

А.С. Головатюк, к.географ.н., Ю.Н. Соколов*, д.техн.н.

Одесский национальный политехнический университет

*Одесский государственный экологический университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ЕСТЕСТВЕННОЙ БОЛОТНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

Результаты работы направлены на изучение упругости естественной болотной растительности. Приведены результаты полевых экспериментов для тростника обыкновенного. Предложена зависимость для определения стрелы прогиба от точки приложения силы, величины нагрузки, диаметра и состояния растений.

Ключевые слова: коэффициент шероховатости, прогиб растений, геометрия растительности, модуль упругости

Вступление

Взаимоотношения человека и окружающей среды очень актуальны в современном техногенном обществе. Пропускная способность зарастающих русел связана с развитием гидроэнергетики, мелиорации, предотвращением чрезвычайных ситуаций (наводнений, селей и т.д.). Определение коэффициента шероховатости в зависимости от количественных характеристик, описывающих растительность, является новым, прогрессивным направлением, повышающим качество и точность расчётов как меженного, так и максимального стока. Гидравлическое сопротивление русел рек, заросших водной растительностью участков поймы, традиционно оценивается путём сопоставления словесной характеристики с коэффициентом шероховатости [3, 5, 6]. При оценке влияния характеристик, определяющих шероховатость, важным моментом является установление численных параметров, описывающих упругость растительности. Получение зависимости между этими параметрами и коэффициентом шероховатости позволит в дальнейшем определять гидравлическое сопротивление пойм по материалам аэрофотосъёмки без трудоёмких наземных гидравлических измерений.

В логической геоботанике [8] наиболее широко используются такие частные морфологические критерии, как сомкнутость полога, густота леса, диаметр крон, среднее расстояние между растениями, средняя высота и толщина растений.

В 1960 году Е.А. Леонов писал, что “наиболее подходящей характеристикой заросшего русла должен быть коэффициент шероховатости, который учитывал бы не только геометрические размеры и формы, но и некоторые упругие свойства стеблей растений, оказывающие влияние на величину сопротивления. Ввиду наличия стеблей и листьев водной растительности потери энергии не могут целиком определяться сопротивлением трения” [2].

Сопротивление растительности представляет собой сумму сопротивления обтекания со срывами вихрей и сопротивления раскачивания (вибрации); последнее определяется той долей энергии потока, которая тратится на раскачивание и поддержание колебательного движения стеблей.

Потери на раскачивание зависят от упругих свойств стеблей и скорости течения воды в русле.

Нгуен-Таем, Конвенон, Т.Е. Юнни, И.М. Хиллом, Ю.Н. Соколовым [1, 5] предложены различные методы учёта упругости гибкой растительности.

Их недостатком является отсутствие экспериментальных измерений модуля упругости.

Методика определения упругости естественной болотной растительности

Целью данной работы являются экспериментальные исследования в натуральных условиях для естественной болотной растительности деформации тростника под действием постоянной нагрузки водного потока.

При расчёте скорости потока, которая включает влияние шероховатости, необходимо определить высоту водных растений в наклонном состоянии. Для этого в полевых условиях были проведены измерения параметров растительности, по которым в дальнейшем рассчитывался модуль упругости E , г/см² по общепринятым формулам в теории сопротивления материалов [1, 2]. Было проведено 26 опытов, включающих 106 измерений прогиба растений под влиянием переменных условий [1] (рис. 1).

