

Дифференциация систем обработки почвы в Западном Казахстане путём использования перспективной системы машин*

М.М. Константинов, д.т.н., профессор, С.Н. Дроздов, к.т.н., ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ; Б.Н. Нуралин, д.т.н., профессор, С.В. Олейников, к.т.н., М.С. Галиев, докторант, Западно-Казахстанский АТУ; А.Ж. Мурзагалиев, к.т.н., Актюбинский РГУ

Обработка почвы в современном земледелии является универсальным средством для создания мощного пахотного слоя, заделки органических и минеральных удобрений, регулирования интенсивности протекающих в почве биологических

процессов и создания благоприятных условий для роста растений.

Выбор способа обработки почвы необходимо проводить исходя из условий направленного регулирования процессов накопления и расходования гумуса в пахотном слое почвы.

Мнение учёных всё более склоняется к тому, что отдельные технологии и приёмы обработки не следует противопоставлять один другому. Они должны дополнять друг друга, а выбор той или иной технологии должен осуществляться диф-

* При поддержке РФФИ; проект №18-016-20013/18

ференцированно в соответствии с конкретными условиями [1]. Стабильные результаты по урожайности можно получить при чередовании плоскорезной и отвальной технологий обработки почвы. Отвальная обработка при этом проводится через каждые два года.

Материал и методы исследования. Основой технического обеспечения обработки почвы должна стать эффективная система машинных технологий, обеспечивающих предотвращение деградации почв в результате переуплотнения движителями, чрезмерного распыления и нарушения водно-воздушного режима почв. Данная технологическая политика требует внедрения современной высокоэффективной техники, отвечающей зональным агротехническим требованиям и повышающей урожайность сельскохозяйственных культур при наименьших затратах труда [2, 3].

Техническое обеспечение обработки почвы предполагает решения следующих наиболее актуальных вопросов:

- снижения техногенной нагрузки на почву;
- расширения семейств почвообрабатывающих рабочих органов, адаптированных к разнообразным почвенным условиям;
- создания унифицированных машин с набором сменных рабочих органов;
- создания и применения орудий с комбинированными рабочими органами с целью эффективного использования мощности энергонасыщенных тракторов;
- уменьшения материалоемкости и энергопотребления.

Разработка конструкции почвообрабатывающих машин, оптимизация их параметров и режимов работы, обеспечивающих агротехнические требования при наименьших затратах, требует системного анализа и синтеза для принятия технических решений по заданному агротехнологическому заданию, что стало целью исследования.

Вопросы применимости методов синтеза оптимальных структур, поисковых решений технических

систем к синтезу структур сложных биолого-физико-механических систем, таких, как почвенная среда – почвенная влага – почвообрабатывающие рабочие органы, изучались ранее [2, 4].

Вспашка осуществляет заделку в почву растительных остатков, органических и минеральных удобрений, увеличивает скважность, влагопроницаемость и влагоёмкость почвы [5]. Вместе с тем она имеет ряд недостатков: высокая энергоёмкость и малая производительность, создание условий для выдувания плодородного слоя в районах, подверженных ветровой эрозии.

Это побудило к поиску новых технологий отвальной обработки почвы. Отказ от полного оборачивания почвы и глубоких интенсивных обработок, сохранение и создание на поверхности мульчирующего слоя являются элементами технологий обработки почвы, обеспечивающих условия для расширенного воспроизводства почвенного плодородия, роста урожайности.

Оставленные на поверхности растительные остатки, солома способствуют защите почв от водной и ветровой эрозий, уменьшают глубину промерзания почвы, задерживают почвенную влагу в межвегетационный период. В ходе предпосевной обработки почвы солома, растительные остатки измельчаются и перемешиваются с почвой, образуя специфическую почвенно-соломистую мульчу. Она полностью заменит функцию навоза – источника органических удобрений, сокращая транспортные затраты по доставке соломы и вывозке навоза [6, 7].

