

## Методика исследования повышения функциональной надёжности операторов животноводства

*В.А. Шахов, д.т.н., профессор, Ю.А. Ушаков, д.т.н., профессор, В.А. Ротова, к.т.н., ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ; А.М. Калимуллин, к.т.н., ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ*

Эффективное внедрение прогрессивных технологий и эксплуатация современных высокопроизводительных, экономичных машин сдерживается возможностями и способностями управляющего ими человека. Положительное решение данной проблемы в сельском хозяйстве (АПК) немислимо без комплексного учёта всех факторов, в том числе повышения уровня профессиональной подготовки человека (оператора) как одного из наиболее важных элементов систем «человек — техника», «человек — машина — животное» и др.

**Материал, методы и результаты исследования.** Накопленный опыт разработки и эксплуатации человеко-машинных систем в высокотехнологичных отраслях народного хозяйства (энергетика, авиация, космос и т.д.) и относящийся к биотехническим (биотехнологическим) системам в животноводстве позволяет определить логическую структуру последовательности решения круга задач, направленных на повышение функциональной надёжности исполнителя — оператора (человека).

На первом этапе необходимо изучить и получить систему математических выражений, определяющих взаимосвязь характеристик анализаторов человека, от которых будут существенно зависеть эффективность функционирования рассматриваемой системы, восприятие визуальной информации, скорость её переработки, характеристика слухового вестибулярного и тактильного аппаратов, характеристика речеобразующего тракта, скорость переработки информации, оперативная, кратковременная и долговременная память, двигательная реакция человека (простая и сложная) на различные раздражители, координация движений, показатели психофизиологической надёжности и т.д.

Полную и достоверную информацию содержания работы Н.В. Адамовича, Н.С. Белолицкого, В.П. Зинченко, В.И. Костюка, Б.Ф. Ломова, Г.М. Заракского, В.М. Мунипова, И.Е. Цибулевского, а также результаты собственных исследований применительно к специфике рассматриваемого процесса [1–9].

На втором этапе необходимо разработать алгоритмическую модель и дать математическое описание влияния на деятельность человека возмущающих воздействий окружающей среды, факторов

дефицита времени, морального состояния, прочих ограничений, определяющих его деятельность в соответствии с нормативными инструкциями, технической и эксплуатационной документацией. При этом рекомендуется использовать методику определения функциональной надёжности оператора, разработанную А.И. Губинским, включающую блоки программных, функциональных и операционных единиц (рабочие блоки операций, логические или альтернативные, блоки операций задержки, блоки контроля: функционального и диагностического) [10]. По мере накопления опыта можно развить и дополнить эту методику в соответствии с родом и спецификой трудовой деятельности конкретного исполнителя [1–5].

На третьем этапе осуществляются математическое описание выполняемого оператором процесса, переработка информации, принятие решения, формирование управляющих воздействий и их реализация непосредственно в процессе трудовой деятельности.

Что касается информационного поиска, то оценочными показателями могут быть локальные и интегральные (глобальные) характеристики: слепой и целенаправленный поиск, число шагов или проб, выполненных оператором для достижения определённой наперёд заданной цели, длина (продолжительность) поиска, уровень (степень) риска, соотношение полезной информации и общеполученной и т.д.

Оценка и прогнозирование информационной напряжённости оператора может быть дана посредством сравнения его с «идеальным оператором», т.е. сопоставляя объём фактически переработанной информации с тем, который он должен переработать для достижения конечной цели на интервале времени.

На основании результатов математической обработки экспертных оценок можно определить дискретный ряд распределения среднего количества информации, перерабатываемой оператором в рассматриваемом интервале, найти предельные (максимальные и минимальные) границы информационной загрузки, которые будут определять эффективность работы человека (индивидуума) на данном этапе.

Эффективность оценки принятия решения может быть определена числом правильных решений к числу возможных вариантов или тестовым методом с учётом объёма выдаваемых вопросов (задач) и коэффициентов их трудности (сложности). Число групп тестов может достигать 10, по 50–250 контрольных вопросов в каждой группе, и коэффициенте сложности (трудности) с числовым значением, лежащим в пределах 0–1.

Четвёртый этап решения проблемы заключается в использовании полученных ранее на предыдущих этапах математических выражений и моделей (структурных, структурно-функциональных),

основанных на декомпозиции деятельности исполнителя (от программных, функциональных и операционных единиц), для получения обобщающей модели и интегральной оценки эффективности деятельности человека в рассматриваемой системе.

Несмотря на большое число публикаций, касающихся отдельных вопросов оценки деятельности человека в системах «человек – техника» применительно к различным отраслям промышленности, пока, к сожалению, недостаточно работ, касающихся исполнителей, задействованных в АПК, в том числе и в животноводстве.

По нашему мнению, определение функциональной надёжности исполнителя должно исходить из следующего.

1. Описание системы («человек – машина», «человек – машина – животное») должно быть трёхуровневым: нижний уровень (первый) должен быть представлен операционными единицами; средний (второй) – функциональными единицами как совокупностью комбинаций операционных единиц; высокий (третий) должен характеризоваться комбинацией функциональных единиц, объединённых в технологическом и смысловом отношении в законченную программу, инвариантность которых может привести к оптимальному значению.

