

УДК 631.362.322

DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-4-37-42

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИСКУССТВЕННОЙ ПОЧВЕННОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНАШИВАНИЯ ЛЕЗВИЯ

Лискин И.В.;

Миронов Д.А.*;

Курбанов Р.К.,
канд. техн. наук

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация; *e-mail: mironov-denis87@mail.ru

При обработке почвы режущими деталями сельхозмашин можно выделить три основных типа стружки: сдвиг, отрыв и сливная стружка. Сдвиг наиболее четко выражен на песчаных почвах, отрыв – на глинистых и суглинистых, сливная стружка – на почвах повышенной влажности с высоким содержанием глинистых частиц. В полевых условиях исследовать закономерности изнашивания почворежущих лезвий сложно из-за неоднородности физико-механических свойств почвы и изменяющихся климатических условий. При лабораторном моделировании почвенных условий можно проводить эксперименты вне зависимости от погоды и времени года. Для разработки искусственной почвы и моделирования износа лезвий рассмотрели условия построения модели исходя из механики абразивного изнашивания. Выделили основные факторы, определяющие характер и интенсивность изнашивания почворежущего лезвия. Отметили, что изнашивающая способность абразивных частиц определяется радиусом закругления их острых выступов, зависящего от размера частицы. Показали, что твердость почвы влияет на износ режущих деталей и характеризует проникновение в нее режущих элементов, а степень закреплённости абразивных частиц определяет тип стружки. Представили почву как абразивную среду с частицами, находящимися в состоянии нежесткого закрепления и имеющими возможность перемещаться относительно друг друга или поворачиваться вокруг своей оси под действием нормальных и касательных напряжений. Подтвердили положение о зависимости типа стружки при разрушении почвенного пласта от соотношения нормальных и касательных напряжений, характеризующих степень закреплённости твердых частиц. Провели исследования физико-механических свойств искусственной почвы на основе кварцевого песка и парафина. Для изменения ее свойств в состав искусственной почвы вводили вазелин, уменьшающий твердость и степень закреплённости твердых частиц, или церезин, увеличивающий эти показатели. Механический состав изменяли введением пылевидного цемента и заменой фракций абразивных частиц. Изготовили блоки искусственной почвы, расплавляя парафин при температуре 85-90 градусов Цельсия и засыпая в него твердую фазу. Провели исследования, позволившие выбрать варианты искусственной почвы для изучения основных закономерностей изнашивания почворежущих элементов.

Ключевые слова: обработка почвы, режущие детали, изнашивание почворежущих лезвий, искусственная почва, парафин, вазелин, церезин, абразив, пылевидный цемент.

■ **Для цитирования:** 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.

JUSTIFICATION OF PARAMETERS ARTIFICIAL SOIL FOR LABORATORY RESEARCH OF CUTTING EDGE WEAR

Liskin I.V.;

Mironov D.A.*;

Kurbanov R.K.,
Ph. D. (Eng.)

Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM, 1st Institutskiy proezd, 5, Moscow, 109428, Russian Federation, *e-mail: mironov-denis87@mail.ru

For soil cultivation with the cutting tools of agricultural machines we can allocate three main types of shavings: shift, separation and continuous chip. The shift is most accurately expressed on sandy soils, a separation – on clay and loamy, continuous chip – on humid soils with the high content of clay particles. In field conditions researches of regularities of cutting edges wear are complicated because of heterogeneity of physic and mechanical properties of the soil and the changing climatic conditions. At laboratory modeling of soil conditions we can make experiments independent of weather and season. For development of the artificial soil and depend modeling of edges wear we considered conditions of creation

of model with use mechanics of abrasive wear. Have allocated The major factors defining character and intensity of wear were allocated. The wearing-out ability of abrasive particles is defined by the radius of the curve of their sharp ledges. This radius depends on the particle size. The hardness of the soil influences wear of the cutting details and characterizes penetration into it of the cutting elements, and degree of fixedness of abrasive particles defines shaving type. We consider the soil as the abrasive environment with the particles which are in a condition of non-rigid fixing and have an opportunity to move relatively each other or to turn on itself under the influence of normal and tangential stress. Type of shaving when soil layer destruction depends on a ratio of the normal and tangential stress characterizing degree of fixedness of firm particles. We conducted researches of physic and mechanical properties of the artificial soil on the basis of quartz sand and paraffin. Injection of the petrolatum into structure of the artificial soil reduces the hardness and degree of fixedness of firm particles, but the ceresin increases these indicators. The mechanical structure was changed due to introduction of dust-like cement and replacement of fractions of abrasive particles. We manufactured blocks of the artificial soil, melting paraffin at a temperature of 85-90 degrees Celsius and filling up in it a firm phase. Researches make it possible to choose options of the artificial soil for studying of the main regularities of soil cutting elements.

