

С.О.Нукешев¹, Д.З.Есхожин¹, Г.И.Личман²,
Е.С.Ахметов¹, К.Д.Есхожин¹, Е.А.Золотухин¹

¹Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина,
г. Астана, Казахстан

²Всероссийский научно-исследовательский институт
механизации сельского хозяйства,
г. Москва, Россия

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ДОЗИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ МАШИНЫ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ПРИМЕНЕНИЯ СЕМЯН И УДОБРЕНИЙ*

Аннотация. Проведены исследования повышения эффективности работы автоматизированной дозирующей системы зернотуковой сеялки для дифференцированного применения семян и удобрений в системе точного земледелия. Подготовлен экспериментальный образец машины для дифференцированного посева и внесения минеральных удобрений, блока контроля и управления технологическим процессом. Разработана методика экспериментальных исследований. Дано обоснование параметров высевающего устройства. Показано, что дозирование, осуществляемое посредством винтового ворошителя удобрений, размещенного в бункере катушечного дозатора, управляемого блоком контроля и управления дозирующей системой машины посредством изменения оборотов катушки за счет бесступенчатого редуктора и линейного актуатора, обеспечивает устойчивое функционирование высевающей системы, соответствующей агротехническим требованиям. Усовершенствованная автоматизированная зернотуковая сеялка может осуществить дифференцированный посев семян зерновых культур и высеv минеральных удобрений согласно заданиям электронных карт (в режиме of-line) в принятой системе позиционирования. Разработана дозирующая система машины. Предложены технические средства ее контроля и управления, а также обоснованные параметры и режимы работы.

Ключевые слова: сельское хозяйство, точное земледелие, высевающее устройство, минеральные удобрения, дифференцированное внесение, система контроля и управления, переходный процесс.

* Работа выполнена в течение 2012-2014 гг. по договорам с МОН РК № 1638 от 21.09.2012 г., № 197 от 04.02.2013 г., № 295 от 04.02.2014 г.



Түйіндеме. Зерттеудің мақсаты – дәл егіншілік жүйесінде тұқым мен тыңайтқышты саралап енгізуге арналған астық-тыңайтқыш сепкіштің автоматтандырылған мөлшерлеуші жүйесі жұмысының тиімділігін арттыру.

Зерттеу мәселелері: тұқым мен минерал тыңайтқыштарды саралап енгізуге арналған машинаның тәжірибелік үлгісін, бақылау блогын, технологиялық үрдісті бақылау және басқару блогын дайындау; тәжірибелік зерттеулер әдістемесін құрастыру; себуші құрылғының көрсеткіштерін негіздеу және эксперименталді зерттеу. Зерттеулердің негізінде математикалық модельдеу мен тәжірибелерді жоспарлау әдістері, статистикалық талдау, мемлекеттік және салалық стандарттар қамтылған. Сондықтан, ауысу үрдісін зерттеу мақсатында дербес әдістеме жасалды.

Зерттеулер, бункерде орналасқан бұрандалы қопсытқышпен, сатысыз редуктор және сызықтық актуатор көмегімен жұмыс істейтін, бақылау және басқару блогі арқылы айналу жиілігі реттелетін, катушкалы мөлшерлеуіш – машина мөлшерлеуіш жүйесінің агротехникалық талаптарға сәйкес орнықты қызмет атқаруын қамтамасыз ететінін көрсетті. Жетілдірілген автоматтандырылған астық-тыңайтқыш сепкіш қабылданған позициялау жүйесінде электрондық карталардағы (of-line режимінде) тапсырмаларға сәйкес астық тұқымдарының себілуі мен минералды тыңайтқыштардың енгізілуін саралап жүзеге асыра алады. Жұмыстың жаңашылдығына машинаның жасалған мөлшерлеуіш жүйесі, оны бақылау мен басқарудың техникалық құралдары, негізделген көрсеткіштер мен жұмыс режимдері жатады.

Түйінді сөздер: ауыл шаруашылығы, дәл жер өңдеу, себуші құрылғы, минералды тыңайтқыштар, саралап енгізу, бақылау және басқару жүйесі, ауыспалы үрдіс.



Abstract. Objective of the study: increase of work efficiency of the automated dispensing system for seed fertilizer seeder for differentiated application of seeds and fertilizers in the system of precision farming. Tasks: The preparation of experimental model of machine for differentiated crop and mineral fertilizers, the block of control and management of the process; development of methods of experimental studies; justification of parameters of sowing devices and experimental studies.

The study is based on the mathematical modeling methods and planning of experiments, statistical analysis, state and industry standards. The private method was developed for the research of transition process.

