

EDN: RHTRSZ

DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-2-11-18



Научная статья

УДК 631.331.54



Эколого-эргономические аспекты функционирования технологий возделывания подсолнечника

Мухтар Ахмиевич Керимов,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: martan-rs@yandex.ru;

Виктор Иванович Ветушко,
старший преподаватель,
e-mail: masterkms@mail.ru

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Пушкин, Российская Федерация

Реферат. Технология возделывания гибридных семян подсолнечника формализована в виде биотехнической динамической системы «оператор-машина-среда». Эффективность ее функционирования зависит от различных факторов, основными из них являются квалификация операторов-машинистов, технический уровень машин, производственная и внешняя среда. *(Цель исследования)* Повышение эффективности технологий производства гибридных семян подсолнечника за счет разработки и обоснования безопасных научно-технических решений. *(Материалы и методы)* Установили, что указанная система является вероятностной и ее состояние можно описать моделью. В качестве аргументов функции выбраны факторы, которые формируют обстоятельства, оказывающие на систему позитивное, нейтральное и негативное воздействия. Констатировали, что для организации оптимального функционирования системы необходима рациональная дифференциация энергетических, материальных и информационных потоков по подсистемам и целесообразная увязка их между собой. *(Результаты и обсуждение)* Доказали, что достижение поставленной цели обеспечивается реализацией главных системотехнических задач: анализа – выбор основных параметров биотехнической системы, характеристик внешней среды, изменяющихся случайным (в вероятностно-статистическом смысле) образом; синтеза – обоснованием оптимальной схемы управления системой. *(Выводы)* Технологическая надежность биотехнической системы как качественная мера характеризует приспособленность ее к выполнению предписанных функций с учетом технико-экономических показателей, эколого-эргономических требований и временного аспекта. Эргономические требования к выбору структуры и обоснованию параметров системы должны учитывать травмоопасные факторы, влияющие на безопасность технологий производства гибридных семян подсолнечника. Пересечение во времени и пространстве обстоятельств предтравматической ситуации и опасного действия операторов приводит к травмам, появление которых характеризуется как функция. Предложен комплексный показатель – критерий травмоопасности, являющийся функцией травмирующих факторов: запыленности рабочей зоны; температуры окружающей среды; технического уровня машинно-тракторного агрегата. Разработана модель прогноза числа пострадавших операторов и обоснованы направления профилактики травматизма при возделывании гибридных семян подсолнечника. Агротехнологическое приложение разработанной модели позволяет обеспечивать снижение травматизма на 12-15 процентов, а в перспективе перейти на безопасные технологии возделывания гибридных семян подсолнечника.

Ключевые слова: подсолнечник, гибридные семена, технология, функционирование, биотехническая система, травматизм, прогнозная модель.

■ **Для цитирования:** Керимов М.А., Ветушко В.И. Эколого-эргономические аспекты функционирования технологий возделывания подсолнечника // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. №2. С. 11-18. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-2-11-18. EDN: RHTRSZ.

Scientific article

Ecological and Ergonomic Aspects of Operating Hybrid Sunflower Cultivation Technologies

Mukhtar A. Kerimov,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: martan-rs@yandex.ru;

Viktor I. Vetushko,
senior lecturer,
e-mail: masterkms@mail.ru

St. Petersburg State Agrarian University, Pushkin, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. The technology for cultivating hybrid sunflower seeds is formalized as a biotechnical dynamic system structured around the «operator–machine–environment» triad. The efficiency of this system depends on multiple factors, primarily the qualification

level of machine operators, the technical advancement of the machinery, and the conditions of both the production and external environments. (*Research purpose*) To enhance the efficiency of hybrid sunflower seed production technologies by developing and validating safe scientific and technical solutions. (*Materials and methods*) The system is characterized as probabilistic, with its state described by a mathematical model. The model's input variables represent factors exerting positive, neutral, or negative impacts on the system. It is established that achieving optimal system performance requires the rational distribution and effective coordination of energy, material, and information flows across its subsystems. (*Results and discussion*) The study demonstrates that the research objective is achieved through two core systems engineering tasks: analysis, which involves identifying key parameters of the biotechnical system and environmental variables that exhibit probabilistic-statistical variability; and synthesis, which involves justifying an optimal control scheme for system operation. (*Conclusions*) The technological reliability of the biotechnical system, as a qualitative metric, reflects its capacity to perform designated functions while accounting for technical and economic indicators, ecological and ergonomic requirements, and time-related factors. Ergonomic requirements related to system design and parameter selection must take into consideration injury-inducing factors that affect the safety of hybrid sunflower seed production technologies. The convergence of pre-injury conditions and hazardous operator actions in time and space leads to injury, the occurrence of which can be mathematically modeled as a function. A comprehensive indicator – the injury risk criterion – is proposed and modeled as a function of harmful factors, including workplace dust concentration, ambient temperature, and the technical condition of the machine-tractor unit. A predictive model has been developed to estimate the number of potential injuries, and corresponding preventive measures have been substantiated. The agrotechnological application of the proposed model enables a 12-15% reduction in injury rates and facilitates the transition to safer cultivation technologies for hybrid sunflower seed production.

