

РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ УСТАНОВКИ ПО СУХОЙ ОЧИСТКЕ КЛУБНЕЙ
КАРТОФЕЛЯ ОТ ПОЧВЕННЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙYu.D. Shpiruk, V.V. Matyushev,
I.A. Chaplygina, A.A. Belyakov, A.V. SemenovTHE REGULATION OF OPERATING MODES OF INSTALLATION OF DRY CLEANING
POTATO TUBERS FROM SOIL POLLUTION

Шпирук Ю.Д. – асп. каф. товароведения и управления качеством продукции АПК Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: shpiruk57@mail.ru

Матюшев В.В. – д-р техн. наук, проф., зав. каф. товароведения и управления качеством продукции АПК Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: don.matyusheff2015@yandex.ru

Чаплыгина И.А. – канд. биол. наук, доц. каф. товароведения и управления качеством продукции АПК Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: ledum_palustre@mail.ru

Беляков А.А. – канд. техн. наук, доц., инженер ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск. E-mail: belyakov@ksc.krasn.ru

Семенов А.В. – канд. техн. наук, доц., зав. каф. механизации сельского хозяйства Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: don.matyusheff2015@yandex.ru

Shpiruk Yu.D. – Post-Graduate Student, Chair of Merchandizing and Product Quality Control of AIC, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: shpiruk57@mail.ru

Matyushev V.V. – Dr. Techn. Sci., Prof., Head, Chair of Merchandizing and Product Quality Control of AIC, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: don.matyusheff2015@yandex.ru

Chaplygina I.A. – Cand. Biol. Sci., Assoc. Prof., Chair of Merchandizing and Product Quality Control of AIC, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: ledum_palustre@mail.ru

Belyakov A.A. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Engineer, FRC KRC SB RAS, Krasnoyarsk. E-mail: belyakov@ksc.krasn.ru

Semenov A.V. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Mechanization of Agriculture, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: don.matyusheff2015@yandex.ru

Цель исследования – определение эффективных режимов эксплуатации установки по сухой очистке клубней картофеля от почвенных загрязнений, обеспечивающее согласование показателей технологического совершенства и качества готовой продукции. Описаны программа, модель и методика исследования эксплуатационных режимов установки. Разработанная программа, модель и методика экспериментальных исследований эксплуатационных режимов установки позволили определить критериальные значения продолжительности цикла обработки картофеля, остаточную загрязненность клубней картофеля и удельную энергоёмкость технологического процесса в целом. Исследование по совершенству технологии и качеству продукции включало анализ изменений основных технологических показателей, формирование критериев совершенства технологии и качества очищенных клубней картофеля и выбор эффективных режимов эксплуатации установки. В исследовании определялись: механический состав и влажность почвы, физико-механические характеристики клубней картофеля, а также качественные показатели работы установки и энергетические затраты. В качестве исходных данных по показателям были выбраны: ω – частота вращения диска, c^{-1} ; D – длина одного клубня картофеля, мм; H – ширина одного клубня картофеля, мм; $M_{нач}$ – начальная масса (одного или партии) загрязненного картофеля до обра-

ботки устройством, кг; $M_{ост}$ – масса условно чистого картофеля после обработки устройством, кг; M – масса чистого картофеля независимо от обработки, кг; T – продолжительность цикла обработки загрязненного картофеля, с. Разработанные критерии совершенства технологии и качества очищенных клубней картофеля позволили определить эффективные режимы эксплуатации установки при рабочей частоте вращения диска 7,67–8,32 c^{-1} , причем нижняя граница указанного диапазона соответствует качеству готового изделия, а верхняя – совершенству технологии. Установка для сухой очистки картофеля при начальной загрязненности до 12 % и влажности загрязнений до 33 % обеспечивает качественную очистку – остаточная загрязненность картофеля не превышает 1,55 %. Потери по массе в процессе очистки картофеля не превышали 1 %.

Ключевые слова: регулирование эксплуатационных режимов, очистка клубней картофеля от почвенных загрязнений, совершенство технологии, качество готового продукта.

The research objective was the definition of effective modes of operation of installation on dry cleaning of potatoes tubers from soil pollution providing coordination of indicators of technological perfection and quality of finished goods. The program, model and technique of research of operational modes of installation were described. Developed program,

