

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ТОРФЯНЫХ ПЛАСТОВ ЧЕРЕНКОВЫМИ НОЖАМИ ТОЛЩИНОЙ МЕНЬШЕ 1 САНТИМЕТРА

В решениях сентябрьского Пленума ЦК КПСС о мерах дальнейшего развития сельского хозяйства СССР и февральско-мартовского Пленума о дальнейшем увеличении производства зерна в стране и об освоении целинных и залежных земель и последующих постановлениях Коммунистической партии и Советского правительства по вопросам сельского хозяйства, намечена конкретная программа дальнейшего развития сельского хозяйства, достижения изобилия продуктов для населения и сырья для промышленности.

Совет Министров СССР и ЦК КПСС поставили задачу расширения посевов зерновых культур в 1954—55 гг. за счет освоения целинных и залежных земель не менее, чем на 13 млн га. Выполнение этой задачи в 1954 г. позволило наметить новую задачу дальнейшего освоения указанных земель в 1955 г. до 30 млн га.

К числу осваиваемых новых земель относятся также земли, получаемые в результате осушения болотных почв, пригодных для сельскохозяйственного использования. Освоением этих земель преследуются следующие цели:

- 1) расширение площадей для сельскохозяйственного использования,
- 2) создание лесопаркового хозяйства вокруг промышленных центров,
- 3) создание условий для естественного возобновления лесов.

Методы осушения и сельскохозяйственного освоения болот разработаны выдающимися русскими учеными—творцами современной агро-мелиоративной науки В. В. Докучаевым, В. Р. Вильямсом и их последователями.

При первоначальной обработке осушенных торфяных почв ставятся задачи: 1) выравнивание поверхности, 2) разрушение дернины и уничтожение ее жизнедеятельности, 3) создание

рыхлого слоя, обладающего благоприятными свойствами для произрастания растений.

Чтобы достигнуть указанных целей, на всех низинных болотах применяется вспашка специальными болотными плугами с возможно полным оборотом пласта. Однако после первичной вспашки торфяных почв на поверхности поля не создается рыхлого слоя, отвечающего агротехническим требованиям, и поэтому необходимо применение орудий для разделки пласта.

Это явление можно объяснить, если рассмотреть технологический процесс вспашки вообще и торфяных почв в частности. Согласно теории технологического процесса вспашки, изложенной академиком В. А. Желиговским (3), в начале воздействия рабочей поверхности плуга на объем почвы происходит смятие почвы и ее уплотнение. Возникающая при этом деформация почвы имеет пластический характер.

Технологическое значение этого уплотнения состоит в том, что почвенные комки и зерна сближаются между собой, количество точек их взаимного контакта возрастает, сами комки претерпевают частичное смятие, особенно в точках их взаимного соприкосновения, число их в единице объема увеличивается.

В результате этого часть почвенного воздуха уходит в атмосферу, некоторая часть просачивается в соседние участки почвы, но основное его количество остается в сминаемой почве и переходит в состояние защемленного воздуха, герметически закупоренного водяными менисками в пустотах.

Защемленный в этих пустотах воздух при движении клина аккумулирует в себе потенциальную энергию, в которую переходит часть работы смятия данного объема почвы, в результате чего возникает напряженное поле перед движущимся в почве корпусом плуга, обладающее характерным расположением эквипотенциальных поверхностей. Форма и расположение этих поверхностей зависят от поверхности корпуса плуга, а также от механических свойств почвы.

При дальнейшем движении корпуса пласт разделяется скалыванием на отдельные глыбы. Аналогичные процессы скалывания наблюдаются в стальной стружке, снятой токарным резцом.

Повышенное давление в пласте до наступления скалывания поддерживается давлением рабочей поверхности плуга с одной стороны и сопротивлением почвы, расположенной впереди. В сколотой части пласта падает внешнее давление, и защемленный почвенный воздух расширяется и разрывает стенки пустот, которые он занимает по связи между комками. Сами же комки и зерна остаются в целости и вследствие этого не образуются пыли.