Keywords: sunflower, hybrid seeds, technology, functioning, biotechnical system, injury risk, predictive model

For citation: Kerimov M.A., Vetushko V.I. Ecological and ergonomic aspects of operating hybrid sunflower cultivation technologies. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N2. 11-18. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-2-11-18. EDN: RHTRSZ.

Повышение эффективности технологий возделывания гибридных семян подсолнечника является актуальной задачей. По конструктивному содержанию и инженерному обеспечению указанные технологии относятся к машинным, а условия выполнения технологических операций носят случайный (в вероятностно-статическом смысле) характер. Стохастичность условий функционирования определяет в значительной степени эффективность технологий в агроинженерии, а также влияет на уровень безопасности производственного процесса в целом [1].

Цель исследования: разработка и обоснование методики принятия оптимальных решений при реализации технологий возделывания гибридных семян подсолнечника на основе исследования производственного процесса как агробиотехнологической системы «оператор-машина-среда» («О-М-С»). Объект исследования – технология возделывания гибридных семян масличных культур, формализованная в виде вероятностной динамической системы.

Предмет исследования – проблемные ситуации и закономерности формирования безопасных условий функционирования агробиотехнологической системы «оператор-машина-среда».

Материалы и методы. Для постановки задачи наиболее применимой является системная методология, а технология возделывания гибридных семян подсолнечника целесообразно рассматривать в виде агробиотехнологической системы «опера-

тор-машина-среда» [2]. Агробиотехнологическая система состоит из трех подсистем: оператор, технологическая машина и внешняя среда.

Адаптивные способности оператора не безграничны, и его чувствительность к стрессовым ситуациям определяется уровнем квалификации. Время реакции оператора – величина случайная, имеющая модальное распределение и обладающая большой дисперсией. В терминах теории управления реакция оператора представляет собой переходный процесс, количественные закономерности которого изучены еще не до конца [3]. Указанная подсистема является вероятностной.

Технологические параметры машин в производственных условиях изменяются случайным образом. Чем дальше характеристики машинной части от оптимальных, тем хуже оператор справляется со своими функциями [4]. Условия функционирования машин, в свою очередь, характеризуются неопределенностью факторов внешней среды. Для установления закономерностей изменения условий и учета их в расчетных схемах необходимо использовать основные положения теории вероятностей. Таким образом, две другие подсистемы также являются вероятностными. Следовательно, агробиотехнологическая система «О-М-С» в целом является вероятностной и ее исследование целесообразно проводить на основе методов статистической динамики.

Система функционирует в условиях влияния на ее эффективность многочисленных факторов про-

изводственного, технологического, технического и организационного характера [5]. Для количественной оценки этих факторов наиболее применима динамическая модель, которая в терминах «вход-выход» выглядит следующим образом (рис. 1).

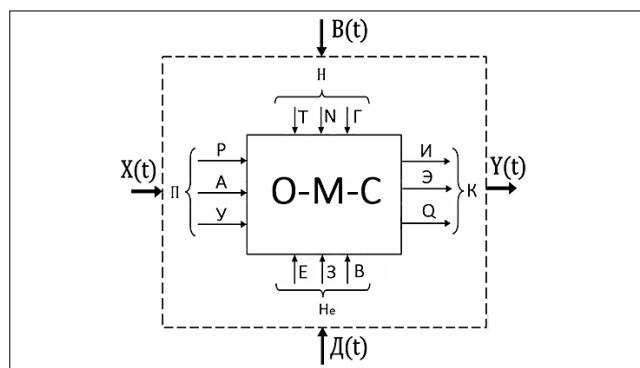


Рис. 1. Модель функционирования технологии производства семян подсолнечника в терминах «вход-выход»
Fig. 1. Input–output model of sunflower seed production technology