Результаты исследования. На основе проведённого анализа основной обработки почвы различными почвообрабатывающими машинами с целью устранения выявленных недостатков и сохранения плодородия почвы разработан рыхлитель плужного типа с универсальной рамой со сменными рабочими органами [8–14], предназначенный для гладкой вспашки с оборотом и без оборота пласта (рис. 1, 2). Использование указанных рабочих органов позволяет почвообрабатывающему агрегату с поворотным плугом обеспечивать челночное

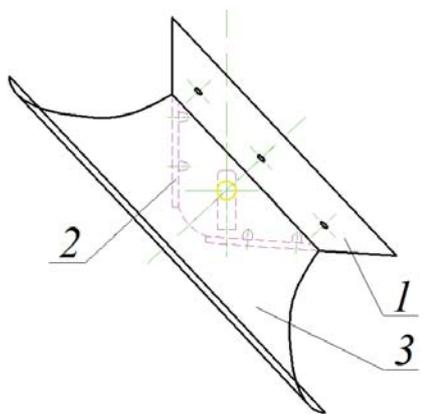


Рис. 1 – Укороченный симметричный ромбовидный рабочий орган:
1 – лемех; 2 – полевая доска; 3 – отвал

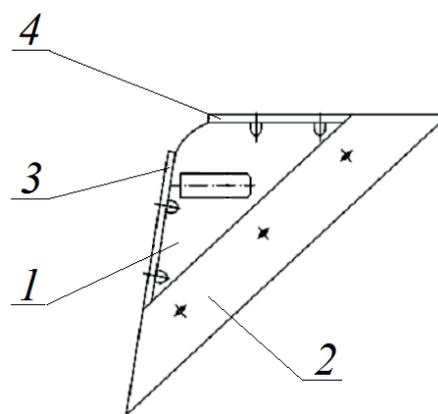


Рис. 2 – Рабочий орган без отвала рыхлительного типа с одним лемехом и двумя полевыми досками:
1 – башмак; 2 – лемех; 3, 4 – полевые доски

движение в загоне, отвальную или безотвальную гладкую вспашку без развальных и свальных борозд, возможность повышения производительности почвообрабатывающего агрегата до 20% за счёт снижения тягового сопротивления рабочего органа и холостых ходов в загоне, т.е. увеличения рабочего времени смены.

Основными параметрами ромбовидного пласта являются высота a , ширина b , угол при вершине параллелограмма или угол наклона стенки борозды к горизонтали α и высота вертикального участка стенки борозды d (рис. 3).

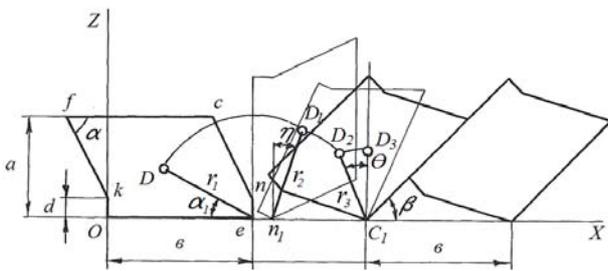


Рис. 3 – Схема оборота ромбовидного пласта

Взаимосвязь параметров обосновывается исходя из схем оборота и определяется неравенствами:

$$\alpha \geq \arctg \left[\frac{1}{\frac{a-d}{b-d} - \frac{a-d}{b-d} \sqrt{1 - \left(\frac{a-d}{b-d}\right)^2}} \right], \quad (1)$$

$$\alpha \leq \arcsin \left(\frac{a-d}{b-d} \right). \quad (2)$$

Одной из основных величин, влияющих на взаимосвязь параметров ромбовидного пласта, как показали теоретические исследования, является высота вертикального участка стенки борозды d (рис. 4).

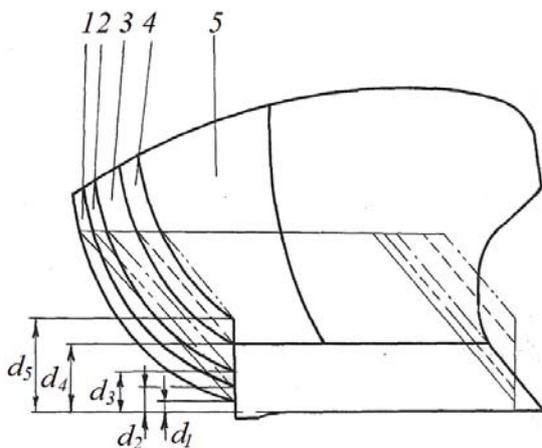


Рис. 4 – Схема экспериментального корпуса со сменной грудью отвала для изменения высоты вертикального участка стенки борозды:
1 – при $d=0,015$ м; 2 – при $d=0,030$ м; 3 – при $d=0,050$ м; 4 – при $d=0,080$ м; 5 – при $d=0,100$ м

Неравенства (1) и (2) показывают, что с увеличением d , при постоянстве значений высоты и ширины пласта, угол ромбовидности уменьшается. Следовательно, изменится энергетика пахоты. Это обстоятельство потребовало определения оптимальной высоты участка стенки борозды.

