

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МАНИПУЛЯТОРА
ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УДАЛЕНИЯ РАСТЕНИЙ В СЕМЕНОВОДСТВЕ****А. Ю. Измайлов, А. С. Дорохов, А. В. Сибирёв, М. А. Мосяков, Н. В. Сазонов**

Реферат. Для селекции картофеля актуальным являются вопросы разработки машин и оборудования для лабораторных и полевых работ. Это связано с тем, что методикой проведения селекционных работ и первых этапов семеноводства предусмотрено сравнение многочисленных растений различного происхождения, отбор лучших для дальнейшего размножения и дальнейшей работы вплоть до выведения нового сорта или передачи семян на размножение в производственных условиях. Целью исследования является разработка манипулятора автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур, обеспечивающее исключение заражения семян при выведении новых сортов и гибридов. Научная новизна – закономерности обоснования манипулятора для автоматизированного удаления зараженных растений в семеноводстве. Выполнено теоретическое обоснование системы управления привода исполнительных электроцилиндров манипулятора автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур. При проведении теоретических исследований установлено, что основным возмущающим воздействием, вызывающим изменение подачи зараженного растения, является изменение урожайности растений картофеля на поле G , имеющее статистический характер. Разработана функциональная схема системы управления привода исполнительных электроцилиндров манипулятора автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур и установлено, что амплитуда полезного сигнала контроллера управления положением манипулятора $\varphi_{\max}=10^\circ$ а частота $\omega_p=10^2\text{с}^{-1}$ амплитуда помехи $\gamma_{\max}=5^\circ$, частота сигнала $\omega_r=8\text{с}^{-1}$. Определено, что для получения заданной точности воспроизведения полезного сигнала привода исполнительных электроцилиндров манипулятора необходимо иметь значения постоянных времени датчика и исполнительного механизма, при которых ошибка воспроизведения полезного сигнала $\Delta\varphi$ не превосходила бы $1,5^\circ$, а сигнал помехи ослаблялся не менее чем в 20 раз. Разработан манипулятор автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур, обеспечивающий извлечение зараженных растений с подкапыванием пласта почвы.

Ключевые слова: удаление, автоматизация, заражение, картофель, овощные культуры, теоретические исследования, обоснование параметров.

Введение. Проведение оздоровительных приемов на семеноводческих посадках овощных культур и картофеля выполняется при соблюдении рекомендаций агрономов-селекционеров по каждому видовому сорту продукции [1].

Определение различных структурных и функциональных изменений возделываемых культур как отклик на воздействие внешней среды отображается на видовом составе культурных растений в форме проявления патологии или заболевания различной природы [2], которое в современных условиях производства семян контролируется селекционером [3]. При этом, следует отметить тот факт, что качество и достоверность диагностирования поражений растений заболеванием зависит от квалификации селекционера [4], что позволяет не в полной мере обеспечить сохранение объемов получаемого семенного материала овощных культур [5].

Следовательно, целью исследования является разработка манипулятора автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур, обеспечивающее исключение заражения семян при выведении новых сортов и гибридов, позволяющего обеспечить производство семеноводческого материала на современном высокотехнологическом уровне производства с минимальными затратами

труда селекционера и сохранении его репродукции.

Реализация данного направления позволит обеспечить продовольственную безопасность и независимость России, конкурентоспособность отечественной продукции на мировых рынках продовольствия, снижение технологических рисков в агропромышленном комплексе в соответствии с целью Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы «Снижение уровня импортозависимости за счет внедрения и использования: технологий производства семян высших категорий и технологий производства, переработки и хранения сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия путем увеличения числа конкурентоспособных отечественных технологий» [6].

Условия, материалы и методы. Теоретические исследования проводили в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (г. Москва) в 2022–2024 годах. Программой предусматривалось проведение исследований по разработке манипулятора автоматизированной машины для проведения оздоровительных приемов по удалению зараженных растений картофеля и овощных культур с семеноводческих делянок, которые выполняли с использованием методов классической и земледельческой механики [7], основные положения теории разрушения,

механики грунтов [8]. В работе использовали методы системного анализа и синтеза, физического моделирования [9], основанные на принципах математической статистики, численные методы решения аналитических зависимостей, а также систем автоматизированного проектирования с пакетами прикладных программ

«Solidworks» и «Компас» [10].

В ФГБНУ ФНАЦ ВИМ разрабатывается автоматизированная машина для проведения оздоровительных приемов по удалению зараженных растений картофеля и овощных культур с семеноводческих делянок, схема которой представлена на рисунке 1.