Принятые обозначения:

$X(t)$ – вектор-функция входных переменных;

$B(t)$ – вектор-функция контролируемых параметров;

$D(t)$ – вектор-функция неконтролируемых параметров;

$Y(t)$ – вектор-функция выходных параметров;

Π – позитивные воздействия (P – конструктивная рациональность машины; A – агротехнические требования к сельскохозяйственной машине; Y – уровень квалификации оператора);

Π – нейтральные воздействия (Γ – технологические параметры машины; N – режимные параметры машины; Γ – эргономические показатели машины);

Π_e – негативные воздействия (E – температура наружного воздуха; z – запыленность рабочей зоны; B – вибрации, оказывающие воздействие на оператора);

K – комплексный показатель, характеризующий эффективность функционирования машины (I – энергоемкость, \mathcal{E} – экологичность, Q – производительность машины).

С точки зрения обеспечения безопасности реализуемой технологии наиболее значимыми и требующими дальнейшего исследования являются такие травмоопасные факторы и параметры, как показатели качества технологической машины, температура наружного воздуха, его запыленность, загазованность, влажность и др. [6]. Каждый из перечисленных факторов характеризуется определенным влиянием на организм операторов (семеноводов), занятых в производственном цикле [7]. Проведенные исследования показали тесную кор-

реляцию между значениями температуры наружного воздуха и его запыленностью. Поэтому при разработке расчетной схемы показатель температуры не учитывается [8].

Для определения мероприятий по оптимизации модели функционирования системы «О-М-С» необходимо выполнить ее диагностический анализ [9]. С этой целью осуществляют отбор травмирующих факторов, влияющих на функционирование системы. Так как количество факторов велико, то их отбор следует проводить в два этапа: на первом этапе с использованием метода априорного ранжирования, на втором – путем однофакторных экспериментов с дисперсионным анализом их результатов [10]. Такое исследование, проводимое на предварительной стадии, позволяет осуществлять сбор информации о системе на основе опроса работников в виде анкеты факторов [11].

Собранная информация анализируется, и степень совпадения мнений экспертов оценивается коэффициентом конкордации W по критерию λ^2 . При $\lambda^2_{\text{экс}} > \lambda^2_{\text{табл}}$ степень согласия не вызывает сомнения. Величина $\lambda^2_{\text{экс}}$ определяется по формуле [12]:

$$\lambda^2_{\text{экс}} = n(k - 1)W \quad (1)$$

где n – количество опрошенных (экспертов); k – количество факторов.

Величина $\lambda^2_{\text{табл}}$ при доверительном интервале $P = 0,90-0,99$ и число степеней свободы $f = (k - 1)$ находятся по таблицам [13].

Коэффициент конкордации вычисляется по формуле

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2(k^3 - 1)} \quad (2)$$

где S – сумма квадратов отклонений, определяемая по формуле

$$S = \sum_{i=1}^k \left(\sum_{j=1}^m a_{ij} - L \right)^2, \quad (3)$$

где a_{ij} – ранг (порядковый номер) при опросе i -го фактора j -го специалиста; L – среднее значение сумм ранга по каждому фактору, рассчитываемое по формуле

$$L = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m a_{ij}}{k}. \quad (4)$$

Коэффициент конкордации изменяется в интервале $0 \leq W \leq 1$.

При $W = 0$ согласия во мнениях опрошенных нет, при $W = 1$ – полное согласие опрошенных относительно порядка убывания влияния факторов [14].

При выполнении неравенства $\lambda^2_{\text{экс}} > \lambda^2_{\text{табл}}$ и соответствующем числе степеней свободы строится ди-

аграмма ранга факторов (гистограмма), характеризующая коллективное мнение опрошенных: по оси абсцисс – факторы в порядке убывания их ранга, по оси ординат – сумма рангов по соответствующему фактору [15].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Проведенный анализ условий функционирования технологических процессов возделывания гибридных семян подсолнечника позволяет сформулировать единый критерий, являющийся функцией травмоопасных факторов. В качестве такого критерия предложен комплексный показатель травмоопасности $K_{тр}$, составляющими которого выбраны запыленность рабочей зоны и технические характеристики машинно-тракторного агрегата.