В качестве энергетических показателей определялись: тяговое сопротивление корпуса R_x ; боковая составляющая R_y ; действительная скорость движения пахотного агрегата v_p .

Результаты исследования показывают (рис. 5), что удельное тяговое сопротивление и затраты мощности на перемещение плужного корпуса имеют минимум при $d=0,05-0,06$ м. Это объясняется тем, что при уменьшении d центр масс пласта смещается влево от полюса вращения.

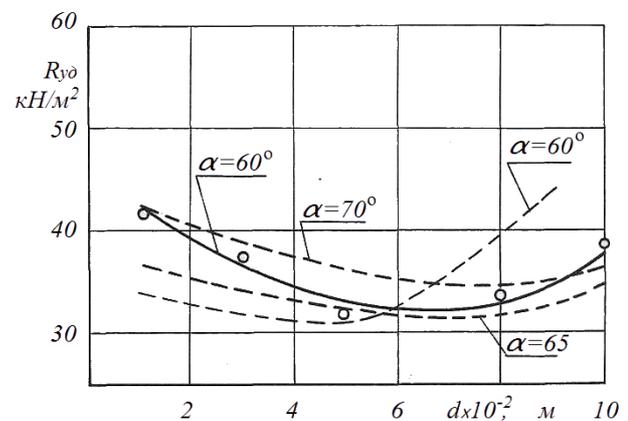


Рис. 5 – Зависимость удельных энергозатрат от высоты вертикального участка стенки борозды:
○ – экспериментальная; --- – теоретическая

При этом возрастает высота подъёма и увеличивается полярный момент инерции сечения пласта, что приводит к увеличению энергии, необходимой на оборот, а следовательно, к возрастанию тягового сопротивления и затрат мощности на вспашку. При увеличении d более чем 0,06 м удельные энергозатраты вновь возрастают. Увеличение d во всём исследуемом диапазоне приводит к снижению боковой составляющей тягового сопротивления R_y , с 0,63 до 0,36 кН.

На заглубляемость корпуса и глубину пахоты изменение высоты вертикального участка стенки борозды практически влияния не оказывает. При уменьшении d вследствие того, что полевая доска хуже выполняет свои функции, увеличивается ширина захвата плуга на 3,5–5,0%, орудие идёт менее стабильно, возросли коэффициенты вариации.

Экспериментальное исследование ромбовидного корпуса показывает:

1. Тяговое сопротивление зависит от величины d . Наиболее оптимальной по энергозатратам является форма корпуса, позволяющая отрезать почвенный пласт с вертикальным участком стенки борозды $d=5-6 \cdot 10^{-2}$ м;

2. Глубина пахоты от вертикального участка стенки борозды на исследованных режимах не зависит, а ширина захвата с уменьшением d увеличивается;

3. Для стабилизации хода плуга в поперечной плоскости необходимо применить дополнительное устройство в виде ножа-стабилизатора.

Одним из важных параметров, определяющих форму пласта и схему его оборота, является угол ромбовидности. В результате теоретического анализа было выявлено, что угол ромбовидности взаимосвязан с высотой и шириной пласта, а их соотношение определяет схему оборота пласта и необходимые с точки зрения агротехники затраты энергии (рис. 6).

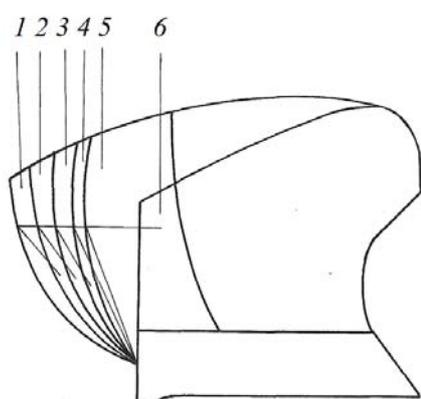


Рис. 6 – Экспериментальный корпус со сменной грудью отвала для изменения угла ромбовидности:
1 – при $d=0,015$ м; 2 – при $d=0,030$ м; 3 – при $d=0,050$ м; 4 – при $d=0,080$ м; 5 – при $d=0,100$ м

Для выявления влияния угла ромбовидности на качественные показатели работы корпуса был проведён эксперимент. Результаты эксперимента иллюстрированы на рисунках 7 и 8. Анализ полученных зависимостей показывает (рис. 7), что удельное тяговое сопротивление и удельная мощность в зависимости от угла ромбовидности и глубины пахоты изменяются неодинаково.

