С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университетінің **Ғылым жаршысы**(пәнаралық) = **Вестник науки** Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина (междисциплинарный). – 2015. - №2 (85). –С. 107-114

ФОРМИРОВАНИЕ ПЛАСТА ПОЧВЫ И ЕГО ДВИЖЕНИЕ ПО ДВУГРАННОМУ КЛИНУ

Бледных В.В., Свечников П.Г., Гришин А.Н.

Аннотация

Рассмотрено изменение тягового сопротивления двухгранного клина при его взаимодействии с почвой с учетом движения и разрушения почвы. Полное тяговое сопротивление двугранного клина, обусловленное разрушением почвы, зависит от формирования пласта и движения почвы по клину. Полученные уравнения учитывают коэффициент трения почвы по поверхности клина, угол постановки клина к дну борозды и угол внутреннего трения почвы и могут быть использованы при проектировании рабочих органов почвообрабатывающих орудий и машин, выполняющих заданные агротехнические требования.

Ключевые слова: Тяговое сопротивление, двугранный клин, разрушение почвы, формирование пласта, коэффициент трения, сила, рабочие органы, почвообрабатывающие орудия.

Введение

Любая машина предназначается для выполнения полезной работы, поэтому при создании сельскохозяйственных машин на первое место всегда выходят агротехнические требования, предъявляемые к технологическому процессу и высокое качество выполнения технологических операций.

В процессе выполнения полезной работы рабочие органы орудий взаимодействуют с почвой, растениями и удобрениями. Характерные особенности этого взаимодействия определяются видом технологических операций.

Результатом взаимодействия рабочих органов почвообрабатывающих орудий с почвой (средой) является разрушение и движение слоя почвы по глубине хода рабочего органа. Силы, возникающие в процессе взаимодействия рабочих органов с почвой, необходимо преодолевать при движении орудия. Силы, которые действуют на рабочие органы и почву, проявляются в виде сил сопротивления движению рабочего органа и сил, разрушающих почву. Почва сохраняет состояние покоя до тех пор, пока приложенные силы не заставят её изменить это состояние. Причиной изменения состояния почвы являются приложенные к

почве силы со стороны рабочего органа.

Знание этих сил позволяет определить прочностные показатели конструкции рабочего органа и всего орудия, величину силы сопротивления орудия, тип тягового средства, КПД орудия и технико-экономические показатели работы почвообрабатывающего агрегата. Знание сил позволяет в дальнейшем подобрать материал для изготовления всех элементов орудия, выполнить необходимые расчеты на прочность. Силы, возникающие в процессе взаимодействия рабочих органов с почвой, нужно преодолевать.

Материалы и методика исследований

Чтобы создать надежную и долговечную машину, нужно знать величину, направление и характер действующих сил. При правильном учете всех действующих сил, вероятность разработки и создания хорошей с/х машины весьма высока.

Сила является векторной величиной и считается заданной, если указаны:

– численное значение силы;

– направление действия силы;

– точка приложения силы.

Результативность действия силы определяется суммарным действием всех трёх позиций: абсолютной величиной силы, направлением и точкой приложения. При конструировании машин и орудий применяют понятие «линия действия силы» – это прямая, совпадающая по направлению с вектором действия силы.

Сила взаимодействия рабочих органов с почвой зависит от местоположения рабочего органа в почве, скорости движения орудия и ряда других условий. Для осуществления взаимодействия рабочего органа с почвой от внешнего источника должна быть подведена другая сила (энергия).

Очень важно при анализе взаимодействия определить природу действующих сил. Механическое взаимодействие тел подчинено третьему закону Ньютона: действию всегда есть равное и противоположно направленное противодействие; силовое взаимодействие возможно при наличии по крайней мере двух тел. В почвообрабатывающих орудиях такими телами являются рабочий орган орудия и почва (в некоторых случаях растение). Третий закон Ньютона говорит не о величине сил в результате взаимодействия, а только о том, что они равны по модулю и противоположно направлены.

$$\bar{F}_1 = -\bar{F}_2,$$

где $\bar{F}_1$ – сила, приложенная к первому телу (рабочий орган);

$\bar{F}_2$ – сила, приложенная ко второму телу (почва).

При движении тел относительно друг друга появляется сила трения скольжения F, поэтому силой взаимодействия является сила $R(R_к = -R_n)$, которая является равнодействующей N сил и F. Сила R отклонена от нормали на угол трения ϕ. Если сила трения равна нулю, то сила R_K равна силе N_K по величине и направлению.

На рисунке 1 представлена схема взаимодействия рабочего органа почвообрабатывающего орудия с почвой на примере двугранного клина. При исследовании почвообрабатывающих орудий необходимо обратить внимание на следующие проявления взаимодействия:

– разрушение почвы;

– движение почвы и тел, находящихся в почве;

– величина сил, возникающих в процессе взаимодействия рабочих органов с почвой;

– влияние формы рабочего органа на перечисленные проявления взаимодействия.

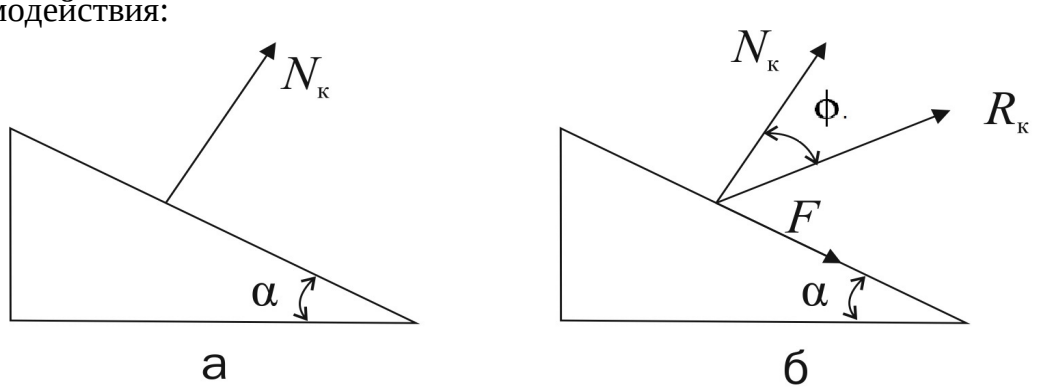

Рисунок 1 – Взаимодействие клина с почвой:
а – при отсутствии трения – взаимодействие по нормали (N_K);
б – при наличии трения – взаимодействие по направлению R_K

Если возможные перемещения происходят с очень малым трением, то им можно пренебречь, связи называют идеальными, т.е. связи, в которых сумма элементарных работ на возможном перемещении равна нулю. При идеальной связи взаимодействия клина с почвой $F = 0$, R совпадает с N по направлению.

Взаимодействие клина с почвой можно рассматривать с двух позиций: с точки зрения разрушения и движения почвы и с точки зрения тягового сопротивления клина. Рассмотрим простейший пример с точки зрения тягового сопротивления клина.

Клин ВАО с углом при вершине α перемещается в почве на глубине а. На горизонтальное движение клина в направлении V от почва возникает реакция N (рисунок 2). Сила N является реакцией почвы при ее движении по клину без трения.

Реакция клина $(-N)$ является силой, под действием которой разрушается почва. Под действием вертикальной составляющей реакции клина $(-N_Z)$ почва движется вверх.

Реакция почвы R преодолевается силой P (рисунок 3). Горизонтальная составляющая реакции почвы R_x является составляющей силы тягового сопротивления клина P, а вертикальная составляющая реакции почвы R_z прижимает клин к оси OX (дну борозды).

Условие начала движения клина имеет вид (рисунок 2)

$$P \geq \left|N_x\right| + N_z \cdot \mathrm{tg}\phi_1 \quad N_x = N \cdot \sin\alpha;\ \ N_z = N \cdot \cos\alpha;$$

или

$$P \geq N\left(\sin\alpha + \cos\alpha \cdot \mathrm{tg}\phi_1\right),$$

то есть

$$P \geq \frac{N}{\cos\phi_1}\sin\left(\alpha + \phi_1\right), \qquad (1)$$

где $\mathrm{tg}\phi_1$ – коэффициент трения подошвы клина OA о почву;

ϕ_1 – угол трения скольжения подошвы клина по почве.

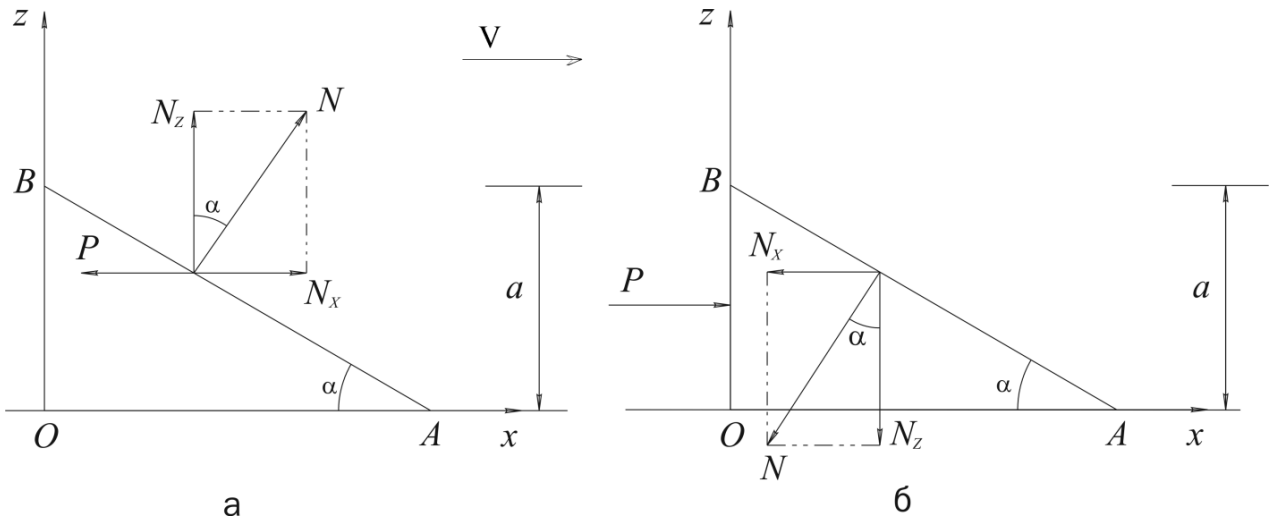

Рисунок 2 – Взаимодействие клина с почвой:
а – реакция клина на действие почвы; б – реакция почвы на действие клина

Как только клин начнет движение, появляются движение почвы относительно клина и сила трения-скольжения почвы о поверхность клина F (рисунок 3). Теперь сила P должна преодолевать не только силу N, но и силу $F = N \cdot \mathrm{tg}\varphi$ или силу R – равнодействующую сил N и F. Сила R теперь обозначает реакцию почвы на действие клина при его движении с трением. Условие движения клина в этом случае будет таким:

$$P = R_x + R_z \cdot \mathrm{tg}\phi_1,$$

но

$$R_x = R\sin\left(\alpha + \phi\right);$$

$$R_z = R\cos\left(\alpha + \phi\right)$$

Поэтому

$$P = R\left[\sin\left(\alpha + \phi\right) + \cos\left(\alpha + \phi\right)\mathrm{tg}\phi_1\right],$$

где ϕ_1 – угол трения подошвы клина о почву;

ϕ – угол трения почвы по рабочей поверхности клина *AB* (поверхность движения почвы).

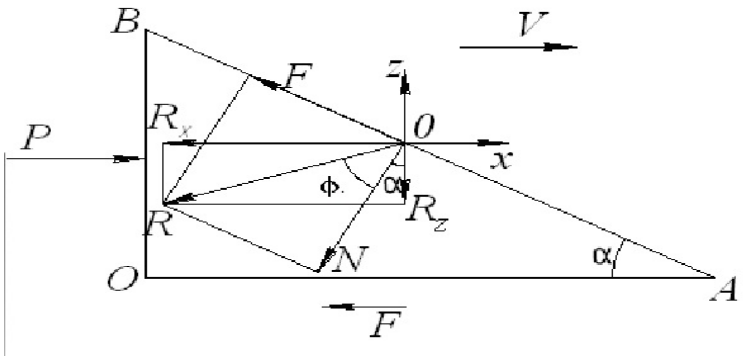

Рисунок 3 – Стационарный процесс движения клина в почве

Если материал и конструктивное оформление подошвы клина одинаковы с материалом и конструктивным оформлением рабочей поверхности клина, то $\phi_1 = \phi$, то есть

$$P = \frac{N}{\cos\phi}\left[\sin(\alpha+\phi)+\cos(\alpha+\phi)\,\mathrm{tg}\phi\right] \qquad (2)$$

Несмотря на кажущуюся простоту, до сих пор отсутствуют математические уравнения, при помощи которых можно определить составляющие движения почвы по клину в тяговом сопротивлении клина, в том числе и влияние коэффициента трения движения почвы по клину.

Рассмотрим условие движения сформированного пласта почвы abcd по плоскому двугранному клину с углом α (рисунок 4) . Длина плоскости клина равна l, ширина плоскости равна b. Объем почвы на клине:

$$V = a_K b l\,,$$

где a_K – толщина пласта на клине;

b, l – ширина и длина рабочей плоскости клина.

Вес почвы на клине:

$$G = \gamma V\,,$$

где γ – объемный вес почвы.

Нормальная составляющая на плоскость клина от силы веса почвы:

$$G_N = G \cdot \cos\alpha = \gamma \cdot V \cdot \cos\alpha$$

Сила сопротивления движению пласта почвы по клину:

$$T = G_N f\,, \qquad (3)$$

где f – коэффициент трения при движении почвы по клину.

Сила T возникает в результате взаимодействия образовавшегося пласта с материковой почвой (рисунок 4).

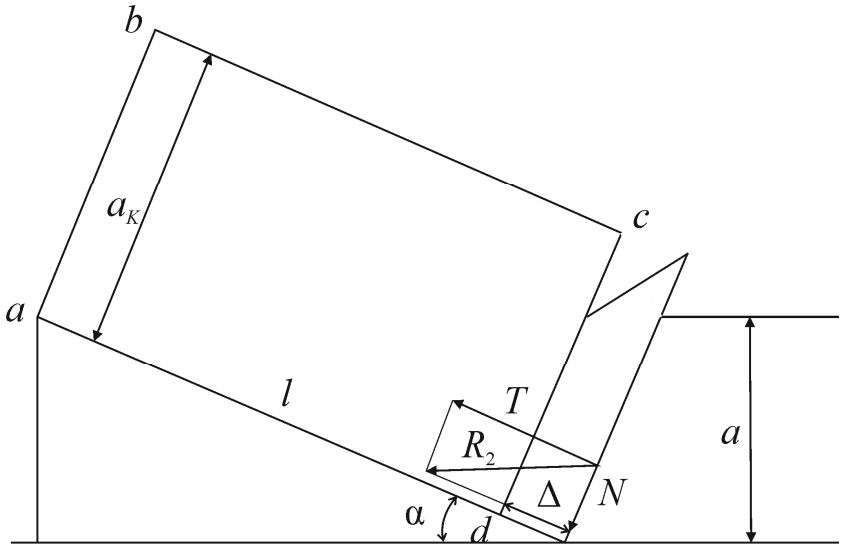

Рисунок 4 – Расчетная схема движения пласта почвы *abcd* по клину с углом α

При взаимодействии пласта почвы на клине с материковой почвой имеют место следующие соотношения:

$$T = R_2 \cdot cos\alpha, \; N = R_2 \cdot sin\alpha,$$

где R_2 – сила, препятствующая движению клина в почве (сила сопротивления);

N – сила, нормальная к плоскости клина.

Сила N увеличивает силу трения движения почвы по клину на величину fN, поэтому уравнение будет таким:

$$T = G_N f + Nf$$

или

$$T = G_N \cdot f + f \cdot R_2 \cdot sin\alpha,$$

или

$$R_2 \cdot cos\alpha = G_N \cdot f + f \cdot R_2 \cdot sin\alpha, \qquad (4)$$

откуда находим силу R_2:

$$R_2 = \frac{G \cdot f \cdot cos\alpha}{cos\alpha - f \cdot sin\alpha},$$

$$R_2 = \frac{a_K \cdot \gamma \cdot b \cdot l \cdot f \cdot cos\alpha}{cos\alpha - f \cdot sin\alpha}. \qquad (5)$$

Из рисунка 4 определяем толщину пласта на клине:

$$a_k = \frac{a}{cos(\alpha + \phi)}$$

Теперь можно получить окончательное выражение для определения составляющих движения почвы по клину в тяговое сопротивление клина:

$$R = R_2 = \frac{a \cdot \gamma \cdot b \cdot l \cdot f \cdot \cos\alpha}{\cos(\alpha+\varphi)\cdot(\cos\alpha - f \cdot \sin\alpha)} \qquad (6)$$

Основные результаты исследования

Полученное уравнение позволяет ответить на все вопросы влияния движения почвы по клину на его тяговое сопротивление. График тягового сопротивления клина (R_2) от движения почвы по клину представлен на рисунке 5.

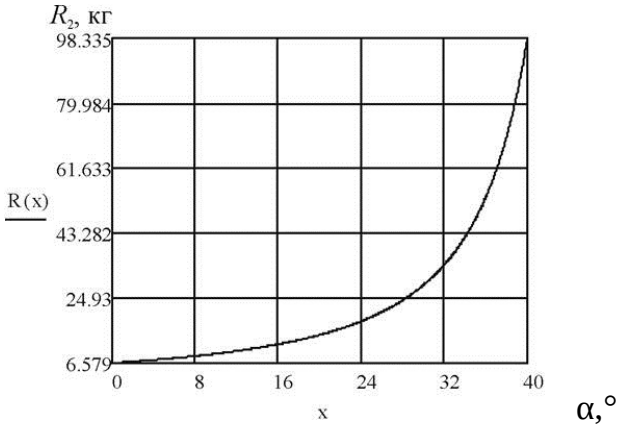

Рисунок 5 –Изменение тягового сопротивления клина в зависимости от угла α при движения почвы

по клину: (f = 0,84; $a = 0.1$м; $b = 0.1$м; $l = 0.3$м; $\gamma = 2000\frac{кг}{м^3}$)

Зависимость тягового сопротивления клина от коэффициента трения почвы о поверхность клина представлена на рисунке 6.

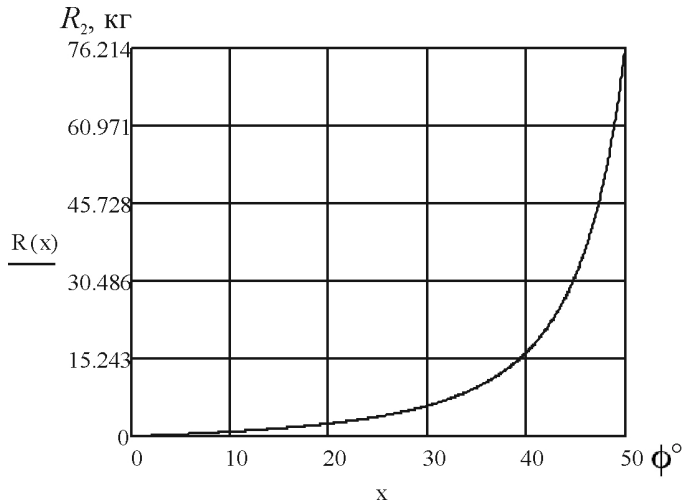

Рисунок 6 – Влияние коэффициента трения почвы о поверхность клина на его тяговое сопротивление

($\alpha = 30^0$; $a = 0.1$м; $b = 0.1$; $l = 0.3$м; $\gamma = 2000\frac{кг}{м^3}$)

При данных размерах клина и объемном весе почвы, вес пласта на клине равен 10–14 кг.

Нами было определено тяговое сопротивление клина, обусловленное только разрушением почвы и формированием пласта:

$$P = R\left[\sin(\alpha + \phi) + \frac{cos\alpha tg\phi}{\cos\phi}\right], \qquad (7)$$

Получим уравнение для определения полного тягового сопротивления двугранного клина с учетом силы, затрачиваемой на движение почвы по клину:

$$P = P_1 + P_2,$$

где P_1 – сила сопротивления, обусловленная разрушением почвы и формированием пласта (уравнение 7);

P_2 – сила сопротивления, обусловленная движением пласта почвы по клину (уравнение 6), т.е.:

$$P = R(\sin(\alpha + \phi) + \frac{cos\alpha tg\phi}{\cos\phi}) + \frac{f\gamma abl\sin\alpha}{\cos(\alpha + \phi)(\cos\alpha - f\sin\alpha)},$$

