

«Сейфуллин оқулары – 18: « Жастар және ғылым – болашаққа көзқарас» халықаралық ғылыми -практикалық конференция материалдары = Материалы международной научно-практической конференции «Сейфуллинские чтения – 18: « Молодежь и наука – взгляд в будущее» - 2022.- Т.І, Ч.V. - С. 189-194

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫХ РЕЖИМОВ КАБИНЫ МСА

Саубетов А.А., магистрант

Казахский агротехнический университет им. С.Сейфуллина , г. Нур-Султан

До настоящего времени проблематичными остаются вопросы нормализации микроклимата в кабинах мобильных сельскохозяйственных агрегатов (МСА) в условиях динамического изменения микроклимата от воздействия различных факторов, что отрицательно сказывается на условиях труда и здоровье оператора. Сложность проблемы состоит в том, что параметры микроклимата зависят от большого количества внешних и внутренних возмущающих факторов, которые до настоящего времени недостаточно изучены из-за значительной инерционности тепловых характеристик модели кабин МСА. Все это сдерживает разработку средств нормализации микроклимата (СНМ). Несоблюдение санитарных требований приводит к тому, что при внешней температуре свыше $+30^{\circ}\text{C}$ температура воздуха в кабинах МСА достигает $+45^{\circ}\text{C}$, а скорость движения воздуха - 1,5-2,0 м/с. В теплое время года поверхность кабины нагревается до 27-60 $^{\circ}\text{C}$. Влажность изменяется от 30 до 95%. Перепады температуры воздуха внутри кабины достигают 10°C и более. [4,5,7].

Успешное развитие микроклимата в животноводстве, и в частности молочного скотоводства, как одной из основных отраслей агропромышленного комплекса в любом регионе, в том числе и в Казахстане, зависит, как известно, от многих факторов, и прежде всего, от полноценного кормления, постановки селекционной работы и создания необходимых зоогигиенических требований. Как известно, технический прогресс в любой отрасли обязательно меняет роль человека в управлении машиной. Окружающие условия, в которых протекает деятельность человека, управляющего машиной, значительно влияют на его работоспособность.

Специфические условия сельскохозяйственного труда, наличие неблагоприятных факторов создают ряд отрицательных явлений в сельском хозяйстве, в частности, большую текучесть кадров. Ежегодно из сельскохозяйственного производства выбывает 35 тыс. человек [2,5,8].

Современные агротехнологии предъявляют высокие требования к параметрам микроклимата, в котором находится оператор в кабине * мобильного с-х агрегата (МСА).

Под микроклиматом понимается совокупность физических свойств и химического состава воздуха внутри кабины: температура, влажность, скорость потока, содержание вредных газов, запыленность, плотность солнечной и тепловой радиации.

Совершенствование отечественных сельскохозяйственных машин в настоящее время в основном направлено на улучшение их технико-экономических параметров и мало влияет на санитарно-гигиенические условия труда.

Неблагоприятный микроклимат способствует снижению производительности труда операторов на 15-20% и может вызвать развитие профессиональных заболеваний и патологических изменений в организме, а также является причиной преждевременной потери трудоспособности и даже инвалидности.

Улучшение условий труда операторов имеет огромное социальное значение: уменьшается текучесть кадров и снижаются потери из-за заболеваемости, сокращается производственный травматизм.

Анализ условий труда операторов отечественных МСА выявил следующие недостатки: в целом морально и физически устаревшие кабины и оборудование; несоблюдение и нарушение установленных санитарных норм и ГОСТов по нормированию микроклимата, недостаточная тепло- и звукоизоляция кабин на рабочем месте оператора, повышенный уровень запыленности и загазованности в кабинах. Существующее положение усугубляется отсутствием нормальных условий для отдыха.

Изучение и решение проблем, связанных с обеспечением здоровых и безопасных условий, в которых протекает труд человека - одна из наиболее важных задач при разработке новых агротехнологий.