Keywords: Soil cultivation; Cutting elements; Soil cutting edges wear; Artificial soil; Paraffin; Petrolatum; Ceresin; Abrasive; Dust-like cement.

For citation: Liskin I.V., Mironov D.A., Kurbanov R.K. Justification of parameters artificial soil for laboratory research of cutting edge wear. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017; 4: 37-42. DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-4-37-42. (In Russian)

В России более 80% пахотных земель представлены глинистыми и суглинистыми почвами. Это говорит о том, что в подавляющем большинстве случаев при работе почвообрабатывающих машин наблюдаются процессы взаимодействия режущих элементов с почвенными частицами, характерные для обработки указанных типов почв. То есть разрушение почв плужными лемехами, культиваторными лапами и другими лезвийными рабочими органами происходит путем отрыва [1-4].

В процессе обработки почвы плужными лемехами, культиваторными лапами и другими режущими деталями сельскохозяйственных машин различают три основных вида разрушения почвы или типа стружки: стружку сдвига, отрыва и сливную. В некоторых случаях происходит сгуживание почвенных частиц перед лезвием. Стружка сдвига характерна для песчаных и супесчаных почв, отрыва – для большинства глинистых и суглинистых, сливная – для почв повышенной влажности с высоким содержанием глинистых частиц [5-6].

Сдвиг наиболее четко выражен на песчаных почвах повышенной влажности (более 15%). С понижением влажности до 5-7% стружка сдвига переходит в сгуживание, то есть перед лезвием образуется почвенный вал с непрерывно меняющимися частицами.

Цель исследования – разработка искусственной почвы для моделирования износа лезвий рабочих органов сельскохозяйственных машин.

Материалы и методы. В полевых условиях исследование закономерностей изнашивания почвообрабатывающих лезвий представляет определенные сложности, связанные с изначальной неоднородностью ее физико-механических свойств и с изменяющимися климатическими условиями. Лабораторное

моделирование почвенных условий позволяет проводить эксперименты независимо от погоды и времени года [7].

В большинстве лабораторных установок для воспроизведения свойств натуральных почв в качестве абразивной среды используют кварцевые или корундовые частицы, либо песчано-глинистые смеси с добавлением гравия, щебня и других компонентов. Установки чаще всего представляют собой круговые стенды, где испытываемые образцы движутся в увлажненной и уплотненной почвенной массе, засыпанной в кольцевой канал [6].

Один из основных недостатков установок подобного типа – отсутствие структуры абразивной среды из-за многократного взаимодействия образца с почвенными частицами, вследствие чего невозможно моделировать разрушение почвы отрывом – наиболее распространенный тип стружки в реальных условиях. Указанные выше типы разрушения почвы происходят при углах установки лезвия ко дну борозды 20-40°, характерных для большинства почвообрабатывающих машин.

Для моделирования отрыва при резании почвы необходимо обеспечить воспроизведение ее реальной структуры, например перед вспашкой. Этого можно достичь послойным срезанием подготовленной к испытаниям абразивной почвенной массы.

Увлажненная глина имеет свойство налипать на поверхность металла и образовывать комки при снижении влажности от испарения влаги, что искажает результаты эксперимента и увеличивает ошибки в опытных данных [8].

Для разработки искусственной почвы (ИП) и моделирования износа лезвий были рассмотрены условия построения модели с учетом механики абразивного изнашивания. Выделены основные факто-

ры, отражающие многообразие физико-механических свойств почвы и определяющие характер и интенсивность изнашивания почворежущего лезвия. К ним в первую очередь относятся механический состав почвы, ее твердость и связность (степень закреплённости частиц, определяющая характер разрушения пласта в процессе обработки).

