



УДК 631.171

С.А. Суворов, С.Ф. Сороченко, В.А. Дрюк  
S.A. Suvorov, S.F. Sorochenko, V.A. Dryuk

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СМЕСИТЕЛЯ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВЛАГОАККУМУЛИРУЮЩЕЙ КОМПОЗИЦИИ

### EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF MIXER FOR PREPARING NUTRITIVE MOISTURE-ACCUMULATING COMPOSITION

**Ключевые слова:** лабораторные исследования, смеситель, процесс смешивания, повышение продуктивности пастбищ, питательная влагоаккумулирующая композиция, ленточно-винтовая мешалка, планирование эксперимента.

Для повышения продуктивности пастбищ предложен способ, включающий посев зерновых культур для зеленого корма с одновременным внесением питательной влагоаккумулирующей композиции. В высокогорных районах Республики Алтай Кош-Агачского района проведены полевые испытания способа, которые показали его преимущество по сравнению с традиционным способом посева и посевом в сочетании с орошением. Для реализации способа предложена конструкция комбинированного посевного агрегата. Агрегат состоит из шасси, на котором установлены бункер для сухих органических удобрений и смеситель, а также зерновой сеялки с дополнительным оборудованием в виде насоса-дозатора. Для проведения лабораторных испытаний ООО «Завод механических прессов» (г. Барнаул) совместно с авторами изготовили конструкцию опытного смесителя для получения питательной влагоаккумулирующей композиции. Для обоснования конструктивных параметров и режимов работы смесителя при проведении опытов использовалась методика планирования эксперимента. В качестве органоминерального наполнителя применяли перегной, который смешивался с водой. Процесс смешивания оценивали с помощью показателя – коэффициент вариации концентрации перегноя в пересчете на сухое вещество. В результате однофакторных экспериментов определены интервалы варьирования факторов. По результатам метода планирования факторного эксперимента получено уравнение регрессии коэффициента вариации от частоты вращения вала мешалки, времени пере-

мешивания и уровня наполнения смесителя. Определены рациональные параметры работы смесителя.

**Keywords:** laboratory research, mixer, mixing process, pasture productivity improvement, nutritive moisture-accumulating composition, ribbon mixer, experimental design.

To improve the productivity of pastures, a method comprising seeding of crops for green forage with simultaneous application of nutritive moisture-accumulating composition is proposed. This technique was tested in high-mountain areas of the Altai Republic (Kosh-Agach District); its advantage over conventional seeding and seeding in combination with irrigation was revealed. To implement the technique, a design of a combined seeding unit is proposed. The unit consists of a chassis to mount a hopper for dry organic fertilizer and a mixer, as well as a grain drill with additional equipment in the form of a metering pump. To carry out laboratory tests, the factory ООО "Zavod mekhanicheskikh pressov" (Mechanical Press Factory) (Barnaul) together with the authors produced a design of prototype mixer for nutritive moisture-accumulating composition. To substantiate the design parameters and operating modes of the mixer during experiments, the methodology of experimental design was used. Humus mixed with water was used as organic-mineral filler. To evaluate the mixing process, the coefficient of humus concentration variation calculated as dry matter was used. One-factor experiments determined the intervals of factor variation. Using the method of factor experiment planning, an equation of variation coefficient regression of mixer shaft rotation, mixing time and mixer filling level was obtained. Rational parameters of the mixer were determined.

**Суворов Сергей Александрович**, ассист., каф. «Наземные транспортно-технологические системы», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. Тел.: (3852) 29-09-42. E-mail: jet.barnaul@mail.ru.

**Сороченко Сергей Фёдорович**, к.т.н., доцент, проф. каф. «Наземные транспортно-технологические системы», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. Тел.: (3852) 29-09-42. E-mail: sorochenkosf@list.ru.

**Друк Виктор Андреевич**, к.т.н., доцент, каф. «Наземные транспортно-технологические системы», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. Тел.: (3852) 29-09-42. E-mail: druk-viktor-andr@mail.ru.

**Suvorov Sergey Aleksandrovich**, Asst., Chair of Surface Transportation Technological Systems, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. Ph.: (3852) 29-09-42. E-mail: jet.barnaul@mail.ru.

**Sorochenko Sergey Fedorovich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Prof., Chair of Surface Transportation Technological Systems, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. Ph.: (3852) 29-09-42. E-mail: sorochenkosf@list.ru.

**Druk Viktor Andreyevich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Surface Transportation Technological Systems, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. Ph.: (3852) 29-09-42. E-mail: druk-viktor-andr@mail.ru.

### Введение

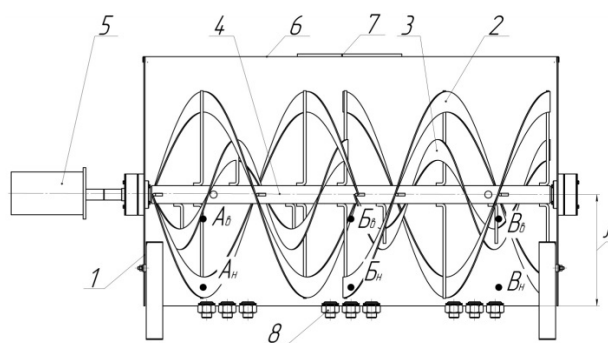
Для повышения продуктивности пастбищ предложен способ, защищенный патентом РФ № 2557618 [1], включающий посев зерновых культур для зеленого корма с одновременным внесением питательной влагоаккумулирующей композиции (ПВК). В высокогорных районах Республики Алтай Кош-Агачского района проведены полевые испытания способа, которые показали его преимущество по сравнению с традиционным способом посева и посевом в сочетании с орошением [2-5]. Для реализации способа предложена конструкция комбинированного посевного агрегата, состоящего из шасси, на котором установлены бункер для сухих органических удобрений и смеситель. К задней части шасси при помощи присоединительного устройства крепится зерновая сеялка, на которой установлено дополнительное оборудование для внесения ПВК в почву.

Разработкой и изготовлением конструкции опытного смесителя для получения питательной влагоаккумулирующей композиции авторы занимались совместно с ООО «Завод механических прессов» (г. Барнаул) при поддержке гранта Губернатора Алтайского края. Смеситель позволяет смешивать органоминеральный наполнитель с жидкими растворами гуминовых удобрений.

**Целью** работы является обоснование конструктивных параметров и режимов работы смесителя.

**Описание конструкции смесителя.** Смеситель состоит из корпуса 1, внутри которого установлена ленточно-винтовая мешалка, состоящая из наружной 2 и внутренней 3 лент, закрепленных на горизонтальном валу 4, один конец которого соединен с гидромотором 5. Наружная лента 2 выполнена из двух частей с левым и правым направлениями навивки, а внутренняя

лента 3 – из двух частей с правым и левым направлениями навивки. В верхней части корпуса установлена крышка 6, в которой имеется загрузочное окно 7. В нижней части корпуса смесителя имеются выходные патрубки 8 для подачи питательной влагоаккумулирующей композиции насосом-дозатором (на схеме не показан). Предлагаемая конструкция смесителя способствует интенсивному перемешиванию раствора за счет создания турбулентности потоков смеси и исключает возможность появления застойных зон.



**Рис. 1. Схема смесителя:**  
**A, B, B** – точки взятия проб;  
**j** – уровень наполнения

### Используемые методы исследований и оборудование

При проведении опытов использовали методику планирования эксперимента [6, 7]. В качестве органоминерального наполнителя применяли перегной, который смешивали с водой.

Для определения интервалов варьирования факторов, а именно частоты вращения вала мешалки ( $n$ ) и времени смешивания ( $t$ ), проводили однофакторные эксперименты. Отобраны пробы раствора ПВК по всему объему смесителя. Схема взятия проб представлена на рисунке 1. При проведении экспериментальных исследований про-

водили смешивание перегноя и воды в соотношении 1:1,5. Уровень наполнения смесителя оставался постоянным  $j=0,5$ . Повторность опытов равна трем.

Для оценки процесса смешивания принят показатель – коэффициент вариации  $V_c$  концентрации перегноя в пересчете на сухое вещество.

Коэффициент вариации  $V_c$  определяли по формуле:

$$V_c = \frac{100}{\bar{c}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}, \quad (1)$$

где  $\bar{c}$  – среднее значение концентрации перегноя в пробах;

$c_i$  – значение концентрации перегноя в  $i$ -той пробе.

Концентрацию перегноя в пробе находили отжимом воды из раствора с последующим определением влажности твердой фазы по стандартной методике и расчётом сухого вещества.

За критерий оптимизации принят коэффициент вариации перегноя  $V_c$ , %. Уровни и интервалы варьирования факторов представлены в таблице.

Эксперименты проводили по трёхфакторному, симметричному, композиционному, трехуровневому плану № 34 [6]. Обработку результатов эксперимента выполняли по стандартной методике [7, 8].

### Полученные результаты, их анализ и обсуждения

В результате однофакторных экспериментов получена зависимость коэффициента вариации перегноя от частоты вращения вала мешалки при уровне наполнения смесителя  $j = 0,5$  (рис. 3).

Наименьшее значение коэффициента вариации наблюдается при частоте вращения  $n=60$  об/мин., наибольшее – при частоте вращения  $n=80$  об/мин. Предполагается, что частицы, вовлеченные во вращение мешалкой, подбрасываются винтовой поверхностью и попадают в центр смесителя, наблюдается завихрение потока.

На рисунке 4 представлена зависимость коэффициента вариации концентрации перегноя от времени перемешивания.



Рис. 2. Общий вид смесителя

Таблица

Факторы и их уровни варьирования

Название фактора	Обозначение фактора	Уровни фактора			Интервал варьирования фактора	Единицы измерения
		-1	0	+1		
Частота вращения, $n$	$X_1$	60	80	100	20	об/мин.
Время смешивания, $t$	$X_2$	10	30	50	20	с
Уровень наполнения смесителя, $j$	$X_3$	0,5	0,75	1	0,25	-



Рис. 3. Зависимость коэффициента вариации перегноя в пересчете на сухое вещество от частоты вращения вала мешалки при уровне наполнения смесителя  $j=0,5$

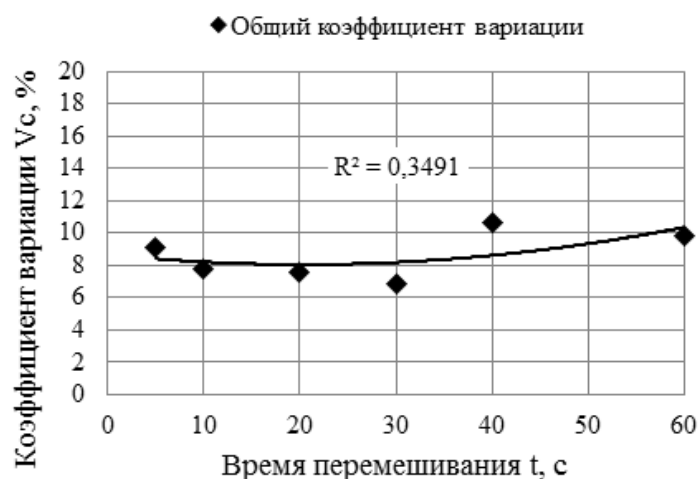


Рис. 4. Зависимость коэффициента вариации концентрации перегноя в пересчете на сухое вещество от времени перемешивания при уровне наполнения  $j=0,5$

Наименьшее значение коэффициента вариации  $V_c=7\%$  достигнуто при времени перемешивания 30 с. В интервале от 10 до 30 с коэффициент вариации находится в интервале от 7 до 8%, что говорит о качественном распределении сухого вещества по всему объему смесителя.

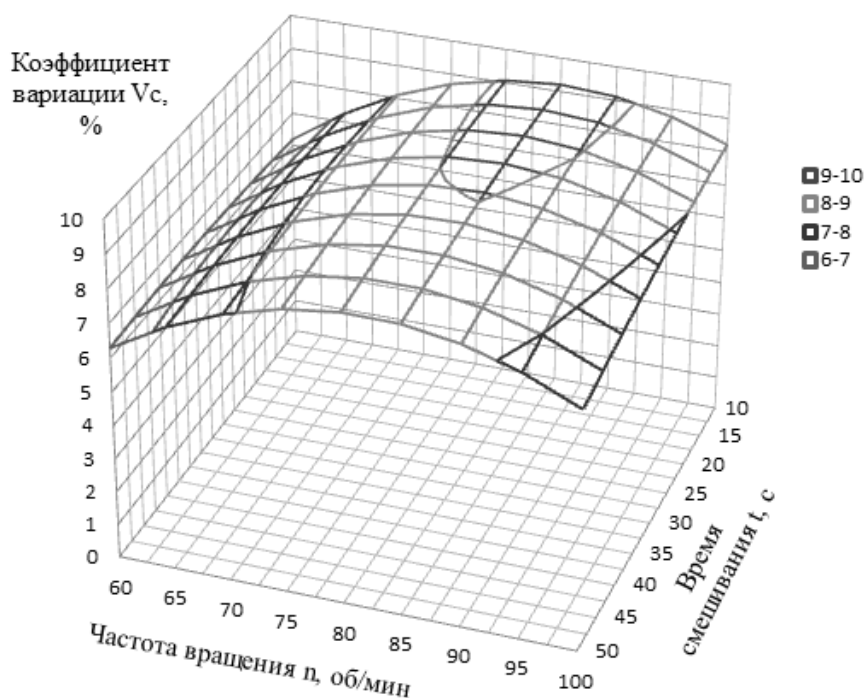
Реализацией плана эксперимента и обработкой результатов получено уравнение регрессии. Адекватность математической модели определяли по критерию Фишера при уровне значимости 0,05. Расчётное значение критерия  $F_p=1,81$ , что меньше

табличного  $F_T=2,2$ , т.е. полученная математическая модель адекватно описывает процесс смешивания.

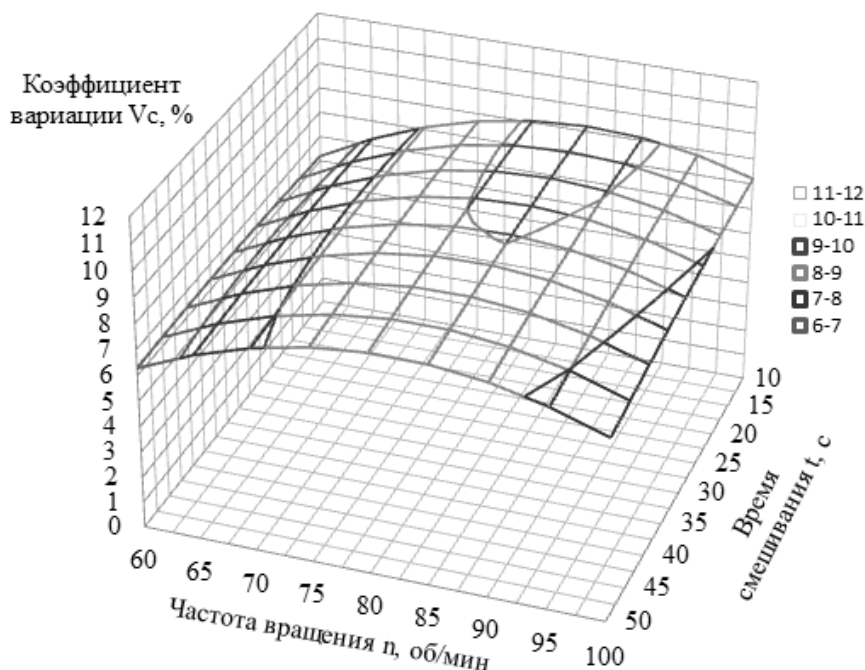
С учетом значимых коэффициентов в раскодированном виде уравнение регрессии имеет вид:

$$V_c = -22,113 + 0,737 \cdot n + 0,100 \cdot t - 6,968 \cdot j - 0,001 \cdot n \cdot t + 0,140 \cdot n \cdot j - 0,056 \cdot t \cdot j - 0,005 \cdot n^2 - 0,001 \cdot t^2. \quad (2)$$

По уравнению регрессии (2) построены поверхности отклика при различных уровнях наполнения смесителя  $j$  (рис. 5, 6).



**Рис. 5.** Поверхность отклика, показывающая зависимость коэффициента вариации концентрации перегноя от частоты вращения вала мешалки и времени смешивания при уровне наполнения  $j=0,5$



**Рис. 6.** Поверхность отклика, показывающая зависимость коэффициента вариации концентрации перегноя от частоты вращения вала мешалки и времени смешивания при уровне наполнения  $j=1,0$

С помощью метода прямого поиска [9] в программе MS Excel 2010 определены рациональные параметры работы ленточно-винтового смесителя: частота вращения вала мешалки  $n=60$  об/мин. и время перемешивания  $t=50$  с при разных значениях уровня наполнения смесителя  $j$  от 0,5 до

1,0. Полученный коэффициент вариации  $V_c$  находится в пределах от 5,60 до 6,29%, что, в соответствии с работой [10], говорит о хорошем качестве смешивания компонентов питательной влагоаккумулирующей композиции.

**Выводы**

1. Предложена конструкция смесителя для смешивания компонентов питательной влагоаккумулирующей композиции.

2. Проведены экспериментальные исследования и разработана математическая модель, описывающая работу смесителя.

3. Определены рациональные параметры работы смесителя: частота вращения вала мешалки  $n=60$  об/мин. и время перемешивания  $t=50$  с при уровне наполнения  $j$  от 0,5 до 1,0.

**Библиографический список**

1. Способ рекультивации песчаных почв в зоне полупустынь и питательная влагоаккумулирующая композиция для его осуществления: пат. 2557618 Рос. Федерация: МПК С09К 17/00 / Куцый В.А., Ситников А.А., Нефедов Е.Н., Сороченко С.Ф., Дрюк В.А., Шишин М.Ю., Томаровский А.А., Суворов С.А.; заявитель и патентообладатель ООО «Теллура-Бис», ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова», ООО «МИП СХМ» – Заявка 2013150453/05; заявл. 12.11.2013; опубл. 27.07.2015.

2. Сороченко С.Ф., Дрюк В.А., Ситников А.А., Нефедов Е.Н., Шишин М.Ю., Куцый В.А., Томаровский А.А., Суворов С.А. и др. Полевые испытания технологии рекультивации песчаных почв // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 2 (112). – С. 46-52.

3. Ситников А.А., Дрюк В.А., Сороченко С.Ф., Нефедов Е.Н., Шишин М.Ю., Куцый В.А., Суворов С.А., Камышов Ю.Н. Технология борьбы с опустыниванием на западе Монголии // Ползуновский вестник. – 2014. – № 4. – Т. 1. – С. 40-44.

4. Дрюк В.А., Суворов С.А., Сороченко С.Ф. и др. Определение состава питательной влагоаккумулирующей композиции для технологии восстановления плодородия обедненных почв // Алтай – Гималаи: традиционные знания и инновации и развития горных и предгорных регионов Евразии: матер. 1-го российско-индийско-монгольского семинара. – Барнаул: Изд-во Фонда «Алтай-21 век», 2015. – 232 с.

5. Суворов С.А., Сороченко С.Ф., Дрюк В.А. Технология восстановления

обедненных почв и агрегат для её восстановления // Переход к зелёной экономике и устойчивому развитию в Алтайском крае: перспективы, механизмы, ключевые направления: матер. межрегион. конф. с междунар. участием (22-24 октября 2015 г.). – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2015. – 199 с.

6. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей / В.З. Бродский, Л.И. Бродский, Т.И. Голикова и др. – М.: Металлургия, 1982. – 752 с.

7. Сороченко С.Ф. Эмпирическое моделирование объектов сельскохозяйственного машиностроения: учебное пособие / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010. – 95 с.

8. Мельников С.В., Алешкин В.Р., Роцин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. – Л.: Колос, 1972. – 200 с.

