

УДК 631.31

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО КЛИНА С ПОЧВЕННЫМ НАРОСТОМ

А.Ф. Жук, канд. техн. наук

*ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт
механизации сельского хозяйства*

Наведено аналітичні залежності та графіки горизонтальної та вертикальної складових реакції ґрунту на робочій поверхні і потилічної фаски клина з ґрунтовим наростом при різних значеннях коефіцієнта зминання і внутрішнього тертя ґрунту та параметрах фаски. Розрахунки показали, що нерациональні енерговитрати на роботу клина з ґрунтовим наростом можуть становити 10 МДж/га або 1 кг/га дизпального.

Ключові слова: клин, долото, ґрунтовий наріст, коефіцієнт зминання ґрунту, кут тертя, робоча поверхня, потилічна фаска, реакції ґрунту, енерговитрати.

Проблема. Снижение энергозатрат на обработку почвы возможно на основе углубленного изучения особенностей взаимодействия с почвой различных орудий. Существенное влияние на энергетические и качественные показатели работы орудий оказывает явление образования уплотненного ядра на рабочей поверхности и затылочной фаске лезвия. Работа клина с наростом исследована недостаточно, и в решении этого вопроса имеется резерв повышения эффективности работы орудий.

Анализ последних исследований и публикаций. Академик В.П. Горячкин указывал, что все рабочие органы по форме могут быть сведены к клину [1]. Различные аспекты работы почвообрабатывающего клина, с учетом образования на его поверхности уплотненного ядра из почвы, рассмотрены в работах А.Н. Зеленина [2, 3], M.L. Nichols, I.F. Reed, C.A. Reaves [4], М.Е. Мацепуро и К.А. Пилкаускаса [5], А.П. Осадчего [6], А.Ј. Koolen [7], А.С. Путрина [8], С.А. Сидорова [9], В.И. Ветохина [10, 11] и многих других ученых.

Силы, действующие на клин в почве, рассмотрены в работах В.П. Горячкина и других исследователей [1-5, 7-9, 11-13]. При оценке дей-

ствия на клин сил трения F и нормальной силы давления N академик В.П. Горячкин рекомендовал, для учета сил трения, условно увеличить угол подъема клина на величину угла трения.

Однако, в перечисленных исследованиях, вопросы количественной оценки силового взаимодействия клина и пласта с учетом влияния уплотненного ядра из почвы а, соответственно энергетической эффективности клина, изучены недостаточно.

Цель работы. Определить влияние почвенного нароста на энергозатраты при работе клина и наметить меры по их снижению.

Результаты исследований. При движении пласта по двугранному клину (долоту) равнодействующая R силы трения F на его рабочей поверхности и силы N нормального давления (рис. 1) равна [13]:

$$R = N / \cos \varphi = \sqrt{N^2 + (fN)^2} = N \sqrt{1 + tg^2}, \quad (1)$$

где коэффициент трения почвы по поверхности клина $f = tg j$.

Так как при определении энергозатрат на обработку почвы необходимо знать горизонтальную составляющую R_x равнодействующей R , то эту силу разложим на составляющие: горизонтальную R_x и вертикальную (заглубляющую) R_z . Сила тяги P необходимая для перемещения клина с учетом сил трения равна

$$P = R \sin (a + j) = R \sin a^1. \quad (2)$$

Если трение проявляется и снизу клина на его затылочной фаске, расположенной в плоскости ее движения, то угол а заострения снизу необходимо также условно увеличить на угол трения j_1 . В таком случае трансформированный угол заострения клина $a^{11} = a + j + j_1$, а опорная реакция долота $S = (N / \cos j) \cos (a + j)$. При этом сила тяги P , исходя из условий равновесия сил P , R и S , равна

$$P = (S / \cos j_1) \sin j_1 + (N / \cos j) \sin (a + j). \quad (3)$$

Подставив в это выражение значение S , после преобразований имеем

$$P = (N / \cos j) [\sin (a + j + j_1)] / \cos j_1, \quad (4)$$

или при равных углах трения $j = j_1$

$$P = N \sin (a + 2j) / \cos^2 j. \quad (5)$$

На верхней (рабочей) поверхности долота, например перед верти-

кальной стойкой щелереза, глубокорыхлителя образуется нарост из уплотненной обесструктуренной почвы [9, 14]. Его неподвижная часть покрывает рабочую поверхность долота (кроме кромки, расположенной возле лезвия), а верхняя неустойчивая подвижная, периодически сдвигается пластом, поступающим на клин. Нарост изменяет характеристики рабочей поверхности и увеличивает тяговое сопротивление.

