3. *Berg H., Graf T.* Exper. Cell Res., *107*, 417—428, 1977.
4. *Carney D. H., Glenn K. C., Cunningham D. D.* J. Cell. Physiol., *95*, 13—22, 1978.
5. *Macleiru-Coelho A.* Proc. Soc. Exper. Biol. Med., *125*, 549—552, 1967.
6. *Rein A., Rubin H.* Exper. Cell Res., *49*, 666—678, 1968.
7. *Rubin H.* Ciba Found. Symp. on Growth Control in Cell Cultures. Churchill Livingston, London, 127—139, 1971.
8. *Sefton B. M., Rubin H.* Nature, *227*, 843—845, 1970.
9. *Skehan P.* Exper. Cell. Res., *97*, 184—142, 1976.
10. *Stocker M. G. P., Rubin H.* Nature, *215*, 171—172, 1967.
11. *Thrash C. R., Cunningham D. D.* J. Cell. Physiol., *86*, 301—310, 1975.
12. *van der Bosch J.* Exper. Cell. Res., *117*, 111—119, 1978.

Поступило 24.11.1987 г.

Биолог. ж. Армении, т. 41, № 2, 1988 УДК (479.25).581.6

АРХИТЕКТОНИКА КАМЫША ОЗЕРНОГО *SCIRPUS LACUSTRIS* L.

Г. М. САРКИСЯН, Н. П. ХУРШУДЯН

Армянский сельскохозяйственный институт, кафедра ботаники, Ереван

Камыш озерный рассматривается как инженерная конструкция, в частности как сосуд, поддерживающий свою устойчивость за счет гидростатического (тургорного) давления. Сделана попытка определить тургорное давление косвенным путем. Результаты проведенных исследований могут быть полезны при проектировании пневматических конструкций.

Լճային եղեգնուտը դիտվում է որպես ինժեներական կոնստրուկցիա, մասնավորապես որպես ջր կայունությունը պահպանող անոթ, ի հաշիվ հիդրոստատիկ (տուրգորային) ճնշման։ Փորձ է կատարված անուղղակիորեն որոշելու տուրգորային ճնշումը։ Ստացված հետազոտությունների արդյունքները կարող են օգտակար լինել պնևմատիկ կոնստրուկցիաների նախագծման համար։

The lake reed is examined as an engineering construction, in particular as a vessel, supporting its stability due to hydrostatistical (turgorial) pressure. It has been tried to define the turgorial pressure in an indirect way. The results of carried researches can be useful for projecting of pneumatic constructions.

Камыш озерный—архитектоника—тургорное давление.

В последние годы возрос интерес к изучению строения растений как инженерных конструкций, поскольку благодаря длительной эволюции они представляют собой весьма рациональные «конструкции». Ряд биомеханических исследований [1, 2, 4], посвященных изучению архитектоники растений, позволяет использовать некоторые принципы их строения при решении конкретных инженерных задач. Изучением анатомо-морфологических особенностей растений с точки зрения строительной механики занимался выдающийся советский ботаник Раздорский [3].

В настоящем исследовании представлены результаты изучения строительно-механических принципов в строении стебля камыша озерного, обеспечивающих его устойчивость и прочность под механическими нагрузками внешней среды (ветер, атмосферные осадки) и собствен-

ного веса. Выбор камыша озерного в качестве объекта исследования обусловлен его «стройностью» (большим значением отношения длины стебля к его диаметру), представляющей интерес со строительно-механической точки зрения.

Материал и методика. Камыш озерный—многолетнее растение с ползучим толстым корневищем. Стебли цилиндрические, гладкие, высотой 100—250 см, в диаметре до 2,5 см. Стебли у основания одеты в буроватые или красноватые влагалища. Соцветие щитковидно-метельчатое, с неравными по длине, шероховатыми веточками, несущими на концах по 3—5 колосков. Растет по берегам водоемов и в воде, по травянистым болотам и болотным лугам.

Анатомические срезы сделаны по всей длине стебля как в поперечном, так и продольном направлениях.

Результаты и обсуждение. Как видно из схемы поперечного среза нижней половины стебля камыша (рис. 1), под эпидермой *(1)* расположен слой хлоренхимы *(2)*, состоящий из 2—3 рядов плотно сомкнутых

