L. Andrianova, V. Kabashov, D. Khairislamov

SAIFI AND SAIDI INDICATIVE RELIABILITY FIGURES OF RURAL ELECTRIC NETWORKS WITH SMART ISLAND RECLOSERS

Key words: *rural electric networks; reliability of power supply; ring feeder; islanding; smart reclosers; indicative figures.*

Authors' personal details

1. **Andrianova Lyudmila**, Doctor of technical sciences, professor of the department of Power Supply and Use of Electric Energy in Agriculture, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letia Octiabria St., 34, e-mail: alp3003@yandex.ru.

2. **Kabashov Vladimir**, Doctor of technical sciences, associate professor of the department of Life and Processing Equipment Safety, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letia Octiabria St., 34, e-mail: kabashov@bk.ru.

3. **Khairislamov Danil**, Post-graduate student of the department of Power Supply and Use of Electric Energy in Agriculture, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letia Octiabria St., 34, e-mail: hairislamow2014@yandex.ru.

The paper describes principles of improving the reliability of rural distribution networks of 6–35 kV based on smart switching devices, reclosers with specialized integrated controllers. The typical places to install reclosers for the radial and ring feeders are shown. They are mounted when a new consumer is connected and balance membership is delimited. It is also done to identify a responsible consumer with an indicated connection diagrams. The choice of the optimal number of reclosers for the radial and ring feeders according to indicative

figures RNRE and ARAE, characterizing the relative efficiency of network reconstruction by reducing the number of consumer outages per year, and the average investment efficiency in network reconstruction when installing reclosers, is justified. There is presented a method to find *SAIFI* and *SAIDI* indicative reliability figures that characterize the average annual number of customer disconnections and the average annual duration of one disconnection in the electrical network.

© Андрианова Л.П., Кабашов В.Ю., Хайрисламов Д.С.

УДК 631.363

DOI: 10.31563/1684-7628-2019-51-3-92-99

М.В. Борисова, А.Ю. Титов, В.В. Новиков, В.В. Коновалов

ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВОЗДЕЙСТВИЙ ЛОПАСТЕЙ ТИХОХОДНОГО СМЕСИТЕЛЯ НА КАЧЕСТВО ПРИГОТАВЛИВАЕМОЙ СМЕСИ

Ключевые слова: *смеситель; смешивание; качество смеси; частота вращения; лопасть; винтообразная форма; количество воздействий.*

Введение. Для нормального функционирования организма животных и обеспечения их необходимой энергией очень важно вносить в корма зерновые культуры. Из-за низкого качества и недостаточного количества комбикормов генетический потенциал животных реализуется лишь наполовину. Другой важной задачей является снижение энергозатрат на приготовление смеси [1]. Приготовление кормовых смесей осу-

ществляется смесителями разнообразной конструкции, а также шнековыми устройствами и экструдерами [5, 6]. Большее распространение получили горизонтальные смесители с рабочим органом в виде лопастной мешалки, установленной на валу. Конструкция подобных мешалок не всегда удачна, вследствие чего ими потребляется существенное количество энергии. Поэтому совершенствование конструкции лопаст-

ного смесителя является важной народнохозяйственной задачей. В этом отношении тихоходные смесители являются более экономичными. Однако возникает вопрос определения необходимого количества воздействий лопастей тихоходных смесителей на качество приготавливаемой смеси. К сожалению, работ, посвященных данному вопросу, мало и они не в полной мере раскрывают существующие зависимости [3, 4, 7, 9, 10]. В соответствии с нормативами и зоотехническими требованиями к кормам используемые механические средства должны обеспечивать приготовление кормосмесей с надлежащим качеством, соблюдением нормы выдачи и величины допустимых отклонений от нормы, минимальной энергоемкостью проведения процессов.

Цель исследований – установление выражений, описывающих неравномерность смешивания в зависимости от количества воздействий, приходящихся на единицу массы смеси, а также массы смеси, приходящейся на воздействие лопасти мешалки тихоходного смесителя.

Задачи исследований: 1) установить зависимости неравномерности смешивания в виде функции от массы смеси, приходящейся на воздействие лопасти мешалки тихоходного смесителя; 2) определить зависимости неравномерности смешивания в виде функции от количества

воздействий, приходящихся на единицу массы смеси; 3) определить рациональные значения исследуемых факторов.