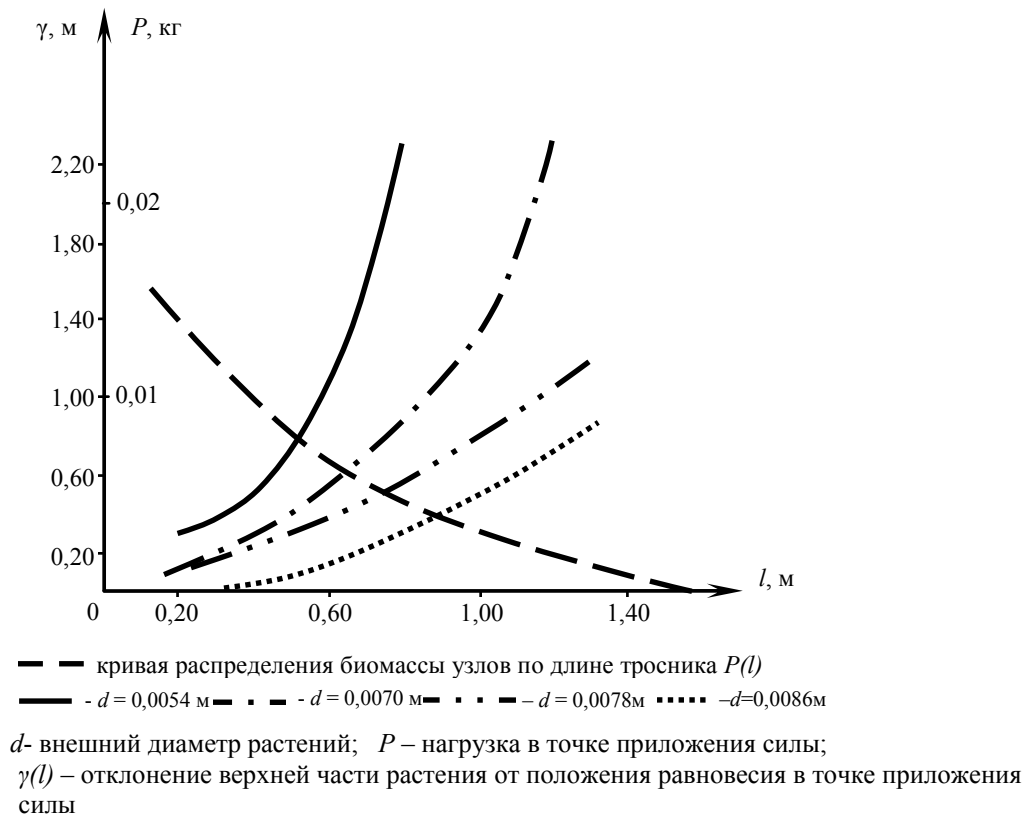


Рис. 1 – Изменение прогиба тростника в зависимости от точки приложения силы.

Поскольку естественная растительность обладает значительной гибкостью уже при малых нагрузках, возникла необходимость создания нагрузок от 0,01 до 0,05 кг. В отличие от существующих механических динамометров в качестве упругого элемента использована резина диаметром 1,5 мм. При измерениях отсчёты производились по линейной шкале. Динамометр был протарирован весовым способом с помощью набора стандартных разновесов в камеральных условиях. Логарифмическая тарировочная кривая аппроксимируется зависимостью

$$P = 0,006 \ln a + 0,16,$$

где a – расстояние на шкале динамометра; P – нагрузка, кг.

Ошибка значений P , рассчитанных по уравнению, составила 24,2 %.

В предварительной серии опытов через равные интервалы в 0,2 м по длине растения прикладывалась постоянная нагрузка в 40 г и измерялся его прогиб, т.е. расстояние, на которое отклонилась верхняя часть растений от положения нормали. Для растений диаметром $d = 0,0054$; 0,0070; 0,0078 и 0,0086 м была построена серия

кривых в координатах $\gamma(\ell) = f(\ell)$, где $\gamma(\ell)$ – отклонение верхней части растений от положения равновесия, ℓ – точка приложения силы. Точка перегиба, соответствующая максимальному градиенту изменения функции, располагается на расстоянии $0,58L$, где L – длина растения. Для выяснения зависимости максимального прогиба от качественных особенностей растений были проведены серии опытов с переменной нагрузкой ($P = 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05$ кг), приложенной в точке $0,58L$. Испытывались свежесрезанные растения с диаметрами $0,0071; 0,0083$ м и высушенные растения с диаметром $0,0057; 0,0078$ м (табл. 1).

