

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАШИНЫ НА КАЧЕСТВО СУХОЙ ОЧИСТКИ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ

В.В. Полегенький, канд. ф.-м. наук, доцент (БГАТУ); А.С. Воробей, канд. техн. наук (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»); И.А. Тарасевич, ст. преподаватель (БГАТУ)

Аннотация

В данной работе на основе эмпирической модели проведено исследование качества сухой очистки клубней картофеля и степень их повреждаемости. Показано, что изменение любого конструктивно-технологического параметра незначительно влияет на качество очистки, в то время как повреждаемость клубней в значительной степени зависит от этих факторов.

The research based on empirical models dry cleaning quality of potato tubers and their degree of damage is carried out in the article. It is shown that a change in any design and process parameter has little effect on the quality of treatment, while tuber defect largely depends on these factors.

Введение

В настоящее время проблема состоит не в том, как произвести картофель, а в том, как его реализовать с максимальной выгодой для производителя. Одной из наиболее трудоемких операций предреализационной обработки картофеля является отделение от продукции комков почвы различной влажности, растительных остатков и других примесей.

На поверхности клубней, особенно выращенных на тяжелых почвах, может содержаться до 7-9 % прилипшей почвы. Надежный способ для ее удаления – это мойка клубней.

В целом, по мнению ученых [1], картофель перед продажей и закладкой на хранение мыть не рекомендуется, так как потом он плохо хранится из-за проявления на клубнях различных болезней. Кроме того, смыть налипшую грязь с клубней одним лишь напором воды сложно, поэтому добавляют различные моющие средства, содержащие поверхностно-активные вещества, избавиться от которых можно лишь путем 10-15 полосканий. Это очень затратно для производителя и опасно для покупателя, так как качество картофеля ухудшается. Поэтому существует сухой способ очистки картофеля.

Способы сухой очистки клубней основаны на воздействии на них сил трения и сил, возникающих при соударении клубней в процессе их обработки.

При сухом способе очистки почвенные загрязнения с поверхности клубней, почвенные комки, камни и растительные остатки убираются с помощью различных рабочих органов: просеивающего типа, транспортно-щеточных, ударного взаимодействия,

вибрационных, пневматических, горок с пальчатой поверхностью и др. При этом сохраняется целостность клубня и его первоначальный внешний вид. Сухие клубни хорошо хранятся.

Вопросам обоснования параметров рабочих органов и режимов работы машин для сухой очистки корнеклубнеплодов посвящены труды ученых М.Е. Мацепуро [2], Н.Н. Колчина [3] и многих других.

Анализ этих работ показывает, что учеными разработаны теоретические основы и конструкции машин, нашедшие промышленное применение в пунктах для очистки и сортировки картофеля, как в стационарных, так и на мобильных агрегатах, а специальные исследования по щеточным очистителям и, в частности по сухой очистке клубней картофеля, не проводились.

В НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства начато производство машины по сухой очистке картофеля МСОК-5. Целью настоящих исследований являлось построение математических моделей, описывающих процесс сухой очистки и основные конструктивно-технологические параметры указанной машины, обеспечивающие высокое качество конечного продукта.

Основная часть

Основные входные и выходные параметры сухой очистки картофеля

Факторный анализ показал, что основными выходными независимыми параметрами, характеризующими работу машины, являются ее производительность (W , т/ч), удельные энергозатраты ($n_{y\partial}$, Вт·ч/т), качество очистки клубней (δ , %) и степень

их повреждаемости (e , %). Конструктивными и режимными входными регулируемые параметрами, являющимися заведомо главными для рассматриваемой машины, определены угол наклона рабочей поверхности машины (α , рад), статическая нагрузка на клубни (P , Н), частота вращения профилированных вальцов (n , с⁻¹) и длина рабочей поверхности машины (L , м).

В качестве модельных зависимостей выходных параметров (W, n_{yo}, δ, e) от входных (α, P, ω, L) вследствие независимости последних были выбраны функции вида: $P_{out} = k\alpha^m P^s n^l L^p$, где k, m, s, l, p – некоторые константы, а P_{out} обозначает один из выходных параметров. Для их определения на основании разработанного факторного плана эксперимента были проведены испытания [4], которые показали, что удовлетворительные результаты по качеству очистки и по степени повреждаемости клубней получаются для значений входных параметров, ограниченных областью

$$\alpha \in [0,02; 0,11], \quad P \in [20; 26],$$

$$\omega \in [1,3; 3,4], \quad L \in [1,35; 2,25].$$

Аппроксимация последних степенными функциями позволила оценить показатели степеней m, s, l, p для каждого выходного параметра, в частности для величин δ (%) и e (%).

