

УДК 631.354.2.076

## ВЛИЯНИЕ УГЛОВ УСТАНОВКИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОЕ СОСТОЯНИЕ НОЖА ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕГО БАРАБАНА КОРМОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

П. Е. РОДЗЕВИЧ, В. В. МИРЕНКОВ, В. Ф. ХИЖЕНОК,  
Е. П. ШЕЛЬМАНОВА

Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П. О. Сухого»,  
Республика Беларусь

### Введение

Важнейшими физико-механическими свойствами стебельных кормов при оценке измельчения резанием являются размеры стеблей, удельное сопротивление резанию (удельная линейная сила ножа или удельное давление), удельная работа резания, плотность измельченной зеленой массы, разрушающие напряжения среза [1].

Процесс измельчения растительной массы измельчающим барабаном проходит при высоких окружных скоростях и является самым энергоемким во всем технологическом процессе работы кормоуборочного комбайна. Наиболее нагруженными, подверженными интенсивному изнашиванию являются ножи измельчающего барабана. Схема установки ножа и приложения силы резания  $F_p$  приведена на рис. 1 [2].

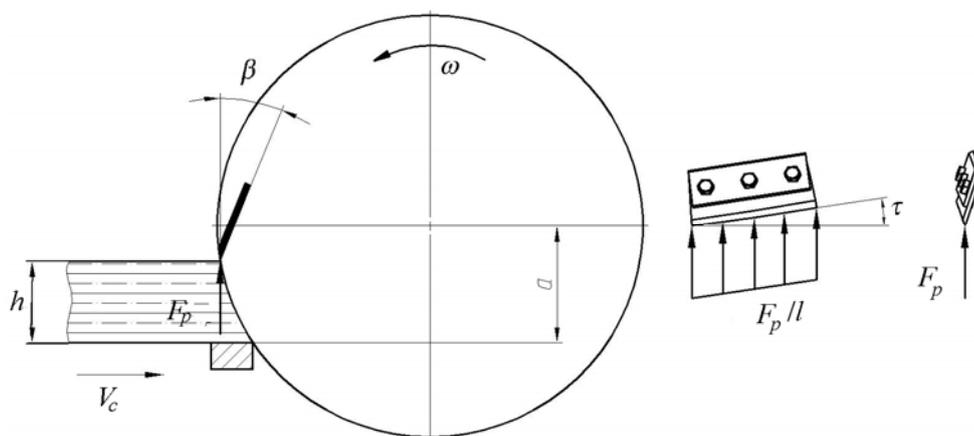


Рис. 1. Схема установки ножа и приложения силы резания:

$\omega$  – угловая скорость вращения;  $V_c$  – скорость подачи растительной массы;

$h$  – высота слоя растительной массы;  $a$  – расстояние от оси барабана до противорежущей пластины;  $\beta$ ,  $\tau$  – углы установки ножа;  $l$  – длина ножа

Угол  $\beta$  представляет собой угол между плоскостью ножа и направлением силы резания  $F_p$ , угол  $\tau$  характеризует наклон лезвия в плоскости резания и называется углом скольжения или защемления. Углы установки ножа варьируются для угла  $\beta$  в зависимости от угла заточки лезвия от  $31^\circ$  до  $45^\circ$ , для угла  $\tau$  – от  $0^\circ$  до  $25^\circ$  [1].

Целью работы является изучение напряженно-деформированного состояния конструкции ножа измельчающего барабана кормоуборочного комбайна в зависимости от углов установки.

### Постановка задачи

Особенностью задачи являлось определение напряжений и деформаций лезвия ножа измельчающего барабана с использованием следующих исходных данных: материал ножа (ВЧШГ) – модуль упругости  $E_1 = 170$  ГПа и коэффициент Пуассона  $\mu = 0,27$ ; болта (сталь 40Х) –  $E_2 = 214$  ГПа и  $\mu = 0,3$ ; остальные элементы (конструкционная сталь) –  $E_1 = 200$  ГПа и  $\mu = 0,3$  [6].