В формализованном виде показатель травмоопасности запишется:

$$K_{тр} = F[X, Z], \quad (5)$$

где $K_{тр}$ – показатель травмоопасности системы; X – техническая характеристика машинно-тракторного агрегата, (кВт, т); Z – запыленность рабочей зоны, %.

Анализ выражения (5) показывает, что чем меньше показатель травмоопасности $K_{тр}$, тем больше коэффициент безопасности производственного процесса.

Расчетная схема принятия решений по оценке травмоопасности при функционировании агробιοтехнологической системы «О-М-С» представлена на рисунке 2.

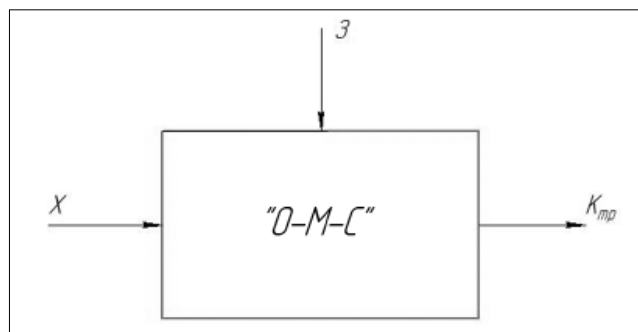


Рис. 2. Расчетная схема к определению травмоопасности агробιοтехнологической системы

Fig. 2. Computational diagram for evaluating injury risk in an agrobiotechnological system

Если обозначить вероятность травмирования операторов при реализации конкретной технологии $P_{без}$, то справедливо следующее соотношение

$$P_{без} = 1 - P_{K_{тр}}. \quad (6)$$

Экспериментально исследовались условия труда операторов (семеноводов) по травмоопасным воздействиям на различных операциях при работе на агрегатах с тракторами МТЗ-80.1 и МТЗ-82.1.

Запыленность воздуха определяется влажностью почвы, выполняемой технологической операцией, скоростью движения агрегата. Как видно из графика (рис. 3), наибольшая запыленность имеет место на пахоте, посеве яровых и озимых культур, культивации технических культур, бороновании. Пыль при работе зерноуборочных комбайнов с приставками содержит около 85% органических частиц, 68–80% которых меньше 1 мкм; концентрация ее доходит до 200 мг/м³. Понижение влажности почвы на 1% сопровождается увеличением содержания пыли в воздухе в 1,5-1,8 раза.

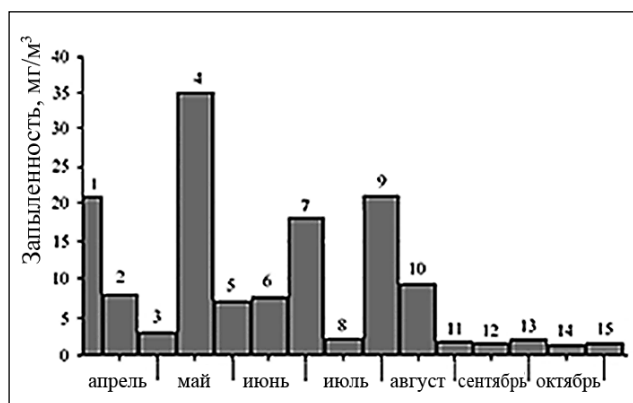


Рис. 3. Динамика запыленности воздуха при выполнении технологических операций машинно-тракторными агрегатами: 1 – боронование зяби; 2 – посев ранних зерновых; 3 – весенняя вспашка; 4 – боронование; 5 – посев масличных культур; 6 – посев трав; 7 – первая культивация масличных культур; 8 и 11 – транспортные работы; 9 – вторая культивация масличных культур; 10 – культивация бахчевых культур; 12 – внутривозвездные работы; 13 – уборка и скирдование соломы; 14 – уборка масличных культур на силос; 15 – пахота зяби

Анализ диаграммы, представленной на рисунке 4, позволяет утверждать о линейной зависимости числа пострадавших механизаторов от травмоопасных факторов.

В связи с важностью вопроса и необходимостью поиска путей профилактики производственного травматизма представляет интерес прогноз их числа на ближайшую перспективу (4-5 лет). Для формирования статистической выборки с целью построения прогнозной модели использованы показатели за период 2014-2023 гг.