Исследование влияния входных параметров на качество очистки картофеля

Качество очистки клубней (δ , %) является одной из основных характеристик машин по сухой очистке картофеля, общий вид зависимости которой от входных параметров согласно сказанному выше представляем в виде произведения степеней этих параметров:

$$\delta = A_1 \cdot \alpha^m \cdot P^k \cdot \omega^l \cdot L^p \quad (1)$$

Для определения входящих в уравнение (1) постоянных экспериментальные данные [4] для значений величины δ сначала группировались и усреднялись по каждому значению для каждого входного параметра. Аппроксимация полученных результатов степенными функциями позволила оценить показатели степеней m, k, l, p для каждого входного параметра и получить следующие теоретические зависимости δ от каждого из параметров:

$$\delta(\alpha) = 100,75 \cdot \alpha^{0,0191}; \quad \delta(P) = 80,263 \cdot P^{0,0549};$$

$$\delta(\omega) = 92,834 \cdot \omega^{0,033}; \quad \delta(L) = 91,948 \cdot L^{0,0629}, \quad (2)$$

графики которых представлены на рис. 1.

Из приведенных на рис. 1 графиков следует, что качество очистки монотонно возрастает при увеличе-

нии всех параметров, что объясняется следующим. Увеличение угла α и длины L приводит к увеличению времени пребывания клубней картофеля на рабочей поверхности, времени его очистки и улучшению качества очистки. Увеличение давления полотна P приводит к усилению контакта клубней с вальцами, а увеличение скорости вращения – к увеличению интенсивности очистки, что также положительно влияет на качество последней.

Представленные в формулах (2) степенные функции от входных параметров использовались в уравнении (1) для определения коэффициента A_1 . Для этого было проведено сравнение результатов, полученных на основе расчетов по формулам (1) и (2), и экспериментальных данных, что в итоге позволило найти следующую итоговую эмпирическую зависимость:

$$\delta = 79,726 \cdot \alpha^{0,0191} \cdot P^{0,0549} \cdot \omega^{0,033} \cdot L^{0,0629} \quad (3)$$

Средняя относительная погрешность расчетов по формуле (3) относительно опытных данных $\delta^{(эк)}$ [4] составила 1,3 %.

Оценка относительных изменений качества очистки δ при изменении каждого из входных параметров в пределах их интервалов изменения согласно полученной формуле (3) показала следующее. Относительные изменения δ по отношению к углу α составляют 3,3 %, относительно давления полотна P – 1,6 %, относительно частоты вращения ω – 3,2 % и относительно длины L – 3,3 %. Таким образом, каждый входной параметр незначительно влияет на качество очистки (особенно давление полотна P), хотя монотонный рост величины δ от каждого из них достаточно очевиден, что показывает рис. 1.

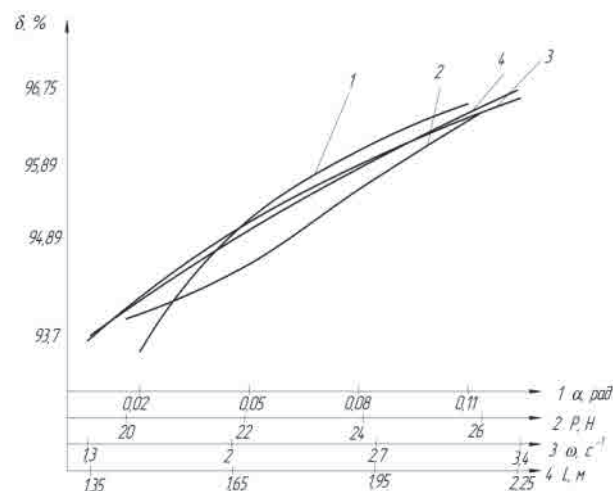


Рисунок 1. Зависимости качества очистки от каждого входного параметра:

1 – угол наклона; 2 – давление полотна; 3 – угловая скорость профилированных вальцов; 4 – длина рабочей поверхности

Исследование влияния входных параметров на повреждаемость клубней картофеля

Другим важным технологическим параметром сухой очистки является повреждаемость клубней картофеля во время очистки (e , %). Аппроксимационные зависимости повреждаемости клубней от управляемых входных параметров α , P , ω и L , полученные на основе экспериментальных данных по схеме, описанной выше, имеют вид

$$e(\alpha) = 2,217\alpha^{0,0763}; e(P) = 0,3741P^{0,4974};$$

$$e(\omega) = 1,5256\omega^{0,1885}; e(L) = 1,5378L^{0,2525} \quad (4)$$

и изображены на рис. 2.

