

Результаты лабораторных исследований почворежущих рабочих органов

Игорь Викторович Лискин¹,

научный сотрудник;

Яков Петрович Лобачевский¹,

доктор технических наук, член-корреспондент

Российской академии наук,

главный научный сотрудник;

Денис Александрович Миронов¹,

кандидат технических наук,

научный сотрудник,

e-mail: mironov-denis87@mail.ru;

Сергей Алексеевич Сидоров¹,

доктор технических наук,

главный научный сотрудник;

Андрей Иванович Панов²,

кандидат технических наук,

старший преподаватель

¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;

²Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация

Реферат. Исследования изнашивания почворежущих рабочих органов в полевых условиях имеют определенные сложности в связи с непостоянством свойств почвы. Представлены результаты лабораторного исследования силовых характеристик при изнашивании почворежущего клина в искусственной абразивной почвенной среде. (*Цель исследования*) Определить характер изменения сил резания в вертикальной и горизонтальной плоскостях в зависимости от условий и степени изнашивания почворежущего клина. (*Материалы и методы*) В качестве абразива использован кварц, как связующий компонент – парафин с добавками церезина и вазелина; для изменения гранулометрического состава модели почвы дополнительно вводили цемент, в качестве приводного механизма использовали поперечно-строгальный станок. (*Результаты и обсуждение*) Показано, что горизонтальная составляющая, или тяговое сопротивление, линейно усиливается с увеличением глубины резания. Нарастание скорости резания также приводит к росту тягового сопротивления клина, причем его величина возрастает в степенной зависимости от скорости. Установлено, что угол резания влияет не только на изменение тягового сопротивления клина, но и на характер образования стружки, которая изменяется при его увеличении и переходит от стружки отрыва к стружке сдвига, что способствует росту силы тяги. Выявили, что на усиление тягового сопротивления оказывает влияние повышение твердости абразивного материала и снижение плотности распределения твердых частиц в его объеме. С увеличением ширины затылочной фаски и ростом угла ее наклона к дну борозды повышались тяговые характеристики как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости, причем наибольшее влияние на вертикальную составляющую оказывала ширина затылочной фаски. По мере изнашивания лезвия в зависимости от пути трения резко увеличивалась вертикальная составляющая сил трения, горизонтальная повышалась незначительно. (*Выводы*) Результаты проведенных исследований показали, что заглубляющая способность почворежущего клина в основном зависит от ширины затылочной фаски. На тяговое сопротивление клина большое влияние оказывают физико-механические свойства абразивной среды, условия резания и степень затупления лезвия.

Ключевые слова: абразивная модель почвы, почворежущий клин, затылочная фаска, интенсивность изнашивания лезвия.

■ **Для цитирования:** Лискин И.В., Лобачевский Я.П., Миронов Д.А., Сидоров С.А., Панов А.И. Результаты лабораторных исследований почворежущих рабочих органов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т 12. N4. С. 41-47. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-4-41-47

Laboratory Study Results of Soil-Cutting Operating Elements

Igor V. Liskin¹,

research associate;

Yakov P. Lobachevsky¹,

Dr.Sc.(Eng.), corresponding member of the Russian

Academy of Sciences, chief research associate;

Denis A. Mironov¹,

Ph.D.(Eng.), Research Associate,

e-mail: mironov-denis87@mail.ru;

Sergei A. Sidorov¹,

Dr.Sc.(Eng.), chief research associate;

Andrei I. Panov²,

Ph.D.(Eng.), senior lecturer

¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation;

²Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. Studying the wear of soil-cutting working tools in the field conditions has certain difficulties associated with the impermanence of soil properties. The paper presents the results of a laboratory study of the power characteristics in the process of wearing of a soil-cutting wedge in an artificial abrasive soil medium. (*Research purpose*) To determine the nature of changes in cutting forces in vertical and horizontal planes depending on the conditions and a degree of wear of a soil-cutting wedge. (*Materials and methods*) For the experiment, use was made of quartz as an abrasive material, paraffin with additives of ceresin and petrolatum as binding components; cement was additionally introduced to change the granulometric composition of a soil model, and a cross-planer was used as a drive mechanism. (*Results and discussion*) It has been shown that the horizontal component, or traction resistance, increases linearly with increasing the depth of cutting. An increase in the soil-cutting velocity also leads to an increase in the traction resistance of the wedge, and its magnitude increases in a power-law dependence on the velocity. It has been established that the cutting angle affects not only the variation of the wedge traction resistance, but also the shearing pattern, which changes as it increases and changes from shear shavings into shift shavings, which contributes to the traction force growth. It has been found that an increase in traction resistance is affected by an increase in the hardness of abrasive material and a decrease in the distribution density of solid particles in its volume. As the width of the back chamfer and the angle of its inclination to the furrow bottom increased, the traction characteristics both in the vertical and horizontal planes increased as well, the back chamfer width having the greatest influence on the vertical component. As the blade worn out depending on the friction path, the vertical component of frictional forces increased sharply, while the horizontal component increased insignificantly. (*Conclusions*) The results of the conducted studies have shown that the wedge depth mainly depends on the back chamfer width. The traction resistance of the wedge is greatly influenced by physical and mechanical properties of an abrasive medium, cutting conditions and a degree of the blade blunting.

Keywords: abrasive model of soil, soil wedge, back chamfer, intensity of blade wear.

■ **For citation:** Liskin I.V., Lobachevsky Ya.P., Mironov D.A., Sidorov S.A., Panov A.I. Laboratory study results of soil-cutting operating elements. *Selskokhozyaistvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. 12(4): 41-47. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-4-41-47. (In Russian)

Исследования изнашивания почворезущих рабочих органов в полевых условиях имеют определенные сложности в связи с непостоянством свойств почвы, обусловленным ее неоднородностью и изменяющимися погодными условиями [1]. Из-за сезонности полевых работ исследования часто не укладываются в один цикл (год), их приходится переносить на следующий, увеличивая время испытаний и накапливая ошибки в результатах опытов.

В послеуборочный период большое влияние на эксплуатационные характеристики почворезущих деталей оказывают остающиеся в пахотном слое корневые и пожнивные остатки [2]. Поэтому часто единственно возможными оказываются методы лабораторного исследования.

Цель исследования – определение характера изменения сил резания в вертикальной и горизонтальной плоскостях в зависимости от условий и степени изнашивания почворезущего клина.

Материалы и методы. Представлены результаты лабораторного исследования силовых характеристик при изнашивании почворезущего клина в абразивной среде, включающей твердые частицы, наиболее часто встречающиеся в почвенной массе (частицы кварца размером от 0,05 до 0,5 мм), и па-

рафин с дополнительными компонентами для изменения свойств абразивной модели почвенной среды. Другим основным компонентом почвы служат глинистые частицы, которые придают почве пластичность и определяют ее реологические свойства [3]. В естественных условиях почва одного и того же гранулометрического состава может изменять свои свойства в зависимости от влажности (погодных условий). Обоснование применения технического парафина с добавками церезина и вазелина в качестве связующего абразивных частиц вместо увлажненной глины основывалось на аналитическом расчете критериев подобия по методике В.А. Веникова для соответствия почвенной модели на основе песчано-парафиновой смеси реальным почвенным условиям разных регионов Российской Федерации [4, 5].

Предварительные испытания показали, что кривые изменения ползучести образцов водонасыщенного чернозема с различным предварительным уплотнением аналогичны образцам при замене в составе почвенной среды глины с водой на технический парафин с различными добавками абразивных (кварц) и пылевидных (цемента, гипса и т.п.) частиц. Применение парафина в качестве связующего вещества позволяет получить модель почвы,

обладающую стабильными свойствами в течение длительного времени. Выбор парафина в наших исследованиях базировался на опытных данных Г.Н. Синеокова, который отмечал, что при резании клином при температуре окружающей среды 18-22°C смесь парафина с абразивом разрушается путем отрыва, подобно суглинистым почвам [6]. Результаты лабораторных исследований показали сходство характера изнашивания лезвий в искусственном абразивном материале, состоящем из кварцевого песка и парафина, с естественными почвенными условиями. На лезвии образовалась затылочная фаска, наклоненная под отрицательным углом к дну борозды, и увеличились силы сопротивления резанию.