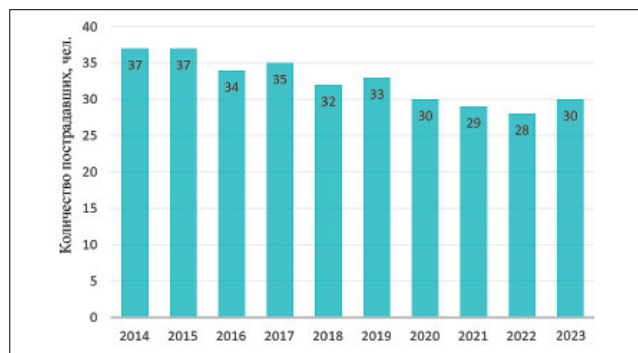


Рис. 4. Динамика пострадавших механизаторов от воздействия травмоопасных факторов за период 2014-2023 гг.
Fig. 4. Trends in machine operator injuries caused by hazardous factors during 2014-2023

При моделировании ретроспективный период должен составлять 7-10 лет, а глубина прогноза – не превышать половины длины ретроспективного периода. Эти сведения представлены на рисунке 5.

Пользуясь этими данными, обосновываем модели анализа и прогноза параметров числа пострадавших от травмоопасных факторов в 2014-2023 гг. (модель анализа на базовый период) и с 2024 по 2028 г. (модель прогноза со средним, минимальным и максимальным значениями). В качестве базового (исходного) выбираем любой предшествующий анализу год, к примеру, 2008 г.; годами анализа (база прогноза) являются 2014-2023 гг.; годами прогноза являются 2024-2028 гг.



Рис. 5. Модель прогноза числа пострадавших операторов (семеноводов) от травмирующих факторов
Fig. 5. Forecast model estimating the number of operator injuries (seed production workers) caused by traumatic factors

Время τ от выбранного (исходного 2008 г.) до года анализа (Γ_H):

$$\begin{aligned} \tau_1 &= \Gamma_1 - \Gamma_H = 2014 - 2008 = 6; \\ \tau_2 &= \Gamma_2 - \Gamma_H = 2015 - 2008 = 7; \\ \tau_3 &= \Gamma_3 - \Gamma_H = 2016 - 2008 = 8; \\ \tau_4 &= \Gamma_4 - \Gamma_H = 2017 - 2008 = 9. \end{aligned} \quad (7)$$

Аналогично:

$$\tau_5 = 10; \tau_6 = 11; \tau_7 = 12; \tau_8 = 13; \tau_9 = 14; \tau_{10} = 15.$$

Математическое ожидание m_τ величины τ определяется по зависимости:

$$m_\tau = n^{-1} \sum_{i=1}^k \tau_i, \quad (8)$$

где k – число лет, за которое ведется анализ (в нашем случае $k = 10$):

$$m_\tau = 1/10 (6+7+8+9+10+11+12+13+14+15) = 105/10 = 10,5.$$

Математическое ожидание m_Π числа пострадавших от травмирующих факторов за годы анализа определяется по зависимости:

$$m_\Pi = \frac{n}{10} \sum_{i=1}^i \Pi = \frac{1}{10} (37 + 37 + 34 + 35 + 32 + 33 + 30 + 29 + 28 + 30) = 32,5. \quad (9)$$

Коэффициент корреляции

$$\vartheta_{\tau\Pi} = n^{-1} \sum_{i=1}^i (\tau_i - m_\tau) (\Pi - m_\Pi) \quad (10)$$

Значение разности $(\tau_i - m_\tau)$ для условий расчета:

$$(\tau_1 - m_\tau) = 6 - 10,5 = -4,5;$$

$$(\tau_2 - m_\tau) = 7 - 10,5 = -3,5.$$

и далее: $-2,5; -1,5; -0,5; 0,5; 1,5; 2,5; 3,5; 4,5$.

Значение разности:

$$(\Pi_1 - m_\Pi) = (37 - 32,5) = 4,5;$$

$$(\Pi_2 - m_\Pi) = (37 - 32,5) = 4,5.$$

и далее $1,5; 2,5; -0,5; 0,5; -2,5; -3,5; -4,5; -2,5$.

Тогда:

$$\vartheta_{\tau\Pi} = 1/10 (-20,25 - 15,75 - 3,75 - 3,75 + 0,25 + 0,25 - 3,75 - 8,75 - 15,75 - 11,25) = -8,25$$

Находим дисперсии D_τ и D_Π параметров τ_i и Π .

