

С.О. Нукешев¹, Д.З. Есхожин¹, Н.Н. Романюк², Е.С. Ахметов¹,
К.М. Тлеумбетов¹, Д.Ш. Косатбекова¹, Б.Ж. Сактаганов¹

¹Казахский агротехнический университет им.С.Сейфуллина,
г. Нур-Султан, Казахстан;

²Белорусский государственный аграрный технический университет,
г. Минск, Беларусь

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ВНЕСЕНИЯ ОСНОВНОЙ ДОЗЫ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В СИСТЕМЕ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

Аннотация. Рассмотрены проблемы уплотнения почв и внесения основной дозы минеральных удобрений в системе точного земледелия в условиях основных зерносеющих областей Северного Казахстана. На конкретных примерах показаны состояние почв, уровень их обеспеченности азотом и фосфором. Предложены технологические и технические решения для дифференцированного применения основных доз минеральных удобрений и разуплотнения почв. На основе проведенного анализа технологии внесения минеральных удобрений, для решения проблемы питания растений и разуплотнения почвы предложена серия технологий и технических решений внутрипочвенного дифференцированного внесения основной дозы минеральных удобрений и посева зерновых культур, семян трав с одновременным внесением туков. Разработанные технические решения реализованы в опытных образцах, проведены производственные проверки и начат мелкосерийный выпуск рыхлителей-удобрителей по заявкам фермеров.

Ключевые слова: точное земледелие, минеральные удобрения, дифференцированное внесение, культиватор, культиватор-удобритель, чизель-удобритель, зернотукотравяная сеялка.

• • •

Түйіндеме. Жұмыста Солтүстік Қазақстанның дәнді дақылдарды өсіретін негізгі облыстары жағдайындағы топырақтың тығыздалуы және минералды тыңайтқыштардың негізгі мөлшерін нақты егіншілік жүйесіне енгізу мәселе-

Авторы выражают благодарность Министерству образования и науки и Министерству сельского хозяйства Республики Казахстан за финансирование научных работ. Исследования выполнены в рамках реализации проекта МОН РК АР05134800 «Разработка автоматизированной зернотукотравяной сеялки для дифференцированного прямого посева сельскохозяйственных культур под покровные культуры и в дернину с одновременным внесением минеральных удобрений» и в рамках Договора №33 МСХ РК на выполнение прикладных научных исследований в области АПК на 2018-2020 годы.

лері қарастырылады. Нақты мысалдар ретінде топырақтың күйі, олардың азот пен фосформен қамтамасыз ету деңгейі көрсетілген. Минералды тыңайтқыштардың негізгі дозаларын саралауға және топырақты жұмсартуға арналған технологиялық және техникалық шешімдер ұсынылған. Минералды тыңайтқыштарды қолдану технологияларын талдау негізінде минералды тыңайтқыштардың негізгі дозасын және дәнді дақылдарды, шөп тұқымдарын егу кезінде минералды тыңайтқыштардың негізгі дозасын саралауға арналған бірқатар технологиялар мен техникалық шешімдер, тыңайтқыштарды бір мезгілде енгізумен өсімдіктердің қоректенуі және топырақтың жұмсартылуы мәселелерін шешу ұсынылған. Өзірленген техникалық шешімдер тәжірибелі үлгілер негізінде іске асырылып, өндірістік тексерулер жүргізіліп, фермерлердің сұранысы бойынша қопсытқыш-тыңайтқыштардың шағын өндірісі іске қосылды.

Түйінді сөздер: нақты егіншілік, минералдық тыңайтқыш, талғамды енгізу, культиватор, культиватор-тыңайтқыш, чизель-тыңайтқыш, астық-тыңайтқыш шөп сепкіш.

• • •

Abstract. Climatic-soil conditions of Kazakhstan allows to produce demanded grain at the international level. However, as a result of low technologies for land cultivation and application of mineral fertilizers, soil fertility decreases in the production of grain. There is only one way that raises the low fertility of the soil is transfer of missing elements, that is, the application of mineral fertilizers. In the application of minimum and zero technologies of grain production, it is not provided for the introduction of the main amount of mineral fertilizers under the ground and such machines are not produced in the market of agricultural machinery of the CIS countries. At the request of farmers, the production of their subseries has begun.

Key words: precision agriculture, mineral fertilizers, variable rate application, cultivator, cultivator-fertilizer, chisel-fertilizer, grain-grass seeder.