При малой глубине пахоты $\alpha \approx 21 \cdot 10^{-2}$ м с увеличением угла ромбовидности удельные энергозатраты снижаются (кривые I) и достигают минимума при $\alpha = 90^\circ$. Следовательно, наименьшим тяговым сопротивлением при данных условиях обладает обычный корпус.

Это обстоятельство можно объяснить тем, что высота подъёма центра масс ромбовидного пласта выше, чем у обычного. Таким образом, для подъёма пласта на большую высоту необходимо затратить дополнительно энергию, которая впоследствии тратится на крошение. Увеличение степени крошения пласта при этих условиях подтверждается кривыми (рис. 8).

С увеличением глубины пахоты характер зависимости удельных энергозатрат от угла ромбовидности изменяется и имеет минимум при

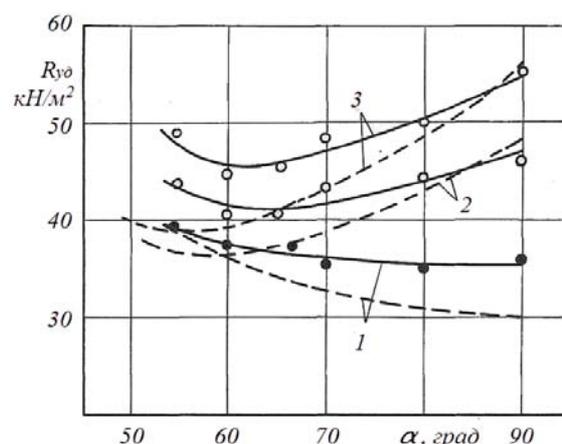


Рис. 7 – Зависимость удельных энергозатрат от угла ромбовидности:
○, ● – экспериментальная; --- – теоретическая
1 – при $a=20,4-21,7 \cdot 10^{-2}$ м;
2 – при $a=25,1-26,1 \cdot 10^{-2}$ м;
3 – при $a=29,5-30,8 \cdot 10^{-2}$ м

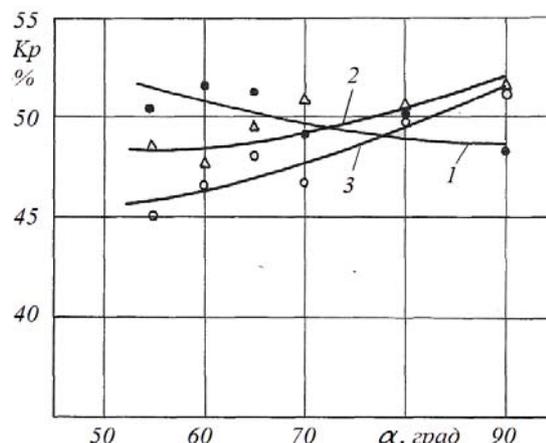


Рис. 8 – Влияние угла ромбовидности на крошение пласта:
1 – при $a=20,4-21,7 \cdot 10^{-2}$ м;
2 – при $a=25,1-26,1 \cdot 10^{-2}$ м;
3 – при $a=29,5-30,8 \cdot 10^{-2}$ м

$\alpha = 60-65^\circ$ (рис. 7). В этом случае уменьшение величины α , с одной стороны, приводит к увеличению высоты подъёма пласта и полярного момента фигуры сечения, что влечёт увеличение затрат энергии на оборот такого пласта. С другой стороны, оборот происходит практически относительно одного полюса, следовательно, отсутствует излом траектории его ц.м. (рис. 3, участок DD_1D_2), отсутствуют инерционные силы, разрушающие пласт на этом этапе оборота, уменьшается крошение пласта (рис. 8, кривые 2, 3). При уменьшении угла ромбовидности менее 60° первое обстоятельство играет более значительную роль и поэтому общие удельные энергозатраты начинают возрастать.

Оборот реального почвенного пласта прямоугольного сечения отличается от принятой теоретической схемы оборота. Поскольку основной процесс крошения пласта происходит на лемехе и заканчивается к концу первого этапа оборота, то

динамические силы, возникающие в результате смены направления движения (излом траектории ($D_1D_2D_3$, рис. 3), разрушают пласт. Вместо оборота относительно второго ребра происходит сдвиг раскошенного пласта крылом отвала. При этом тяговое сопротивление корпуса значительно увеличивается. При глубокой вспашке этот эффект особенно заметен при $\alpha = 70-90^\circ$ (рис. 8, кривая 3).