model and the technique of pilot studies of operational modes of installation allowed defining criteria values of duration of potatoes operation cycle, residual impurity of potatoes tubers of and specific power consumption of technological process in general. The researches on the improvement of technology and quality of production included the analysis of changes of the main technological indicators, the formation of criteria of improvement of technology and quality of cleared potatoes tubers and the choice of effective modes of operation of installation. In the research mechanical structure and humidity of the soil, physical and mechanical characteristics of tubers of potatoes, and also quality indicators of work of installation and power expenses were defined. As basic data served the indicators: ω – the frequency of rotation of a disk, s^{-1} ; D – the length of one tuber of potatoes, mm; H – the width of one tuber of potatoes, mm; M_{init} – initial weight (one or party) polluted potatoes before processing the device, in kg; M_{res} – the mass of conditionally pure potatoes after processing the device, in kg; M – the mass of pure potatoes irrespective of processing, kg; τ – the duration of operation cycle of polluted potatoes, s were chosen. Developed criteria of improvement technology and quality of cleared tubers of potatoes allowed defining the effective modes of operation of installation with working frequency of rotation of a disk 7.67–8.32 s^{-1} , and the lower bound of specified range corresponds to the quality of finished product, and the top – to the improvement of technology. The installation for dry cleaning of potatoes at initial impurity to 12 % and humidity of pollution to 33 % provides high-quality cleaning – residual impurity of potatoes does not exceed 1.55 %. The losses in weight in the course of cleaning of potatoes did not exceed 1 %.

Keyword: regulation of operating conditions, cleaning of potato tubers from soil contamination, perfection of technology, quality of finished product.

Введение. Предварительная очистка клубней картофеля перед закладкой на хранение, с минимальной остаточной загрязненностью, дает возможность снизить потери массы клубней, повысить сохранность картофеля в целом. Поэтому при формировании ресурсоэнергосберегающей технологической линии по сухой очистке клубней картофеля от почвенных загрязнений необходимо выявить эффективные режимы эксплуатации установки, обеспечивающие высокий уровень совершенства технологии и качества готовой продукции. Регулирование режимных параметров выполняется на основании вычислительного моделирования экспериментальных данных и согласуются с закономерностями, установленным для промежуточных (полуцелых) значений размерных групп картофеля.

Цель исследования: выявить эффективные режимы эксплуатации установки по очистке клубней картофеля от почвенных загрязнений, обеспечивающие согласование показателей технологического совершенства и качества готовой продукции.

Методы исследования. Экспериментальные исследования проводились на запатентованной установке [1] в порядке, согласно общепризнанным положениям, изло-

женным в ГОСТ 7194-81, 2010; ГОСТ Р 51808-2013, 2014; ГОСТ Р 53136-2008, 2008. В исследованиях определялись: механический состав и влажность почвы, физико-механические характеристики клубнеплодов, а также качественные показатели работы установки для сухой очистки картофеля и энергетические затраты.

В качестве исходных данных по показателям были выбраны: ω – частота вращения диска, s^{-1} ; D – длина одного клубня картофеля, мм; H – ширина одного клубня картофеля, мм; $M_{нач}$ – начальная масса (одного или партии) загрязнённого картофеля до обработки устройством, кг; $M_{ост}$ – масса условно чистого картофеля после обработки устройством, кг; M – масса чистого картофеля независимо от обработки, кг; τ – продолжительность цикла обработки загрязнённого картофеля, с.

Расчетные данные по показателям

Начальная загрязненность картофеля ($Z_{нач}$, %):

$$Z_{нач} = \frac{M_{нач} - M}{M_{нач}} \cdot 100\%$$

Остаточная загрязненность картофеля ($Z_{ост}$, %):

$$Z_{ост} = \frac{M_{нач} - M_{ост}}{M_{нач}} \cdot 100\%$$

Эффективность обработки (E , %):

$$E = \frac{Z_{нач} - Z_{ост}}{Z_{нач}} \cdot 100\%$$

Производительность устройства (P , кг/с):

$$P = \frac{M_{нач}}{\tau}$$

Промежуточные классы картофеля определяются исходя из параметров основных целочисленных классов:

$$K = \frac{\sum_j M_j \cdot K_j}{\sum_j M_j}$$

где K_j – размер j -й фракции, кл., M_j – масса j -й фракции, кг.

Исследования по совершенству технологии и качеству готовой продукции включают анализ изменений основных технологических показателей, формирование критериев совершенства технологии и качества очищенного картофеля и выбор эффективных режимов эксплуатации установки (рис. 1).



Рис. 1. Схема проведения исследований по оптимизации технологии и качеству очищенных клубней картофеля

Для решения задач компьютерной обработки данных, моделирования и оптимизации использованы: аппарат математического моделирования, статистики и системного анализа [1–3, 6–8, 11], пакеты Maple (Optimization) и DataFit, а также табличный процессор MsExcel.

Результаты исследования и их обсуждение. На предварительном уровне исследования, в соответствии с полученными данными, клубни картофеля были разделены на 3 фракции, характеризующиеся следующими параметрами: масса клубня – 45–79 г, насыпная плотность – 732,81 кг/м³ (54,4 % от выборки); масса клубня – 80–109 г, насыпная плотность – 714,79 кг/м³ (35,3% от выборки); масса клубня – 110–125 г, насыпная плотность – 694,98 кг/м³ (10,3% от выборки). Начальная загрязненность клубней картофеля не превышала 12 % и влажность загрязнений – 33 %.