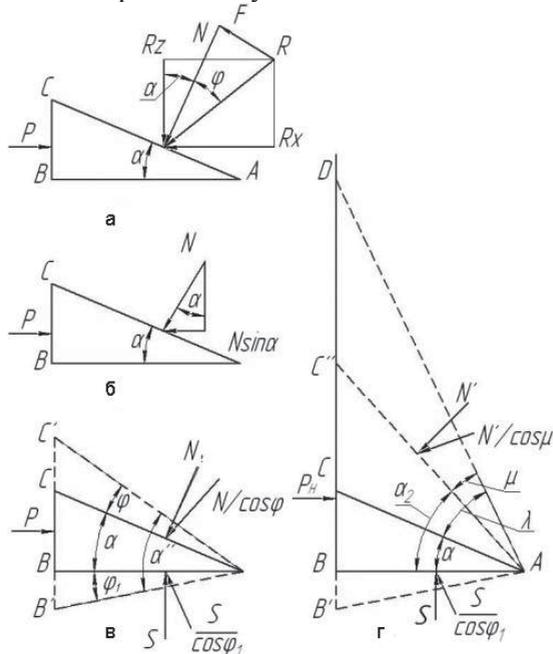


Рис. 1. Схема сил, действующих на клин, при его движении в почве

При определении силы P_H сопротивления почвы движению клина с почвенным наростом необходимо вместо угла подъема клина α учитывать угол α_2 уклона неподвижной части нароста на его поверхности, вместо коэффициента трения почвы по стали (поверхность клина, долота) - коэффициент внутреннего трения почвы или угол трения μ , а вместо силы N - нормальную силу N' , которую составляет вес почвы с наростом на долоте с углом α_2 уклона нароста. Поэтому выражение (4) принимает вид:

$$P_H = \frac{N^1}{\cos \mu} \frac{\sin(\alpha_2 + \mu + \varphi_1)}{\cos \varphi_1}. \quad (6)$$

При наличии нароста пласт поднимается на большую высоту, чем при движении по долоту, при этом увеличиваются габариты борозды по следу стойки и требуются дополнительные энергозатраты. При $a_2 + m \leq 90^\circ$ и заглаблении долота, превышающем критическую глубину h_k [15], почва сдвигается перед долотом и по вертикальным поверхностям - по его краям. Затем по долоту и нижней части стойки с наростом на их рабочих поверхностях почвенный фрагмент, отделенный на глубине ниже критической, поднимается вверх до h_k и, далее двигаясь вверх, разрушается и обтекает стойку.

В случае, когда $a_2 + m \geq 90^\circ$, принципиально меняется характер работы клина. Перед его стойкой, на нем и перед ним сформируется уплотненное ядро в виде вертикального профиля. При заглаблении клина $h - h_k \geq 3 \dots 5 b$, где b - ширина захвата клина, на глубине, превышающей h_k , оно будет сминать и раздвигать почву в стороны и формировать щель с уплотненными стенками. Это ведет к существенному увеличению тягового сопротивления и энергозатрат. При заглаблении клина $h - h_k < 3 \dots 5 b$ верхняя поверхность устойчивого нароста перед клином приобретет уклон, позволяющий двигаться по нему вверх (как и по долоту без нароста) подвижной части нароста. В обоих случаях на глубине, равной критической, образуются тела скольжения со скалыванием слоя почвы, расположенного выше критической глубины: вперед под углом $\Psi \approx 35 \dots 40^\circ$ и в стороны - под углом $\Psi_1 \approx 40 \dots 50^\circ$. В верхнем слое почва обтекает стойку клина (долота) с обеих сторон, создавая борозду. При $h < h_k$ поверхности скалывания почвы под углами Ψ и Ψ_1 идут от лезвия клина или от нароста перед ним.

Образованию нароста на рабочей поверхности способствуют: большой угол установки долота к поверхности почвы, близкое вертикальному положение нижнего участка переднего ребра стойки клина, нависание на ней растительных остатков, наличие на ней, например, в сопряжении долота и стойки, участков, заполненных почвой, залипание боковых поверхностей и другое. Параметры долота и стойки глубокорыхлителя должны обеспечивать возможность работы без образования почвенного нароста на их рабочих поверхностях, особенно на глубине, превышающей h_k .

На затупившемся лезвие клина имеется затылочная фаска с отрицательным углом резания ε_3 [9, 16, 17]. При работе фаска сминает и уплотняет нижележащий слой почвы высотой h (рис. 2, а), и на ней формируется почвенный нарост, изменяющий параметры фаски:

ее высота h_H , коэффициент трения μ' и усредненный угол резания ε_n .

