

МОДЕЛИРАНЕ НА НАПРЕГНАТОТО И ДЕФОРМАЦИОННО СЪСТОЯНИЕ НА РАСТЕНИЕ ОТ ЕЧЕМИК

Радко Михайлов¹, Галина Михова², Дишко Дишев³, Тони К. Тонев²

¹Добруджански технологичен колеж, Добрич при ТУ – Варна

²Добруджански земеделски институт, Генерал Тошево

³Технически университет, Варна

Резюме

Михайлов Р., Г. Михова, Д. Дишев, Т.К. Тонев, 2006. Моделиране на напрегнатото и деформационно състояние на растение от ечемик.

Изследвани са растения от ечемик сорт Ахелой 2, реколта 2005 година. Експериментално е определен модулът им на еластичност, като междувъзлия от стъблата са подложени на огъване чрез оригинална опитна установка. Показано е таблично и графично поведението на растенията при огъване, момента, в който те загубват устойчивост на формата, както и тенденцията в изменението на модула на еластичност E . На база измерените геометрични характеристики и получените експериментални данни за: E , модула на плъзгане G и плътността c е направен модел на напрегнатото и деформационно състояние на растението, чрез програмната система COSMOSWokrs, интегрирана в програмния продукт SolidWorks 2005. Решени са задачите за собствените честоти и форми на трептене на растението и възможността за загуба на устойчивост при промяна теглото на класа.

Ключови думи: Ечемик – Полягане - Модул на еластичност – Моделиране на състоянието

Abstract

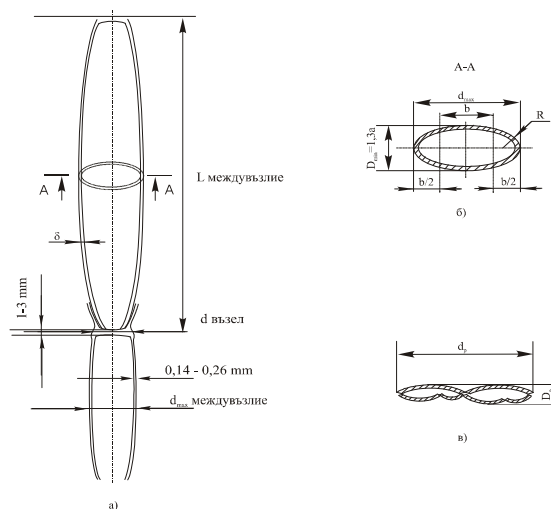
Mihailov R., G. Mihova, D. Dishev, T.K. Tonev, 2006. Pressure status and deformation status modeling of the barley plant.

Barley plants, variety Aheloy 2, were subjected to investigation. The Young Modulus was determined experimentally. To the internodes of the stem was applied bending moment by the original experimental device. The status of the plants under bending and the moment when they lost the stability of their shape, the tendency in the changing of the Young modulus E also were also studied. On the basis of the measured geometrical characteristics and the obtained experimental data: E , shear modulus G and density c , a modeling of the pressure and deformation status of the barley variety stems was made. By the help of computer program COSMOSWokrs, integrated in the program system SolidWorks 2005, the tasks of the natural frequencies and shapes of vibration, and the possibilities to loose stability under the change of weight of the spike were solved.

Key words: Barley – Lodging – Young modulus – Modeling of status

ВЪВЕДЕНИЕ

Носещата способност на стеблото на растението от механична гледна точка е един от факторите на устойчивостта срещу полягане на житните растения. В сравнение с другите зърнено-житни култури, ечемикът, особено многоредният е по-слабо устойчив на полягане. Поради това, признакът винаги е бил между основните критерии в процеса на отбор и преценка на селекционните материали. Агрометеорологичните условия, гъстотата на посева, торенето, прилагането на различни биостимулатори и др. до голяма степен определят тази устойчивост (Граматииков и др., 2004; Easson et al., 1993; Hobbs et al., 1998; Peel, 2000; Pinthus, 1973). Основно обаче, полягането се свързва със здравината на стеблото, която зависи от морфолого-анатомичните му особености. Те са определящи за неговите физикомеханични характеристики. Качествените промени, настъпващи през отделните фази на развитие в определена степен влияят върху тях. Критичен по отношение на полягането е периодът на наливане на зърното.