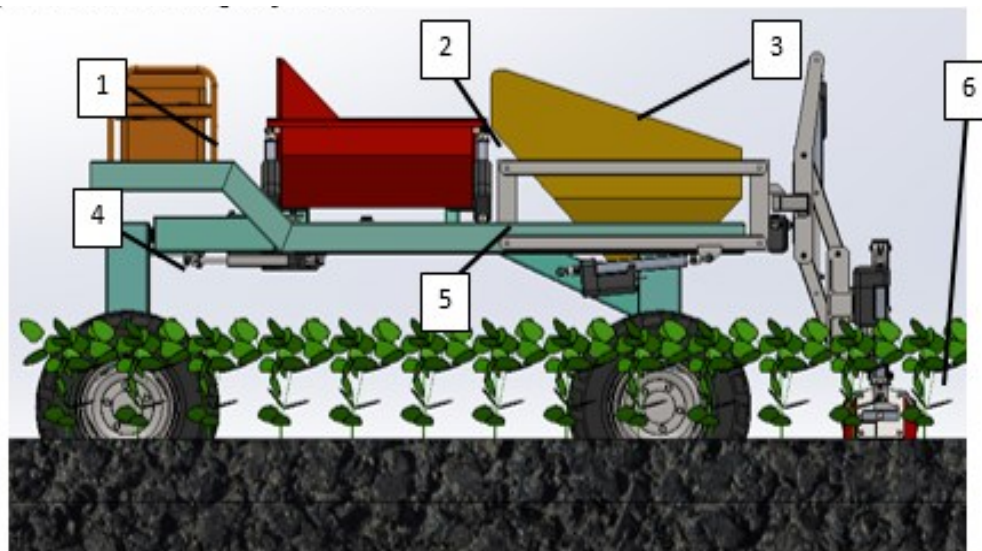


Рис. 1 – Технологическая схема работы машины для сортофитопрочистки овощных культур и картофеля: 1 – силовая установка; 2 – саморазгружающийся бункер; 3 – бункер для почвы; 4 – рама шасси; 5 – подъемный механизм; 6 – рабочий орган в форме ковшей

При движении по полю при помощи оператора или с использованием технологий машинного зрения определяется заражённое растение или растение, не соответствующее сортовым признакам [11].

В случае определения подобного растения машина останавливается, при этом рабочий орган должен находиться над растением, которое подлежит удалению, после чего при помощи актуаторов происходит заглубление каждого из ковшей (вил) до их полного смыкания, тем самым образуя полусферу [12].

Затем рабочий орган извлекается из почвы и поднимается над бункером для почвы, после чего происходит раскрытие ковшей (вил) и содержащаяся в них масса почвы и растения с корневой системой поступает на планчатый транспортер, находящийся в бункере 3, при движении по которому происходит отделение почвы от корневой системы растения, при этом почва сыпается в нижестоящий бункер для почвы, а растения с корневой системой поступают в саморазгружающийся бункер [13].

Основным возмущающим воздействием, вызывающим изменение подачи зараженного растения, является изменение урожайности растений картофеля на поле G , которое имеет статистический характер [14].

Как известно, изменение подачи в результате варьирования уровня заражений растений может быть выражено уравнением:

$$g = K_g G, \quad (1)$$

где g – отклонение подачи извлеченного растения картофеля, шт/с;
 G – отклонение заражений растений от некоторого значения, соответствующего минимальному допустимому значению, шт/га;
 K_g – коэффициент пропорциональности.

$$K_g = B_p v^0, \quad (2)$$

где B_p – рабочая ширина захвата машины для сортофитопрочистки овощных культур и картофеля, м;

v^0 – поступательная скорость движения машины для сортофитопрочистки овощных культур и картофеля, соответствующее номинальному значению подачи, м/с.

Выравнивающий механизм позиционирования манипулятора (рис. 2) для удаления зараженных растений выполнен таким образом, что при срабатывании любого из исполнительных механизмов положение извлекающего устройства – ковша изменяется и в продольной, и в поперечной плоскостях, поэтому манипулятор как объект регулирования в рассматриваемых системах имеет две входные S и S' и две выходные ϕ_s и ϕ'_s величины.

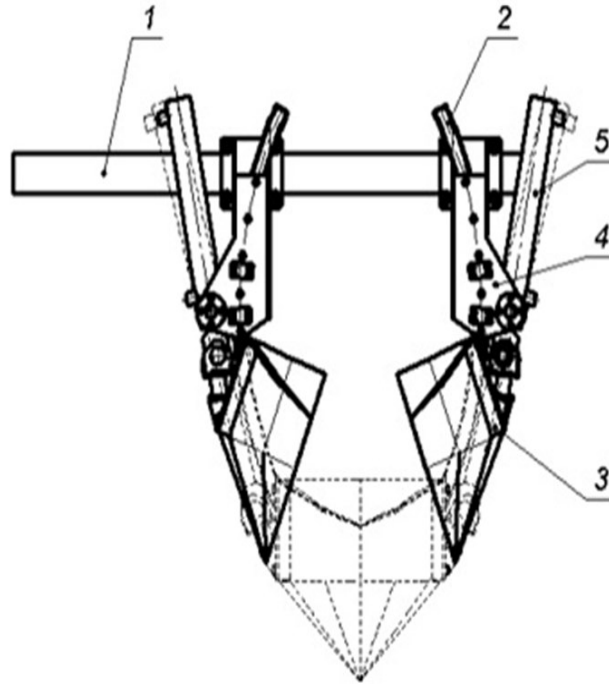


Рис. 2 – Схема манипулятора автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур: 1 – рама; 2 – ползун; 3 – ковш; 4 – направляющая; 5 – гидроцилиндр

Его свойства определяются кинематическим выражением:

$$\varphi_s = \varphi_s(S, S') \text{ и } \varphi'_s = \varphi'_s(S, S') \quad (3)$$

которые в линейном приближении могут быть записаны так:

$$\varphi_s = k_{01}S + k_{02}S', \quad (4)$$

$$\varphi'_s = k_{03}S + k_{04}S', \quad (5)$$

где φ_s, φ'_s – углы поворота манипулятора относительно опорного бруса соответственно в боковой и продольной плоскостях; S, S' – перемещения гидроцилиндров, управляемых соответственно от датчика бокового и датчика продольного крена; k_{01}, k_{02} – коэффициенты пропорциональности.