Силы сопротивления на затылочной фаске с отрицательным углом резания, но без нароста, рассмотрены в работе [12]. Нормальное давление p почвы на фаску возрастает от минимального на передней до максимального на ее задней кромке, на которой $p=kh$, где k - коэффициент объемного смятия почвы, h - толщина слоя, сминаемого фаской. Коэффициент $k=P/sh$ Н/мм³, где P, s - соответственно усилие и площадь вдавливания, характеризующие сопротивление почвы внедрению деформатора в пределах прямой пропорциональности на диаграмме измерения ее твердости. Коэффициент смятия k рассмотрен в работах [18, 19, 20] и других. Его можно определить по первому (на глубину 0,3-2 см) участку твердограммы с быстрым почти линейным ростом сопротивления почвы прониканию цилиндрического плунжера твердомера. На свежевспаханной почве $k=1 \dots 2$ Н/см³, на парах - до 10 Н/см³, а на уплотненной сухой почве 20...40 Н/см³ и более [21].

При дальнейшем заглублении плунжера твердомера (клина) рост сопротивления почвы смятию замедляется, и от него усилие на пласт передается через нарост под ним - уплотненный фрагмент почвы под плунжером или затылочной фаской. Второй участок твердограммы характеризуется замедлением роста сопротивления почвы прониканию деформатора. На ее третьем участке, характеризующем твердость почвы, отмечается относительно постоянное сопротивление продвижению деформатора с уплотненным ядром под ним. При ширине фаски $AB=h/\sin \varepsilon_3$ и давлении на неё $p=kh$ равнодействующая нормальных сил сопротивления на ней [12]

$$N_3 = kh^2b/2\sin \varepsilon_3, \quad (7)$$

где b - ширина захвата клина.

Равнодействующая R_3 сил сопротивления, преодолеваемых затылочной фаской, отклонена от нормальной силы на угол φ трения почвы на ее поверхности (угол отклонения R_3 от нормальной силы N_3).

$$R_3 = kh^2b/2\sin \varepsilon_3 \cos \varphi. \quad (8)$$

При этом составляющие силы R_3 вертикальная R_{3z} и горизонтальная R_{3x} после преобразований равны соответственно:

$$R_{3z} = 0,5 kh^2b(\operatorname{ctg} \varepsilon_3 - \operatorname{tg} \varphi); \quad (9)$$

$$R_{3x} = 0,5 kh^2b(\operatorname{tg} \varphi \operatorname{ctg} \varepsilon_3 + 1). \quad (10)$$

Затылочная фаска, показанная на рис. 2 а и с таким расположением в почве, может быть лишь при неправильной установке нового рабочего органа или при износе лезвия лапы с наплавкой на верхней стороне [17].

Как правило, отрицательный угол резания на фаске появляется после истирания и закругления лезвия по радиусу r и образования на ней почвенного нароста. На затылочной фаске затупившегося лезвия формируются неподвижный (малоподвижный), а перед ним - подвижный (на рис. 2, б - не показан) почвенные наросты, горизонтально расклинивающие пласт. При этом h_H - толщина слоя почвы, сминаемого затылочной фаской с наростом: $h_H \geq h$.

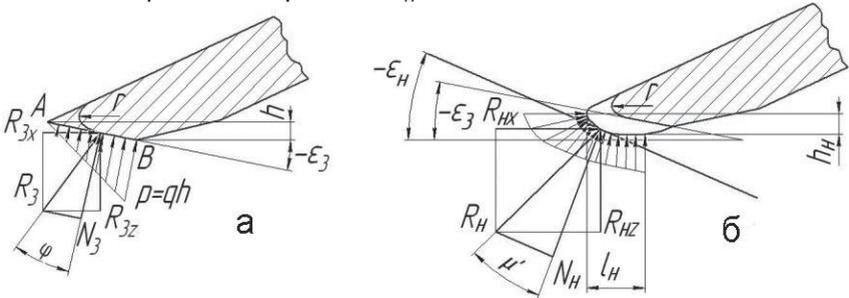


Рис. 2. Силы, действующие на затылочную фаску при отсутствии (а) и наличии (б) на ней неподвижного (малоподвижного) почвенного нароста

Отрицательный угол ϵ_H резания пласта наростом, как и реальной (затупившейся) затылочной фаской, переменный, уменьшающийся от 90° на передней кромке до нуля – в его задней части. «Рабочая» (уплотняющая нижележащий слой) ширина нароста равна l_H . Угол резания ϵ_H неподвижным наростом допустимо принять расположенным между линиями горизонтальной и соединяющей переднюю и заднюю точки контакта нароста со сминаемым слоем почвы. При этом равнодействующая нормальных сил сопротивления, действующих на затылочную фаску с наростом

$$N_H = kh_H^2 b / 2 \sin \epsilon_H \quad (11)$$

Случай залипания пространства под клином не рассматриваем.