Разделение пласта на глыбы осуществляется путем скалывания (сдвига их) при давлении плуга на пласт. Дробление происходит за счет потенциальной энергии сжатого плугом заземленного воздуха не путем разрушения структурных элементов, а путем разрыва этих связей растяжением.

Известно также, что временное сопротивление минеральной почвы растяжению ниже сопротивления ее всем другим видам нагрузки. Этого нельзя сказать о болотных почвах и тем более о дернине.

Торфяные почвы обладают большой пластичностью и временное сопротивление их растяжению выше сопротивления всем другим видам нагрузки. Кроме этого, необходимо указать на тот факт, что торфяная почва не может быть разрушена одним сжатием. Поэтому при вспашке торфяных почв почти нет крошения пласта, а происходит разделение пласта на глыбы путем скалывания (сдвига).

В подтверждение этого можно привести результаты испытаний болотных плугов, проведенных Институтом механизации сельского хозяйства АН БССР в 1949—51 гг. (таблица 1).

Таблица 1

Размеры фракций (в см)	Марки плуга		
	ПФ-120	ПКБ-56	ПБЯ-50
	%		
25	42-51	50-60	37,7
25-15	14-17	15-21	15,2
15-10	11-14	12-15	14,2
10-5	10-12	3-5	14,3
До 5	8-17	9	18,6

Из таблицы 1 видно, что 8—19% составляет фракция с размерами кусков меньше 5 см.

Слабое крошение пласта объясняется еще и тем, что болотные плуги снабжаются винтовыми и полувинтовыми отвалами, которые хорошо оборачивают пласт, но крошат его слабо. Плуги, снабженные такими отвальными поверхностями, слабо крошат пласт даже при работе на культурных почвах.

При разделке пластов на торфяных почвах ставится задача—создать на поверхности вспаханной площади рыхлый слой почвы. Для выполнения указанной задачи требуется большая затрата энергии. Так, по наблюдениям автора установлено, что для создания рыхлого слоя глубиной 20—22 см после вспашки на низинном болоте требуется два прохода дисковой бороны с вырезными дисками и один проход зубовой бороны или же фрезерование в один проход. Необходимость проведения этих операций можно объяснить тем, что торфяные почвы измельчаются только резанием (лезвием), в отли-

чие от минеральных, в которых разрушение происходит за счет смятия и скалывания. С этой целью у глубоко рыхлящих борон на минеральных почвах делаются широкие зубья, загнутые вперед, облегчающие скалывание почвы кверху, в сторону открытой поверхности.

Применение рыхлящих рабочих органов для обработки торфяных задернелых почв ведет к излишней затрате энергии. Ниже приводятся данные доктора технических наук А. Д. Далина о работе резания и разрывания почвы (таблица 2).

Таблица 2

Г р у н т	Влажность (в %)	Сопротив- ление вдав- лению (в кг/см <sup>2</sup> )	Работа реза- ния А рез		Работа разры- ва А раз	
			в кгм/дм <sup>2</sup>	в %	в кгм/дм <sup>2</sup>	в %
Кочка осоковая	258	8	8,8	100	16,3	185
Дернина между кочками	232	5,6	4,4	100	6,3—7	151
Залежь на тяже- лой сунеси	16	49	9,3	100	4	43

Из данных, приведенных в таблице, следует, что затрата работы при измельчении волокнистых почв разрывом увеличивается на 51—85% в сравнении с затратой работы при резании лезвием.

Отсюда вытекает важное значение установления наивыгоднейших режимов обработки торфяных почв резанием с целью применения рациональных рабочих органов почвообрабатывающих машин, для проектирования которых необходимо знание законов и физической сущности явлений при этом процессе.

Все орудия дополнительной обработки почвы снабжаются рабочими органами (диски, лапы) толщиной меньше одного сантиметра. Поэтому нами было проведено исследование процесса резания торфяной почвы черенковыми ножами с толщиной спинки меньше одного сантиметра. Опыты по установлению зависимости усилия резания торфяного пласта были проведены в полевых условиях.

