

*Б.Н.Нуралин, Ш.Д.Махмудова, М.С.Галиев\**, *Е.М.Джаналиев, М.К.Дусенов*

*НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», ЗКО, г.Уральск, ул. Жангир хана 51, 090009, Республика Казахстан, [bnuralin@mail.ru](mailto:bnuralin@mail.ru), [cmb-zko@mail.ru](mailto:cmb-zko@mail.ru), [manarbek-1980@mail.ru](mailto:manarbek-1980@mail.ru)\*, [ernazar.dzhanaiev@mail.ru](mailto:ernazar.dzhanaiev@mail.ru), [dusenov.maksut@mail.ru](mailto:dusenov.maksut@mail.ru)*

## РАЗРАБОТКА РЫХЛИТЕЛЬНОЙ ЛАПЫ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ДЕФОРМАТОРАМИ

### *Аннотация*

Плоскорезы всех модификаций, позволяющие осуществлять рыхление пахотного слоя с сохранением стерни на поверхности поля и задержание почвенной влаги, защиту почвы от ветровой и водной эрозии, при обработке сухих плотных почв в зоне Западного Казахстана выворачивают огромные «глыбы», образуют на дне борозды уплотненную подошву и работают в условиях заблокированного резания почвы. Указанные недостатки затрудняют дальнейшие поверхностные обработки почвы, мешает развитию корневой системы растений и интенсивному впитыванию воды в нижние слои, и увеличивает тяговое сопротивление орудия. *Рабочая гипотеза*: сохранение и восстановление плодородия почвы возможно на основе оптимизации параметров технического обеспечения процессов ее обработки с учетом зональных особенностей. *Целью исследования* является изыскание конструкции рыхлительной лапы, обеспечивающего максимальное накопление и сохранение почвенной влаги в пахотном горизонте и повышения плодородия малопродуктивных почв. На основе компьютерного моделирования процесса взаимодействия плоскорезущей лапы с почвой разработана конструкция рыхлительной лапы с вертикальными ножами с учетом структуры почвы и составлена математическая модель определения ее тягового сопротивления. Выявлены влияния отдельных конструктивных параметров, физико-механических свойств почвы на тяговое сопротивление ножей-рыхлителей. Для проверки теоретических исследований был проведен шестифакторный эксперимент и результаты показывают о правильности гипотез, принятые при составлении математической модели тягового сопротивления на основе компьютерного моделирования процесса взаимодействия рабочего органа с почвой и достоверности полученных данных. Это позволило выбрать рациональные параметры и режимы работы рыхлительной лапы с вертикальными ножами, обеспечивающие агротехнологические требования к послойной обработке тяжелых почв с наименьшими энергозатратами.

**Ключевые слова:** *Плоскорезущая лапа, вертикальные ножи, тяговое сопротивление, почвенная влага и плодородие*

### **Введение**

Эффективное использование и сохранение земельных ресурсов представляют важнейшую проблему современности. Обработка почвы сопровождается потерями почвенной влаги на испарение и просачивание, гумуса, уничтожением микроорганизмов, излишним уплотнением, ветровой и водной эрозиями [1,2,3,4]. Для эффективной борьбы с ветровой и водной эрозией почвы в засушливых регионах разработана почвозащитная влагосберегающая система обработки без применения отвальных плугов и с широким использованием плоскорезных орудий [5,6,7,8]. На полях Казахстана и Сибири, опыты А. И. Бараева показали [9], что по фону плоскорезной обработки с оставлением стерни на поверхности весенние запасы продуктивной влаги почвы зачастую бывают в 2...3 раза, а в малоснежные зимы в 3...4 раза выше, чем при осенней отвальной вспашке. Однако эти орудия имеют ряд существенных недостатков при обработке сухих плотных почв в зоне Западного Казахстана: выворачивают огромные «глыбы», которые затрудняют дальнейшие поверхностные обработки почвы;

тяжелые башмаки образуют на дне борозды уплотненную подошву, а плоскорезные лапы имеют низкую степень крошения пахотного горизонта, которые мешают развитию корневой системы растений и интенсивному впитыванию воды в нижние слои. Они работают в условиях заблокированного резания почвы, что увеличивает тяговое сопротивление орудия.

*Целью* исследования является изыскание конструкции рыхлительной лапы плоскореза, обеспечивающего улучшения водно-воздушного режима и сохранение плодородия малопродуктивных почв.

*Задачей* исследования является тщательное изучение взаимодействия рабочих органов с почвой, располагая моделью почвы, учитывающая ее состав, структуру, физико-механические и прочностные свойства.

### **Методы и материалы**

Моделированию технологического процесса взаимодействия рабочих органов почвообрабатывающих машин с почвой с использованием законов механики сплошной деформируемой среды посвящены работы многих отечественных и зарубежных ученых [10,11,12,13]. Мударисов С. Г. [14] обосновал соответствие модели сплошной деформируемой среды к реальному процессу почвообработки на основе компьютерного моделирования технологического процесса работы стрельчатых лап культиваторов для поверхностной обработки почвы на глубине до 18см.

Целью моделирования процесса обработки почвы плоскорезом-глубоко-рыхлителем *КПГ-250* на глубину до 30см при помощи программного комплекса *Solid Works Flow Simulation* являлась изучения траектории движения почвенного пласта относительно стойки и стрельчатой лапы.

Создание модели проходит в несколько этапов:

1.Разработка геометрической модели рабочего органа в системе автоматизированного проектирования и импортирование его в программу *SolidWorks* (если модель была разработана в сторонней программе).

2.Создание проекта *Flow Simulation*, выбор типа движущейся среды с установкой ее характеристик, задание расчетной области, начальных, внешних и граничных условий, указание целей и расчет.

3.Обработка и анализ результатов расчета.

Геометрическая модель рабочего органа плоскореза проектировалась в программе *T-Flex* на основе стандартного рабочего органа плоскореза-глубокорыхлителя *КПГ-250* шириной захвата 110см и импортировалась в программу *Solid Works*.