Условия, материалы и методы исследований. На основании обзора литературы и анализа технологического процесса смешивания зерновой смеси в Самарской ГСХА разработана конструкция смесительного агрегата непрерывного действия сыпучих материалов (рисунок 1) [2, 8]. Смесительная камера предлагаемого агрегата показана на рисунке 1. Методика исследований соответствует СТО АИСТ 19.2-2008 и предусматривает экспериментальное определение числовых значений неравномерности смешивания (как коэффициент вариации содержания контрольного компонента в пробах). В качестве показателя неравномерности смеси в таблице 1 использовалось среднее арифметическое значение коэффициентов вариации по трем повторностям. При определении качества смеси контрольным компонентом использовались зерна ячменя с долей 1 % от массы смеси. Количество взятых проб – 15 шт. с массой пробы 100 ± 5 г. Длительность смешивания компонентов смеси составляла 6 мин. Обработка данных результатов исследований с целью получения регрессионных моделей осуществлялась компьютерной программой Statistica 5.5.

Рисунок 1

Общий вид смесительной камеры:

1 – смесительная камера; 2 – вал; 3 – винтообразные лопасти; 4 – электродвигатель

Результаты исследований. В результате проведения экспериментов по исследованию влияния на неравномерность смеси количества воздействий лопастей на единицу массы приготавливаемой порции смеси в соответствии с пла-

ном Бокса – Бенкина для трех факторов (таблица 1) установлено влияние массы кормовой порции M (кг), количества воздействий мешалки за время смешивания K (шт.), количества воздействий мешалки за время смешивания в расчете

на единицу массы смеси $K'M$ (шт./кг), массы кормовой порции, приходящейся на одно воздействие лопасти мешалки MK' (кг/шт.). Масса приготавливаемой смеси определялась взвешиванием, а степень заполнения емкости смесителя определялась из выражения массы смеси M , кг:

$$M = V \cdot \varepsilon \cdot \rho, \quad (1)$$

где V – объем смесителя, $0,001 \text{ м}^3$; ε – степень заполнения, $0,01 \%$; ρ – плотность смеси, т/м^3 .

Количество воздействий лопастей за смешение порции смеси, шт.:

$$K' = n \cdot Z \cdot T, \quad (2)$$

где n – частота вращения, мин^{-1} ; Z – количество лопастей, шт.; T – средняя длительность смешивания, сек.

Количество воздействий лопастей на единицу массы, шт./кг [13]:

$$K'M = \frac{(n \cdot Z \cdot T)}{(V \cdot \varepsilon \cdot \rho)}. \quad (3)$$

Масса смеси, приходящаяся на воздействие лопасти, кг/шт.:

$$MK' = \frac{(V \cdot \varepsilon \cdot \rho)}{(n \cdot Z \cdot T)}. \quad (4)$$

Наибольший коэффициент парной корреляции между указанными показателями и неравномерностью смешивания v (%) – у показателя MK' , равный $R = 0,925581$, затем у $K'M$, равный $R = -0,9$. Значения для K' и M были менее $0,85$, что не свидетельствует о хорошей корреляции показателей. Анализ графиков на рисунке 2 показывает отсутствие корреляции между массой и количеством воздействий лопастей между собой.

Таблица 1 Результаты реализации плана Бокса – Бенкина для трех факторов по определению неравномерности смеси и соответствующее количество воздействий лопастей

MK'	$K'M$	K'	M	v
0,006667	150,0	1080	7,2	27,7
0,004444	225,0	1080	4,8	25,5
0,002222	450,0	1080	2,4	21,6
0,006667	150,0	720	4,8	28,4
0,003333	300,0	1440	4,8	23,4
0,00375	266,7	1920	7,2	23,8
0,00125	800,0	1920	2,4	17,7
0,0025	400,0	960	2,4	22,7
0,0075	133,3	960	7,2	28,9
0,003333	300,0	1440	4,8	23,6
0,006667	150,0	720	4,8	28,1
0,0075	133,3	960	7,2	28,3
0,015	66,7	480	7,2	33,2
0,0025	400,0	960	2,4	22,2
0,005	200,0	480	2,4	27,2
R	R	R	R	–
0,925581	–0,9	–0,71985	0,669922	–

Рисунок 2

График корреляции факторов между собой и неравномерностью смеси v

Рисунок 3

Результаты проверки сходимости расчетных и экспериментальных значений на нормальной бумаге:
 а – распределение значений неравномерности; б – распределение неучтенных отклонений

Показатели K^*M и MK^* являются производными от данных факторов, что видно из формул (3), (4), а также отражено на рисунке 2. Если для M и K с одной стороны и с другой – v имеется определенный разброс значений (правый столбик рисунка 2), то для K^*M и MK^* экспериментальные значения четко располагаются по некой кривой. Установим влияние массы смеси, приходящейся на одно воздействие, на неравномерность смеси v (%) в виде линейной функции. Данная зависимость опишется функцией

$$v = 20,01576 + 1047,621 \cdot (M/K^*). \quad (5)$$

Множественный коэффициент корреляции составляет $R = 0,92558127$, доверительная вероятность результата по F-тест менее 0,9 и графический анализ соответствия значений (рисунок 3) свидетельствуют о неадекватности модели.