На основном уровне исследований выполнено регулирование эксплуатационных показателей установки по очистке клубней картофеля от почвенных загрязнений как основы формируемой технологической линии. Регулирование производительности установки от частоты вращения диска представляется функцией (рис. 2)

$$P = P(\omega) = a \cdot \omega^b \cdot \exp(c \cdot \omega),$$

где $a = 2,371$, $b = -3,115$, $c = 0,652$ – коэффициенты.

Данная зависимость детерминирована на 98,2 %, относительная погрешность не превышает 3 % (табл. 1).

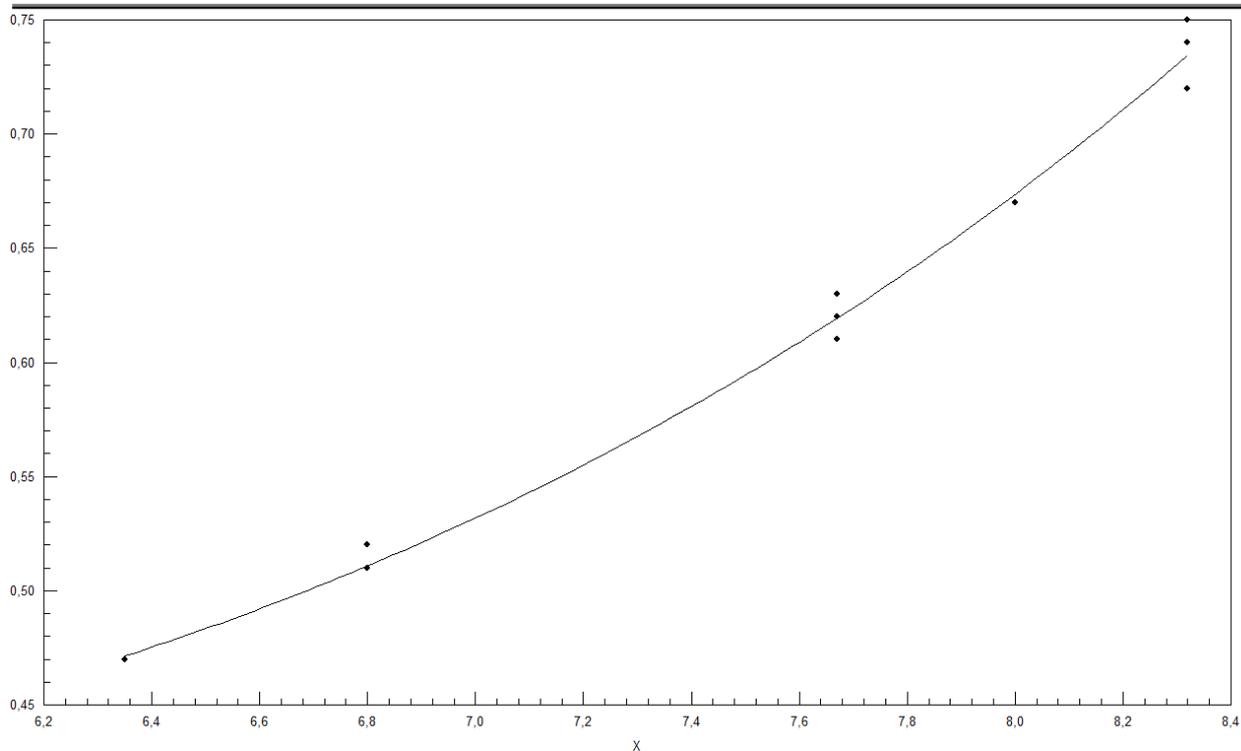


Рис. 2. Зависимость производительности установки от частоты вращения диска

Таблица 1

Опытные и расчётные данные производительности установки

Частота вращения диска, с ⁻¹	Производительность, кг/с	Вычисленная производительность, кг/с	Отклонение производительности, кг/с	Относительное отклонение производительности, %
ω	P	P(ω)	P(ω)-P	(P(ω)-P)/P
6,35	0,47	0,470	0,000	0,060
6,35	0,47	0,470	0,000	0,060
6,35	0,47	0,470	0,000	0,060
6,80	0,51	0,510	0,000	-0,096
6,80	0,51	0,510	0,000	-0,096
6,80	0,52	0,510	-0,010	-2,017
7,67	0,62	0,617	-0,003	-0,405
7,67	0,61	0,617	0,007	1,228
7,67	0,63	0,617	-0,013	-1,985
8,00	0,67	0,672	0,002	0,233
8,00	0,67	0,672	0,002	0,233
8,00	0,67	0,672	0,002	0,233
8,32	0,74	0,732	-0,008	-1,052
8,32	0,75	0,732	-0,018	-2,371
8,32	0,72	0,732	0,012	1,697
¹ 6,35	0,47	0,47	-0,02	-2,37
² 7,43	0,60	0,60	0,00	-0,28
³ 8,32	0,75	0,73	0,01	1,70
⁴ 0,77	0,10	0,10	0,01	1,14

Здесь и далее: ¹ минимальное значение показателя; ² максимальное; ³ среднее значение; ⁴ стандартное отклонение показателя.