Фигура 1. Геометрична форма на междувъзлие и възел на ечемично растение

Сам по себе си процесът представлява деформация, при която се променя напречното сечение на стеблото (Фигура 1). Най-често това се случва при второто междувъзлие. Полягането възниква, когато геометричната форма на напречното сечение на междувъзлието се деформира и от елипса (Фигура 1б) се превърне във вътрешно долепени срещуположни стени (Фигура 1в). По дължината на междувъзлието е възможно възникването на пукнатини, тъй като сламката не е с хомогенна структура. Видът на деформацията се дължи на особеностите в анатомичната ѝ структура и най-вече на подреждането и разпределението на клетките на механичната тъкан. С най-голямо значение за здравината на сламката и съпротивлението, което тя оказва срещу различни въздействия има склеренхимата (Стефанов и др., 1986; Dunn & Briggs, 1989; Kelbert, 2004). Нейните влакна се характеризират с вторично, силно надебелени и вдървесинени клетъчни обвивки. От значение са и проводящите колатерални сночета разпръснати в паренхимната тъкан. Тези особености дават възможност растението да се противопоставя, както на различни външни сили, така и на нарастващата тежест на формацията се клас

(Георгиев и Чолакова, 2000; Dunn & Briggs, 1989).

Освен геометричната форма и размери на стъблото важно значение за неговата устойчивост и по-точно за способността му да се възстановява, след прилагане на външна сила е модулът на еластичност E .

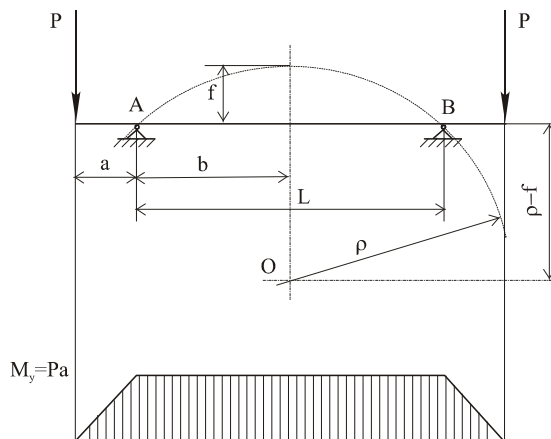
Целта на настоящото изследване е да се проследи изменението на механичната носеща способност на стъблото на ечемичното растение през критичните фази на развитие по отношение на полягането: млечна, восъчна и стопанска зрялост.

1. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ МОДУЛА НА ЕЛАСТИЧНОСТ НА МЕЖДУВЪЗЛИЯТА

Външното натоварване, което води до пречупване в междувъзлието предизвиква огъване, спрямо хоризонтална ос и усукване спрямо надлъжната ос на растението. В предишни, наши проучвания (Mihailov et al., 2005) по експериментален начин е определен модулът на ъглова деформация G . В настоящата статия обект на изследване и опитно определяне е модулът на еластичност E . В литературата и практиката (<http://schools.matter.org.uk/Content/YoungModulus/datasheet.html>) той традиционно се определя чрез създаване на нормално напрежение в напречното сечение на изследвания обект от действието на опънова сила. В този случай външното натоварване е на огъване, което също предизвиква нормално напрежение в напречното сечение и затова е използвана опитна установка, при която междувъзлието се натоварва на чисто огъване (Фиг. 2). Изследвани са по три стъбла от растения взети през различните фази от тяхното развитие: млечна, восъчна и стопанска зрялост.

1.1. ОПИСАНИЕ НА ОПИТНАТА УСТАНОВКА

Показаната схематично опитна установка на Фиг. 2, осигурява чисто огъване приложено върху едно междувъзлие от стъбло на ечемично растение. Това обикновено е второто или третото междувъзлие, поради факта, че полягането е най-често в тази зона.



Фигура 2. Опитна установка за чисто огъване

Опорите A и B се фиксират на разстояние L , колкото е дължината на междувъзлието. На стъпково изменящо се разстояние a се прилагат две равни по големина, насочени вертикално надолу сили. Те създават два срещупосочни огъващи момента, което е причина, еластичната линия на междувъзлието AB да заеме формата

на дъга, която е част от окръжност с радиус ρ (Фигура 2). Тази величина е радиусът на кривината, получена от чистото огъване с постоянен огъващ момент $M_y = Pa$, чиято графика е показана на фигурата.

