

**ТЕХНИКА ИЛИМДЕРИ**  
**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**  
**TECHNICAL SCIENCES**

*Тургунбаев М.С., Байгазиев М.С., Осмонов М.Н.*

**ТӨӨ БУУРЧАК КЕСҮҮЧҮ ЖАБДЫКТЫН ЭЛЕМЕНТТЕРИНИН  
ЧЫҢАЛУУ-МАЙЫШУУ АБАЛЫН ТОЛУК-ЭЛЕМЕНТ  
АНАЛИЗИН КОЛДОНУУ АРКЫЛУУ БААЛОО**

*Тургунбаев М.С., Байгазиев М.С., Осмонов М.Н.*

**ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ  
ЭЛЕМЕНТОВ СРЕЗАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ФАСОЛЕКОСИЛКИ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА**

*M.S. Turgunbaev, M.S. Baygaziev, M.N. Osmonov*

**EVALUATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF  
THE ELEMENTS OF THE CUTTING DEVICE OF THE BEAN  
MOWER USING FINITE ELEMENT ANALYSIS**

УДК: 629.113 (088)

Азыкы учурда айыл чарба машиналарынын конструкциясын анализдөөдө конструкциянын элементтеринин чыңалуу-майышуу абалын баалоо актуалдуу маселе болуп жатат. Жер кыртышынын бузууда кесүүчү жабдыктын элементи тарабынан жумшалган күч, бузуу моментиндеги жер кыртышында чегине жеткен чыңалган абалда, жер кыртышынын бузууга каршылык күчү менен барабар. Тетиктердин мейкиндиктеги моделин чийүү, тапшырманы сандык форматта эсептөө мүмкүнчүлүгүнүн пайда болушу менен конструкциянын бекемдик мүнөздөмөлөрүн долбоорлоо убагында аныктоого болот. ANSYS WORKBENCH системасында төө буурчак кесүүчү жабдыктын элементтеринин чыңалуу-майышуу абалы толук-элемент анализин колдонуу аркылуу долбоорлоо стадиясында бааланууда. Топурак кесүү бурчунун өзгөрүүсүнүн негизинде кесүүчү жабдыктын элементтеринин жогору абалда чыңалган участкалары аныкталды. Изилдөөлөрдүн жыйынтыгында, кесүүчү жабдыктын минималдык чыңалуу-майышуу абалын камсыздоочу төө буурчак кесүүнүн оптималдуу режими сунушталууда.

**Негизги сөздөр:** кесүүчү жабдык, төө буурчак кескич, чыңалуу-майышуу абалы, конструкция, бекемдик мүнөздөмөлөр, толук-элемент анализи, кесүү режими, төө буурчак.

В настоящее время при анализе конструкций сельскохозяйственных машин актуальным становится оценка на-

пряженно-деформированного состояния элементов конструкции. В момент наступления в почве предельного напряженного состояния, которое вызывает разрушение почвы, значение силы резания со стороны режущего элемента и значение силы сопротивления почвы разрушению равны. С появлением возможности пространственного твердотельного моделирования, численного решения задачи, еще на стадии проектирования можно оценить прочностные характеристики конструкции. С применением конечно-элементного анализа в системе ANSYS WORKBENCH оценивается напряженно-деформированное состояние элементов срезающего устройства фасолекосилки на стадии проектирования. Определяются наиболее нагруженные локальные участки конструкции срезающего устройства в зависимости от режимов резания стеблей фасоли. По результатам исследований даны рекомендации по оптимальному режиму резания фасоли и растительной массы, которые способствуют минимальному напряженно-деформированному состоянию элементов срезающего устройства фасоли.

**Ключевые слова:** срезающее устройство, фасолекосилка, напряженно-деформированное состояние, конструкция, прочностные характеристики, конечно-элементный анализ, режимы резания, фасоль.

At present, when analyzing the structures of agricultural machines, the assessment of the stress-strain state of the structural elements becomes relevant. With the possibility of spatial

*solid-state modeling, numerical solution of the problem, even at the design stage, it is possible to evaluate the strength characteristics of the structure. Using finite element analysis in the ANSYS WORKBENCH system, is estimated the stress-strain state of the elements of the cutting device of the bean mower. The most loaded local sections of the cutting device structure are determined depending on the cutting modes of bean stalks. Based on the research results, recommendations are given for the optimal mode of cutting beans and vegetable mass.*

**Key words:** cutting device, bean mower, stress-strain state, construction, strength characteristics, finite element analysis, cutting modes, beans.