Дисперсия параметра времени τ_i :

$$D_\tau = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^i (\tau_i - n_\tau)^2. \quad (11)$$

С учетом полученных значений:

$$D_\tau = 1/(10-1) (20,25+12,25+6,25+2,25+0,25+0,25+0,25+2,25+6,25+12,25+20,25) = 82,5/9 = 9,17.$$

Дисперсия пострадавших от травмирующих факторов по аналогичной зависимости:

$$D_\Pi = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^i (\Pi - n_\Pi)^2. \quad (12)$$

Для рассматриваемых условий

$$D_\Pi = 1/9 (20,25+20,25+2,25+6,25+0,25+0,25+6,25+12,25+20,25+6,25) = 10,5.$$

Фактическое значение числа пострадавших операторов

$$\Pi = m_{\Pi} + \Delta_{\Pi}, \quad (13)$$

где Δ_{Π} – отклонение фактического значения Π (реализация) от математического ожидания m_{Π} (приближенное среднее значение).

Динамика пострадавших семеноводов от травмирующих факторов представлена на *рисунке 5*.

На основе метода линейной регрессии и с учетом изменения фактических значений числа пострадавших

$$m_{\Pi} = a\tau_1 + b. \quad (14)$$

Таким образом, динамику числа пострадавших операторов (семеноводов) от травмирующих факторов можно описать уравнением линейной регрессии, зная значение коэффициентов a и b , которые определяются по зависимостям:

$$a = \frac{\vartheta_{\Pi\tau}}{\Delta_{\tau}} \quad (15)$$

$$b = m_{\Pi} - a\tau_1. \quad (16)$$

Для наших условий

$$a = (-8,25)/9,17 = -0,9;$$

$$b = 32,5 - (-0,9 \cdot 10,5) = 41,95.$$

Таким образом $\Pi = a\tau_1 + b + \Delta_{\Pi}$. Эта зависимость является расчетной, по которой осуществляется анализ и прогнозирование значения числа пострадавших операторов (семеноводов) и путей профилактики. При прогнозировании полагают стабильность уровня профилактики от травмирующих факторов и сохранения его в пределах прогнозного периода таким, как в период анализа, что близко к реальности.

Прогнозируя число пострадавших, полагаем, что величина Δ_{Π} распределена по нормальному закону и все ее реализации с вероятностью 0,99 находятся в интервале $\varepsilon = \pm 2,58\delta_{\Delta_{\Pi}}$, (где $\delta_{\Delta_{\Pi}}$ – среднеквадратическое отклонение величины). Значение $\delta_{\Delta_{\Pi}}$ находится по формуле:

$$\delta_{\Delta_{\Pi}} = \sqrt{\Delta_{\Pi} - a^2\Delta_{\tau}} = \sqrt{10,5 - 7,42} = 1,75.$$

Тогда

$$\varepsilon = \pm 2,58 \cdot 1,75 = \pm 4,51.$$

Следовательно, в наших условиях уравнение прогноза имеет вид:

$$\Pi = m_{\Pi} \pm \varepsilon = a\tau_i + b \pm \varepsilon. \quad (17)$$

Как видно, прогнозируемые значения Π отличаются от среднего на величину $\pm\varepsilon$. С большой долей вероятности можно утверждать, что прогнозируемые значения Π будут находиться в диапазоне от Π_{\min} до Π_{\max} :

$$\Pi_{\min} = a\tau_i + b - \varepsilon; \Pi_{\max} = a\tau_i + b + \varepsilon. \quad (18)$$

При этом значения числа пострадавших от травмирующих факторов будет сокращаться на 1 человека в год, или на 4%.

Выводы

Технологическая надежность агробиотехнологической системы как качественная мера характеризует приспособленность ее к выполнению предписанных функций с учетом технико-экономических показателей, эколого-эргономических требований и временного аспекта.

Эргономические требования к выбору структуры и обоснованию параметров системы должны учитывать травмоопасные факторы, влияющие на безопасность технологий производства гибридных семян подсолнечника.

Пересечение во времени и пространстве обстоятельств предтравматической ситуации (ПС) и опасного действия (ОД) операторов приводит к травмам, появление которых характеризуется как функция $T = f(\text{ПС}, \text{ОД})$.