Так как согласно схемы (рис. 3) имеем, что амплитуда полезного сигнала контроллера управления положением манипулятора $\varphi_{\max} = 10^\circ$ а частота $\omega_\varphi = 10^{-2} \text{ с}^{-1}$; амплитуда помехи $\gamma_{\max} = 5^\circ$, частота сигнала $\omega_\gamma = 8 \text{ с}^{-1}$.

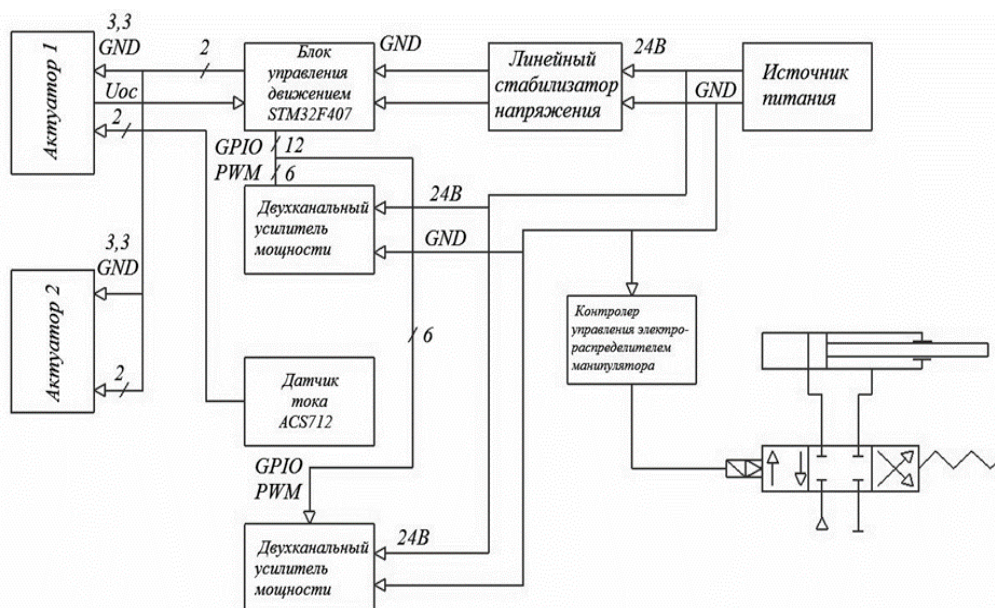


Рис. 3 – Функциональная схема системы управления привода исполнительных электроцилиндров манипулятора автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур

При этом достаточно рассматривать линейную систему автоматического выравнивания простой структуры, состоящей из датчика крена, описываемого уравнением первого порядка, линейного исполнительного механизма и объекта управления – извлекающего устройства.

Значения постоянных времени датчика и исполнительного механизма, при которых ошибка воспроизведения полезного сигнала $\Delta\varphi$ не превосходила бы $1,5^\circ$, а сигнал помехи ослаблялся не менее чем в 20 раз, то есть практически не отрабатывался системой. Для получения заданной точности воспроизведения полезного сигнала необходимо, чтобы значение амплитудно-частотной характеристики разомкнутой системы удовлетворяло неравенству:

$$|W(i\omega_\varphi)| = \frac{K_s}{T_s \sqrt{\omega_\varphi^2 + \omega_\varphi^4 T_d^2}} \geq \frac{\varphi_{\max}}{\Delta\varphi} = 6,6.$$

где $W(i\omega)$ – амплитудно-фазовая характеристика разомкнутой системы;

K_s – коэффициент пропорциональности, датчика исполнительного механизма извлекающего устройства;

T_s – постоянная времени датчика исполнительного механизма извлекающего устройства;

T_d – постоянная времени датчика электроцилиндра.

При заданных значениях ω_φ и учитывая, что значение T_d , как правило, не превышает единицы:

$$\omega^2 \varphi \gg \omega^4 \varphi T_d^2. \quad (6)$$

Поэтому неравенство приближенно можно записать так:

$$|W(i\omega_\varphi)| \approx \frac{K_s}{T_s \omega_\varphi} \geq 6,6.$$

$$T_s = K_s / 6,6 \omega_\varphi = 0,87 / 0,066 = 13,2 \text{ с}$$

Полученное значение T_s соответствует максимальной скорости поворота исполнительного механизма извлекающего устройства относительно опорного бруса ($3,15$ град/с). Для обеспечения заданной интенсивности ослабления помехи амплитудно-частотная характеристика разомкнутой системы на частоте помехи должна удовлетворять неравенству:

$$|W(i\omega_\gamma)| = \frac{K_s}{T_s \sqrt{\omega_\gamma^2 + \omega_\gamma^4 T_d^2}} \leq \frac{1}{20}. \quad (7)$$