Введение. Почвенно-климатические условия Казахстана позволяют производить зерно, которые особенно пользуются спросом на мировом рынке. Однако при возделывании зерновых культур в Казахстане снижается плодородие почв и урожайность из-за недостаточного уровня культуры земледелия, в том числе и технологии внесения минеральных удобрений.

На рынке сельскохозяйственной техники СНГ отсутствует техника для внутривозделывания основной дозы минеральных удобрений при минимальной и нулевой технологиях возделывания зерновых культур. На плоскорезах-глубокорыхлителях КПГ-2,2 и глубокорыхлителях-удобрителях ГУН-4, предназначенных для этой цели, высевальные аппараты не в полной мере выполняли агротре-

бования по равномерности и устойчивости высева, а заделывающие рабочие органы – по равномерному распределению удобрений по площади внутри почвы. В результате частых нарушений технологического процесса дозирования из-за гигроскопичности удобрений эти машины не нашли широкого применения и сняты с производства. Разработки ученых НПЦ НИИ зернового хозяйства им. А.Бараева не дошли до производства, культиваторы-удобрители для ленточного внесения удобрений КАТУ им.С.Сейфуллина находятся на стадии приемочных испытаний. Существующие машины для поверхностного разбросного внесения удобрений характеризуются большим расходом удобрений, неравномерностью внесения (до 40-70%), а зернотуковые сеялки не обеспечивают основную, повышенную дозу внесения [1].

При минимальной и нулевой технологиях возделывания зерновых культур отсутствует технологический процесс внесения основной дозы минеральных удобрений. Это приводит к снижению содержания питательных веществ в корнеобитаемом слое почвы и уплотнению почв. Многочисленные исследования показали, что увеличение плотности почвы по сравнению с оптимальным на $0,1...0,3 \text{ г/см}^3$ приводит к снижению урожайности на 20-40% [2].

Цель исследования - разработка технологических и технических решений проблемы уплотнения и истощения почв.

Методы исследований. В Послании народу Казахстана от 10 января 2018 г. Президент Республики Казахстан подчеркивал важность реализации комплексной программы «Цифровой Казахстан» и отмечал необходимость «развития аграрной науки и интеллектуальных систем внесения минеральных удобрений» [3]. В рамках выполнения поставленных задач Казахский агротехнический университет им. С.Сейфуллина был определен научно-методическим центром цифровизации сельского хозяйства. Также началось научно-методическое руководство процессами внедрения элементов точного земледелия в 9 базовых хозяйствах Акмолинской, Карагандинской, Костанайской и Северо-Казахстанской областей [4]. В первую очередь на опытных полях пилотных хозяйств был проведен отбор почвенных проб в конце апреля и в начале мая 2018 г. Площадь каждого опытного поля составил 500 га. Размер элементарного участка был установлен 1 га.

Результаты агрохимического анализа показали, что от 80 до 100 % площадей имеют низкую и очень низкую обеспеченность легко-

гидролизуемым азотом (рисунок 1). По фосфору ситуация оказалась еще сложнее, от 92 до 100% площадей опытных полей имеют очень низкую и низкую обеспеченность (рисунок 2). Надо учесть, что пилотные хозяйства считаются передовыми в своих районах и ежегодно вносили стартовые дозы минеральных удобрений во время посева. Анализ состояния некоторых полей пилотных хозяйств показал, что появляются лиманы на отдельных участках полей, где их никогда не было. Это свидетельствует об уплотнении почвы.



Рисунок 1 - Картограммы содержания легкогидролизуемого азота в компаниях “Акмола-Феникс” и “Шагала-Агро”, мг/кг

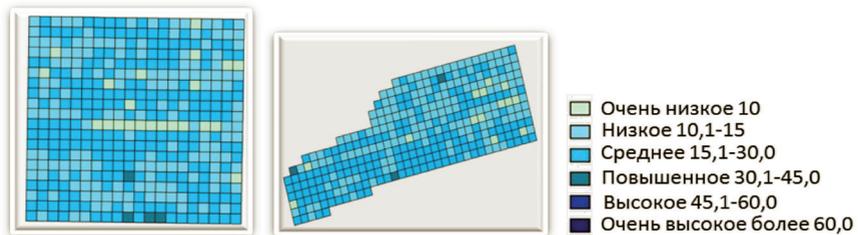


Рисунок 2 - Картограмма содержания подвижного фосфора в компаниях Трояна и Шахтерское, мг/кг

Без внесения основной дозы минеральных удобрений невозможно добиться оптимального уровня содержания элементов питания в полях. Одним из главных сдерживающих факторов решения этого вопроса является отсутствие необходимой техники для внутрипочвенного внесения основной дозы минеральных удобрений и рыхления почвы. Для решения этих проблем необходимо разработать специальную технику.