It is shown that the dosage, carried out by the a screw agitator fertilizer placed in the hopper, coil dispenser controlled by the block of control and the management of dosing system of machine by changing the coil due to stepless gear and linear actuator, which provides the stable functioning of sowing system, according to agro-technical requirements.

Improved automated seed fertilizer seeder can implement the differentiated seeding of crops and sowing fertilizer according to the task of electronic cards (in the off-line mode) in the received positioning system. The novelty of the work is developed dosing system of machine, technical equipment of its control and management and reasonable parameters and modes of operation.

Key words: agriculture, precision agriculture, seeding device, mineral fertilizers, differential introduction, control and management system, transition process.

Введение. При традиционном способе, т. е. внесении удобрений с одной дозой на все поле, даже с высоким качеством распределения существенно снижается их окупаемость, так как более плодородные участки, получая ту же дозу питательных веществ, что и менее плодородные, накапливают избыточный запас азота, фосфора и калия в почве, а менее плодородные участки, расходуя имеющиеся запасы питательных веществ, становятся менее плодородными [1-3]. Таким образом, одни участки поля становятся все более плодородными, в то время как другие постоянно истощаются. Несмотря на это, производители зерна в Казахстане при планировании применения удобрений для каждого поля рассчитывают дозу, исходя из усредненных показателей [4-7]. Дифференцированное внесение удобрений заключается в том, что удобрения вносят не с одной дозой на все поле, а с учетом потребности отдельных элементарных участков в элементах питания. При этом доза внесения и соотношение питательных элементов выбираются с таким расчетом, чтобы окупаемость удобрений была максимальной, а загрязнение окружающей среды было сведено к минимуму.

Создание многофункциональной машины для дифференцированного посева и внесения минеральных удобрений предполагает разработку высокоадаптивной дозирующей системы машины (ДСМ), обеспечивающей высев семян и минеральных удобрений с учетом пространственной вариабельности параметров плодородия поля. Она должна обеспечивать:

– устойчивое дозирование семян и/или удобрений с высоким качеством в течение всего периода работы сеялки-удобрителя;

– обладать быстродействием и высокой адаптивностью при высеве семян и удобрений на одном поле во всем диапазоне изменения доз и поступательной скорости движения агрегата;

– быть простой в управлении, надежной в работе и хорошо приспособленной к автоматизированному управлению.

Известные отечественные и зарубежные конструкции дозирующих рабочих органов не в полной мере отвечают этим требованиям [8-15].

Цель исследования – повышение эффективности работы автоматизированной дозирующей системы зернутоковой сеялки для дифференцированного применения семян и удобрений в системе точного земледелия; подготовка экспериментального образца машины для дифференцированного посева и внесения минеральных удобрений и блока контроля и управления технологическим процессом; разработка методики экспериментальных исследований; обоснование параметров высевающего устройства и проведение исследования дозирующей системы машины.

Методы исследования. Исследования проводились с помощью методов математического моделирования и планирования экспериментов, статистического анализа, государственных и отраслевых стандартов. Для изучения переходного процесса была разработана частная методика, заключающаяся в том, что для посекундного определения количества и качества посева под туюпровод высевного окна на бегущую ленту устанавливаются противни длиной, равной линейной скорости бегущей ленты. Например, если скорость ленты 0,135 м/с, то длина противня составляет 13,5 см, т. е. вес материала, попавшего на противень, показывает количество высеянного удобрения за 1 с.

Для проведения лабораторных испытаний экспериментальной машины по выявлению зависимости качественных показателей его работы от конструктивных и технологических параметров высевающей системы была изготовлена лабораторная установка (рис. 1), состоящая из рамы, бункера СЗС-2,0 с высевающим устройством, бегущей ленты. Высевающие аппараты получают привод от стенда СТЭУ-10М-1000-ГОСНИТИ, который

позволяет бесступенчато изменять частоту вращения и имеет прибор для измерения их значения. Для бегущей бесконечной ленты смонтирован отдельный привод. Исполнительный механизм с линейным актуатором и бесступенчатым редуктором откорректирован для работы с блоком контроля и управления дозирующей системой машины (ДСМ).