Поскольку при заданных значениях

$$\omega^2 \gamma \ll \omega^4 \gamma T_d^2 \quad (8)$$

неравенство можно приближенно записать так:

$$|W(i\omega_\gamma)| \approx \frac{K_s}{T_s \omega_\gamma^2 T_d} \leq \frac{1}{20}, \quad (9)$$

$$T_d \geq \frac{20 K_s}{T_s \omega_\gamma^2} = \frac{20 \cdot 0,87}{13,2 \cdot 64} = 0,2 \text{ с}.$$

Таким образом, точность отработки полезного сигнала определяется быстродействием исполнительного механизма, а степень подавления помехи – постоянной времени датчика T_d , что дает представление о порядке значений постоянных времени, предполагая проведение в дальнейшем исследований качества регулирования системы автоматического позиционного управления с учетом реального характера действующих возмущений и уточненного вида структурной схемы. Для расчета динамических свойств систем выравнивания, имеющих нелинейные звенья, необходимо более точно учитывать реальные характеристики помехи $\gamma(t)$, являющейся случайной функцией времени.

Если ограничиться рассмотрением угловых колебаний опорного бруса (рамы 1) только в боковой плоскости, то закономерность преобразования возмущений $F(t)$ в угловые перемещения $\gamma(t)$ может быть определена передаточной функцией:

$$W_{F\gamma} = \frac{K_\gamma}{T^2 p^2 + 2\zeta T p + 1}, \quad (10)$$

или соответствующей ей частичной характеристикой:

$$W_{F\gamma}(i\omega) = \frac{K_\gamma}{T^2 (i\omega)^2 + 2\zeta T i\omega + 1}, \quad (11)$$

где ζ – параметр затухания;

T – постоянная времени, с;

K_γ – коэффициент пропорциональности.

В этом случае спектральная плотность $s_\gamma(\omega)$ может быть представлена как результат прохождения сигнала, определяемого случайной функцией $F(t)$, через линейную систему и получена умножением спектральной плотности входной величины $s_F(\omega)$ на квадрат модуля амплитудно-частотной характеристики системы:

$$S_\gamma(\omega) = |W_{F\gamma}(i\omega)|^2 S_F(\omega). \quad (12)$$

На основании уравнения (12) выражение модуля амплитудно-частотной характеристики будет:

$$|W_{F\gamma}(i\omega)| = \frac{K_\gamma}{\sqrt{(1 - \omega^2 T^2)^2 + 4\zeta^2 \omega^2 T^2}}. \quad (13)$$

Выражение (13) представляет собой отношение амплитуды выходного сигнала $\gamma(t)$ к амплитуде входного гармонического

воздействия в функции его частоты:

$$\omega_p = \frac{\sqrt{1-2\zeta^2}}{T} . \quad (14)$$

Частота ω_p является собственной частотой колебаний манипулятора для удаления зараженных растений. Используя соотношения (13) и (14), преобразуем формулу (12):

$$S_\gamma(\omega) = \frac{K_\gamma^2 \omega_p^4}{(\omega_p^2 - \omega^2 a^2)^2 + \mu^2 \omega^2} S_F(\omega) , \quad (15)$$

$$a^2 = 1 - 2\zeta^2, \mu^2 = 4\zeta^2 (1 - 2\zeta^2) \omega_p^2.$$

где

Приведем эту формулу к виду, удобному для экспериментального определения коэффициентов, для чего найдем дисперсию угловых колебаний опорного бруса или рамы крепления манипулятора на энергетическом средстве:

$$\sigma_\gamma^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_\gamma(\omega) d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{S_F(\omega) K_\gamma^2 \omega_p^4}{(\omega_p^2 - \omega^2 a^2)^2 + \mu^2 \omega^2} d\omega . \quad (16)$$

Считая, что ω_p больше частоты пропускания рассматриваемой механической системы, то есть $s_\gamma(\omega)=0$ при $\omega \geq |\omega_p|$, имеем:

$$\sigma_\gamma^2 = \frac{NK_\gamma^2 \omega_p^4}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{[\omega_p^2 - \omega^2 a^2]^2 + \mu^2 \omega^2} d\omega . \quad (17)$$

Знаменатель дроби, стоящей под интегралом, можно записать:

$$[\omega_p^2 - \omega^2 a^2]^2 + \mu^2 \omega^2 = \left| \omega_p^2 + a^2 (i\omega)^2 + \mu (i\omega) \right|^2 . \quad (18)$$

$$I_n = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{G(i\omega) d\omega}{A(i\omega) A(-i\omega)} , \quad (19)$$

где

$$A(i\omega) = a_0 (i\omega)^n + a_1 (i\omega)^{n-1} + \dots + a_n ,$$

$$G(i\omega) = b_0 (i\omega)^{2n-2} + b_1 (i\omega)^{2n-4} + \dots + b_{n-1} .$$

После математических преобразований имеем:

$$\sigma_\gamma^2 = \frac{NK_\gamma^2 \omega_p^2}{2\mu} . \quad (20)$$

На основании этого и учитывая, что $s_\gamma(\omega)=0$ при $\omega \geq |\omega_p|$, равенство (12) можно записать:

$$S_\gamma(\omega) = \frac{2\mu \omega_p^2 \sigma_\gamma^2}{[\omega_p^2 - \omega^2 a^2]^2 + \mu^2 \omega^2} . \quad (21)$$

Функция $s_\gamma(\omega)$ имеет максимум при $\omega=\omega_p$, следовательно, по данному выражению определяются численные значения коэффициентов спектральной плотности $s_\gamma(\omega)$.