Академик М.К. Сулейменов отмечает, что в системе почвозащитного земледелия лучшим местом внесения фосфорных удобрений является паровое поле [5]. Это объясняется тем, что в северных областях Казахстана первым ограничивающим фактором увеличения урожайности является плохая влагообеспеченность растений, вторым – недостаток фосфора, третьим - засоренность. На пару хорошие запасы продуктивной влаги и чистота поля обеспечивают получение сравнительно устойчивых урожаев яровой пшеницы даже в сухие годы.

Исходя из состояния опытных полей пилотных хозяйств, опыта возделывания зерновых культур руководителей и специалистов этих хозяйств можно выделить следующие **основные требования к технологическим и техническим решениям**. Так, рабочий орган рыхлителя-удобрителя должен:

- вносить удобрения ярусно, на разную глубину;
- обеспечивать глубокое рыхление почвы;
- иметь возможность агрегатирования с посевными комплексами (с системой дифференциации доз удобрений) или работать автономно;
- в случае автономного использования иметь интеллектуальную систему дифференциации доз удобрений;
- иметь большую ширину захвата.

Результаты исследований и их анализ. Для дифференцированного внесения удобрений **ярусно наклонной лентой** на разные уровни был разработан наклонный рабочий орган (рисунок 3).

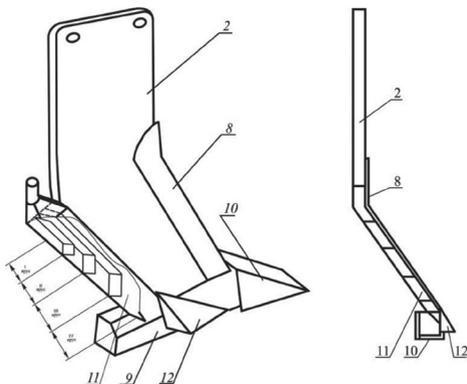


Рисунок 3 – Рабочий орган экспериментального чизельного удобрителя

Предлагаемая конструкция рабочего органа чизельного удобрения обеспечивает размещение удобрений от 5...6 см от поверхности почвы и до глубины 25...27 см при ширине ленты по наклону 25...29 см. На раме орудия устанавливаются 12...18 рабочих органов. Общая ширина захвата 4,6...7,6 м. Угол наклона стоек 40-45°. Расстояние между стойками – 400 мм, между наклонными лентами удобрений – 140 мм (рисунок 4). Дневная выработка составляет 30-50 га. Удобритель может работать в паре с бункером посевного комплекса как культиватор-удобритель с центральной высевальной системой, автономно со своим бункером с индивидуальными дозаторами и как орудие для основной обработки почвы [6,7].

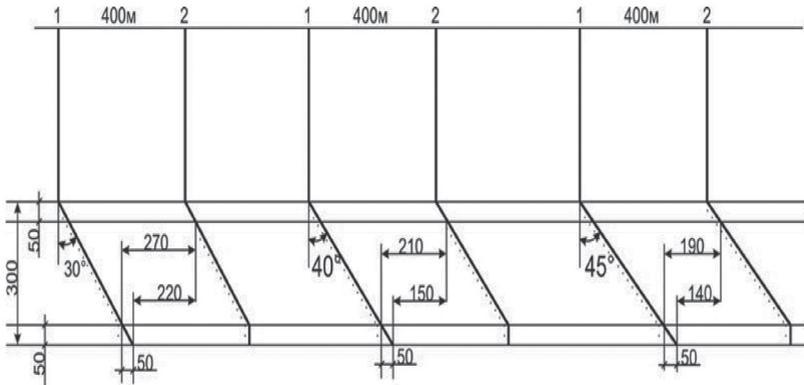


Рисунок 4 – Варианты расположения рабочего органа

Анализируя действие сил при перемещении рабочего органа рыхлителя- удобрения внутри почвы, получена зависимость тягового усилия от его конструктивных параметров и физико-механических свойств почвы:

$$P_n \sin(\alpha + \varphi) = J \sin \frac{\alpha}{2} + G_n \sin(\alpha + \varphi) + G_{\sigma} \sin \varphi + Q; \quad (1)$$

$$J = 2v^2 b h \rho \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \cos \alpha; G_n = \frac{N_n}{\cos \varphi}; G_{\sigma} = l_{\sigma} \cdot h \cdot \frac{\sigma_{сж}}{\cos \varphi}; Q = b \cdot h \cdot \sigma_{сж}, \quad (2)$$

где J – динамическое, пульсирующее сопротивление почвы;
 α - угол резания;

φ - угол трения;

b - ширина захвата;

h - глубина рыхления;

ρ - плотность почвы;

l_b - длина боковой грани клина;

$\sigma_{сж}$ - временное сопротивление почвы сжатию.