При работе клина с наростом на затылочной фаске она испытывает силы сопротивления R_{HX} и R_{HZ} с равнодействующей R_H , отклоненной от нормали N_H на угол m' трения почвы нароста по почве дна борозды

(внутреннего трения почвы). Давление почвы на затылочной фаске, как правило, выше, чем на верхней поверхности долота, и при давлении более 0,3...0,4 МПа [21] коэффициент трения m' несколько выше m . Однако существенно большее влияние на эти коэффициенты оказывают тип и влажность почвы, поэтому в расчетах допустимо считать $m' = m$. При этом

$$R_H = kh_H^2 b/2 \sin \varepsilon_H \cos m. \quad (12)$$

Составляющие R_H силы горизонтальная R_{HX} и вертикальная R_{HZ} равны:

$$R_{HX} = 0,5 kh_H^2 b(tgm \operatorname{ctg} \varepsilon_H + 1), \quad (13)$$

$$R_{HZ} = 0,5 kh_H^2 b(\operatorname{ctg} \varepsilon_H - tgm). \quad (14)$$

Определяющее значение для тягового сопротивления и выталкивающей реакции на рабочем органе имеют коэффициент смятия k и высота h_H затылочной фаски с наростом на ней. Площадь опорной поверхности S_o клина шириной захвата b , имеющего фаску с наростом, равна:

$$S_o = b h_H / \sin \varepsilon_H. \quad (15)$$

При работе клина возможны варианты действия его затылочной фаски на нижележащий почвенный слой:

- фаска сминает почву, несущая способность которой меньше давления фаски на нее, деформация почвы соответствует пределу пропорциональности; глубину хода клина (долота, лапы) ограничивают опорные устройства орудия;
- давление фаски на почву, лишь эпизодически достигает предела ее несущей способности, при этом в почвенном слое клин движется неустойчиво по глубине, а сила сопротивления почвы растет пропорционально линейной деформации, и удельному (на единицу площади) давлению фаски на почву приблизительно равному ее твердости;
- несущая способность слоя почвы, в котором должен двигаться клин, больше, чем давление фаски на почву, клин в такой слой не заглубляется (выглубляется) и движется в слое, в котором несущая способность почвы и давление фаски на неё уравниваются.

В первом случае рабочий орган движется устойчиво по глубине, но энергия нерационально затрачивается на смятие слоя почвы h_H и трение нароста о дно борозды.

Во втором случае при большом размахе вариации твердости

почвы рабочий орган движется неустойчиво, глубина колеи опорных устройств орудия или их контакт с почвой непостоянны. Энергия нерационально затрачивается на трение фаски с наростом о дно борозды и смятие слоя почвы h_H .

В третьем случае существенно нарушается технологический процесс, долото выглубляется и постоянно движется не в заданном слое, а в том, где сила сопротивления почвы смятию не превышает давление фаски (с наростом) на почву.

Ниже представлены графики расчетных зависимостей изменения составляющих реакции почвы на затылочной фаске клина шириной захвата 100 см, при угле внутреннего трения почвы $\mu=30\dots60^\circ$, размещении фаски под углом $\varepsilon_H=10\dots30^\circ$ и коэффициенте смятия почвы до 20 Н/см^3 . Рост тягового сопротивления R_{HX} фаски пропорционален коэффициенту k смятия почвы (рис. 3).

