

Математическая модель исследования и повышения функциональной надёжности операторов биотехнических систем в животноводстве

Е.М. Асманкин, д.т.н., профессор, Ю.А. Ушаков, д.т.н., профессор, В.А. Ротова, к.т.н., ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ

В последнее время большое внимание уделяется системному подходу изучения надёжности биотехнических систем, где основным звеном является человек-оператор: оператор машинного доения, стригаль, чесальщик пуха коз, техник-осеменатор и т.д. [1–9]. Основное направление этих работ сводится к определению функционально-программной, временной и параметрической надёжности, позволяющей выполнять предписанные

алгоритмы в соответствии с программой, своевременно и с требуемой точностью [4, 5].

Однако вопросу психофизиологического состояния человека как неотъемлемой части оценки его рабочей деятельности, определяющей качество функционирования системы «человек – машина – животное», практически не уделялось внимание.

Материал и методы исследования. Известен метод определения психофизиологического состояния операторов сложных систем «человек – машина» по согласованности потока F_M информации, по-

ступающих средств предъявления информации с потоком F_q информации, воспринимаемой, перерабатываемой и реализуемой оператором.

$$F_q \geq F_M + F_p + F_n, \quad (1)$$

где F_p – объём речевой информации, бит;

F_n – объём письменной информации, бит.

При $F_q < F_M + F_p + F_n$ человек допускает ошибки (пропуски сигналов, их искажение, задержка в передаче информации) или наблюдается отказ от решения текущей задачи.

Используемые в этом случае для описания качества деятельности операторов, приведённые критерии своевременности P_{F6} , точности P_{F8} , могут характеризовать состояние исполнителя-наблюдателя, управленца, статиста.

В связи с этим для оценки психофизиологического состояния операторов, трудовая деятельность которых связана с расходом физической энергии, необходима методика, связывающая в первую очередь контроль действия сердечно-сосудистой системы, сенсорно-моторных характеристик и органов физиологического обмена (дыхания, потовыделения).

Ведущая характеристика физиологического состояния, состояние и качество регулирования сердечно-сосудистой системы могут быть определены по частоте пульса, величине давления $P_{сум}$ и $P_{дист}$, а также по данным электрокардиологических исследований электрической активности сердца (последовательных периодов T_i между зубцами $R-R$, совокупности зубцов $P-O-R-S-T$).

Гистографический показатель психофизиологической надёжности человека-оператора $H_{ГПН}$, отображающий средний уровень функционального состояния и характеризующий его эмоциональную напряжённость, может быть определён по выражению [3–6]:

$$H_{ГПН} = \frac{r_1}{l_1/v} + \frac{r_2}{l_2/v} + \dots + \frac{r_n}{l_n/v} = v \sum_{i=1}^n \frac{r_i}{N l_i}, \quad (2)$$

где r_i – интервалы $R-R$ длины l_i , $i = 1 \dots n$;

l_i – длины участков ЭКГ, мм;

v – скорость протяжки ленты электрокардиографа, мм/с;

$N = r_1 + r_2 + \dots + r_n$ – общее число интервалов.

В условиях дефицита времени изменение функционального состояния человека-оператора, как нестандартный случайный процесс, может быть охарактеризовано модифицированной функцией сердечного ритма:

$$F(a_0, a_1) = \frac{\sum_{k=1}^n [f(t_k) - a_0 - a_1 t_k]^2}{f(t_n)}, \quad (3)$$

где a_0 , a_1 – числовые значения модифицированной функции сердечного ритма, вычисляются по соответствующим методикам для каждого режима деятельности i , ($i = 1, 2, \dots, N$);

a_0 – начальный уровень функционального состояния;

a_1 – конечный уровень функционального состояния на i -м режиме деятельности, $k \leq i \leq N$;

t_k – продолжительность k -го режима деятельности;

t_n – номинальный период следования подсчитанных импульсов;

n – число подсчитанных импульсов.

В физическом смысле функция $F(a_0, a_1)$ выражает напряжённость оператора, сопровождающую его рабочую деятельность.

Сенсомоторные характеристики в процессе работы операторов рассматриваемых процессов будут исследоваться с помощью разработанных эргографов, адаптированных к конкретной трудовой деятельности исполнителей, с учётом специфики труда, техническая новизна которых защищена патентами на изобретение и проходящих лабораторные испытания.

Результаты исследования. В настоящее время создан экспериментальный образец прибора для снятия показателей трудовой деятельности чесальщика пуха коз и стригаля овец. Научно обоснован, разработан и создан прибор для определения физиологического состояния и расхода физической энергии исполнителя по уровню потоотделения.

