

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МОБИЛЬНЫХ КОРМОЦЕХОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ

Купреенко А.И., Исаев Х.М., Михайличенко С.М.

Предложен обобщенный граф состояний мобильного кормоцеха, учитывающий вероятностный характер составляющих баланса времени приготовления и раздачи кормосмеси на ферме КРС. Разработан алгоритм для составления системы уравнений Колмогорова к предложенному графу. Получено общее решение системы уравнений для определения времени кормления мобильным кормоцехом в заданных условиях. Найдена закономерность в решении систем уравнений Колмогорова при использовании кормосмесей с различным количеством компонентов.

Ключевые слова: теория графов, уравнения Колмогорова, мобильный кормоцех, раздача кормосмеси, время кормления.

Введение

Мобильные средства механизации приготовления и раздачи кормов на фермах КРС или, как их еще называют, мобильные кормоцеха в настоящее время занимают главенствующую позицию в технологических процессах приготовления и раздачи кормов на фермах КРС, что обусловлено их низкой металлоемкостью, высокой мобильностью, универсальностью и рядом других преимуществ.

На сегодняшний день на рынке существует большое многообразие мобильных кормоцехов. Возможность минимизировать экономические потери, связанные с нарушением технологических процессов приготовления и раздачи кормов, а так же возможность снизить затраты на ГСМ, заработную плату, приобретение техники и ее дальнейшее обслуживание при производстве продукции животноводства напрямую зависит от выбора подходящих для конкретных производственных условий средств механизации приготовления и раздачи кормов, а так же их эффективного использования [1, 10–16].

Одной из задач, решаемых при приобретении сельскохозяйственным предприятием мобильного кормоцеха, является определение времени одного кормления всего поголовья животных на ферме. Это время во многом зависит от таких показателей, как вместимость бункера мобильного кормоцеха, поголовье обслуживаемых животных, количество компонентов в кормосмеси, расстояние между хранилищами кормов и животноводческими помещениями, скорость движения кормоцеха и т.д.

Ранее уже предлагалась методика для определения времени кормления, учитывающая вероятностный характер составляющих баланса времени приготовления и раздачи и цикличности технологического процесса [1–4]. Так же был поставлен вопрос о возможном упрощении расчетов, сведении их к общей математической модели, подходящей для любого количества компонентов в кормосмеси.

Целью работы является разработка обобщенного графа состояний и алгоритма составления и решения, полученных на его основе, уравнений Колмогорова для определения эксплуатационных показателей мобильных кормоцехов.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования является технологический процесс приготовления и раздачи кормов мобильным кормоцехом на ферме КРС. Метод исследования основан на теории графов.

Результаты и их обсуждение

Для решения рассматриваемой проблемы были составлены графы состояний мобильного кормоцеха для двух-, трех-, четырех- и пятикомпонентной кормосмеси, системы уравнений к каждому из графов и найдено их решение. В общем виде граф состояний мобильного кормоцеха для кормосмеси, включающей в себя от 3 до 25 компонентов, представлен на рисунке 1.

Индексы для состояний S_{51} , S_{52} , S_{53} , S_{54} и S_{55} выбраны с тем условием, что количество компонентов в кормосмеси $x \leq 25$. А общее количество состояний мобильного кормоцеха “у” для данного графа можно определить по формуле: $y=2x+5$. Для 25-компонентной кормосмеси состояние S_{2x} на приведенном графе будет соответствовать состоянию S_{50} . Увеличение количества компонентов приведет к необходимости изменять индексы состояний S_{51} , S_{52} , S_{53} , S_{54} и S_{55} , либо отказаться от числовой индексации и заменить ее на буквенную. Поскольку возможность встретить кормосмесь с таким количеством компонентов маловероятна, то считаем предложенную индексацию вполне обоснованной.