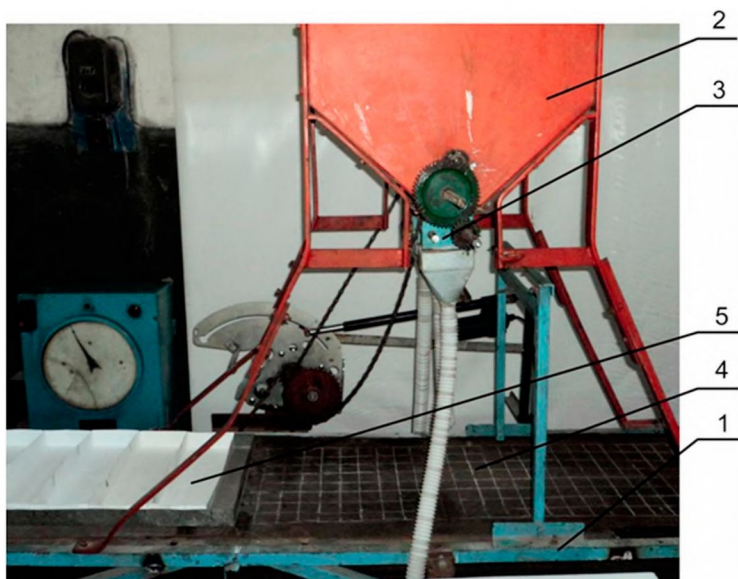


Рис. 1. Лабораторная установка: 1 – рама; 2 – бункер; 3 – высевающее устройство; 4 – бегущая лента; 5 – противень

В лабораторных опытах частота вращения туковысеивающей катушки и барабана бегущей ленты измерялась тахометром СК, время – секундомером. Удобрения взвешивались на весах CASMW-II-300 BR с точностью до 0,005 г. Опыты проводились с суперфосфатом гранулированным и семенами пшеницы сорта Акмола 2.

Результаты. Известные высевающие аппараты посевных и удобрительных машин не в полной мере обеспечивают качество внесения минеральных удобрений. Неравномерность и неустойчивость внесения достигают 20-40 % при требуемой до 15 % [8, 9]. Это прежде всего связано с гигроскопичностью удобрений и несовершенством высевающих аппаратов для удобрений.

Для обеспечения качества посева семян и внесения минеральных удобрений при их внутрпочвенном дифференцированном применении предложена оригинальная конструкция штифтовой катушки высевающего устройства. Штифты катушки выполнены в форме четырехгранных усеченных пирамид, расположенных на пересечении перекрещивающихся правых и левых многозаходных винтовых линий на поверхности катушки. На основании теоретических исследований получено выражение, связывающее все основные конструктивные и технологические параметры: радиус катушки, количество штифтов на ней и их высота и размеры верхнего и нижнего основания, диаметр ведущего колеса, норма внесения, ширина междурядья, передаточное отношение.

Для создания блока контроля и управления ДСМ были разработаны методы по формированию электронного массива долготы и широты точек участка поля в глобальной системе позиционирования, алгоритмы формирования промежуточных точек по широте и долготе, формирования электронных карт элементарных участков, алгоритмы дифференцированного посева или внесения и математические модели оптимизации доз удобрений и норм посева семян, программное обеспечение формирования электронных карт дифференцированного посева и внесения удобрений, алгоритм и программное обеспечение контроля и управления дозирующей системой машины.

Блок контроля и управления ДСМ (рис. 2) предназначен для параллельного вождения автотракторной техники при внесении удобрений в дневных и ночных условиях с функциями автоматического управления расходом семян и удобрений по скорости и местоположению агрегата; измерения пройденного

расстояния; уточнения площадей сельхозугодий; измерения обработанной площади; разбивки поля на прямоугольные загоны; получения первичной геодезической информации для изготовления планов полей и уточнения геометрических параметров сельскохозяйственных угодий.

С целью определения степени влияния параметров на качественные показатели работы высевающего аппарата для минеральных удобрений проведены поисковые опыты. Установлено, что основные показатели качества работы: неравномерность высева между аппаратами Y_1 и неустойчивость высева Y_2 меняются с изменением условий проведения опытов, т. е. при варьировании конструктивными и технологическими параметрами происходит изменение параметров оптимизации.

Проверка значимости коэффициентов регрессии показала, что зазор между штифтами и доньшком катушки в указанных пределах варьирования на качество высева не влияет, поэтому он зафиксирован на нулевом уровне – 6 мм.