При моделировании напряженно-деформированного состояния будем считать, что сила резания равномерно распределена по лезвию ножа. Силу инерции вращающегося ножа измельчающего барабана и силу сопротивления воздуха не учитываем.

Согласно рис. 2, на нож будут действовать три силы:  $F_1$ ;  $F_2$ ;  $F_3$ . Силы  $F_1$  и  $F_3$  действуют в плоскости ножа и пытаются вызвать сдвиг ножа в двух плоскостях. Сила  $F_2$  вызывает изгиб ножа, прижимной пластины.

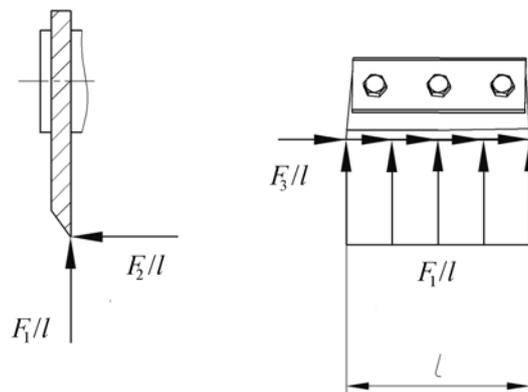


Рис. 2. Схема приложения сил, действующих на нож

Сила резания  $F_p$  одним ножом в зависимости от толщины лезвия  $\delta$  рассчитывается по методике Н. Е. Резника и изменяется в пределах от 2136 Н при  $\delta = 0,2$  мм до 3295 Н при  $\delta = 0,5$  мм.

Силы, действующие на нож, будут определяться выражениями:

$$F_1 = F_p \cos\beta \cos\tau; \quad F_2 = F_p \sin\beta; \quad F_3 = F_p \cos\beta \sin\tau.$$

При резании растительной массы ножом имеют место ударные нагрузки. Определение динамического коэффициента при этом затруднительно. Его величина зависит от большого количества внешних факторов: частоты вращения барабана, окружной скорости лезвий ножей, степени заточенности лезвий, зазора пары «нож – противорежущая пластина» и т. д.

В расчетах для сравнительной оценки условий динамического нагружения ножа при различных углах установки  $\beta$  и  $\tau$  принимаем динамический коэффициент равным:

$$k_{\text{дин}} = 10.$$

Тогда динамические нагрузки, действующие на нож, будут определяться выражениями:

$$F_{1д} = k_{дин} F_1; \quad F_{2д} = k_{дин} F_2; \quad F_{3д} = k_{дин} F_3.$$

Так как силы  $F_1$  и  $F_2$  являются распределенными по лезвию ножа, окончательно расчетные выражения примут вид:

$$q_{1д} = \frac{k_{дин} F_1}{l}; \quad q_{2д} = \frac{k_{дин} F_2}{l}; \quad q_{3д} = \frac{k_{дин} F_3}{l}.$$

Приняв углы установки ножа  $\beta = 32^\circ\text{--}44^\circ$  и  $\tau = 10^\circ\text{--}17^\circ$ , определим эквивалентные напряжения, возникающие в рабочей консольной части ножа, а также прогибы ножа. Конечно-элементная модель представлена на рис. 3 [4], [5].

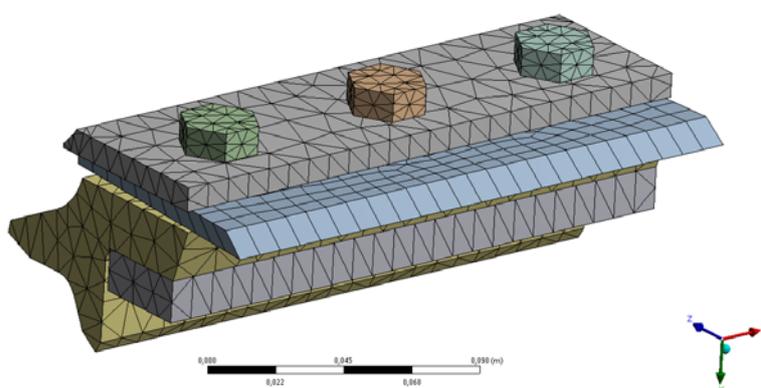


Рис. 3. Конечно-элементная модель

Исходные данные расчетных нагрузок представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Расчетные нагрузки на нож при различных углах установки**