Като се използва връзката:

$$(1) \quad b^2 = f(2\rho - f),$$

където f е преместването в средата на еластичната линия AB при натоварване и като се замести b с $L/2$ (виж Фигура 2), може да се изрази:

$$(2) \quad \rho = \frac{L^2}{8f} + \frac{f}{2}.$$

Огъващият момент и модул E са свързани с ρ по следния начин:

$$(3) \quad \frac{1}{\rho} = \frac{Pa}{EJ_y}$$

От тук и от формула (2) за модул E се получава:

$$(4) \quad E = \frac{Pa}{J_y} \left(\frac{L^2}{8f} + \frac{f}{2} \right).$$

Събираемото f^2 е с много малка стойност и на практика не оказва влияние върху E , така че то може да се пренебрегне.

1.2. РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗМЕРВАНИЯТА

В Табл. 1 са представени геометричните характеристики на изследваните междувъзлия от ечемични растения. Данните са наименувани според означенията, показани на Фигура 1. Средният диаметър е средноаритметичната стойност на най-големия и най-малък диаметър на елипсата от Фиг. 1б. Геометричният инерционен

Таблица 1. Геометрични характеристики на сламката
Table 1. Geometrical characters of the culm

Фаза	I	II	III
Дължина на междувъзлие $L \pm \sigma_x$ (mm)	143±1.69	124.33±5.43	146.33±13.1
Диаметър на междувъзлие $d_{\max} \pm \sigma_x$ (mm)	3.78±0.232	3.71±0.192	4.16±0.306
Диаметър на междувъзлие $D_{\min} \pm \sigma_x$ (mm)	3.31±0.289	3.4±0.122	3.61±0.209
Дебелина на стена $\delta \pm \sigma_x$ (mm)	0.1±0.0	0.34±0.03	0.25±0.0
Среден диаметър $D_{\text{ср.}} \pm \sigma_x$ (mm)	3.306±0.28	3.36±0.12	3.59±0.209
Геометричен инерционен момент $J_y \cdot 10^{-12} \pm \sigma_x$ (m ⁴)	1.4651±0.38	5.2987±0.23	4.7184±0.23
Обем $V \pm \sigma_x$ (cm ³)	0.149±0.1	0.348±1.14	0.425±1.42
Маса $m \pm \sigma_x$ (g)	0.13±0.0	0.28±0.45	0.195±0.36
Плътност $\rho \pm \sigma_x$ (g/cm ³)	0.87±0.0	0.804±0.097	0.46±0.03

момент J_y е изчислен по формулата за тънкостенна тръба, а символът u_x показва средното квадратично отклонение на съответните величини.

Измерените обем и маса се отнасят само за междувъзлията. В Табл. 2 са представени получените и изчислени опитни данни за модула на еластичност E . Величините a и P са съответно разстоянията от т. A и т. B до приложната точка на силите и големината на приложените сили. $M_{ог}$ означава огъващ момент, а $f_{I, II, III}$ - провисване.

Таблица 2. Данни за модула на еластичност E
Table 2. The Young Modulus E data

№ по ред	1	2	3	4	5	6	7	$E_{ср.} \cdot 10^{10} \pm \sigma_x$ [Pa]
a [m]	0.01	0.02	0.03	0.04	0.025	0.03	0.035	
P [N]	0.98	0.98	0.98	0.98	1.96	1.96	1.96	
$M_{ог}$ [Nm]	0.0098	0.0196	0.0294	0.0392	0.049	0.0588	0.0686	
Фаза I млечна зрялост								
f_I [mm]	0.9	2.1	3.33	4.16	4.5	5.00	6.5	1.771±0.
$E_I \cdot 10^{10}$ [Pa]	2.129	1.777	1.636	1.737	1.135	1.103	1.028	103
Фаза II восъчна зрялост								
f_{II} [mm]	0.76	1.7	2.83	3.86	5.00			0.502±0.
$E_{II} \cdot 10^{10}$ [Pa]	0.545	0.572	0.447	0.433	0.1209			167
Фаза III стопанска зрялост								
f_{III} [mm]	0.76	1.43	2.23	2.5				0.790±0.
$E_{III} \cdot 10^{10}$ [Pa]	0.767	0.8202	0.7988	0.8148				085

Забележка: Стойностите за f и E са осреднени.