Современные МСА оснащаются дорогостоящими системами отопления и вентиляции. В зарубежных кабинах тракторов находят применение различные типы нормализаторов микроклимата. До сих пор проблематично создание надежных, недорогих и экологически безопасных средств нормализации микроклимата (СНМ). Под воздействием толчков и вибраций в процессе эксплуатации сельскохозяйственных машин их надежность снижается в несколько раз по сравнению с эксплуатацией в стационарных условиях, поэтому создание надежных и эффективных СНМ является перспективным направлением.[8-11]

Задачи исследования: проведение теоретических исследований зависимостей тепловлажностных процессов в кабинах МСА от возмущающих на них воздействий.

- Обоснование и разработка математических моделей температурно-влажностных режимов кабины МСА. Разработка методик комплексной оценки параметров микроклимата в установившихся и неустойчивых тепловлажностных режимах кабин; совершенствование автоматизированных средств нормализации параметров микроклимата в кабинах МСА.

Результаты исследования. В работе были рассмотрены модели обеспечения комфортных условий микроклимата в помещении, учитывающие условия минимизации затрат энергии. В рамках статьи было установлено что все модели можно разделить на три класса:

1. Модели «белого ящика», к которым относятся модель Фангера (PMV/PPD), модели, учитывающие чувствительность человека к различным микроклиматическим факторам (ET*-DISC, PD, PS, TS), а также модель электротепловой аналогии (RC) и адаптивные модели [8,12]

2. Модели «черного ящика», к которым можно отнести модели на основе нейронных сетей, нечеткой логики и нейро-нечеткого моделирование [5, 11].

3. Модели «серого ящика», являющиеся гибридными. В выводах работы [7] указано, что наибольшее распространение получила модель PMV, но в последние годы проявляется все больший интерес к моделям «черного ящика».

В рамках данной статьи будут более подробно рассмотрены и описаны перечисленные модели. PMV/PPD модель Среди исследований теплового комфорта наибольшее распространение получили работы П. О. Фангера. Им была разработана модель, использующая уравнения теплового баланса и эмпирические исследования о температуре кожи. Модель основана на показателях PMV (прогнозируемая средняя оценка качества воздушной среды) и PPD (прогнозируемый процент недовольных температурой среды) [10, 11]. С помощью показателя PMV можно прогнозировать среднюю чувствительность к температуре группы людей в помещении на основе баланса температуры тела по семибалльной шкале комфорта от -3 до 3. Современный вид формулы для расчета показателя PMV приведен в ГОСТ Р ИСО 7730-2009 [8, 11]:

$$PMV = [0,303 \exp(-0,036M) + 0,028 \cdot (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M(5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M(34 - t_a) - 3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)] \quad (1)$$

где M - скорость обмена веществ, Вт/м²;

W - эффективная механическая энергия, Вт/м²;

I_{cl} - коэффициент теплоизоляции одежды, м² · К/Вт;

f_{cl} - коэффициент площади поверхности одежды;

t_a - температура воздуха, °С;

\bar{t}_r - средняя температура излучения, °С;

v_{ar} - скорость движения воздуха, м/с;

p_a - парциальное давление водяного пара, Па;

h_c - коэффициент конвективного теплообмена, Вт/(м² · К)

t_{cl} - температура поверхности одежды, °С.

Температура поверхности одежды рассчитывается как:

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028(M - W) - I_{cl} - \{3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)\}, \quad (2)$$

где I_{cl} – коэффициент теплоизоляции одежды.