Угол заземления	Нагрузка	Угол установки						
		$\beta_1 = 32^\circ$	$\beta_2 = 34^\circ$	$\beta_3 = 36^\circ$	$\beta_4 = 38^\circ$	$\beta_5 = 40^\circ$	$\beta_6 = 42^\circ$	$\beta_7 = 44^\circ$
$\tau_1 = 10^\circ$	$q_{1д}$ , кН/м	137,6	134,5	131,3	127,9	124,3	120,6	116,7
	$q_{2д}$ , кН/м	87,3	92,13	96,84	101,4	105,9	110,2	114,4
	$q_{3д}$ , кН/м	24,25	23,7	23,15	22,55	21,9	21,25	20,8
$\tau_2 = 14^\circ$	$q_{1д}$ , кН/м	135,6	132,5	129,3	126,0	122,5	118,8	115
	$q_{2д}$ , кН/м	87,3	92,13	96,84	101,4	105,9	110,2	114,4
	$q_{3д}$ , кН/м	33,8	33,05	33,25	31,4	30,55	29,6	28,65
$\tau_3 = 17^\circ$	$q_{1д}$ , кН/м	133,6	130,6	127,5	124,2	120,7	117,1	113,3
	$q_{2д}$ , кН/м	87,3	92,13	96,84	101,4	105,9	110,2	114,4
	$q_{3д}$ , кН/м	40,85	40	38,95	37,95	36,9	35,8	34,65

На рис. 4–9 представлены графические изображения изменений эквивалентных напряжений и деформаций по длине рабочей части ножа.

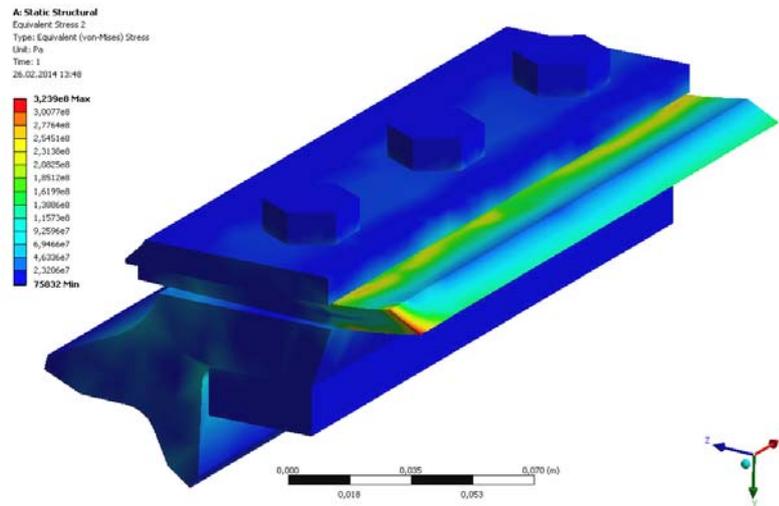


Рис. 4. Картина изолиний эквивалентных напряжений при углах  $\tau_1 = 10^\circ$ ,  $\beta_1 = 32^\circ$

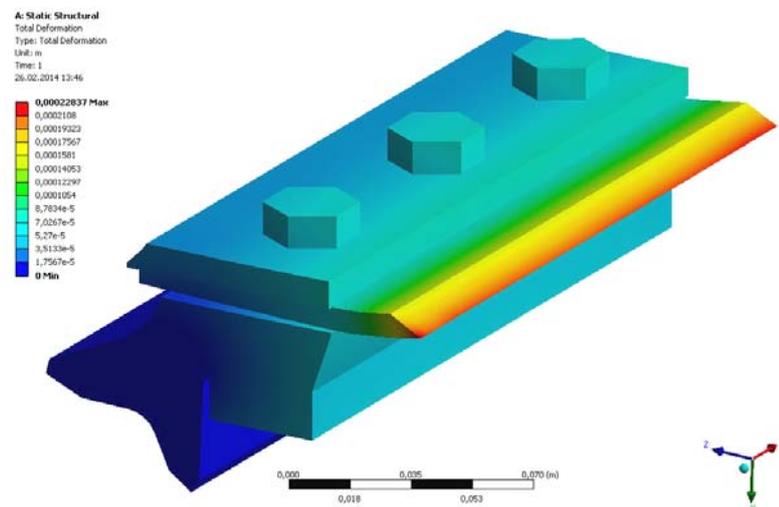


Рис. 5. Картина изолиний деформаций при углах  $\tau_1 = 10^\circ$ ,  $\beta_1 = 32^\circ$

