

5. Вибрации в технике: справочник. В 6-ти ч. Т. 2. Колебания нелинейных механических систем / под ред. И.И. Блехмана. – М.: Машиностроение, 1979. – 351 с.

6. Жилкин В.А. Подводные камни при решении задач земледельческой механики в системе Mathcad. – Вестник ЧГАУ, Т.55, 2009. – С. 65-80.

References

1. Kobets A.S. i dr. Pochvoobrabatyvayushchie orudiya: sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya // Geotekhnichna mekhanika. – 2013. – № 108. – С. 79-88.

2. Siraziev L.F., Valiev A.R. Klassifikatsiya kolebaniy i ispolzovanie ikh v pochvoobrabatyvayushchey tekhnike // Vestnik Kurskoy s.-kh. akademii. – 2013. – № 2. – С. 3-5.

3. Klochkov A.V., Semenov L.Yu. Obosnovanie parametrov pruzhinnykh zubev // Mekh. i elektr. sots. sel. khozaystva. – 1981. – № 3. – С. 22-23.

4. Vilde A. i dr. Vliyaniye skorosti na soprotivleniye skolzheniyu pochvy po stalnoy poverkhnosti // Energobespecheniye i energosberezheniye v s.-kh. / Trudy 6-oy Mezhdunarodnoy nauchn.-tekhn. konferentsii. Chast 2. – М.: GNU VIESKh, 2008. – 320 s.

5. Vibratsii v tekhnike: spravochnik. V 6-ti ch. T. 2. Kolebaniya nelineynykh mekhanicheskikh sistem / pod red. I.I. Blekhmana. – М.: Mashinostroeniye, 1979. – 351 s.

6. Zhilkin V.A. Podvodnye kamni pri reshenii zadach zemledelcheskoy mekhaniki v sisteme Mathcad // Vestnik ChGAU. – 2009. – Т. 55. – С. 65-80.



УДК 631.145. 631.17

А.Х. Габаев
A.Kh. Gabayev

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ БОРЗДООБРАЗУЮЩЕГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ДЛЯ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ МЕТОДОМ МНОГОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

MATHEMATICAL MODEL OF OPERATION AND IDENTIFICATION OF THE MAIN DESIGN PARAMETERS OF FURROW-FORMING WORKING BODY FOR HIGH MOISTURE CONDITIONS DEVELOPED BY MULTIFACTOR EXPERIMENT METHOD

Ключевые слова: почва, диск, сошник, борозда, диаметр, радиус, толщина, параметр, модель, многофакторный.

Современные отечественные и зарубежные машиностроители предлагают различные модели посевных машин с различными конструкциями сошников. Как правило, зерновые сеялки снабжаются двухдисковыми сошниками, реже однодисковыми сферическими, в основном в той или иной степени отвечающими требованиям к посеву. Однако у предлагаемых посевных машин, на фоне многих положительных качеств имеется ряд недостатков. К положительным следует отнести их достаточно высокую надежность с точки зрения исключения поломок. К недостаткам двухдисковых сошников можно отнести менее равномерное распределение семян по площади питания и невозможность проводить посевные работы вследствие потери работоспособности сошников условиях повышенной влажности почвы. Для устранения присущих стандартным сошникам недостатков нами разработана новая конструкция бороздообразующего рабочего органа, которая позволяет проводить посевные работы в условиях повышенной влажности почвы. Приводятся результаты исследований, посвященные определению соотношении основных конструктивных параметров модернизированного бороздообразующего рабочего органа адаптированного для работы в условиях повышенной влажности почвы. Анализируя результаты проведенных теоретических исследований, нами установлены основные конструктивные параметры, имеющие решающее значение при формировании бороздки для семян модернизирован-

ном бороздообразующим устройством в условиях повышенной влажности почвы. Основными конструктивными параметрами бороздообразующего устройства, не учитывая его подвеску, являются радиус r бороздообразующей накладки, его толщина b и угол α конической части. Результаты проведенных опытов позволили провести математическую обработку результатов теоретических исследований и определить оптимальные конструктивные параметры бороздообразующего устройства методом многофакторного эксперимента.

Keywords: soil, disk, opener, furrow, diameter, radius, thickness, parameter, model, multifactor.