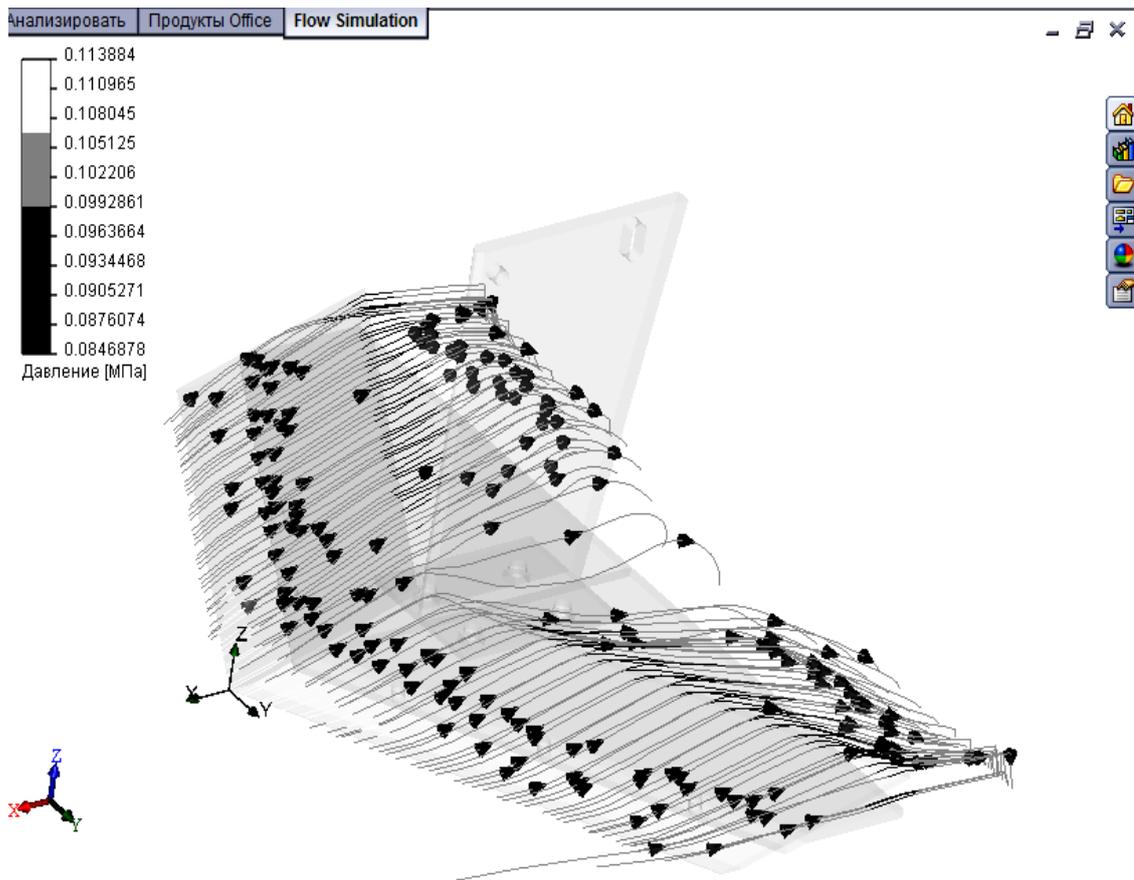
Проект был создан с внешним типом анализа с учетом гравитации ускорением свободного падения  $9.81 \text{ м/с}^2$ . В качестве движущейся среды выбрана модель жидкости с коэффициентом вязкости  $\mu=150 \text{ Па}\cdot\text{с}$  и плотностью  $\rho=1500 \text{ кг/м}^3$ . За расчетную область был принят прямоугольный канал глубиной 30см, в котором движущаяся среда омывает препятствие в виде рабочего органа плоскореза-глубокорыхлителя.

За начальные условия приняты: скорость потока навстречу рабочему органу  $2.17 \text{ м/с}$ ; дно и стенки канала как идеальные поверхности, у которых отсутствуют пограничный слой; давления окружающей среды  $1 \text{ атм}$ .

Программа имеет возможность визуализировать рассчитанные параметры процесса.

График распределения давления по поверхности рабочего органа (рис. 1) показывает о возникающих в процессе работы напряжениях на контактирующих с почвой поверхностях плоскорезных лап. Интегральная сумма давления, оказываемого почвенной средой на всю поверхность рабочего органа, дает результирующую силу реакции, характеризующую энергоемкость почвообработки.

По линиям траектории движения частиц почвы, контактирующих с поверхностью лап плоскореза (рис. 1), можно судить о характере движения почвенного пласта по лемехам, его деформации и разрушения.



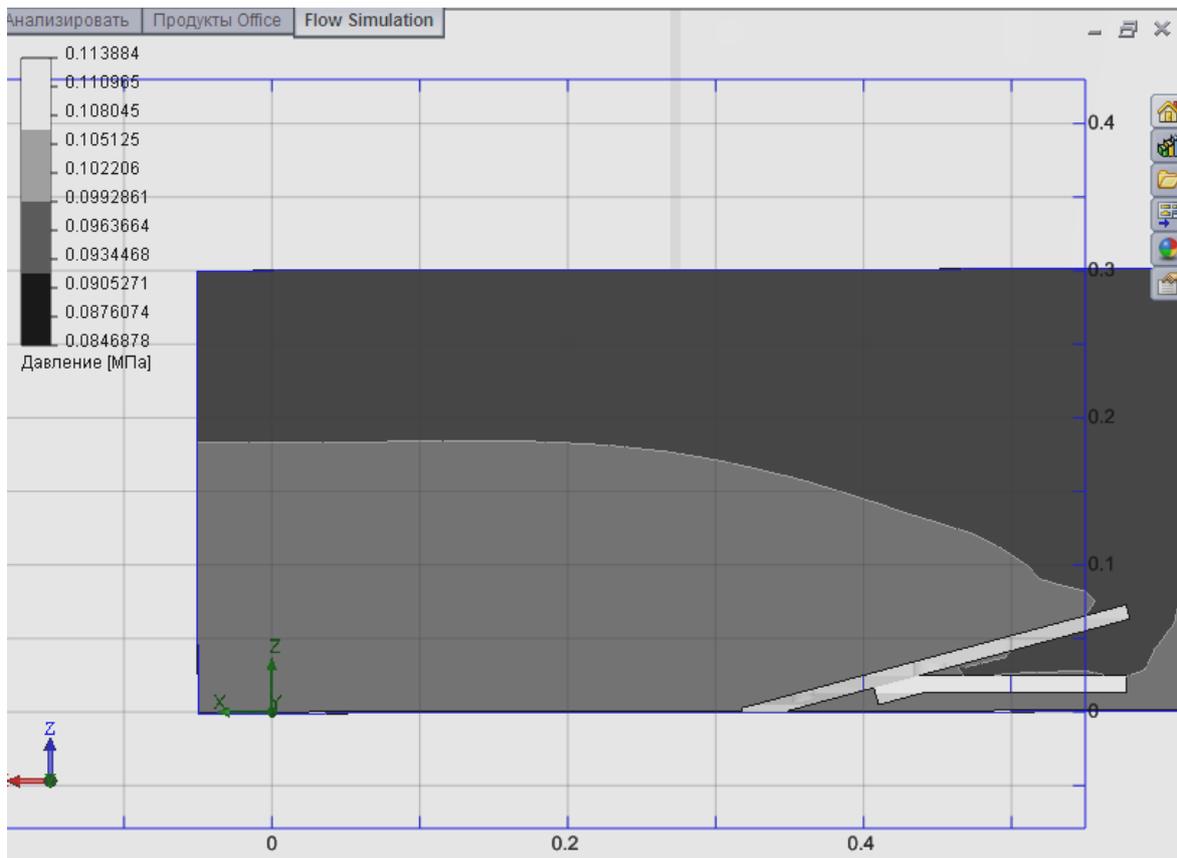
**Рисунок 1** - Линии траектории движения частиц почвы, контактирующих с поверхностью лап плоскореза