Ранее уже был приведен граф состояний мобильного кормоцеха для 5-компонентной кормосмеси ($x=5$) [5,6,7]. В общем виде система

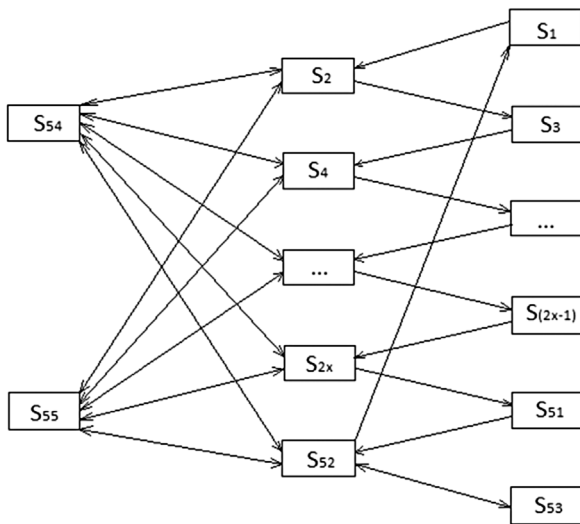


Рис. 1. Граф состояний мобильного кормоцепа для x -компонентной кормосмеси: S_1 – переезд от места стоянки к 1-му хранилищу кормов; $S_3 \dots S_{(2x-1)}$ – переезды мобильного кормоцепа между хранилищами кормов; $S_2, S_4 \dots S_{2x}$ – погрузка компонентов кормосмеси; S_{51} – переезд от последнего хранилища кормов к животноводческим помещениям; S_{52} – раздача кормосмеси; S_{53} – разворот при переезде на другую линию раздачи; S_{54} – технологическое нарушение; S_{55} – технический отказ

уравнений Колмогорова для 5-компонентной кормосмеси имеет вид:

$$\begin{cases}
 p_1 \lambda_{1,2} = p_{52} \lambda_{52,1} \\
 p_2 (\lambda_{2,3} + \lambda_{2,54} + \lambda_{2,55}) = p_1 \lambda_{1,2} + p_{54} \lambda_{54,2} + p_{55} \lambda_{55,2} \\
 p_3 \lambda_{3,4} = p_2 \lambda_{2,3} \\
 p_4 (\lambda_{4,5} + \lambda_{4,54} + \lambda_{4,55}) = p_3 \lambda_{3,4} + p_{54} \lambda_{54,4} + p_{55} \lambda_{55,4} \\
 p_5 \lambda_{5,6} = p_4 \lambda_{4,5} \\
 p_6 (\lambda_{6,7} + \lambda_{6,54} + \lambda_{6,55}) = p_5 \lambda_{5,6} + p_{54} \lambda_{54,6} + p_{55} \lambda_{55,6} \\
 p_7 \lambda_{7,8} = p_6 \lambda_{6,7} \\
 p_8 (\lambda_{8,9} + \lambda_{8,54} + \lambda_{8,55}) = p_7 \lambda_{7,8} + p_{54} \lambda_{54,8} + p_{55} \lambda_{55,8} \\
 p_9 \lambda_{9,10} = p_8 \lambda_{8,9} \\
 p_{10} (\lambda_{10,51} + \lambda_{10,54} + \lambda_{10,55}) = p_9 \lambda_{9,10} + p_{54} \lambda_{54,10} + p_{55} \lambda_{55,10} \\
 p_{51} \lambda_{51,52} = p_{10} \lambda_{10,51} \\
 p_{52} (\lambda_{52,1} + \lambda_{52,53} + \lambda_{52,54} + \lambda_{52,55}) = \\
 = p_{51} \lambda_{51,52} + p_{53} \lambda_{53,52} + p_{54} \lambda_{54,52} + p_{55} \lambda_{55,52} \\
 p_{53} \lambda_{53,52} = p_{52} \lambda_{52,53} \\
 p_{54} (\lambda_{54,2} + \lambda_{54,4} + \lambda_{54,6} + \lambda_{54,8} + \lambda_{54,10} + \lambda_{54,52}) = \\
 = p_2 \lambda_{2,54} + p_4 \lambda_{4,54} + p_6 \lambda_{6,54} + p_8 \lambda_{8,54} + p_{10} \lambda_{10,54} + p_{52} \lambda_{52,54} \\
 p_{55} (\lambda_{55,2} + \lambda_{55,4} + \lambda_{55,6} + \lambda_{55,8} + \lambda_{55,10} + \lambda_{55,52}) = \\
 = p_2 \lambda_{2,55} + p_4 \lambda_{4,55} + p_6 \lambda_{6,55} + p_8 \lambda_{8,55} + p_{10} \lambda_{10,55} + p_{52} \lambda_{52,55}
 \end{cases}$$

где p_i - вероятности нахождения раздатчика в соответствующих состояниях.