Анализ (1) показывает, что тяговое усилие практически имеет линейную зависимость от угла резания и скорости движения самого агрегата и варьирует в пределах от 42,45 до 180,15 кг при глубине рыхления $h=50$ см и ширине захвата 25 см. Исходя из условия минимальности тягового усилия можно считать оптимальными значения угла резания $\alpha=16-20^\circ$ и скорости агрегата $v=1,8-2,0$ м/с. На основе этих параметров рабочего органа, а также по запросам фермеров Северного Казахстана разработан опытный образец чизеля-удобрителя для ярусного дифференцированного внесения основной дозы минеральных удобрений в системе точного земледелия (рисунок 5).

Производственная проверка показала, что чизель-удобритель обеспечивает рыхление почвы до 35 см и одновременно вносит гранулы удобрений на глубины 8...10, 16...18 и 23...25 см. При этом сохранность стерни составил 79...84,3 %.



Рисунок 5 - Опытный образец чизеля-удобрителя

Для эффективного применения минеральных удобрений также была обоснована и разработана **технология трехслойного дифференцированного внесения** (рисунок 6).

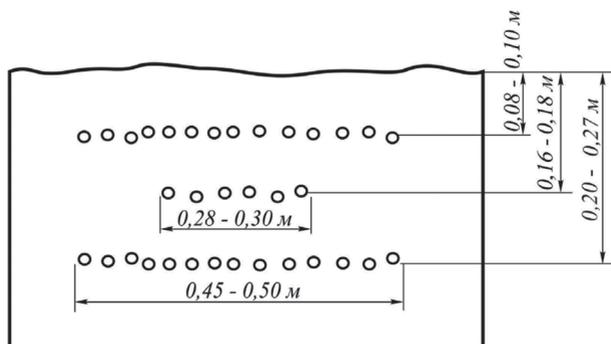


Рисунок 6 – Технологическая схема распределения удобрений внутри почвы

Теоретическими исследованиями установлено, что при ярусном внесении минерального удобрения в почву возможны несколько вариантов размещения плоскорезных лап на стойке. Выявлено, что для двухъярусного внесения оптимальным является вариант, где нижняя лапа сдвинута по отношению к верхней назад, на расстояние $\delta=15$ см, а для трехъярусного внесения наиболее подходящим является компоновка, где лапа первой стойки идет на средней глубине $h_1=16-18$ см, нижняя лапа задней второй стойки идет на максимальной глубине $h=25-27$ см, а ее верхняя лапа - на самой минимальной глубине $h_2=8-10$ см.

Рассмотрев движение экспериментального плоскорезного рабочего органа культиватора-удобрителя для дифференцированного трехъярусного внесения минеральных удобрений в почву получена аналитическая зависимость тягового усилия от параметров рабочего органа [7,8]. Анализ уравнения показывает прямую зависимость тягового усилия от ширины захвата почвообрабатывающего рабочего органа и глубины обработки и квадратичную зависимость от скорости культиватора-удобрителя. Увеличение глубины обработки от 0,15 м до 0,27 м и ширины обработки лемеха от 0,10 до 0,30 м повышает тяговое усилие в 1,85-2,07 раза, а увеличение скорости от 1 до 2,8 м/с увеличивает тяговое усилие в 6,91-7,86 раза.

Лабораторно-полевые исследования показали, что культиватор-удобритель обеспечивает обработку почвы на глубины 8,3...13,7, 14,8...16,8 и 25,2...28,7 см при установочной 8-12 см, 16...18 и 20-27 см (рисунок 7). Рабочие органы почвой не забиваются, технологических отказов не отмечено. Неравномерность распределения удобрений по

ширине захвата составило 14,2%, что в пределах агротехнических требований. По неравномерности высева между аппаратами опытная машина превосходит базовую на 30%. Ширина распределения удобрений для опытной машины достигает 0,5 м, а для базовой 0,05-0,06 м. Превышение достигает десятки раз. Базовая машина удобрения располагает на одной глубине - около 20 см, а опытная - распределяет на три яруса, от 8,3 до 28,7 см. Сохранение стерни на поле после прохода агрегата не уменьшается и варьируется в пределах от 50,2 до 65,9 %.