Modern domestic and foreign mechanical engineering manufacturers offer different makes of sowing equipment with different coulters designs; as a rule, grain seeders are supplied with two-disc coulters, rarely – single-disc spherical ones, they mostly to some extent meet the requirements for seeding. However, the proposed sowing machines, along with many positive features, have a number of drawbacks. The positive features their high reliability. The disadvantages of two-disc coulters include less even distribution of seeds and the inability to perform seeding operations due to loss of coulters efficiency under the conditions of high soil moisture. To eliminate the drawbacks of standard coulters, we have developed a new design of a furrow-forming working element which enables to perform seeding under the conditions of high soil moisture. This paper presents the research findings on the determination of the ratio of the

basic design parameters of the modernized furrow-forming working tool adapted for operation under the conditions of high soil moisture. Analyzing the results of the theoretical studies, we have found the main design parameters that are crucial in the formation of the furrow for seeds by modernized furrow-forming device under the conditions of high soil moisture. The main design parameters of the furrow-forming device, not including its

suspension, are the radius r of the furrow-forming patch, its thickness b and the angle α of the conical part. The results of the experiments made it possible to carry out mathematical processing of the results of theoretical studies and determine the optimal design parameters of the furrow-forming device by means of multifactor experiment.

Габаев Алий Халисович, ассист., каф. «Механизация сельского хозяйства», Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова. E-mail: alii_gabaev@bk.ru.

Gabayev Aliy Khalisovich, Asst., Chair of Farm Mechanization, Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V.M. Kokov. E-mail: alii_gabaev@bk.ru.

Введение

Предлагаемые на сегодняшний день отечественными и зарубежными машиностроителями различные модели посевных машин для посева семян зерновых культур снабжаются сошниками различных конструкций [1]. Наряду с положительными качествами (достаточно высокая надежность) с точки зрения исключения поломок они имеют и ряд недостатков, к которым можно отнести менее равномерное распределение семян по площади питания и невозможность проводить посевные работы вследствие потери работоспособности сошников условиях повышенной влажности почвы.

Цель и задача исследований заключается в определении соотношения основных конструктивных параметров модернизированного бороздообразующего рабочего органа, адаптированного для работы в условиях повышенной влажности почвы.

Анализируя проведенные теоретические расчеты, можно отметить, что на качество формирования бороздки для семян при посеве зерновых колосовых культур модернизированным бороздообразующим рабочим органом практически не влияет скорость движения агрегата, если он находится в оптимальном диапазоне [2]. Решающее значение имеют основные конструктивные параметры, такие как радиус r бороздообразующей накладки, его толщина b и угол α конической части.

Объекты и методы

Объектом исследования явился разработанный нами бороздообразующий рабочий орган – сошник (патент РФ № 2511237), позволяющий проводить посевные работы в условиях повышенной влажности почвы, благодаря тому, что два бороздообразующих диска установлены параллельно направлению движения агрегата и выполнены в виде дисковых ножей с режущими кромками. По обе стороны дисков болтами крепятся бороздообразующие накладки из полимерного материала (Фторопласта), обладающего гидрофобными свойствами, что препятствует налипанию влажной почвы на рабочие поверхности бороздоформирующих накладок.