Интенсивность изнашивания лезвия увеличивается с ростом содержания в почве твердых частиц (в основном кварцевых) размером 0,01-1,00 мм. Необходимо отметить, что изнашивающая способность частицы определяется радиусом закругления ее острых выступов, которые, внедряясь в поверхность металла, оставляют на нем след в виде пластически выдавленной канавки или микросреза. Радиус закругления острых выступов зависит от размера частицы: чем больше средний диаметр частицы, тем ниже острота граней.

Твердость почвы H характеризует сопротивление проникновению в нее режущих деталей сельскохозяйственных машин. Она влияет на давление частиц на поверхность металла. Соответственно, меняется интенсивность изнашивания лезвия.

Износ режущих деталей зависит также от степени закреплённости абразивных частиц в почве. Почва представляет собой среду, в которой частицы находятся в состоянии нежесткого закрепления и могут перемещаться (сдвигаться) относительно друг друга или поворачиваться вокруг своей оси под действием нормальных и касательных напряжений от внешних воздействий. Степень закреплённости абразивных частиц характеризуется максимальными касательными напряжениями и определяется пределом прочности на сдвиг τ [9].

Вид разрушения почвенного пласта непосредственно зависит от напряженного состояния почвы, а конкретно, от соотношения нормальных σ и касательных τ напряжений, характеризующих свойства почвы. Так, при отношении τ/σ , равном 0,5-4,0, наблюдается стружка отрыва, при значениях больше 4,0 – сдвиг, меньших 0,5 – слив [10, 11].

Реологические свойства, подобные почвенным образцам, содержащим в качестве пластичного связующего частицы глины, могут быть получены при замене в составе почвы глины с водой на технический парафин [12]. Применение парафина в качестве связующего абразивных частиц позволяет получить модель почвы, обладающую стабильными свойствами в течение длительного времени. Отмечено, что при резании клином в условиях температуры окружающей среды 18-22°C смесь парафина с абразивом разрушается путем отрыва подобно суглинистым почвам [13].

Для оценки пригодности ИП на основе кварцевого песка и парафина проведены исследования ее физико-механических свойств. Они включали опре-

деление параметров H , τ и σ . Учитывая многообразие факторов, влияющих на свойства реальных почв, в состав ИП ввели добавки с различным содержанием следующих компонентов: для изменения параметров H , τ и σ в основной состав ИП (парафин + кварцевые частицы) вводили технический вазелин, снижающий величину указанных параметров, или церезин, увеличивающий их.

Механический состав ИП изменяли введением пылевидного цемента и заменой размеров кварцевых частиц среднего диаметра. Для моделирования песчаных и супесчаных почв пониженной влажности готовили блоки ИП, аналогичные цементному раствору с отношением объема песка к объему цемента 20:1.

Изготовление одного блока ИП заключалось в расплавлении парафина при температуре 85-90° и засыпке в него твердой фазы (песок, цемент). Когда смесь застывала до комнатной температуры, абразивный блок был готов к использованию. Чтобы изменить размеры абразивных частиц, их просеивали через сито с заданным диапазоном ячеек.

Способ определения твердости ИП отличался от измерения в полевых условиях из-за значительно меньшей глубины резания в лабораторных экспериментах (1-5 мм), поскольку задачей исследований было изучение процесса изнашивания не всего образца в целом, а непосредственно его режущей части. На наш взгляд, для измерения твердости наиболее приемлем метод Бринелля, основанный на вдавливании сферического индентора под нагрузкой в исследуемый материал.

Твердость ИП определяли с помощью специально сконструированного прибора (рис. 1). Значение H вычисляли по формуле [14]:

$$H = \frac{P}{\frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})},$$

где P – рабочая нагрузка;

D – диаметр шарового индентора;

d – диаметр отпечатка.

Непосредственное измерение диаметра отпечатка вызывает сложности, связанные с относительно большой шероховатостью абразивного материала, поэтому d удобнее выражать через глубину внедрения индентора h , величина которой вычисляется с погрешностью 0,01 мм (погрешность индикатора). Из рисунка 2 следует:

$$d = AC = 2\sqrt{(AB)^2 - (OB)^2} = 2\sqrt{r^2 - (r-h)^2}$$

где r – радиус индентора (шарика).