Этот прибор включает в себя электронные датчики контроля числа движений и их продолжительности, скоростных и силовых характеристик развиваемых рукой исполнителя, температуры кожного покрова, пульсометр для оперативного контроля числа сердечных сокращений и артериального давления, характер ритмично напрягаемых и расслабляемых основных групп мышц (статической и динамической мышечной работы).

Полученные в результате экспериментальных исследований данные будут использованы при определении обобщённого показателя физиологической напряжённости операторов биотехнических систем в животноводстве и в качестве рекомендаций по прогнозированию и повышению их функциональной надёжности, как обобщенного показателя качества работы [7–9].

Интегральный показатель качества работы человека-оператора, учитывающий его психофизиологическое состояние, может быть представлен в виде:

$$\eta^* = \frac{\sum_{i=1}^{k_1} x_i^{(\eta_1)} \cdot K_i^{(\eta_1)}}{k_1} + \frac{\sum_{j=1}^{k_2} [M_j^{(\Delta\eta_2)} + 3\sigma_j^{(\eta_2)}] \cdot K_j^{(\eta_2)}}{k_2}, \quad (4)$$

где k_1 – число основных параметров, определяющих точность выдерживания режима в фиксируемых точках;

k_2 – число заданных основных параметров, определяющих характеристики данного режима;

$x_i^{(\eta_1)}$ – моментные отклонения основных параметров исследуемого процесса (трудовой деятельности) исполнителя в конкретных регистрируемых точках;

$M_j^{(\Delta\eta_2)}$, $\sigma_j^{(\eta_2)}$ – статические показатели, характеризующие средние отклонения параметров от заданных значений и их вариантность;

$K_j^{(\eta_1)}$, $K_j^{(\eta_2)}$ – весовые коэффициенты, соответствующие заданным функционально-временным и параметрическим показателям трудовой деятельности человека-оператора;

(η_1) , (η_2) – индексы, отражающие соответствие (принадлежность) входящих в выражение параметров к временным и параметрическим (точностным) характеристикам трудовой деятельности исполнителя соответственно.

При использовании данного выражения для сравнительной оценки функционально-программной надёжности человека-оператора, т.е. при выполнении тех же операций, но в других организационно-технологических условиях, вводится третий показатель k_3 , что существенно усложняет методику расчёта и требует разработки специальной математической модели и программы.

При проведении производственного эксперимента возникает вопрос об отборе исследуемых объектов (животных) в таком количестве, которое обеспечивало бы достоверность полученных результатов. Рассматривать всё поголовье является нецелесообразным, достаточно ограничиться выборкой, по результатам эксперимента над которой можно было бы достоверно судить обо всём поголовье. Для того чтобы выбранная группа животных как можно полнее отображала характеристики всего стада, она должна быть достаточно представительной или репрезентативной [6]. Репрезентативность выборки достигается случайным отбором особей из стада, что обеспечивает равную возможность для всех животных попасть в состав выборки.

Аналитическая зависимость (функция роста) между ростом исследуемого показателя и временным рядом данных описывается уравнением логистического роста [4, 5]:

$$W \approx W_0 e^{\mu t}, \quad (5)$$

где W – сухая масса вещества (г);

W_0 – исходное значение сухой массы вещества (г) в момент времени $t=0$;

t – время (мес.);

μ – параметр, определяющий темп роста.

По виду данной зависимости можно судить, что имеет место экспоненциальный рост с начальным темпом, равным μ .

Отклонение темпа роста может быть представлено как сумма n элементарных отклонений:

$$\mu_n = \sum_{i=1}^n x_i, \quad (6)$$

где μ_n – суммарное отклонение темпа роста;

x_1 – отклонение, вызванное рационом питания животного;

x_2 – отклонение, вызванное перепадами температур;

x_3 – отклонение, вызванное влиянием влажности воздуха;

x_4 – отклонение, вызванное наследственностью;

x_5 – отклонение, вызванное качеством ухода за животным и т.д.

Число n этих элементарных отклонений весьма велико, как и число n причин, вызывающих суммарное отклонение μ_n . Таким образом, на темп роста μ влияет множество случайных факторов, влияние каждого из которых в отдельности незначительно и им можно пренебречь.