Коэффициент площади поверхности одежды можно найти по формуле:

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,29 \cdot I_{cl}, & \text{если } I_{cl} \leq 0,078 \\ 1,05 + 1,645 \cdot I_{cl}, & \text{если } I_{cl} > 0,078 \end{cases} \quad (3)$$

Значение PMV, равное нулю, является идеальным. Оно соответствует сочетанию активности, одежды и параметров среды, обеспечивающих тепловую нейтральность. Для того чтобы предсказать число лиц, которые не удовлетворены в той или иной степени температурой окружающей среды, используется индекс PPD. По этому показателю люди, которые голосовали по шкале комфорта за значение, отличное от нуля, считаются недовольными. На рисунке 2 изображена зависимость параметра PPD от рассчитанного значения PMV. Значение PPD можно вычислить [10] как:

$$PPD = 100 - 95e^{-(0,03553PMV^4 + 0,02179PMV^2)} \quad (4)$$

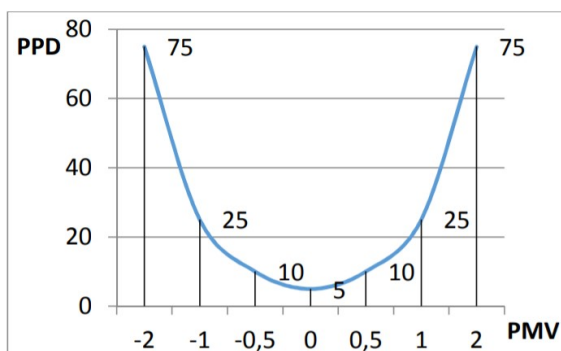


Рисунок 2. Зависимость функции PPD от значения PMV

ET*-DISC модель ET*-DISC [11] использует модель теплового баланса для прогнозирования теплового комфорта, но развивается во времени, не будучи в равновесном состоянии, как PMV. ET* означает «новая

эффективная температура» с учетом радиационной и скрытой (латентной) передачи тепла. ET^* может быть рассчитана с использованием двухузловой модели [12]. Эта модель определяет поток тепла между областями окружающей среды, кожи и тела в минуту. DISC прогнозирует тепловой дискомфорт, используя температуру и площадь влажной кожи. ET^* является температурой окружающей среды при относительной влажности, равной 50 %, при которой животные потеряют такое же количества тепла, как и в реальной окружающей среде. Уравнение может быть представлено [9] как:

$$ET^* = T_{op} + w \cdot i_m \cdot LR \cdot (p_{as} - 0,5p_a), \quad (5)$$

где p_a – давление насыщенного водяного пара; p_{as} – атмосферное давление; T_{op} – оперативная температура; w – площадь влажной кожи; i_m – проникающая эффективность одежды; LR – отношение Льюиса, измеряемое в (К/кПа), которое представляет собой соотношение коэффициентов конвективной теплопередачи и испарения. SET^* (стандартная эффективная температура) является продолжением разработки модели ET^* . Эта модель использовалась в качестве индекса комфорта как внутри помещения, так и во внешней среде. SET^* численно представляет собой тепловую нагрузку, испытываемую моделью относительно «стандартного человека» в «стандартной среде» [10]. При температуре между 23 °С и 41 °С, SET^* линейно зависит от температуры тела:

$$SET^* = 34,95 \cdot T_b - 1247,6, \quad (6)$$

Степень комфортности полученного значения определяется по шкале комфорта в диапазоне от –3 до 3. Далее кратко рассматриваются три эмпирические модели (PD, PS и TS), которые были получены в результате статистической обработки субъективного ощущения комфорта множества респондентов с учетом наличия движения воздуха (сквозняка) и влажности в помещении.

Модель PD Модель PD прогнозирует процент недовольных из-за нежелательного местного охлаждения (сквозняка). Входными данными являются температура воздуха, скорость движения воздуха и интенсивность турбулентности воздушного потока. Уравнение было выведено в ходе исследований, при которых 100 человек подвергались воздействию различных комбинаций температуры воздуха, скорости потока воздуха с различной интенсивностью турбулентности. Для каждой комбинации условий людей опрашивали, чувствуют ли они сквозняк. Таким образом, PD представляет собой процент людей, проголосовавших за то, что они

чувствовали сквозняк, а значит, не удовлетворены микроклиматическими условиями.

Модель PS Модель основана на выборе комфортного уровня скорости движения воздуха. Уравнение модели прогнозирует скорость движения воздуха, которая будет выбрана человеком при определенной температуре воздуха.