2. КОМПЮТЪРНО МОДЕЛИРАНЕ И СИМУЛИРАНЕ НА НАПРЕЖЕНИЯТА, ДЕФОРМАЦИИТЕ И СОБСТВЕНИТЕ ЧЕСТОТИ НА СТЬБЛОТО НА ЕЧЕМИЧНО РАСТЕНИЕ

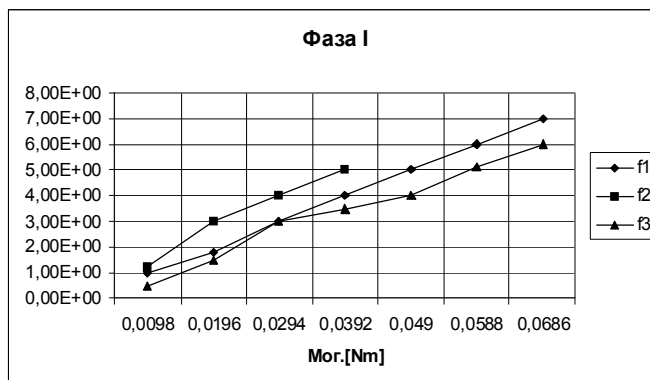
За моделиране на формата на ечемичното растение се използва програмната система SolidWorks. Изградени са средностатистически модели на ечемично растение в трите фази - млечна, восъчна и стопанска зрялост (Фигура 5). При тяхното разработване се имат предвид установеното напречно сечение на междувъзлията и възлите (Фигура 1), проучените вече физични характеристики на растението (Mihailov et al., 2005), както и броя, размера и масата на зърната (Таблица 3).

Като механични характеристики – модул на еластичност E , модул на плъзгане G и плътност s са заложили получените в статията стойности за различните фази на зрялост. Материалът се приема за квазиизотропен, но при наличие на данни може да се заложи и като ортотропен.

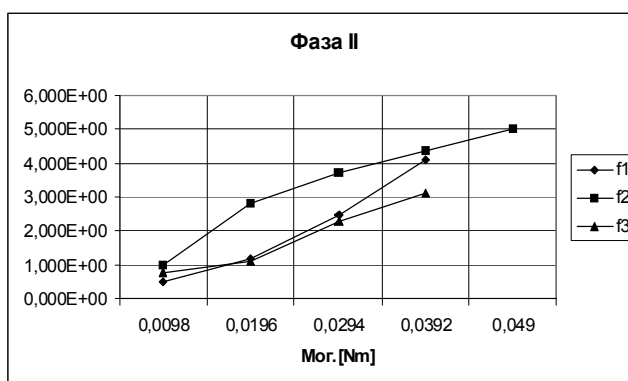
Таблица 3. Брой, маса и размери на зърната
Table 3. Number, mass and measures of the grains

Сорт Ахелой 2	Средна стойност	Стандартно отклонение	Вариационен коефициент, %
Брой зърна от клас	46.73	12.42	26.57
Маса на 1000 зърна (g)	35.36	1.15	3.26
Дължина (mm)	8.47	0.64	7.50
Ширина (mm)	3.26	0.39	11.90
Дебелина (mm)	2.41	0.32	13.48

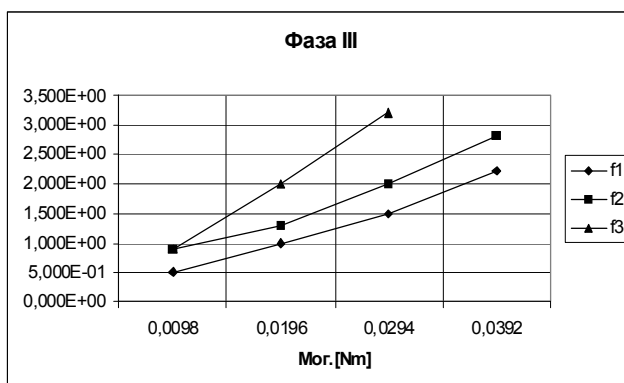
За моделиране на механичното поведение на изолирано ечемично растение е използвана програмната система COSMOSWorks интегрирана със SolidWorks. Така



Фиг. 3а. Провисване при огъване.

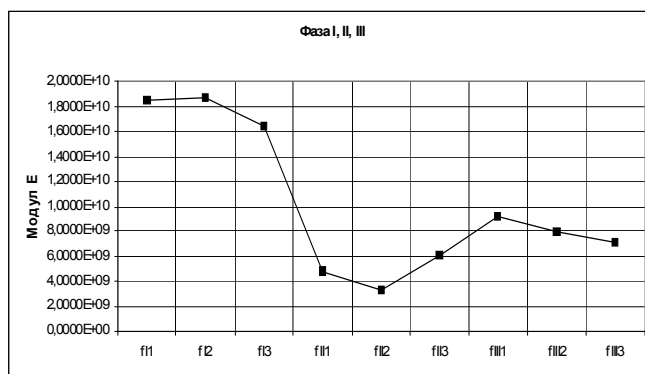


Фиг. 3б. Провисване при огъване.

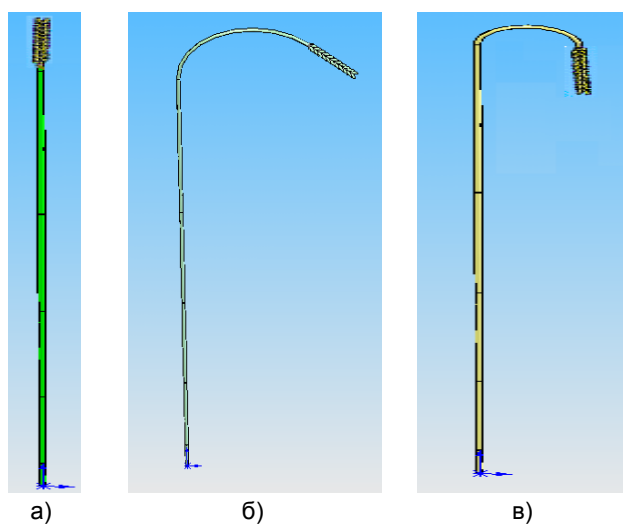


Фиг. 3в. Провисване при огъване.

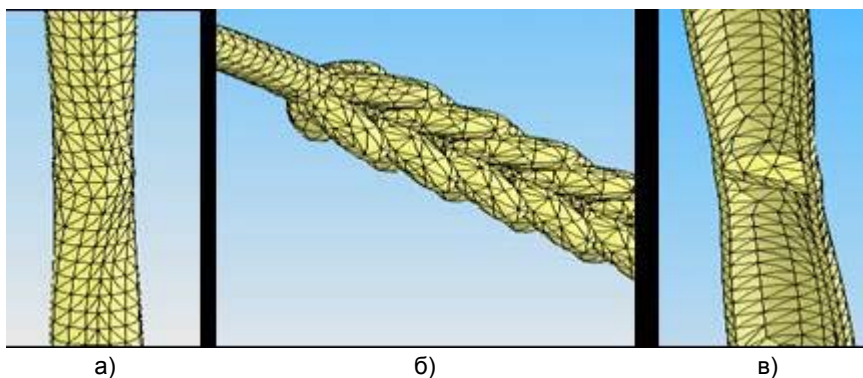
изграденото растение (тяло) се разбива на крайни елементи от черупков или обемен тип. Разбивката на типични области от растението са показани на Фиг. 6.



Фиг. 4. Изменение на модул Е през фазите от развитието на растението.



Фигура 5. Среднo-статистически модели на растението:
а) млечна, б) восьчна и в) стопанска зрялост



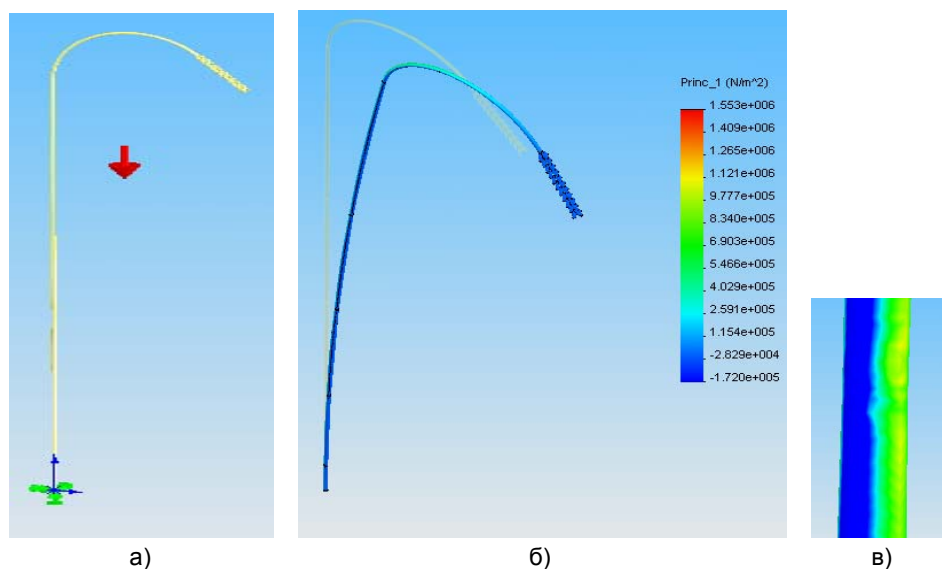
Фигура 6. Типични области на растението:
а) мездувъзлие, б) клас, в) сечение на мездувъзлие

Решени са следните типични задачи:

1. Напрежения и деформации от собственото тегло на растението;
2. Собствени честоти и форми на трептене на растението;
3. Възможност за загуба на устойчивост под влияние теглото на класа.

2.1 НАПРЕЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ ОТ СОБСТВЕНОТО ТЕГЛО НА РАСТЕНИЕТО

Посоката на земното ускорение е показана на Фиг. 7а. Установената плътност на материала на стъблото е $c = 460 \text{ kg/m}^3$. На Фигура 7б е показана осем пъти увеличена деформираната форма на стъблото и напреженията по енергетичната якостна хипотеза. Напреженията са под разрушаващите напрежения за тази фаза на зрялост. В близост до възела се забелязват зони с повишени напрежения (Фиг. 7в).



Фигура 7. Напреженията в стъблото: а) посока на земното ускорение, деформиране на стъблото, в) разпределение на напреженията в близост до възел.

2.2 СОБСТВЕНИ ЧЕСТОТИ И ФОРМИ НА ТРЕПТЕНЕ НА РАСТЕНИЕТО

Получени са първите пет собствени честоти и форми на трептене на растението. Недеформираната изходна форма заедно с максимално отклоненото положение са показани на Фиг. 8. Вижда се, че всички форми са свързани, т. е. има едновременно огъване и усукване. Честотният спектър е групиран около 3 Hz и около 13 Hz. При пориви на вятъра с честоти близки до собствените може да настъпи резонанс и опасност от разрушаване.

ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Наблюдават се следните тенденции в стойностите на опитно получените величини:

- материалът, от който е изградено междувъзлияето има много близко до

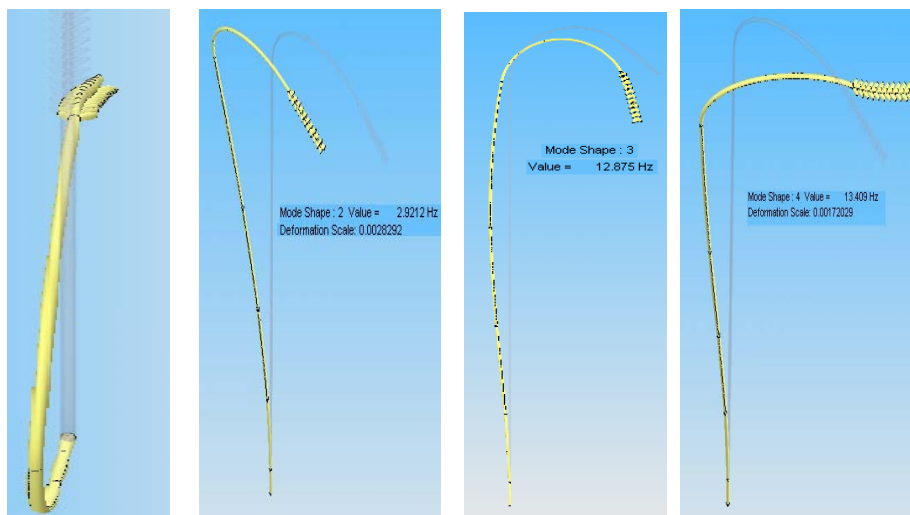
еластичното поведение при натоварване с огъващ момент. Това се вижда от графиките $M_{oe} = f(f_p, f_{II}, f_{III})$, дадени на Фигури 3а, б, в.