2. Определение функциональной надёжности  $P_{F_x}$  оператора, характеризующей безошибочность выполнения операций исполнителем, целесообразно представить в виде составляющих:

- $P_{F_n}$  – функционально-программной, характеризующей способность человека выполнять определённые функции в соответствии с алгоритмом трудовой деятельности;
- $P_{F_v}$  – функционально-временной, характеризующей свойство человека выполнять предписанные алгоритмом функции в заданные интервалы времени (при наложении ограничений на время);
- $P_{F_p}$  – функционально-параметрической, характеризующей способности человека выполнять предписанные функции с заданной или требуемой точностью.

3. Дополнительным критерием уровня функциональной надёжности, связанной с уровнем профессионального мастерства, могут служить рационализация действий и приёмов, расход физической энергии в течение длительного периода непрерывной работы, а также уровень физиологического состояния (число сердечных сокращений, артериальное давление, потребление кислорода при дыхании, потовыделение и т.д.). Для снятия таких показателей могут использоваться специальные тесты и технические средства: тренажёры, муляжи, стенды и медицинские приборы для медико-биологических исследований.

На основании количественного значения показателя надёжности выполнения алгоритма трудовой деятельности оператора в биотехнических системах

можно судить о его соответствии технологическим и техническим требованиям процесса, эргономичности и технологичности техники, влиянии окружающей среды на рассматриваемую биотехническую систему, определить внутренние резервы человека, предсказать возможное его поведение в эмоционально насыщенных условиях работы.

Функции человека в системе «оператор – машина – животное» могут быть различными, среди них немало функций, выполняемых техническими устройствами, которые превосходят возможности человека. По сравнению с машинами человек хуже выполняет такие функции как контроль над результатом действий машин или людей, расход больших порций энергии с дозированной постепенностью и установленной точностью, выполнение монотонных повторяющихся операций и т.д.

При организации труда человека в системе «оператор – машина – животное» в процессе вычёсывания пуха у коз должны быть учтены все возможности и потребности человека, включая потребность трудового творчества. Основная проверка продуктивности работы системы «оператор – машина – животное» – контроль её результативности: производительности труда, количества правильно решённых производственных задач, скорости выполнения рабочих действий.

В процессе работы оператор оказывает на животное энергетическое воздействие (рис.) как непосредственное при вспомогательных операциях  $\mathcal{E}_e$  (придерживание, фиксация, удерживание жи-

вотного в определённом положении), так и технологическое, через гребень  $\mathcal{E}_{gm}$  и  $\mathcal{E}_o$  (расчёсывание косичек, вычёсывание пуха). Затраты энергии исполнителя тем меньше, чем совершеннее средство для вычёсывания пуха. Процесс получения продукта  $\Pi$  (пуха) на всём этапе работы контролируется оператором по зрительным, слуховым каналам  $S_k$  от животного, а также от машины  $S_m$ . Качество полученного продукта оператор оценивает по каналу  $S_n$  визуальным и при помощи вспомогательных средств (линейка для определения длины пухового волоса, микроскоп для определения толщины, динамометр для проверки крепости пуха и т.д.). О качестве процесса можно судить по выходу продукции, качеству вычесанного пуха. Время воздействия оператора на объект чёски составляет от 20 до 50 мин, при этом наибольшая нагрузка приходится на руки (75–78%), предплечье (10–15%), ноги и корпус (10–12%). В связи с этим очевидна необходимость создания нового, более совершенного механического устройства для чёски пуха, которое бы сократило расход времени и затраты физической энергии исполнителя, позволив облегчить его труд.

Однако отличительной особенностью данного процесса от других процессов в овцеводстве и козоводстве является то, что предмет труда (шёрстный покров, пух) отделяется от объекта труда и переходит в другую систему «оператор – машина – материал». С некоторыми допущениями системного подхода можно констатировать, что