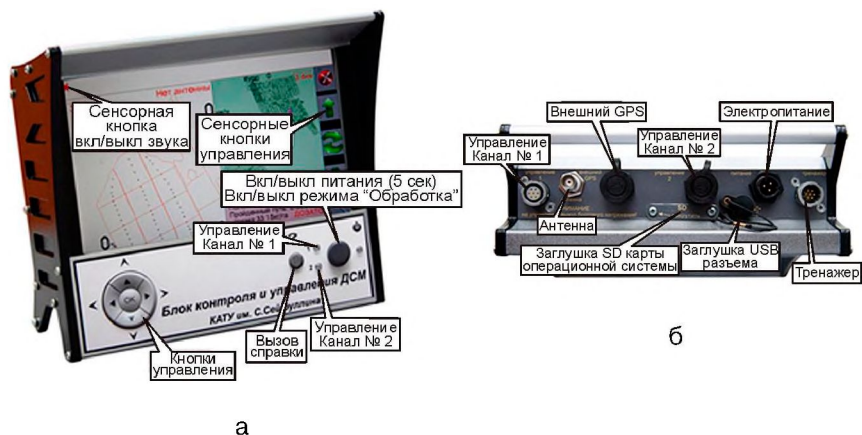


Рис. 2. Блок контроля и управления ДСМ: а) вид спереди б) вид снизу

Также установлено, что разность между значениями параметров оптимизации в центре плана и величинами свободного члена ϵ_0

$$|\bar{y}_1 - \epsilon_{01}| = |3,05 - 5,801| = 2,751$$

$$|\bar{y}_2 - \epsilon_{02}| = |2,12 - 5,350| = 3,23$$

во много раз больше ошибки S_y эксперимента:

$$S_{y_1} = \pm \sqrt{S_{y_1}^2} = 0,294; \quad S_{y_2} = \pm \sqrt{S_{y_2}^2} = 0,301.$$

Следовательно, эффекты взаимодействия факторов значимо отличаются от нуля, и исследуемые зависимости не могут с достаточной точностью аппроксимированы полиномом первой степени. На основании этого для получения зависимостей качества высева от конструктивных и технологических параметров опытного высевающего аппарата необходимо перейти к планированию второго порядка.

Экспериментальные исследования проведены при высеве гранулированных минеральных удобрений «суперфосфат» с удовлетворительной рассеиваемостью, которое применяют для основного, допосевного и местного внесения в рядки при посеве. Эксперимент был поставлен по программе центрального композиционного ротатбельного планирования второго порядка. В результате математической обработки данных эксперимента определены уравнения регрессий:

Для неравномерности высева между аппаратами:

$$Y_1 = 3,549 + 0,241x_1 + 0,102x_2 - 1,640x_3 + 0,96x_1x_2 - 0,687x_1x_3 - 0,275x_2x_3 + 0,379x_1^2 + 0,651x_2^2 + 2,271x_3^2; \quad (1)$$

Для неустойчивости высева:

$$Y_2 = 4,12 + 0,322x_1 + 0,158x_2 - 0,336x_3 + 0,462x_1x_2 + 0,275x_1x_3 - 0,671x_2x_3 + 0,789x_1^2 + 0,594x_2^2 + 0,487x_3^2, \quad (2)$$

где переменные факторы x_1 – угол между боковой поверхностью штифта и его вертикальной осью β ;

x_2 – шаг между штифтами s ;

x_3 – высота штифта h .

Проверка адекватности полученных моделей с помощью F -критерия показала, что значение $F_p < F_T$, поэтому гипотеза адекватности моделей может быть принята верной с 95 %-ной достоверностью.

Переход от кодированных x_1, x_2, x_3 к натуральным β, s, h значениям факторов осуществляется в соответствии с условиями эксперимента по формулам:

$$x_1 = \frac{\beta - 45}{15}; \quad x_2 = \frac{s - 10}{4}; \quad x_3 = \frac{h - 6}{2}.$$

Уравнения второй степени в виде (1) и (2) анализировать сложно, поэтому для получения представления о геометрическом образе функции отклика соответствующие им зависимости путем преобразований были приведены к канонической форме:

Неравномерность высева между аппаратами:

$$Y_1 - 1,87 = 0,75X_1^2 + 0,723X_2^2 + 0,653X_3^2; \quad (3)$$

Неустойчивость высева:

$$Y_2 - 1,58 = 0,861X_1^2 + 0,796X_2^2 + 0,518X_3^2. \quad (4)$$

Рассматривая уравнения неравномерности высева между аппаратами в канонической форме, следует отметить, что поверхности отклика представляют собой эллипсоид вращения, имеют минимум в центре эллипсоида, так как все коэффициенты имеют положительные знаки. Экстремум лежит в исследуемой области, что подтверждает правильность выбора пределов варьирования переменных факторов. При раскодировании координат особой точки из уравнения (3) получены натуральные значения факторов: угол β – 40° ; шаг между штифтами – 12 мм; высота штифта – 7,5 мм. При этом неравномерность высева между аппаратами равна 1,87 %.