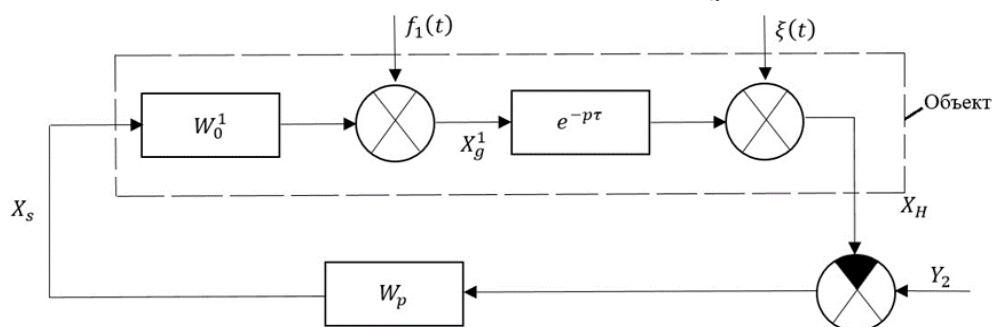
Результаты и обсуждение. На рисунке 4 показана в общем виде структурная схема линейной системы автоматического регулирования подачи извлеченных растений картофеля, зараженных патогенами.

В качестве критерия, определяющего точность работы системы при наличии стационарных случайных воздействий может служить среднеквадратическое отклонение подачи, то есть

$$\sigma_G^2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T}^{+T} g^2(t) dt . \quad (22)$$

Среднеквадратическое отклонение подачи может определяться по спектральной плотности ее изменений:

$$\sigma_G^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_g(\omega) d\omega . \quad (23)$$



$$W_0^1 = \frac{K_H}{T_{01} + 1}$$

– сомножитель полной передаточной функции объекта; W_p – передаточная функция регулятора; x_g^1 – величина, пропорциональная изменению подачи

Рис. 4 – Структурная схема линейной системы идентификации зараженных растений картофеля и овощных культур при регулировании подачи

Спектральная плотность полезного сигнала $s_f(\omega)$ системы идентификации зараженных растений в общем случае определяется из следующего выражения:

$$S_{\xi}(\omega) = |W_f(i\omega)|^2 S_f(\omega) + W_f(i\omega) W_{\xi}(-i\omega) S_{f\xi}(\omega) + W_{\xi}(i\omega) W_f(-i\omega) S_{f\xi}(\omega) + |W_{\xi}(i\omega)|^2 S_{\xi}(\omega) \quad (24)$$

где $s_f(\omega)$ – спектральная плотность полезного сигнала $f(t)$;

$s_{\xi}(\omega)$ – спектральная плотность помехи $\xi(t)$;

$S_{f\xi}(\omega)$ и $S_{\xi f}(\omega)$ – взаимные спектральные плотности;

$W_f(i\omega)$ и $W_{\xi}(i\omega)$ – частотные функции системы по воздействиям $f(t)$ и $\xi(t)$ относительно отклонения подачи x_g .

$$W_f(i\omega) = \frac{1}{1 + W_0(i\omega) W_p(i\omega) e^{-i\omega\tau}} \quad (25)$$

$$W_{\xi}(i\omega) = \frac{W_0(i\omega) W_p(i\omega)}{1 + W_0(i\omega) W_p(i\omega) e^{-i\omega\tau}} \quad (26)$$

С достаточной для практики точностью можно считать, что воздействия $f(t)$ и $\xi(t)$ не коррелированы и взаимные спектральные плотности равны нулю.

Тогда выражение (21) можно записать в развернутом виде:

$$\sigma_G^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |W_f(i\omega)|^2 S_f(\omega) d\omega + \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |W_{\xi}(i\omega)|^2 S_{\xi}(\omega) d\omega \quad (27)$$

На основании полученного уравнения корреляционной функции p_f нормированная спектральная плотность полезного сигнала будет:

$$S_f = \int_{-\infty}^{\infty} \rho_f(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{|\tau|}{T}} e^{-i\omega\tau} d\tau = \frac{2T}{1 + \omega^2 T^2} \quad (28)$$

Подставив в выражение (27) численное значение T , имеем

$$S_f = \frac{20}{1 + 100\omega^2} \quad (29)$$

Спектральная плотность помехи системы идентификации зараженных растений картофеля и овощных культур, учитывая, что она является гармонической функцией имеет вид:

$$S_{\xi}(\omega) = \frac{\pi a^2}{2} \delta(\omega - \omega_1) \quad (30)$$

где a – амплитуда $\xi(t)$;

$\delta(\omega - \omega_1)$ – единичная импульсная функция;

ω_1 – частота помехи.