В работе представлены результаты лабораторных исследований усилий резания в вертикальной P_v (выталкивающая сила) и горизонтальной P_r (сопротивление движению) плоскостях (рис. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Эксперименты по влиянию условий резания на тяговое сопротивление клина проводили с образцами из Ст. 45, имеющими угол заточки $\theta = 30^\circ$ и толщину режущей кромки 0,2 мм. Относительно острое лезвие и отсутствие затылочной фаски не оказали существенного влияния на величину P_v , и ее значения колебались около нулевой отметки. В качестве приводного механизма использовали поперечно-строгольный станок.

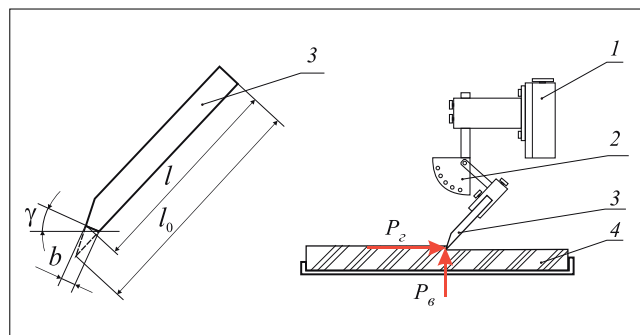


Рис. 1. Схема фрагмента лабораторной установки для определения силовых характеристик с усилиями резания в вертикальной (P_v) и горизонтальной плоскостях (P_r):

1 – приводной механизм с динамометром; 2 – приспособление для установки образца; 3 – опытный образец; 4 – абразивная среда; b – ширина затылочной фаски; γ – угол наклона затылочной фаски к дну борозды; l – длина образца при изнашивании; l_0 – длина нового образца

Fig. 1. Scheme of a fragment of a laboratory installation for determining the force characteristics with cutting forces in the vertical (P_v) and horizontal planes (P_r):

1 – a drive mechanism with a dynamometer; 2 – a device for sample setting; 3 – a prototype; 4 – an abrasive medium; b – the back chamfer width; γ – the inclination angle of the back chamfer to the furrow bottom; l – the length of the sample when it wears out; l_0 – the length of the new sample

На рисунке 2 представлены зависимости тягового сопротивления P_r клина от глубины h и скорости v резания.

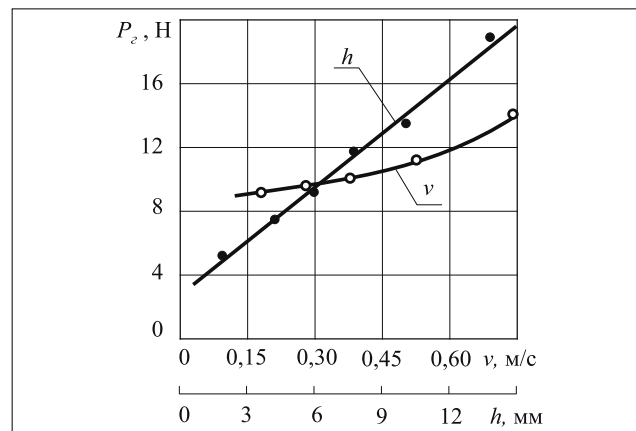


Рис. 2. Влияние глубины и скорости резания на тяговое сопротивление

Fig. 2. Effect of depth and cutting speed on traction resistance

С увеличением глубины h резания величина P_r непрерывно линейно увеличивается. Это указывает на возрастающее усилие, приходящееся на отрыв элементов стружки, размеры которых увеличиваются пропорционально глубине.

Измерения тягового сопротивления в полевых условиях при испытаниях на суглинистых почвах (рис. 3) подтвердили линейную зависимость, полученную в лабораторных условиях в пределах измерения глубины обработки почвы на вспашке от 16 до 28 см.

Повышение скорости v также приводит к росту тягового сопротивления клина, причем величина P_r возрастает в степенной зависимости от v , а уравнение кривой $P_r = f(v)$ описывается уравнением типа $y = ab^x$, где y и x соответственно означают P_r и коэффициент, зависящий от скорости v . Это свидетельствует о том, что после достижения некоторого интервала скоростей начинают быстро уменьшаться размеры почвенных фрагментов пласта (комковатость).