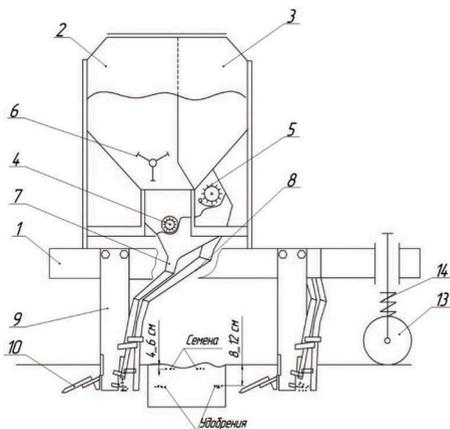
Рисунок 7 – Опытный образец плоскореза-глубококорыхлителя-удобрителя

Известно, что большая часть кормовых угодий Республики Казахстан расположена в зонах с недостаточным влагообеспечением и низкой продуктивностью. Они характеризуются изреженным травостоем и интенсивным выпадением из него наиболее ценных кормовых растений. Вследствие этого кормовые угодья оголяются и большие участки сенокосов и пастбищ деградируют [9]. Основной причиной подобной негативной ситуации является отсутствие научно обоснованной системы использования кормовых угодий и эффективных технологий, и технических средств для их восстановления и улучшения.

Для решения изложенных проблем предлагается новая технология для улучшения кормовых и пастбищных угодий и конструкция автоматизированной зернотукотравяной сеялки для дифференцированного прямого посева сельскохозяйственных культур под покровные культуры и в дернину с одновременным внесением минеральных удобрений [10]. Новая технология заключается в одновременном посеве семян трав и внесении минерального удобрения на два уровня почвенного горизонта, без исключения кормового угодья из эксплуатации. На первом уровне — на глубину до 40 мм производится посев семян трав, на втором уровне — на глубину до 120 мм вносятся минеральные

удобрения. Глубины посева семян и внесения туков регулируются, а ширина их посева — до 40 мм. Нормы посева семян и внесения удобрений автоматически контролируются в принятой системе позиционирования и дифференцированно устанавливаются с учетом текущего состояния кормового угодья при наличии карт-предписаний.

Разрабатываемая зернотуковтравяная сеялка содержит раму 1, на которой расположен семятуковый ящик, включающий бункер для семян 2 и бункер для туков 3, высевной аппарат для семян 4, лепестковый ворошитель 6, высевной аппарат для туков 5, семяпровод 7, тукопровод 8; рабочий орган — сошник-щелеватель со стойкой 9 и закрепленным на ней внизу спереди по ходу движения сеялки долотом 10 с заостренной спереди своей кромкой на угол 60° , а также расположенный за стойкой по ходу движения сеялки прикатывающий каток 13, давление на почву которого регулируется пружиной 14 (рисунки 8). Ширина сошника-щелевателя до 20 мм.



Сошник-щелеватель 9 прорезает в дернине вертикальную щель, шириной до 2 см, а нож 12 – горизонтальную щель на правой, считая по ходу движения агрегата, боковой стенке вертикальной щели, и семена, скатываясь с верхнего козырька 11, располагаются в этой горизонтальной щели на глубине до 4...6 см. Одновременно, минеральные удобрения из бункера для туков 3 посредством высевного аппарата для туков 5 по тукопроводу 8 подаются на нижний козырек 15,

равномерно рассыпаются в след долота 10 сошника-щелевателя 9, и располагаются на глубине 8...12 см в левой от семян стороне, считая по ходу движения агрегата. За сошником-щелевателем 9 следует прикатывающий каток 13, который прищемляет образовавшуюся щель.

В изложенном технологическом процессе образовавшиеся щели способствуют рыхлению застоявшегося и уплотненного пласта почвы кормового угодья, усиливают воздушный влагооборот между горизонтами и способствуют накоплению влаги в весенне-осенний, дождливый период и подъему влаги из нижних влагоносных горизонтов к корневой системе растения в сухой, летний период. Расположение семян выше и слева от горизонта удобрения исключает их подавление химическими реакциями и способствует постепенной подпитке корневой системы растения, а нижнее, ближе к влажному горизонту, расположение туков - их лучшему растворению и миграции в почвенной среде. Прищемление щелей специальными прикатывающими катками исключает испарение влаги через них, вывод угодья из кормооборота предупреждает возможные травмы скота во время выпаса. Повторное улучшение кормового угодья должно производиться в перпендикулярном направлении.