Неравномерность смеси достаточно хорошо описывается показательной либо гиперболической (как частный случай степенной зависимости с отрицательным значением степени) функциями [11, 12]. Для описания неравномерности смешивания используем степенную зависимость (рисунок 4):

$$v = -192,286 + 253,6435 \cdot (M/K^*)^{0,028089}. \quad (6)$$

Коэффициент корреляции $R = 0,99369$, F-тест = 0,98141 и графический анализ соответствия значений (рисунки 5, 6) свидетельствуют об

адекватности модели. Увеличение массы смеси, приходящейся на воздействие лопасти, повышает неравномерность смеси, что ухудшает качество корма. Уменьшение указанной массы резко улучшает качество смеси. Поэтому перспективна степень заполнения емкости непрерывных смесителей 20...25 %. Однако это снижает производительность периодического смесителя.

Установим влияние количества воздействий, приходящихся на единицу массы порции, на неравномерность смеси v (%) в виде линейной функции. Данная зависимость опишется функцией:

$$v = 30,78511 - 0,11562 \cdot (K^*/M). \quad (7)$$

Множественный коэффициент корреляции составляет $R = 0,92471523$, доверительная вероятность результата по F-тест менее 0,9 и графический анализ соответствия значений (рисунок 7) свидетельствуют о неадекватности модели.

Для описания неравномерности смешивания используем степенную [14] зависимость (рисунок 8):

$$v = -196,324 + 257,6336 \cdot (K^*/M)^{-0,02758}. \quad (8)$$

Коэффициент корреляции $R = 0,99369$, F-тест = 0,98138 и графический анализ соответствия значений (рисунки 9, 10) свидетельствуют об адекватности модели.

Рисунок 4

Влияние массы материала смеси MK (кг/шт.), приходящейся на воздействие лопасти, на неравномерность смеси v (%)

Рисунок 5

Результаты проверки сходимости расчетных и экспериментальных значений на нормальной бумаге:
 а – распределение значений неравномерности; б – распределение неучтенных отклонений

Рисунок 6

Результаты проверки неучтенных остатков на соответствие нормальному закону

Рисунок 7

Результаты проверки сходимости расчетных и экспериментальных значений на нормальной бумаге:
 а – распределение значений неравномерности; б – распределение неучтенных отклонений

Рисунок 8

Влияние количества воздействий KM (шт./кг), приходящихся на килограмм приготовленной смеси, на неравномерность смеси v (%)

Увеличение количества воздействий, приходящихся на единицу массы смеси, уменьшает неравномерность смеси v (%), повышая ее качество. При этом характер изменения неравномерности соответствует гиперболической зависи-

мости как одному из частных случаев степенной функции. По мере уменьшения неравномерности смеси резко увеличивается прирост количества воздействий. Сокращение длительности смешивания или массы приготавливаемой

смеси снижает производительность смесителя, что ухудшает его работу. Учитывая, что количество воздействий определяется в первую оче-

редь частотой вращения мешалки, для улучшения качества приготавливаемой смеси потребуется увеличить ее значения.

Рисунок 9

Результаты проверки сходимости расчетных и экспериментальных значений на нормальной бумаге: *a* – распределение значений неравномерности; *б* – распределение неучтенных отклонений

Рисунок 10

Результаты проверки неучтенных остатков на соответствие нормальному закону

Выводы. Проведенные экспериментальные исследования позволили установить выражения, описывающие неравномерность смешивания в зависимости от количества воздействий, приходящихся на единицу массы смеси, а также массы смеси, приходящейся на воздействие лопасти мешалки тихоходного смесителя. Степенная функция адекватно описывает экспериментальные результаты с доверительной вероятностью 98 %. На исследованных участках изменения независимых факторов рациональные значения количества воздействий, приходящихся на единицу массы смеси K^*M , не менее

800 шт./кг, а также массы смеси, приходящейся на воздействие лопасти мешалки тихоходного смесителя M^*K , не более 0,001 кг/шт. При доле контрольного (меньшего) компонента 1 % зоотехнические требования к качеству смеси не выполняются. Вследствие этого приготовление смеси на основе премикса с долей 1...2 % не обеспечивает соблюдение зоотехнических требований, а в силу того, что доля БВД от состава комбикормовой смеси составляет 10...20 %, потребуются дополнительные исследования для установления зоны работоспособности смесителя в зависимости от доли контрольного компонента.