Рассмотрев уравнение (4), получим следующие натуральные значения факторов в центре эксперимента:

$$\beta = 40^\circ; \quad s = 12,5 \text{ мм}; \quad h = 7,7 \text{ мм}.$$

Неустойчивость высева в центре фигуры равна 1,58 %. Как видно из приведенных результатов, центры экспериментов для неравномерности высева между аппаратами и неустойчивости высева очень близки, что облегчает поиск оптимальных параметров.

Для установления условий процесса, обеспечивающих наименьшую неравномерность и неустойчивость высева, воспользовались графоаналитическим способом, основанным на рассмотрении двумерных сечений поверхности Y_1 , совмещенных с двумерными сечениями поверхности отклика Y_2 и выборе условий экстремумов.

Анализ уравнений (3) и (4) и совмещенных двумерных сечений позволяет установить конструктивные параметры высевающего аппарата, которые должны иметь следующие значения:

- угол наклона боковых поверхностей штифта к вертикальной и горизонтальной осям $\beta^0 = 40-45^\circ$;
- шаг между штифтами $s = 12-13$ мм;
- высота штифта $h = 7,5-7,7$ мм;
- зазор между катушкой и донышком $\delta = 6$ мм.

Анализ дозирования при переходных процессах. Норма внесения высеваемого материала регулируется посредством автоматического изменения частоты вращения катушки, приводимой во вращение посредством цепных передач от бесступенчатого редуктора, изменением положения управляемой ручки, кинематически связанной со штоком линейного актуатора, получающим сигналы от блока контроля и управления в зависимости от содержания элементов питания на элементарных участках поля (согласно заданиям электронной карты).

Лабораторные опыты проводились как с семенами, так и с удобрениями. Производительность дозирующего аппарата напрямую зависит от степени открытия актуатора и частоты вращения высевающей катушки.

Анализ показывает, что максимальное время перехода с наибольшей дозы до закрытия актуатора составляет 9 с. Мини-

мальное время перехода с одной дозы на другую составляет 0,9 с.

Качественные показатели работы дозирующих экспериментальных катушечных аппаратов таковы: неравномерность высева между аппаратами с семенами не превышает 5-7 %, с удобрениями – 10-12 %, а неустойчивость высева не превышает с семенами 3-5 %, с удобрениями – 6-7 %. Наименьшие значения коэффициентов вариации с семенами – 5-5,2 % получены при частоте вращения катушки 32 об./мин., и степени открытия актуатора – 50 %.

Максимальные значения неравномерности высева между аппаратами и неустойчивости высева получены при наименьшем открытии актуатора 10 %, и частоте вращения – 22 об./мин.

По результатам эксперимента и обработки данных получены переходные характеристики, имеющие вид, характерный для апе-

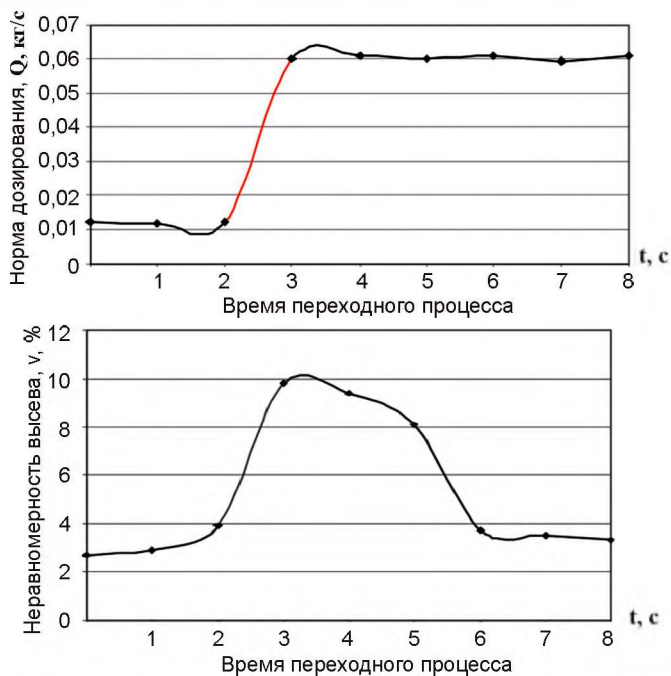


Рис. 3. Переходные характеристики высевающей системы

риодического звена со временем запаздывания 2,9-3,1 с (рис. 3).

