

## СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ КОРМОРАЗДАТОЧНЫХ ЛИНИЙ

**Долбаненко Владимир Михайлович**, кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры «Механизация и технический сервис в АПК», ИИСиЭ  
**Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия**  
e-mail: [dwm-82@mail.ru](mailto:dwm-82@mail.ru)

**Аннотация.** В статье рассмотрена вероятностная оценка работы кормораздаточных линий.

**Ключевые слова:** корм, раздача, вероятность, оценка, процесс, показатель, критерий, методика.

## STATISTICAL ESTIMATES OF FEED LINE PERFORMANCE

**Dolbanenko Vladimir Mikhailovich**, candidate of technical sciences, associate professor,  
docent of the department of «Mechanization and Technical Service in Agro-Industrial Complex»,  
Institute of Engineering Systems and Energy  
**Krasnoyarsk state agrarian university, Krasnoyarsk, Russia**  
e-mail: [dwm-82@mail.ru](mailto:dwm-82@mail.ru)

**Abstract.** The article considers the probabilistic assessment of the operation of feed lines.

**Key words:** feed, distribution, probability, assessment, process, indicator, criterion, methodology.

В условиях нормальной эксплуатации кормораздаточная линия находится под непрерывным изменением внешних воздействий обусловленных разнообразными факторами. Влияние различных факторов сказывается на неравномерности распределения корма по длине кормораздаточного транспортера, что, в конечном счете, отражается на качестве процесса кормления животных. Абсолютное большинство факторов имеет статистическую природу, в связи, с чем внешние воздействия и выходные показатели работы линии (технологические, энергетические и др.) следует рассматривать как случайные функции (процессы) [1, с. 54-55].

Кормораздаточную линию можно представить как динамическую систему, на вход которой при постоянной скорости движения  $V_{\text{эв}}$  поступают случайные воздействия в виде подачи кормовой массы  $q(t)$ , сопротивления  $R(t)$ , управляющего воздействия  $\varphi(t)$  и др. Выходные переменные будут энергетические затраты  $N(t)$ , количество корма на транспортере  $q_e(t)$  и др. Для практической цели упростим модель кормораздаточной линии и представим ее в виде одномерной системы, т.е. как и в любом другом случае, динамическая модель кормораздаточной линии зависит от задач исследования или испытания, условий эксплуатации и других факторов, но всегда ее входные и выходные процессы будут случайными. Поэтому возникает необходимость установить систематические закономерности для этих процессов.

Основными статистическими оценками показателей работы кормораздаточных машин (линий) могут служить числовые характеристики выходных переменных: средние значения  $m$ , дисперсии  $D$  (или среднеквадратические отклонения  $\sigma$ ). Коэффициенты вариации, параметры корреляционных функций могут быть представлены и обобщенные статистические оценки показателей работы машин. Эти оценки должны быть увязаны с характеристиками входных воздействий, т.е. условиями эксплуатации.

Если для технологического или энергетического показателя кормораздачи в результате проведенного испытания установлена числовая характеристика  $K: (\hat{E}_i = m, D, \sigma, \nu)$ , то условие нормальной работы кормораздатчика можно выразить неравенством:  $K_i \leq (K_i)_{\text{дп}}$ , где  $(K_i)_{\text{дп}}$  - допустимая по зоотехническим, технико-экономическим и другим требованиям) числовая характеристика для данного показателя, причем  $i=1, 2, 3, \dots, n$ , и определяет число показателя. Числовые характеристики и их допустимые значения должны учитывать внутреннюю структуру процессов на входе и выходе аргумента, т.е. их случайные вероятностно-статистический характер.

Неравенство можно рассматривать как математическую модель испытания машины. Из этого неравенства видно, что для статистической оценки показателей работы машин требуется установить необходимое число  $n$  показателей, разработать методику сбора и обработки первичной информации для получения достоверных значений числовых характеристик  $K_i$ , обосновать систему допустимых значений характеристик  $(K_i)_{\text{доп}}$ .