9. Данилин А.И. Методы оптимизации: учебное пособие. – Самара: Изд-во Самарского государственного аэрокосмического ун-та, 2011. – 66 с.

10. Савиных П.А., Турубанов Н.В., Зырянов Д.А. Обоснование конструкционно-технологических параметров ленточного смесителя // Вестник ВНИИМЖ. – 2015. – № 3 (19). – С. 76-80.

**References**

1. Sposob rekul'tivatsii peschanykh pochv v zone polupustyn' i pitatel'naya vlagoakkumuliruyushchaya kompozitsiya dlya ego osushchestvleniya: pat. 2557618 Ros. Federatsiya: MPK S09K 17/00 / Kutsyy V.A., Sitnikov A.A., Nefedov E.N., Sorochenko S.F., Dryuk V.A., Shishin M.Yu., Tomarovskiy A.A., Suvorov S.A.; zayavitel' i patentoobladatel' ООО «Tellura-Bis», FGBOU VPO «AltGTU im. I.I. Polzunova», ООО «MIP SKhM» – Zayavka 2013150453/05; zayavl. 12.11.2013; opubl. 27.07.2015.

2. Sorochenko S.F., Dryuk V.A., Sitnikov A.A., Nefedov E.N., Shishin M.Yu., Kutsyy V.A., Tomarovskiy A.A., Suvorov S.A. Polevye ispytaniya tekhnologii rekul'tivatsii peschanykh pochv // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2014. – № 2 (112). – S. 46-52.

3. Sitnikov A.A., Dryuk V.A., Sorochenko S.F., Nefedov E.N., Shishin M.Yu., Kutsyy V.A., Suvorov S.A., Kamyshev Yu.N. Tekhnologiya bor'by s opustynivaniem na zapade Mongolii // Polzunovskiy vestnik. – 2014. – № 4 (T. 1). – S. 40-44.
4. Dryuk V.A., Suvorov S.A., Sorochenko S.F. i dr. Opredelenie sostava pitatel'noy vlagoakkumuliruyushchey kompozitsii dlya tekhnologii vosstanovleniya plodorodiya obednennykh pochv // Altay – Gimalai: traditsionnye znaniya i innovatsii i razvitiya gornyykh i predgornyykh regionov Evrazii: materialy 1-go rossiysko-indiysko-mongol'skogo seminar. – Barnaul: Izd-vo Fonda «Altay-21 vek», 2015. – 232 s.
5. Suvorov S.A., Sorochenko S.F., Dryuk V.A. Tekhnologiya vosstanovleniya obednennykh pochv i agregat dlya ee vosstanovleniya // Perekhod k zelenoy ekonomike i ustoychivomu razvitiyu v Altayskom krae: perspektivy, mekhanizmy, klyuchevye napravleniya: materialy mezhrigional'noy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, 22-24 oktyabrya 2015 g. – Barnaul: Izd-vo AltGTU, 2015. – 199 s.
6. Tablitsy planov eksperimenta dlya faktornykh i polinomial'nykh modeley / Brodskiy V.Z., Brodskiy L.I., Golikova T.I. i dr. – M.: Metallurgiya, 1982. – 752 s.
7. Sorochenko S.F. Empiricheskoe modelirovanie ob"ektov sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya: uchebnoe posobie / Alt. gos. tekhn. un-t im. I.I. Polzunova. – Barnaul: Izd-vo AltGTU, 2010. – 95 s.
8. Mel'nikov S.V., Aleshkin V.R., Roshchin P.M. Planirovanie eksperimenta v issledovaniyakh sel'skokhozyaystvennykh protsessov. – L.: Kolos, 1972. – 200 s.
9. Danilin A.I. Metody optimizatsii: uchebnoe posobie. – Samara: Izd-vo Samar'skogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo un-ta, 2011. – 66 s.
10. Savinykh P.A., Turubanov N.V., Zyryanov D.A. Obosnovanie konstruktsionno-tekhnologicheskikh parametrov lentochnogo smesitelya // Vestnik VNIIMZh. – 2015. – № 3 (19). – S. 76-80.