Критерий совершенства технологии – максимум производительности установки:

$$P(\omega) \rightarrow \max, 6,35 \leq \omega \leq 8,32 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Исследование изменения производительности установки при оптимальных конструктивных и технологических параметрах показало, что наибольшая производительность 0,73 кг/с достигается при режиме эксплуатации установки, соответствующем частоте вращения диска 8,32 с⁻¹.

Регулирование продолжительности цикла обработки от частоты вращения диска представляется следующей функцией (рис. 3):

$$\tau = \tau(\omega) = a \cdot \omega^b \cdot \exp(c \cdot \omega),$$

где $a = 16,808$, $b = 1,392$, $c = -0,417$ – коэффициенты.

Зависимость детерминирована на 98,5 %, относительная погрешность не превышает 4 % (табл. 2).

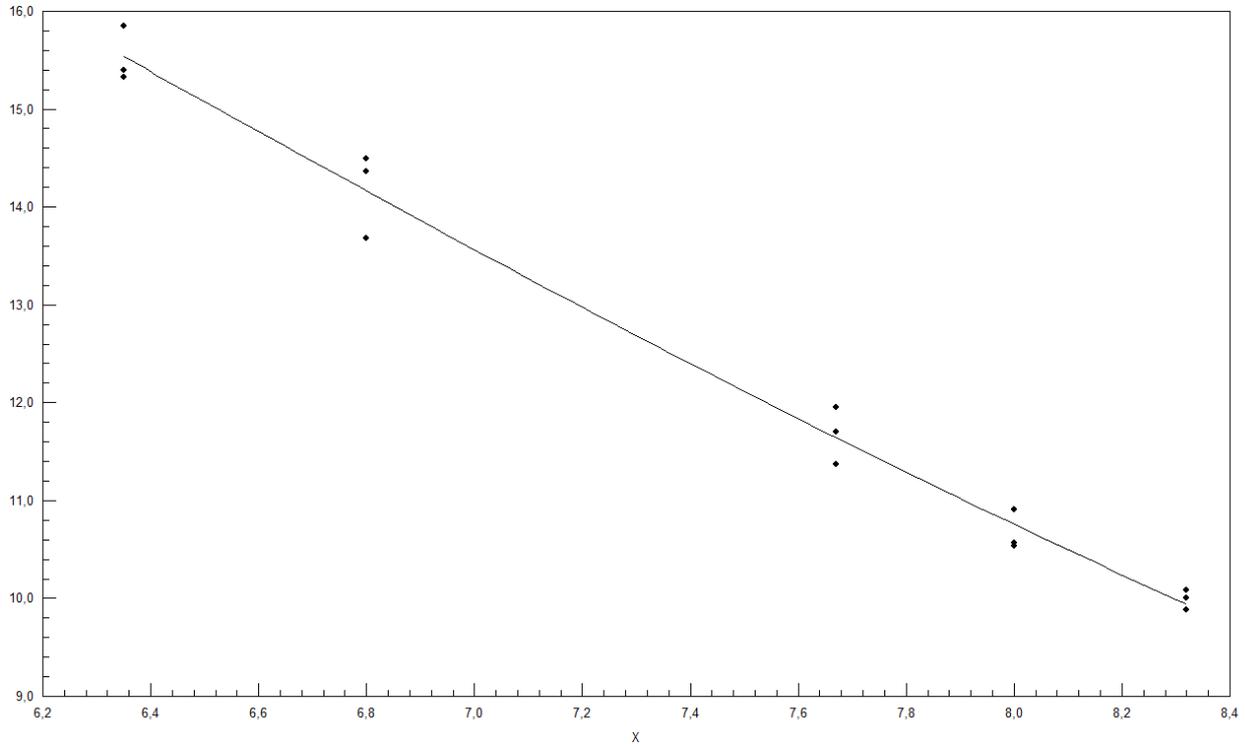


Рис. 3. Зависимость продолжительности цикла обработки от частоты вращения диска

Таблица 2

Опытные и расчетные данные продолжительности цикла обработки картофеля

Частота вращения диска, с ⁻¹	Продолжительность цикла обработки, с	Вычисленная продолжительность цикла обработки, с	Отклонение продолжительности цикла обработки, с	Относительное отклонение продолжительности цикла обработки, с
1	2	3	4	5
ω	τ	$\tau(\omega)$	$\tau(\omega) - \tau$	$(\tau(\omega) - \tau) / \tau$
6,35	15,40	15,595	0,195	1,267
6,35	15,33	15,595	0,265	1,729