Для стационарного случайного процесса кормораздачи, реализация на входе и выходе имеет вид  $y_{(t)} = \bar{m}_y + \dot{y}(t)$ . Существующие методы оценки работы машин предусматривают ограничения на отклонения среднего значения от, так называемого, заданного  $y_3 = \text{const}, \delta \cdot \dot{a} \cdot y_3 - \bar{m}_y = \Delta_H$ . Величина  $\Delta_H$  учитывает лишь точность настройки регулирующего устройства машины и не накладывает никаких ограничений на протекание центрированного процесса  $\dot{y}(t)$ . Между чем такое ограничение определило бы допустимую неравномерность изменения того или иного параметра при работе кормораздатчика (неравномерность поступления кормовой массы на транспортер ТВК-80А, неравномерность тягового сопротивления). Для технологического процесса кормораздачи это был бы зоотехнический допуск,  $\Delta_i$  за пределы которого отклонения ординат центрированного процесса  $\dot{y}(t)$  не желательны. Таким образом, для оценки показателей работы кормораздаточных машин, агрегатов необходимы допуски  $\Delta_H$  на точность настройки регулирующих и управляющих устройств и допуски  $\Delta$  на неравномерность протекания центрированных процессов. На основе этих допусков могут быть определены и соответствующие допустимые значения  $(K_i)_{\text{доп}}$  числовых характеристик процессов.

Чтобы установить статистические оценки показателей работы кормораздаточных машин, необходимо выявить закономерности изменения условий их эксплуатации и определить числовые характеристики случайных процессов на входе системы; установить числовые характеристики выходных случайных процессов, определяющих технологические, энергетические и эксплуатационные показатели кормораздатчика; обосновать систему дифференцируемых зоотехнических допусков на неравномерность протекания технологических процессов кормораздачи, а так же допусков на колебания эксплуатационных показателей; разработать систему допустимых значений  $(K_i)_{\text{доп}}$  числовых характеристик процессов на выходе кормораздатчика.

Первые две задачи решаются на основе статистики случайных процессов, происходящих при работе кормораздаточных устройств в нормальных условиях. Третья задача должна решаться с учетом зоотехнических требований надежности функционирования машины или линии. В качестве научной основы создания системы допустимых значений  $(K_i)_{\text{доп}}$  при заданных допусках  $\Delta_H$  и  $\Delta$  может служить теория выбросов случайных функций.

При известных статистических характеристиках процессов на входе и выходе объекта может быть решена также задача идентификации, т.е. установлены динамические характеристики объекта.

Пол указанному зоотехническому допуску  $\pm \Delta$  могут быть установлены ограничения на статистические оценки технологических показателей работы кормораздаточных, машин, работающих в животноводстве.

Применительно к рассматриваемым стационарным процессам кормораздачи дополнительными статистическими оценками являются:  $\delta = \int_{\Delta}^{\infty} f(x) dx$ ;  $n_{\Delta} = \int_{\Delta}^{\infty} V f(\Delta, v) dv$ , где  $\delta$  - относительная длительность превышения уровня  $\Delta$  ординатами случайных функций  $x(t), y(t)$ ;  $n_{\Delta}$  - среднее число превышения уровня  $\Delta$  в единицу времени;  $f(x)$  - плотность распределения функции  $x(t)$ ;  $f(\Delta, v)$  - двухмерная плотность распределения функции  $x(t)$  за уровень  $\Delta$  и скорости  $V$  изменения этой функции.

Так как процесс распределения корма по длине транспортера подчиняется нормальному закону, то оценки  $\delta$  и  $n_{\Delta}$  приводятся к следующему виду:  $\delta = 1 - 2\phi\left(\frac{\Delta}{\sigma_{x,y}}\right)$ ;  $n_{\Delta} = \frac{\sigma_v}{2\dot{n}dx} \cdot l \frac{\Delta}{2\sigma_x^2}$ , где

$\phi(z) = \int_0^z l^{-\frac{t^2}{2}} dt$  - функция Лапласа;  $\sigma_{x,y}$  и  $\sigma_x$  - средние квадратические отклонения ординат функции  $x(t)$ ,  $y(t)$  и скорости  $V$  изменения.