$$\text{где } R = \frac{\mu ab}{\cos(\alpha + \phi)},$$

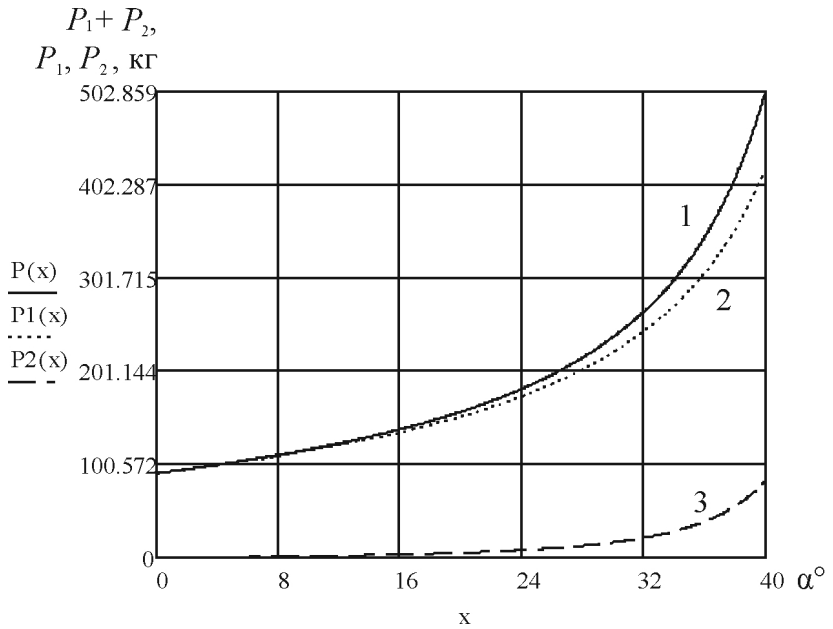

Рисунок 7 – Тяговое сопротивление двугранного клина с учетом разрушения почвы и движения пласта по клину:

1 – общее тяговое сопротивление клина – P;

2 – тяговое сопротивление, обусловленное разрушением почвы – P_1;

3 – тяговое сопротивление, обусловленное движением почвы по клину – P_2.

После преобразований имеем:

$$P = \frac{ab}{\cos(\alpha + \phi)}\left[\mu(\sin(\alpha + \phi) + \frac{\cos\alpha tg\phi}{\cos\phi}\right] + \frac{f\gamma l\sin\alpha}{\cos\alpha - f\sin\alpha}\ . \qquad (8)$$

График $P = f(\alpha)$ при $\mu = 4000\frac{n}{m^2}$, $\gamma = 2000\frac{кг}{м^3}$, f = 0.84 представлен на рисунке 7.

Экспериментально установлено, что в случае, когда $\alpha + \phi$ достигает критических значений, в том числе и при $\alpha + \phi = 90^o$, движение почвы по клину не прекращается. Почва движется в э$\alpha + \phi = 90^o$том случае не по поверхности рассматриваемого клина, а по поверхности клина, образованного самой почвой с углом при вершине, равным углу внутреннего трения почвы ϕ данного механического состава.

Угол внутреннего трения почвы зависит от ее механического состава ϕ и влажности почвы. В расчетах обычно принимают $\varphi = 30...40^o$ для песчаных почв и $\varphi = 45...60^o$ для глинистых почв

.

Заключение

Таким образом, определено полное тяговое сопротивление двугранного клина, обусловленное разрушением почвы, формированием пласта и движением почвы по клину.

Полученный результат позволяет проектировать рабочие органы почвообрабатывающих орудий, выполняющих заданные агротехнические требования на обработку почвы при минимальном тяговом сопротивлении.

Список литературы

1. V. Blednykh, P. Svechnikov. Theoretical Foundations of Tillage, Tillers and Aggregates. – 2014 by Nova Science Publishers, Inc., New York. – P. 174.
2. V. Blednykh, P. Svechnikov. Economic reasons of tillage quality / European science review. – # 7-8, 2014. – P. 103-105.
3. V. Blednykh, P. Svechnikov. Theory of a Tillage Wedge and its Applications. – 2013 Logos Verlag Berlin GmbH, Berlin. – P. 94.
4. В.В. Бледных, П.Г. Свечников. Может ли Россия себя кормить? – Челябинск, Абрис-Принт, 2010. – с. 72.

Түйін

Сынаның жұмыс беті бойынша топырақтың қозғалысы мен үйкеліс коэффициентінің сынасың тарту кедергісіне әсері белгіленді. Қыртыстың қалықтасуына, топырақтың бұзылуына және сына бойынша қозғалысына негізделген екі қырлы сынаның толық тарту кедергісі анықталды.

Алынған нәтижелер берілген агротехникалық талаптар бойынша ең аз тарту кедергісімен топырақ өңдеуге арналған құралдардың жұмыс органдарын жобалауға мүмкіндік береді.

Summary

The influence of the soil movement on a working surface of a wedge and coefficient of friction on the traction resistance of a wedge is established. The full traction resistance of a two-sided wedge caused by destruction of the soil, formation of layer and the movement of the soil on a wedge is determined. The received results allow design working bodies of the soil-cultivating tools fulfilling the set agrotechnical requirements of processing of the soil at the minimum traction resistance.