Максимальное напряжение возникает перед носком рабочего органа (рис. 2), вследствие чего почва в этом месте уплотняется и происходит разрушение почвенного пласта. Разрушенный почвенный пласт движется по наклонным лемехам плоскорезующей лапы, продолжая разрушаться за счет возникающих нормальных усилий, смещаясь от стойки к краям рабочего органа. При этом перемещение почвенных частиц, возникающее в них давление и, как следствие, деформация и разрушение почвенного пласта в целом снижается по мере удаления частиц от стойки рабочего органа.

Распределение давления в продольно-вертикальной плоскости (рис. 2) показывает, какая часть напряжения передается вышележащим слоям почвенного пласта, что может также говорить о характере его деформации и разрушения. Давление от лапы передается вверх до слоев почвенных частиц, расположенных на глубине  $6...7$  см в вертикальной плоскости, находящейся в

$10$  см от плоскости симметрии, а в плоскости, находящейся в  $55$  см от плоскости симметрии (край плоскорезной лапы) – до слоя на глубине  $11...12$  см, следовательно, в верхних слоях почвы, расположенных ближе к краям плоскорезной лапы, качество рыхления ухудшается. Это доказывает необходимость применения рабочих органов, рыхлящих и подрезающих пласт почвы ближе к поверхности обрабатываемого поля

Таким образом, моделирование процесса почвообработки показывает, что для более эффективной обработки почвы глубокорыхлителем необходимо его усовершенствовать путем установки на рабочий орган дополнительных ножей, рыхлящих почву и подрезающих корни сорняков ближе к поверхности поля. На основе компьютерного моделирования разработана конструкция рыхлительной лапы с вертикальными ножами с учетом структуры почвы и составлена математическая модель определения ее тягового сопротивления [15,16].



**Рисунок 2** - Распределение давления в продольно-вертикальной плоскости в 55 см от плоскости симметрии

Необходимая степень разрушения пахотного горизонта зависит от высоты и расстояния между вертикальными ножами. Технологический процесс послойной обработки обеспечивается при высоте ножей – рыхлителей не больше глубины обработки и не меньше мощности пахотного горизонта, т.е.  $a > h_H > h_B$ . При перемещении почвы по поверхности лемеха происходит частичное крошение нижнего слоя, в результате чего высота профиля пласта почвы увеличивается на величину, равную вспушенности  $B_n$ . Тогда высота вертикального ножа с учетом вспушенности

$$h_H = (a - h_A) + B_n = h_B + B_n, \quad (1)$$

Для зональных почв Западного Казахстана мощность гумусового слоя колеблется в пределах  $0,06...0,12$  м, при глубине их обработки  $0,30$  м и принятой величине вспушенности  $0,04$  м, высота вертикальных ножей должна быть  $0,22...0,28$  м.

Расстояние между двумя параллельными вертикальными ножами в виде двугранного клина с углом заточки  $2\beta$  (рис.3)

$$\ell_H = \frac{S}{\varepsilon_y^{кр}} \quad (2)$$

Для тяжелых глинистых почв рекомендует принимать значение критической величины относительной деформации  $\varepsilon_y^{кр} = 0,06$  [17]. Тогда расстояние между ножами должны быть  $0,17...0,25$  м при толщине ножей  $0,01...0,015$  м.

Углы заточки и установки ко дну борозды вертикального ножа влияют на его тяговое сопротивление. Половина угла заточки ножа  $\beta$  обоснована с позиции контактной задачи теории упругости, рассматривая почву линейно-деформируемой средой до пределов ее разрушения.

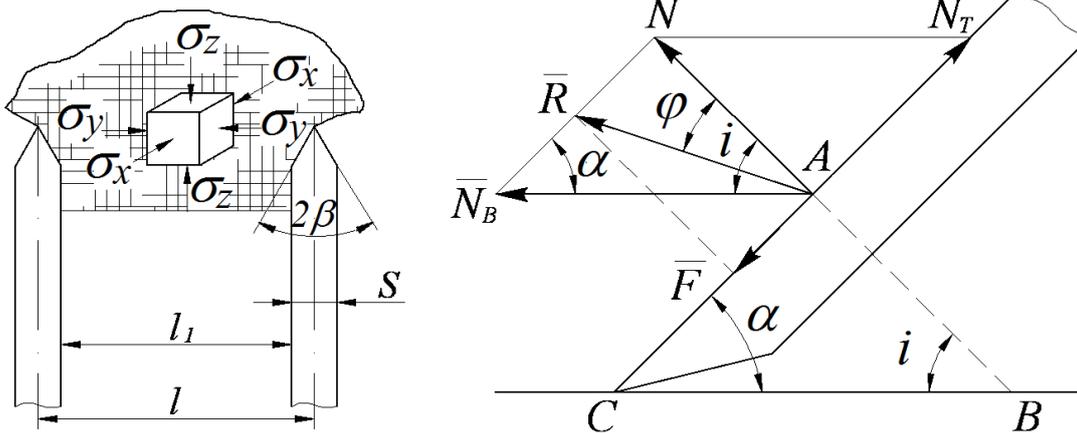
$$\beta = \operatorname{arctg} \left( \frac{\pi \cdot p_{\max} (1 - \mu^2)}{2 \cdot E \cdot \cos \pi \left( \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{f}{1 - \mu} \right)} \right), \quad (3)$$

где  $f$  - коэффициент трения почвы о сталь;

$P_{\max}$  - максимальное давление в среднюю часть ножа, Н/м;

$E$  - модуль упругости, Н/м<sup>2</sup>;

$\mu$  - коэффициент Пуассона.