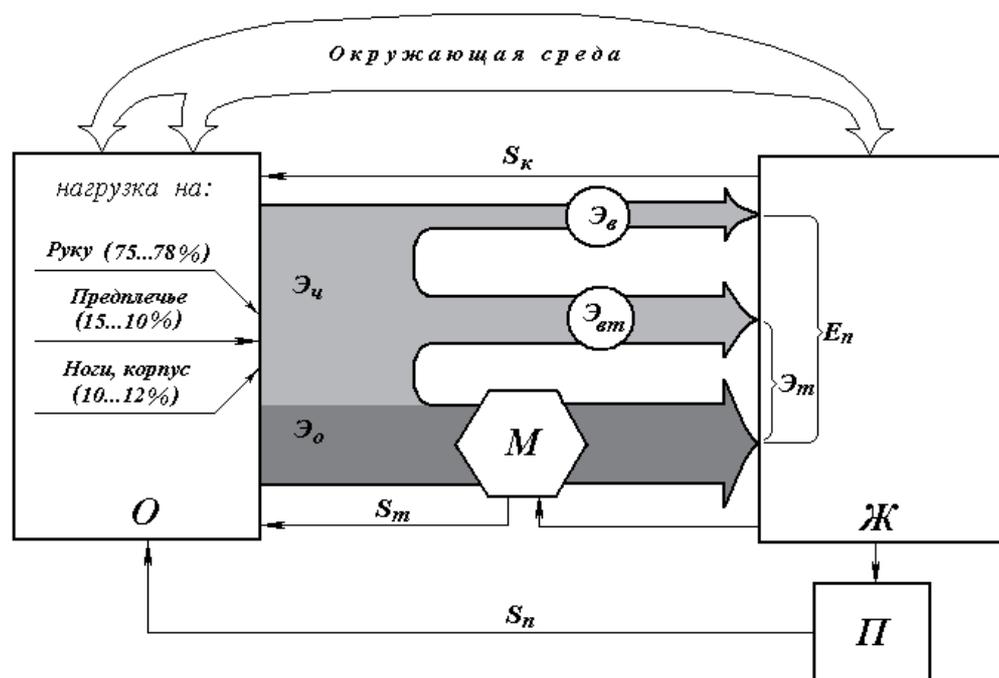


Рис. – Эргатическая модель деятельности оператора:

$O$  – оператор;  $M$  – машина;  $Ж$  – животное;  $\Pi$  – продукт;  $G_m$  – масса животного (25–35 кг);  $G_n$  – масса пуха;  $S$  – каналы получения информации ( $S_k$  – зрительный и слуховой оператором от животного;  $S_m$  – оператором от машины,  $S_n$  – оператором о качестве продукта);  $\mathcal{E}$  – энергетическое воздействие ( $\mathcal{E}_{gm}$  – вспомогательное технологическое воздействие оператора на животное через гребень (расчёсывание и т.д.);  $\mathcal{E}_e$  – энергетическое воздействие на животное при вспомогательных операциях;  $\mathcal{E}_i$  – энергетическое состояние человека;  $\mathcal{E}_o$  – энергетическое воздействие оператором на животное через гребень;  $\mathcal{E}_m$  – на технологические операции);  $E_n$  – полная энергия

энергия оператора посредством механических действий (живого движения), переходит из одного качественного состояния (биологического) в другое (физиологическое) и накапливается в составной части шёрстного покрова.

Так, с применением современных математических средств и разработанной компьютерной программы нами были определены обобщённые показатели трудовой деятельности операторов массовых профессий в животноводстве  $K_{\Sigma Tg}^0$ , включающие в себя частные показатели:  $K_C^0$  – коэффициент стереотипности,  $K_{Л}^0$  – коэффициент логической сложности,  $K_H^0$  – коэффициент надёжности трудовой деятельности,  $K_{ПТ}^0$  – коэффициент производительности труда,  $K_T^0$  – коэффициент точности выполняемых операций,  $K_B^0$  – коэффициент быстродействия и  $K_Y^0$  – коэффициент удобства выполняемой работы. Самое низкое количественное значение характеризуется  $K_{\Sigma \min}^0 = 0,08–0,10$ , самый высокий уровень  $K_{\Sigma \max}^0$  не превышает  $0,20–0,22$ .

**Вывод.** Необходимо комплексное решение широкого круга задач, направленных на внедрение прогрессивных и индустриальных технологий в животноводстве, где основное место должно уде-

ляться повышению функциональной надёжности управляющего звена биотехнических систем – человека (оператора).

## Литература

1. Ротова В.А. Совершенствование технологии и технического средства для механизированного вычёсывания пуха коз: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Оренбург, 2009. 146 с.
2. Ротова В.А., Ушаков Ю.А. Механизированное вычёсывание пуха у коз. Совершенствование технологии и технического средства // Palmarium academic publishing. Saarbrücken (Deutschland), 2014. 215 с.
3. Ушаков Ю.А. Критерии формирования поверхностей, взаимодействующих с молоком и моющим раствором // Естественные и технические науки. 2011. № 4. С. 528–531.
4. 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.
5. Ушаков Ю.А. Инженерные методы обеспечения качества молока: дис. .... докт. техн. наук: 05.20.01. Оренбург, 2011. 376 с.
6. Адамович Н.В. Управляемость машин (эргономические основы оптимизации рабочего места человека-оператора). М.: Машиностроение, 1977. 280 с.
7. Сергеев С.Ф. Инженерная психология и эргономика: учебное пособие. М.: НИИ школьных технологий, 2008. 176 с.
8. Рыбников О.Н. Психофизиология профессиональной деятельности: учебник для студ. высш. учебн. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 320 с.
9. Дорохов А.Н. Обеспечение надёжности сложных технических систем: учебник / А.Н. Дорохов, В.А. Керножицкий, А.Н. Миронов [и др.]. СПб.: Издательство «Лань», 2011. 352 с.
10. Губинский А.И., Кобзев В.В. Оценка надёжности человека-оператора в системах управления. М.: Машиностроение, 1975. 52 с.