6,35	15,85	15,595	-0,255	-1,608
6,80	14,49	14,219	-0,271	-1,867
6,80	14,36	14,219	-0,141	-0,979
6,80	13,68	14,219	0,539	3,943
7,67	11,37	11,698	0,328	2,884
7,67	11,70	11,698	-0,002	-0,018
7,67	11,95	11,698	-0,252	-2,110
8,00	10,57	10,810	0,240	2,267
8,00	10,54	10,810	0,270	2,558
8,00	10,91	10,810	-0,100	-0,920
8,32	10,08	9,990	-0,090	-0,892

1	2	3	4	5
8,32	9,88	9,990	0,110	1,114
8,32	10,00	9,990	-0,010	-0,099
16,35	9,88	9,99	-0,27	-2,11
27,43	12,41	12,46	0,06	0,48
38,32	15,85	15,60	0,54	3,94
40,77	2,20	2,19	0,25	1,91

Критерий совершенства технологии – минимум продолжительности цикла обработки на установке:

$$\tau(\omega) \rightarrow \min, \\ 6,35 \leq \omega \leq 8,32 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Исследование изменения продолжительности цикла обработки при оптимальных конструктивных и технологических параметрах показало, что наименьшая продолжительность 9,99 с достигается при режиме эксплуатации установки, соответствующего частоте вращения диска 8,32 с⁻¹.

Регулирование остаточной загрязненности картофеля от частоты вращения диска и начальной загрязненности картофеля представляется функцией (рис. 4):

$$Z_{ост} = Z_{ост}(\omega, Z_{нач}) = a \cdot \omega^b \cdot Z_{нач}^c,$$

где $a = 0,810$, $b = 0,012$, $c = 1,054$ – коэффициенты.

Зависимость детерминирована на 97,3 %, стандартное отклонение относительной погрешности не превышает 5 % (табл. 3).