Таблица 1 -- Изменение стрелы прогиба при изменении нагрузки, диаметра и качества растения

$d, \text{ м}$	$P, \text{ кг}$					Качество растений
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	
0,0057	0,042	0,096	0,126	0,135	0,235	высушенное
0,0071	0,014	0,031	0,044	0,055	0,069	свежесрезанное
0,0078	0,005	0,014	0,025	0,032	0,040	высушенное
0,0083	0,024	0,045	0,065	0,082	0,094	свежесрезанное

Анализ зависимости $P = f(\gamma(\ell), d)$ показал, что величина прогиба растений определяется не только точкой приложения ℓ и величиной нагрузки P , но также диаметром и состоянием растений. В опытах с одинаковым диаметром $0,0078$ м, но разной степенью сухости растений при нагрузке $P = 0,05$ кг прочность увеличивается более чем в 2 раза, что, видимо, следует объяснять уменьшением внутреннего давления испытываемых растений. Как и следовало ожидать, с увеличением диаметра растения стрела прогиба уменьшается. При сопоставлении высушенных растений с диаметром $0,0057$ м и $0,0078$ м при различных нагрузках прогиб их отличается примерно в четыре раза.

В основной серии опытов измерения прогиба проводились на растениях, срезанных непосредственно перед опытом в пойме реки Турунчук. Для каждого из семи растений ($d = 0,0057; 0,0066; 0,0078; 0,0095; 0,008; 0,007$ и $L = 1,2$ м) на расстоянии $0,2; 0,4; 0,6; 0,8$ и $1,0$ м от основания прикладывалась нагрузка $0,03$ и $0,05$ кг, и измерялась стрела прогиба тростника обыкновенного. Затем рассчитывался модуль Юнга для тел цилиндрической формы [4]

$$E = \frac{P \cdot \ell^3}{3Jx \cdot \gamma(\ell)}$$

Момент инерции Jx рассчитывался по формуле

$$Jx = \frac{\pi}{64} (d^4 - d_0^4),$$

где d – внешний, а d_0 – внутренний диаметр стебля. В опыте d_0 принималось равным $0,003$ м.

Известно, что для любых однородных материалов модуль упругости – величина постоянная, но в опытах модуль упругости для тростника изменяется в пределах $(15 \div 118) \cdot 10^5$ кг/м², что является следствием сложной структуры стебля как по ширине, так и по длине растения.

Зависимость $E = f(\ell)$ рассчитана методом наименьших квадратов для нечётного числа членов ряда [7]. Расхождение между ординатами эмпирической ($E_{\text{эмп}}$) и теоретической ($E_{\text{теор}}$) кривой, рассчитанными по уравнению, составило в среднем 7,3 % (табл.2).

Таблица 2 -- Сопроотивление ординат эмпирической и теоретической кривой

ℓ	$E_{\text{теор}} \cdot 10^5$	$E_{\text{эмп}} \cdot 10^5$	$\Delta, \%$
0,2	22,4	27	20,5
0,4	53,7	51	5,1
0,6	85	82	3,5
0,8	116,3	112	3,7
1,0	147,6	153	3,7

Характер зависимости нелинейный, но поскольку показатель степени незначительно отличается от единицы ($E = 144,5\ell^{1,07}$), окончательно была принята линейная аппроксимация (рис.2)

$$E = 156,5 \ell - 8,9,$$

где E – модуль упругости, г/см², ℓ – точка приложения силы, м.