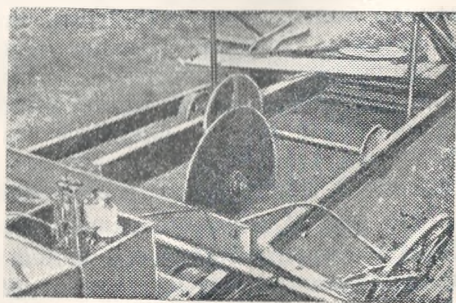


Рис. 1.

Для проведения полевых опытов нами была применена динамометрическая установка (рис. 1.) конструкции Института механизации и электрификации сельского хозяйства АН БССР, которая позволила непосредственно замерять усилия резания рабочими органами почвообрабатывающих машин без учета сил, необходимых на протаскивание самой установки.

План проведения опытов был построен так, чтобы отдельные пункты выполнялись в более короткие сроки во избежание изменения свойств почвы. Повторность опытов зависела от устойчивости получаемых результатов и выдерживалась не менее пятикратной. Условия проведения опытов характеризовались:

- а) ежедневным определением влажности почвы участка по стандартной методике,
- б) определением плотности почвы в пяти точках поля,
- в) определением коэффициента трения почвы о сталь.

С целью устранения погрешностей при изучении влияния какого-либо фактора на усилие резания, возникающих из-за неоднородности сопротивления почвы в различных участках поля, было применено чередование деленок.

Все замеры тягового усилия проведены на торфяных почвах после первичной вспашки их плугом ПФ-120. В результате проведенных экспериментов были получены цифровые значения, указывающие на количественное влияние различных факторов на процесс резания торфяной почвы черенковыми ножами толщиной спинки меньше одного сантиметра.

## 1. Зависимость усилия резания от глубины резания

Резание черенковыми ножами обернутого торфяного пласта производилось на скорости 0,6 м/сек. Каждый произведенный в почве разрез тщательно замерялся по глубине и затем замеры глубины наносились на динамограммы. Это позволило более точно установить зависимость тягового усилия от глубины резания. Средние значения усилия  $P$ , полученные в результате 5—10 замеров на различной глубине резания при протаскивании в торфе стальных ножей с толщиной спинки  $S=6$  мм и шириной (в направлении движения)  $b=70$  мм,  $b_1=140$  мм,  $b_2=210$  мм и  $b_3=280$  мм, приведены в таблице 3. Угол заточки всех ножей  $\beta=40^\circ$ .

На рис. 2 показана зависимость усилия резания от глубины резания, из которого видно, что изменение усилия резания пропорционально глубине резания. Рассматривая прямые, можно установить, что с увеличением ширины ножа происходит увеличение усилия резания, вызванное увеличением силы трения о боковые поверхности. Величина ее со-

ставляет 6—7 % от общего усилия резания. При этом оказывается, что увеличение силы трения, примерно одинаковое при увеличении ширины ножа на каждые 70 мм.

Таблица 3

Ширина ножа $b$ (в мм)	Усилие резания $P$ (в кг)					
	при глубине резания $h$ (в см)					
	5	10	15	20	25	30
70	11,3	25	35,1	47,2	60	70,5
140	13	25,4	37,7	51,3	64	76
210	12,8	27	41,5	53	68	81,5
280	14,1	28,5	44	57,4	71,6	87,1

Для уточнения величины силы трения на боковых поверхностях ножа был проведен отдельный опыт. На лыжах впереди тележки устанавливался нож, который производил разрез почвы. На тележке по следу первого ножа закреплялся нож шириной  $b_3=280$  мм. Этот нож не производил разреза почвы и поэтому динамометр фиксировал только величину силы трения на боковой поверхности ножа.

Средние данные опытов приведены ниже.

Глубина резания (в см)      10,      20,      25.

Сила трения (в кг)              4,      13,      16.

Эти данные подтверждают правильность определения величины силы трения, полученные из графика (рис. 3).