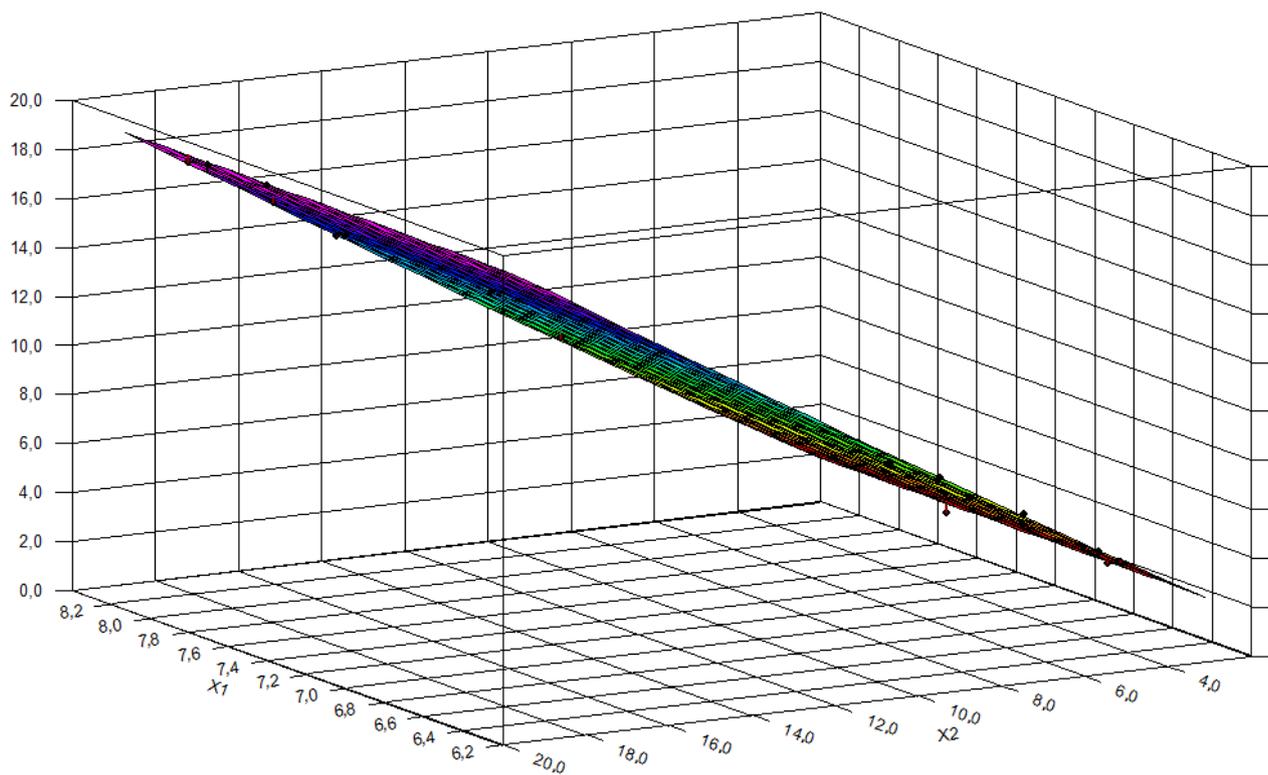


Рис. 4. Зависимость остаточной загрязненности клубней картофеля от частоты вращения диска и его начальной загрязненности

Опытные и расчётные данные остаточной загрязнённости картофеля после обработки

Частота вращения диска ω , c^{-1}	Начальная загрязненность картофеля $Z_{нач}$, %	Остаточная загрязненность картофеля $Z_{ост}$, %	Вычисленная остаточная загрязненность картофеля $Z_{ост}(\omega, Z_{нач})$, %	Отклонение остаточной загрязненности картофеля $Z_{ост}(\omega, Z_{нач}) - Z_{ост}$, %	Относительное отклонение остаточной загрязненности картофеля $Z_{ост}(\omega, Z_{нач}) - Z_{ост} / Z_{ост}$, %
6,35	6,75	6,34	6,197	-0,143	-2,250
6,35	8,77	8,22	8,167	-0,053	-0,650
6,35	4,42	3,88	3,966	0,086	2,226
6,80	7,86	7,32	7,282	-0,038	-0,519
6,80	2,61	2,20	2,278	0,078	3,560
6,80	2,84	2,60	2,490	-0,110	-4,215
7,67	2,41	2,00	2,098	0,098	4,886
7,67	13,35	12,93	12,746	-0,184	-1,426
7,67	18,74	18,34	18,222	-0,118	-0,642
8,00	19,10	18,40	18,601	0,201	1,091
8,00	17,04	16,34	16,493	0,153	0,934
8,00	10,12	9,44	9,523	0,083	0,881
8,32	17,12	16,98	16,582	-0,398	-2,343
8,32	14,00	13,46	13,414	-0,046	-0,345
8,32	13,81	13,40	13,222	-0,178	-1,330
16,35	2,41	2,00	2,10	-0,40	-4,21
27,43	10,60	10,12	10,09	-0,04	-0,01
38,32	19,10	18,40	18,60	0,20	4,89
40,77	6,02	5,99	5,96	0,16	2,36

Критерий качества изделия – минимум остаточной загрязненности клубней картофеля после обработки на установке:

$$Z_{ост}(\omega, Z_{нач}) \rightarrow \min ,$$

$$\begin{cases} 6,35 \leq \omega \leq 8,32 (c^{-1}), \\ 2,41 \leq Z_{нач} \leq 19,10 (\%). \end{cases}$$

Изменения коэффициента эффективности обработки при оптимальных конструктивных и технологических параметрах установки показало, что наименьшая остаточная загрязненность составляет 2,10 % и достигается при режиме эксплуатации установки, соответствующем частоте

вращения диска 7,67 c^{-1} .

Регулирование коэффициента эффективности обработки клубней картофеля от частоты вращения диска и начальной загрязненности картофеля представляется функцией (рис. 5):

$$E = E(\omega, Z_{нач}) = a \cdot \omega^b \cdot Z_{нач}^c ,$$

где $a = 120,456$, $b = -0,244$, $c = 0,104$ – коэффициенты.

Зависимость детерминирована на 97,4 %, стандартное отклонение относительной погрешности не превышает 3 % (табл. 4).