Тогда:

$$H = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - 2\sqrt{r^2 - (r-h)^2}})}.$$

Пределы прочности при растяжении τ и сдвиге σ определяли путем статического нагружения ме-

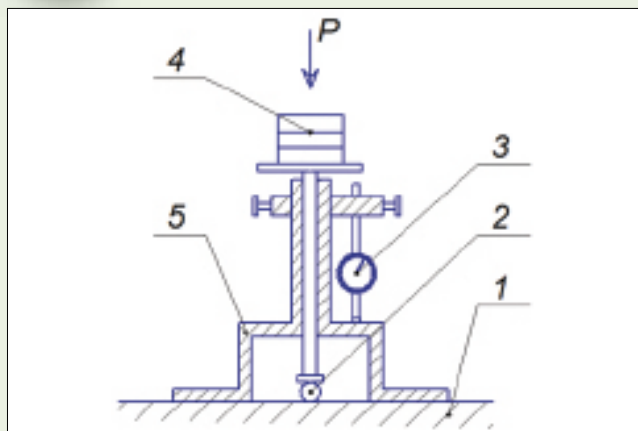


Рис. 1. Прибор для измерения твердости искусственной почвы: 1 – искусственная почва; 2 – шаровой индентор; 3 – индикатор глубины; 4 – грузы; 5 – основание твердомера

Fig. 1. Device for measurement of artificial soil hardness:

1 – artificial soil; 2 – spherical indenter; 3 – depth indicator; 4 – load blocks; 5 – hardness meter basis

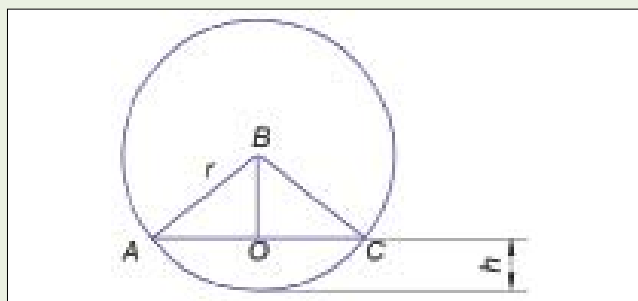


Рис. 2. Схема для определения диаметра отпечатка при измерениях твердости

Fig. 2. Scheme for determination of a dent diameter at measurements of hardness

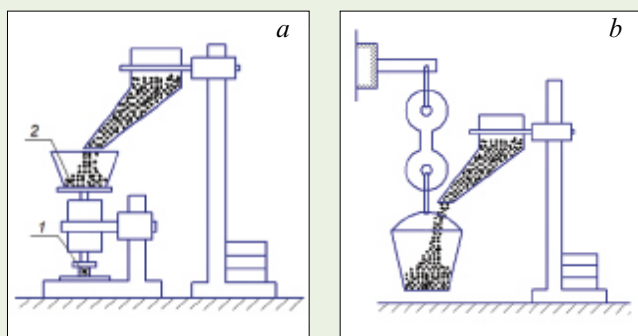


Рис. 3. Схема нагружения для определения пределов прочности образцов ИП: а – при сдвиге; б – при растяжении: 1 – образец; 2 – дробь

Fig. 3. Scheme of loading for definition of stress limit of artificial soil: a – at shift; b – at pulling: 1 – sample; 2 – shot

таллической дробью [14]. Схемы нагружения показаны на рисунке 3.

Сечение образцов при испытаниях на растяжение в месте разрушения представляло собой прямоугольник. При испытаниях на сжатие за момент

разрушения образца принималось резкое скачкообразное увеличение деформации цилиндрического образца. Каждое значение τ и σ вычисляли по формулам:

$$\tau = P_t/F;$$

$$\sigma = P_o/F;$$

где P_t и P_o – средняя величина приложенной нагрузки, при которой произошло разрушение образца;

F – площадь сечения образца в месте разрушения.

Результаты и обсуждение. На рисунке 4 представлены зависимости твердости почвы (кривая 1) предела прочности при растяжении, τ (кривая 2) и σ (кривая 3) от процентного по массе содержания вазелина (сплошные линии) и церезина (штриховые линии).