Таким образом, можно отметить, что снижение тягового сопротивления ромбовидных рабочих органов при глубокой вспашке и увеличение её при мелкой пахоте происходит за счёт соответствующего изменения степени крошения почвы.

Сравнительные удельные тяговые сопротивления для ромбовидного (с углом ромбовидности $\alpha \approx 60^\circ$) и обычного (с углом ромбовидности $\alpha \approx 90^\circ$) корпусов показывают (рис. 9), что с увеличением скорости движения сопротивление обоих корпу-

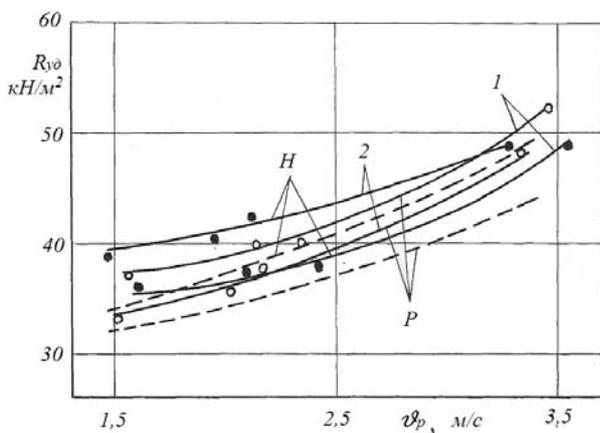


Рис. 9 – Влияние рабочей скорости на удельное тяговое сопротивление корпуса:

- P – ромбовидного; H – обычного
- 1 – при $a = 20,4-21,7 \cdot 10^{-2}$ м;
- 2 – при $a = 25,1-26,1 \cdot 10^{-2}$ м;
- 3 – при $a = 29,5-30,8 \cdot 10^{-2}$ м

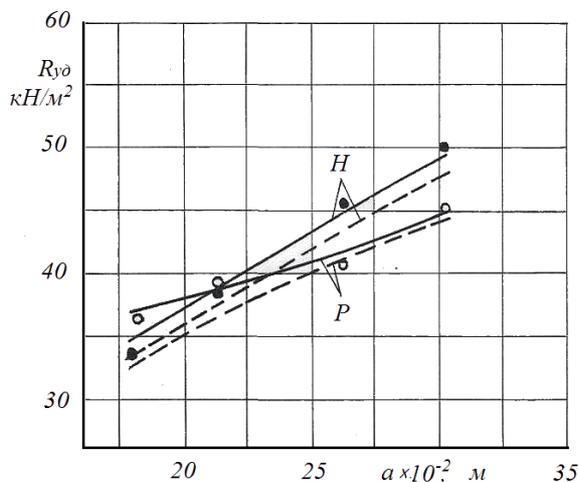


Рис. 10 – Влияние глубины пахоты на удельное тяговое сопротивление корпуса:

- P – ромбовидного; H – обычного;
- , ● – экспериментального;
- – теоретического

сов на всех глубинах пахоты возрастает, причём интенсивность роста R_{y0} для обоих корпусов примерно одинакова.

Зависимость удельного тягового сопротивления от глубины пахоты показывает (рис. 10), что эффект ромбовидности проявляется при глубине пахоты не менее $23 \cdot 10^{-2}$ м. Однако это справедливо только для скоростей $2,39-2,78$ м/с.

С увеличением же скорости характер зависимости должен измениться, однако это положение требует дополнительной экспериментальной проверки.

Выполненные теоретические исследования [15] и их экспериментальная проверка в реальных условиях производства степных регионов позволили решить важную задачу сохранения и восстановления плодородия почвы за счёт использования ресурсосберегающих средств механизации. На основании вышеизложенного можно сделать следующие **выводы**:

1. Установлено, для условий степной зоны рациональным направлением снижения энергоёмкости и получения высокого агротехнического эффекта является послойная обработка без оборота пласта рыхлительными лапами, гладкая вспашка ромбовидными плужными рабочими органами.

2. Разработанный поворотный плуг для гладкой вспашки предусматривает варианты установки адаптивных рабочих органов (ромбовидных, дисковых, безотвальных) и обеспечивает повышение производительности агрегата до 30%, снижения расхода топлива до 20% за счёт сокращения длины холостых ходов и уменьшения тягового сопротивления.

3. Разработаны рабочие органы почвообрабатывающей машины для энерго- и влаго-почвосбережения, в основу которых положены принципы управления плодородием почвы, учёт степени воздействия рабочих органов на почву и адаптивности применяемых орудий к конкретным почвенно-климатическим условиям.