Проведенный обзор и анализ показал на отсутствие машин малой механизации по срезу кустов фасоли в Кыргызской Республики. В настоящее время срез или выдергивание созревших кустов фасоли прово-

дится вручную [1,2]. Для повышения производительности уборочных работ, проведение их в необходимые сроки, а также качества готовой продукции становится необходимым и актуальным создание машины малой механизации для среза кустов фасоли.

Проведен патентный поиск малой механизации по срезанию и выдергиванию кустов фасоли и анализ способов скашивания растений косой с прямой режущей кромкой, а также видов срезающих устройств. На основе проведенных работ определен аналог изобретений и виды срезающих устройств для создания вышеуказанной машины [3,4].

Рассмотрим напряженно-деформированное состояние срезающего устройства, применяемого в составе фасолекосилки приведенного на рисунке 1.



**Рис. 1.** Срезающее устройство фасолекосилки: 1 – режущий элемент (плоскорез), 2 – долото, 3 – стойка, 4 – направляющие усики, 5 – балка.

Срезающее устройство предназначено для среза стебля фасоли и другой растительной массы, растущих на грядке. Из априорной информации [5] известно, что оптимальным углом между режущим элементом - 1 и направлением скашивания стеблей фасоли является  $45^{\circ}$ . Долото – 2, в момент среза стебля фасоли за счет своей конструктивной особенности (угол, координаты расположения относительно стебля фасоли) способствует приподниманию стебля от почвы, тем самым снижая перемешивания ее с почвой. Режущий элемент со стойкой образует режущий периметр, который крепится к балке - 5 и имеет

возможность регулировки по высоте относительно грядки фасоли. Направляющие усики - 4 направляют срезанную растительную массу в сторону грядки, способствуют формированию валка фасоли и очищению колеи базовой машины от растительной массы. Каждый режущий периметр предназначен для среза стеблей фасоли и растительной массы одной грядки. Межсоевое расстояние между грядками фасоли составляет 0,7 м [6]. Рассматривается случай резание однородной почвы (рис. 2), когда угол резания изменяется в пределах  $30^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ .

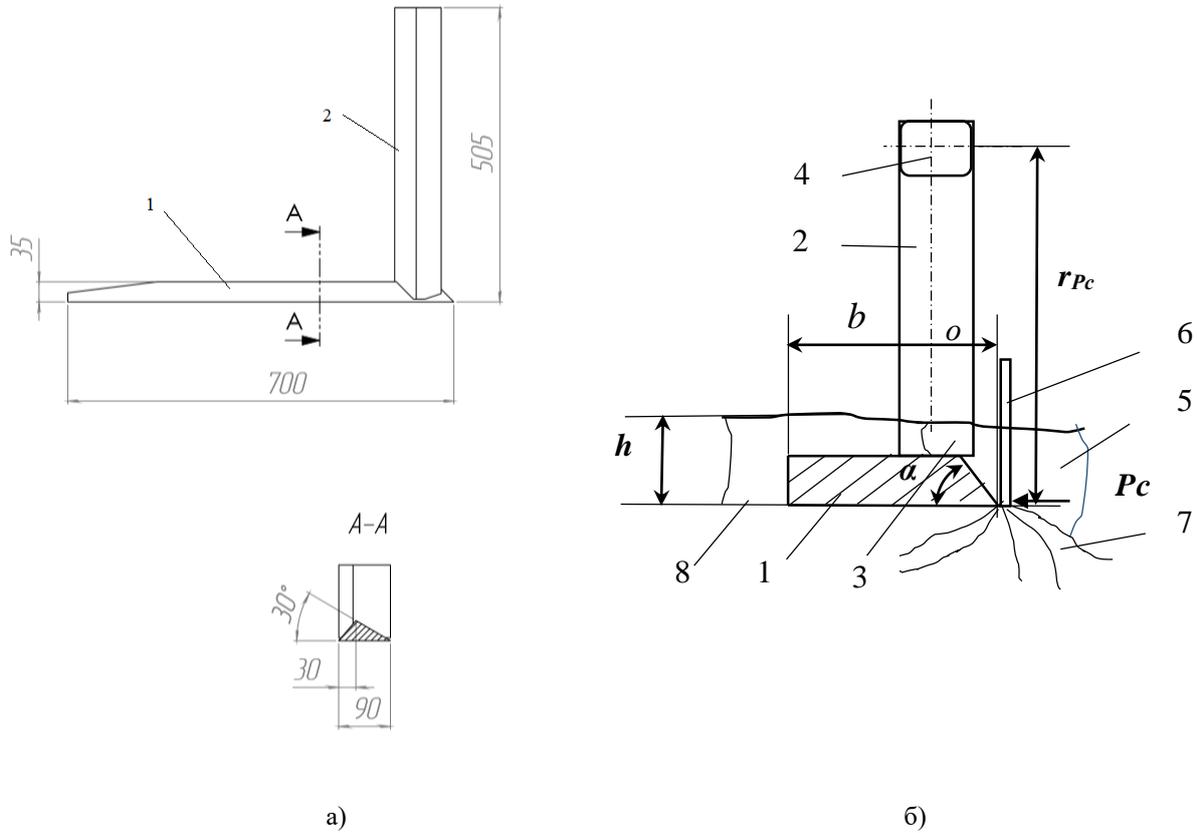


Рис. 2. а) общий вид, б) расчетная схема срезающего устройства:

1 – режущий элемент, 2 – стойка, 3 – долото, 4 – балка, 5 – неразрушенная зона почвы, 6 – стебель фасоли, 7 – корневая система фасоли, 8 – разрушенная зона почвы,  $P_c$  – сила сопротивления почвы резанию,  $\alpha$  – угол резания,  $h$  – толщина резания,  $b$  – ширина резания,  $r_{Pc}$  – плечо силы сопротивления резанию относительно точки  $O$ .

В момент наступления в почве предельного напряженного состояния, которое вызывает разрушение почвы, значение силы резания со стороны режущего элемента и значение силы сопротивления почвы разрушению равны. Тогда значение момента силы от  $P_c$ , относительно точки  $O$ , который вызывает появления в металлоконструкции срезающего устройства напряженно-деформированное состояние равно:

$$M_{P_c} = P_c r_p \quad (1)$$

Плечо силы резания грунта определяется по конструкции срезающего устройства (рис. 2) и равно  $r_{Pp} = 0,505$  м.

Приближенная сила резания однородной почвы (без каменистых включений) определяется по зависимости [7]:

$$P_o = \sqrt{\left(u - \frac{hH}{\sin \alpha}\right)^2 + u^2 \operatorname{tg}^2 \varphi_0 (\sin \alpha \cos \varphi_0 + \cos \alpha \sin \varphi_0)} \cdot b \quad (2)$$

$$u = \frac{a_{\beta_i} h}{\sin \alpha} (0,5\gamma h + H)$$

где  $\alpha$  – угол резания,  $h$  – толщина резания,  $b$  – ширина резания,  $a_\beta$  – коэффициент наклона плоскореза относительно вертикали,  $\gamma$  – объемный вес грунта,  $\varphi$  – угол внутреннего трения,  $\varphi_0$  – угол трения почвы с ножом.

$H$  вычисляется формулой [8]:

$$H = C \operatorname{ctg} \varphi \quad (3)$$

где  $C$  – коэффициент сцепления почвы.

В таблице 1 приведены параметры почвы – суглинка [9] и его резания, результаты определения силы резания почвы в зависимости от угла резания  $P_p = f(\alpha)$ .

Таблица 1

Параметры почвы - суглинка и его резания

Параметры почвы					Параметры резания				
Влажность, W, % W, %	$\gamma$ , н/м <sup>3</sup>	C, н/м <sup>2</sup>	$\varphi$ ,	$\varphi_0$ ,	$h$ , м	$b$ , м	$k_{np}$	$v$ , м/с	
14,0	19675	34500	32,75 <sup>0</sup>	24,5 <sup>0</sup>	0,09	0,25	1,0	0,5	
$\alpha = 30^0$	$M_{pc} = 889,1$ нм				$P_p = 1760,5$ н				
$\alpha = 45^0$	$M_{pc} = 1205,9$ нм				$P_p = 2387,9$ н				
$\alpha = 60^0$	$M_{pc} = 1684,7$ нм				$P_p = 3361,1$ н				

Статический расчет устройства проводится согласно последовательности, приведенной на рисунке 3.