Модель TS Уравнение модели представляет собой прогнозирование теплового ощущения с использованием линейной функции температуры воздуха и парциального давления паров.

RC-модель В расчетах тепловых процессов методом электротепловой аналогии нередко в качестве аналога напряжения принимают разность температур между рассматриваемыми точками тепловой цепи, а в качестве аналога электрического тока – тепловой поток в цепи [9-11]. Однако часто используют и другой вид электротепловой аналогии, где в качестве аналога для теплового потока принимают производную по времени от энтропии системы ST [11]: В этом случае произведение теплового потока (реакции) и теплового напряжения (воздействия) имеет размерность мощности (Вт). В таблице 1 иллюстрирует соответствие между понятиями тепловой и электрической RC-моделей.

Таблица 1. Сопоставление понятий тепловой и электрической RC-моделей

Тепловая модель	Электрическая модель
Температура $U_T = T$ (К)	Напряжение U (В)
Изменение энтропии во времени $I_T = \frac{dS}{dt}$ (Вт/К)	Сила тока I (А)
Сопrotивление $R_T = \frac{U_T}{I_T} = \frac{T_{cp} \cdot l}{\lambda \cdot s}$ (К ² /Вт): T_{cp} – средняя температура, l , s – длина и площадь поперечного сечения тепловой цепи, λ – коэффициент теплопроводности	Сопrotивление R (Ом)
Емкость $C_T = \frac{ST}{T_{cp}} = \frac{c_p \cdot \rho}{T} sV_0$ (Дж/К ²): V_0 – объем, в котором происходит теплообмен; c_p – удельная теплоемкость при постоянном давлении; ρ – плотность вещества	Емкость C (Кл/В)

Изменения температуры резко возрастают в течение 120 с от 5,2 до 6,3% в диапазоне расхода воздуха тк от 0,2 до 1 кг/с, после чего достигают установившихся значений в пределах от 5,8 до 6,3%.

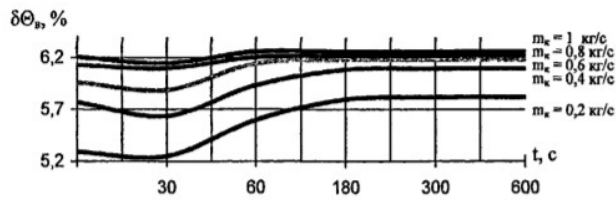


Рис. 1. Графики зависимостей изменения температуры воздуха $\Delta\Theta_{\text{в}}$ от времени t при различных значениях расхода воздуха $m_{\text{к}}$ ($\Theta_{\text{в}} = 22^\circ\text{C}$, $\Delta\Phi_{\text{к}} = 40\%$; $P_{\text{в}}/P_{\text{н}} = 1$; $\Delta\Theta_{\text{к}} = 3^\circ\text{C}$, $\Delta\Theta_{\text{во}} = 2^\circ\text{C}$, $\alpha_{\text{вн}} = 20 \text{ Вт/}^\circ\text{C}$, $V = 3,2 \text{ м}^3$)

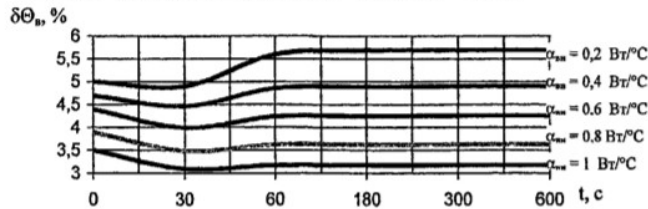


Рис. 2. Графики зависимостей температуры воздуха от времени t при различных значениях суммарного коэффициента теплоотдачи кабины

Из графиков на рис. 2. видно, что до 60 с изменения температуры находятся в пределах от 3,0 до 5,8 % и в дальнейшем остаются практически без изменений. Изменения температуры воздуха в кабине обратно пропорциональны суммарному коэффициенту теплоотдачи кабины.