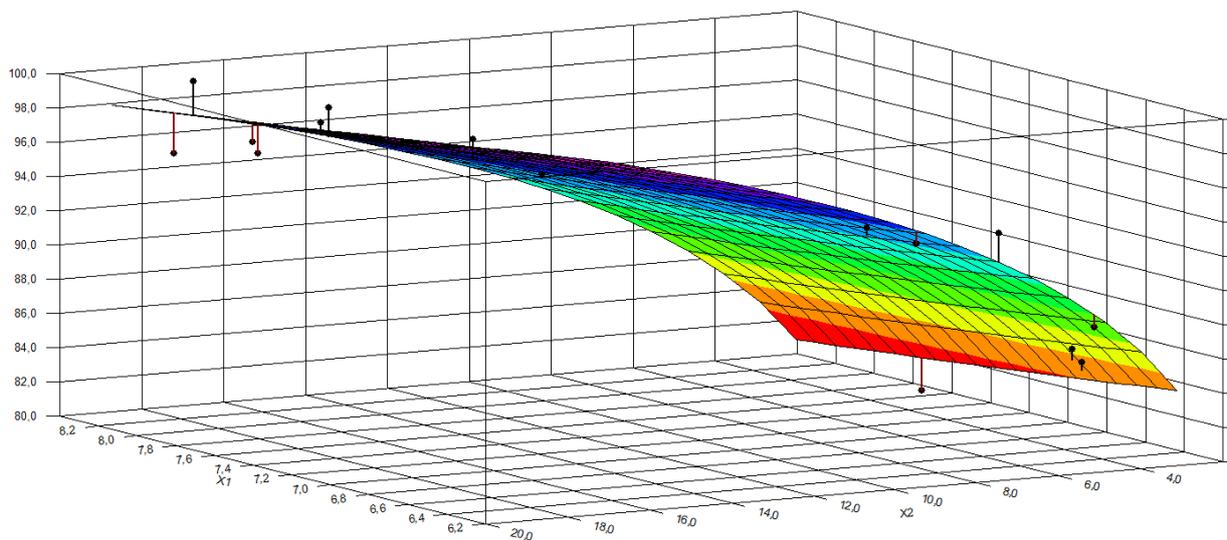


Рис. 5. Зависимость коэффициента эффективности обработки картофеля от частоты вращения диска и начальной загрязнённости картофеля

Таблица 4

Опытные и расчётные данные по коэффициенту эффективности обработки картофеля

Частота вращения диска, с ⁻¹	Начальная загрязнённость картофеля, %	Коэффициент эффективности обработки, %	Вычисленный коэффициент эффективности обработки, %	Отклонение коэффициента эффективности обработки, %	Относительное отклонение коэффициента эффективности обработки, %
ω	Zнач	E	E($\omega, Z_{нач}$)	E($\omega, Z_{нач}$)-E	(E($\omega, Z_{нач}$)-E)/E
6,35	6,75	93,88	93,583	-0,297	-0,316
6,35	8,77	93,65	96,166	2,516	2,687
6,35	4,42	87,88	89,552	1,672	1,903
6,80	7,86	93,10	93,502	0,402	0,432
6,80	2,61	84,21	83,373	-0,837	-0,994
6,80	2,84	85,00	84,109	-0,891	-1,048
7,67	2,41	80,00	80,291	0,291	0,364
7,67	13,35	96,88	95,938	-0,942	-0,973
7,67	18,74	97,86	99,382	1,522	1,555
8,00	19,10	96,32	98,560	2,240	2,326
8,00	17,04	95,87	97,397	1,527	1,593
8,00	10,12	93,24	92,260	-0,980	-1,051
8,32	17,12	99,21	96,517	-2,693	-2,715
8,32	14,00	96,15	94,518	-1,632	-1,697
8,32	13,81	97,00	94,384	-2,616	-2,697
¹ 6,35	2,41	80,00	80,29	-2,69	-2,71
² 7,43	10,60	92,68	92,64	-0,05	-0,04
³ 8,32	19,10	99,21	99,38	2,24	2,33
⁴ 0,77	6,02	5,72	5,80	1,67	1,76

Критерий качества изделия – это максимум эффективности обработки на установке:

$$E(\omega, Z_{нач}) \rightarrow \max, \begin{cases} 6,35 \leq \omega \leq 8,32 \text{ (с}^{-1}\text{)}, \\ 2,41 \leq Z_{нач} \leq 19,10 \text{ (\%)}. \end{cases}$$

Исследование изменения коэффициента эффективности обработки при оптимальных конструктивных и технологических параметрах показало, что наибольшая эффективность 99,38 % достигается при режиме эксплуатации установки, соответствующем частоте вращения диска 7,67 с⁻¹.

Таким образом, эффективные режимы эксплуатации установки обеспечены выбором рабочей частоты вращения диска из диапазона 7,67–8,32 с⁻¹.

Выводы

1. Разработанные критерии совершенства технологии и качества очищенных клубней картофеля позволили обосновать эффективные режимы эксплуатации установки при рабочей частоте вращения диска 7,67–8,32 с⁻¹, причем нижняя граница указанного диапазона соответствует качеству готового изделия, а верхняя – совершенству технологии.

2. Установка для сухой очистки картофеля при начальной загрязненности до 12 % и влажности загрязнений до 33 % обеспечивает качественную очистку – остаточная загрязненность картофеля не превышает 1,55 %. Потери по массе в процессе очистки картофеля не превышали 1 %.