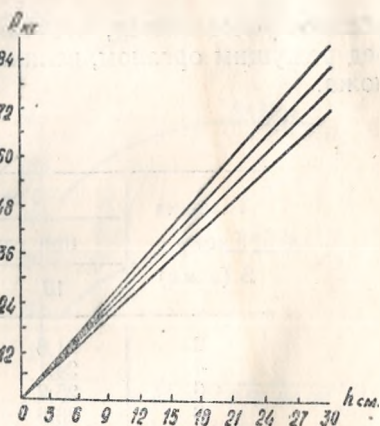


Рис. 2.

## 2. Влияние толщины ножа на усилие резания

Испытания проводились на тех же участках, что и в предыдущих опытах. При этом изменение глубины было в пределах 10—30 см. Для проведения опытов применялись ножи толщиной 2, 4, 6, 8 и 10 мм. Средние значения этих опытов даны в таблице 4, на основании которой построен график (рис. 3).

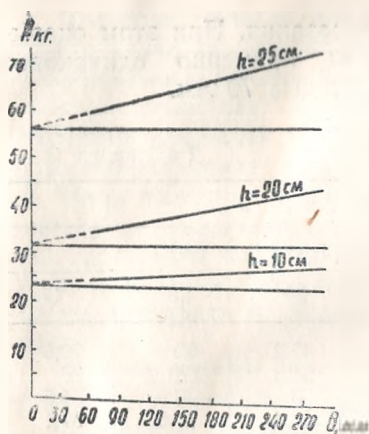


Рис. 3.

абсцисс уменьшается, что связано со скалыванием почвы перед режущим органом, величина которого зависит от толщины ножа.

Из графика видно, что изменение усилия резания в зависимости от толщины ножа происходит по прямой, не проходящей через начало координат. Если установленную зависимость для каждой глубины считать закономерной, то при продолжении прямых  $P = \psi(S)$  до пересечения с осью ординат видно, что основная часть усилия расходуется на резание лезвием, так как при  $S \rightarrow 0$   $P \neq 0$ , а составляет большую часть общего усилия. Однако, с уменьшением глубины резания угол наклона прямой  $P = \psi(S)$  к оси

Таблица 4

Толщина ножа S (в мм)	Усилие резания P (в кг)		
	при глубине резания h (в см)		
	10	20	30
2	21,8	39,8	60
4	24,1	43,5	63,5
6	25,2	46	69
8	26,8	49,1	73
10	29,1	52,3	79,5

### 3. Влияние угла заточки ножа на усилие резания

Для выяснения этого вопроса были поставлены опыты в тех же почвенных условиях с ножами толщиной 6 мм и углом заточки в 15, 20, 40, 50, 60, 90, 120 и 180°.

Средние данные опытов показаны на графике (рис. 4) и приведены в таблице 5.

Рассматривая кривые  $P = \varphi(\beta)$ , можно установить, что с увеличением угла заточки ножа растет и величина усилия резания ножа для одной и той же глубины резания. Однако увеличение усилия резания ножа, начиная с угла заточки в 60°, идет медленно и при угле заточки от 120 до 180° почти не изменяется, что может быть объяснено следующим явлением.

Таблица 5

Угол заточки ножа $\beta^\circ$	Усилие резания Р (в кг)		
	при глубине резания h (в см)		
	10	20	30
15	14,1	37,6	61,3
20	15,3	40,1	63,2
30	17,9	44,0	66,8
40	20,7	46,3	69,0
50	22,4	48,2	71,0
60	24,2	50,0	72,8
90	27,1	53,1	74,7
120	28,3	54,2	76,5
180	28,8	54,0	77,2

При резании торфяных почв черенковыми ножами основной составляющей усилия резания является усилие резания лезвием, которое является вершинной двугранного угла (в нашем случае  $\beta$ ), образованного боковыми гранями и представляющего собой подобие клина. Академик В. А. Желиговский (4) пишет: «Если величина двугранного угла, образованного гранями лезвия, и ширина этих граней превосходит некоторые пределы, зависящие от свойств разрезаемого материала, то в процессе резания влияние боковых граней ножа будет доминировать над действием лезвия и резание лезвием перейдет в резание клином».