Для упрощения инженерных расчетов можно сделать допущение о взаимном равенстве: интенсивностей $\lambda_{i,54}$ перехода в состояние технологического нарушения S_{54} ; интенсивностей его устранения – $\lambda_{54,i}$; интенсивностей $\lambda_{i,55}$ перехода в

состояние технического отказа S_{55} ; интенсивностей $\lambda_{55,i}$ его устранения. Т.е.:

$$\begin{aligned}
 \lambda_{2,54} = \lambda_{4,54} = \dots = \lambda_{2x,54}; \lambda_{54,2} = \lambda_{54,4} = \dots = \lambda_{54,2x} \\
 \lambda_{2,55} = \lambda_{4,55} = \dots = \lambda_{2x,55}; \lambda_{55,2} = \lambda_{55,4} = \dots = \lambda_{55,2x}
 \end{aligned}$$

При таких допущениях уравнения для вероятностей p_{54} и p_{55} существенно упростятся, что облегчит расчеты.

На этапе составления систем уравнений Колмогорова выявлена закономерность, которая отражена в алгоритме, позволяющем, впоследствии, исключить необходимость составления графа. При этом необходимо знать лишь значение переменной “ x ” (количество компонентов кормосмеси).

Однако проблему массивности расчетов предложенный алгоритм не решает.

Для определения времени кормления мобильным кормоцехом по ранее предложенной методике [8] нам необходимо получить значение вероятности p_{52} (соответствует состоянию S_{52} раздачи кормосмеси), к чему и сводится решение системы уравнений Колмогорова.

Поскольку уже на этапе составления уравнений была обнаружена закономерность, она должна проявить себя и при дальнейшем решении системы. Данное предположение удалось подтвердить на практике.

Решая системы уравнений Колмогорова для двух-, трех- и четырехкомпонентной кормосмеси, была получена общая формула для нахождения значения вероятности p_{55} , которая имеет вид:

$$p_{55} = \frac{K_{52}^{xa}}{K_{52}^{xa} + (K_{54}^{x\Sigma} K_{52}^{x6} + K_{55}^{xb}) K_{55}^{xa} + K_{54}^{x\Sigma} K_{55}^{x6} K_{52}^{xa} + K_{55}^{xb} K_{52}^{xa}} \quad (2)$$

x – количество компонентов в кормосмеси.

Тогда вероятность нахождения мобильного кормоцепа в состоянии раздачи кормосмеси p_{52} находится по формуле:

$$p_{52} = p_{55} \frac{K_{54}^{x\Sigma} K_{52}^{x6} + K_{52}^{xb}}{K_{52}^{xa}} \quad (3)$$

Предложенные коэффициенты K_i^{xj} введены для визуального восприятия формул, а так же для обеспечения возможности проследить изменения каждого из них при различном значении “ x ” с целью выявления закономерности.

Данное уравнение неизменно для любого значения “ x ”. При этом содержание каждого из коэффициентов “ K_i^j ” характеризуется отсутствием неизвестных и с изменением значения “ x ” меняется в строгой последовательности.

Установленная закономерность реализована в математической модели, созданной посредством электронной среды Excel, что позволяет полностью исключить необходимость в составлении графов и

Алгоритм составления системы уравнений Колмогорова, для предложенного графа состояний мобильного кормоцеа

- Уравнение под номером **1** (для вероятности p_1) неизменно при любом значении "x":

$$p_1 \lambda_{1,2} = p_{52} \lambda_{52,1}$$

- Уравнения под номерами $n_2 = 2m - 2$ (чётные), где $m = 2, 3 \dots x$, имеют вид:

$$p_{n_2} (\lambda_{n_2, (n_2+1)} + \lambda_{n_2, 54} + \lambda_{n_2, 55}) = p_{(n_2-1)} \lambda_{(n_2-1), n_2} + p_{54} \lambda_{54, n_2} + p_{55} \lambda_{55, n_2}$$

(например, в случае с 5-компонентной кормосмесью это будут уравнения под номерами $n_2=2, n_2=4, n_2=6, n_2=8$ для соответствующих вероятностей p_2, p_4, p_6, p_8).