При этом силы сопротивления почвенной среды движению клина стремительно возрастают, что неизбежно приведет к усилению давления на режу-



Рис. 3. Измерение тягового сопротивления плуга в полевых условиях

Fig. 3. Measuring plow traction resistance in field conditions

щей кромке лезвия и, соответственно, большому ее износу [7].

Влияние угла резания α на тяговое сопротивление P_T лезвия клина показано на рисунке 4.

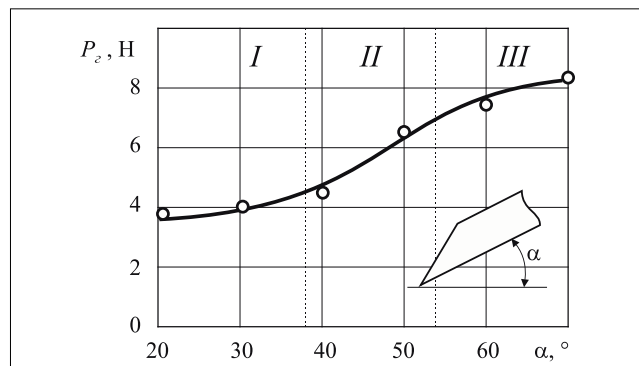


Рис. 4. Зависимость тягового сопротивления P_T от угла α
Fig. 4. Dependence of the traction resistance P_T on the angle α

Кривую $P_T = f(\alpha)$ можно разбить на три характерных участка. На участке I наблюдается близкое к линейному увеличение P_T по мере роста α . Участок II выделяется резким увеличением P_T с характерной областью перегиба. На участке III кривая вновь становится пологой, и в дальнейшем наблюдается рост P_T по зависимости, близкой к линейной.

Анализируя зависимость $P_T = f(\alpha)$, можно сделать вывод: на участке I при увеличении угла α до 40° значения P_T возрастают вследствие повышения энергии на разрушение пласта. С увеличением α размеры элементов стружки уменьшаются, крошение улучшается, соответственно возрастает тяговое сопротивление, как и при увеличении скорости резания. На участке II в интервале значений угла резания от 40 до 55° находится область образования уплотненного ядра, где к трению частиц абразива с поверхностью металла при движении лезвия добавляется внутреннее трение между абразивными частицами, периодически возникающими перед лезвием, которое способствует повышению усилий резания. На участке III с увеличением α более 55° происходит дальнейший рост P_T . В этом случае, помимо уплотненного ядра и увеличения энергии крошения пласта, на тяговое сопротивление оказывает значительное влияние постепенное изменение характера разрушения пласта с переходом от стружки отрыва (рис. 5а) к стружке сдвига (рис. 5б).

Результаты проведенных исследований показали, что при изменении вида разрушения почвы от стружки отрыва к стружке сдвига происходит увеличение энергии разрушения почвы вследствие замены вида разрушения от воздействия нормальных напряжений растяжения на разрушение под действием касательных напряжений сдвига [8].

На рисунке 6 представлены зависимости усилия резания P_T от твердости искусственной почвы H и

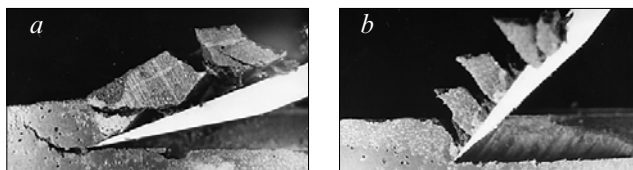


Рис. 5. Разрушения пласта с переходом от стружки отрыва (а) к стружке сдвига (б)

Fig. 5. Destruction of the formation with a transition from shear shavings (a) to shift shavings (b)

плотности распределения в объеме абразивных частиц ρ .

Как видно из рисунка 6, величина P_T возрастает с повышением H , причем функция $P_T = f(H)$ близка к линейной и уменьшается с увеличением ρ . Снижение величины P_T во втором случае происходит по причине уменьшения значений показателей связности почвы из-за увеличения количества твердых частиц кварца большего размера по сравнению с мелкими частицами пылевидного цемента, добавляемого в экспериментах в состав «искусственной почвы».