4. Разработан ромбовидный плужный рабочий орган с укороченным отвалом, обеспечивающий гладкую вспашку со снижением гребнистости поверхности пашни на 21% и погектарного расхода топлива на 11,1%, повышением производительности плуга на 5,5% за счёт уменьшения тягового сопротивления на 10% следующими параметрами:

- угол наклона полевого обреза к горизонтали (угол ромбовидности) – $60-65^\circ$;
- высота вертикального участка стенки борозды $5-7 \cdot 10^{-2}$ м;
- отношение глубины пахоты к ширине захвата, при котором проявляется эффект ромбовидности – $a/v \geq 0,6$;
- снижение тягового сопротивления ромбовидных плужных корпусов проявляется на средних и больших глубинах пахоты на скоростях до 3,5 м/с;

- эффективность ромбовидных корпусов проявляется при глубине пахоты не менее $23 \cdot 10^{-2}$ м. С увеличением глубины она увеличивается.

Литература

1. Кирдин В.Ф., Халипов Ф.Х. Плоскорезная обработка или отвальная вспашка // Степные просторы. 1984. № 7. С. 17–18.
2. Нуралин Б.Н. Комбинированные рабочие органы и машины. Теоретические и методологические основы разработки почвообрабатывающих орудий / Saarbrücken, Германия, LAP: LAMBERT Academic Publishing, 2013. 231 с.
3. Нуралин Б.Н., Олейников С.В. Проектирование плужных рабочих органов почвообрабатывающих машин. Совершенствование рабочих органов плугов для гладкой вспашки. Уральск, 2015. 246 с.
4. Константинов М.М., Есенжанов С.З., Нуралин Б.Н. Технологические приёмы обработки почвы на основе синтеза её оптимальной структуры // Техника в сельском хозяйстве. 2010. № 3. С. 16–19.
5. Шмелев В.М. Приёмы углубления пахотного слоя на чернозёмных почвах // Почвоведение. 1957. № 2. С. 81–89.
6. Ломакин М.М. Мульчирующая обработка почвы на склонах. М.: Агропромиздат, 1998. 184 с.
7. Федотова Н.И. Роль стерни в улучшении водного режима почвы // Земледелие. 1980. № 1. С. 28–29.
8. Нуралин Б.Н., Олейников С.В., Мурзагалиев А.Ж. Обоснование формы и параметров ромбовидного рабочего органа поворотного плуга для гладкой вспашки // Новости науки Казахстана. 2016. № 2. С. 186–195.
9. Патент KZ В 22323. Рыхлитель для основной обработки почвы / М.М. Константинов, Б.Н. Нуралин, С.З. Есенжанов, С.В. Олейников // Комитет по правам интеллектуальной собственности Министерства юстиции Республики Казахстан; БИ. № 2 от 15.02.2010 г.
10. Нуралин Б.Н., Константинов М.М., Олейников С.В. Рабочий орган рыхлителя плужного типа для «гладкой пахоты» // Тракторы и сельхозмашины. 2010. № 11. С. 5–6.
11. Инновационный патент KZ 26192. Рабочий орган к рыхлителю для основной обработки почвы / М.М. Константинов, Б.Н. Нуралин, С.В. Олейников / Комитет по правам интеллектуальной собственности Министерства юстиции Республики Казахстан; БИ № 10 от 15.10.2012 г.
12. Константинов М.М. Техническое обеспечение гладкой вспашки отвальными рабочими органами / М.М. Константинов, Б.Н. Нуралин, С.В. Олейников [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 6 (56). С. 72–75.
13. Константинов М.М. Энергетическая и агротехническая оценка работы плугов с ромбовидными и серийными рабочими органами / М.М. Константинов, Б.Н. Нуралин, С.В. Олейников [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 3 (59). С. 81–83.
14. Нуралин Б.Н., Олейников С.В. Сравнительная силовая характеристика ромбовидного и обычного корпусов отвального плуга // Исследования – результаты / Каз НАУ-Алматы. 2016. № 3. С. 254–258.
15. Nuralin B.N. The influence of geometrical and physical parameters of cut-off layer on traction resistance / B.N. Nuralin, A. Bakushev, E. Dzhanaliev // Zemljiste i Biljka. Soil and Plant, Vol. 63, No. 1, 2014. БЕОГРАД, 2017. P. 32–40. ISSN 0514-6658 (Print) ISSN 2560-4279 (Online).