Библиографический список

1. Сыроватка, В.И. Ресурсосбережение при производстве комбикормов в хозяйствах [Текст] / В.И. Сыроватка // Техника и оборудование для села. 2011. № 6. С. 22–26.
2. Новиков, В.В. Методологические основы и обоснование структурно-функциональной схемы зерновой смеси [Текст] / В.В. Новиков, М.В. Борисова // Эксплуатация автотракторной и сельскохозяйственной техники: опыт, проблемы, инновации, перспективы: сб. науч. трудов. Пенза, 2017. С. 82–88.
3. Коновалов, В.В. Оптимизация параметров барабанного смесителя [Текст] / В.В. Коновалов, Н.В. Дмитриев, А.В. Чупшев, В.П. Терюшков // Нива Поволжья. 2013. № 4 (29). С. 41–47.
4. Коновалов, В.В. Аналитические аспекты гравитационного смешивания барабанных устройств [Текст] / В.В. Коновалов, Н.В. Дмитриев, В.П. Терюшков, А.В. Чупшев // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 2. С. 40–46.

5. Мартынова, Д.А. Повышение эффективности процесса производства экструдированных кормовых продуктов за счет изменения конструктивных параметров шнека пресс-экструдера [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Д.А. Мартынова. Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2017. 167 с.

6. Хольшев, Н.В. Совершенствование технологического процесса приготовления сухих рассыпных кормосмесей шнеколопастным смесителем [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Н.В. Хольшев. Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2015. 209 с.

7. Борисова, М.В. Рациональное деформирование лопастей смесителя и его влияние на динамику процесса [Текст] / М.В. Борисова, В.В. Новиков, А.Ю. Титов // Инновационные достижения науки и техники АПК: сб. науч. трудов. Кинель, 2018. С. 376–379.

8. Пат. 179164 Российская Федерация. Смеситель зерновой смеси [Текст] / В.В. Новиков, М.В. Борисова, А.С. Грецов, Д.Н. Котов, В.В. Коновалов. № 2017136899; заявл. 19.10.2017; опубл. 03.05.2018. Бюл. № 13.

9. Петрова, С.С. Сравнительные исследования смесителя с круглыми и плоскими лопастями [Текст] / С.С. Петрова, В.П. Терюшков, А.В. Чупшев, М.В. Коновалова // Известия Са-

марской государственной сельскохозяйственной академии. 2011. № 3. С. 121–124.

10. Коновалов, В.В. Аналитическое обоснование длительности цикла работы смесителя периодического действия [Текст] / В.В. Коновалов, М.В. Фомина, В.П. Терюшков, А.В. Чупшев // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 3. С. 10–15.

11. Chupshev A., Kononov V., Fomina M. Optimization in work modeling of a mixer. IOP Conf. Series. J. of Physics: Conf. Series 2018. № 1084-012010.

12. Коновалов, В.В. Моделирование изменения качества смеси лопастного смесителя на основе технологических параметров [Текст] / Коновалов В.В., Чупшев А.В., Фомина М.В. // Инновационная техника и технология. 2016. № 3 (8). С. 57–66.

13. Коновалов, В.В. Определение необходимого количества воздействия лопастей на смесь [Текст] / В.В. Коновалов, В.П. Терюшков, А.В. Чупшев // Научные труды ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии. 2009. Т. 20. № 3. С. 107–115.

14. Коновалов, В.В. Обоснование технологических параметров смесителя комбикормов [Текст] / В.В. Коновалов, И.А. Боровиков, С.В. Гусев, В.П. Терюшков // Нива Поволжья. 2006. № 1 (1). С. 27–29.

Сведения об авторах

1. **Борисова Марина Викторовна**, аспирант кафедры сельскохозяйственных машин и механизации животноводства, ФГБОУ ВО Самарская ГСХА, 446442, Самарская область, п. г. т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2, e-mail: morskay6363@mail.ru.

2. **Титов Андрей Юрьевич**, аспирант кафедры сельскохозяйственных машин и механизации животноводства, ФГБОУ ВО Самарская ГСХА, 446442, Самарская область, п. г. т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2, e-mail: titova_iv@mail.ru.