- при стойности на огъващия момент от 0.0196 до 0.0294 Nm в I и II фаза се наблюдава отклонение от линейност на връзката $M_{oe} = f(f_p)$ (където i е пореден номер на фазата, j е пореден номер на растението), което при фаза I е определена към намаляване на наклона, а при фаза II при някои растения е и към увеличаване на ъгъла спрямо хоризонталната ос (Фигура 3б.).

- при фаза III връзката $M_{oe} = f(f_p)$ е с най-голяма близост до права линия;

Като обобщение от трите графики може да се каже, че младите растения (Фаза I) притежават най-голяма гъвкавост. Някои от тях понесат $M_{oe} = 0.0686 Nm$ и провисват до 6.5 мм. Растенията във Фаза II най-често се разрушават при $M_{oe} = 0.0392 Nm$ и рядко достигат до $M_{oe} = 0.049 Nm$. Растенията във Фаза III се разрушават при $M_{oe} > 0.0392 Nm$ и имат провисване не повече от 3.25 мм. Те са с най-малка издръжливост на огъване. В тази фаза натоварването на стъблото е най-голямо, поради наливането на зърното и съответно нарастването на масата на класа.

Измерванията са направени със стъбла, които се намират при едни и същи температурно влажностни условия, т. с. факторът влажност е изключен и определеният модул на еластичност (Таблица 2 и Фигура 4) се отнася единствено за сухо състояние на стъблото на ечемика. Изводът, който се налага от Фигура 4 е, че модулът на еластичност, който пряко дефинира възникването на нормални напрежения в стъблото на растението е най-висок в I фаза, рязко спада във II фаза и има средни стойности в III Фаза. Интересно е, че въпреки големите напрежения, които възникват във фаза I, тогава пречупване на стъблата не се наблюдава, тъй като те са по-ниски, класът е по-лек и не може да се получи голямо натоварване на огъване. По-малко уязвими са растенията във II фаза. При ниски стойности на модул E , възникващите в тях напрежения са по-малки в сравнение с тези от I фаза при сравнително лек клас и от механична гледна точка вероятността за пречупване (полягане) е най-малка. Най-опасна за полягането е III Фаза, определена от по-висок модул E , по-малка носеща способност (само $M_{oe} < 0.0392 Nm$) и най-тежък клас.



Фигура 8. Собствени честоти и форми на трептене на растението

ЛИТЕРАТУРА

- Георгиев Г., Е. Чолакова, 2000.** Анатомия и морфология на растенията. Изд. "Св. Климент Охридски", София, 401.
- Граматилов Б. и др., 2004.** Технология за отглеждане на ечемик, "PSSE", София, 64.
- Стефанов Т., Хр. Пеев и др., 1986.** Ечемикът в България, "Земиздат", София, 256.
- Dolinski R., 1990.** The inheritance of elastic properties of the stem sclerenchyma in winter wheat hybrids (*Triticum aestivum* L.). *Genet. Polonica*, 31: 199-204.
- Dunn G., K. Briggs, 1989.** Variation in culm anatomy among barley genotypes differing in lodging resistance. *Can. J. Bot.*, 67: 1838-1843.
- Easson D, E. White, S. Pickles, 1993.** The effect of weather, seed rate and cultivar on lodging and yield in winter wheat. *J Agric Sci* 121: 145–156
- Hobbs P., K. Sayre and J. Ortiz-Monasterio, 1998.** Increasing Wheat Yields Sustainably through Agronomic Means. *NRG*, Mexico, 22.
- <http://schools.matter.org.uk/Content/YoungModulus/datasheet.html>
- Kelbert A., D. Spaner, K. Briggs, J. King, 2004.** The association of culm anatomy with lodging susceptibility in modern spring wheat genotypes. *Euphytica*, 136: 211-221.
- Keller M, Ch. Karutz, J. Schmid, P. Stamp, M. Winzeler, B. Keller, M. Messmer, 1999.** Quantitative trait loci for lodging resistance in a segregating wheat x spelt population. *Theor Appl Genet* 98: 1171–1182
- Mihailov, R. G. Mihova, T. Tonev, V. Demirev, 2005.** Physical characteristics of barley variety "Ahelaj 2", 10th Jubilee National Congress on Theoretical and Applied Mechanics, 13 – 16 September, Varna.
- Peel M., 2000.** Barley. NDSU Extension Service, Fargo.
- Pinthus M., 1973.** Lodging in wheat, barley, and oats: The phenomenon, its causes, and preventative measures. *Adv. Agron.*, 25: 210-256.