- Уравнения под номерами $n_1 = 2m - 1$ (нечётные), где $m = 2, 3 \dots x$, имеют вид:

$$p_{n_1} \lambda_{n_1, (n_1+1)} = p_{(n_1-1)} \lambda_{(n_1-1), n_1}$$

(например, в случае с 5-компонентной кормосмесью это будут уравнения под номерами $n_1=3, n_1=5, n_1=7, n_1=9$ для соответствующих вероятностей p_3, p_5, p_7, p_9).

- Уравнение под номером **2x** (для вероятности p_{2x}) имеет вид:

$$p_{2x} (\lambda_{2x, 51} + \lambda_{2x, 54} + \lambda_{2x, 55}) = p_{(2x-1)} \lambda_{(2x-1), 2x} + p_{54} \lambda_{54, 2x} + p_{55} \lambda_{55, 2x}$$

- Уравнение под номером **2x+1** (для вероятности p_{51}) имеет вид:

$$p_{51} \lambda_{51, 52} = p_{2x} \lambda_{2x, 51}$$

- Уравнение под номером **2x+2** (для вероятности p_{52}) неизменно:

$$p_{52} (\lambda_{52, 1} + \lambda_{52, 53} + \lambda_{52, 54} + \lambda_{52, 55}) = p_{51} \lambda_{51, 52} + p_{53} \lambda_{53, 52} + p_{54} \lambda_{54, 52} + p_{55} \lambda_{55, 52}$$

- Уравнение под номером **2x+3** (для вероятности p_{53}) неизменно:

$$p_{53} \lambda_{53, 52} = p_{52} \lambda_{52, 53}$$

- Уравнение под номером **2x+4** (для вероятности p_{54}) имеет вид:

$$p_{54} (\lambda_{54, 2} + \lambda_{54, 4} + \dots + \lambda_{54, 2x} + \lambda_{54, 52}) = p_2 \lambda_{2, 54} + p_4 \lambda_{4, 54} + \dots + p_{2x} \lambda_{2x, 54} + p_{52} \lambda_{52, 54}$$

- Уравнение под номером **2x+5** (для вероятности p_{55}) имеет вид:

$$p_{54} (\lambda_{54, 2} + \lambda_{54, 4} + \dots + \lambda_{54, 2x} + \lambda_{54, 52}) = p_2 \lambda_{2, 54} + p_4 \lambda_{4, 54} + \dots + p_{2x} \lambda_{2x, 54} + p_{52} \lambda_{52, 54}$$

Рис. 2. Алгоритм составления системы уравнений Колмогорова для предложенного графа состояний мобильного кормоцеа

систем уравнений Колмогорова и их дальнейшее решение.

Правильность расчетов подтвердилась схождением итоговых значений для пятикомпонентной смеси при математическом моделировании и решении вручную.

В разработанную математическую модель заложена возможность расчета времени кормления обслуживаемых животных мобильным кормоцеа для конкретных производственных условий при использовании в кормосмеси от 2 до 25 компонентов. Верхнее значение, берущееся со значительным запасом, обусловлено задачей наглядно продемонстрировать эффективность данной модели, существенно упрощающей массивные расчеты и способной найти свое применение в решении других задач, например,

определении эксплуатационных показателей кормовых вагонов [9].

Выводы

1. Разработан обобщенный граф состояний и алгоритм составления и решения, полученных на его основе, уравнений Колмогорова для определения эксплуатационных показателей мобильных кормоцеа.

2. Определение эксплуатационных показателей мобильных кормоцеа можно свести к математической модели, реализованной в электронной среде, что позволит исключить необходимость в построении графов, составлении систем уравнений Колмогорова и их решении.