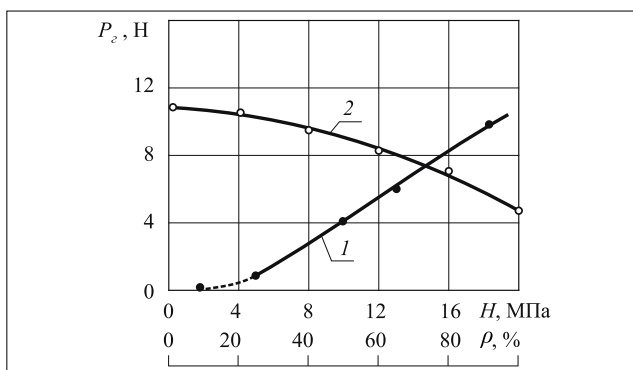


Рис. 6. Влияние твердости H и плотности распределения абразива ρ на усилие резания P_T

Fig. 6. The effect of hardness H and the distribution density of the abrasive particles ρ on the cutting force P_T

В эксплуатационных условиях подобные показатели получают при обработке тяжелых суглинистых почв с большим содержанием мелких глинистых частиц, где тяговое сопротивление намного выше, чем на почвах со значительным содержанием более крупных кварцевых частиц, например, на песчаных и супесчаных [9, 10].

На следующем этапе исследований определяли влияние параметров затылочной фаски лезвия клина на усилия резания.

Для проведения опытов подготовили две партии изношенных образцов с первоначальным углом заточки θ_0 , равным 30°. Образцы первой партии имели одинаковый угол заострения после износа, равный 60° (при этом угол наклона затылочной фаски к дну борозды γ равнялся 10°), но различные значения ширины затылочной фаски $b = 0,5; 1,0$;

1,5; 2,0; 2,5; 3,0 мм. Это позволило определить влияние ширины b затылочной фаски на усилия резания в двух плоскостях (вертикальной P_v и горизонтальной P_r) независимо от угла ее наклона к дну борозды γ (рис. 7).

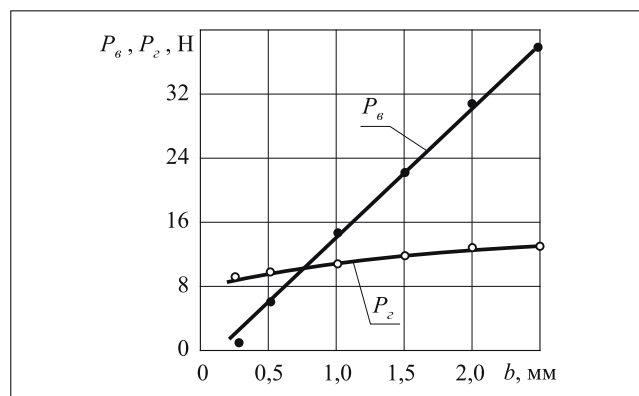


Рис. 7. Зависимости усилий резания P_r и P_v от ширины b затылочной фаски

Fig. 7. Dependence of cutting forces P_r and P_v on the width b of the back chamfer

Результаты исследования по влиянию ширины затылочной фаски на тяговое сопротивление почворезущего клина показали, что с увеличением параметра b повышаются значения как P_v , так и P_r , причем интенсивность роста силы P_v значительно превосходит увеличение P_r . Из этого следует, что величина b (при $\gamma = 10^\circ$) в наибольшей степени воздействует на заглубляющую способность лезвия клина, при этом тяговое сопротивление при увеличении b изменяется значительно меньше.

Вторая партия образцов имела равные значения ширины затылочной фаски b (1,5 мм), но разные углы заострения $\theta = 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ$ и 80° . Использование образцов с одинаковой величиной b при установке под одним углом резания $\alpha = 20^\circ$ и постоянным одним углом начальной заточки $\theta_0 = 30^\circ$ позволило определить характер изменения сил резания в зависимости от угла наклона затылочной фаски к дну борозды, значение которого равнялось $\gamma = \theta - \theta_0 - \alpha$ (рис. 8a).

Зависимости составляющих сил резания от угла наклона затылочной фаски γ к дну борозды показаны на рисунке 8b.