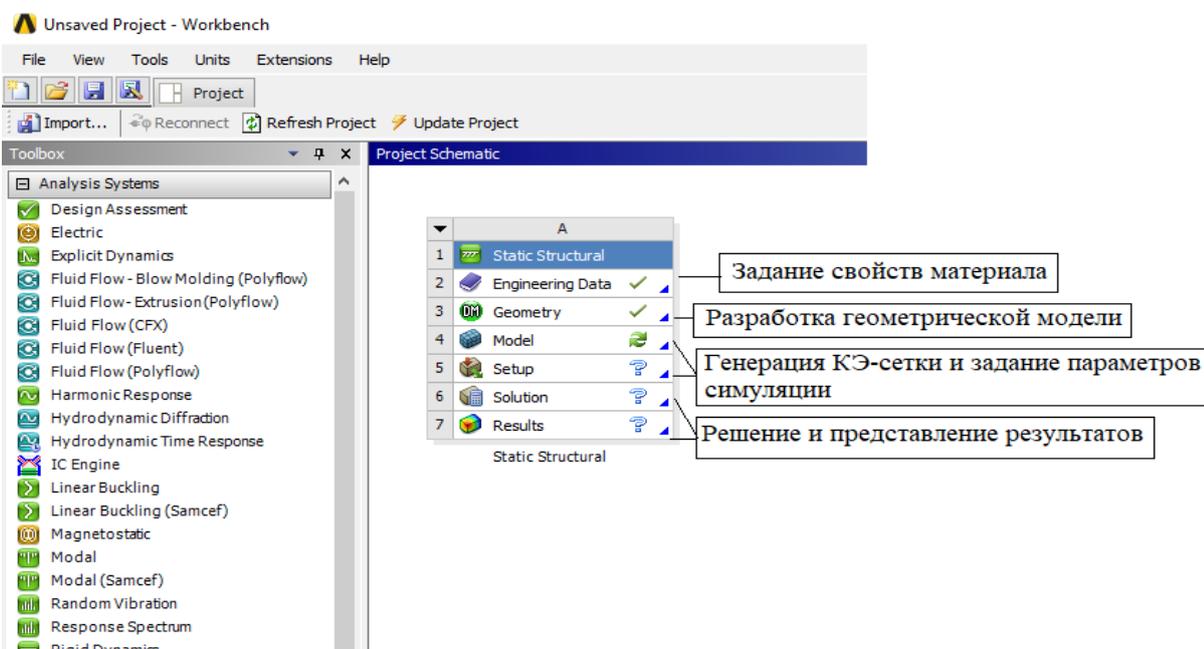


Рис. 3. Статический анализ срезающего устройства в ANSYS WORKBENCH.

Для конструкции срезающего устройства задается материал (конструкционная сталь) с необходимыми свойствами в соответствующих блоках программы. 3Д модель конструкции разрабатывается в *Solid Works*, далее она переводится в *ANSYS WORKBENCH* (рис. 4).