Все последующие результаты конечно-элементного моделирования даны в табл. 2–4 с указанием максимальных эквивалентных напряжений и деформаций лезвия ножа измельчающего барабана кормоуборочного комбайна.

Таблица 2

**Максимальные прогибы и эквивалентные напряжения ножа при разных углах установки**

Угол за- щемления	Показатели	Угол установки						
		$\beta_1 = 32^\circ$	$\beta_2 = 34^\circ$	$\beta_3 = 36^\circ$	$\beta_4 = 38^\circ$	$\beta_5 = 40^\circ$	$\beta_6 = 42^\circ$	$\beta_7 = 44^\circ$
$\tau_1 = 10^\circ$	$\delta_{\max}$ , мм	0,228	0,241	0,253	0,265	0,277	0,289	0,30
	$\sigma_{\max}$ , МПа	323,9	317,6	311,0	320,0	337,6	354,5	371,1

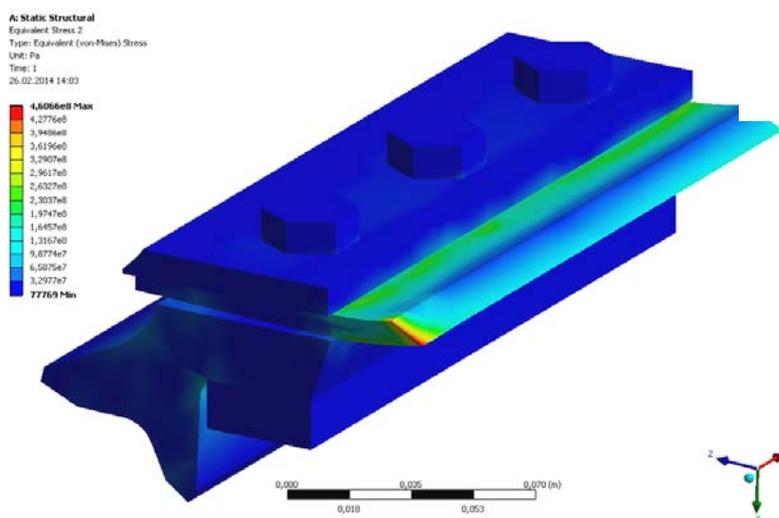


Рис. 6. Картина изолиний эквивалентных напряжений при углах  $\tau_2 = 14^\circ$ ,  $\beta_1 = 32^\circ$

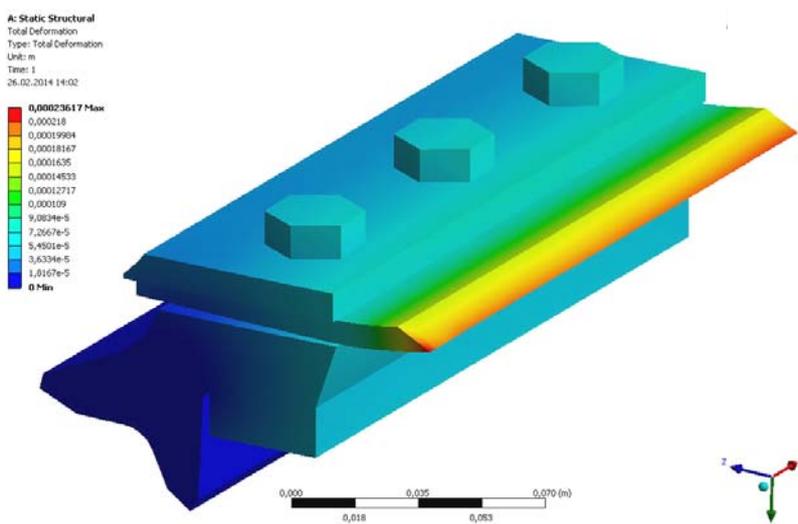


Рис. 7. Картина изолиний деформаций при углах  $\tau_2 = 14^\circ$ ,  $\beta_1 = 32^\circ$