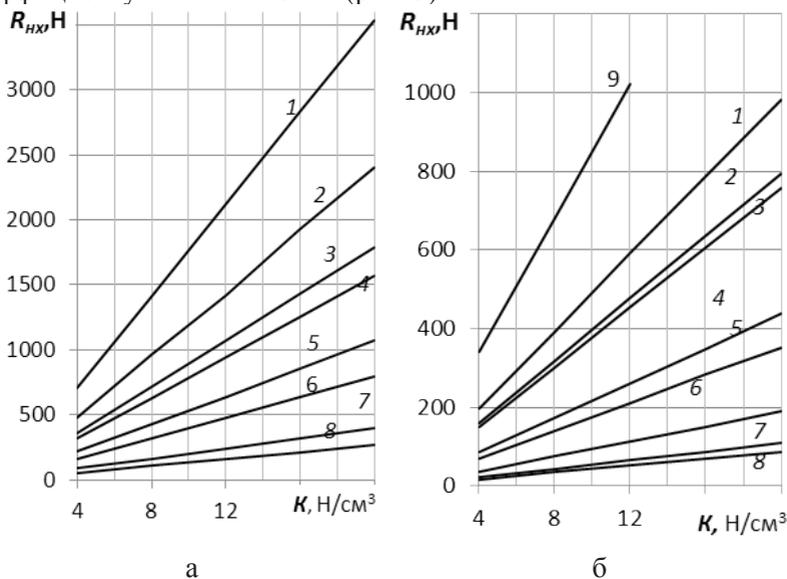


Рис. 3. Расчетные зависимости тягового сопротивления затылочной фаски от коэффициента смятия почвы при ширине клина $b=100$ см: а - при $\varepsilon_H=10^\circ$, $h_H=0,6$ см и $\mu=60^\circ$ (1), 45° (2) и 35° (3); при $\varepsilon_H=10^\circ$, $h_H=0,4$ см и $\mu=60^\circ$ (4), 45° (5) и 35° (6); при $\varepsilon_H=10^\circ$, $h_H=0,6$ см и $\mu=60^\circ$ (7), 45° (8); б - при $\mu=35^\circ$, $\varepsilon_H=30^\circ$ и h_H см=0,2 (8), 0,4 (5) и 0,6 (2); при $\mu=45^\circ$, $\varepsilon_H=30^\circ$ и h_H см=0,2 (7), 0,4 (4), 0,6 (1); при $\mu=45^\circ$, $\varepsilon_H=15^\circ$ и h_H см=0,2 (6), 0,4 (3), 0,6 (9).

При малых значениях k и различных значениях угла ε_n , коэффициента трения μ и высоты h_H фаски величина R_{HX} отличается меньше, чем при больших значениях k , то есть с увеличением k влияние параметров фаски на величину R_{HX} проявляется больше, она существенно возрастает. Например, при $\varepsilon_n = 10^\circ$, $k=4$, $\mu=45^\circ$ и $h_H = 0,2$ см, $0,4$ см и $0,6$ см (см. рис. 3, а) тяговое сопротивление R_{HX} равно соответственно 53,4 Н, 213,5 Н и 480 Н, то есть от минимального отличается приблизительно на 160 Н и 427 Н. При тех же параметрах и $k = 20$ – составляет соответственно 267 Н (рис. 3, а, линия 8), 1067 Н (линия 5), и 2401 Н (линия 2), при этом разница составляет соответственно 800 и 2134 Н. Пример указывает на то, что при обработке уплотненных почв пагубное влияние затылочной фаски и нароста на ней на повышение тягового сопротивления проявляется намного больше, чем при обработке легких почв.

Углы трения почвы по металлу (по фаске без нароста) и почве (по наросту) отличаются на $15...30^\circ$ и более [20]. Поэтому рис. 3, а и б дают возможность сравнить R_{HX} фаски с наростом и без него, то есть при одинаковых геометрических параметрах поверхностей фаски и нароста на ней, но разных коэффициентах (углах) их трения по почве. Например, при $h_H = 0,4$ см, $k=20$ Н/см³, $\varepsilon_n = 10^\circ$, $\mu=60^\circ$ (трение почвы по почве) и $\mu=35^\circ$ (трение по стали) R_{HX} равно соответственно 1570 Н и 795 Н (рис. 3, а, линии 4 и 6). Представленные на (рис. 4, а) зависимости тягового сопротивления затылочной фаски от угла трения μ показывают, что на динамику его роста существенно влияет форма фаски - угол ε_n . Например при $k=16$ Н/см³ и предельно высоком значении $\varepsilon_n = 30^\circ$ увеличение μ с 15° до 60° ведет к увеличению R_{HX} в 2,7 раза, при $\varepsilon_n = 15^\circ$ - в 3,7 раза, а при $\varepsilon_n = 10^\circ$ (не показано) - в 4,3 раза. Эту особенность необходимо учитывать при выполнении формы и упрочнении лезвий почвообрабатывающих органов.

Чем больше μ , тем выше тяговое сопротивление затылочной фаски, но при больших углах трения с увеличением угла ε_n реакция R_{HX} уменьшается интенсивнее (рис.4, б).

Графики (рис. 3 и 4) показывают величину нерациональных затрат энергии при работе с почвенным наростом на затылочной фаске. Например, при достаточно типичном случае, когда $h_n = 0,4$ см, $\mu=45^\circ$, $\varepsilon_n = 10^\circ$ и $k = 20$ Н/см³, реакция $R_{HX} = 1067$ Н. При этом нерациональная работа на 1 га равна $10,67$ МДж, а для ее выполнения на скорости 2,5 м/с орудием шириной захвата 4 м требуется дополнительная мощность более 10 кВт или горючего до 1 кг/ га.