В соответствии с переходными характеристиками установлено, что экспериментальный катушечно-штифтовый высевающий аппарат может быть представлен как апериодическое звено, если управляющим воздействием является частота вращения катушки. Судя по графику, норма высева стабилизируется через 2,8-4 с после начала переходного процесса. Неравномерность высева в начале переходного процесса минимальна, затем резко возрастает до 9,9-10,2 %. После вхождения в дозу наблюдается убывание неравномерности высева и стабилизация на уровне 2,5-4,5 %. Сравнение переходных процессов дозирования с равномерностью высева позволяет заключить, что при управлении по качественному критерию передаточную функцию можно определить по кривой разгона. Кривую разгона аппроксимировали функцией вида [16]:

$$W(p) = \frac{k_{yc} \cdot e^{-p \cdot \tau}}{T_a \cdot p + 1}, \quad (5)$$

где k_{yc} – коэффициент усиления;
 τ – время запаздывания;
 T_a – время разгона;
 p – оператор.

Так как характеристики передаточной функции зависят от конструктивных и кинематических параметров высевающей системы, то для решения данной задачи воспользовались графическим методом их определения. Проведя касательную в точке перегиба кривой разгона, определили время запаздывания τ и время разгона T_a : $\tau = 1,9$ с, $T_a = 1,3$ с.

Коэффициент усиления k_{yc} определяется как отношение выхода к входу в установившемся состоянии:

$$k_{yc} = \frac{\Delta y_{вых}(\infty)}{\Delta y_{вх}(\infty)} = \frac{2,9}{3,0} = 0,97$$

С учетом времени запаздывания передаточная функция катушечно-штифтового высевающего аппарата принимает вид:

$$W(p) = \frac{0,97 \cdot e^{-p \cdot 1,9}}{1,3 \cdot p + 1}.$$

Аналитическое значение переходной функции можно определить с помощью обратного преобразования Лапласа:

$$Q(t) = L^{-1} \left[\frac{1}{p} \cdot W(p) \right] = L^{-1} \left[\frac{1}{p} \cdot \frac{k_{yc} \cdot e^{-p \cdot \tau}}{T_a \cdot p + 1} \right] = k_{yc} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t-\tau}{T_a}} \right).$$

$$Q(t) = 0,97 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t-1,9}{1,3}} \right),$$

где L^{-1} – обозначение операции обратного преобразования Лапласа.

Проверка соответствия переходной функции и кривой разгона с помощью критерия Колмогорова [17, 18] показала, что гипотеза соответствия не отвергается при уровне значимости 0,9.

На рис. 4 и 5 показаны зависимости массы высеянных семян и внесенных удобрений (m) от времени (t) при открытии и закрытии актуатора. В переходном процессе с увеличением времени открытия актуатора увеличивается масса высеянного материала. Так, при открытии актуатора максимальная масса высеянных семян составляет 73 г, а при закрытии – 68 г. При открытии актуатора максимальная масса внесенных удобрений составляет 65 г, а при закрытии – 51 г. Минимальная масса при переходе с одной дозы на другую при 10 %-ном открытии актуатора – 2-12 г.

Обсуждение. Основным недостатком серийной штифтовой катушки является наличие «пассивной зоны» – зоны, расположенной на передней стенке штифта, у основания катушки. При внесении влажных туков удобрения задерживаются в «пассивных зонах». Происходит их наращивание и заполняется рабочая зона между штифтами. В результате штифтовая катушка пре-

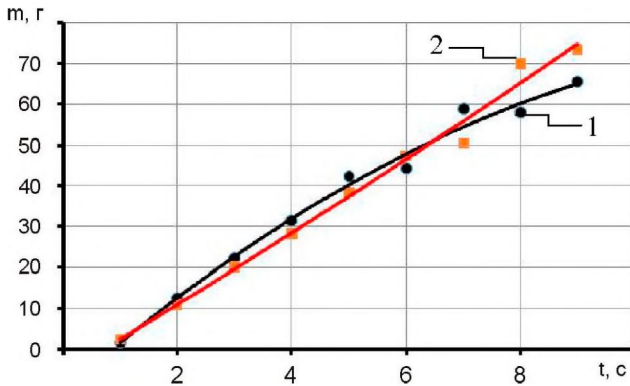


Рис. 4. Зависимость массы высеянных семян и внесенных удобрений (m) от времени открытия актуатора (t): 1 – удобрения $y = -0,438x^2 + 12,31x - 10,28$; 2 – семена $y = 0,072x^2 + 8,278x - 5,752$