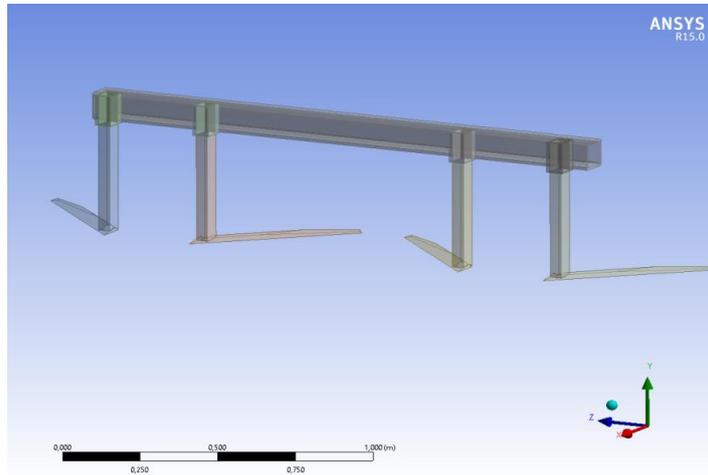
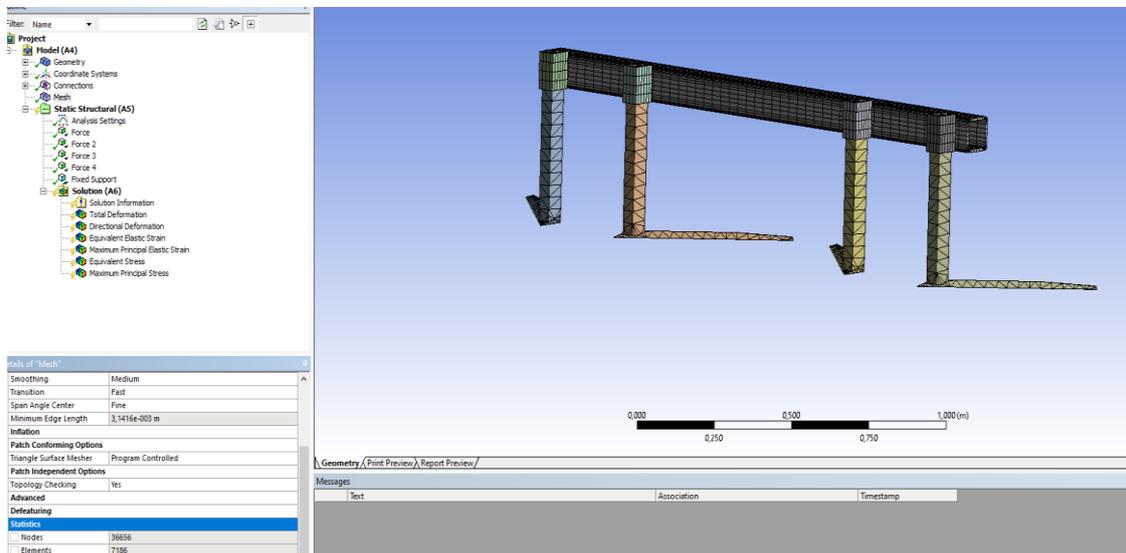
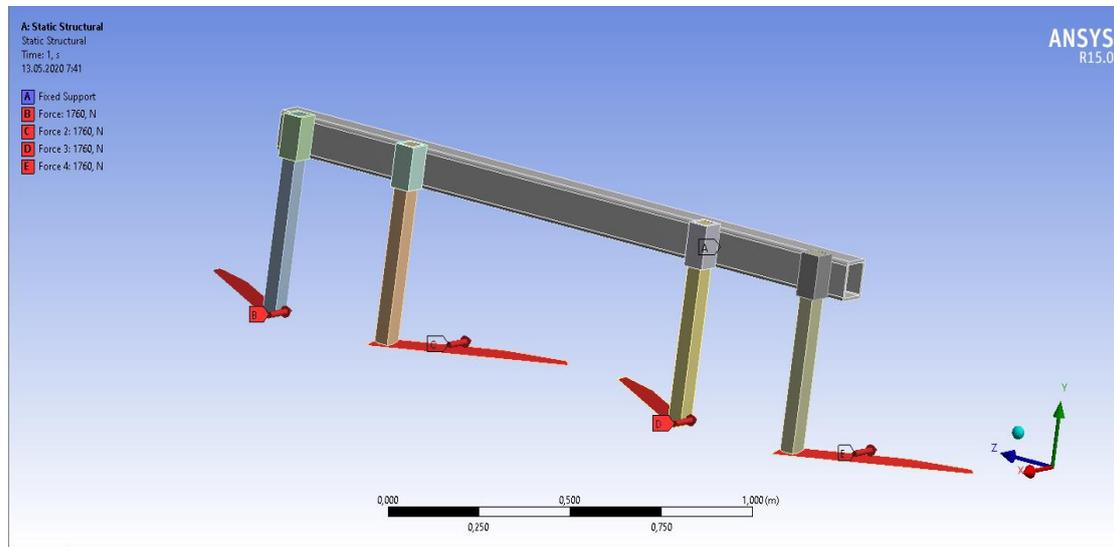


Рис. 4. 3D модель срезающего устройства, разработанная в Solid Works.