Соответственно дисперсия помехи будет:

$$D_{\xi} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_{\xi}(\omega) d\omega = \frac{a^2}{2} \quad (31)$$

Используя уравнение (14) и (15), можно определить изменения подачи как функцию случайного аргумента изменения уровня заражений растений G (рис. 5). Из сравнения частотных характеристик внешних воздействий (рис. 5) видно, что частота помех значительно выше частот, на которых выделяется полезный сигнал. Поэтому для того, исключить влияние помех на работу системы идентификации зараженных растений картофеля и овощных культур, необходимо систему рассчитывать так, чтобы её частота среза не заходила в область действия помех.

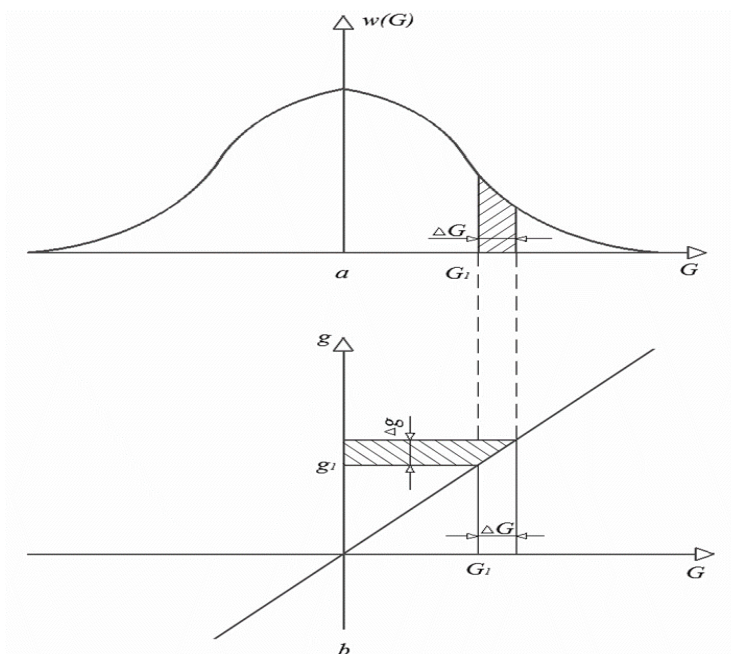


Рис. 5 – Плотность вероятности изменений заражений (а) и зависимость подачи (б) от заражений растений при технологическом процессе работы машины для удаления зараженных растений картофеля и овощных культур

Из сравнения частотных характеристик внешних воздействий (рис. 5) видно, что частота помех значительно выше частот, на которых выделяется полезный сигнал.

Поэтому для того, исключить влияние помех на работу системы идентификации зараженных растений картофеля и овощных культур, необходимо систему рассчитывать так, чтобы её частота среза не заходила в область действия помех. Результаты проведенных теоретических исследований позволили разработать техническое задание и манипулятор (рис. 6) автоматизированной машины

для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур, обеспечивающий извлечение зараженных растений с подкапыванием пласта почвы на посадках корнеплодов на глубину до 10 см от поверхности гребня с усилием, необходимым для извлечения корнеплода из почвы от минимально допустимого 60 Н для столовой моркови до максимально возможного 340 Н для столовой свеклы с основными конструктивными параметрами манипулятора, такие как: ширина ковша и глубина извлечения, которые составляют 300 мм и 250 мм.



Рис. 6 – Общий вид манипулятора автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур

Для проверки разработанных теоретических предпосылок функционирования манипулятора автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур необходимо проведение экспериментальных исследований в лабораторных и производственных условиях. Результаты полученных исследований могут быть использованы проектно-конструкторскими организациями при разработке новых и совершенствовании имеющихся рабочих органов и машин для ухода за овощными культурами и картофелем, научными работниками, аспирантами и студентами образовательных и исследовательских центров агроинженерного направления [14].

Выводы. Выполнено математическое моделирование технических средств и цифровых систем идентификации инфекционных заболеваний и удаления зараженных растений картофеля и овощных культур, определена закономерность изменения подачи в результате варьирования уровня заражений растений с учетом вероятности изменений урожайности.

Установлено, что распределение значений подачи, также, как и уровня зараженности растений картофеля, подчиняется нормальному закону, но с другими параметрами распределения, зависящими теперь уже от рабочей

скорости движения машины для сортофиточистки зараженных растений картофеля и овощных культур.

Получена зависимость спектральной плотности помехи системы идентификации зараженных растений картофеля и овощных культур в виде гармонической функции, учитывающая частоту помехи сигнала, а также единичную импульсную функцию.

Результаты проведенных исследований позволили разработать манипулятор автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур, обеспечивающий извлечение зараженных растений с подкапыванием пласта почвы на посадках корнеплодов на глубину до 10 см от поверхности гребня с усилием, необходимым для извлечения корнеплодов из почвы от минимально допустимого 60 Н до максимально возможного 340 Н.