Вместо оценки  $\delta$  удобней ввести оценку:  $\bar{P} = 1 - \delta = 2\phi\left(\frac{\Delta}{\sigma_{x,y}}\right)$ , которая представляет собой

вероятностную относительную длительность нахождения централизованной функции  $x(t)$ ,  $y(t)$  в заданных пределах  $2\Delta$ . Эти оценки могут быть использованы для решения задач обоснованного выбора допустимых значений параметров, определяющих качество технологического процесса кормораздачи (при нормальном распределении ординат процессов), следовательно, имеем

$\phi(z) = 0,5 \bar{P}_3$ , где  $z = \frac{\Delta}{\sigma_{x,y}}$ . Обозначим через  $z_{\bar{a}}$  такой аргумент функции Лапласа  $\phi(z)$ , для

которого она равна  $0,5P_3$ , причем  $\bar{P}_3$  - заданная вероятность сохранения зоотехнического допуска

$\Delta$ . При заданном  $P_3$  значение аргумента  $z_{\bar{a}}$  определяется по таблицам функции Лапласа, откуда:

$[\sigma_{x,y}]_{\bar{a}} = K \cdot \Delta \cdot \left(\frac{\Delta}{z_{\bar{a}}}\right)$ , где  $K = \frac{1}{z_{\bar{a}}}$ . Выбор того или иного уровня  $\bar{D}_3$  должен решаться с учетом

конкретных условий работы кормораздатчиков. Для технологических показателей работы кормораздатчиков ограничения только по величине дисперсии недостаточны, поэтому в исследованиях в качестве оценочного показателя выбрана равномерность раздачи. Таким образом, количественными характеристиками случайных процессов, имеющих место при раздаче корма, могут быть наряду с дисперсией  $D_{x,y}$ , математическим ожиданием  $m_{x,y}$ , коэффициентом вариации, параметры корреляционных функций  $R_{x,y}$  и спектральных плотностей, полученных обработкой реализаций на ЭВМ.

При выполнении технологических операций зоотехнические требования формулируются в виде технологических показателей представляющих собой нормативы качества выполнения технологии кормораздачи транспортером ТВК-80А. В основу установления этих нормативов положен принцип получения максимального количества продукции животноводства на основе высокого качества выполнения процессов кормораздачи.

Если зависимость изменения сбора продукции от величины качественного показателя  $U = f(x)$  имеет выраженный максимум, то зоотехнический норматив устанавливается по ординате экстремума. Когда функция  $U = f(x)$  имеет характер кривой развития, зоотехнический норматив приходится устанавливать условно или с учетом требований к последующим процессам или приспособляемость к зоотехническим возможностям применяемых машин.

Нормативы качества сельскохозяйственных работ согласно классификации профессора Ю.К. Киртбая, делятся на три группы. Первую группу составляют показатели, определяющие срок и продолжительность выполнения работ. Эти показатели первостепенные, т.к. своевременность проведения работ влияет на продуктивность животных. Вторая группа, характеризует собственно технологический процесс (дозирование, равномерность распределения корма). Третья группа характеризует расход, количественные потери продукта.

Многочисленные факторы, оказывающие влияние на качество технологического процесса, объединены в три группы. В первой группе рассматриваются внешние условия: влажность корма, состояние кормовой массы и т.д. Во вторую группу входят факторы, связанные с техническим состоянием машин (кормораздаточной линии), состояние цепи, скребков, кормушек. Третью группу составляют факторы, связанные со способами загрузки линии, равномерностью распределения.

Исключительно важное значение для качества выполнения технологических процессов имеет установление соответствующих допусков. Величина допуска на качественные показатели технологического процесса кормораздачи можно обосновать четырьмя категориями.

1. Допустимыми потерями корма в процессе кормораздачи.

2. Изменчивостью качества работ по причинам, связанным с техническим состоянием линии (в пределах) и их установкой.

3. Изменчивостью свойств раздаваемого корма (влажность, вязкость, резанный или нарезанный).

4. Допустимые пределы, неравномерность распределения корма в процессе кормораздачи.

Для машинных процессов, которые непосредственно сказываются на производстве продукции животноводства, допуски на качественные показатели предлагается устанавливать с учетом допустимой потери и неравномерности распределения кормов по фронту кормления, а также экономически оптимальной продолжительности выполнения процесса.

Во многих случаях допуск на технологический показатель устанавливается без учета требований к качеству выполнения предыдущего процесса, связанного с последующим. В качестве примера рассмотрим зависимость равномерности распределения корма на ТВК-80А от допуска на загрузку. Устанавливается вероятностное изменение качества последующей операции в функции допуска на предыдущую загрузку.

В случае распределения показателя качества по нормальному закону, можно говорить о вероятности совмещений распределений двух независимых операций (вероятность брака), которая может быть определена на основании теоремы умножения вероятностей. Соответственно допуску на каждую операцию составляют  $\delta_1$  и  $\delta_2$ , а совокупный допуск по обеим операциям  $\delta_{1-2} = \delta_1 + \delta_2$ ,

тогда вероятность брака по первой операции составит:  $P_{\Delta 1} = 1 - 2\phi\left(\frac{\delta_1}{\sigma_1}\right)$ , где  $\phi\left(\frac{\delta_1}{\sigma_1}\right)$  - интегральная функция распределения.