Далее конструкция срезающего устройства разбивается на конечные элементы для решения задачи в численной форме. Задаются параметры конечной сетки с учетом геометрической особенности конструкции и внешняя нагрузка для нее (5а и 5б).



a)



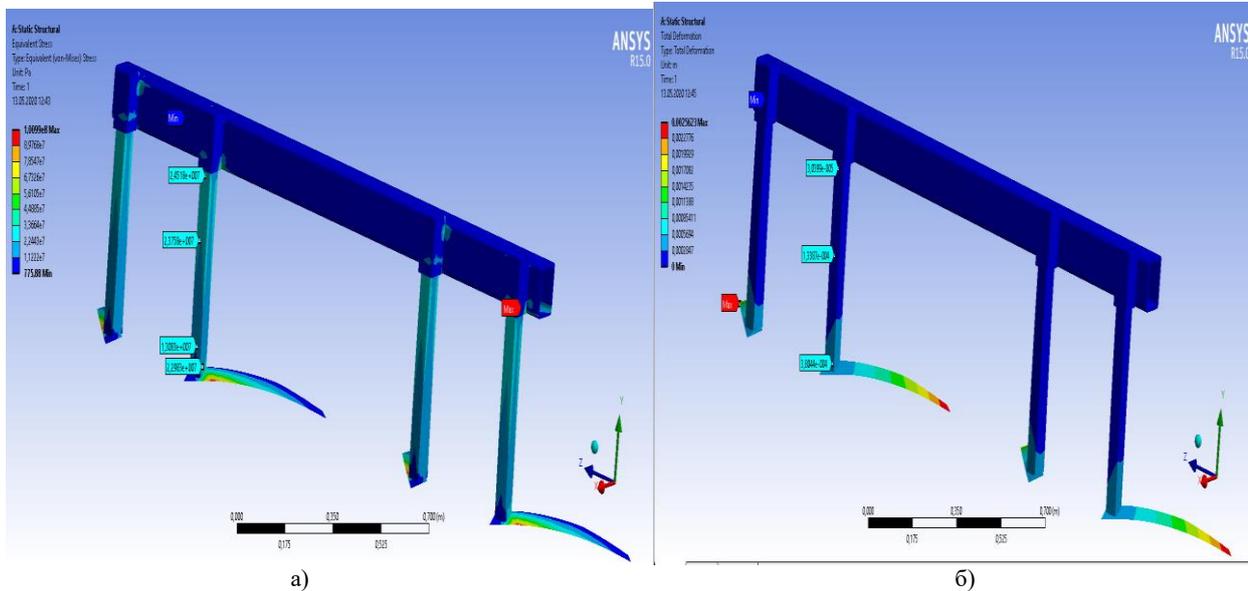
б)

**Рис. 5.** Сетка на конструкции срезающего устройства: количество узлов - 36656, количество элементов - 7186 – а), внешние силы и граничные условия – б).

На геометрическую модель срезающего устройства прикладывается внешняя нагрузка – сила сопротивления резанию однородной почвы с растительностью.

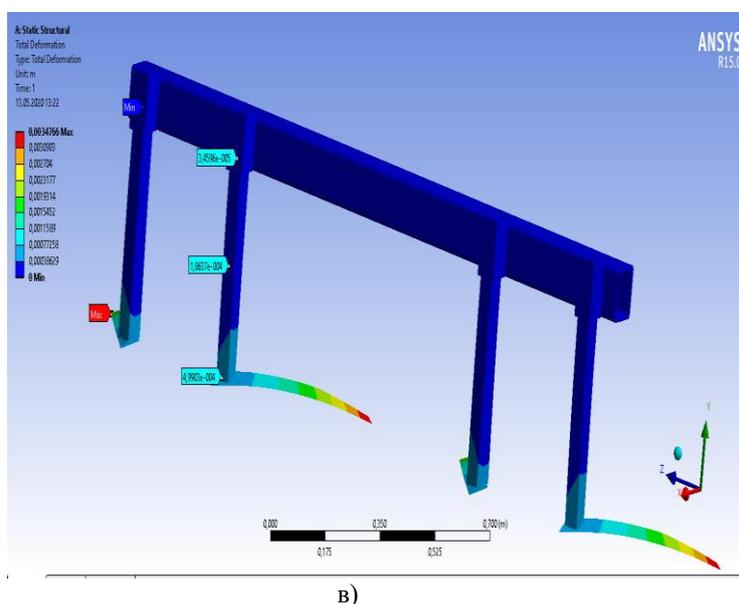
Указанная сила прикладывается к режущим элементам устройства (рис. 5б). Балка, к которой крепятся режущие периметры моделируется закреплением с ограничением в соответствующих направлениях (рис. 5б).