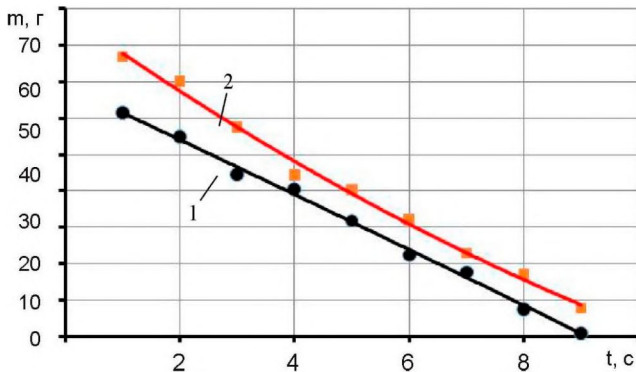


Рис. 5. Зависимость массы высеянных семян и внесенных удобрений (m) от времени закрытия актуатора (t): 1 – удобрения $y = -0,019x^2 - 7,373x + 68,72$; 2 – семена $y = 0,248x^2 - 11,08x + 88,38$

вращается в «цилиндрический ролик» и прекращается технологический процесс высева [10].

Для работы в условиях автоматического изменения дозы внесения удобрений в системе точного земледелия необходи-

мы высокоадаптивные, но простые по конструкции, надежные туковысевающие аппараты. Наиболее подходит к этим требованиям штифтовая катушка.

В предлагаемой высевающей катушке выполнение штифтов в форме усеченной четырехгранной пирамиды исключает «пассивные зоны», а расположение их на пересечении левой и правой многозаходных винтовых линий не дает удобрениям залипать. Результаты исследования показывают, что ширина катушки может меняться в зависимости от конструкции сеялки или удобрения. Если в удобрениях на базе СЗС-2,0, где применяются 9 высевающих аппаратов, ширина составляет 60 мм, то в высевающих системах с центральным распределением она может быть больше в 2-3 раза.

Управление подачей материала – дозой внесения можно обеспечить изменением частоты вращения высевающей катушки или путем изменения площади высевного окна. Разработанный блок контроля и управления дозирующей системой машины позволяет управлять дозированием обоими путями, что является ее превосходством по сравнению с аналогами [8, 9].

Качественные показатели работы дозирующих экспериментальных катушечных аппаратов при автоматическом изменении норм высева семян и доз внесения удобрения (при переходных процессах) – неравномерность высева между аппаратами и неустойчивость высева не превышают с семенами 3-7 %, с удобрениями – 6-12 %, что показывает их соответствие агротехническим требованиям.

По результатам анализа неравномерности внесения при переходных процессах установлено, что от 2,5 до 3,5 с неравномерность внесения варьируют в пределах 10-11 %, а более 3 с – в пределах 3-9 %. Если считать, что при скорости 8 км/ч агрегат за 3 с проедет 6-7 м, то при размере элементарного участка 1 га (100·100 м) возможно применение дозаторов с большим в 2-3 раза временем вхождения в дозу.

Выводы. Исследования показали, что дозирование, осуществляемое посредством винтового ворошителя удобрений, размещенного в бункере катушечного дозатора, управляемого бло-

ком контроля и управления дозирующей системой машины посредством изменения оборотов катушки за счет бесступенчатого редуктора и линейного актуатора, обеспечивает устойчивое функционирование высевальной системы, соответствующей агротехническим требованиям: неравномерность высева между аппаратами с семенами не превышает 5-7 %, с удобрениями – 10-12 % и неустойчивость высева не превышает с семенами 3-5 %, с удобрениями – 6-7 %. Усовершенствованная автоматизированная зернотуковая сеялка может осуществить дифференцированный посев семян зерновых культур и высева минеральных удобрений согласно заданиям электронных карт (в режиме of-line) в принятой системе позиционирования.

Список литературы

1 Личман Г.И., Марченко Н.М., Дринча В.М. Основные принципы и перспективы применения точного земледелия. – М.: Россельхозакадемия, 2004. – 81 с.

2 Марченко Н.М., Личман Г.И., Нукешев С.О. Перспективные направления производства продукции растениеводства в системе точного земледелия // Современные проблемы почвозащитного земледелия и пути повышения устойчивости зернового производства в степных регионах: сб. докл. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию РГП «НПЦ зернового хозяйства им. А.И.Бараева» МСХ РК. – Шортанды, 2006. – С. 242-247.

3 Нукешев С.О. Координатное земледелие – реалии и перспективы в Казахстане // Труды Междунар. науч. конф. «Наука и образование – ведущий фактор стратегии «Казахстан – 2030». – Караганда: КарГТУ, 2006. – Вып. 2. – С. 383-385.