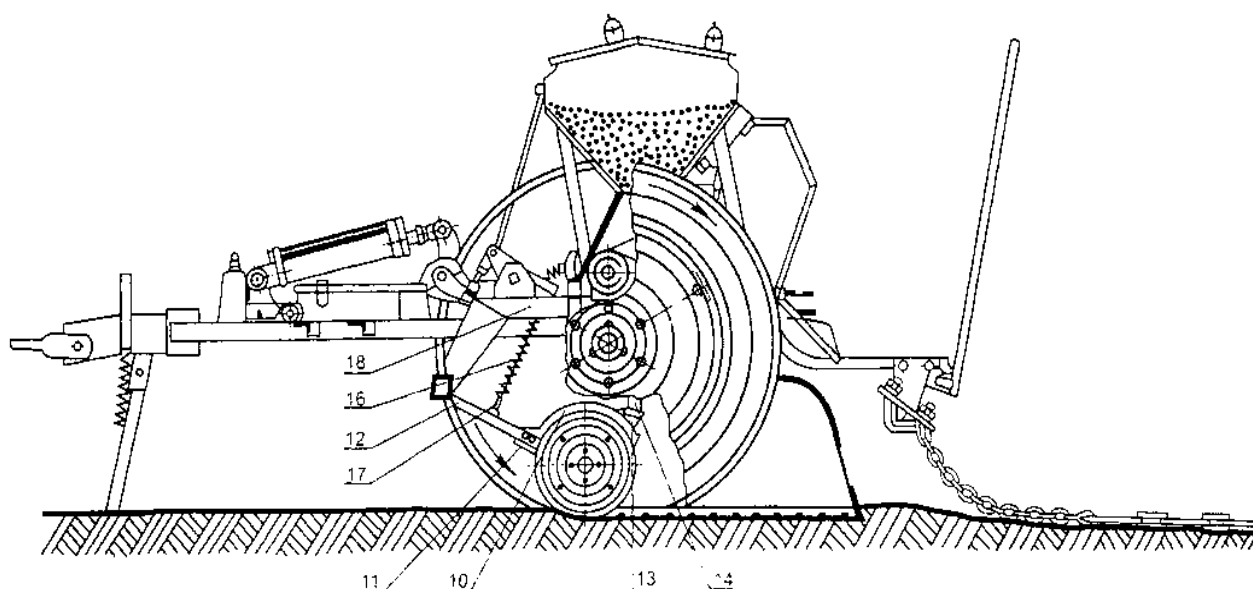
На рисунке 1 изображена сеялка с предлагаемым устройством для посева семян зерновых культур – общий вид и разрез модернизированного устройства для посева семян зерновых культур в разрезе [3]. С наружной стороны дискового ножа 1 (разрез) прикреплены ступица 3 и крышка 4, внутри которой находится шариковый подшипник 5. Во внутреннем кольце шарикового подшипника 5 запрессован стержень болта 6. Между дисковым ножом 1 и боковым круглым выступом 7 корпуса 8 находится резиновый кольцевой уплотнитель 9. Корпус 8 имеет сверху гребень 10 в передней части, у которого есть гнездо 11 для крепления поводка 12 (разрез), а задней – раструб 13, к которому присоединяется семяпровод 14, а к нижней части прикреплен делительная воронка 15. Внедрение сошников в почву осуществляется под нажимом спиральных пружин 16, надетых на штанги 17, нижние концы которых опираются на поводки 12, а верхние соединены шарнирно с вилками подъема 18.

Методом многофакторного эксперимента нами проведена математическая обработка полученных теоретических данных для определения оптимальных конструктивных параметров бороздообразующего устройства посевной машины для работы в условиях повышенной влажности почвы. В качестве критерия оптимизации выбрана равномерность глубины хода бороздообразующего устройства, т. е. его максимальное отклонение от заданной глубины заделки семян Δh_{\max} .

Экспериментальная часть

Результаты исследований выявили основные факторы, влияющие на равномерность глубины хода бороздообразующего устройства [4]:

1. Физико-механические свойства почвы:
 - твердость почвы, определяемая коэффициентом объемного смятия q_0 , Н/м³;
 - изменение твердости почвы по длине борозды Δq , Н/м³;
 - шаг изменений твердости почвы p , м;
 - коэффициент трения бороздообразующей накладки о почву f .



Бороздообразующее устройство (разрез)

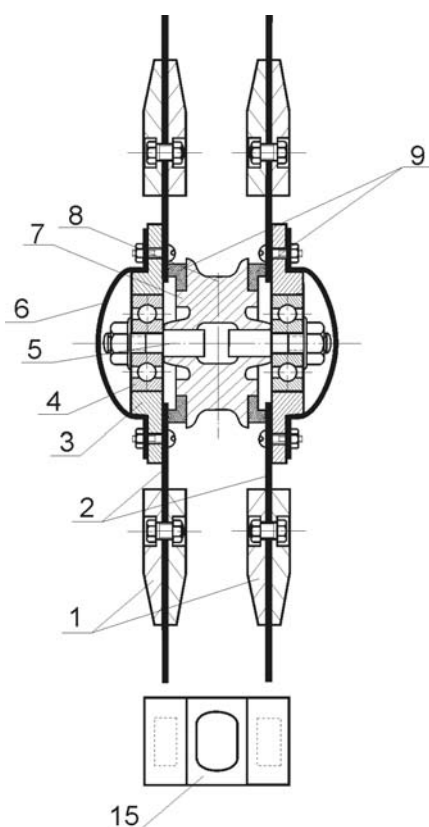


Рис. 1. Модернизированная сеялка:

- 1 – бороздообразующая накладка; 2 – дисковый нож; 3 – ступица;
 4 – подшипник; 5 – гайка; 6 – крышка; 7 – боковой выступ; 8 – корпус;
 9 – резиновый уплотнитель; 10 – гребень; 11 – гнездо; 12 – поводок;
 13 – раструб; 14 – семяпровод; 15 – делительная воронка; 16 – пружина;
 17 – штанга; 18 – вилка подъема; 19 – делительная воронка

2. Конструктивные параметры подвески бороздообразующего устройства к сеялке (рис. 2):

- высота точки подвеса h , м;
- расстояние от точки подвеса до оси вращения бороздообразующих накладок l , м;
- расстояние от точки подвеса поводка до линии действия пружины l_0 , м;
- коэффициент жесткости нажимной пружины k_n , Н/м;
- момент инерции подвески относительно точки подвеса c_1 , кг/м².

3. Конструктивные параметры бороздообразующего устройства:

- высота клиновидной части бороздообразующей накладки h_k , м;
- радиус бороздообразующей накладки r_1 , м;
- толщина бороздообразующей накладки b , м;
- угол конуса бороздообразующей накладки α , °;
- вес бороздообразующего устройства c_2 , Н;
- плотность материала бороздообразующей накладки (фторопласт) ρ , кг/м³.

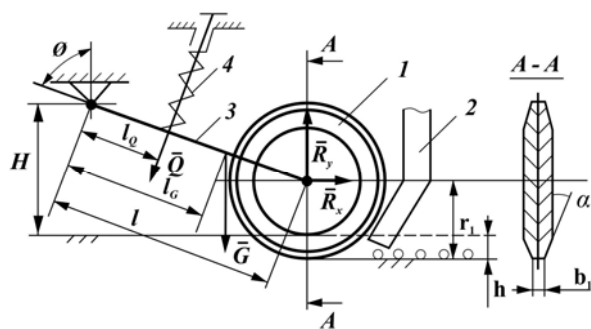


Рис. 2. Схема модернизированного бороздообразующего устройства:
1 – бороздообразующая накладка;
2 – направляющая трубка для семян;
3 – поводок; 4 – нажимная штанга с пружиной

Для сведения всех вышеперечисленных факторов в единую систему нами разработана математическая модель процесса работы бороздообразующего устройства. Для реализации этой модели составлена программа для ЭВМ, позволяющая получить значения критерия оптимизации, задавая значения факторов. При расчетах использованы параметры стандартной подвески сошника зерновой сеялки СЗ-3,6.

Результаты и их обсуждение

Результаты проведенных исследований позволяют провести математическую обработку для определения оптимальных конструктивных параметров бороздообразующей накладки методом многофакторного эксперимента. В качестве критерия оптимизации выбрана равномерность хода по глубине бороздообразующего устройства, т. е. его максимальное отклонение от заданной глубины заделки семян Δh_{max} .

Обработка экспериментальных данных производили с помощью табличного редактора Microsoft Excel с надстройкой «анализ данных», программы STATISTIKA 6.0 и MathCad, позволяющих проводить статистический анализ.

Оценка адекватности математической модели реальному процессу проводилась путем сравнения зависимостей, полученных теоретически и экспериментально. Полученные зависимости лежат в доверительной зоне с уровнем значимости 5%, что свидетельствует о совпадении теоретических и экспериментальных исследований и адекватности модели [5].

На основании предварительных исследований определено, что минимальное значение радиуса бороздообразующей накладки составляет 0,15 м, минимальное значение угла конической части 13°, толщина бороздообразующей накладки 0,02 м. Исходя из этого были приняты следующие уровни варьирования факторов (табл.).

Результаты эксперимента представлены в приложении.

Коэффициенты регрессии: $b_0= 13,200$; $b_1= -0,640$; $b_2= -0,315$; $b_3= -0,790$; $b_{12}= 0,007$; $b_{23}= 0,004$; $b_{13}= 0,050$.

Уровни варьирования факторов

Уровни варьирования	Факторы		
	г, [м]	б, [м]	α , [°]
Нижний (-)	0,10	0,015	10
Нулевой (0)	0,15	0,020	12,5
Верхний (+)	0,20	0,025	15

Критерий Стьюдента для коэффициентов регрессии: $t_0= 11,60$; $t_1= 5,64$; $t_2= 2,77$; $t_3= 6,96$; $t_{12}= 61,72$; $t_{23}= 35,27$; $t_{13}= 44,09$.

Критическое значение критерия Стьюдента при 1%-ном уровне значимости и восьми степенях свободы равно 3,36. Значимые коэффициенты включили в уравнение регрессии.

Адекватность результатов позволяет использовать разработанную модель для обоснования основных конструктивных параметров бороздообразующего устройства посевной машины [5].

По экспериментальным данным получено описание исследуемой системы в виде полиномиального уравнения линейной регрессии.

$$y_i = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{23}x_2x_3 + b_{13}x_1x_3;$$

$$y = 13,2 - 0,640x_1 - 0,315x_2 - 0,790x_3 + 0,007x_1x_2 + 0,004x_2x_3 + 0,050x_1x_3.$$

Заменяя значения факторов их натуральными значениями, получили:

$$\Delta h = 21,296 - 18,360 \cdot r - 73,835 \cdot b - 0,386 \cdot \alpha + 28 \cdot r \cdot b + 0,530 \cdot b \cdot \alpha + 0,400 \cdot r \cdot \alpha;$$

Поверхности отклика, построенные по сочетанию значимых факторов (диаметра, толщине и углу конической части бороздообразующей накладки) приведены на рисунках 3-5.

Анализ полученного уравнения показал, что значение функций отклика растет с ростом факторов г и α , а рост фактора b приводит к уменьшению значения функции отклика.

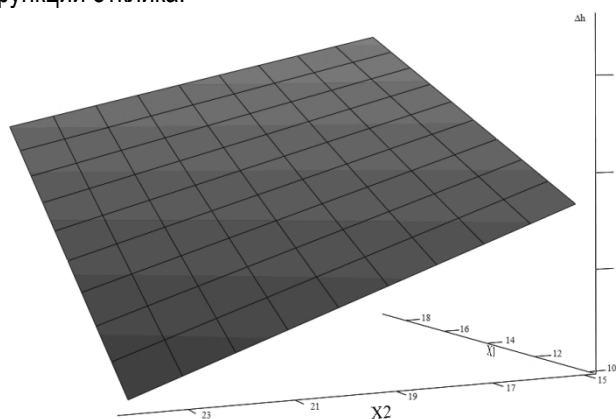


Рис. 3. Зависимость отклонения глубины хода бороздообразующего устройства от диаметра и толщины бороздообразующих накладок при постоянном угле конической части:
 Δh – отклонение глубины хода бороздообразующего устройства; X_1 – диаметр бороздообразующей накладки; X_2 – толщина бороздообразующей накладки

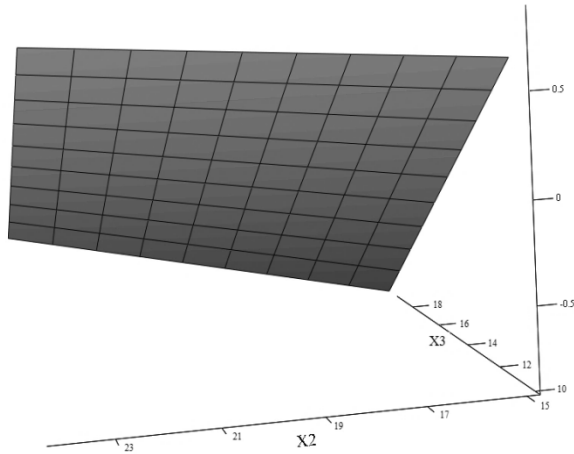


Рис. 4. Зависимость отклонения глубины хода бороздообразующего устройства от толщины и угла конической части при постоянном диаметре бороздообразующих накладок:
 Δh – отклонение глубины хода бороздообразующего устройства; X_2 – толщина бороздообразующей накладки; X_3 – угол конической части бороздообразующей накладки

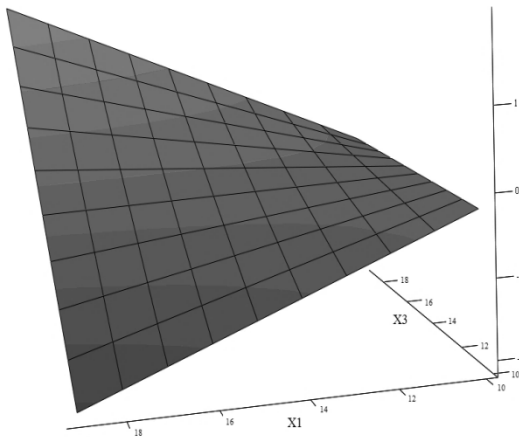


Рис. 5. Зависимость отклонения глубины хода бороздообразующего устройства от диаметра и угла конической части при постоянной толщине бороздообразующих накладок:
 Δh – отклонение глубины хода бороздообразующего устройства; X_1 – диаметр бороздообразующей накладки; X_3 – угол конической части бороздообразующей накладки

Вывод

Допустимое максимальное отклонение глубины бороздки составляет 0,01 м. Это значение функции отклика ограничивает область оптимальных значений b и α . С другой стороны, увеличение радиуса бороздообразующей накладки приводит к уменьшению значений функции отклика, но он ограничен по конструктивным соображениям. Исходя из вышеизложенного, можно принять рациональные значения значимых

факторов в следующих пределах: $r=0,15-0,18$ м; $b=0,015-0,020$ м; $\alpha=13-15^\circ$.

Библиографический список

1. Хахов, М.А., Каскулов М.Х. Исследование процесса работы ребристых катков посевной машины // Известия КБНЦ РАН. – Нальчик, 2003. – № 1 (9). – С. 31-34.
2. Горячкин В.П., Гранвуане А.Х. Теоретическое обоснование сеялок-культиваторов. – М.: Колос, 1986. – 358 с.
3. Патент RU №2511237 С1 А01С7/20 Бюл. №10 от 10.04.2014 г.
4. Габаев А.Х., Хамоков Х.А. Теоретическое исследование факторов, влияющих на устойчивость хода по глубине бороздообразующего устройства. // Известия оренбургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4 (60). – С. 95-97.
5. Габаев А.Х., Нам А.К. Математическая модель работы бороздообразующего рабочего органа посевной машины и определение его оптимальных конструктивных параметров методом многофакторного эксперимента // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 43. – С. 317-321.
6. Габаев А.Х., Нам А.К. Математическая модель и программа расчета процесса распределения семян на дне борозды при посеве семян зерновых культур сеялками с дисковыми бороздообразующими рабочими органами // Известия Международной академии аграрного образования. – 2016. – № 31. – С. 16-22.

References

1. Khakhov M.A., Kaskulov M.Kh. Issledovanie protsessa raboty rebristyx katkov posevnoy mashiny // Izvestiya KBNTs RAN. – Nalchik, 2003. – № 1 (9). – S. 31-34.
2. Goryachkin V.P., Granvuane A.Kh. Teoreticheskoe obosnovanie seyalok-kultivatorov. – M.: Kolos, 1986. – 358 s.
3. Patent RU № 2511237 S1 A01S7/20 Byul. № 10 ot 10.04.2014 g.
4. Gabaev A.Kh., Khamokov Kh.A. Teoreticheskoe issledovanie faktorov, vliyayushchikh na ustoychivost khoda po glubine borozdoobrazuyushchego ustroystva // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – № 4 (60). – S. 95-97.
5. Gabaev A.Kh., Nam A.K. Matematicheskaya model raboty borozdoobrazuyushchego rabocheho organa posevnoy mashiny i opredelenie ego optimalnykh konstruktivnykh parametrov metodom mnogofaktornogo eksperimenta // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – № 43. – S. 317-321.
6. Gabaev A.Kh., Nam A.K. Matematicheskaya model i programma rascheta protsessa raspredeleniya semyan na dne borozdy pri poseve semyan zernovykh kultur seyalkami s diskovymi borozdoobrazuyushchimi rabochimi organami // Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya. – 2016. – № 31. – S. 16-22.