Таблица 3

Максимальные прогибы и эквивалентные напряжения ножа при разных углах установки

Угол за- щемления	Показатели	Угол установки						
		$\beta_1 = 32^\circ$	$\beta_2 = 34^\circ$	$\beta_3 = 36^\circ$	$\beta_4 = 38^\circ$	$\beta_5 = 40^\circ$	$\beta_6 = 42^\circ$	$\beta_7 = 44^\circ$
$\tau_2 = 14^\circ$	$\delta_{\max}$ , мм	0,236	0,248	0,260	0,272	0,283	0,295	0,305
	$\sigma_{\max}$ , МПа	460,6	450,8	440,4	429,6	418,4	406,9	394,9

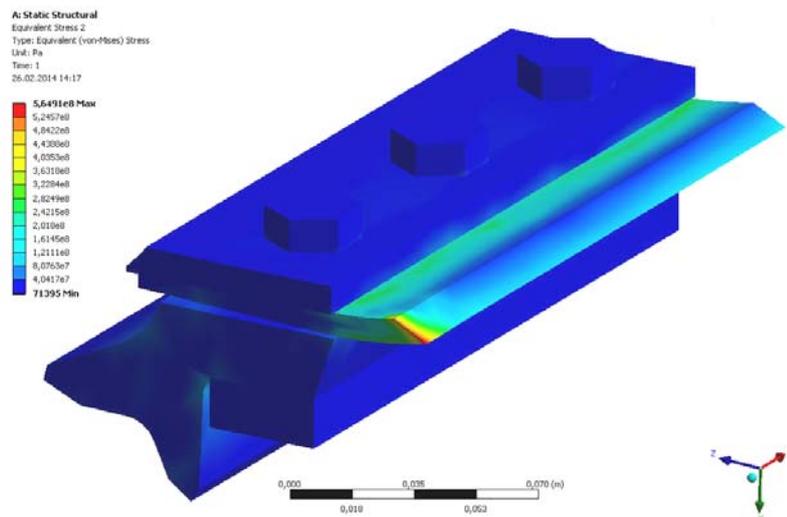


Рис. 8. Картина изолиний эквивалентных напряжений при углах  $\tau_3 = 17^\circ$ ,  $\beta_1 = 32^\circ$

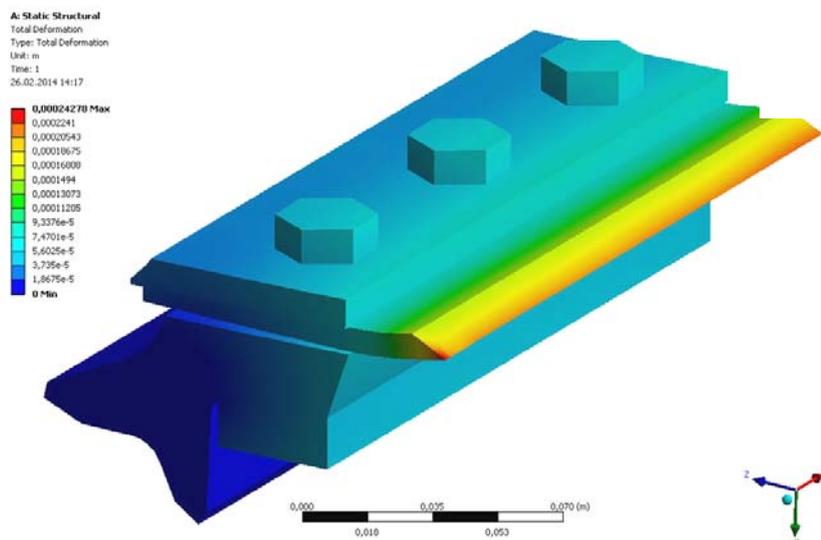


Рис. 9. Картина изолиний деформаций при углах  $\tau_3 = 17^\circ$ ,  $\beta_1 = 32^\circ$