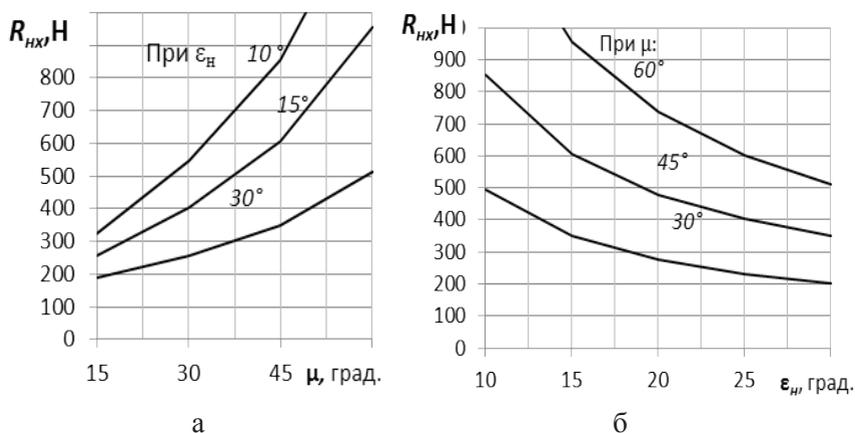


Рис. 4. Зависимость тягового сопротивления затылочной фаски при $b=100$ см, $k=16$ Н/см³ от коэффициента трения μ при ϵ_n равном 30° , 15° и 10° (а) и от угла затылочной фаски ϵ_n при μ равном 30° , 45° и 60° (б).

На затылочную фаску также действует вертикальная реакция почвы $R_{нз}$. Поэтому на плотных почвах зачастую нарушается устойчивость хода почвообрабатывающих органов, орудия склонны к самовыглублению. Графики (рис. 5) дают представление о зависимости реакции $R_{нз}$ от высоты h_n и угла ϵ_n затылочной фаски при разных коэффициентах ее трения о дно борозды.

Сравнение графиков а и б на рис.5 показывает, что при увеличении коэффициента трения μ реакция $R_{нз}$, в отличие от $R_{нх}$, уменьшается и, например при $k=20$, $h_n=4$, $\epsilon_n=10^\circ$ и $\mu=30^\circ$, $R_{нз}=815$ Н, а при $\mu=45^\circ$ - $R_{нз}=747$ Н.

Как и тяговое сопротивление, выталкивающая реакция на фаске $R_{нз}$ возрастает пропорционально квадрату ее высоты и коэффициенту смятия почвы. При малой высоте ($h_n=0,2$ см) она незначительна, как и ее рост с увеличением k .

При $\mu=30^\circ$, $\epsilon_n=10^\circ$ и высоте фаски $h_n=0,6$ см и $0,4$ см с увеличением k с 4 до 20 Н/см³ $R_{нз}$ возрастает соответственно с 367 до 1835 Н и от 163 до 815 Н (рис. 5, а, линии 1 и 2), а в аналогичных условиях при $\mu=45^\circ$ и таком же увеличении k реакция $R_{нз}$ возрастает с 336 Н до 1680 Н и от 150 Н до 750 Н (рис 5, б, линии 1 и 2). При $h_n=0,6$ см выталкивающая реакция приближается к удельной массе простых орудий с лапами.

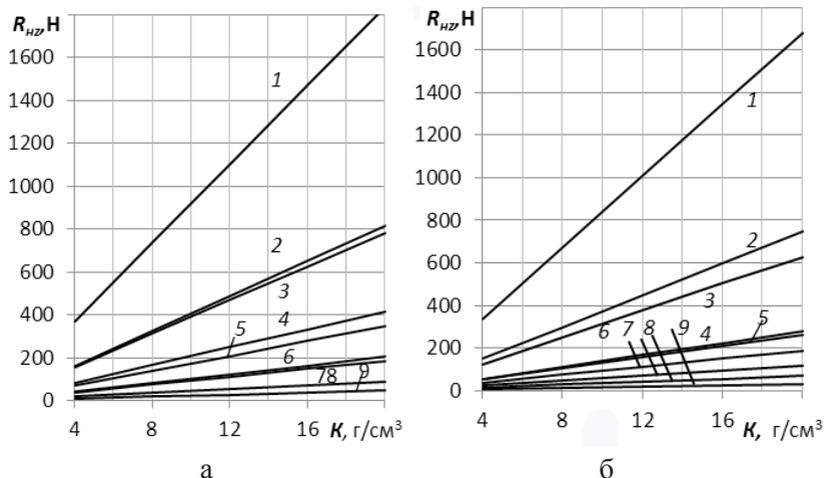


Рис. 5. Зависимость вертикальной реакции на затылочной фаске от коэффициента смятия k при $b=100$ см и коэффициентах $\mu=30^\circ$ (а) и 45° (б): при $\epsilon_n=10^\circ$ и $h_n=0,6$ см (1), 0,4 см (2) и 0,2 см (6); при $\epsilon_n=20^\circ$ и $h_n=0,6$ см (3), 0,4 см (5) и 0,2 см (8); при $\epsilon_n=30^\circ$ и $h_n=0,6$ см (4), 0,4 см (7) и 0,2 см (9)