**Рисунок 3** - Схема к обоснованию параметров вертикальных ножей.  $\ell_H$  - расстояния между вертикальными ножами, м;  $\ell_1$  - ширина пласта после деформаций, м;  $S$  - толщина ножа (м);  $\alpha$  - угол наклона ножа ко дну борозды, град;  $\varphi$  - угол трения, град;

Оптимальной влажности для глинистых почв 18...25% соответствует теоретический оптимальный угол заточки  $2\beta = 45...50^0$ , который близок к экспериментальному значению угла заточки ножа для глинистых почв [17].

Сила сопротивления резанию вертикальным ножом  $R$  зависит от угла наклона его ко дну борозды и наименьшая энергоёмкость технологического процесса соответствует к резанию со скольжением  $N_T > F_{\max}$  (рисунок 3.).

Условия перемещения почвы по ножу

$$N \cdot \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{2} - \alpha \right) > N \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (4)$$

где  $N$  - нормальная сила, кН;

$F_{\max}$  - максимальная сила трения почвы о поверхность ножа; кН.

При оптимальной влажности почвы  $w = 18...25\%$  угол трения имеет значение  $\varphi = 32...37^0$ , тогда угол наклона ножей должен быть  $\alpha < 54...58^0$ , что обеспечивает резание со скольжением и приведет к снижению энергоёмкости рабочего органа.

Качество работы и тяговое сопротивление рыхлительного корпуса также зависит от положения ножей на поверхности лемеха. Удаление ножей-рыхлителей от лезвия лемеха должны вызывать уменьшения тягового сопротивления рабочего органа и их оптимальное положение должны находится у нерабочей части клина, что требует экспериментальной проверки.

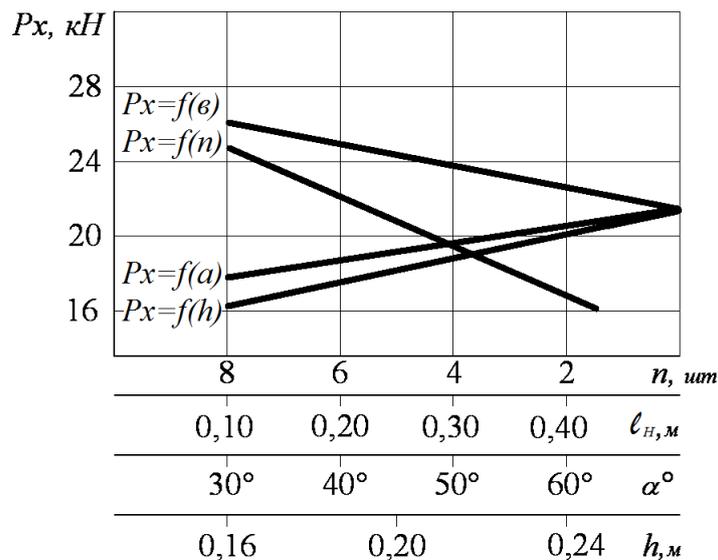
Тягового сопротивления вертикального ножа, учитывающее основные физико-механические свойства пахотного горизонта и его параметры

$$R_x^H = S \cdot \ell \cdot \sin \alpha \sqrt{\frac{E_B \cdot g}{\gamma_B}} \cdot (Av_n^2 + D) \cdot \frac{(\sin \beta_1 + f \cdot \cos \beta_1)}{2R_{\beta_1} \cdot v_n \cdot \sin \beta_1}, \quad (5)$$

где  $D = E_B [1 - 2 \cdot \mu_B^2 / (1 - \mu_B)] / [\pi(1 - \mu_B^2)]^2$ ;  $A = \gamma_B(1 - \eta_B)(1 + w/100) / g$ ;  $S$  – толщина рабочей поверхности ножа – рыхлителя, м;  $\ell$  – длина рабочей поверхности ножа – рыхлителя, м;  $\gamma_B$  – плотность солонцового горизонта, Н/м<sup>3</sup>;  $\eta_B$  – коэффициент скважности солонцового горизонта, %;  $w$  – относительная влажность, %;  $v_n$  – поступательная скорость, м/с;  $\mu_B$  – коэффициент Пуассона для солонцов;  $R_{\beta_1}$  – коэффициент, учитывающий угол заточки ножа – рыхлителя;  $\alpha$  – угол установки ножей – рыхлителей к дну борозды, град.;  $\beta_1$  – половина угла заточки ножа – рыхлителя, град;  $E_A, E_B$  – модули деформации горизонтов, Н/м<sup>2</sup>.

Полученная зависимость показывает влияние физико-механических свойств почвы ( $E, \mu, w, \gamma, \eta$ ), параметров вертикального ножа ( $S, \ell, \beta, \alpha$ ) и режима его работы  $v_n$  на тяговое сопротивление. Для проведения расчетов упругие постоянные почвы были определены экспериментально [18].

Влияние отдельных конструктивных параметров на тяговое сопротивление ножей-рыхлителей представлено на рисунке 4.



**Рисунок 4** - Влияние высоты  $h$ , угла установки ко дну борозды  $\alpha$ , количества ножей  $n$  и расстояния между ними  $\ell_n$  на общее тяговое сопротивление рабочего органа.