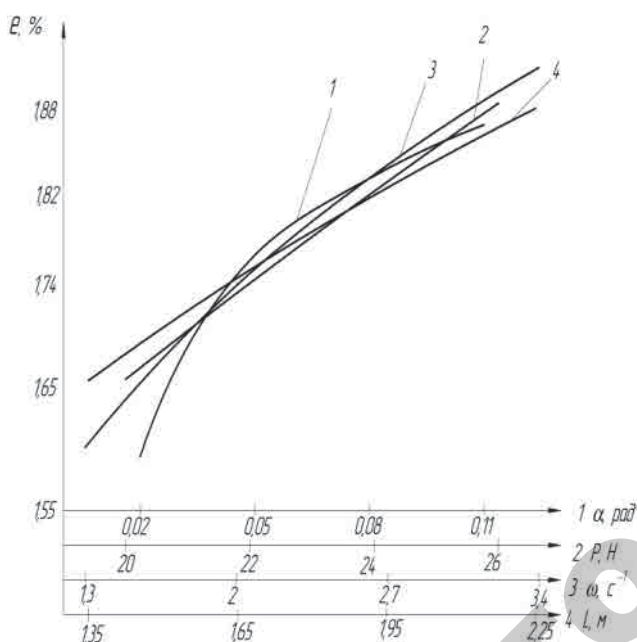


Рисунок 2. Зависимость степени повреждаемости клубней от входных параметров:

1 – угол наклона; 2 – давление полотна; 3 – угловая скорость профилированных валцов; 4 – длина рабочей поверхности

На основании формул (4) и экспериментальных данных была получена окончательная эмпирическая формула зависимости степени повреждаемости клубней от входных параметров

$$e = 0,3464 \cdot \alpha^{0,0763} \cdot P^{0,4974} \cdot \omega^{0,1885} \cdot L^{0,2525}, \quad (5)$$

вычисления по которой дают среднюю относительную погрешность относительно экспериментальных значений $e_{\text{экс}}$, равную 5,4 %.

На основании формулы (5) оценим влияние каждого из входных параметров на рассматриваемую величину. Относительное изменение повреждаемости клубней e при изменении каждого из факторов в пределах их интервалов варьирования относительно угла α составляет 13,9 %, относительно давления полотна P – 13,9 %, относительно частоты вращения

валцов ω – 19,9 %, относительно длины L – 13,8 %. Из приведенных расчетов и рис. 2 следует, что каждый входной параметр для рассматриваемой величины является значимым, особенно частота вращения валцов ω . Зависимость от (α), P и L объясняется увеличением времени пребывания клубней на рабочей поверхности, что приводит к увеличению суммарной вероятности повреждения клубня, а увеличение частоты вращения валцов увеличивает саму вероятность повреждения клубней, в основном при прохождении валцов.

Зависимости (3), (5), во-первых, показывают, что каждая из функций δ и e является возрастающей относительно входящих параметров α , P , ω , L . Тогда наибольшее и наименьшее значения функций δ и e достигаются на границе множества, в котором заключены переменные α , P , ω , L . Подставляя в зависимости (3) и (5) наименьшее и наибольшее значения изменяемых переменных $\alpha=0,02$; $P=20$; $\omega=1,3$; $L=1,35$ и $\alpha=0,11$; $P=20$; $\omega=3,4$; $L=2,25$ найдем наибольшее и наименьшее значения этих величин:

$$\delta_{\text{наим}} = 79,726(0,02)^{0,0191}(20)^{0,0549} \times$$

$$\times (1,3)^{0,053}(1,35)^{0,0629} = 90;$$

$$\delta_{\text{наиб}} = 79,726(0,11)^{0,0191}(26)^{0,0549} \times$$

$$\times (3,4)^{0,033}(2,25)^{0,0629} = 100;$$

$$e_{\text{наим}} = 0,3464(0,02)^{0,07}(20)^{0,4974} \times$$

$$\times (1,3)^{0,1885}(1,35)^{0,2525} = 1,3;$$

$$e_{\text{наиб}} = 0,3464(0,11)^{0,0763}(26)^{0,4974} \times$$

$$\times (3,4)^{0,1885}(2,25)^{0,2525} = 2,1.$$

Полученные данные дополнительно указывают на адекватность полученной математической модели. Во-вторых, эти зависимости позволяют графически представить рассматриваемые выходные параметры как функции пар входных параметров (при фиксированных значениях остальных). Например, поскольку δ и e в сильной степени зависят от частоты вращения ω и угла наклона α , то построим поверхности отклика $\delta = \delta(\omega, \alpha)$ и $e = e(\omega, \alpha)$ при фиксированных $P = 23 \text{ Н}$, $L = 1,8 \text{ м}$, которые изображены на рис. 3 и 4 соответственно и наглядно подтверждают выводы, сделанные выше.