Заключение. На основе проведенного анализа технологии внесения минеральных удобрений, для решения проблемы внесения основной дозы минеральных удобрений и разуплотнения почвы предложена серия технологий и технических решений внутрипочвенного дифференцированного внесения основной дозы минеральных удобрений и посева зерновых культур, семян трав с одновременным внесением туков. Разработанные технические решения реализованы в опытных образцах. Проведены производственные проверки и начинается мелкосерийный выпуск рыхлителей-удобрителей по заявкам фермеров.

Список литературы

1 Грибановский А.П., Бидлингмайер А.П. Комплекс противоэрозионных машин (теория, проектирование). – Алматы: Кайнар, 1990. – С.180-183.

2 Материалы второй международной конференции по самовосстанавливающемуся земледелию на основе системного подхода NO-Till, Днепропетровск, 2005. – 232 с.

3 Назарбаев Н.А. Послание Президента Республики Казахстан Н.Назарбаева народу Казахстана [Электрон. ресурс].-2018.-URL: http://www.akorda.kz/ru/addresses/addresses_of_president/poslanie-prezidenta-respubliki-kazahstan-n-nazarbaeva-narodu-kazahstana (дата обращения: 10.01.2018).

4 Цифровизация в сельском хозяйстве принесет значительную пользу. //Германо-казахстанский сельскохозяйственный форум «Цифровизация в сельском хозяйстве». КАТУ им С. Сейфуллина. Астана. [Электрон. ресурс].-2018.-URL: <https://profit.kz/news/47355/Cifrovizaciya-v-selskom-hozyajstve-prineset-znachitelnuu-polzu> (дата обращения:01.06.2018).

5 Сулейменов М.К. Казахстан: Удобрения как фактор подъема эффективности земледелия. Газета «КазахЗерно kz» 13 января 2017 года.

6 Нукешев С.О., Есхожин Д.З., Романюк Н.Н., Агейчик В.А., Кусаинов Р.К., Есхожин К.Д., Рустембаев А.Б. Плоскорез-глубокорыхлитель-удобритель. Патент 33399 РК. Плоскорез-глубокорыхлитель-удобритель (№2017/0524.1) / КАТУ им.С.Сейфуллина.; опубл. 25.01.2019, бюл. №4. – 4 с.: ил.

7 Есхожин Д.З., Нукешев С.О., Ахметов Е.С., Есхожин К.Д., Рустембаев А.Б. Агротехнологические основы ярусного внесения минеральных удобрений. Вестник государственного университета имени Шакарима. - Семей, 2018. - №2(82). – С.222-227.

8 Нукешев С.О., Лобачевский Я.П., Личман Г.И., Есхожин К.Д., Тлеумбетов К.М., Рустембаев А.Б. Результаты экспериментальных исследований рабочих органов культиватора-удобрителя для трехслойного внесения минеральных удобрений. Достижения науки и техники АПК. - Москва, 2018. - №9. - С.93-96.

9 Петров А.М. Разработка универсальной сеялки для зерновых мелкосеменных и трудновысеваемых культур. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. - №3. – С.37.

10 Нукешев С.О., Есхожин Д.З., Косатбекова Д.Ш. Обоснование технологии и конструктивно-технологической схемы зернотукотравяной сеялки. Байкальский Вестник ДААД. - Иркутск, 2018. - №1. - С.88-92.

Нукешев С.О. - доктор технических наук, профессор,
e-mail: snukeshev@mail.ru

Есхожин Д.З. - доктор технических наук, профессор,
e-mail: deshojin@mail.ru

Романюк Н.Н. - кандидат технических наук, доцент,
e-mail: romanyuk-nik@tut.by

Ахметов Е.С. - кандидат технических наук, доцент,
e-mail: ErzhanAS_75@mail.ru

Тлеумбетов К.М. - докторант, e-mail: kleumbetov@mail.ru

Косатбекова Д.Ш. - докторант, e-mail: ms.kossatbekova@mail.ru

Сактаганов Б.Ж. - докторант, e-mail: sbaxitbek@mail.ru