Движение клина в почве с учетом сил трения на гранях ножа может быть представлено как движение клина с углом  $\beta + 2\varphi$ , где  $\varphi = 30-35^\circ$  — угол трения торфа о сталь. При увеличении  $\beta$  до  $60^\circ$  перед ножом начинает формироваться уплотненное ядро и при  $\beta = 110-120^\circ$  оно становится устойчивым, так как  $\beta + 2\varphi = 180^\circ$ . В этом случае процесс резания почвы ножом аналогичен процессу резания материала пуансоном (штампом). При резании почвы штампом впереди его всегда образуется уплотненное ядро. Аналогичное явление наблюдается и при резании минеральных грунтов. Доктор технических наук А. Н. Зеленин (5) пишет: «Уплотненное ядро из разрезаемого грунта образуется перед элементарными профилями независимо от категории грунта и толщины профиля при значениях  $\beta \geq 50-60^\circ$ ».

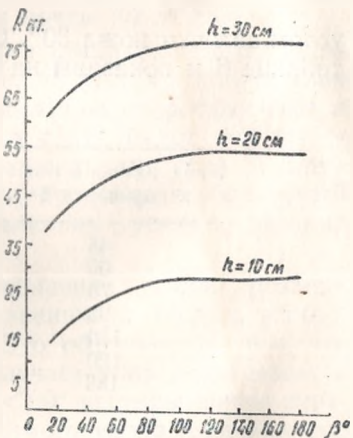


Рис. 4.



#### 4. Изменения усилия резания в зависимости от угла наклона ножа в плоскости движения

Предыдущие опыты по выявлению зависимости  $P = \psi(h, S, b, \beta)$  проводились при вертикально поставленном ноже

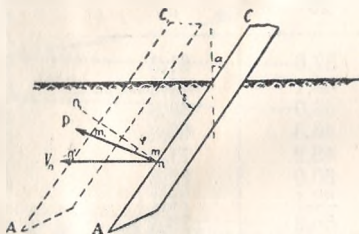


Рис. 5

и углом заточки ножа  $30^\circ$ . Средние данные опытов приведены в таблице 6 и показаны на рис. 6.

Таблица 6

Угол наклона ножа к горизонту $\delta^\circ$	P кг	P <sub>0</sub> %
45	26	79
60	29	88
70	32	97
90	33	100
110	30	90
120	26	79
135	21	67

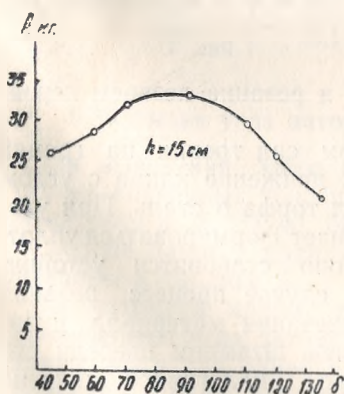


Рис. 6.

Приведенные данные и график (рис. 6) показывают, что при увеличении угла  $\delta$  больше  $120$  и  $60^\circ$  происходит резкое уменьшение усилия резания по сравнению с ножом, угол установки которого равен  $90^\circ$ . Эти явления можно объяснить, если рассмотреть процесс резания почвы лезвием ножа.

Возьмем точку  $n$  на лезвии ножа (рис. 5), погруженную в почву, и некоторую частицу почвы  $m$ , соприкасающуюся с точкой  $n$  лезвия. При этом нож движется в почве с постоянной скоростью  $V_n$ .

Давление точки  $n$  и силы трения лезвия по частице почвы дают силу  $P$ , отклоненную от нормали  $np_1$  к лезвию  $AC$  в сто-

рону скорости на угол трения  $\varphi$ . До момента разрушения или отклонения в сторону от лезвия частица  $m$  должна перемещаться по направлению силы  $P$ . За этот период лезвие ножа переместится из положения  $AC$  в положение  $A_1C_1$ ,  $AC$ . Точка  $n$  переместится в положение  $n'$ , а частица почвы  $m$  в положение  $m_1$ , пройдя по направлению силы  $P$  путь  $mm_1$  и по лезвию—путь  $n'm_1$ , т. е. частица почвы скользит по лезвию от точки  $n'$  к точке  $m_1$ . При этом можно записать, что

$$\frac{n_1n'}{m_1m} = \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos\alpha}$$

Из рассмотрения этого соотношения видно, что с увеличением угла  $\alpha$ , образуемого лезвием с нормалью к направлению его скорости, знаменатель дроби уменьшается, т. е. увеличивается коэффициент скольжения почвы по лезвию.

Если  $\alpha < \varphi$ , то  $P$  отклонится от нормали к лезвию лишь до совпадения со скоростью  $V_n$  т. е. на угол  $\alpha$ , и почвенная частица  $m$  будет двигаться по направлению скорости точки  $n$  и скольжение лезвия по разрезаемой почве будет отсутствовать. Однако наклон ножа уменьшает величину угла  $\beta$ , которым нож раздвигает почву в стороны, проникая в образуемый лезвием разрез, что понижает величину усилия резания (рис. 4).

Из графика (рис. 6) видно уменьшение усилия резания при отклонении ножа назад по сравнению с ножом, отклоненным вперед на такой же угол. Это объясняется тем, что большая часть почвенных частиц получает упор и разрезается лезвием. При угле резания ножа  $\delta < 90^\circ$  частицы почвы верхнего горизонта не получают необходимого упора и не режутся лезвием, а растягиваются и разрываются. Поэтому при  $\delta < 90^\circ$  получается рваный разрез с поверхности и выпучивание почвы, а при  $\delta > 90^\circ$ — ровный разрез без выпучивания.

## 5. Влияние скорости резания на усилие резания

Опыты проводились с ножами толщиной 4,6, 8 мм, с углом заточки  $30^\circ$ . Глубина резания оставалась постоянной,  $h=20$  см. Полученные опытные данные приведены в таблице 7.

Из таблицы видно, что при увеличении скорости в 4,5 раза усилие резания возрастает в 1,19—1,26 раза в зависимости от толщины ножа. Изменение скорости резания торфа в пределах существующих скоростей тракторов вызывает изменение сопротивления резанию, особенно при увеличении толщины ножа.

Из приведенных опытов по исследованию процесса резания торфяных пластов можно сделать следующие выводы:

Таблица 7

Скорость резания (в м/сек)	Усилия резания Р (в кг)	Увеличение усилия резания (в %)	Примечание
0,58	44	100	Толщина ножа 4 мм
1,00	46	104,5	
1,39	49	111,5	
1,85	50	113,5	
2,40	52	118	
0,59	47	100	Толщина ножа 6 мм
1,02	50,5	107	
1,40	53	112,8	
1,85	55	117	
2,43	56	119	
0,56	50	100	Толщина ножа 8 мм
1,00	53,5	107	
1,40	57,5	115	
1,84	60,5	121	
2,48	63	126	

1 Основную часть усилия резания торфяной почвы ножами составляет сопротивление резанию лезвием. Однако с увеличением толщины ножа возрастает усилие на сжатие почвы фасками.

2. С увеличением угла заточки ножа быстро возрастает усилие резания до того момента, когда образуется перед ножом уплотненное ядро, после чего оно остается почти постоянным.

3. При увеличении угла, образуемого лезвием ножа с нормалью к направлению его скорости, больше угла трения торфа по лезвию, наблюдается резкое уменьшение усилия резания, так как происходит резание со скольжением.

4. Увеличение скорости резания даже в пределах существующих скоростей трактора вызывает увеличение сопротивления резанию.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Далин А. Д. и Павлов П. В. Ротационные грунтообрабатывающие и землеройные машины. Машгиз, 1950.
2. Далин А. Д. Исследования по резанию грунтов плужным и фрезерным ножами. Резание грунтов. Сборник статей, АН СССР, 1951.
3. Желиговский В. А. Основы теории технологического процесса вспашки. Доклады ВАСХНИЛ, вып. 11, 1947.
4. Желиговский В. А. Экспериментальная теория резания лезвием. Труды МИМЭСХ, вып. IX, 1941.
5. Зеленин А. Н. Физические основы теории резания грунтов. АН СССР, 1950.