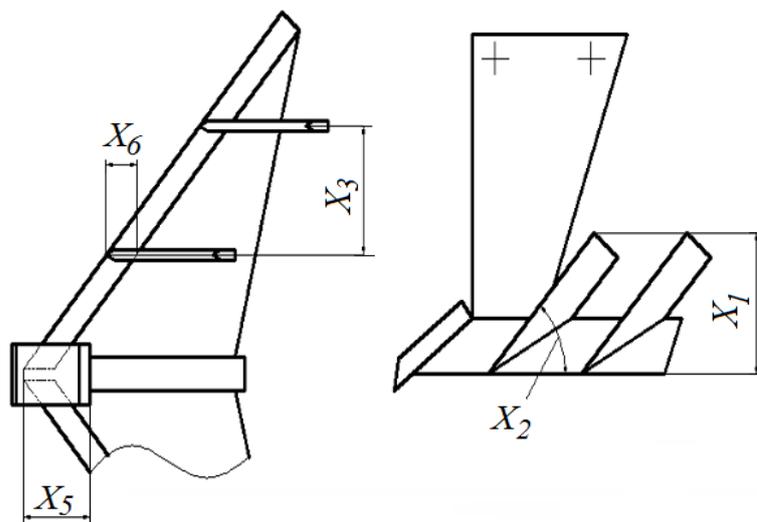
С увеличением значения высоты, угла установки ко дну борозды и количества ножей тяговое сопротивление рабочего органа возрастает, а расстояния между ножами-рыхлителями тяговое сопротивление уменьшается.

**Результаты и обсуждение**

Для изучения влияния конструктивных параметров рыхлительной лапы на тяговое сопротивление был проведен шестифакторный эксперимент по плану Хартли  $2^{k-1}$  [19] (табл. 1).

Изменяющиеся входные контролируемые факторы (рис. 5) и уровни их варьирования (табл. 2):





**Рисунок 5** - Схема рыхлительной лапы с входными факторами:

$X_1$  – высота ножа - рыхлителя;

$X_2$  – угол установки ножа - рыхлителя ко дну борозды;

$X_3$  – расстояние между ножами-рыхлителями;

$X_4$  – скорость движения;

$X_5$  – положение стойки на подпятнике лапы;

$X_6$  – положение ножа-рыхлителя на лемехе.

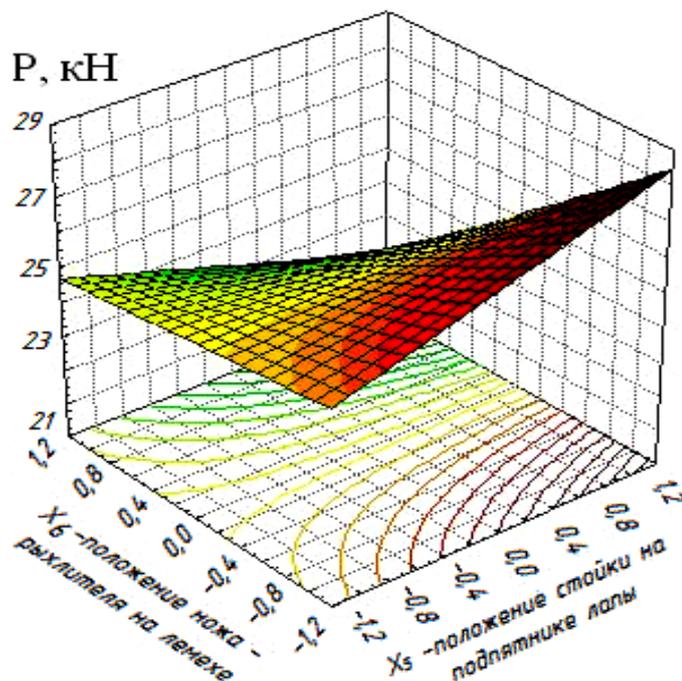
**Таблица 2** - Уровни варьирования входных факторов для рыхлительной лапы

| Уровни факторов                      | Кодовое обозначение факторов |                  |              |                 |              |              |
|--------------------------------------|------------------------------|------------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|
|                                      | $X_1$ ,<br>м                 | $X_2$ ,<br>град. | $X_3$ ,<br>м | $X_4$ ,<br>км/ч | $X_5$ ,<br>м | $X_6$ ,<br>м |
| Базовый уровень (0)                  | 0,16                         | $70^0$           | 0,25         | 6               | 0,17         | 0,09         |
| Интервал варьирования                | 0,08                         | $20^0$           | 0,10         | 1               | 0,05         | 0,09         |
| Нижнее плечо звездной точки (-1,51)  | 0,04                         | $40^0$           | 0,01         | 4,5             | 0,095        | -0,045       |
| Верхнее плечо звездной точки (+1,51) | 0,28                         | 100              | 0,40         | 7,5             | 0,245        | 0,225        |
| Верхний уровень (+1)                 | 0,24                         | 90               | 0,35         | 7               | 0,22         | 0,18         |
| Нижний уровень (-1)                  | 0,08                         | 50               | 0,15         | 5               | 0,12         | 0            |

После проведения эксперимента получено уравнение регрессии, которое показывает влияние конструктивных параметров рыхлительной лапы и скорости его движения на общее тяговое сопротивление рабочего органа (рис. 6)

*общее тяговое сопротивление рабочего органа, кН*

$$P = 25,14 + 1,33X_1 + 1,16X_2 - 1,3 X_3 + 1,07X_4 - 1,57X_6 + 1,95X_1X_2 - 1,39X_1X_3 - 0,82X_2 X_4 - 0,99 X_5 X_6 \quad (6)$$



**Рисунок 6** - Влияние  $X_5$  (расстояние от носка подпятника до стойки) и  $X_6$  (расстояние от нерабочей части лемеха до ножей) на общее тяговое сопротивление рабочего органа  $P$  (кН) при  $X_1=0$  (высоты ножей – рыхлителей -0,16м),  $X_2=0$  (угол установки ножей к дну борозды -  $70^\circ$ ),  $X_3=0$ (расстояние между ножами-рыхлителями - 0,25м),  $X_4= 0$  (скорости движения - 1,67м/с).

Полученные теоретические и экспериментальные величины входных факторов приведены в таблице 3.