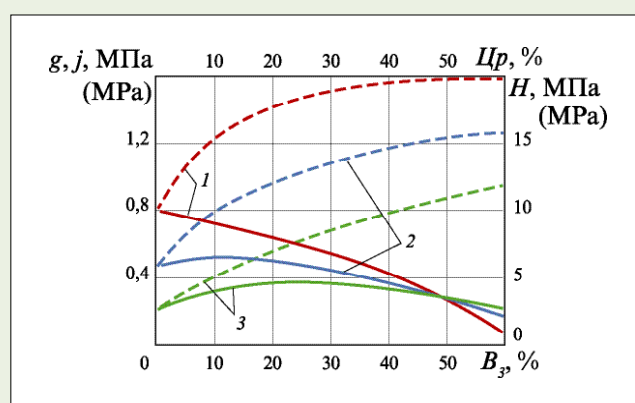


Рис. 4. Влияние процентного (по массе к парафину) содержания вазелина (сплошные линии) и церезина (штрихованные линии): 1 – на твердость; 2 – на пределы прочности при сдвиге; 3 – при растяжении

Fig. 4. Influence percentage (on weight to paraffin) the content of vaseline (continuous lines) and ceresin (shaded lines):

1 – on hardness; 2 – on stress limits at shift; 3 – at pulling

Как видно, с увеличением содержания вазелина в парафине значения τ и σ вначале (до 15-20%) растут, затем падают, величина H непрерывно снижается. При увеличении содержания вазелина от 20 до 60% величина σ уменьшается в 1,7 раза, τ – в 2,6 раза, H – в 5,1 раза. Повышение концентрации церезина способствует росту значений τ , σ и H . Увеличение содержания церезина от 0 до 60% вызывает рост σ в 6,0 раза, τ – в 2,7 раза и H – в 1,9 раза. Отсюда следует, что применение в качестве присадок к парафину до 60% вазелина и 50% церезина позволяет расширить диапазон изменения пределов прочности на растяжение от 0,16 до 0,91 МПа, на сдвиг – от 0,21 до 1,27 МПа, твердости абразивной среды – от 1,6 до 20 МПа.

На рисунке 5 приведены зависимости τ , σ и H от процентного (по объему) содержания цемента в кварцевом песке ρ и от среднего размера абразивных частиц D . Результаты экспериментов показали, что величины τ и σ возрастают с увеличением

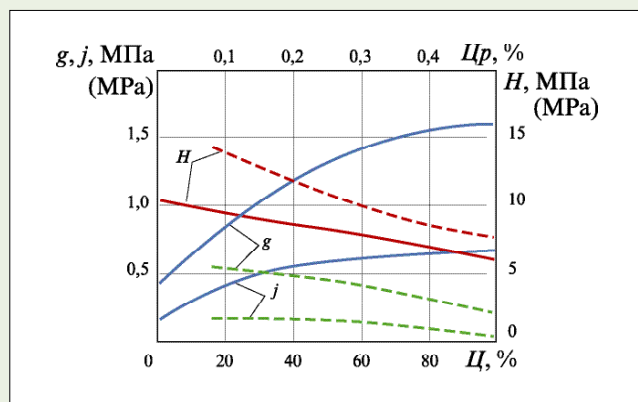


Рис. 5. Влияние процентного (по объему к песку) содержания цемента (сплошные линии) и размера кварцевых частиц (штриховые линии): а – на твердость; б – на пределы прочности при сдвиге; с – при растяжении

Fig. 5. Influence percentage (on volume to sand) the content of cement (continuous lines) and the size of quartz particles (shaped lines): a – on hardness; b – stress limits at shift; c – at pulling

содержания цемента, при этом H снижается. Наибольшие значения τ и σ принимают при наличии цемента около 100% и составляют, соответственно, 1,65 и 0,66 МПа. Твердость в этом случае равна 6,2 МПа, то есть снижается в 1,7 раза.

Непосредственное влияние на прочность и твердость оказывает размер абразивных частиц. С увеличением D показатели τ , σ и H снижаются и в интервале D от 0,1 до 0,5 мм падают, соответственно, от 0,20 до 0,03, от 0,52 до 0,20 и от 13,50 до 7,50 МПа.