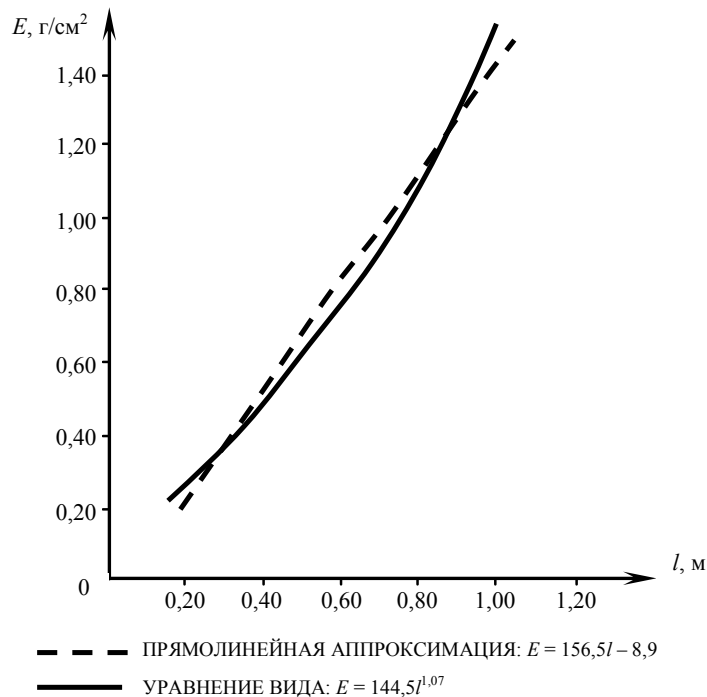


Рис.2 -- Зависимость модуля упругости (E) от точки приложения силы (l).

Выводы:

1. Высота растения L является интегральной характеристикой, включающей влияние диаметра стебля тростника, нагрузки и точки приложения силы .
2. Модуль упругости для стеблей тростника не постоянен и увеличивается по длине стебля снизу вверх.

3. На уровне 50 – 70 см плотность расположения узлов в два раза больше, чем на высоте 70 – 120 см; видимо, этим следует объяснить уменьшение модуля упругости в нижней части стебля [8].

Полученные результаты не противоречат физике процесса, являясь первой попыткой определения модуля упругости в натуральных условиях для естественной болотной растительности, в качестве которой рассматривался тростник обыкновенный.

Рассмотрение этого вопроса важно не только для гидравлических расчётов, но и для конструирования механизмов для проведения культуртехнических мелиораций. Пропускная способность открытых русел зависит от плотности, высоты и наклона произрастающей надводной болотной растительности.

Список литературы

1. Головатюк А.С., Соколов Ю.Н. Экспериментальные исследования деформации тростника под действием постоянной нагрузки водного потока // Динамика и термика рек, водохранилищ и эстуариев: Тез. II Всесоюз. конф. –С.-П., 1984. – Т. 1. – С. 11–13.
2. Леонов Е.А. Некоторые характеристики зарастающего речного русла в связи с методикой учёта стока воды // – Труды ГГИ. – 1960. – Вып.77. - С.74-85.
3. Лудов В.А. Исследование мелких зарастающих русел с помощью мобильного полевого гидравлического лотка. -- М., 1980.-28с. Деп. в НИСИ – ВНИИЧС, №1910.
4. Любошиц М.И., Цукович Г.И. Справочник по сопротивлению материалов. – Минск: Стройиздат, 1989. – 250с.
5. Нгуен Тай. Исследование гидравлических сопротивлений в заросших руслах. Гидравлика однородных и неоднородных жидкостей // Труды МИСИ. – 1972. – Вып. 89. – С. 65 – 71.
6. Павловский Н.Н. Гидравлический справочник. – М.: ОИТИ, 1987. – 892с.
7. Румишинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 90с.
8. Тростник. Материалы по биологии, экологии и использованию тростника обыкновенного в Казахстане / Под ред. Б.А. Быкова. – Алма-Ата: Наука, 1964. – 260с.

Визначення модуля пружності природної болотяної рослинності в натурних умовах.

Головатюк Г.С., Соколов Ю.М.

Результати роботи спрямовані на вивчення пружності природної болотяної рослинності. Приведені результати польових експериментів для очерету звичайного. Запропонована залежність для визначення стріли прогинання від точки додатку сили, величини навантаження, діаметру і стану рослин.

Ключові слова: коефіцієнт шорсткості, прогинання рослин, геометрія рослинності, модуль пружності

Definition of the module of elasticity of natural marsh vegetation in natural conditions.

Golovatyk A.S., Sokolov Yu.N.

Results of work are directed on studying of elasticity of natural marsh vegetation. Results of field experiments for a reed ordinary are resulted. Dependence for definition of an arrow of a deflection from a point of application of force, size of loading, diameter and a condition of plants is offered.

Keywords: roughness factor, deflection of plants, vegetation geometry, elasticity module