С увеличением γ так же, как и b , наблюдается повышение значений P_v и P_r , однако резко выраженного ускорения роста одного из показателей по сравнению с другим не происходит, то есть угол γ играет одинаковую роль в изменении вертикальной и горизонтальной составляющих сил резания, а его увеличение приводит к снижению заглубляющей способности и повышению тягового сопротивления клина.

Дополнительно был проведен эксперимент по

исследованию сил резания в динамике изнашивания лезвия клина. На рисунке 9 представлены зависимости показателей P_v и P_r от пути трения S . Параметры b и γ при этом непрерывно изменялись.

По мере изнашивания лезвия в зависимости от пути S резко увеличивается вертикальная составляющая сил резания P_v , величина P_r возрастает незначительно. Это свидетельствует о том, что наибольшее влияние износ лезвия оказывает на заглубляющую способность почворезущего клина, при этом его тяговое сопротивление изменяется несущественно.

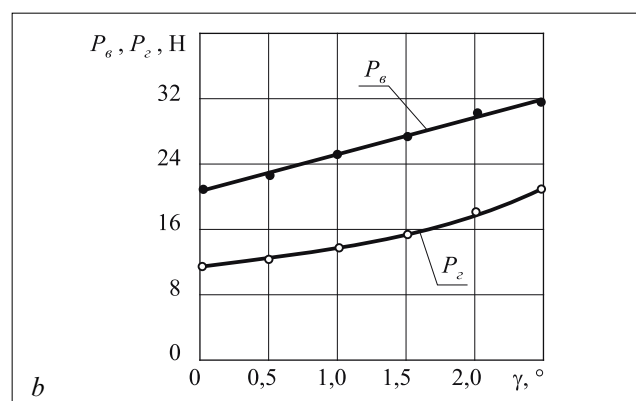
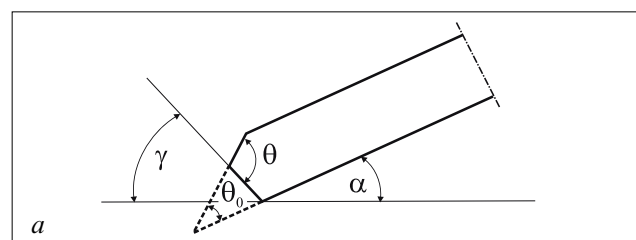


Рис. 8. Зависимости P_v и P_r от угла наклона затылочной фаски γ

Fig. 8. Dependences of P_v and P_r on the inclination angle of the back chamfer γ

Результаты проведенных исследований показали, что заглубляющая способность почворезущего клина в основном зависит от параметров затылочной фаски и в особенности от ее ширины. В результате проведенных исследований можно отметить, что выбранный в качестве заменителя натуральным почвенным условиям состав, включающий абразивные частицы кварцевого песка и парафина, в достаточной степени отражает процессы, происходящие в естественной почвенной среде при взаимодействии ее с рабочими органами почвообрабатывающих машин. Таким образом, если сопоставить полученные в натурных полевых исследованиях данные изнашивания лезвий почвообрабатывающих деталей с результатами лабораторных исследований, то можно сделать вывод о прямой зависимости между шириной затылочной фаски и углом ее наклона к дну борозды.

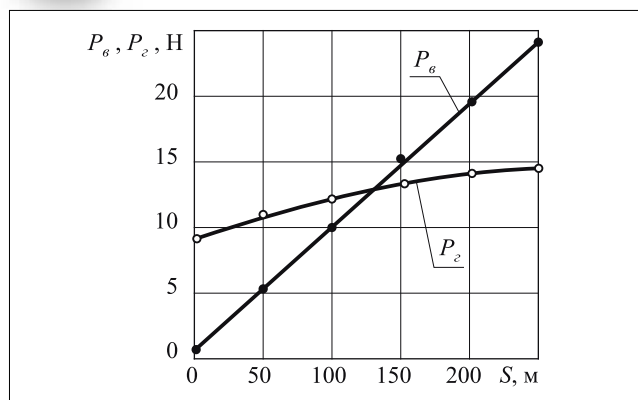


Рис. 9. Динамика изменения P_v и P_r при изнашивании лезвия
Fig. 9. Dynamics of changes in P_v and P_r in the course of the blade wearing