Выводы

Таким образом, полученные расчетные и теоретические зависимости, описывающие соответствующие технологические процессы, не только показывают целесообразность использования разработанной

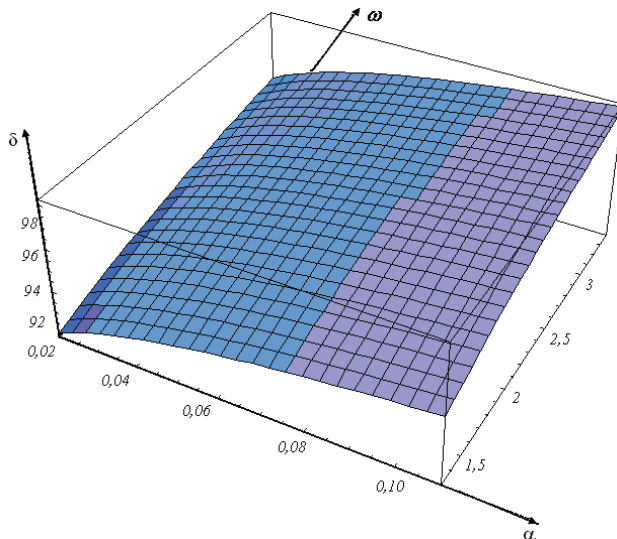


Рисунок 3. Поверхность отклика $\delta = \delta(\alpha, \omega)$ как функция угла наклона α и частоты вращения вальцов ω

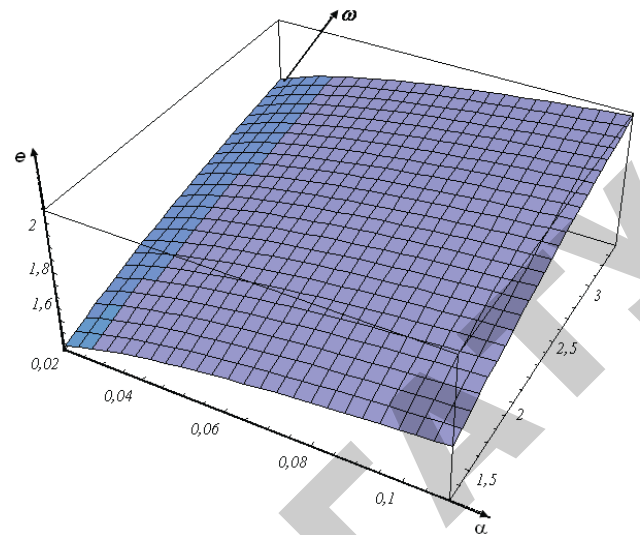


Рисунок 4. Поверхность отклика $e = e(\alpha, \omega)$ как функция угла наклона α и частоты вращения вальцов ω

конструкции машины для сухой очистки картофеля, но и позволяют уточнять конструктивные особенности и технологические режимы работы такой машины для достижения качественной очистки картофеля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мицкевич, Я. Подводные камни водных процедур для овощей / Я. Мицкевич // Белорусская нива, 2011. – 12 ноября. – С. 13.
2. Мацепуро, М.Е. Технологические основы механизации процессов обработки почв / М.Е.

Мацепуро, Н.А. Макарова // Вопросы технологии механизированного сельскохозяйственного производства. – Минск, 1963. – С. 92-131.

3. Колчин, Н. Н. Комплексы машин и оборудования для послеуборочной обработки картофеля и овощей / Н. Н. Колчин. – Мн.: Машиностроение, 1982. – 268 с.

4. Рапинчук, А.Л. Экспериментальные исследования процесса сухой очистки картофеля / А.Л. Рапинчук, А.С. Воробей, А.А. Бренч, Г.И. Белохвостов // Весці НАН Беларусі: сер. фіз.-тэх. навук, 2010 (№3). – С. 67-72.

“Агропанорама” - научно-технический журнал для работников агропромышленного комплекса. Это издание для тех, кто стремится донести результаты своих исследований до широкого круга читателей, кого интересуют новые технологии, кто обладает практическим опытом решения задач.

Журнал “Агропанорама” включен в список изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (сельскохозяйственное машиностроение и энергетика, технический сервис в АПК), экономическим (АПК) и сельскохозяйственным наукам (зоотехния).

Журнал выходит раз в два месяца, распространяется по подписке и в розницу в киоске БГАТУ. Подписной индекс в каталоге Республики Беларусь: для индивидуальных подписчиков - 74884, предприятий и организаций - 748842. Стоимость подписки на первое полугодие 2014 года: для индивидуальных подписчиков - 104850 руб., ведомственная подписка - 146808 руб.