

near the solution that you are looking for, all non-linear functions with subsequent release only the linear members.

During dynamic optimization of the linearized mechanical system with discrete spectrum selected criterion of the quality movement, which minimizes its specific (per unit mass) kinetic energy in modes of start-up/braking. Set necessary conditions for implementation of this criterion of quality of motion (equation of Euler), based on known procedures and algorithms of classical computation. On this basis, established basic laws and laws of true motion of such mechanical systems.

Analysis of stability and possible modes of motion of mechanical system with discrete spectrum in certain amount of acceleration and deceleration in accounting accelerated to third order inclusive. The resulting equation of Euler (by replacing) can be reduced to such, the analysis of the characteristic equation of which is, in fact, the analysis of the roots of the cubic equation. Since the criterion of Routh-Hurwitz and the condition under which the steady equilibrium of this system fails, then there are, respectively, unstable (equilibrium). The nature of resulting instability depends essentially on the parameters of the system.

Keywords: *generalization, criteria, dynamic optimization, regimes, movement, stability, linearization, mechanical system, discrete spectrum*

УДК 636.083.45:62-192

ОГЛЯД ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАДІЙНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ У ТВАРИННИЦТВІ

**А. В. Новицький, кандидат технічних наук
e-mail: NovitskiyAV@ukr.net**

Анотація. У статті наведено актуальність і важливість удосконалення діяльності оператора як складової технічної системи «Людина-Машина». Проведено огляд наукової літератури в якій проаналізовано надійність і ефективність функціонування операторів машин і обладнання в тваринництві. Розглянуто питання функціонування операторів механізованих процесів тваринництва за такими спеціальностями: операторів машинного доїння; стригалів овець; операторів для вичісування пуху кіз, молодших спеціалістів ветеринарної медицини; слюсарів для заточування ножів стригальних машин; операторів машин для приготування і роздачі кормів. Встановлено, що одним з ефективних шляхів вирішення проблеми підвищення кваліфікації

© А. В. Новицький, 2016

операторів в тваринництві є використання тренажерів. Для кількісного визначення надійності складних технічних систем пропонується використовувати залежності, що враховують вплив двох складових: ймовірності виникнення відмови машини і ймовірності виникнення помилок оператора. Отримано моделі для визначення ймовірності безвідмовної роботи системи при накопиченні відмов і для умови підвищення професійного і психофізіологічного рівня оператора. Представлені аналітичні залежності для визначення ймовірностей безвідмовної роботи системи. Перспективним напрямком при аналізі складних біотехнічних систем в тваринництві є вдосконалення технології, розробка обладнання та оснащення робочих місць операторів.

Ключові слова: *надійність, система, машина, людина-оператор, тварина, відмова*

Постановка проблеми. Однією з основних систем виробництва аграрної продукції є складна технічна система «Людина - Машина». В останні десятиріччя особливої гостроти набула проблема удосконалення операторської діяльності в системах управління технологічними процесами (ТП), складними технічними системами «Людина-Машина» (СТС «ЛМ») та «Людина - Машина - Тварина (Рослина) - Середовище» (СТС «ЛМТ(Р)С»). Від функціонування складової «людина-оператор» залежить подальше підвищення ефективності не лише тих сільськогосподарських машин та виробничо-технологічних комплексів машин і обладнання, які знаходяться в експлуатації, але й тих, які розробляються або ж удосконалюються. Саме «людина-оператор» як складова таких СТС приймає найбільш відповідальні рішення, саме від правильності дій, вміння своєчасно знайти і усунути відмову, залежить ефективність поставлених перед ними завдань, цілісність об'єкта дослідження, безпека людей і тварин.

З розвитком технічних засобів, їх ускладнення і перетворення з простих пристроїв – в СТС «ЛМ» та «ЛМТ(Р)С», все більш проявляється недосконалість «людини-оператора» при їх використанні. Щодо тваринництва, то через низьку кваліфікацію персоналу поширюються захворювання тварин і навіть їх падіж через незадовільне обслуговування [12]. З молока низької якості не можна приготувати хороші молочнокислі продукти, а вживання неякісних молочних продуктів призводить до захворювань людей. Попереднім аналізом встановлено, що у вівчарстві малодосвідчений стригаль може допустити велику кількість помилок, які призводять до зниження якості рун, передчасного виходу з ладу стригальних машинок, травмування шкірного покриву тварин і навіть їх загибелі. І це лише невеликий перелік проблем, які можуть виникнути через низький професійний і психофізіологічний рівень працівників.

Для дослідження процесів взаємозалежної роботи «Людини-оператора» («Л») і «Машини» («М»), як складових СТС «ЛМ», виникає необхідність у системному їх аналізі та встановленні кількісних закономірностей впливу стану оператора на показники надійності і ефективності роботи. Дослідження в цій галузі науки не забезпечують необхідного рівня вирішення відповідних завдань. Створення математичних моделей, які адекватно описують зміну станів СТС в залежності від рівня експлуатаційних факторів, сприятиме формуванню інформаційної бази для проектування, розвитку методичних основ дослідження і випробування, методів забезпечення їх працездатності та способів ефективного їх використання.