Лабораторные исследования позволяют более тонко и с большой точностью воспроизводить отдельные факторы, в частности, условия резания (скорость движения, глубина обработки, геометрические параметры лезвия, присущие почвообрабатывающим деталям), и определять их влияние на силовые характеристики непосредственно на одно единственное лезвие, не рассматривая комплексного воздействия (вариант лемешно-отвальной поверхности). В этом случае происходит наложение отдельных факторов, что приводит к искажению результатов и увеличению ошибок в опытных данных. Подобные явления происходят при изучении влияния физико-механических свойств, присущих натуральным почвенным условиям, взятым по отдельным критериям, что невозможно проделать в

реальных почвенных условиях, которые только в лабораторных исследованиях можно разделить на составляющие (твёрдость, связность абразивных частиц, наличие дополнительных включений и др.).

На тяговое сопротивление клина большее влияние оказывают физико-механические свойства почвы (абразивной среды), условия резания (скорость, глубина, угол установки лезвия к дну борозды) и степень затупления лезвия (угол заострения).

Выводы

1. Наиболее приемлемым материалом, замещающим натуральную почвенную среду, является абразивная смесь, обладающая стабильными свойствами, независимо от длительности проведения исследований, например, искусственная почвенная масса на основе твёрдых абразивных частиц и парафина.

2. Наибольшее влияние на тяговое сопротивление почворезущего клина оказывают физико-механические свойства абразивной среды (твёрдость, связность абразивных частиц, наличие дополнительных пылевидных включений), условия резания (скорость, глубина, угол резания) и острота лезвия клина (степень затупления).

3. Заглубляющая способность почворезущего клина зависит от износа лезвия, характеризующегося образованием в процессе изнашивания затылочной фаски, наклоненной под отрицательным углом к направлению движения, где основополагающим геометрическим параметром фаски, действующим на заглубляющую способность клина, служит ее ширина.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кашатанов А.Н., Сизов О.А. Проблемы восстановления угодий, выбывших из сельскохозяйственного использования // *Экономика сельского хозяйства России*. 2008. №11. С. 174.
2. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Сизов О.А., Волобуев В.А. Технологии, технические средства, для восстановления неиспользуемых и деградированных сельхозугодий // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2009. №4. С. 17-21.
3. Козлов А.В., Новиков Д.А., Машакин А.М. Современное состояние отечественных залежных земель и перспективы их восстановления // *Международный студенческий вестник*. М.: МГАО. 2015. №1. С. 121-123.
4. Веников В.А. Теория подобия и моделирования. М.: Высшая школа. 1976. 480 с.
5. Измайлов А.Ю., Лискин И.В., Лобачевский Я.П., Сидоров С.А., Хорошенков В.К., Миронова А.В., Лужнова Е.С. Применение теории подобия для моделирования износа почворезущих лезвий в искусственной абразивной среде // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2016. №6. С. 48-51.
6. Синекоков Г.Н. Проектирование почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение. 1965. 283 с.
7. Лискин И.В., Миронов Д.А., Курбанов Р.К. Обоснование параметров искусственной почвенной среды для лабораторного исследования изнашивания лезвия // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. №4. С. 37-42.
8. Chisholm T.S., Porterfield J.G., Batchelder D.G. A soil bin study of three-dimensional interference between flat plate tillage tools operating in an artificial soil. *Trans. of ASAE*. 1972. Vol. 15. №1. pp. 43-48.
9. Миронов Д.А., Лискин И.В., Сидоров С.А. Влияние геометрических параметров долота на тяговые характеристики и ресурс лемехов отечественных плугов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2015. №6. С. 25-29.
10. De Albuquerque J.C., Hettiaratchi D.R. Theoretical mechanics of subsurface cutting blades and buried anchors // *J. Agr. Eng. Res.* 1980. Vol. 25. pp. 121-144.
11. Измайлов А.Ю., Сидоров С.А., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К., Кузнецов П.А., Юрков М.А., Голоси-



енко С.А. Научные принципы повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающей техники // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2012. N3. С. 5-7.

12. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Сидоров С.А., Хорошенков В.К., Лужнова Е.С., Миронов Д.А., Зайцев

А.И., Родионова И.Г., Павлов А.А., Амежнов А.В. Использование биметаллических сталей для повышения ресурса рабочих органов сельскохозяйственных машин // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2013. N2. С. 80-81.

REFERENCES

1. Kashatanov A.N., Sizov O.A. Problemy vosstanovleniy ugodyy, vybyvshikh iz sel'skokhozyaystvennogo ispol'zovaniya [Problems of restoring lands abandoned from agricultural use] // *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*. 2008. N11: 174. (In Russian).

2. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Sizov O.A., Volobuyev V.A. Tekhnologii, tekhnicheskiye sredstva, dlya vosstanovleniya neispol'zuyemykh i degradirovannykh sel'khozugodiy [Technologies and technical means applied for restoration of unused and degraded farmland] // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2009. N4: 17-21. (In Russian).

3. Kozlov A.V., Novikov D.A., Mashakin A.M. Sovremennoye sostoyaniye otechestvennykh zaleznykh zemel' i perspektivy ikh vosstanovleniya [Current state of domestic fallow lands and the prospects for their recovery] // *Mezhdunarodnyy studencheskiy vestnik*. M.: MGAO. 2015. N1: 121-123. (In Russian).

4. Venikov V.A. Teoriya podobiya i modelirovaniya [Theory of similarity and modeling]. M.: Vysshaya shkola. 1976: 480. (In Russian).

5. Izmaylov A.Yu., Liskin I.V., Lobachevskiy Ya.P., Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Mironova A.V., Luzhnova Ye.S. Primeneniye teorii podobiya dlya modelirovaniya iznosa pochvovrezhushchikh lezviy v iskusstvennoy abrazivnoy srede [Application of the theory of similarity for the modeling of wear of soil cutting blades in an artificial abrasive medium] // *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2016. N6: 48-51. (In Russian).

6. Sineokov G.N. Proyektirovaniye pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Designing of soil-cultivating machines]. Moskva. Mashinostroyeniye. 1965: 283. (In Russian).

7. Liskin I.V., Mironov D.A., Kurbanov R.K. Obosnovaniye parametrov iskusstvennoy pochvennoy sredy dlya laboratornogo

issledovaniya iznashivaniya lezviya [Determination of artificial soil environment parameters for laboratory research of blade wear] // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017. N4: 37-42. (In Russian).

8. Chisholm T.S., Porterfield J.G., Batchelder D.G. A soil bin study of three-dimensional interference between flat plate tillage tools operating in an artificial soil. Trans. of ASAE. 1972. Vol. 15. N1: 43-48. (In English).

9. Mironov D.A., Liskin I.V., Sidorov S.A. Vliyaniye geometricheskikh parametrov dolota na tyagovyye kharakteristiki i resurs lemehov otechestvennykh plugov [Influence of geometrical parameters of a chisel on traction characteristics and resource of domestic plowshares] // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015. N6: 25-29. (In Russian).

10. De Albuquerque J.C., Hettiaratchi D.R. Theoretical mechanics of subsurface cutting blades and buried anchors // *J. Agr. Eng. Res.* 1980. Vol. 25: 121-144. (In English).

11. Izmailov A.Yu., Sidorov S.A., Lobachevskiy Ya.P., Khoroshenkov V.K., Kuznetsov P.A., Yurkov M.A., Golosiyenko S.A. Nauchnyye printsipy povysheniya iznosostoykosti rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchey tekhniki [Scientific principles of increasing wear resistance of working elements of soil-cultivating machinery] // *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*. 2012. N3: 5-7. (In Russian).

12. Izmailov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Luzhnova Ye.S., Mironov D.A., Zaytsev A.I., Rodionova I.G., Pavlov A.A., Amezhnov A.V. Ispol'zovaniye bimetallicheskikh staley dlya povysheniya resursa rabochikh organov sel'skokhozyaystvennykh mashin [The use of bimetallic steels for increasing the service life of the working elements of agricultural machines] // *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*. 2013. N2: 80-81. (In Russian).

Статья поступила в редакцию 17.07.2018

The paper was submitted
to the Editorial Office on 17.07.2018

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья принята к публикации 11.09.2018

The paper was accepted
for publication on 11.09.2018

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.