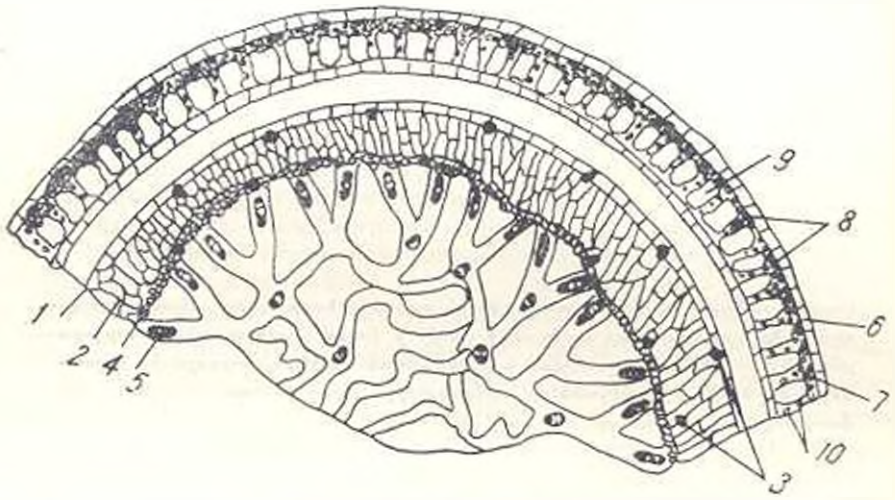

Рис. 1. Схема поперечного сечения стебля с листовым влагалищем. *1.* Эпидерма стебля; *2.* хлоренхима; *3.* участки механической ткани; *4.* паренхимные клетки; *5.* крупные пучки; *6.* эпидерма листа; *7* паренхимные клетки листа; *8.* участки механической ткани листа, *9.* полости; *10.* пучки на перегородках

вытянутых клеток. С наружной и внутренней стороны этого слоя в шахматном порядке расположены округлые участки склеренхимной ткани *(3)*, причем количество этих участков с внутренней стороны хлоренхимного слоя уменьшается от комля к вершине и полностью исчезает приблизительно в середине стебля. Участки склеренхимы, обеспечивая жесткость стебля, вероятно, выполняют в определенной степени и проводящую функцию. Ближе к середине стебля, в местах, где под эпидермой находятся участки склеренхимы, покровная ткань сдавлена и втянута внутрь, в результате чего она приобретает гофрированную форму. Аналогичной волнистостью характеризуются наружные и внутренние контуры хлоренхимы. Степень гофрированности эпидермальной и хлоренхимной тканей возрастает по высоте стебля. Из теории строи-

тельной механики, известно, что гофрированность тканей, т. е. наличие продольных ребер жесткости, значительно повышает устойчивость стебля к продольным и поперечным нагрузкам.

Обеспечивающий устойчивость стебля водонасыщенный слой хлоренхимы представляет собой находящуюся под относительно высоким тургорным давлением кольцевую оболочку, ограниченную с внешней стороны предварительно напряженной, растянутой эпидермой. Опыты показали, что относительное укорочение поперечной полоски, вырезанной из эпидермы стебля, в состоянии наибольшего тургора составляет 6—7%. За хлоренхимой следуют 1—2 ряда паренхимных клеток (*4*), в которые упираются *У*-образные перегородки аэренхимной ткани стебля, образующие как бы перемычки между крупными пустотами. Аэренхимная ткань сердцевины богата крупными межклетниками, соединенными между собой и образующими общую вентиляционную сеть. Эта ткань выполняет также определенную арматурную (механическую) функцию. Ее структура, напоминающая пчелиные соты, обеспечивает устойчивость стебля в водной среде. Перегородки аэренхимы работают наподобие сжатых стоек, благодаря чему внутренний круг оболочки не деформируется, и степень ее насыщенности водой отражается лишь на изменении наружного диаметра стебля. Отсутствие деформации внутреннего круга оболочки обуславливает устранение потери гидростатического давления. Следовательно, тургорное давление, обеспечивающее продольную устойчивость стебля в растениях, достигается наиболее рациональным образом. Напряженность оболочки создается за счет мощных вытянутых сосудисто-волокнистых пучков (*5*), расположенных среди клеток *У*-образных перегородок. Для этих пучков характерна развитая кембрема с крупными сосудами, обеспечивающими максимальный ток воды в сторону хлоренхимы. Склеренхимный «колпак» пучка направлен к центру. Эти особенности пучков характерны

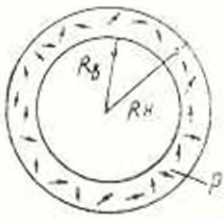

Рис. 2. Расчетная схема.

для нижней половины стебля, ближе к середине они значительно сглаживаются.

Обычно погруженная в воду нижняя часть стебля камыша обхвачена имеющими диаметрально противоположное расположение двумя несомкнутыми рядами листовых влагалищ, придающими стеблю дополнительную жесткость и выполняющими одновременно роль демпфера, так как трение сдвига между листовым влагалищем и стеблем значительно способствует затуханию изгибных колебаний стебля под напором ветра. Несомкнутость листовых влагалищ, вероятно, связана со значительным суточным изменением диаметра стебля.

Под покровной тканью листа (*6*) расположена двух-трехрядная паренхима (*7*) (рис. 1). К верхней эпидерме влагалища через каждые

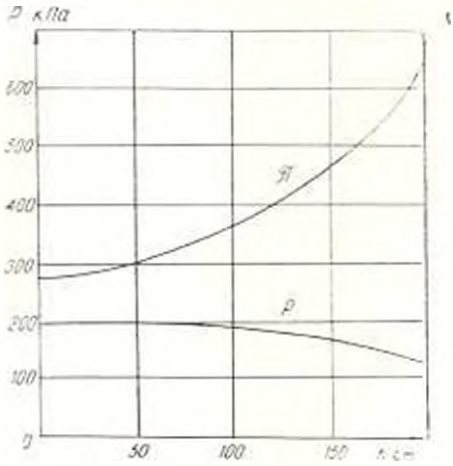

Рис. 3. Изменение тургорного и осмотического давления по высоте стебля.