3. **Новиков Владимир Васильевич**, кандидат технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин и механизации животноводства, ФГБОУ ВО Самарская ГСХА, 446442, Самарская область, п. г. т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2, e-mail: morskay6363@mail.ru.

4. **Коновалов Владимир Викторович**, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения, ФГБОУ ВО Пензенский ГТУ, 440039, Пенза, проезд Байдукова, ул. Гагарина, 1а/11, e-mail: kononov-penza@rambler.ru.

Установлены выражения, описывающие неравномерность смешивания в зависимости от количества воздействий лопастей смесителя, приходящихся на единицу массы смеси, а также массы смеси, приходящейся на воздействие лопасти мешалки тихоходного смесителя. На основании обзора литературы и анализа технологического процесса смешивания в Самарской ГСХА разработана конструкция лопастного смесителя. Смеситель состоит из корпуса, в котором расположен горизонтальный вал смеси-

теля с рабочими органами, выполненными в виде радиальных лопастей винтообразных формы. Получены выражения, позволяющие определить неравномерность смеси от количества воздействий лопастей смесителя, приходящихся на единицу массы смеси, а также от массы смеси, приходящейся на воздействие лопасти мешалки тихоходного смесителя. Степенная функция адекватно описывает экспериментальные результаты с доверительной вероятностью 98 %. На исследованных участках измене-

ния независимых факторов оптимальным значением количества воздействий, приходящихся на единицу массы смеси, является не менее

800 шт./кг, а также массы смеси, приходящейся на воздействие лопасти мешалки тихоходного смесителя, – не более 0,001 кг/шт.

M. Borisova, A. Titov, V. Novikov, V. Konovalov

INFLUENCE OF A NUMBER OF IMPACTS OF LOW-SPEED MIXER BLADES ON CONCRETE QUALITY BEING PREPARED

Key words: *mixer; mixing; concrete quality; rotation frequency; blade; helical shape; the number of impacts.*

Authors' personal details

1. **Borisova Marina**, Post-graduate student of the department of Agricultural machines and mechanization of livestock breeding, Samara State Agroecological Academy, 446442, Samara region, Ust'-Kinel'sky settlement, Uchebnaya st., 2, e-mail: morskay6363@mail.ru.

2. **Titov Andrei**, Post-graduate student of the department of Agricultural machines and mechanization of livestock breeding, Samara State Agroecological Academy, 446442, Samara region, Ust'-Kinel'sky settlement, Uchebnaya st., 2, e-mail: titova_iv@mail.ru.

3. **Novikov Vladimir**, Candidate of technical sciences, professor of the department of Agricultural machines and mechanization of livestock breeding, Samara State Agroecological Academy, 446442, Samara region, Ust'-Kinel'sky settlement, Uchebnaya st., 2, e-mail: morskay6363@mail.ru.

4. **Konovalov Vladimir**, Doctor of technical sciences, professor of the Engineering technology department, Penza State Technological University, 440039, Penza, Baydukov/Gagarin Road, 1A/11, e-mail: konovalov-penza@rambler.ru.

The paper presents purpose equations describing the uneven mixing depending on the number of the mixer blade impacts per unit of concrete weight as well as the weight of the mixture that have an impact on blades of the slow-speed mixer. Based on the literature review and analysis of the mixing process conducted in the Samara State Agricultural Academy, the design of the blade mixer was developed. The mixer consists of a body where there is a horizontal shaft with working bodies, made in the form of radial blades of helical shape. There are received equations that allow determining the con-

crete uniformity depending on a number of the impacts of the mixer blades per unit of the concrete weight as well as on the concrete weight that act on the blades of the slow-speed mixer. The power function is adequately described by the experimental results of 98 % confidence probability. In the studied areas of changes in independent factors rational values of the number of impacts per unit of the concrete weight is not less than 800 PCs/kg, as well as the concrete weight having impact on the blade of the slow-speed mixer is not more than 0,001 kg/PC.

© Борисова М.В., Титов А.Ю., Новиков В.В., Коновалов В.В.

УДК 621.43

DOI: 10.31563/1684-7628-2019-51-3-99-106

А.В. Неговора, Р.Ж. Магафуров, А.И. Низамутдинов

ОБОСНОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ПРИ ИСПЫТАНИИ ДИЗЕЛЬНЫХ ИНЖЕКТОРОВ

Ключевые слова: *испытание форсунок; топливная аппаратура; характеристика впрыска; термостабилизация; испытательный стенд.*

Введение. Известно, что температурный режим топливной аппаратуры, особенно электро-

гидроуправляемых форсунок (инжекторов) типа Common Rail, оказывает значительное влияние