Таблица 4

Максимальные прогибы и эквивалентные напряжения ножа при разных углах установки

Угол защемления	Показатели	Угол установки						
		$\beta_1 = 32^\circ$	$\beta_2 = 34^\circ$	$\beta_3 = 36^\circ$	$\beta_4 = 38^\circ$	$\beta_5 = 40^\circ$	$\beta_6 = 42^\circ$	$\beta_7 = 44^\circ$
$\tau_3 = 17^\circ$	$\delta_{\max}$ , мм	0,242	0,254	0,266	0,278	0,289	0,30	0,310
	$\sigma_{\max}$ , МПа	564,9	552,5	539,4	525,7	511,6	496,8	481,7

### Заключение

Из представленных конечно-элементных расчетов конструкции ножа измельчающего аппарата кормоуборочного комбайна видно, что наиболее нагруженными местами всей конструкции являются: острие ножа, которое первым внедряется в растительную массу ( $\sigma_{\text{эKB}} = 323,9\text{--}564,9$  МПа); центральная часть ножа, располо-

женная в защемлении «основание – прижимная пластина» ( $\sigma_{\text{экв}} = 240\text{--}320$  МПа); консольная часть основания ( $\sigma_{\text{экв}} = 90\text{--}130$  МПа).

Нагруженность острия ножа в значительной степени зависит от изменения угла защемления  $\tau$ . При значениях угла  $\tau = 10^\circ$  напряжения от значения 323,9 МПа при угле  $\beta_1 = 32^\circ$  снижаются до значения 311 МПа при угле  $\beta_3 = 36^\circ$ , а затем увеличиваются до величины 371,1 МПа ( $\beta_7 = 44^\circ$ ). При значениях угла  $\tau = 14^\circ$  напряжения постоянно уменьшаются от 460,6 до 394,9 МПа. Аналогично изменяются напряжения и при угле  $\tau = 17^\circ$  – с 564,9 до 481,7 МПа.

Установлено, что наибольшей деформации подвержены точки лезвия ножа, расположенные на наибольшем удалении от защемления «основание – прижимная пластина». Деформации лезвия изменяются от 0,228 до 0,310 мм. С учетом инерционных нагрузок деформации лезвия ножа будут возрастать, что может привести к удару ножа о противорежущий брус. Для снижения деформации ножа необходимо либо увеличить поперечное сечение ножа, либо нож выполнить загнутым в сторону вращения.

### Литература

1. Технологии заготовки высококачественных кормов из трав и силосных культур: рекомендации / В. К. Павловский [и др.]. – Минск : РУП НПЦ НАНБ по механизации сел. хоз-ва, 2008. – 32 с.
2. Резник, Н. Е. Кормоуборочные комбайны / Н. Е. Резник. – М. : Машиностроение, 1980. – 375 с.
3. Долгов, И. А. Уборочные сельскохозяйственные машины / И. А. Долгов. – Ростов н/Д : ИЦ ДГТУ, 2003.
4. Расчет напряженно-деформированного состояния деталей методами конечных и граничных элементов / В. Н. Сызранцев [и др.] ; под ред. В. Н. Сызранцева. – Курган : Изд-во Курган. гос. ун-та, 2000. – 111 с.
5. Каплун, А. Б. ANSYS в руках инженера : практ. рук. / А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.
6. Чугун с шаровидным графитом и высоким сопротивлением усталости : пат. 15617 Респ. Беларусь, МПК С 22С37/04 / Л. А. Сосновский, В. А. Жмайлик, Н. В. Псырков, В. О. Замятнин, В. В. Комиссаров ; заявители РУП «Гомсельмаш», ООО «НПО ТРИБОФАТИКА». – № а 20101428 ; заявл. 04.10.2010 ; опубл. 30.04.2012. – 2012. – 4 с.

Получено 30.11.2015 г.