Исследование взаимосвязи между многомерными задачами управления. Связь между параметрами мониторинга определяется бинарными отношениями p которые можно понимать как функциональные отношения, предпочтения, последовательности и другие, отражающие суть отношений. При синтезе многомерных систем управления значительные трудности связаны с наличием статических и динамических перекрестных связей между различными входами и выходами системы. Исследования взаимовлияния продувки воздухом и кондиционирование воздуха показали, что температура окружающей среды является наиболее доминирующим фактором, влияющим на влажность показан на рисунке 3.

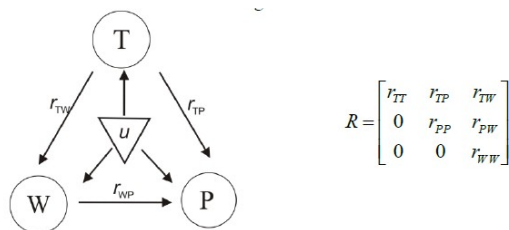


Рисунок 3. Упрощенная схема контроля микроклимата, исключая незначительные зависимости

Выводы:

1. Анализ известных средств оценки и нормализации микроклимата показал, что они пока малоэффективны и не позволяют обеспечить допустимый микроклимат (температура $18-31^\circ\text{C}$, влажность 60-70%) в кабинах МСА в реальных условиях работы сельскохозяйственной техники в

теплое время года.

2. Усовершенствованные универсальные средства нормализации микроклимата (СНМ), на базе современной микропроцессорной техники, обеспечивают допустимый микроклимат в кабинах МСЛ; они внедрены и подтверждены актом по натурным испытаниям на ЦМИС. СНМ рекомендованы для использования в хозяйствах, НИИ, испытательных и учебных центрах.

3. Рекомендуется использовать усовершенствованные СНМ в кабинах МСА класса до 2,0 включительно со следующими техническими характеристиками: производительность вентилятора от 480 до 550 м³/ч; холодопроизводительность от 2,0 до 2,7 кВт; потребление мощности от бортовой сети трактора около 0,4 кВт; температура, влажность воздуха на выходе СНМ 18-25°C, 60-70% соответственно.

Список использованной литературы

1 Современные датчики. Справочник. – Москва: Техносфера, 2015. – 592 с

2 Парр Э. Программируемые контроллеры: руководство для инженера / Э. Парр; пер. 3-го англ. Изд. – М: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 616 с.: ил.

3 СанПиН 2.2.4.548-96 "Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений: Санитарные правила и нормы "

4 Teye F. Comparative assessment of four methods for estimating ammonia emissions at microclimatic locations in a dairy building / Teye F., Hautala M.// Int. J. Biometeorol.– 2010. – № 54(1). – P. 63-74. doi: 10.1007/s00484-009-0255-y

5 Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Tiny и Mega фирмы ATMEL / А.В. Евстифеев - М.: Издательский дом «Додэка XXI». - 2008. - 560 с.

6 Микропроцессорная техника в мехатронике и робототехнике / Сост.: В.В. Путов, А.В. Путов, К.В. Игнатъев, М. М. Копычев, В.П. Казаков, Е.В. Друян, Т.Л. Русяева. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. - 88 с.

7 Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования / И.В. Петров - М.: "Солон Пресс". - 2003.

8 Войтенко, В.С. Параметрические и программируемые системы управления вентиляцией А-CLIMA [Текст] / В.С. Войтенко, С.В. Вендин // В книге: Материалы международной студенческой научной конференции. Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2015. С. 209.

9 Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования / И.В. Петров - М.: "Солон Пресс". - 2003.

10 Онлайн-журнал "Толковый электрик" [Электронный ресурс] - URL: <http://electric-tolk.ru/sistemy-zazemleniya-tn-s-tn-c-s-tn-s-tt-it/> (дата обращения: 18.10.2018).

11 Втюрин В.А. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Основы АСУ ТП. - уч. пособие / В.А. Втюрин. - СПб.: Изд-во СПбГЛА, 2006. – 152 с., ил.