Слагаемые $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ являются независимыми случайными величинами, сравнимыми по порядку своего влияния на рассеивание суммы. К примеру, x_1 ограничено нормами питания по ГОСТу; x_2 и x_3 обусловлены сельскохозяйственной зоной; x_4 – породой особей в стаде; x_5 – требованиями по уходу и т.д.

Выполняются все условия центральной предельной теоремы и можно утверждать, что случайная величина μ_n – суммарное отклонение темпа роста исследуемого показателя распределено нормально.

Математическое ожидание темпа роста исследуемого признака равно μ . Зная, что случайная величина μ_n распределена нормально, можно с вероятностью 0,9973 утверждать, что ее отклонение от математического ожидания не превысит 3σ , т.е. $\mu_n \in (\mu - 3\sigma; \mu + 3\sigma)$ при норме ошибки вычислений в инженерных расчётах 3–5%.

Составим интервальный вариационный ряд, в котором распределим значения варьируемого признака – количество сухого вещества, образовавшегося в течение года, и соответствующая частота появления признака. Интервалы варьирующего признака определим, исходя из возможных значений темпа роста и уравнения логистического роста [4–6].

Разобьём вариацию на равные классовые интервалы. Для дальнейшего вычисления численных характеристик, согласно рекомендации Д. Юла и М. Кендэла [10], следует выделять 15–20 классов, независимо от числа наблюдений. Величина классов определяется делением размаха варьирования признака на число классов:

$$i = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{K}, \quad (7)$$

где i – величина классового интервала;

x_{\max} – максимальная варианта совокупности;

x_{\min} – минимальная варианта совокупности.

Составим вариационный ряд, приняв к рассмотрению лишь те классы (интервалы), для которых частота появления признака (число животных) отлична от нуля, исходное значение сухой массы вещества – W_0 , время образования сухой массы – t месяцев, число животных – $n=20$.

О точности средних показателей, которыми оценивают результаты наблюдений, можно судить по значению коэффициента G_S – показателя точности определения средней:

$$G_S = \frac{S_{\bar{x}}}{\bar{x}} \cdot 100\%, \quad (8)$$

где \bar{x} – выборочная средняя, находится по формуле:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i n_i. \quad (9)$$

$S_{\bar{x}}$ – статистическая ошибка выборочной средней, выражается в формуле:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}. \quad (10)$$

Для данной конкретной выборки можно подсчитать значения выборочной средней и статистическую ошибку выборочной средней. Показатель точности определения средней G_S не должен превышать 5%. Это будет означать, что результаты наблюдений вполне удовлетворительны при объёме выборки, равной n [4–6].

Вывод. Предложенная математическая модель позволит определить количество объектов исследований n для производственных испытаний. Данная выборка будет репрезентативной, а результаты исследований, полученные для данного количества

объектов (животных), будут адекватно отображать характеристики всего поголовья.

Литература

1. Поздняков В.Д., Ротова В.А., Салыкова О.С. К вопросу исследования сложных биотехнических систем // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. № 1 (39). С. 36–37.
2. Поздняков В.Д., Ротова В.А. Модели и моделирование биотехнологических процессов в животноводстве // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2008. № 1 (17). С. 98–101.
3. Хлопко Ю.А., Осипова А.М. Математическая модель функционирования биотехнической системы процесса механической обработки кожного покрова животного // Фундаментальные исследования. 2014. № 11 (ч.3). С. 534–539.
4. Ротова В.А. Совершенствование технологии и технического средства для механизированного вычёсывания пуха коз: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Оренбург, 2009. 146 с.
5. Ротова В.А., Ушаков Ю.А. Механизированное вычёсывание пуха у коз. Совершенствование технологии и технического средства // Palmarium academic publishing. Saarbrucken (Deutschland), 2014. 215 с.
6. Ротова В.А., Ушаков Ю.А., Данилова Н.Г. Математика для экономистов: методические указания для практических занятий: учеб.-методич. пособие. Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2015. 152 с.
7. Ушаков Ю.А. Сохранение качества молока инженерными методами / Ю.А. Ушаков, О.Н. Терехов, Г.П. Василевский [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2014. № 5. С. 53–56.
8. Ушаков Ю.А. Инженерные методы обеспечения качества молока: дис. докт. техн. наук: 05.20.01. Оренбург, 2011. 376 с.
9. Поздняков В.Д. Повышение надёжности и эффективности функционирования операторов механизированных процессов животноводства: дис. ... докт. техн. наук. Оренбург, 2006. 452 с.
10. Юл Д.Э., Кендэл М.Дж. Теория статистики. М., 1960. 779 с.