Аналіз останніх досліджень. Огляд і аналіз даних технічних і патентних джерел інформації, та наукової літератури, отриманий як вітчизняними, так і зарубіжними дослідниками показав, що цій проблемі надають серйозну увагу у військово-промисловому комплексі, авіації, атомній енергетиці, авіації, морському та автомобільному транспорті. Як показує вивчення літературних джерел, СТС «ЛМ» та їх складові досить повно і детально досліджені в багатьох наукових працях, включаючи [6, 11, 14].

Накопичений практичний досвід з експлуатації СТС в аграрному виробництві показує зростаючий вплив стану операторів на надійність і ефективність їх використання. Виходячи з аналізу літературних джерел, традиційні методи організації роботи машинно-тракторних агрегатів (МТА) якими є СТС «ЛМТ(Р)С» враховують стан оператора опосередковано у вигляді: усереднених складових балансу часу зміни; взаємодії людини-оператора і технічної підсистеми в рамках єдиної системи; режимів роботи системи; особливостей впливу зовнішнього середовища. У науковій літературі опубліковані результати досліджень складових СТС «ЛМРС», які функціонують при реалізації технологічних процесів в рослинництві на прикладі орних і зернозбиральних, транспортних і заготівельних СТС. Відомі наукові роботи, які досліджують СТС «ЛМ» та «ЛМС» у лісовому комплексі та в деревообробній галузі.

Але методи кількісного опису процесів роботи МТА у тваринництві як людино-машинних систем на даний момент розроблені ще недостатньо. Накопичено певний досвід у дослідженні роботи механізмів, обслуговуванні і поведінці тварин, однак дії оператора як активної ланки системи потребують більш детального вивчення. Виняток становлять рекомендації з підвищення надійності і ефективності функціонування операторів механізованих процесів тваринництва за окремими спеціальностями: операторів машинного доїння [5, 8, 9, 12, 15]; стригалів овець [1, 5, 12]; операторів для вичісування пуху кіз [4, 17];

молодших ветеринарних спеціалістів [12]; слюсарів для заточування ножів стригальних машин [8, 12]; операторів засобів для приготування і роздавання кормів [2, 10].

Метою досліджень є проведення огляду теоретичних досліджень, які направлені на забезпечення надійного функціонування СТС у тваринництві та формування основних напрямків підвищення їх надійності та ефективності.

Результати досліджень. До теперішнього часу недостатньо інформації та мало достовірних кількісних показників, які характеризують функціональну надійність операторів машин, слюсарів-ремонтників, механіків у тваринництві. Складність вирішення проблеми у галузі тваринництва полягає в недоступності використання інструментального контролю, у недостатній кількості науково-обґрунтованих методик проведення теоретичних і експериментальних досліджень, у відсутності спеціального оригінального устаткування. Питанням дослідження складних біотехнічних і біотехнологічних систем у тваринництві присвячені наукові роботи, в яких вирішувались окремі задачі для підсистем різного рівня [8, 12, 15]. Найбільш досліджуваними підсистемами першого рівня у тваринництві є: доїльний апарат-корова; стригальна машинка - шерстьотвірні тварини (вівця, верблюди і т.п.), гребінні машини для вичісування пуху у кіз і т.д. [5].

Підсистемами другого рівня є підсистема типу машина - людина, яку можна віднести до ергономічної, тому що вона вирішує питання раціонального, в окремих випадках оптимального, опису конструктивних параметрів обладнання і робочих місць з антропометричними, а також функціональними можливостями виконавця: оператора машинного доїння, стригальника овець, оператора з чесання пуху, слюсара заточувальника ріжучих пар, молодшого ветеринарного працівника.

Спираючись на методи оцінки «людини-оператора» біотехнічних систем, які були запропоновані А. І. Губинським [6] та Б. Ф. Ломовим [11], Поздняков В. Д. пропонує для розрахунку повної надійності оператора враховувати структурну і функціональну надійність [12]. При аналізі повної надійності операторів таких біотехнічних систем, автор пропонує функціональну надійність представити у вигляді сукупності трьох складових: функціонально-параметричної, тобто визначальної здатності оператора виконувати технологічні операції відповідно до параметричних допусків і обмежень; функціонально-часової, тобто здатності оператора виконувати технологічні операції відповідно до нормативних тимчасових показників; функціонально-програмної, тобто здатності оператора працювати відповідно до гнучких алгоритмів трудової діяльності, роботи на різних типах обладнання і при різних формах організації праці.

Для кількісного визначення помилок оператора і встановлення значення ймовірності відмови, автор [12] пропонує використати залежність, яка враховує вплив двох складових: ймовірності виникнення відмови системи в результаті виникнення помилок оператора (P_i) та ймовірності того, що помилка оператора призведе до відмови (F_{i_i}):

$$Q_i = 1 - (1 - F_i - P_i)^{n_i+1}, \quad (1)$$

де: Q_i – ймовірність виникнення відмови системи в результаті виникнення помилок оператора; P_i – ймовірність того, що операція буде виконана таким чином, що під час її проходження виникне відмова; F_i – ймовірність того, що помилка оператора призведе до відмови; n_i – кількість операцій при яких виникали відмови.

В [5, 8, 9, 12] встановлено, що одним із ефективних рішень проблеми підвищення кваліфікації операторів у тваринництві є використання тренажерів. Тільки використання тренажерів при підготовці операторів та підвищенні їх кваліфікації, дозволило скоротити затрати ручної праці на 18,6%, час доїння однієї корови на 43% та підвищити коефіцієнт використання доїльного обладнання з 0,615 до 0,885 [12]. Представлений роботі напрям може бути використано в інших галузях аграрного виробництва, включаючи використання тренажерів при підготовці слюсарів-ремонтників та працівників технічного сервісу.

В дослідженнях професора Стремніна В. О. [15] систему машин у тваринництві також розглянуто з позицій системного підходу як біотехнічну систему «Людина-Машина-Тварина-Середовище» («ЛМТС»). Як зазначає автор, алгоритм керування такою системою носить, як правило, ймовірнісний характер, а ефективність роботи залежить перш за все, від того, наскільки оптимальні зв'язки і взаємодія між її елементами. Автором було встановлено, що близько 20-30% відмов технічних систем у тваринництві прямо або побічно пов'язано з помилками або відмовами людини-оператора. Раціональна взаємодія складових біотехнічної системи «ЛМТС», згідно [15], дозволяє підвищити її ефективність на 15-20%, повніше використати генетичний потенціал тварини, можливості людини-оператора, технічний рівень машини в конкретних умовах експлуатації.

Виходячи з представлених математичних моделей та аналітичних залежностей, автор формує систему машин для тваринництва з дотриманням ряду методологічних принципів, основними з яких є [15]: представлення системи як «ЛМТС»; врахування її ієрархічної структури; розподіл таких систем на прості, розгалужені та складні розгалужені; оцінка системи за моделлю оптимізації структури та моделлю ефективності функціонування;

врахування впливу на комплексну оцінку системи «ЛМТС» складових «людина», «машина», «тварина»; вибір системи шляхом перебору станів виходячи із ефективності складових; врахування якості технічних засобів та ефективності процесів. Позитивним також є те, що автор пропонує розрахувати ефективність функціонування багатоопераційних комбінованих агрегатів у тваринництві із врахуванням надійності оператора, як складової СТС:

$$C(t) = \frac{1}{2}P(C_T + \frac{1}{K}\sum_{i=1}^k C_M), \quad (2)$$

де: K – кількість операцій; P – надійність оператора; C_T – показник ефективності енергетичної машини; C_M – показник ефективності i -ої машини.

Для машин та обладнання в тваринництві, згідно аналізу автореферату [15] використовуються залежності, що враховують лише аварійні відмови, тобто має місце експоненціальний закон розподілу часу між відмовами:

$$Q(t) = \delta \cdot e^{-\lambda_c t}, \quad \lambda_c = \frac{1}{K}\sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad (3)$$

де: λ_i – параметр потоків відмов елементу; λ_c – параметр потоків відмов системи; n – кількість елементів системи; δ – вихідний ефект системи.

Для розрахунку ефективності роботи розгалужених систем з однорідною структурою в [15] використана наступна залежність:

$$Q_i(t) = \sum_{i=1}^n P_i(t) \cdot \delta, \quad (4)$$

де: $P_i(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи i -ої ланки системи; n – кількість елементів (ланок) системи; δ – вихідний ефект системи.

Щодо розгалужених систем з неоднорідною структурою, то для окремих систем в тваринництві, як зазначається у [15]. потік відмов описується законом Пуассона. Також автором при визначенні ймовірності безпомилкового виконання роботи системою розглядаються відмови машини і оператора, як потік однорідних подій у вигляді добутку двох складових $P_M(t)$ і $P_{оп}(t)$:

$$P_{СЛМ}(t) = e^{-\lambda_M t_{ом}} \cdot e^{-\lambda_{оп} t_{ооп}}, \quad (5)$$

де: $t_{ом}$ – заданий час роботи машини; $t_{ооп}$ – заданий час роботи оператора; λ_M – інтенсивність відмов машини; $\lambda_{оп}$ – інтенсивність відмов оператора.

Автором також встановлена знача різниця в показниках надійності роботи при обслуговуванні доїльного обладнання спеціально підготовленими слюсарями у порівнянні з рядовими механізаторами. Це вказує на додатковий резерв у забезпеченні ефективності роботи СТС «ЛМТ». Для порівняння рівня професійного рівня персоналу автор вводить критерій ефективності навчання або ж о'бєм залишкової інфрмациї працівника. У своїй книзі з основ інженерної психології [11] професор Ломов Б. Ф. пропонує

формулу визначення коефіцієнта оперативної готовності людини-оператора:

$$K_{оп} = 1 - \frac{T_0}{T}, \quad (6)$$

де: $K_{оп}$ – коефіцієнт оперативної готовності; T_0 – час, протягом якого оператор не знаходиться в робочому стані; T – загальний час роботи оператора.

Точку зору важливості комплексного вивчення особливостей виконання технологічних операцій у тваринництві з позицій надійності розділяють автори наукової статті [1]. Але разом з тим, вони стверджують, що оперативна готовність оператора у тваринництві, включаючи стригалю до виконання функціональних дій залежить від його спеціального навчання і тренування. Запропонована Б. Ф. Ломовим формула (6) справедлива для окремого людино-машинного агрегату і некоректна для групового - стригального агрегату. Дослідження біотехнічної системи «ЛМТ» в технологічному процесі стрижки, отримана за результатами досліджень фізична модель трудової діяльності стригалю та фактори, що впливають на їх функціональну надійність формують нову аналітичну залежність. Автори пропонують праву частину формули (6) представити як відношення часу роботи - годину, до кількості обстрижених за цей час тварин « q », а відношення назвати годинним коефіцієнтом питомих витрат оперативного часу на вівцю:

$$K_{оп} = 1 - \frac{1}{q}. \quad (7)$$

В основі фізичної моделі трудової діяльності стригалю представлено надійність всіх складових біотехнічної системи «ЛМТ», але разом з тим, не чітко визначені основні показники, які її формують.

Вирішенню питань функціонування біотехнічних систем присвячено наукові статті під керівництвом Фененка А. І., в одній із яких [16] автори акцентують увагу на тому, що перспективний розвиток ферм з виробництва молока потребує не тільки нових техніко-технологічних і будівельних рішень, але й науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, які б гармонійно поєднували всі критерії біотехнічної системи «Людина-Машина-Тварина-Комфорт» (ЛМТК). Тобто, пропонується ввест додаткову складову «комфорт».

Актуальними питаннями, які потребують вивчення і пов'язані із підвищенням надійності та ефективності техніки для тваринництва, є забезпечення запасними частинами [3]. В роботі проведено прогнозування кількісного і номенклатурного складу запасних частин. За результатами досліджень експлуатаційної надійності обладнання кормоцеху «Хортиця» було встановлено [3], що показники безвідмовності і ремонтпридатності обладнання добре

описуються законом Вейбулла з параметром форми $b = 0,9 - 2,61$ год. та середнім значенням ресурсу $t_{cp} = 310-4340$ год. Цікавими є отримані значення напрацювання на відмову, які відповідно дорівнюють: 489 год. для ТЛ-65; 230 год. для ИКМ-5 та 185 год. для ТК-5. Завдяки обґрунтованому складу запасних частин, було встановлено, що середній час відновлення працездатності обладнання для тваринництва знаходиться в межах 1,75 – 3,61 год., коефіцієнт оперативної готовності 0,830–0,863, а коефіцієнт технічного використання – 0,878–0,965. Як показує аналіз, окремі елементи та отримані результати наукової роботи можуть бути корисними при забезпеченні працездатності сучасних машин та обладнання. Дослідженнями [13] також підтверджено, що вплив оператора машинного доїння на ефективність функціонування біотехнічної системи «ЛМТ» досягає 25-30%. На основі теоретичних досліджень ефективності роботи операторів, їх анкетування і ранжирування, в авторефераті [13] вказується на залежність функціонального стану систем від наступних факторів: віку працівника; рівня його професійного навчання; кваліфікаційної підготовки; стану функціональних систем організму, які забезпечують його працездатність. Заслуговує на увагу пристрій та методика для відновлення фізичної втоми операторів машинного доїння. Разом з тим, автореферат збіднено відсутністю аналітичних залежностей, які описують вплив на ефективність біотехнічної системи «ЛМТ» складової «оператор», про що акцентується у висновках до дисертаційної роботи.

В якості основного показника технологічної надійності оператора машинного доїння, в науковій роботі [18] автор пропонує прийняти ймовірність безпомилковості роботи $P(t)$, яка розраховується за відомою формулою, але на рівні окремих операцій:

$$P_{оп}(t) = e^{-\lambda_{оп}t_{оп}}, \quad \lambda = \frac{K}{NT}, \quad (8)$$

де: λ – інтенсивність потоку відмов; K – інтенсивність потоку відмов при i -ій операції; N – загальне число операцій, які виконуються; T – час спостережень.

Заслуговує на увагу додаткове наукове опрацювання умов взаємодії елементів системи «ЛМТ» та вплив на її ефективність роботи ергономічності робочого місця оператора машинного доїння. Автор зазначає [18], що втрати на операціях оператора становлять від 16 до 32%, а це вказує на необхідність при побудові множинної регресії ввести коефіцієнт переддоїльної стимуляції K_{TH} :

$$K_{TH} = \frac{T_n}{T}, \quad (9)$$

де: K_{TH} – коефіцієнт; T_n – тривалість роботи оператора при надійності не нижче допустимої; T – тривалість доїння.

За результатами регресивного аналізу отримане рівняння зв'язку між факторами ергономічності і показниками технологічної надійності оператора, яке враховує наступні коефіцієнти [18]: зручність обслуговування в горизонтальній площині; зручність обслуговування у вертикальній площині; фронт обслуговування; обслуговування робочого місця; безпеку виконання роботи.

Необхідно зазначити, що в авторефератах до дисертаційних робіт [18] та [15] констатується той факт, що ймовірні мінімальні витрати при доїнні корів забезпечуються при параметрі відмов $\lambda=0,074$ та ймовірності безвідмовної роботи оператора $P_{оп}(t) = 0,85$.

Актуальним і перспективним напрямом при аналізі складних біотехнічних систем у тваринництві є вдосконалення технології, розробка обладнання та оснащення робочих місць для чесання пуху кіз [4]. В статті [4] автор особливу увагу приділяє питанням, які пов'язані з людським фактором і розробкою ергономічно обґрунтованого планування робочого місця оператора з чесання пуху кіз. Корисним є проведене детальне ранжування характерних порушень технології чесання пуху кіз, згідно якого переважаючий вплив на зниження якості проведення робіт має порушення оператором: послідовності вичісування ділянок; неправильна орієнтація гребня стригального обладнання; понад допустимі зусилля, які прикладаються при чесанні. Беручи до уваги перераховані вище причини порушення в роботі оператора, враховуючи можливість використання сучасних способів і технічних рішень для вичісування пуху кіз, автор розглядає цілий ряд заходів, включаючи ергономічне обґрунтування робочого місця, вдосконалення його оснащення.

Розгляд процесу вичісування пуху кіз з позицій складної біотехнічної системи «ЛМТ», який представлено в [17], дозволяє згрупувати їх в три характерних блоки. Перший блок напрямків – включає в себе розробку і вдосконалення механічних вичісувальних пристроїв з метою мінімізації зусиль виконавця і травмування тварини, другий блок напрямків – передбачає забезпечення функціональної надійності виконавця і технологічного обладнання, третій блок напрямків – охоплює оптимізацію організації процесу вичісування. Не менш важливим при забезпеченні надійності складних систем «ЛМТ» є підготовка машин та обладнання до роботи. Саме вказана причина дуже часто призводить до нанесення больових відчуттів тварині, може викликати додаткове занепокоєння або ж стреси. Дослідженнями [8] встановлено, що підготовку ріжучих пар до роботи, діагностику і заточування ножа (гребінки) проводить слюсар-заточувальник. Але, як показав аналіз, його професійний рівень в більшості випадків незадовільний. Так, в господарствах

Оренбурзької області [8, 12] всі слюсарі-заточувальники не мають ні практичної ні теоретичної підготовки, і як правило, пенсійного віку. З 25 слюсарів заточувальників, опитаних в господарствах області, тільки 2 працівники змогли пояснити, як підготувати нову ріжучу пару до експлуатації і тільки 6 працівників змогли розповісти, як підготувати до роботи безпосередньо сам агрегат. Жодне робоче місце слюсарів-заточувальників ріжучих пар не відповідало ергономічним вимогам. А це вказує на те, що резервом забезпечення надійності машин та обладнання тваринництва є комплексний системний підхід до організації технічне обслуговування та ремонту агрегатів, відновлення робочих органів та деталей. І в цьому випадку необхідно використати сучасні наукові методи діагностування і ремонту. Проведений аналіз підтверджує необхідність ергономічного забезпечення робочих місць працівників, включаючи підбір і раціональне розміщення допоміжного обладнання, вибір зручного положення по відношенню до ремонтного агрегату або ж деталі, яка відновлюється.

Актуальними є дослідження, які дозволяють визначити закономірності зміни ймовірності безвідмовної роботи засобів для приготування і роздавання кормів (ЗПРК) як СТС «ЛМ». На основі побудови розміченого графа станів, з використанням методів математичного моделювання СТС «ЛМ», отримано стохастичні диференціальні рівняння балансу ймовірностей [10]:

$$P_0(t) = \frac{\lambda_1' \lambda_1'' + \lambda_1'' \mu + \lambda_1' \mu}{\lambda_0' \lambda_1' + \lambda_0'' \lambda_1'' + \lambda_1' \lambda_1'' + \lambda_1'' \mu + \lambda_1' \mu + \lambda_0'' \mu + \lambda_0' \mu} \quad (10)$$

де: λ_i – інтенсивності відмов; μ_i – інтенсивності відновлень.

Особливий інтерес представляє визначення не тільки граничних ймовірностей перебування СТС «ЛМ» в одному з станів з точки зору оцінки її надійності, але й динаміку зміни показників надійності протягом певного періоду експлуатації ЗПРК.

Цікавими і перспективними є теоретичні дослідження, які направлені на встановлення закономірностей зміни ймовірності безвідмовної роботи ЗПРК як систем «ЛМ» в умовах зниження рівня їх працездатності й удосконаленні складової «людина-оператор» [2]. Вирішення отриманої задачі можна провести за рахунок введення фіктивного стану в граф стнів. Після розрахунків встановлена ймовірність підвищення свого професійно-психофізіологічного рівня оператором:

$$P_1'' = - \frac{(-St\lambda_0'')(-Sh\lambda_0''\lambda_1''(1 + \lambda_1' + 2\lambda_0'))}{(S^2h\lambda_0'' - S^2\lambda_1'' + h\mu\lambda_0'')(S^4 + 2S^3\lambda_1' + 2S^3\lambda_0' + 2S^3\lambda_2 - 2S^3t\lambda_0'') + S^2h\lambda_0''(\lambda_2 + \lambda_1'')} \quad (11)$$

Завдяки визначенню впливу складової «людина-оператор» відкривається можливість виявлення основних показників надійності СТС, а також дослідження їх зміни в процесі експлуатації.

Висновки

Таким чином, результати огляду теоретичних досліджень з проблем надійності СТС в тваринництві підтверджують доцільність і важливість вивчення впливу складових «людина», «машина», «тварина», «середовище» на ефективність їх функціонування.

Визначення функціонального стану операторів машин, слюсарів-ремонтників, механіків та інженерно-технічних працівників наочно підтверджують важливість обраного напрямку, який можна рекомендувати як методологію дослідження складних біотехнічних і біотехнологічних систем в тваринництві. Проаналізовані вище моделі та представлені аналітичні залежності дають можливість формувати раціональні шляхи підвищення професійного і психофізіологічного рівня працівників, методів і засобів з метою підвищення надійності СТС.

Список літератури

1. *Алексеенко Н. П.* Обеспечение надежности биотехнической системы «человек–машина–животное» в технологическом процессе стрижки / *Н. П. Алексеенко., Н. В. Пономаренко, И. А. Шишина* // Вестник АПК Ставрополья. – 2014. – №2(14). – С. 15–19.
2. *Бойко А. І.* Математичне моделювання системи «людина – машина» при накопиченні відмов / *А. І. Бойко, А. В. Новицький* // Вісник Харківського національного університету сільського господарства. – Х., 2013. – Вип. 134. – С. 75–80.
3. *Болтянська Н. І.* Підвищення експлуатаційної надійності машин і обладнання тваринництва прогнозуванням кількісного та номенклатурного складу запасних частин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / *Болтянська Наталія Іванівна* ; Таврійська ДАТА. – Мелітополь, 2005. – 23 с.
4. *Ваньков А. В.* Эргономическое обоснование планировки рабочего места чесальщика пуха коз / *А. В. Ваньков* // Известия Оренбургского ГАУ. – Оренбург, 2005. – № 3 (7). – С. 84–87.
5. *Востриков В. А.* Повышение эффективности работы оператора в системе «человек – машина – животное» (на примере машинного доения) : автореф. дисс. на соискание научн. степени канд. техн. наук 05.20.01. «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» / *Востриков Владимир Алексеевич* ; ФГОУ «Оренбург. гос. агр. ун-т». – Оренбург, 1997. – 19 с.
6. *Губинский А. И.* Основные понятия теории надежности применительно к человеку / *А. И. Губинский* // Стандарты и качество. – 1967. – № 1. – С. 21–30.
7. *Карабинеш Сергей.* Неразрушающие испытания деталей сельскохозяйственных машин как основа обеспечения их высокого качества / *С. Карабинеш* // Motrol, motoryzacja i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture. – 2015. – Vol. 17. – № 3. – P. 191–196.
8. *Карташов Л. П.* Технологии и технические средства обучения операторов животноводства / *Л. П. Карташов, В. Д. Поздняков, Е. Л. Ревякин.* – М.: ФГНУ Росинформагротех», 2007. – 88 с.
9. *Каскинова Н. Н.* Совершенствование конструктивно-технологических параметров для обучения операторов машинного доения коров : автореф. дисс.

- на соискание научн. степени канд. техн. наук. 05.20.01. «Технологии и средства механизации сельского хозяйства», 05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве» / *Каскинова Наиля Насыббуловна* ; ФГОУ «Оренбург. гос. агр. ун-т». – Оренбург, 2009. – 22 с.
10. *Новицкий А. В.* Исследование надёжности сложных технических систем «человек-машина» методом графов / *А. В. Новицкий* // Motrol. Motoryzacia i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture. – Lublin, 2014. – Vol. 16, № 3. – P. 96–102.
11. *Основы инженерной психологии : уч. пособие / Б. А. Дашков, Б. Ф. Ломов, В. Ф. Рубахин, Б. А. Смирнов.* – М.: Высшая школа, 1997. – 335 с.
12. *Поздняков В. Д.* Повышение надёжности и эффективности функционирования операторов механизированных процессов животноводства: автореф. дис. на соискание научн. степени доктора техн. наук: 05.20.01. «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» / *Поздняков Василий Дмитриевич* : Оренбург. гос. агр. ун-т. – Оренбург, 2006. – 44 с.
13. *Ротова В. А.* Совершенствование технологии и технического средства для механизированного вычесывания пуха коз : автореф. дисс. на соискание научн. степени канд. техн. наук 05.20.01. «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» / *Ротова Виктория Азорьевна* ; ФГОУ «Оренбург. гос. агр. ун-т». – Оренбург, 2009. – 23 с.
14. *Рябинин А. И.* Надёжность и безопасность структурно-сложных систем / *А. И. Рябинин.* – Санкт-Петербург: Политехника, 2000. – 248 с.
15. *Стремнин В. А.* Принципы обоснования зональной системы машин в животноводстве : автореф. дисс. на соискание научн. степени докт. техн. наук 05.20.01. «Механизация сельского хозяйства» / *Стремнин Валентин Алексеевич* ; СибИМЭ. – Новосибирск, 1995. – 19 с.
16. *Фененко А. І.* Техніко-технологічні аспекти розвитку біотехнічних систем виробництва молока / *А. І. Фененко, В. В. Ткач* // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха, 2014. – Вип. 99 (1). – С. 476–485.
17. *Хлопко Ю. А.* Перспективные направления совершенствования процесса чески пуха коз с позиции сложной биотехнической системы «человек – машина – животное» / *Ю. А. Хлопко, В. А. Ротова, А. М. Осипова* // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=15109> (дата обращения: 01.08.2016).
18. *Яковенко Т. П.* Повышение технилогической надёжности оператора путем совершенствования условий труда в системе «человек-машина-животное» : автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук: 05.20.01. «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» / *Яковенко Татьяна Павловна* ; Челябинск. гос. агр. ун-т. – Оренбург, 2003. – 21 с.

References

1. *Alekseenko, N. P., Ponomarenko, N. V., Shyshyna, Y. A.* (2014). Obespechenyen adezhnosity byotekhnicheskoy systemi «chelovek–mashyna–zhyvotnoe» v tekhnolohycheskom protsesse stryzhky [Obespechenie of dejnosti, biotekhniskais system "man–machine–animal" in the process of shearing]. Vestnyk APK Stavropol'ya, 2(14), 15–19.
2. *Boyko, A. I., Novyts'kyu, A. V.* (2013). Matematychnye modelyuvannya systemy «lyudyna – mashyna» pry nakopychenni vidmov [Mathematical modeling of the system "man – machine" with the accumulation of failures]. Bulletin of Kharkov national University of agriculture, Kh., Vyp. 134, 75–80.

3. *Boltyans'ka, N. I.* (2005). Pidvyshchennya ekspluatatsiynoyi nadiynosti mashyn i obladnannya tvarynnystv prohnozuvannyam kil'kisnoho ta nomenklaturnoho skladu zapasnykh chastyn [Improving the reliability of machinery and equipment livestock forecasting quantitative and nomenclature of spare parts] : avtoref. dys. na zdobuttya nauk. stupenya kand. tekhn. nauk: spets. 05.05.11 «Mashyny i zasoby mekhanizatsiyi sil'skohospodars'koho vyrobnystv». Tavriys'ka DATA, Melitopol', 23.
4. *Van'kov, A. V.* (2005). Erhonomycheskoe obosnovanye planyrovky rabocheho mesta chesal'shchyka pukha koz [Ergonomic justification-plan workplace Comber down goats]. Proceedings of Orenburg State Agricultural University, Orenburh, 3 (7), 84–87.
5. *Vostrykov, V. A.* (1997). Povishenye efektyvnosti raboti operatora v systeme «chelovek – mashyna – zhyvotnoe» (na prymerе mashynnoho doenyya) [Improving the efficiency of the operator in the system "man – machine – animal" (for example milking)] : avtoref. dyss. na soyskanye nauchn. stepeny kand. tekhn. nauk 05.20.01. «Tekhnolohyy y sredstva mekhanyzatsyy sel'skoho khozyaystva». FHOU «Orenburh. hos. ahr. un-t», Orenburh, 19.
6. *Hubynskyy, A. Y.* (1967). Osnovnie ponyatyya teoryi nadezhnosti pryemnytel'no k cheloveku [Basic concepts of reliability theory as applied to man]. Standards and quality, 1, 21–30.
7. *Karabynesh, Serhey.* (2015). Nerazrushayushchye yspitanyya detaley sel'skokhozyaystvennikh mashyn kak osnova obespechenyya ykh visokoho kachestva [Non-destructive testing of parts of agricultural machinery as the basis to ensure high quality]. Motrol, motoryzacia i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture, Vol. 17, 3, 191–196.
8. *Kartashov, L. P., Pozdnyakov, V. D., Revyakyn E. L.* (2007). Tekhnolohyy y tekhnicheskyye sredstva obuchenyya operatorov zhyvotnovodstva [Technology and technical training of operators of animal husbandry]. M.: FHNU Rosynformahrotekh», 88.
9. *Kaskynova, N. N.* (2009). Sovershenstvovanye konstruktivno-tekhnolohycheskykh parametrov dlya obuchenyya operatorov mashynnoho doenyya korov [Improvement of the constructive-technological parameters for the training of operators of machine milking of cows] : avtoref. dyss. na soyskanye nauchn. stepeny kand. tekhn. nauk. 05.20.01. «Tekhnolohyy y sredstva mekhanyzatsyy sel'skoho khozyaystva», 05.20.03 «Tekhnolohyy y sredstva tekhnicheskoho obsluzhyvanyya v sel'skom khozyaystve». FHOU «Orenburh. hos. ahr. un-t», Orenburh, 22.
10. *Novytskyy, A. V.* (2014). Yssledovanye nadezhnosti slozhnykh tekhnicheskyykh system «chelovek-mashyna» metodom hrafov [Investigation of the reliability of complex technical systems "man-machine" method of graphs]. Motrol. Motoryzacia i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture, Lublin, Vol. 16, 3, 96–102.
11. *Dashkov, B. A., Lomov, B. F., Rubakhyn, V. F., Smyrnov, B. A.* (1997). Osnovi ynzhenernoy psykholohyy : uch. posobyе [Fundamentals of engineering psychology : textbook]. M.: Visshaya shkola, 335.
12. *Pozdnyakov, V. D.* (2006). Povishenye nadezhnosti y efektyvnosti funktsyonyrovanyya operatorov mekhanyzirovannikh protsessov zhyvotnovodstva [Increase of reliability and efficiency of functioning of operators of mechanized processes of husbandry] : avtoref. dys. na soyskanye nauchn. stepeny doktora tekhn. nauk: 05.20.01. «Tekhnolohyy y sredstva mekhanyzatsyy sel'skoho khozyaystva». Orenburh. hos. ahr. un-t, Orenburh, 44.
13. *Rotova, V. A.* (2009). Sovershenstvovanye tekhnolohyy y tekhnicheskoho sredstva dlya mekhanyzirovannoho vichesivanyya pukha koz [Improvement of the technology and technical means for mechanical combing of the goats fluff] : avtoref.

dyss. na soyskanye nauchn. stepeny kand. tekhn. nauk 05.20.01. «Tekhnolohyy y sredstva mekhanyzatsyy sel'skoho khozyaystva». FHOU «Orenburh. hos. ahr. un-t», Orenburh, 23.

14. Ryabynyn, A. Y. (2000). Nadezhnost' y bezopasnost' strukturno-slozhnykh system [The reliability and safety of structurally complex systems]. Sankt-Peterburh: Polytekhnyka, 248.

15. Stremnyn, V. A. (1995). Pryntsypi obosnovaniya zonal'noy systemi mashyn v zhyvotnodstve [Principles of justification for a zonal system of machines in animal] : avtoref. dyss. na soyskanye nauchn. stepeny dokt. tekhn. nauk 05.20.01. «Mekhanyzatsyya sel'skoho khozyaystva». SybYME, Novosybyrsk, 19.

16. Fenenko, A. I., Tkach, V. V. (2014). Tekhniko-tekhnolohichni aspekty rozvytku biotekhnichnykh system vyrobnytstva moloka [Technological aspects of rostima biotechnical systems of milk production]. Mekhanizatsiya ta elektryfikatsiya sil's'koho hospodarstva, Hlevakha, Vyp. 99 (1), 476–485.

17. Khlopko, Yu. A., Rotova, V. A., Osypova, A. M. (2014). Perspektivnye napravlenyya sovershenstvovaniya protsessa chesky pukha koz s pozytsyy slozhnoy byotekhnicheskoy systemi «chelovek – mashyna – zhyvotnoe» [Perspective directions of perfection of process of combing goats from the position of complex biotechnical systems "man – machine – animal"]. Sovremennye problemi nauky y obrazovaniya, 5.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=15109> (data obrashchenyya: 01.08.2016).

18. Yakovenko, T. P. (2003). Povisheniye tekhnolohicheskoy nadezhnosti operatora putem sovershenstvovaniya uslovyi truda v systeme «chelovek-mashyna-zhyvotnoe» [Tehnological increase the reliability of the operator by improving working conditions in the system "man-machine-animal"] : avtoref. dys. na soyskanye nauchn. stepeny kand. tekhn. nauk: 05.20.01. «Tekhnolohyy y sredstva mekhanyzatsyy sel'skoho khozyaystva». Chelyabynsk. hos. ahr. un-t, Orenburh, 21.

ОБЗОР ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАДЕЖНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

А. В. Новицкий

Аннотация. В статье приведена актуальность и важность совершенствования деятельности оператора как составляющей технической системы «Человек-Машина». Проведен обзор научной литературы в которой проанализирована надежность и эффективность функционирования операторов машин и оборудования в животноводстве. Рассмотрены вопросы функционирования операторов механизированных процессов животноводства по следующим специальностям: операторов машинного доения; стригалей овец; операторов для вычесывания пуха коз младших ветеринарных специалистов; слесарей для заточки ножей стригальных машин; операторов машин для приготовления и раздачи кормов. Установлено, что одним из эффективных решений проблемы повышения квалификации операторов в животноводстве является использование тренажеров. Для количественного определения надежности

сложных технических систем предлагается использовать зависимости, учитывающие влияние двух составляющих: вероятности возникновения отказа машины и вероятности возникновения ошибок оператора. Получены модели для определения вероятности безотказной работы системы при накоплении отказов и для условия повышения профессионального и психофизиологического уровня оператора. Представлены аналитические зависимости для определения вероятностей безотказной работы системы. Перспективным направлением при анализе сложных биотехнических систем в животноводстве является совершенствование технологии, разработка оборудования и оснащения рабочих мест операторов.

Ключевые слова: надежность, система, машина, человек-оператор, животное, отказ

REVIEW OF THEORETICAL RESEARCH OF RELIABILITY OF COMPLICATED TECHNICAL SYSTEMS IN LIVESTOCK

A. V. Novitskiy

Abstract. *The paper shows the urgency and importance of the improvement of the human operator as part of the technical system "Human-Machinery". The review of scientific literature which analyzed the efficiency of the operators of machinery and equipment in animal husbandry. Considered operators functioning mechanized processes of livestock in the following specialties: milking machine operators; Sheep shearer; operators for combing down goats; junior veterinary professionals; mechanics for sharpening knives sheepshearer machines; operators of facilities for preparation and distribution of feed. It was established that one of the effective solutions to operators training in animal husbandry is the use of simulators. To quantify the reliability of "Human-Machinery" is proposed to use depending which take into account the impact of two components: the likelihood of rejection machines and the likelihood of operator error. Retrieved model to determine the probability of failure of the system in the accumulation of failures and conditions for raising the professional level, and psychophysiological operator. Analytical dependence for determining the probability of failure of the system. A promising direction in analysis of complex biotechnological systems in livestock is to improve technology, development of equipment and equipment operators workplaces.*

Keywords: *reliability, system, machinery, human-operator, animal, refuse*