Анализируя результаты исследований, можно сделать вывод, что прочность сцепления абразивных частиц определяется наличием наиболее малых фракций твердой фазы ИП. Это подтверждается результатами проведенных нами полевых испытаний и данными опубликованных работ, где показано, что наибольшие тяговые сопротивления

почвообрабатывающих агрегатов возникают при обработке тяжелосуглинистых и глинистых почв, содержащих большое количество пылевидных частиц размером менее 0,01 мм [15].

Таким образом, в результате проведенных исследований определены основные свойства искусственной почвенной среды, влияющие на характер и интенсивность изнашивания лезвий. На основании исследований была выбрана ИП с набором физико-механических свойств, позволяющих изучать основные закономерности изнашивания почворезущих элементов. Разработанная ИП характеризуется стабильностью свойств и возможностью их изменения в зависимости от поставленных задач исследований.

Выводы

1. В полевых условиях исследование изнашивания почворезущих деталей представляет сложности из-за непостоянства свойств почвы и изменяющихся климатических показателей.
2. Лабораторное моделирование почвенных условий позволяет проводить эксперименты независимо от погоды.
3. Моделирование стружки отрыва возможно при полойном срезании абразивной почвенной массы.
4. Выделены основные факторы, определяющие характер и интенсивность изнашивания почворезущего лезвия.
5. Замена увлажненной глины в качестве связующего абразивных частиц на технический парафин позволяет получить модель почвы, обладающую стабильными свойствами в течение длительного времени.
6. При резании клином в условиях температуры окружающей среды 18–22°C смесь парафина с абразивом разрушается путем отрыва, подобно суглинистым почвам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лобачевский Я.П. Прочностные и деформационные свойства связных задернованных почв // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2011. №3. С. 18–20.
2. Измайлов А.Ю., Сидоров С.А., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К., Кузнецов П.А., Юрков М.А., Голосиенко С.А. Научные принципы повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающей техники // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2012. №3. С. 5–7.
3. Лобачевский Я.П., Сидоров С.А., Хорошенков В.К., Лужнова С., Миронов Д.А., Зайцев А.И., Родионова И.Г., Павлов А.А., Амежнов А.В. Использование биметаллических сталей – путь к повышению ресурса рабочих органов сельскохозяйственных машин // Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем: Сборник докладов XII Международной научно-технической конференции. М.: ВИМ, 2012. С. 541–545.
4. Розенбаум А.Н. Исследование износостойкости стальных режущих органов почвообрабатывающих орудий // Труды ВИСХОМ. 1969. Вып. 53. 123 с.
5. Золотарев С.А. Динамическое взаимодействие почвенного пласта с техническим модулем «корпус – заплужник» // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2011. №2. С. 23–25.
6. Лискин И.В., Миронов Д.А. Влияние почвенных условий на износ рабочих органов // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013. №5. С. 29–31.
7. Месчан С.Р. Механические свойства грунтов и лабораторные методы их определения. М.: Недра, 1974. 190 с.
8. Лискин И.В., Миронов А.В., Миронов Д.А., Поткин С.Н., Терновский А.А. Модель почвы для исследования износа лезвий // Интеллектуальные машинные

технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства: Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции. Ч. 1. М.: ВИМ, 2015. С. 77-80.

9. Godwin R.I., Spoor G. Soil Failure with Narrow Tines. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 1977. Vol. 7; 22: 213-218.

10. Лискин И.В., Миронов Д.А., Сидоров С.А. Равновесие плуга в продольно-вертикальной плоскости // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. №6. С. 41-46.

11. Новожилов В.И. Вопросы определения оптимальных режимов резания // Вопросы определения сравнительной экономичности новой техники. Ленинград: ЛДНТП, 1967. С. 37-51.

12. Синеоков Г.Н. Деформации, возникающие в почве под воздействием клина // Труды ВИСХОМ. 1962. Вып. 33. С. 3-27.

13. Лискин И.В., Сидоров С.А., Миронов Д.А., Миронова А.В. Искусственная почва для исследования закономерностей абразивного изнашивания лезвий // Приоритеты мировой науки: эксперимент и научная дискуссия: Материалы VIII международной научной конференции 17-18 июня 2015 г. Ч. 1. Естественные и технические науки. – North Charleston, SC, USA: CreateSpace, 2015. 157 с.