Вероятность брака по второй операции  $P_{\Delta 2} = 1 - 2\phi\left(\frac{\delta_2}{\sigma_2}\right)$ . Вероятность брака при обеих операциях (предыдущей и последующей) будет  $P_{\Delta 1-2} = P_{\Delta 1} \cdot P_{\Delta 2}$ . В общем случае, если  $n$  операций входит в технологический процесс кормораздачи, то:  $P_{\Delta 1-n} = \prod_{i=1}^{i=n} P_{\Delta i}$ .

Из приведенных вероятностных уравнений видно, что если величина  $P_{\Delta}$  превышает допустимую для современных конструкций и условий эксплуатации пренебрежимо малую величину (пренебрежимо малой величиной  $P_{\Delta 1-2}$  можно считать величину менее 0,005), то необходимость изменить величину  $\delta_{1-2}$  или определенным образом изменить величины  $\sigma_i$ .

Рассмотрев методику установления допуска на технологические показатели, приходим к выводу, что отсутствие определения допуска затрудняет подход к установлению статистических оценок и критериев надежности.

Определение должно быть таким.

Допуск – это такие установленные опытом или расчетом границы для значений того или иного показателя (параметра) кормораздаточной линии, при которых она способна выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные свойства (зоотехнические, энергетические, технико-экономические и др.) в течение требуемого промежутка времени при определенных условиях выполнения технологической операции (процесса кормораздачи).

Допуск, устанавливаемый на эксплуатационные показатели работы агрегата инструкцией или другими соответствующими документами, называется эксплуатационными. Назначаются эксплуатационные допуски только для тех параметров (показателей), которые контролируются в процессе эксплуатации кормораздаточной линии. Эксплуатационный допуск может быть двух видов:  $\Delta$  - эксплуатационный контрольный допуск,  $\Delta_H$  - эксплуатационный профилактический (установочный допуск).

Эксплуатационный допуск входит в состав системы инженерных допусков, включающей в себя производственный (на изготовление) и ремонтный допуск.

Качественную оценку зоотехнической эффективности технологического процесса раздачи корма машинами можно обосновать, используя коэффициент эффективности процесса.

Коэффициент эффективности определяется как соотношение эффективной площади  $F_{y\hat{o}} = F_2 + F_3$  (находящейся в пределах допусков  $\pm \Delta$ ) к общей площади  $F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$  ограниченной кривой распределения:  $K_{y\hat{o}} = \frac{F_{y\hat{o}}}{F}$ .

Пределом  $F_{y\hat{o}}$  является значение  $F$ , чем меньше,  $K_{y\hat{o}}$  тем хуже технологический процесс по данному показателю. При выполнении сложных технологических процессов их качество приходится определять (оценивать) несколькими технологическими показателями. В этом случае величина сводного коэффициента получается как средневзвешенная частных коэффициентов:

$$K_{y\hat{o}\bar{n}\bar{a}} = \frac{\hat{E}_{y\hat{o}1} \cdot D_1 + \hat{E}_{y\hat{o}2} \cdot D_2 + \dots + \hat{E}_{y\hat{o}i} \cdot D_i + \hat{E}_{y\hat{o}n} \cdot D_n}{\sum D_i}. \quad \text{Показатели } D_1, D_2, D_3, \dots, D_i, D_n -$$

устанавливаются в зависимости от значимости каждого технологического показателя в общей оценке качества работы агрегата (машины) и принимаются за единицу или 100%.

В большинстве случаев этими методами можно пользоваться для установления пределов технологических показателей, которые используются при расчете операций во время разработки операционной технологии. Эти методы применимы и для установления пределов эксплуатационных показателей ряда агрегатов (машин) [2, с. 53-63].

### Список литературы

1. Дегтерев Г.П. Технологии и средства механизации животноводства / Г.П. Дегтерев. – М: Столичная ярмарка, 2010. – 384 с.
2. Шумилов Л.А. Разработка автоматизированной системы средств контроля за работой транспортёрных кормораздатчиков и обоснование методики допускаемых значений эксплуатационных показателей: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Л.А. Шумилов. – Ленинград-Пушкин, 1974. – 186 с.