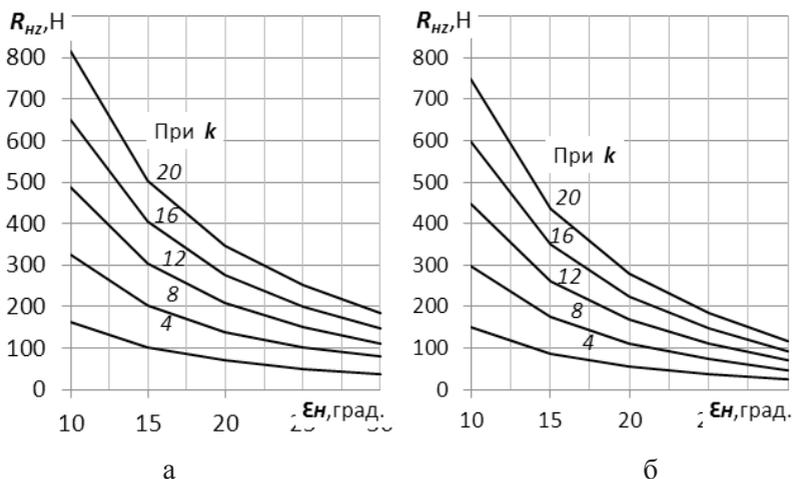


Рис. 6 Зависимость вертикальной реакции почвы на затылочной фаске от угла ϵ_n при разных k и $b=100$ см, $h_n=0,4$ см, $\mu=30^\circ$ (а) и $\mu=45^\circ$ (б)

На величину выталкивающей реакции $R_{нз}$ существенно влияют коэффициент смятия k и угол ε_n , характеризующий форму фаски или нароста на ней. Как видно на графиках а и б на рис. 6, реакция $R_{нз}$ большая при высоких значениях k и малых углах ε_n .

С увеличением ε_n реакция $R_{нз}$ уменьшается более интенсивно при больших k . Влиять на форму нароста или затылочной фаски затруднительно, но следует знать, что при одинаковой высоте нароста и увеличении угла ε_n с 10° до 20° выталкивающая реакция уменьшается более чем в два раза. Как видно при сравнении графиков а и б на рис. 6, влияние угла трения на реакцию $R_{нз}$ небольшое и она меньшая и при больших углах μ .

Выводы. При сплошном подрезании плотной почвы нерациональные энергозатраты из-за почвенного нароста на рабочих органах могут составлять около 10 МДж/га или до 1 кг/га горючего. Их можно снизить за счет рациональной заточки и повышения износостойкости лезвия, уменьшающих высоту фаски и нароста на ней, выполнения обработки почвы при низких значениях коэффициента смятия почвы k , а также при глубоком рыхлении без сплошного подрезания пласта. По мере износа лезвия для уменьшения высоты фаски и ее опорной поверхности рекомендуется увеличивать угол вхождения клина, но для снижения затрат на перемещение почвы по его верхней поверхности – его же - уменьшать. Применение обтекаемых форм рабочих элементов без участков рабочей поверхности, заполненных почвой, например в сопряжении поверхности клина (долота) с его стойкой, может предотвратить появление зоны с почвенным наростом и повышение тягового сопротивления рабочего органа.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Горячкин В.П. Собрание сочинений. В 3-х томах / В.П. Горячкин // – М.: Колос, - Т. 2. Теория клина. -1968. - С. 381-388.
2. Зеленин А.Н. Физические основы теории резания грунтов / А.Н. Зеленин. – М.-Л.: АН СССР, - 1950. - 354 с.
3. Зеленин А.Н. Основы разрушения грунтов механическими способами // А.Н. Зеленин. - М.: Машиностроение. Изд. 2-е. - 1968. - С.59-79; -С.163-170.
4. Nichols M.L. Soil reaction: To plow share design / M.L. Nichols, I.F. Reed, C.A. Reaves // Jour. Agr. Eng. Res. - 1958. - V.39. - P.171-178.
5. Мацепуро М.Е. Изменение сил, действующих на дрены, в зависимости от его параметров / М.Е. Мацепуро, К.А. Пилкаускас //