4 Куришбаев А.К. Состояние и проблемы зернового производства в Республике Казахстан // Вестник с.-х. науки Казахстана. – 2003. – № 11. – С. 4.

5 Елешев Р.Е. Агротехническое обслуживание в Казахстане: состояние и перспективы // Вестник с.-х. науки Казахстана. – 2005. – № 9. – С. 20.

6 *Госсен Э.Ф.* К вопросу об агроландшафтном районировании пашни Северного Казахстана с помощью дистанционного зондирования // Сб. ст. по матер. докл. науч.-теорет. конф. «Освоение целинных и залежных земель: история и современность» (4-6 декабря 2003 г.). – Астана: КазАУ, 2004. – С. 78.

7 *Куришбаев А.К., Нукешев С.О.* Перспективы технологии дифференцированного применения минеральных удобрений в условиях Северного Казахстана // Комплексное развитие сельских территорий и инновационные технологии в агропромышленном комплексе: матер. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 20-летию образования ИЗОП НГАУ. – Новосибирск, 2012. – С. 181-185.

8 *Забродин В.П.* Механизация процессов адаптивного внесения минеральных удобрений: автореф. дис. ...докт. техн. наук. – Зерноград, 2004. – 60 с.

9 *Белых С.А.* Обоснование параметров дозирующей системы машины для дифференцированного внесения минеральных удобрений: автореф. ...канд. техн. наук. – М.: ВИМ, 2005. – 16 с.

10 *Nukeshev S., Karaivanov D.* Technological and technical solutions of the problem of variable rate application of mineral fertilizers in conditions of northern Kazakhstan // International virtual journal for science, technics and innovations for the industry. YEAR VII; Issue 7/2013: 53-54.

11 *Нукешев С.О., Личман Г.И., Романюк Н.Н.* Основные научные направления по разработке технологий и технических средств для дифференцированного воздействия на систему «почва – растение» // Прорывные технологии и инновации в экономики Беларуси и Казахстана: сб. матер. Междунар. науч.-практ. конф. (6 декабря 2013 г.). – Минск: БНТУ, 2013. – С. 72-75.

12 *Virk S.S., Mullenix D.K., Sharda A. et al.* Casestudy: distribution uniformity of ablened fertilizer applied using avariable-ratespinner-discspreader // Applied Engineering in Agriculture. – 2013. – Vol. 29(5). – P. 1-10.

13 *Seid Hussen, Brzeggen Alemub, Fentaye Ahmed.* Effect of Planting Depthon Growth Performance of Maize (Zea-Mays) at the

Experimental Site of Wollo University, Dessie, Ethiopia // International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR). – 2013. – Vol. 8, № 1. – P. 10-15.

14 *Altikat S.* Effects of Strip Width and Tractor Forward Speed on Sowing Uniformity of Maize and Sunflower // Bulg. J. Agric. Sci. – 2013. – Vol. 19. – P. 375-382.

15 *Bertonha R.Sc. et al.* Tractor performance and corn crop development as a function of furrow opener and working depth in a Red Latosol // Australian Journal of crop Science (AJCS). – 2015. – Vol. 9(9). – P. 812-818.

16 *Кулаков Г.Т.* Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования. – Минск: Вышэйшая школа, 1984. – 192 с.

17 *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. – М.: Высшая школа, 2006. – 575 с.

18 *Бочаров П.П., Печинкин А.В.* Теория вероятностей // Математическая статистика. – М.: Физматлит, 2005. – 296 с.

Нукешев Саяхат Оразович, доктор технических наук, профессор, академик АСХН РК, член-корреспондент НАН РК, декан технического факультета КАТУ им. С.Сейфуллина, тел.: +7(717) 239-73-30, +770-15-12-97-91, e-mail: snukeshev@mail.ru

Есхожин Джадыгер Зарлыкович, доктор технических наук, профессор, академик АСХН РК, профессор кафедры технической механики, тел.: 8(717) 239-74-46, e-mail: 5290487@mail.ru

Личман Геннадий Иванович, доктор технических наук, заведующий лабораторией Всероссийского научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства (ВИМ), Россия, г. Москва

Ахметов Ержан Советович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Техническая механика» технического факультета КАТУ им. С.Сейфуллина, тел.: 8(7172) 39-74-09, 870-14-39-70-76, e-mail: ErzhanAS_75@mail.ru

Есхожин Кайрат Джадыгерович, кандидат технических наук, доцент кафедры сельскохозяйственных и зерноперерабатывающих машин

Золотухин Евгений Александрович, магистр сельскохозяйственных наук, докторант кафедры технической механики КАТУ им. С.Сейфуллина