [2-4]. В результате над устьицами возникают ценные влажной области застойного воздуха, которые должен преодолеть водяной пар, прежде чем будет унесен от листа. Такие приспособления характерны прежде всего для растений, произрастающих в засушливых условиях.

Перистоматическими кольцами обладает ряд так называемых жестколистных растений. Толстые и жесткие листья таких растений нередко рассматриваются как ксероморфные, т.е. как комплекс признаков, предохраняющих их от обезвоживания [2]. Действительно, для листьев с перистоматическими кольцами характерны структуры, снижающие кутикулярную транспирацию: толстые наружные клетки эпидермы, которые часто содержат многочисленные кристаллические включения в виде мощной кутикулой и воском. В то же время, сами устьица этих растений слегка приподняты над поверхностью покровной ткани (рис. 1, а).

Проведенное моделирование позволило оценить влияние рассмотренных структурных особенностей замыкающих клеток на работу устьиц. Наружные кутикулярные выступы прикрывают устьицную щель (рис. 1, а). Наличие перистоматического кольца приводит к тому, что открывающаяся устьицная щель погружается в лист (модель 4). Однако при наличии и кольца, и выступов на замыкающих клетках оболочками постоянной толщины устьицная щель остается приподнятой над листом (модель 5). Она опускается при добавлении третьего признака — неравномерного утолщения оболочек замыкающих клеток (модель 6).

Таким образом, только сочетание неравномерного утолщения оболочек, перистоматического кольца и наружных выступов обеспечивает погружение прикрытых сверху открывающихся устьиц вглубь листа, предохраняя его от потерь воды. То, что при такой комбинации признаков устьицные щели уже, чем в других моделях, не играет негативной роли. Более того, они прикрыты сверху восковыми пробками.

Л и т е р а т у р а

1. Баранова М.А., Остроумова Т.А. Признаки устьиц в систематике // Итоги науки и техники. Сер. ботаника. Т. 6. Вып. 1. С. 173-192.
2. Зитте П., Вайлер Э.В., Кадерайт Й.В., Брезински А., Кернер К. Ботаника. Т.1. Клеточная анатомия. Морфология. М.: Издательский центр «Академия», 2007. 366 с.
3. Зитте П., Вайлер Э.В., Кадерайт Й.В., Брезински А., Кернер К. Ботаника. Т.2. Физиология растений. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 496 с.
4. Мирославов, Е.А. Структура и функция эпидермиса листа покрытосеменных растений. Л.: Наука, 1978. 120 с.
5. Паутов А.А., Яковлева О.В., Колодяжский С.Ф. Микрорельеф поверхности листьев у *Rorippa nasturtium-aquaticum* // Бот.журн. 2007. Т. 87, № 1. С. 63-71.
6. Паутов А.А., Яковлева О.В., Саламатин Ю.О. Строение и функции перистоматических колец в листьях цветковых растений // Фундаментальные и прикладные проблемы ботаники в начале XXI века. Материалы всероссийской конференции. Ч.1. Петрозаводск. 2008. С. 67-69.
7. Шарова Е.И. Клеточная стенка растений. Изд-во СПбГУ, 2004, 154 с.
8. Aylor D.E., Parland J.-Y., Krikorian A.D. Stomatal mechanics // Amer.J.Bot. 1973. Vol. 60. P. 35-47.
9. Brandbyge J. The diversity of micromorphological features in the genus *Coccoloba* (Polygonaceae) // Bot. J. Linn. Soc. 1990. Vol.10, № 1. P. 25-44.
10. Haron N. W., Moore D.M. The taxonomic significans of leaf micromorfology in the genus *Eugenia* L. // Bot.J.Linn.Soc. 1996. Vol.120. P. 265-277.
11. Kong H.Z. Comparative morphology of leaf epidermis in the Chloranthaceae // Bot.J.Linn.Soc. 2002. Vol.138. P. 279-294.
12. Salisbury F.B., Ross C.W. Plant physiology. 4th Ed., Belmont. California: Wadsworth Publishing Co., 1972. 682 p.
13. Srinual A., Thammathaworn A. Leaf anatomy of *Vatica* L. (Dipterocarpaceae) in Thailand // Bot. J. Chulalongkorn Univ. 2008. Vol.8, № 2. P. 121-134.

- С.Б. Филиппов, М.Л. Боярская, И.А. Кулаковский.* Приближенное определение оптимальных параметров в задачах устойчивости и колебаний подкрепленных цилиндрических оболочек 296

Биомеханика

303

- С.М. Бауэр, О.В. Иванова, Е.Г. Крылова, А.А. Паутов, Ю.О. Сапач.* Влияние геометрии замыкающих клеток на работу устьичного аппарата у растений 303
- П.И. Бегун, Д.А. Рубашова, О.В. Щепилина.* Метод исследования структур человеческого организма при использовании клинических данных и пакетов прикладных программ MIMICS И SOLID WORK 307
- В.А. Зимин, Ю.В. Судьенков, Н.В. Вовченко.* О некоторых эффектах, возникающих при взаимодействии акустических и тепловых волн 310
- В.М. Фомин, В.Л. Галимедов, М.И. Мучная, А.С. Садовский, В.Н. Шепелевко.* Численное моделирование течения воздуха в дыхательных путях человека 314

История механики

319

- Г.А. Акимов.* К истории газодинамики сверхзвуковых струйных течений 319
- Л.А. Архангельская, С.И. Дмитриева.* Вклад выпускников математико-механического факультета Санкт-Петербургского (Ленинградского) университета в развитие национальных математических школ и в международное сотрудничество 325
- И.И. Демидова.* Исследования по биомеханике профессора Г.В. Колосова 334
- И.Е. Лопатухина, А.Л. Лопатухин, Н.Н. Поляхов, Е.Н. Поляхова.* Гидромеханика Даниила Бернулли и Леонарда Эйлера в Петербургской Академии Наук — хронология на фоне эпохи 337
- Е.Н. Поляхова, Н.Н. Поляхов.* Об библиографических исследованиях профессора Н.Н. Поляхова по истории публикаций Собраний Сочинений М.В. Ломоносова в России в XVIII–XX вв. (К 300-летию со дня рождения М.В. Ломоносова в 2011 г.) 342
- А.Л. Торговитский.* Основные вехи развития науки 347

Международная научная конференция по механике
ШЕСТЫЕ ПОЛЯХОВСКИЕ ЧТЕНИЯ,
посвященная 95-летию со дня рождения С.В. Валландера:

Избранные труды Международной научной конференции по механике,
Санкт-Петербург, 31 января — 3 февраля 2012 г.

Редактор *Л.А. Пузырёва*

Подписано в печать 20.04.12. Формат бумаги 60×90 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать офсетная. Усл.-печ. л. 356. Тираж 150 экз. Заказ №УП1
Отпечатано на оборудовании ООО «Пантон»
198504, Санкт-Петербург, Старый Петергоф, Университетский пр., д.28

Механика деформируемого твёрдого тела

В.А. Морозов, С.С. Шиндлер. Расчёт в явном и неявном виде с помощью метода конечных элементов при деформации твёрдого тела. Механика деформируемого твёрдого тела. Математическая модель деформации твёрдого тела. Механика деформируемого твёрдого тела. Математическая модель деформации твёрдого тела. Механика деформируемого твёрдого тела. Математическая модель деформации твёрдого тела.