Результаты расчета «Срезающее устройство» показывают распределение эквивалентного напряжения по Мизесу (рис. 5а), распределение полной деформации (рис. 5б) по конструкции.



а)

б)



в)  
**Рис. 6.** Эквивалентное напряжение по Мизесу – а), полная деформация по конструкции срезающего устройства ( $\alpha = 30^\circ$ ) – б), полная деформация по конструкции срезающего устройства ( $\alpha = 45^\circ$ ) – в).

На основе анализа напряжения по Мизесу делается вывод, что наибольшей нагруженности подвергаются плоскорезы и вертикальные стойки, и их зоны крепления между собой (рис.6а). Сравнительный анализ показывает, что максимальное напряжение Мизеса в наиболее нагруженном локальном участке меньше чем предела текучести материала срезающего устройства. Значение полной деформации плоскорезов достигает 2,56 мм, а зона их крепления до 0,33 мм.

Изменение напряженно-деформированного состояния локальных участков элементов срезающего устройства (таб) в зависимости от угла резания приведено в таблице 2.

Таблица 2

**Изменение напряженно-деформированного состояния локальных участков элементов срезающего устройства**

Угол резания, $\alpha, ^\circ$	Режущий элемент		Стойка		Режущий элемент-стойка		Стойка-балка	
	Спр, МПа	Епл, мм	Спр, МПа	Епл, мм	Спр, МПа	Епл, мм	Спр, МПа	Епл, мм
30	100,99	2,56	23,75	0,13	22,98	0,38	14,52	0,0304
45	137,02	3,47	27,81	0,186	29,24	0,5	16,75	0,035
60	192,85	4,89	36,92	0,196	35,07	0,75	20,41	0,045

На рисунке 7 показано изменение максимального приведенного напряжения по Мизесу в режущем элементе срезающего устройства в зависимости от угла резания почвы, относительное увеличение, когда почва разрушается режущим элементом, имеющего угол заострения  $60^\circ$  по сравнению углом резания  $30^\circ$  составляет 90,95%.



**Рис. 7.** Изменение максимального приведенного напряжения по Мизесу в режущем элементе в зависимости от угла резания почвы.

В ANSYS WORKBENCH оценивается напряженно-деформированное состояние конструкции даже на стадии проектирования, с тем что можно было внести необходимые корректировки в прочностные характеристики элементов конструкции. Предлагается по результатам исследований назначать угол резания почвы равным  $30^{\circ}$ , а угол между режущим элементом и направлением скашивания фасоли принимать  $45^{\circ}$ , которые способствуют минимальному напряженно-деформированному состоянию элементов срезающего устройства фасоли.

#### Литература:

1. Тургунбаев М.С., Абдырахманов И.А, Учуров О.А. Разработка средств малой механизации для срезания кустов фасоли // Республиканский научно-теоретический журнал «Известия вузов Кыргызстана». - 2019. - №5. - С. 7-12.
2. Тургунбаев М.С., Осмонов М.Н., Тургунбаева З.Б. Обзор и анализ конструкций машин малой механизации для срезания кустов фасоли // Республиканский научно-теоретический журнал «Известия вузов Кыргызстана». - 2019. - №5. - С. 12-16.
3. Фасолеуборочная машина [сайт] [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://findpatent.ru/patent/210/2101908.html> / (дата обращения: 2012-2019).
4. Способ скашивания растений косой с прямой режущей кромкой [сайт] [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://findpatent.ru/patent/213/2136136.html/> (дата обращения: 2012-2019).
5. Босой Е.С. Режущие аппараты уборочных машин. - М.: Машиностроение, 1967.
6. Тургунбаев М.С., Байгазиев М.С. и др. Исследование, разработка и внедрение сельскохозяйственной машины малой механизации для уборки урожая фасоли: Отчет по теме. - Гос. регистр. №0007564. -Бишкек, 2019. - 162 с.
7. Тургунбаев М.С. Теоретические основы определения силы разрушения однородного грунта. // Республиканский научно-теоретический журнал «Наука и новые технологии», №2. - Бишкек, 2013. - С. 24-27.
8. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. - М.: Гостехтеориздат, 1954. - 204 с.
9. Зеленин А.Н., Баловнев И.П., Керов И.П. Машины для земляных работ. - М.: Машиностроение, 1975. - 421 с.