**Таблица 3** - Теоретические и экспериментальные величины входных факторов для рыхлительной лапы с ножами-рыхлителями

| № п/п | Конструктивные параметры                                  | Кодовое обозначение | Определены    |                  |
|-------|---|---------------------|---------------|------------------|
|       |   |                     | теоретический | Экспериментально |
| 1.    | Высота ножа-рыхлителя, м                                  | $X_1$               | 0,22-0,28     | 0,24-0,28        |
| 2.    | Угол наклона к дну борозды, град.                         | $X_2$               | $53-58^\circ$ | $50^\circ$       |
| 3.    | Расстояние между ножами, м                                | $X_3$               | 0,17-0,25     | 0,18-0,22        |
| 4.    | Скорость движения, м/с                                    | $X_4$               | Не менее 1,5  | 1,67-1,95        |
| 5.    | Расстояние от носка подпятника до стойки, м               | $X_5$               | -             | 0,16-0,18        |
| 6.    | Расстояние от нерабочей части лемеха до ножа-рыхлителя, м | $X_6$               | 0,01          | 0,04             |

Результаты многофакторного эксперимента показывает, что при увеличении высоты ножа-рыхлителя  $X_1$ , угла установки их ко дну борозды  $X_2$  и приближении ножа - рыхлителя к лемеху  $X_6$  тяговое - сопротивление увеличивается, а при увеличении расстояния между ножами рыхлителями  $X_3$  - уменьшается. Это объясняется тем, что увеличение высоты ножей – повышает его зону контакта с почвой; угла установки их ко дну борозды – вызывает переход резания скольжения в резание без скольжения; расстояния между ножами рыхлителями – уменьшает относительную деформацию пласта почвы в поперечном направлении.

Полученные агротехнические показатели работы рыхлительной лапы показывает, что при увеличении высоты ножей - рыхлителей  $X_1$  и скорости движения  $X_4$  степень крошения пахотного слоя увеличивается, а при увеличении угла установки ножей - рыхлителей ко дну борозды  $X_2$ , расстояние между ножами-рыхлителями  $X_3$  и удалении ножа-рыхлителя от лезвия лемеха  $X_6$  – уменьшается.

### **Выводы**

Результаты многофакторного эксперимента показывают о правильности гипотез, принятые при составлении математической модели тягового сопротивления на основе компьютерного моделирования процесса взаимодействия рабочего органа с почвой и достоверности полученных данных. Это позволяет выбрать рациональные параметры и режимы работы рыхлительной лапы с вертикальными ножами, обеспечивающие агротехнологические требования к послойной обработке тяжелых почв с наименьшими энергозатратами.

### **Благодарность**

Авторы выражают глубокую признательность редакционной коллегии журнала за помощь в организации публикации статьи. Мы также выражаем благодарность руководству политехнического факультета за оказанную помощь при проведении экспериментальных исследований.

### **Список литературы**

1. Moroke T.S., Soil water depletion and root distribution of three dryland crops [Text] / T.S. Moroke et al. - Soil Sci. Soc. Am. J. 69, 2005. -197–205. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0197>
2. Pikul J.L., Water infiltration and storage affected by subsoiling and subsequent tillage [Text] / Pikul, J.K. Aase. - Soil Sci. Soc. Am. J. 67, 2003. - 859–866. <https://doi.org/10.2136/sssaj2003.8590>
3. Schwartz R.C., Estimation of soil water balance components using an iterative procedure [Text] / R.C. Schwartz et al. - Vadose Zone J.7, 2008. -115–123. <https://doi.org/10.2136/vzj2007.0006>
4. Baumhardt R.L., Dryland agriculture in Mexico and the U.S. Southern Great Plains et al. [Text] / R.L.Baumhardt, J. Salinas-Garcia // Dryland agriculture. Agron.Monogr.23.2nd ed. ASA, CSSA, and SSSA. - Madison, WI., 2006. p.341-364.doi:10.2134/agronmonogr 23.2ed.c10.
5. Baumhardt R.L., Residue management and tillage effects on soil-water storage and grain yield of dryland wheat and sorghum for a clay loam in Texas [Text] / R.L. Baumhardt, O.R. Jones. - Soil Tillage Res., 2002b. - 68:71–82. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00097-1](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00097-1)
6. Schlegel A.J., Dryland agriculture [Text] / A.J. Schlegel, C.A. Grant // Agron. Monogr. 23. 2nd ed. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI. Soil fertility, 2006. - p. 141–194. doi:10.2134/agronmonogr 23.2ed.c6
7. Sainju U.M., Dryland crop yields and soil organic matter as influenced by long-term tillage and cropping sequence [Text] / U.M. Sainju et al. - Agron. J., 2009.-101:243–251. doi:10.2134/agronj2008. 0080x.
8. Busscher W.J., Effect of penetration resistance and timing of rain on grain yield of narrow-row corn in a Coastal Plain loamy sand [Text] / W.J. Busscher, J.R. Frederick, P.J. Bauer. - Soil Tillage Res., 2001.- 63:15–24. DOI: [10.1016/S0167-1987\(01\)00228-8](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00228-8)
9. Бараев А.И., О научных основах земледелия в степных районах [Текст] / А. И. Бараев // Вестн. с.- х. науки. – 1976. – № 4.
10. Калинин А.Б., Критерии и методы оценки выполнения агротехнических требований к параметрам почвенного состояния в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур на основе статистической интерпретации реологической модели почвы и устройств контроля качества ее обработки [Текст] / Б.А.Калинин //. С-пб. – Пушкин, 2000, - 360 с.

11. Кушнарєв А.С., Реологическая модель почв при воздействии на них почвообрабатывающих органов [Текст] /А.С. Кушнарєв // Вопросы механизации сельского хозяйства, т. 17. Мелитополь, 1971.
12. Мударисов С.Г., Моделирование процесса взаимодействия рабочих органов с почвой [Текст] / С. Г. Мударисов // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2005, №7. С. 27-30.
13. Konstantinov M., Investigation of the force effect of the vibrating working body of the slitter on the soil. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2020) / M. Konstantinov et al. - Agricultural Science, E3S Web of Conferences 193, 01003 (2020) 08 October 2020. DOI: [10.1051/e3sconf/202019301003](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019301003)
14. Мударисов С.Г., Султанов Ш. М. Обоснование рабочей поверхности стрельчатой лапы с изменяемыми параметрами [Текст] / С. Г. Мударисов, Ш. М. Султанов // Достижения науки и техники АПК, 2006, №8. С. 35-36.
15. Патент на изобретение RU №2446652 С2. Рабочий орган для безотвальной обработки почвы. Константинов М.М., Хмура А.Н., Потешкин К.С., Нуралин Б.Н. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам Российской Федерации // Зарегистрировано 10.04.12. Бюл. № 10.
16. Nuralin B., Study of Combined Tool Tiller Modes Intended for Graded Tillage / B. Nuralin et al. - Fme transactions: University of Belgrade faculty of Mechanical Engineering . - Volume 49, No 2, 2021, pp.463- 471. UDC: 621: ISSN 1451-2092 DOI: [10.5937/fme2102463N](https://doi.org/10.5937/fme2102463N)
17. Зеленин А.Н., Основы разрушения грунтов механическим способом [Текст] /А.Н. Зеленин // М.: Машиностроение, 1968. -367с.
18. Нуралин Б.Н., Изучение физико - механических свойств и энергоемкости разрушения тяжелых почв [Текст] / Б.Н. Нуралин и др. // Научно-практический журнал ЗКАТУ имени Жангир хана «Ғылым және білім» («Наука и образование»). №1-2(74), 2024. -С.219-231. DOI 10.52578/2305-9397-2024-1-2-219-232
19. Кацев П.Г., Статистические методы исследования режущего инструмента [Текст] / П.Г. Кацев // М.: Машиностроение, 1974. – 231с.