Совершенствование полученных закономерностей процесса работы манипулятора автоматизированной машины для удаления из почвы зараженных растений картофеля и овощных культур может в дальнейшем использоваться в системе мониторинга показателей качества работы машин, как для возделывания, так и для уборки других сельскохозяйственных культур, что обеспечит новый уровень синтеза сложных технических систем

сельскохозяйственного производства. Предложенные технологические и технические решения могут служить основой к расширению

исследований и практической реализации перехода России к устойчивому развитию производства овощеводства.

Литература

1. Калинин А. Б., Теплинский И. З., Кудрявцев П. П. Почвенное состояние в интенсивной технологии // Картофель и овощи. 2016. № 2. С. 35–36.
2. Современные технологии и специальная техника для картофелеводства / А. Ю. Измайлов, Н. Н. Колчин, Я. П. Лобачевский, Н. Г. Кынев // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. № 3. С. 43 – 47.
3. Наумов А. В. Дыхание почвы: составляющие, экологические функции, географические закономерности. Новосибирск: Издательство Сибирского отделения РАН. 2009. 208 с.
4. Гаспарян И. Н. Защита картофеля от ризоктониоза. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». 2014;(3). С. 22-24.
5. Овс Е. В., Гаитова Н. А., Шишкина О. А. Индуцирование микроклубнеобразования новых перспективных сортов картофеля в асептической культуре. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020;15(4(60)):48-54. DOI: <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-48-54>
6. Современные автоматизированные и роботизированные машины для междурядной обработки почвы / А. Р. Валиев, Н. А. Васильев, Р. Ф. Сабилов и др. // Техника и оборудование для села. 2020. № 4. С. 2-7.
7. Сабилов, Р. Ф., Валиев А. Р., Мухамадьяров Ф. Ф. Обоснование конструктивно-технологических параметров устройства для обработки семян биопрепаратами // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 16. – № 3(63). – С. 84-89. – DOI 10.12737/2073-0462-2021-84-89.
8. Особенности взаимодействия винтового рыхлителя с почвой / И.С. Мухаметшин, А. Р. Валиев, А. В. Алешкин и др. // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 4. С. 50-57.
9. Метод расчета траектории движения зерна в пневмомеханическом шелушителе / Ю. Ф. Лачуга, Р. И. Ибятков, Б. Г. Зиганшин и др. // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. Т.6. С. 64-67.
10. Design optimization and experiment on potato haulm cutter / J. Q. Lü, Q. Q. Shang, Y. Yang, et al. // Transactions of the CSAM. 2016. Vol. 47. No. 5. P.106–114.
11. Root Carbon Dioxide Fixation by Phosphorus-Deficient *Lupinus albus* (Contribution to Organic Acid Exudation by Proteoid Roots) / J. F. Johnson, D. L. Allan, C. P. Vance, et al. // Plant Physiology. 1996. Vol. 112(1). P.19-30. DOI: 10.1104/pp.112.1.19
12. Выбор и обоснование параметров экологического состояния агроэкосистемы для мониторинга технологических процессов возделывания сельскохозяйственных культур / А. Б. Калинин, В. А. Смелик, И. З. Теплинский и др. // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2015. № 39. С. 315–319.
13. Zhu F., Zhou Y., Zhu S. Experimental study on heat transfer in soil during heat storage and release processes. Heat. Mass. Transfer. 2021. 57, P. 1485–1497. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00231-02103045-6> (дата обращения 11.10.2024).
14. Актуальные проблемы и приоритетные направления развития картофелеводства / А. В. Коршунов, Е. А. Симаков, Ю. Н. Лысенко и др. // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 3. С. 12-20. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10303.

Сведения об авторах:

Измайлов Андрей Юрьевич – академик РАН, доктор технических наук, директор, e-mail: vim@vim.ru
 Дорохов Алексей Семенович – академик РАН, доктор технических наук, первый заместитель директора, e-mail: Dorokhov.vim@yandex.ru
 Сибирев Алексей Викторович – профессор РАН, доктор технических наук, главный научный сотрудник отдела технологий и машин для овощеводства, e-mail: Sibirev2011@yandex.ru
 Мосяков Максим Александрович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела технологий и машин для овощеводства, e-mail: Maks.Mosyakov@yandex.ru
 Сазонов Николай Викторович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела технологий и машин для овощеводства, e-mail: Sazonov_Nikolay@mail.ru
 Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия

THEORETICAL JUSTIFICATION OF A MANIPULATOR FOR AUTOMATED REMOVAL OF PLANTS IN SEED PRODUCTION

A. Yu. Izmaylov, A. S. Dorokhov, A. V. Sibirev, M. A. Mosyakov, N. V. Sazonov

Abstract. The development of machines and equipment for laboratory and field work is relevant for potato breeding. This is due to the fact that the methodology for conducting breeding work and the first stages of seed production provides for the comparison of numerous plants of different origin, the selection of the best for further propagation and further work up to the development of a new variety or the transfer of seeds for propagation in production conditions. The aim of the study is to develop a manipulator of an automated machine for removing infected potato and vegetable plants from the soil, ensuring the exclusion of seed contamination when breeding new varieties and hybrids. Scientific novelty – justification patterns of the manipulator for automated removal of infected plants in seed production. Theoretical justification of the drive control system of the executive electric cylinders of the manipulator of the automated machine for removing infected potato and vegetable crops from the soil has been performed. During the theoretical studies it has been established that the main disturbing effect causing a change in the feed of the infected plant is a change in the yield of potato plants in the field G , which has a statistical nature. A functional diagram of the drive control system of the executive electric cylinders of the manipulator of the automated machine for removing infected potato and vegetable crops from the soil has been developed and it has been established that the amplitude of the useful signal of the manipulator position control controller $\varphi_{\max}=10^\circ$ and the frequency $\omega\varphi=10^2\text{c}^{-1}$, the interference amplitude $\gamma_{\max}=5^\circ$, the signal frequency $\omega\gamma=8\text{ c}^{-1}$. It has been determined that in order to obtain a given accuracy of reproduction of the useful signal of the actuator electric cylinders of

the manipulator, it is necessary to have values of the time constants of the sensor and actuator, at which the error in reproduction of the useful signal $\Delta\varphi$ would not exceed 1.5° , and the interference signal would be weakened by at least 20 times. A manipulator of an automated machine for removing infected potato and vegetable crops from the soil has been developed, ensuring the extraction of infected plants by digging up the soil layer.

Key words: removal, automation, infection, potatoes, vegetable crops, theoretical research, justification of parameters.

References

1. Kalinin AB, Teplinskiy IZ, Kudryavtsev PP. [Soil condition in intensive technology]. *Kartofel i ovoshchi*. 2016; 2. 35-36 p.
2. Izmaylov AYU, Kolchin NN, Lobachevskiy YaP, Kynev NG. [Modern technologies and special equipment for potato growing]. *Selskokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2015; 3. 43-47 p.
3. Naumov AV. Dykhanie pochvy: sostavlyayushchie, ekologicheskie funktsii, geograficheskie zakonomernosti. [Soil respiration: components, ecological functions, geographical patterns]. Novosibirsk: Izdatelstvo Sibirskogo otdeleniya RAN. 2009; 208 p.
4. Gasparyan IN. [Potato protection from rhizoctonia]. *Vestnik Federalnogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkina"*. 2014; (3). 22-24 p.
5. Oves EV, Gaitova NA, Shishkina OA. [Induction of microtuber formation of new promising potato varieties in aseptic culture]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020; 15(4(60)). 48-54 p. DOI: <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-48-54>
6. Valiev AR, Vaskov NA, Sabirov RF. [Modern automated and robotic machines for inter-row soil cultivation]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2020; 4. 2-7 p.
7. Sabirov RF, Valiev AR, Mukhamadyarov FF. [Justification of the design and technological parameters of the device for treating seeds with biopreparations]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021; Vol.16. 3 (63). 84-89 p. – DOI 10.12737/2073-0462-2021-84-89.
8. Mukhametshin IS, Valiev AR, Aleshkin AV. [Features of the interaction of a screw ripper with soil]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2018; 4. 50-57 p.
9. Lachuga YuF, Ibyatov RI, Ziganshin BG. [Method for calculating the trajectory of grain movement in a pneumatic-mechanical sheller]. *Rossiyskaya selskokhozyaystvennaya nauka*. 2021; Vol.6. 64-67 p.
10. Lu JQ, Shang QQ, Yang Y. Design optimization and experiment on potato haulm cutter. *Transactions of the CSAM*. 2016; Vol.47. 5. 106-114 p.
11. Johnson JF, Allan DL, Vance CP. Root carbon dioxide fixation by phosphorus-deficient lupinus albus (Contribution to Organic Acid Exudation by Proteoid Roots). *Plant Physiology*. 1996; Vol.112(1). 19-30 p. DOI: 10.1104/pp.112.1.19
12. Kalinin AB, Smelik VA, Teplinskiy IZ. [Selection and justification of parameters of the ecological state of the agroecosystem for monitoring technological processes of agricultural crop cultivation]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015; 39. 315-319 p.
13. Zhu F, Zhou Y, Zhu S. Experimental study on heat transfer in soil during heat storage and release processes. [Internet]. *Heat. Mass. Transfer*. 2021; 57. 1485-1497 p. [cited 2024, October 11]. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00231-02103045-6>.
14. Korshunov AV, Simakov EA, Lysenko YuN. [Actual problems and priority directions of potato growing development]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2018; Vol.32. 3. 12-20 p. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10303.

Authors:

Izmaylov Andrey Yurevich – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Director, e-mail: vim@vim.ru

Dorokhov Aleksey Semenovich – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, First Deputy Director, e-mail: Dorokhov.vim@yandex.ru

Sibirev Aleksey Viktorovich – Professor of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher of Department of Technologies and Machines for Vegetable Growing, e-mail: Sibirev2011@yandex.ru

Mosyakov Maksim Aleksandrovich – Ph.D. of Technical Sciences, Leading Researcher of Department of Technologies and Machines for Vegetable Growing, e-mail: Maks.Mosyakov@yandex.ru

Sazonov Nikolay Viktorovich – Ph.D. of Technical Sciences, Senior Researcher of Department of Technologies and Machines for Vegetable Growing, e-mail: Sazonov_Nikolay@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia.