

Исаева Жанетта Батырхановна – доктор PhD, доцент кафедры «Инженерия и промышленные технологии», Инновационный Евразийский университет, Республика Казахстан, 140000, г. Павлодар, ул. Ломова, 45, тел.: 8-707-021-29-63, e-mail: zhanetta.aysha@mail.ru.

МРНТИ 68.85.29

УДК 631.311

https://doi.org/10.52269/22266070_2024_3_44

ГРАФО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОЧВЕННОМ СЛОЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ДВУГРАННОГО КЛИНА

Куваев А.Н.* – доктор философии (PhD), заведующий лабораторией механизации растениеводства, Костанайский филиал ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», Республика Казахстан.

Дерепаскин А.И. – доктор технических наук, главный научный сотрудник, Костанайский филиал ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», Республика Казахстан.

Токарев И.В. – магистр сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Костанайский филиал ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», Республика Казахстан.

Показано, что исследование процесса распределения напряжений в почвенном слое является важным этапом проектирования почвообрабатывающих машин в целом и почвообрабатывающих рабочих органов в частности. Отмечено, что экспериментальное выявление закономерностей между зоной распределения напряжений в почвенном слое и параметрами почвообрабатывающих рабочих органов является трудоемким процессом и целесообразно предварительное математическое моделирование данного процесса для минимизации общего количества опытов. (Цель исследований). Разработка графо-аналитического метода, который позволит на этапе теоретических исследований, определить закономерность между зоной распределения напряжений перед двугранным клином и его параметрами. (Материалы и методы). При проведении исследований были использованы положения классической и земледельческой механики. В основу методики были положены такие методы научного познания как математическое моделирование, абстрагирование, анализ и синтез. (Результаты и обсуждение). На основании уравнения предложенного J. Boussinesg разработан графо-аналитический метод для определения напряжений, возникающих в почвенном слое под воздействием двугранного клина, который учитывает влияние параметров двугранного клина и физико-механические характеристики почвы. Предложенный графо-аналитический метод может быть использован при проектировании почвообрабатывающих рабочих органов. Например, для обоснования вылета долота плоскорезущего рабочего органа на этапе теоретических исследований. (Выводы). Установлено, что между длиной двугранного клина и общей площадью деформируемой почвы имеется прямо пропорциональная зависимость. Так, при увеличении длины двугранного клина на 83 процента (с 0,05 до 0,30 метров) площадь деформируемой почвы увеличилась на 80 процентов (с 0,02 до 0,10 метров квадратных).

Ключевые слова: двугранный клин, напряжения, деформация почвы, графо-аналитический метод, уравнение J. Boussinesg.

ЕКІ ҚЫРЛЫ СЫНА ӘСЕРІНЕН ТОПЫРАҚ ҚАБАТЫНДАҒЫ КЕРНЕУДІ АНЫҚТАУДЫҢ ГРАФО-ТАЛДАМАЛЫҚ ӘДІСІ

Куваев А.Н.* – PhD докторы, «Агроинженерия ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС Қостанай филиалы өсімдік шаруашылығын механикаландыру зертханасының меңгерушісі, Қазақстан Республикасы.

Дерепаскин А.И. – техника ғылымдарының докторы, «Агроинженерия ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС Қостанай филиалының бас ғылыми қызметкері, Қазақстан Республикасы.

Токарев И.В. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, ғылыми қызметкер, «Агроинженерия ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС Қостанай филиалы, Қазақстан Республикасы.

Топырақ қабатындағы кернеудің таралу процесін зерттеу жалпы топырақ өңдейтін машиналарды және әсіресе топырақ өңдейтін жұмыс органдарын жобалаудағы маңызды кезең болып табылатыны көрсетілген. Топырақ қабатындағы кернеулердің таралу аймағы мен топырақ өңдейтін жұмыс құралдарының параметрлері арасындағы заңдылықтарды тәжірибелік түрде анықтау еңбекті көп қажет ететін процесс және тәжірибелердің жалпы санын барынша азайту үшін бұл процесті алдын ала математикалық модельдеу орынды екендігі атап өтілген. (Зерттеудің мақсаты). Теориялық зерттеу сатысында екі қырлы сынаның алдындағы кернеудің таралу аймағы

мен оның параметрлері арасындағы заңдылықты анықтауға мүмкіндік беретін графо-талдамалық әдісті әзірлеу. (Материалдар мен әдістер). Зерттеулер жүргізу кезінде классикалық және егіншілік механикасының ережелері пайдаланылды. Әдістеменің негізіне математикалық модельдеу, абстракциялау, талдау және синтез сияқты ғылыми таным әдістері алынды. (Нәтижелері және талқылау). Ұсынылған J. Boussinesq теңдеуінің негізінде екі қырлы сынаның әсерінен топырақ қабатында пайда болатын кернеуді анықтау үшін графо-талдамалық әдіс әзірленді, ол екі қырлы сына параметрлерінің әсерін және топырақтың физикалық-механикалық сипаттамаларын ескереді. Ұсынылған графо-талдамалық әдіс топырақ өңдеуші жұмыс органдарын жобалау кезінде пайдаланылуы мүмкін. Мысалы, теоретикалық зерттеу сатысында жалпақ кесетін жұмыс құралының қашауының асып кетуін негіздеу. (Қорытынды). Екі қырлы сынаның ұзындығы мен деформацияланатын топырақтың жалпы алаңы арасында тікелей пропорционалды тәуелділік бар екені анықталды. Мысалы, екі қырлы сынаның ұзындығы 83 пайызға (0,05-тен 0,30 метрге дейін) ұлғайған кезде деформацияланатын топырақтың ауданы 80 пайызға (0,02-ден 0,10 шаршы метрге дейін) ұлғайды.

Түйінді сөздер: екі қырлы сына, кернеу, топырақтың деформациясы, графо-талдамалық әдіс, J. Boussinesq теңдеуі.

GRAPHO-ANALYTICAL METHOD FOR DETERMINING STRESSES IN THE SOIL LAYER UNDER THE ACTION OF A DIHEDRAL WEDGE

Kuvayev A.N. – PhD, Head of the Laboratory of the mechanization of crop production, Kostanay Branch of Agricultural Engineering Research and Production Center LLP, Republic of Kazakhstan.*

Derepaskin A.I. – Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, Kostanay Branch of Agricultural Engineering Research and Production Center LLP, Republic of Kazakhstan.

Tokarev I.V. – Master of Agricultural Sciences, Researcher, Kostanay Branch of Agricultural Engineering Research and Production Center LLP, Republic of Kazakhstan.

The study of the stress distribution process in the soil layer is an important stage in the design of tillage machines, particularly tillage working elements. The experimental identification of patterns between the stress distribution zone in the soil layer and the parameters of tillage working elements is a time-consuming process. Therefore, it is recommended to conduct preliminary mathematical modeling of this process to minimize the overall number of experiments. The research purpose: development of a grapho-analytical method that can determine the pattern between the stress distribution zone in front of the dihedral wedge and its parameters. The concepts of classical and agricultural mechanics were used in the research. The methodology is based on scientific methods of cognition such as mathematical modeling, abstraction, analysis, and synthesis.

Using the equation proposed by J. Boussinesq, a grapho-analytical method was developed to determine the stresses arising in the soil layer under the influence of the dihedral wedge. This method takes into account the influence of the dihedral wedge parameters and the physical and mechanical characteristics of the soil. The proposed method can be used in the design of tillage working elements. Specifically, to justify the chisel outreach of the blade working element at the stage of theoretical research. It was found that there is a direct proportion between the length of the dihedral wedge and the total area of deformed soil. Thus, as the length of the wedge increased by 83 percent (from 0.05 to 0.30 meters), the area of deformed soil increased by 80 percent (from 0.02 to 0.10 square meters).

Key words: dihedral wedge, stresses, soil deformation, grapho-analytical method, J. Boussinesq equation.

Введение. Уплотнение почвы под воздействием различных антропогенных факторов является одной из основных проблем современного сельскохозяйственного производства [1, с. 129].

На современном уровне развития науки и техники наиболее эффективным способ разуплотнения почвы является глубокая механическая обработка [2, с. 141, 3, с. 106].

Механическая обработка почвы подразумевает воздействие на обрабатываемый почвенный слой почвообрабатывающих рабочих органов. Главным образом данное воздействие выражается в разрушении почвенного монолита на почвенные отдельности, изменение взаимного положения этих отдельностей и увеличение объема воздушных пор между ними. Причем размер почвенных отдельностей и их относительное количество регламентируется агротехническими требованиями. Так при безотвальной обработке почвы не менее 60 % почвенных отдельностей (комков) должны иметь размер $\leq 5,0$ см (Система критериев качества, надежности, экономической эффективности сельскохозяйственной техники, 2010).

Разрушение почвенного монолита на отдельности будет происходить в том случае, когда напряжение, возникающее в рассматриваемом сечении почвенного слоя в результате воздействия рабочего органа (деформатора) превышают предел прочности при преобладающем виде деформации:

Поскольку основой большинства существующих почвообрабатывающих рабочих органов является двугранный и трехгранный клин, а также их различные комбинации, а в соответствии с

исследованиями Синеокова (Проектирование почвообрабатывающих машин) деформация почвы двугранным и трехгранным клином являются тождественной, в дальнейшем для удобства в качестве деформатора почвы будем рассматривать двугранный клин.

Исследованиям распределения сжимающих напряжений в почве под действием двугранного клина посвящены работы Вагина (Механизация защиты почв от водной эрозии в нечерноземной полосе), который еще в середине XX века экспериментально определял зоны распределения напряжений для различных типов почв путем закапывания в обрабатываемый почвенный слой тензометрических датчиков.

Подобные исследования не потеряли своей актуальности и в настоящее время, так как успешное проектирование современной высокопроизводительной техники, качественно выполняющей технологический процесс, невозможно без этапа математического и физического моделирования процесса взаимодействия почвообрабатывающего рабочего органа с почвой.

Так в работе [4, с. 109] авторы, используя метод конечно-элементной модели, оценивали то, как на точность измерений напряжений, возникающих в почвенном слое, влияет конструкция датчика, их взаимное положение и количество.

В работе [5, с. 13] авторы, используя закопанные в почвенный слой тензометрические датчики давления исследуют изменение напряженно-деформированного состояния почвы при различных условиях.

Рассмотренные выше результаты исследований и аналогичные им позволяют подробно описать характер и скорость распространения напряжений и деформаций почвы перед клином.

Однако проведение подобных трудоемких экспериментальных исследований целесообразно, когда имеются полученные на этапе предварительных теоретических исследований расчетные значения, которые позволят минимизировать общее количество опытов.

В работе [6, с. 37] представлена математическая модель, описывающая поведение почвенной среды при взаимодействии с отвалом плуга.

Аналогичные исследования с использованием модели плужного корпуса уменьшенного масштаба представлены в [7, с. 44].

В работе [8, с. 130] представлена дискретно-элементная модель взаимодействия почвообрабатывающего рабочего органа в гетерогенной почве.

В работе [9, с. 607] автором сделан подробный анализ существующих методов исследования процесса взаимодействия почвенной среды с рабочими органами, а также предложено программное обеспечение для компьютерного моделирования процесса взаимодействия почвенного слоя и рабочих органов, основанного на методе дискретных элементов.

В работе [10, с. 175] авторами выполнено моделирование процесса обработки почвы методом концентрации напряжений в обрабатываемом почвенном пласте.

В работе [11, с. 87] представлена математическая модель процесса обработки почвы рабочими органами на склонах на основе сплошной деформируемой ньютоновской среды.

В работе [12, с. 882] авторами был смоделирован процесс работы двугранного клина при его различных углах наклона.

Рассмотренные исследования расширяют существующие знания о процессе взаимодействия элементов рабочих органов с обрабатываемым почвенным слоем, однако результаты данных исследований не позволяют определить зону распределения предельных напряжений в почвенном слое.

В работе [13, с. 172] предложены аналитические выражения для определения дальности распределения напряжений в почве под действием внешней нагрузки. Однако в них не учитываются параметры деформатора почвы.

Подобная математическая модель, описывающая закономерность между механическими характеристиками почвы и параметрами деформатора представлена в [14, с. 115]. В данной математической модели рассматриваются зоны почвы, в которых преобладающим является напряжение сдвига и растяжения. Однако авторами не рассматриваются разрушение почвенного монолита при сжатии почвы. Что является наиболее распространенным случаем при проведении глубокой обработки уплотненной почвы с мелкодисперсным составом (суглинки).

Цель, задачи. Разработка графо-аналитического метода, который позволит на этапе теоретических исследований, определить закономерность между зоной распределения напряжений перед двугранным клином в зависимости от его параметров.

Для достижения поставленной цели требовалось решить следующие задачи:

1. Провести математическое моделирование процесса деформации почвы двугранным клином
2. Выявить зависимость между площадью деформируемой зоны почвы и длиной двугранного клина.

Материалы и методы. Разработанный графо-аналитический метод базируется на положениях классической и земледельческой механики. При проведении исследований были использованы такие методы научного познания как математическое моделирование, абстрагирование, анализ и синтез.

Результаты. Для определения значения напряжения возникающего в различных точках почвенного слоя в результате воздействия двугранного клина, используем уравнение предложенное J. Boussinesq, которое в соответствии с рисунком 1 описывает распределение напряжений в массиве почво-грунта от действия сосредоточенной силы P , приложенной в точке O :

$$\sigma_R = \frac{3 \cdot P \cdot \cos\beta_R}{2 \cdot \pi \cdot R^2}, \quad (1)$$

Где σ_R – напряжение в рассматриваемой точке M , Па;

P – сосредоточенная сила, Н;

β_R – угол между линией действия силы P и произвольной точкой M ;

R – расстояние от места приложения силы до рассматриваемой точки M , м.

Сопоставляя полученное расчетное значение σ_R со значением $\sigma_{ПРЕД. СЖ}$ можно сделать вывод о характере воздействия (разрушение или частичная деформация) деформатора на рассматриваемую точку почвенного слоя.

Выразим сосредоточенную силу P (Н) через сопротивление $R_{д.д.}$ (Н), возникающее при разрушении (деформации) почвенного монолита деформатором на отдельные составляющие, Н.

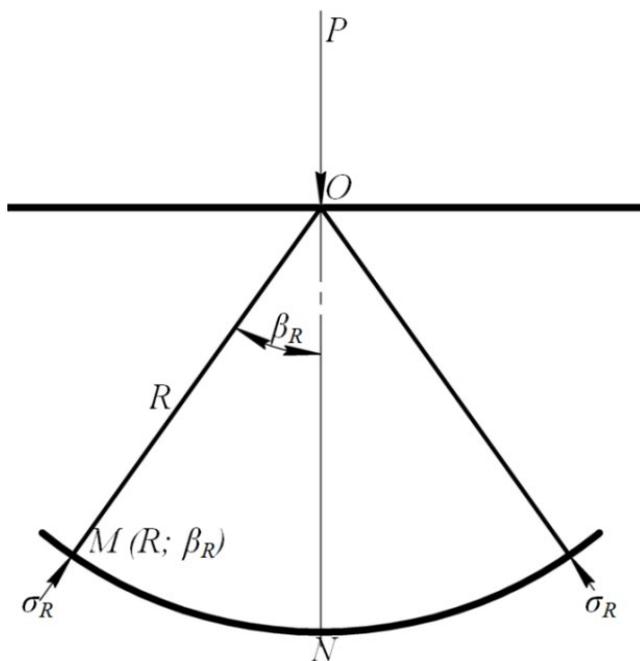


Рисунок 1 – Схема к определению напряжения в рассматриваемой точке M от действия сосредоточенной силы P

Для определения $R_{д.д.}$ (Н), примем следующие допущения:

- возникающие в почвенном монолите напряжения в результате воздействия деформатора увеличиваются пропорционально приложенному усилию;
- скорость движения деформатора постоянна и равна v (м/с) и почвенный слой в процессе взаимодействия с ним не изменяет своей высоты, то есть:

В соответствии с рисунком 2 рассмотрим деформатор (двугранный клин) с рабочей поверхностью A_1ABB_1 , где $A_1A = BB_1 = b_d$, $AB = A_1B_1 = l_d$, а рабочая поверхность A_1ABB_1 наклонена к горизонтали на угол крошения α .

При перемещении двугранного клина из положения 1 в положение 2 к нему должна быть приложена сила необходимая для преодоления сопротивления деформации, оказываемая со стороны почвенного слоя в виде результирующей $R_{д.д.}$

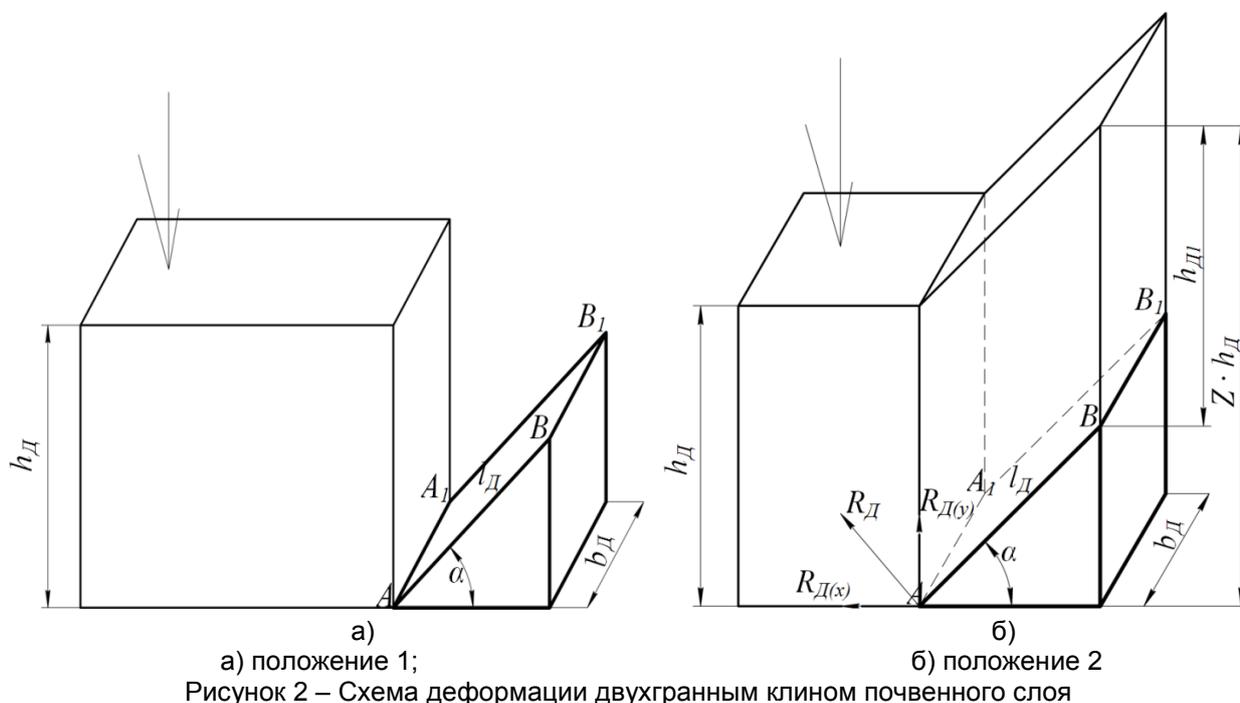


Рисунок 2 – Схема деформации двухгранным клином почвенного слоя

С учетом принятых допущений объем деформируемого почвенного слоя $V_{д.п.}$ выразим следующим образом:

$$V_{д.п.} = b_D \cdot h_D \cdot l_D \cdot \cos \alpha. \tag{2}$$

Разложим результирующую $R_{д.д.}$ на горизонтальную $R_{д.д.(x)}$ и вертикальную $R_{д.д.(y)}$ составляющие. Горизонтальная составляющая $R_{д.д.(x)}$ будет характеризовать сопротивление, которое оказывает объем почвы $V_{д.п.}$ при внедрении в нее клина A_1ABB_1 :

$$R_{д.д.(x)} = V_{д.п.} \cdot k_{д(x)}, \tag{3}$$

где $k_{д(x)}$ – горизонтальная составляющая удельного сопротивления почвы объемной деформации, Н/м³.

Вертикальная составляющая $R_{д.д.(y)}$ – это сопротивление, которое оказывает объем почвы $V_{д.п.}$ при нарушении его целостности при вертикальном подъеме. Изменение высоты относительно выбранной точки отсчета (глубина хода деформатора h_D), выразим через безразмерный коэффициент Z :

$$Z = \frac{h_D}{l_D \cdot \sin \alpha'} \tag{4}$$

где l_D – длина рабочей стороны двухгранного клина, м.

То есть относительно дна борозды, находящемся на глубине хода деформатора h_D , объем деформируемой почвы $V_{д.п.}$ поднимется в Z раз. Тогда формула для определения $R_{д.д.(y)}$ примет следующий вид:

$$R_{д.д.(y)} = V_{д.п.} \cdot Z \cdot k_{д(y)}, \tag{5}$$

где $k_{д(y)}$ – вертикальная составляющая удельного сопротивления почвы объемной деформации, Н/м³.

Произведение косинуса угла α на квадратный корень из суммы квадратов $k_{д(x)}$ и $Z \cdot k_{д(y)}$ представим как результирующую удельного сопротивления почвы объемной деформации для двухгранного клина с углом крошения. Тогда в соответствии с правилом сложения векторов результирующая $R_{д.д.}$ будет определяться по следующей формуле:

$$R_{д.д.} = b_D \cdot h_D \cdot l_D \cdot k_{д(\alpha)}. \tag{6}$$

Обоснованность представленного равенства подтверждают результаты исследований различных авторов, например, Бурченко (Механико-технологические основы почвообрабатывающих машин нового поколения, 2002) и Синеокова (Проектирование почвообрабатывающих машин, 1965), в которых делается вывод о том, что результирующая удельного сопротивления почвы объемной

деформации есть функция, зависящая от следующих переменных: угол крошения, высота подъема пласта деформируемой почвы и физико-механические характеристики почвы.

Значение $k_{D(\alpha)}$ было определено в результате тензометрирования двухгранных клиньев в полевых условиях на почвах типичных для рассматриваемого региона и последующей математической обработки полученных экспериментальных данных. Подробное описание представлено в [15, с. 246]. Значение $k_{D(\alpha)}$ для различных углов α представлено в таблице 1.

С учетом формулы (6) формула (1) примет следующий вид:

$$\sigma_R = \frac{3 \cdot b_D \cdot h_D \cdot l_D \cdot k_{D(\alpha)} \cdot \cos \beta_R}{2 \cdot \pi \cdot R^2} \tag{7}$$

Таблица 1 – Значение $k_{D(\alpha)}$ для деформаторов с различным углом α

Угол α , град.	10	20	30	40
Удельное сопротивление почвы объемной деформации $k_{D(\alpha)}$, Н/м ³	$7,00 \cdot 10^5$	$6,49 \cdot 10^5$	$7,66 \cdot 10^5$	$8,01 \cdot 10^5$

Далее на основании расчётов по формуле (7) строились эпюры распределения напряжений в 3-х зонах почвы:

- зона разрушения почвенного слоя (распределения предельных напряжений), для которой выполняется условие $\sigma_R > \sigma_{ПРЕД.}$;
- зона повышенной деформации почвенного слоя, для которой выполняется условие $0,50 \cdot \sigma_{ПРЕД.} \leq \sigma_R < \sigma_{ПРЕД.}$;
- зона частичной деформации почвенного слоя, для которой выполняется условие $0,25 \cdot \sigma_{ПРЕД.} \leq \sigma_R < 0,50 \cdot \sigma_{ПРЕД.}$.

Используя метод наименьших квадратов, было получено уравнение регрессии вида $y=f(x)$, аппроксимирующее кривую, ограничивающую площади зоны разрушения почвенного слоя – $S_{D.(p)}$ и зоны повышенной и частичной деформации почвенного слоя – $S_{D.(n)}$ и $S_{D.(ч)}$.

Используя определенный интеграл, была определена соответственно площадь $S_{D.(p)}$, $S_{D.(n)}$ и $S_{D.(ч)}$:

$$S_{D.(p)} = \int_{-x_p}^{x_p} f(x)_{(p)} dx_p, \tag{8}$$

$$S_{D.(n)} = \int_{-x_n}^{x_n} f(x)_{(n)} dx_n - \int_{-x_p}^{x_p} f(x)_{(p)} dx_p, \tag{9}$$

$$S_{D.(ч)} = \int_{-x_ч}^{x_ч} f(x)_{(ч)} dx_ч - \int_{-x_n}^{x_n} f(x)_{(n)} dx_n - \int_{-x_p}^{x_p} f(x)_{(p)} dx_p, \tag{10}$$

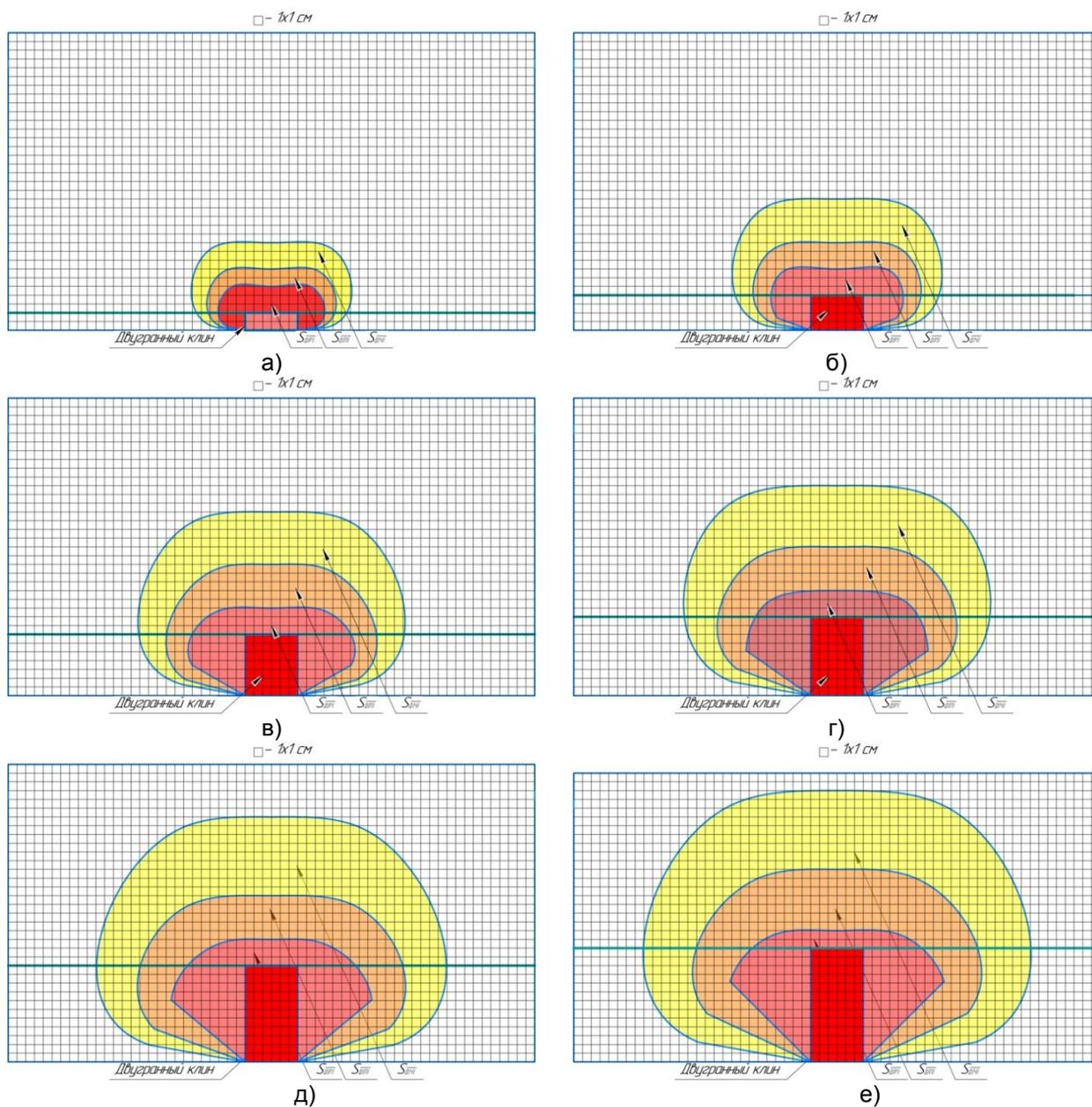
где – $f(x)_{(p)}$, $f(x)_{(n)}$ и $f(x)_{(ч)}$ – уравнение регрессии аппроксимирующие кривые, ограничивающие соответственно площади зоны разрушения – $S_{D.(p)}$, повышенной деформации $S_{D.(n)}$ и частичной деформации $S_{D.(ч)}$ почвенного слоя.

Общая площадь деформируемой почвы $S_D(m^2)$ тогда будет определяться как сумма площадей $S_{D.(p)}$, $S_{D.(n)}$ и $S_{D.(ч)}$.

В соответствии с разработанной методикой исследования была получена зависимость между площадью деформируемой зоны почвы $S_D(m^2)$ и длиной двугранного клина l_D (м). Длина двугранного клина варьировалась в пределах $l_D = [0,05; 0,30]$ м. Ширина двугранного клина была постоянной и составляла $b_D = 0,06$ м. Угол установки двугранного клина ко дну борозды $\alpha = 20$ град.

Расчеты, выполненные по формулам 7-10, позволили получить следующие зависимости:

- эпюры распределения напряжений в почвенном слое при различной длине двугранного клина, представлены на рисунке 3;
- зависимость вида $S_D = f(l_D)$ представлена на рисунке 4.



а) $l_d = 0,05$ м; б) $l_d = 0,10$ м; в) $l_d = 0,15$ м;
г) $l_d = 0,20$ м; д) $l_d = 0,25$ м; е) $l_d = 0,30$ м

Рисунок 3 – Эпюры напряжений в поперечно-вертикальной плоскости для двуэгранных клиньев с различными значениями l_d

Расчетные таблицы, на основании которых были получены представленные выше зависимости, размещены в онлайн-репозитории (<https://zenodo.org/records/10608616>).

В соответствии с рисунком 4 изменение длины двуэгранного клина от 5 до 30 мм или на 83 % в относительных единицах, приводит к увеличению площади деформируемой зоны почвы (S_d , м²) от 0,02 до 0,10 м² (рост составляет 80 %), то есть можно утверждать, что площадь деформируемой почвы увеличивается пропорционально увеличению длины двуэгранного клина.

Выявленная количественная закономерность между длиной двуэгранного клина (l_d , м) и площадью деформируемой зоны почвы (S_d , м²) может быть использована при проектировании почвообрабатывающих рабочих органов, например, для обоснования вылета долота плоскорезущего рабочего органа на этапе теоретических исследований.

Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP19679555).

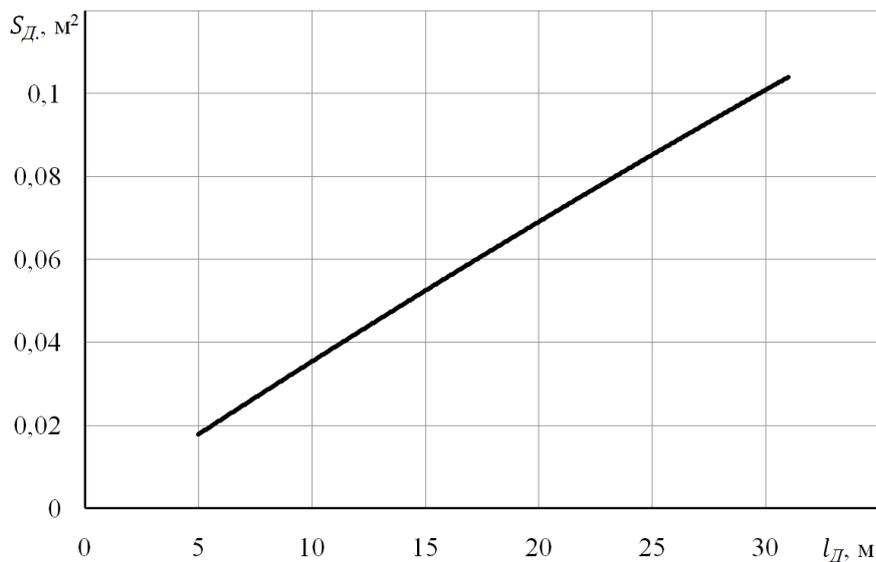


Рисунок 4 – Влияние длины двугранного клина (l_d , м) на площадь общую площадь деформируемой почвы (S_d , м²)

Обсуждение и заключение. В результате проведенных теоретических исследований были получены следующие результаты:

1. Проведено математическое моделирование процесса деформации почвы двугранным клином. На основании уравнения предложенного J. Boussinesq разработан графо-аналитический метод для определения напряжений, возникающих в почвенном слое под воздействием двугранного клина, который учитывает влияние параметров двугранного клина и физико-механических характеристик почвы;

2. Выявлена зависимость между площадью деформируемой зоны почвы и длиной двугранного клина. Установлено, что между длиной двугранного клина и общей площадью деформируемой почвы имеется прямо пропорциональная зависимость. Так, при увеличении длины двугранного клина на 83% (с 0,05 до 0,30 м) площадь деформируемой почвы увеличилась на 80 % (с 0,02 до 0,10 м²).

Разработанный графо-аналитический метод определения напряжений в почвенном слое под действием двугранного клина позволит на этапе теоретических исследований получить представление о количественном и качественном характере распределения напряжений и деформаций в почвенном слое под воздействием элементов почвообрабатывающих рабочих органов. В частности результаты данных исследований будут использованы нами при обосновании параметров плоскорезущего рабочего органа.

Полученные результаты исследований соответствуют поставленным задачам, поставленная цель исследований достигнута.

ЛИТЕРАТУРА:

1 **Lamande M. Soil mechanical stresses in high wheel load agricultural field traffic: a case study** [Текст] / M. Lamande, P. Schjonning // Soil research. – 2017. – № 56(2). – С. 129-135. DOI: 10.1071/SR17117.

2 **Peixoto D. Occasional tillage in no-tillage systems: a global meta-analysis** [Текст] / D. Peixoto, L. Moreira da Silva, L. Batista de Melo // Science of the Total Environment. – 2020. – № 745, С. 140-147. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140887.

3 **Peralta G., Alvarez C., Taboada M. Soil compaction alleviation by deep non-inversion tillage and crop yield responses in no tilled soils of the Pampas region of Argentina. A meta-analysis** [Текст] / G. Peralta, C. Alvarez, M. Taboada // Soil and tillage research. – 2021. – № 211, С. 105-112. DOI: 10.1016/j.still.2021.105022.

4 **Lima R. Soil stress measurement by load cell probes as influenced by probe design, probe position, and soil mechanical behavior** [Текст] / R. Lima, T. Keller // Soil and tillage research. – 2021. – № 205, С. 104-109. DOI: 10.1016/j.still.2020.104796.

5 **Pytko J. Load effect upon soil stress and deformation state in structured and disturbed sandy loam for two tillage treatments** [Текст] / J. Pytko // Soil and tillage research. – 2001. – № 59. – С. 13-25. DOI: 10.1016/S0167-1987(00)00159-8.

6 **Mudarisov S. Justification of the soil dem-model parameters for predicting the plow body resistance force during plowing** [Текст] / S. Mudarisov, Y. Lobachevsky, I. Farkhutdinov et al. // Journal of Terramechanics. – 2023. – № 109. – С. 37-44. DOI: 10.1016/j.jterra.2023.06.001.

7 Ucgul M. Discrete element modeling of tillage forces and soil movement of a one-third scale mouldboard plough [Текст] / M. Ucgul, C. Saunders, J. Fielke // *Biosystems engineering*. – 2017. – № 155. – С. 44-54. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2016.12.002.

8 Zeng Z. Modelling the interaction of a deep tillage tool with heterogeneous soil [Текст] / Z. Zeng, Y. Chen, X. Zhang // *Computers and electronics in agriculture*. – 2017. – № 143. – С. 130-138. DOI: 10.1016/j.compag.2017.10.005.

9 Лысыч М.Н. Компьютерное моделирование процесса обработки почвы рабочими органами почвообрабатывающих машин [Текст] / М.Н. Лысыч // Компьютерные исследования и моделирование. – 2020. – № 3. – С. 607-627. DOI: 10.20537/2076-7633-2020-12-3-607-627.

10 Джабборов Н.И. Моделирование процесса обработки почвы методом концентрации напряжений в обрабатываемом пласте [Текст] / Н.И. Джабборов, А.В. Добринов, А.П. Савельев // *Инженерные технологии и системы*. – 2023. – №33 (2). – С. 175-191. DOI: 10.15507/2658-4123.033.202302.175-191.

11 Мударисов С.Г. Моделирование технологического процесса обработки почвы на склоновых агроландшафтах [Текст] / С.Г. Мударисов, З.С. Рахимов, И.М. Фархутдинов и др. // *Вестник Казанского ГАУ*. – 2016. – № 1(39). – С. 87-91. DOI: 10.12737/19331.

12 Amantayev M. Modelling of the soil-two dimensional Modelling of the soil-two dimensional shearing tine interaction [Текст] / M. Amantayev, G. Gaifullin, S. Nukeshev // *Bulgarian journal of agricultural science*. – 2017. – № 23 (5). – С. 882-885.

13 Цыпук А.М. Обоснование размеров области напряжений в почве под действием механической нагрузки [Текст] / А.М. Цыпук // *Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ*. – 1999. – С. 172-174.

14 Ibarra S. A model of stress distribution and cracking in cohesive soils produced by simple tillage implements [Текст] / S. Ibarra, E. McKyes, R. Broughton // *Journal of terramechanics*. – 2005. . – № 42(2). – С. 115-139. DOI: 10.1016/j.jterra.2004.08.002.

15 Куваев А.Н. Определение удельного сопротивления почвы объемной деформации [Текст] / А.Н. Куваев, А.П. Комаров // *Аграрная наука в условиях модернизации и цифрового развития АПК России: мат-лы международной научно-практической конференции*. – Курган. – 2022. – С. 246-250.

REFERENCES:

1 Lamande M., Schjonning P. Soil mechanical stresses in high wheel load agricultural field traffic: a case study. *Soil research*, 2017, vol. 56(2), pp.129-135. DOI: 10.1071/SR17117.

2 Peixoto D., Moreira da Silva L., Batista de Melo L., et al. Occasional tillage in no-tillage systems: a global meta-analysis. *Science of the total environment*, 2020, vol. 745, pp. 140-147. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140887.

3 Peralta G., Alvarez C., Taboada M. Soil compaction alleviation by deep non-inversion tillage and crop yield responses in no tilled soils of the Pampas region of Argentina. A meta-analysis. *Soil and tillage research*, 2021, vol. 211, pp. 105-112. DOI: 10.1016/j.still.2021.105022.

4 Lima R., Keller T. Soil stress measurement by load cell probes as influenced by probe design, probe position, and soilmechanical behavior. *Soil and tillage research*, 2021, vol. 205, pp. 104-109. DOI: 10.1016/j.still.2020.104796.

5 Pytka J. Load effect upon soil stress and deformation state in structured and disturbed sandy loam for two tillage treatments. *Soil and tillage research*, 2001, vol. 59, pp. 13-25. DOI: 10.1016/S0167-1987(00)00159-8.

6 Mudarisov S., Lobachevskij Y., Farkhutdinov I. et al. Justification of the soil dem-model parameters for predicting the plow body resistance forces during plowing. *Journal of terramechanics*, 2023, vol. 109, pp. 37-44. DOI: 10.1016/j.jterra.2023.06.001.

7 Ucgul M., Saunders C., Fielke J. Discrete element modeling of tillage forces and soil movement of a one-third scale mouldboard plough. *Biosystems engineering*, 2017, vol. 155, pp. 44-54. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2016.12.002.

8 Zeng Z., Chen Y., Zhang X. Modelling the interaction of a deep tillage tool with heterogeneous soil. *Computers and electronics in agriculture*, 2017, vol. 143, pp. 130-138. DOI: 10.1016/j.compag.2017.10.005.

9 Lysych M.N. Kompyuternoe modelirovanie processa obrabotki pochvy rabochimi organami pochvoobrabatyvayushih mashin [Computer simulation of the process soil treatment by tillage tools of soil processing machines]. *Kompyuterny'e issledovaniya i modelirovanie*, 2020, no. 3, pp. 607-627. DOI: 10.20537/2076-7633-2020-12-3-607-627. (In Russian)

10 Dzhabborov N.I., Dobrinov A.V., Savelev A.P. Modelirovanie processa obrabotki pochvy' metodom koncentracii napryazhenij v obrabatyvaemom plaste [Modeling of the tillage process by the method of stress concentration in the tilled layer]. *Inzhenerny'e tehnologii i sistemy'*, 2023, no. 33 (2). pp. 175-191. DOI: 10.15507/2658-4123.033.202302.175-191. (In Russian).

11 Mudarisov S.G., Rahimov Z.S., Farhutdinov I.M. et al. **Modelirovanie tehnologicheskogo processa obrabotki pochvy na sklonovy'h agrolandshaftah** [Modelling of tillage workflow on sloping agricultural landscapes]. *Vestnik Kazanskogo GAU*, 2016, no. 1(39), pp. 87-91. DOI: 10.12737/19331. (In Russian)

12 Amantajev M., Gaifullin G., Nukeshev S. **Modelling of the soil-two dimensional Modelling of the soil-two dimensional shearing tine interaction**. *Bulgarian journal of agricultural science*, 2017, vol. 23 (5), pp. 882-885.

13 Сypук А.М. **Obosnovaniy'e razmerov oblasti napryazhenij v pochve pod dejstviem mehanicheskoy nagruzki** [Justification of the size of the stress area in the soil under the influence of mechanical load]. *Trudy' Ilesoinzhenerenogo fakulteta PetrGU*, 1999, pp. 172-174. (In Russian)

14 Ibarra S., McKyes E., Broughton R. **A model of stress distribution and cracking in cohesive soils produced by simple tillage implements**. *Journal of terramechanics*, 2005, vol. 42(2), pp. 115-139. DOI: 10.1016/j.jterra.2004.08.002.

15 Kuvaev A.N., Komarov A.P. **Opreделение udelnogo soprotivleniya pochvy' ob'emnoj deformacii** [Determination of the specific resistance of the soil to volumetric deformation]. *Agrarnaya nauka v usloviyah modernizacii i cifrovogo razvitiya APK Rossii: mat-ly' mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*, Kurgan, 2022, pp. 246-250. (In Russian)

Сведения об авторах:

Кувает Антон Николаевич* – доктор философии (PhD), заведующий лабораторией механизации растениеводства, Костанайский филиал ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», Республика Казахстан, 110011, г. Костанай, пр. Абая, 34, телефон: 8(7142)558146, e-mail: kuvaevanthon@yandex.ru.

Дерепаскин Алексей Иванович – доктор технических наук, главный научный сотрудник, Костанайский филиал ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», Республика Казахстан, 110011, г. Костанай, пр. Абая, 34, e-mail: a.derepaskin48@mail.ru.

Токарев Иван Владимирович – магистр сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Костанайский филиал ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», Республика Казахстан, 110011, г. Костанай, пр. Абая, 34, телефон: 8(7142)558146, e-mail: Tokarev_Ivan.V@mail.ru.

Кувает Антон Николаевич* – PhD докторы, «Агроинженерия ғылыми-өндiрiстiк орталығы» ЖШС Қостанай филиалы өсiмдiк шаруашылығын механикаландыру зертханасының меңгерушiсi, Қазақстан Республикасы, 110005, Қостанай қ, Абай даңғ, 34, телефон: 8(7142)558146, e-mail: kuvaevanthon@yandex.ru.

Дерепаскин Алексей Иванович – техника ғылымдарының докторы, «Агроинженерия ғылыми-өндiрiстiк орталығы» ЖШС Қостанай филиалының бас ғылыми қызметкерi, Қазақстан Республикасы, 110005, Қостанай қ, Абай даңғ, 34, телефон 8(7142)558146,, e-mail: a.derepaskin48@mail.ru.

Токарев Иван Владимирович – ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрi, ғылыми қызметкер, «Агроинженерия ғылыми-өндiрiстiк орталығы» ЖШС Қостанай филиалы, Қазақстан Республикасы, 110005, Қостанай қ, Абай даңғ, 34, телефон 8(7142)558146, e-mail: Tokarev_Ivan.V@mail.ru.

Kuvayev Anton Nikolayevich* – PhD, Head of laboratory of the mechanization of crop production, Kostanay Branch of Agricultural Engineering Research and Production Center LLP, Republic of Kazakhstan, 110005, Kostanay, 34 Abai Ave., tel.: 8(7142)558146, e-mail: kuvaevanthon@yandex.ru

Derepaskin Alexey Ivanovich – Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, Kostanay Branch of Agricultural Engineering Research and Production Center LLP, Republic of Kazakhstan, 110005, Kostanay, 34 Abai Ave, tel.: 8(7142)558146, e-mail: a.derepaskin48@mail.ru

Tokarev Ivan Vladimirovich – Master of Agricultural Sciences, Researcher, Kostanay Branch of Agricultural Engineering Research and Production Center LLP, Republic of Kazakhstan, 110005, Kostanay, 34 Abai Ave., tel.: 8(7142)558146, e-mail: Tokarev_Ivan.V@mail.ru.

МРНТИ: 68.35.31

УДК:633.351:630*165.6:303.722.4 (045)

https://doi.org/10.52269/22266070_2024_3_53

ПРИМЕНЕНИЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЛЕКЦИОННОЙ ЦЕННОСТИ ЧЕЧЕВИЦЫ (*Lens culinaris* Medik)

Кузбакова М.М.* – м.с.-х.н, докторант, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», г. Астана, Казахстан.