14. Золоторевский В.С. Механические свойства металлов. М.: Metallurgy, 1983. 350 с.

15. Moechnig B.W., Hoag D.L. Dynamic parameters of artificial soils. *American social of agricultural engineers*. 1985; 9: 79-1042.

REFERENCES

1. Lobachevskiy Ya.P. Strength and deformation characteristics of coherent grassed soils. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2011; 3: 18-20. (In Russian)

2. Izmaylov A.Yu., Sidorov S.A., Lobachevskiy Ya.P., Khoroshenkov V.K., Kuznetsov P.A., Yurkov M.A., Golosienko S.A. Scientific principles of increase of wear resistance of working tools of soil-cultivating machinery. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 2012; 3: 5-7. (In Russian)

3. Lobachevskiy Ya.P., Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Luzhnova S., Mironov D.A., Zaytsev A.I., Rodionova I.G., Pavlov A.A., Amezhnov A.V. Bimetallic steels use for increase of a resource of working tools of agricultural machines. Modernizatsiya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na baze innovatsionnykh mashinnykh tekhnologiy i avtomatizirovannykh sistem: Sbornik dokladov XII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Moscow: VIM, 2012: 541-545. (In Russian)

4. Rozenbaum A.N. Research of wear resistance steels for cutting elements of soil-cultivating tools. *Trudy VISKhOM*. 1969; 53: 123. (In Russian)

5. Zolotarev S.A. Dynamic interaction of soil layer with the technical module «plough body – secondary back plough». *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2011; 2: 23-25. (In Russian)

6. Liskin I. V., Mironov D. A. Vliyanie pochvennykh usloviy na iznos rabochikh organov [Influence of soil conditions on wear of working tools]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2013; 5: 29-31. (In Russian)

7. Meschan S.R. Mekhanicheskie svoystva gruntov i laboratornye metody ikh opredeleniya [Mechanical properties of soil and laboratory methods of definition of them]. Moscow: Nedra, 1974: 190. (In Russian)

8. Liskin I.V., Mironova A.V., Mironov D.A., Potkin S.N., Ternovskiy A.A. Soil model for research of blades wear. *Intellectual'nye mashinnye tekhnologii i tekhnika dlya realizatsii Gosudarstvennoy programmy razvitiya sel'skogo khozyaystva: Sbornik nauchnykh dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Moscow: VIM, 2015: 77-80. (In Russian)

9. Godwin R.I., Spoor G. Soil Failure with Narrow Tines. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 1977. Vol. 7; 22: 213-218. (In English)

10. Liskin I.V., Mironov D.A., Sidorov S.A. Plow balance in the longitudinally vertical plane. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2014; 6: 41-46. (In Russian)

11. Novozhilov V.I. Questions of definition of optimum modes of cutting. *Voprosy opredeleniya sravnitel'noy ekonomichnosti novoy tekhniki*. Leningrad: LDNTP, 1967: 37-51. (In Russian)

12. Sineokov G.N. Deformations in the soil under the influence of a wedge. *Trudy VISKhOM*. 1962; 33: 3-27. (In Russian)

13. Liskin I. V., Sidorov S. A., Mironov D. A., Mironova A.V. Artificial soil for research of regularities of abrasive wear of cutting edges. *Prioritety mirovoy nauki: eksperiment i nauchnaya dissкусиya: Materialy VIII mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii*. 17-18 June 2015. Ch. 1. Estestvennye i tekhnicheskie nauki. North Charleston, SC, USA: CreateSpace, 2015: 157. (In Russian)

14. Zolotarevskiy V.S. Mekhanicheskie svoystva metallov [Mechanical properties of metals]. Moscow: Metallurgiya, 1983: 350. (In Russian)

15. Moechnig B.W., Hoag D.L. Dynamic parameters of artificial soils. *American social of agricultural engineers*. 1985; 9: 79-1042. (In English)

Критерии авторства. Все авторы несут ответственность за представленные в статье сведения и плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution. The authors are responsible for information and plagiarism avoiding.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.