#### References

1. Moroke T.S., Soil water depletion and root distribution of three dryland crops [Text] / T.S. Moroke et al. - Soil Sci. Soc. Am. J. 69, 2005. -197–205. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0197>
2. Pikul J.L., Water infiltration and storage affected by subsoiling and subsequent tillage [Text] / Pikul, J.K. Aase. - Soil Sci. Soc. Am. J. 67, 2003. - 859–866. <https://doi.org/10.2136/sssaj2003.8590>
3. Schwartz R.C., Estimation of soil water balance components using an iterative procedure [Text] / R.C. Schwartz et al. - Vadose Zone J.7, 2008. -115–123. <https://doi.org/10.2136/vzj2007.0006>
4. Baumhardt R.L., Dryland agriculture in Mexico and the U.S. Southern Great Plains et al. [Text] / R.L.Baumhardt, J. Salinas-Garcia // Dryland agriculture. Agron.Monogr.23.2nd ed. ASA, CSSA, and SSSA. - Madison, WI., 2006. p.341-364.doi:10.2134/ agronmonogr 23.2ed.c10.
5. Baumhardt R.L., Residue management and tillage effects on soil-water storage and grain yield of dryland wheat and sorghum for a clay loam in Texas [Text] / R.L. Baumhardt, O.R. Jones. - Soil Tillage Res., 2002b. - 68:71–82. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00097-1](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00097-1)
6. Schlegel A.J., Dryland agriculture [Text] / A.J. Schlegel, C.A. Grant // Agron. Monogr. 23. 2nd ed. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI. Soil fertility, 2006. - p. 141–194. doi:10.2134 /agronmonogr 23.2ed.c6
7. Sainju U.M., Dryland crop yields and soil organic matter as influenced by long-term tillage and cropping sequence [Text] / U.M. Sainju et al. - Agron. J., 2009.-101:243–251. doi:10.2134/agronj2008. 0080x.
8. Busscher W.J., Effect of penetration resistance and timing of rain on grain yield of narrow-row corn in a Coastal Plain loamy sand [Text] / W.J. Busscher, J.R. Frederick, P.J. Bauer. - Soil Tillage Res., 2001.- 63:15–24. DOI: 10.1016/S0167-1987(01)00228-8

9. Baraev A.I., O nauchnykh osnovakh zemledeliya v stepnykh rajonakh [Tekst] / A. I. Baraev // Vestn. s.- kh. nauki. – 1976. – № 4
10. Kalinin A.B., Kriterii i metody otsenki vypolneniya agrotekhnicheskikh trebovanij k parametram pochvennogo sostoyaniya v tekhnologiyakh vozdeystviya sel'skokhozyajstvennykh kul'tur na osnove statisticheskoy interpretatsii reologicheskoy modeli pochvy i ustrojstv kontrolya kachestva ee obrabotki [Tekst] / B.A.Kalinin // S-pb. – Pushkin, 2000, - 360 s.
11. Kushnarev A.S., Reologicheskaya model' pochv pri vozdeystvii na nikh pochvoobrabatyvayushhikh organov [Tekst] /A.S. Kushnarev // Voprosy mekhanizatsii sel'skogo khozyajstva, t. 17. Melitopol', 1971.
12. Mudarisov S.G., Modelirovanie protsessa vzaimodeystviya rabochikh organov s pochvoj [Tekst] / S. G. Mudarisov // Traktory i sel'skokhozyajstvennye mashiny, 2005, №7. S. 27-30.
13. Konstantinov M., Investigation of the force effect of the vibrating working body of the slitter on the soil. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2020) / M. Konstantinov et al. - Agricultural Science, E3S Web of Conferences 193, 01003 (2020) 08 October 2020. DOI: 10.1051/e3sconf/202019301003
14. Mudarisov S.G., Sultanov SH. M. Obosnovanie rabochej poverkhnosti strel'chatoj lapy s izmenyaemymi parametrami [Tekst] / S. G. Mudarisov, SH. M. Sultanov // Dostizheniya nauki i tekhniki APK, 2006, №8. S. 35-36.
15. Patent na izobrenenie RU №2446652 S2. Rabochij organ dlya bezotval'noj obrabotki pochvy. Konstantinov M.M., KHmura A.N., Poteshkin K.S., Nuralin B.N. Federal'naya sluzhba po intellektual'noj sobstvennosti, patentam i tovarnym znakam Rossijskoj Federatsij // Zaregistrirvano 10.04.12. Byul. № 10.
16. Nuralin B., Study of Combined Tool Tiller Modes Intended for Graded Tillage / V. Nuralin et al. - Fme transactions: University of Belgrade faculty of Mechanical Engineering . - Volume 49, No 2, 2021, pp.463- 471. UDC: 621: ISSN 1451-2092 DOI: 10.5937/fme2102463N
17. Zelenin A.N., Osnovy razrusheniya gruntov mekhanicheskim sposobom [Tekst] /A.N. Zelenin // M.: Mashinostroenie, 1968. -367s.
18. Nuralin B.N., Izuchenie fiziko - mekhanicheskikh svojstv i ehnergoemkosti razrusheniya tyazhelykh pochv [Tekst] / B.N. Nuralin i dr. // Nauchno-prakticheskij zhurnal ZKATU imeni ZHangir khana «Fylym zhəne bilim» («Nauka i obrazovanie»). №1-2(74), 2024. -S.219-231. DOI 10.52578/2305-9397-2024-1-2-219-232
19. Katsev P.G., Statisticheskie metody issledovaniya rezhushhego instrumenta [Tekst] / P.G. Katsev // M.: Mashinostroenie, 1974. – 231s.

**Б.Н. Нуралин, Ш.Д. Махмудова, М.С.Галиев\*, Е.М. Джаналиев, М.К.Дусенов**  
НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», Уральск, Казахстан, e-mail: [bnuralin@mail.ru](mailto:bnuralin@mail.ru), [cmb-zko@mail.ru](mailto:cmb-zko@mail.ru), [manarbek-1980@mail.ru](mailto:manarbek-1980@mail.ru), [ernazar.dzhanaiev@mail.ru](mailto:ernazar.dzhanaiev@mail.ru), [dusenov.maksut@mail.ru](mailto:dusenov.maksut@mail.ru)

## ҚОСЫМША ДЕФОРМАТОРЛАРЫ БАР ҚОПСЫТҚЫШ ТАБАНДЫ ДАМЫТУ

### *Аңдатпа*

Егістік қабатын қопсытуға және топырақ ылғалдылығын сақтауға, топырақты жел мен су эрозиясынан қорғауға мүмкіндік беретін барлық модификациядағы жазық кескіштер Батыс Қазақстан аймағында құрғақ тығыз топырақты өңдеу кезінде үлкен "блоктарды" бұрап, бороздың түбінде тығыздалған табанды қалыптастырады және топырақты бұғатталған кесу жағдайында жұмыс істейді. Бұл кемшіліктер топырақты одан әрі өңдеуді қиындатады, өсімдіктердің тамыр жүйесінің дамуына және судың төменгі қабаттарға қарқынды сіңуіне кедергі келтіреді және қондырғының тарту кедергісін арттырады. *Жұмыс гипотезасы:* топырақ құнарлылығын сақтау және қалпына келтіру аймақтық ерекшеліктерді ескере отырып, оны өңдеу процестерін техникалық қамтамасыз ету параметрлерін оңтайландыру негізінде мүмкін болады. *Зерттеудің мақсаты* - егістік горизонттағы топырақ ылғалының

максималды жинақталуы мен сақталуын және өнімділігі төмен топырақтың құнарлылығын арттыруды қамтамасыз ететін қопсытқыш табанның дизайны жасалды және оның тарту кедергісін анықтаудың математикалық моделі жасалды. Жеке құрылымдық параметрлердің, топырақтың физика-механикалық қасиеттерінің пышақ-қопсытқыштардың тарту кедергісіне әсері анықталды. Теориялық зерттеулерді тексеру үшін алты факторлы эксперимент жүргізілді және нәтижелер жұмыс органының топырақпен өзара әрекеттесу процесін компьютерлік модельдеу және алынған мәліметтердің сенімділігі негізінде тартылыс кедергісінің математикалық моделін жасау кезінде қабылданған гипотезалардың дұрыстығын көрсетеді. Бұл ең аз энергия шығыны бар ауыр топырақты қабат-қабат өңдеуге агротехнологиялық талаптарды қамтамасыз ететін тік пышақтары бар қопсытқыш табанның ұтымды параметрлері мен жұмыс режимдерін таңдауға мүмкіндік берді.

**Түйін сөздер:** жалпақ кесетін табан, тік пышақтар, тарту кедергісі, топырақ ылғалдылығы және құнарлылық

*B.N.Nuralin, S.J. Makhmudova, M.S. Galiev\*, Y.M. Janaliev, M.K.Dusenov*  
*NJSC «West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan»,*  
*Uralsk, Kazakhstan, e-mail: [bnuralin@mail.ru](mailto:bnuralin@mail.ru), [cmb-zko@mail.ru](mailto:cmb-zko@mail.ru), [manarbek-1980@mail.ru](mailto:manarbek-1980@mail.ru),*  
*[ernazar.dzhanaiev@mail.ru](mailto:ernazar.dzhanaiev@mail.ru), [dusenov.maksut@mail.ru](mailto:dusenov.maksut@mail.ru)*

## DEVELOPMENT OF A LOOSENING PAW WITH ADDITIONAL DEFORMERS

### *Abstract*

Flat cutters of all modifications, which allow loosening of the arable layer while preserving stubble on the field surface and retaining soil moisture, protecting the soil from wind and water erosion, turn out huge "blocks" when processing dry dense soils in the zone of Western Kazakhstan, form a compacted sole at the bottom of the furrow and work in conditions of blocked cutting of the soil. These disadvantages complicate further surface tillage, interfere with the development of the root system of plants and the intensive absorption of water into the lower layers, and increase the traction resistance of the implement. *Working hypothesis:* the preservation and restoration of soil fertility is possible on the basis of optimizing the parameters of technical support for its processing processes, taking into account zonal features. *The aim of the study* is to find a design of a loosening paw that ensures maximum accumulation and preservation of soil moisture in the arable horizon and increases the fertility of unproductive soils. Based on computer modeling of the interaction of a plane-cutting paw with the soil, the design of a ripping paw with vertical knives has been developed taking into account the structure of the soil and a mathematical model for determining its traction resistance has been compiled. The effects of individual design parameters, physical and mechanical properties of the soil on the traction resistance of the ripper knives are revealed. To verify the theoretical results, a six-factor experiment was conducted and the results show the correctness of the hypotheses adopted when compiling a mathematical model of traction resistance based on computer modeling of the interaction of the working body with the soil and the reliability of the data obtained. This made it possible to choose rational parameters and modes of operation of the ripping paw with vertical knives, providing agrotechnological requirements for layered processing of heavy soils with the lowest energy consumption.

**Keywords:** Flat-cutting paw, vertical knives, traction resistance, soil moisture and fertility

МРНТИ 68.05.39

DOI <https://doi.org/10.37884/2-2024/17>

*А.Ш. Алгожина<sup>1\*</sup>, А.П. Науанова<sup>1,2</sup>, А.Б. Оңғарбай<sup>2</sup>, И.К. Ержан<sup>1</sup>, Жеделбаева А.С.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина», г.Астана, Республика Казахстан,*

*[asya.kz@mail.ru](mailto:asya.kz@mail.ru)\*, [nauanova@mail.ru](mailto:nauanova@mail.ru), [erzhanislam812@gmail.com](mailto:erzhanislam812@gmail.com), [aygul.zhedelbaeva.95@mail.ru](mailto:aygul.zhedelbaeva.95@mail.ru)*