Литература

1. Устройство для сухой очистки корнеклубнеплодов: пат. № 161769 RU, МПК А01D 33/08 (2006.01) / Шнирук Ю.Д., Матюшев В.В., Чаплыгина И.А. – № 2015139018/13; заявл. 11.09.2015; опубл. 10.05.2016, Бюл. № 13.
2. *Draper, Norman R., and Smith, Harry.* Applied Regression Analysis. – New York: Wiley, 1998 – 3rd ed.
3. *Montgomery, Douglas C.* Introduction to Statistical Quality Control. – 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1991.
4. *Stuart, Alan, and Ord, Keith.* Kendall's Advanced Theory of Statistics. Distribution Theory. – London: Edward Arnold, 1998. – 6th ed. – Vol. 1.
5. *Долбаненко В.М., Селиванов В.М.* Оптимизация режимов и параметров устройства для сухой очистки корнеклубнеплодов // Вестн. КрасГАУ. – 2008. – № 4. – С. 210–215.
6. *Дусенов М.К., Мухин В.А.* Анализ принципов действия устройств для сухой очистки корнеплодов // Мат-лы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию со дня рожд. проф. В.Ф. Дубинина / Саратовский ГАУ. – Саратов, 2010. – С. 145–148.
7. *Кобзарь А.И.* Прикладная математическая статистика для инженеров и научных работников. – М.: Физматлит, 2012. – 816 с.
8. Компьютерные технологии при проектировании и эксплуатации технологического оборудования: учеб. пособие / Г.В. Алексеев, И.И. Бриденко, В.А. Головацкий [и др.]. – СПб.: ГИОРД, 2012. – 256 с.
9. *Моисеев Н.Н.* Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 448 с.
10. *Неверов Д.А.* Сравнительная характеристика различных типов картофелесортировальных машин //

- Проблемы и перспективы развития сельского хозяйства России: мат-лы всерос. науч.-практ. конф. / Саратовский ГАУ. – Саратов, 2008. – 259 с.
11. Численные методы при моделировании технологических машин и оборудования: учеб. пособие / Г.В. Алексеев, Б.А. Вороненко, М.В. Гончаров [и др.]. – СПб.: ГИОРД, 2014. – 200 с.

Literatura

1. *Ustrojstvo dlja suhoj ochistki korneklubneplodov:* pat. № 161769 RU, МПК А01D 33/08 (2006.01) / *Shpiruk Ju.D., Matjushev V.V., Chaplygina I.A.* – № 2015139018/13; zajavl. 11.09.2015; opubl. 10.05.2016, Bjul. № 13.
2. *Draper, Norman R., and Smith, Harry.* Applied Regression Analysis. – New York: Wiley, 1998 – 3rd ed.
3. *Montgomery, Douglas C.* Introduction to Statistical Quality Control. – 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1991.
4. *Stuart, Alan, and Ord, Keith.* Kendall's Advanced Theory of Statistics. Distribution Theory. – London: Edward Arnold, 1998. – 6th ed. – Vol. 1.
5. *Dolbanenko V.M., Selivanov V.M.* Optimizacija rezhimov i parametrov ustrojstva dlja suhoj ochistki korneklubneplodov // Vestn. KrasGAU. – 2008. – № 4. – S. 210–215.
6. *Dusenov M.K., Mulin V.A.* Analiz principov dejstvija ustrojstv dlja suhoj ochistki korneplodov // Mat-ly mezhdunar. nauch.-prakt. konf., po-svjashh. 70-letiju so dnja rozhd. prof. V.F. Dubinina / Saratovskij GAU. – Saratov, 2010. – S. 145–148.
7. *Kobzar' A.I.* Prikladnaja matematičeskaja statistika dlja inzhenerov i nauchnyh rabotnikov. – M.: Fizmatlit, 2012. – 816 s.
8. *Komp'juternye tehnologii pri proektirovanii i jekspluatacii tehnologičeskogo oborudovanija:* uceb. posobie / *G.V. Alekseev, I.I. Bridenko, V.A. Golovackij* [i dr.]. – SPb.: GIORД, 2012. – 256 s.
9. *Moiseev N.N.* Matematičeskie zadachi sistemnogo analiza. – M.: Nauka, 1981. – 448 s.
10. *Neverov D.A.* Sravnitel'naja harakteristika razlichnyh tipov kartofelesortiroval'nyh mashin // Problemy i perspektivy razvitija sel'skogo hozjajstva Rossii: mat-ly vse-ros. nauch.-prakt. konf. / Saratovskij GAU. – Saratov, 2008. – 259 s.
11. *Chislennye metody pri modelirovanii tehnologičeskix mashin i oborudovanija:* uceb. posobie / *G.V. Alekseev, B.A. Voronenko, M.V. Goncharov* [i dr.]. – SPb.: GIORД, 2014. – 200 s.