Предложен комплексный показатель – критерий травмоопасности $K_{\text{тр}}$, являющийся функцией травмирующих факторов: запыленности рабочей зоны; температуры окружающей среды; технического уровня машинно-тракторного агрегата. В формализованном виде $K_{\text{тр}} = F[X, T, 3]$.

Разработана модель прогноза числа пострадавших операторов (семеноводов) и обоснованы направления профилактики травматизма при возделывании гибридных семян подсолнечника. Агротехнологическое приложение разработанной модели позволяет обеспечивать снижение травматизма на 12-15%, а в перспективе перейти на безопасные технологии возделывания гибридов подсолнечника.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Керимов М.А., Ветушко В.И. Повышение эффективности и безопасности функционирования технологий производства семян технических культур // *Известия Международной академии аграрного образования*. 2023. №66. С. 44-49. EDN: SCKMER.
2. Моисеев С.А., Рябкин Е.А., Камалихин В.Е., Каргин В.И. Совершенствование технологии возделывания подсолнечника // *Промышленность и сельское хозяйство*. 2021. №3 (32). С. 25-33.
3. Artemyev A.A., Guryanov A.M., Kargin V.I., Zaharkina R.A. The use of mineral fertilizers in the cultivation of spring rape: features and economic assessment. *Annals of Agri Bio Research*. 2019. Vol. 24. N2. 191-195. EDN: GDFPLJ.



4. Nenko N.I., Neshchadim N.N. Prospects for sunflower cultivation in the Krasnodar Region with the use of plant growth regulator. *Helia*. 2016. Vol. 39. N65. 197-211. DOI: 10.1515/helia-2016-0018.
5. Белова Т.И., Шкрабак В.С., Савельев А.П., Агашков Е.М. Проблемы определения дисперсного состава пыли в воздухе рабочей зоны комбикормовых предприятий // Безопасность жизнедеятельности. 2022. N9(261). С. 24-30. EDN: JJVDJH.
6. De Andrade L.C., Andrezza R., De Oliveira Camargo F.A. Cultivation of sorghum and sunflower in soils with amendment of sludge from industrial landfill. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. 2019. Vol. 8. N2. 119-130. DOI: 10.1007/s40093-018-0236-4.
7. Nizamov R.M., Safiollin F.N., Khismatullin M.M. et al. Modern biological products and growth stimulators in the technology of cultivation of sunflower for oilseeds. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*. 2019. Vol. 10. N1. 341-347. EDN: JMOYIA.
8. Belova T.I., Titenok A.V., Bezik V.A. et al. Theoretical rationale of adopting dust removal systems in workplaces of reception points at mixed feed milling plants. *Natural Volatiles and Essential Oils*. 2021. Vol. 8. N4. 7840-7853. EDN: MCQFTJ.
9. Vad A., Szabó A., Basal O., Veres S. Yield of sweet corn and sunflower as affected by different cultivation methods and fertilisation schemes. *Plant, Soil and Environment*. 2023. Vol. 69. N10. 480-485. DOI: 10.17221/292/2023-pse.
10. Agashkov E., Terekhov D., Loboda O., Belova T. Analysis of disperse composition of the dust in air of working zone of feed mills. *IOP: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 913. 052064. DOI: 10.1088/1757-899X/913/5/052064.
11. Дукеева А.К. Урожайность подсолнечника в зависимости от приемов возделывания // Наука и образование. 2023. N1-3(70). С. 116-124. DOI: 10.52578/2305-9397-2023-1-3-116-124.
12. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И., Ахалая Б.Х., Ценч Ю.С. Цифровые технологии в почвообработке // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. N1(30). С. 191-197. EDN: ZAWQJF.
13. Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Методологические аспекты стандартизации машинных технологий производства продукции растениеводства // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2019. N1(34). 61-67. EDN: WDXYHY.
14. Мазитов Н.К., Сахапов Р.Л., Шогенов Ю.Х. и др. Конкурентоспособный комплекс техники и технологии для производства зерна и кормов // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. Т. 20. N3. С. 299-308. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.3.299-308.
15. Geraskin M.M., Sorokina O.A., Zakharkina R.A. et al. Agricultural models based on the rational use of land energy. *IOP: Earth and Environmental Science Series*. 2021. 012060. DOI: 10.1088/1755-1315/867/1/012060.

REFERENCES

1. Kerimov M.A., Vetushko V.I. Improving the efficiency and safety of the functioning of technologies for the production of seeds of industrial crops. *Izvestia International Academy of Agricultural Education*. 2023. N66. 44-49 (In Russian). EDN SCKMEP.
2. Moiseev S.A., Ryabkin E.A., Kamalikhin V.Ye., Kargin V.I. Improvement of sunflower cultivation technology. *Industry and Agriculture*. 2021. N3 (32). 25-33 (In Russian).
3. Artemyev A.A., Guryanov A.M., Kargin V.I., Zakharkina R.A. The use of mineral fertilizers in the cultivation of spring rape: features and economic assessment. *Annals of Agri Bio Research*. 2019. Vol. 24. N2. 191-195 (In English). EDN: GDFPLJ.
4. Nenko N.I., Neshchadim N.N. Prospects for sunflower cultivation in the krasnodar region with the use of plant growth regulator. *Helia*. 2016. Vol. 39. N65. 197-211 (In English). DOI: 10.1515/helia-2016-0018.
5. Belova T.I., Shkrabak V.S., Savel'yev A.P., Agashkov Ye.M. Problems of assessing the dispersed composition of dusts in the air of the working area of feed mills. *Life Safety*. 2022. N9(261). 24-30 (In English). EDN: JJVDJH.
6. De Andrade L.C., Andrezza R., De Oliveira Camargo F.A. Cultivation of sorghum and sunflower in soils with amendment of sludge from industrial landfill. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. 2019. Vol. 8. N2. 119-130 (In English). DOI: 10.1007/s40093-018-0236-4.
7. Nizamov R.M., Safiollin F.N., Khismatullin M.M. et al. Modern biological products and growth stimulators in the technology of cultivation of sunflower for oilseeds. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*. 2019. Vol. 10. N1. 341-347. EDN: JMOYIA.
8. Belova T.I., Titenok A.V., Bezik V.A. et al. Theoretical rationale of adopting dust removal systems in workplaces of reception points at mixed feed milling plants. *Natural Volatiles and Essential Oils*. 2021. Vol. 8. N4. 7840-7853 (In English). EDN: MCQFTJ.
9. Vad A., Szabó A., Basal O., Veres S. Yield of sweet corn and sunflower as affected by different cultivation methods and fertilisation schemes. *Plant, Soil and Environment*. 2023. Vol. 69. N10. 480-485 (In English). DOI: 10.17221/292/2023-pse.
10. Agashkov E., Terekhov D., Loboda O., Belova T. Analysis of disperse composition of the dust in air of working zone of feed mills. *IOP: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 913. 052064 (In English). DOI: 10.1088/1757-899X/913/5/052064.
11. Dukeyeva A.K. Sunflower yield depending on cultivation

- techniques. *Science and Education*. 2023. N1-3(70). 116-124 (In Russian). DOI: 10.52578/2305-9397-2023-1-3-116-124.
12. Lobachevsky Ya.P., Starovoitov S.I., Akhalaya B.Kh., Tsench Yu.S. Digital technologies in tilling. *Innovations in agriculture*. 2019. N1(30.) 191-197 (In Russian). EDN: ZAWQJF.
13. Beylis V.M., Tsench Yu.S. Methodological aspects of standardization of machine technologies for crop production. *Electrical engineering and electrical equipment in agriculture*. 2019. N1(34). 61-67 (In Russian). EDN: WDXYHY.
14. Mazitov N.K., Sakhapov R.L., Shogenov Yu.Kh. et al. Competitive complex of machinery and technologies for the production of grain and feed. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2019. T. 20. N3. 299-308. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.3.299-308.
15. Geraskin M.M., Sorokina O.A., Zakharkina R.A. et al. Agricultural models based on the rational use of land energy. *IOP: Earth and Environmental Science Series*. 2021. 012060 (In English). DOI:10.1088/1755-1315/867/1/012060.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Керимов М.А. – научное руководство, формулирование основных направлений и разработка концептуальных положений исследования, доработка текста, формирование общих выводов;

Ветущко В.И. – литературный анализ, оценка технологий возделывания гибридных семян подсолнечника с учетом природно-производственных условий, проведение экспериментальных исследований, обработка результатов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Kerimov M.A. – scientific supervision, formulation of the main research directions and development of the study's conceptual provisions framework, final revision of the manuscript, and formulation of general conclusions;

Vetushko V.I. – literary review, evaluation of hybrid sunflower seed cultivation technologies in relation to natural and production conditions, experimental research, and data processing

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

02.04.2025
22.05.2025