Список литературы

- [1] Купреенко, А.И. Обоснование рациона и состава технологических линий производства кормового сырья и приготовления кормов (рекомендации) / А.И. Купреенко. – Брянск: Изд. БГСХА. – 2005. – 36 с.
- [2] Купреенко, А.И. Баланс времени смены мобильного измельчителя-смесителя-раздатчика / А.И. Купреенко // Вестник Брянской ГСХА. – № 1. – 2006. – С. 27–30.
- [3] Купреенко, А.И. Разработка метода оптимизации энергосберегающих технологий и средств механизации приготовления кормов: дис. ... д-ра техн. наук / А.И. Купреенко // Рязань. – 2006. – 436 с.
- [4] Купреенко, А.И. К обоснованию выбора мобильного кормоцефа для молочных ферм / Х.М. Исаев, А.И. Купреенко, С.В. Ефименко // Машинно-технологическое обеспечение животноводства – проблемы эффективности и качества. Сб. науч. тр. ВНИИМЖ. – Т.2. – Ч. 2. – 2010. – С. 108–117.
- [5] Купреенко, А.И. Определение эксплуатационных показателей мобильных кормоцефов / А.И. Купреенко, Х.М. Исаев, А.В. Исаханян // Вестн. ФГОУ ВПО МГАУ им. В.П. Горячкина. – 2012. – № 5. – С. 25–27.
- [6] Купреенко, А.И. Трудоемкость приготовления и раздачи кормосмесей мобильными раздатчиками-смесителями. / А.И. Купреенко, Х.М. Исаев, А.В. Исаханян // Совершенствование управления технологическими процессами в животноводстве – основа повышения эффективности производства и качества продукции / Вестник ВНИИМЖ. – 2013. – № 2 (10). – С. 239–243.
- [7] Купреенко, А.И. Мобильные смесители-раздатчики кормов: перспективы использования, сравнительная оценка, производительность / А.И. Купреенко / LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken. – 2013. – 58 с.
- [8] Купреенко, А.И. Определение времени одного кормления мобильным смесителем-раздатчиком / А.И. Купреенко, Х.М. Исаев, А.И. Полянская // «Вестник НГАУ» – Новосибирск: Новосибирский ГАУ. – № 1 (30). – 2014. – С. 104–107.
- [9] Купреенко, А.И. К определению эксплуатационных показателей кормовых вагонов / А.И. Купреенко, Х.М. Исаев, А.И. Полянская // Научный журнал «Вестник Брянской ГСХА». – № 3. – 2014. – С. 3–6.
- [10] Байкин, С.В. Технологическое оборудование для переработки продукции растениеводства / С.В. Байкин, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, А.С. Афанасьев. Под ред. А.А. Курочкина. М.: КолосС, 2007. – 445 с.
- [11] Курочкин, А.А. Дипломное проектирование по механизации переработки сельскохозяйственной продукции. / А.А. Курочкин, И.А. Спицын, В.М. Зимняков, Г.В. Шабурова, А.Ю. Сергеев. Под ред. А.А. Курочкина. – М.: КолосС, 2006. – 424 с.
- [12] Оборудование перерабатывающих производств / А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, В.М. Зимняков, П.К. Воронина. М.: ИНФРА-М, 2015. – 363.
- [13] Основы проектирования и строительства перерабатывающих предприятий / А.С. Гордеев, А.И. Завражнов, А.А. Курочкин и др. Под ред. А.И. Завражного. – М.: Агроконсалт, 2002. – 492 с.
- [14] Коновалов, В.В. Методология проектирования смесителей-увлажнителей сыпучих пищевых продуктов / В.В. Коновалов, А.А. Курочкин, Д.И. Фролов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2014. – № 6 (22). – С. 189–196.
- [15] Коновалов, В.В. Моделирование качества смешивания сыпучих материалов барабанным смесителем / В.В. Коновалов, Н.В. Димитриев, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2013. – Т. 1. – № 9 (13). – 77–84.
- [16] Щербаков, С.И. Механизация животноводства в вопросах и ответах / С.И. Щербаков, В.В. Коновалов, А.А. Курочкин, В.В. Новиков – Самара, 2007. – 140 с.

CALCULATING OPERATION INDICES OF MOVING FEEDING INSTALLATIONS ON THE BASIS OF THE THEORY OF COUNTS

Kupreenko A.I., Isaev H.M., Michaylichenko S.M.

There has been proposed a generalized state graph of a moving feeding installation which considers probabilistic nature of the components such as the time balance for preparing and distributing feed mixes in a cattle-ranch. The algorithm describing computations of the Kolmogorov equations for the proposed state graph has been written. A general solution of the equation system to determine feeding time with moving feeding installation in the given conditions has been identified. Consistent pattern in solving the Kolmogorov equations using feed mixes with a different number of components have been found.

Keywords: *theory of state graph, the Kolmogorov equations, moving feeding installation, distribution of feed mixes, feeding time.*

References

- [1] Kupreenko A. I. Justification of Ration and Composition of Technologic Lines of Feed Raw Materials Production and Preparation (Recommendations) / A. I. Kupreenko // Bryansk: Pub. BSAA.– 2005.– 36 p.
- [2] Kupreenko A. I. Time Balance of Changing Mobile Grinder-Mixer-Distributor / A. I. Kupreenko // «Bulletin of Bryansk SAA».– № 1.– 2006.–P. 27–30.
- [3] Kupreenko A. I. Development of the Optimization Method of Energy-Saving Technologies and Means of Mechanization in Feed Preparation: Dissertation Paper of PhD in Technical Sciences / A. I. Kupreenko // Ryazan, 2006.– 436 p.
- [4] Kupreenko A. I. Proving the Choice of Moving Feeding Installation for Dairy Farms / A. I. Kupreenko, Kh. M. Isaev, S. V. Efimenko // Machine-Technological Maintenance of Livestock Breeding–Problems of Efficiency and Quality. Digest of Scien. Pap. VNIIMZH.–T.2.–P. 2.– 2010.–P. 108–117.
- [5] Kupreenko A. I. Calculating Operation Indices of Moving Feeding Installations / A. I. Kupreenko, Kh. M. Isaev, A. V. Isakhanyan // Bulletin of FSEI of HPE «MSAU» named after V. P. Goryachkin–2012.– № 5.–P. 25–27.
- [6] Kupreenko A. I. Laboriousness of Forage Preparation and Distribution with Mobile Mixer-Distributors / A. I. Kupreenko, Kh. M. Isaev, A. V. Isakhanyan // Management Perfection of Technologic Processes in Animal Husbandry–Basis of Increase in Production Efficiency and Quality / Bulletin of VNIIMZH.– 2013.– № 2 (10).–P. 239–243.
- [7] Kupreenko A. I. Mobile Mixer-Distributors: Usage Possibility, Comparative Rating, Capacity / A. I. Kupreenko / LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrucken.– 2013.– 58 p.
- [8] Kupreenko A. I. Time Determination for a Single Feeding with a Mobile Mixer-Distributor / A. I. Kupreenko, Kh. M. Isaev, A. I. Polyanskaya // Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University), № 1 (30), 2014.–P. 104–107.
- [9] Kupreenko A. I. To calculating operation indices of mixer wagons / A. I. Kupreenko, Kh. M. Isaev., A. I. Polyanskaya // Scientific journal « Bulletin of Bryansk SAA».– № 3.– 2014.–P. 3–6.
- [10] Baiken, S.V. Technological equipment for processing of crop production / S.V. Baiken, A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, A.S. Afanasyev. Under the editorship of A.A. Kurochkin. M.: KolosS, 2007.– 445 p.
- [11] Graduate design for mechanization of processing of agricultural products / A.A. Kurochkin, I.A. Spitsyn, V.M. Zimnyakov and etc. Under the editorship of A.A. Kurochkin.–M.: KolosS, 2006.– 424 p.
- [12] The Equipment of the processing plants / A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, V.M. Zimnyakov, P.K. Voronina. M.: INFRA-M, 2015.– 363 p.
- [13] Fundamentals of design and construction of processing plants /A. S. Gordeev, A.I. Zavrashnov, A.A. Kurochkin etc. Under the editorship of A.I. Zavrashnov.–M.: Agrokonsalt, 2002.– 492 p.
- [14] Konovalov, V.V. The methodology of designing mixers-humidifiers for bulk food / V.V. Konovalov, A.A. Kurochkin, D.I. Frolov // XXI century: the results of past and present problems plus.–2014.– No. 6 (22).–P. 189-196.
- [15] Konovalov, V.V. Simulation of mixing quality bulk materials drum mixer /V.V. Konovalov, N.V. Dimitri, A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova // XXI century: the results of past and present problems plus.– 2013.–T. 1.– No. 9 (13).–P. 77-84.
- [16] Sherbakov, S. I. Mechanization of animal husbandry questions and answers /S. I. Shcherbakov, V. V. Konovalov, A. A. Kurochkin, V. V. Novikov. – Samara, 2007. – 140 p.