3—4 эпидермальные клетки обращены округлые участки склеренхимной ткани (*8*), по строению аналогичные таковым в стебле. Между верхней и нижней эпидермами листа равномерно расположены воздухоносные полости (*9*), граничащие с нижней эпидермой. На перегородках между полостями расположены по два—три пучка (*10*). Нужно полагать, что под воздействием внешних механических нагрузок полости листовых влагалищ претерпевают местные деформации, демпфируют, тем самым способствуя затуханию колебаний стебля. Определенный интерес представляет каркасная конструкция листового влагалища, отдельные элементы которой при характерных для них показателях механических свойств отличаются оптимальным соотношением длин.

Поскольку устойчивость стебля камыша озерного в основном поддерживается за счет тургорного давления, небезынтересно было его определение по всей длине стебля.

Примечательно, что стебель камыша озерного, перенесенный из естественного состояния в зажим, имитирующий его закрепление в почве, вследствие потери тургора теряет устойчивость и ломается буквально через 10—15 мин. Необходимо отметить, что в настоящее время методика определения прямого тургорного давления недостаточно разработана [9—11] и применима лишь к крупноклеточным тканям. В этой связи нами сделана попытка косвенным методом определить тургорное давление в водонасыщенном хлоренхимном кольце.

Представим стебель камыша озерного как тонкостенный цилиндрический сосуд с внешней и внутренней оболочкой (рис. 2). Пространство между оболочками, имитирующее хлоренхимное кольцо, находится под тургорным давлением P. Внутренняя оболочка в силу определенных ограничений (сопротивляемости перегородок аэренхимной ткани) не деформируется. Из теории сопротивления материалов известно [8], что зависимость радиальной относительной деформации внешней оболочки от внутреннего давления описывается выражением.

$$F_R = \frac{q \cdot R_н}{E \cdot \delta}\left(1 - \frac{\mu}{2}\right), \qquad (1)$$

где q—внутреннее давление, определяемое из этого выражения; $R_н$—радиус наружной оболочки, δ—толщина кольца; E—модуль упругости оболочки; μ—коэффициент Пуассона.

Согласно ранее проведенным исследованиям [5], модуль упругости внешней оболочки эпидермы с вкрапленными в нее механическими волокнами колеблется от 34000 кПа в нижней части стебля до 23000 кПа в верхней.

При определении относительной деформации (укорочения) измерялся диаметр стебля в состоянии наибольшего тургора—D тур (к 8^{00}—9^{00} часам утра), а затем в состоянии, соответствующем началу плазмолиза,—D пл. Относительное укорочение, равное

$$\varepsilon = \frac{D_{тур} - D_{пл}}{D_{тур}} \cdot 100\%,$$

в зависимости от высоты стебля колебалось в пределах 12—18%. На основании опытных данных коэффициент Пуассона принимается равным 3.1.

График изменения тургорного давления по высоте стебля (рис. 3), подсчитанного из формулы (1), показывает, что в рассматриваемой оболочке оно изменяется в пределах 130—220 кПа.

Осмотическое давление определялось по формуле [7]:

$$\pi = RTC_s, \qquad (2)$$

где C_S—концентрация растворенного вещества—определялась по известной методике [6]; R—универсальная газовая постоянная; T—абсолютная температура.

Осмотическое давление в отличие от тургорного увеличивается с 280 кПа у комля до 650 кПа у вершины стебля.

Можно полагать, что проведенные бионические исследования будут полезны при проектировании пневматических конструкций, применяемых при сооружении временных жилищ для строительных, сельскохозяйственных рабочих, различных хранилищ, для опалубок в строительстве и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лебедев Ю. С.* Архитектура и бионика. М., 1971.
2. II Междунар. конг. стран—членов СЭВ по основным проблемам ботаники. «Бионика-78». *1, 2*, М.—Л., 1978.
3. *Раздорский В. Ф.* Архитектоника растений. М., 1955.
4. *Саркисян Г. М., Хуршудян Н. П.* Реферат статей. «Бионика-86». Научный Совет по кибернетике АН СССР. М.—Л., 1986.
5. *Саркисян Г. М.* Тр. АрмСХИ. *21*. Ереван, 1987.
6. *Сказкин Ф. Д.* Практикум по физиологии растений. М., 1958.
7. *Слейчер Р. О.* Водный режим растений. М., 1970.
8. *Феодосьев В. М.* Сопротивление материалов. М., 1986.
9. *Ahrens K.* Planta, *30*, 113—117, 1939.
10. *Macklon A. E., Weatherley P. E.* Exp. Botan., *16*, 261—270, 1965.
11. *Zimmermann U., Husken D., Stulze E.* Planta, *149*, 445—453, 1980.

Поступило 4.XI 1987 г.