- Вопросы земледельческой механики. АН БССР, БелНИИМЭСХ. – Минск: Госиздат БССР, 1960. – Т.3; Разд. 2; Гл.3. – С. 211–274.
6. *Осадчий А.П.* Дробление почв, грунтов и других твердых тел при снятии пласта и новый способ глубокого мелкозернистого рыхления почв при вспашке / А.П. Осадчий; Волгоградский СХИ. - Волгоград: Нижне-Волжское кн. изд-во, - 1965. - 82 с.
 7. *Koolen A.J.* Relationships between mechanical properties of soil and the performance of simple cultivation implements / A.J. Koolen, P. Vaandrager // Jour. Agr. Eng. Res. - 1984, -V.29, -I.4, - P.313–319.
 8. *Путрин А.С.* Основы проектирования рабочих органов для рыхления почв, находящихся за пределами физически спелого состояния: Дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / А.С. Путрин; Оренбургский ГАУ. – Оренбург, - 2003, - 460 с.
 9. *Сидоров С.А.* Условия резания лезвием с образующимся уплотненным ядром / С.А. Сидоров // Техника в сельском хозяйстве. – 2008. - № 5. – С. 8-11.
 10. *Ветохин В.И.* О динамике формы поверхности рабочих органов почворыхлителей/В.И.Ветохин//Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2010, - № 6, - С. 30-35.
 11. *Ветохин В.И.* Аналіз співвідношення тягового опору та заглиблюючої сили ґрунтообробного клина стосовно робочих органів різного типу / В.І. Ветохин, О.Г. Гетьман, Н.В. Білицька, Л.В. Знова // Техніка і технології АПК. – 2012. - № 8. - С.26-30.
 12. *Синеоков Г.Н.* Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков, И.М. Панов. - М.: «Машиностроение». -1978. – С. 51-70.
 13. *Босой Е.С.* Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин / Е.С. Босой, О.В. Верняев, И.И. Смирнов, Е.Г. Султан-Шах. - М.: Машиностроение, -1978. – С. 33-36.
 14. *Жук А.Ф.* Почвозащитные и энергосберегающие приемы зяблевой обработки/ А.Ф. Жук // Сб. «Экологические аспекты производства продукции растениеводства, мобильной энергетики и сельскохозяйственных машин». - С.-Пб.: СЗНИИМЭСХ. -2007. - Т.2: – С.123-130.
 15. *Труфанов В.В.* Глубокое чизелевание почвы / В.В. Труфанов. – М.: Агропромиздат. - 1989. – С.112-113.
 16. *Винокуров В.И.* Исследование, разработка и внедрение в производство самозатачивающихся рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий: Монография / В.И. Вино-

- куров. - М.: ГОУ ВПО МГУП, - 2009. -311 с.
17. Рабинович И.П. Изыскание способов повышения износостойкости лап культиваторов. / И.П. Рабинович // ВИСХОМ. Материалы научно-технического совета, Вып.1. -М.: Центральное бюро технической информации. - 1957. – С.64-71.
 18. Бахтин П.У. Исследование физико-механических и технологических свойств почв СССР/ П.У. Бахтин. - М.: «Колос», -1969, - 268 с.
 19. Желиговский В.А. Элементы теории почвообрабатывающих машин и механической технологии сельскохозяйственных материалов/ В.А. Желиговский // Труды Грузинского сельскохозяйственного института. - Тбилиси, -1960. -145 с.
 20. Щучкин Н.В. Трение скольжения почвы по металлу и почвы по почве / Н.В. Щучкин // Почвообрабатывающие машины. Сб. науч.-исслед. работ ВИСХОМ. – М.: Машгиз, - Вып. 4. - 1949. – С.3-23.
 21. Ковалев Н.Г. Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства) / Н.Г. Ковалев, Г.А. Хайлис, М.М. Ковалев. - М.: ИК «Родник». - 1998. – С. 30-32.

РАБОТЫ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО КЛИНА С ПОЧВЕННЫМ НАРОСТОМ

Приведены аналитические зависимости и графики горизонтальной и вертикальной составляющих реакции почвы на рабочей поверхности и затылочной фаске клина с почвенным наростом при разных значениях коэффициента смятия и внутреннего трения почвы и параметрах фаски. Расчеты показали, что нерациональные энергозатраты на работу клина с почвенным наростом могут составлять 10МДж/га или 1 кг/га дизтоплива.

Ключевые слова: клин, долото, почвенный нарост, коэффициент смятия почвы, угол трения, рабочая поверхность, затылочная фаска, реакции почвы, энергозатраты.

WORK WEDGE WITH SOIL GROWTHS

Analytical dependences and graphic horizontal and vertical components of the reaction of the soil on the work surface and occipital bevel wedge with soil build-up at different values of the coefficient of internal friction bearing and soil parameters of the bevel. Calculations showed that unsustainable energy to work with the soil wedge growths can be 10MDzh/ga or 1 kg / ha of diesel.

Key words: wedge, chisel, soil build-up factor bearing soil friction angle of the working surface, the occipital facet, soil reaction, the energy.