3. Oksana Lut oboznachila prioritety razvitiya rossiyskoy selektsii na forume “Russkoe pole – 2025” [Elektronnyy resurs]. URL: https://mcx.gov.ru/press-service/news/oksana-lut-oboznachila-prioritety-razvitiya-rossiyskoy-selektsii-na-forume-russkoe-pole-2025/ (data obrashcheniya: 10.02.2026 g.).

4. Prognoz nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya otrasli rastenievodstva, vklyuchaya semenovodstvo i organicheskoe zemledelie Rossii, v period do 2030 goda / A. G. Paptsov, A. I. Altukhov, N. I. Kashevarov, P. M. Pershukevich, A. S. Denisov, E. V. Rudoy [i dr.]; Novosib. gos. agrar. un-t, Sib. feder. tsentr agrobiotekhnologiy RAN, FITs Institut tsitologii i genetiki SO RAN, FNTs VNIIESKh – Novosibirsk: Izd-vo NGAU “Zolotoy kolos”, 2019. – 100 s.

5. Goltyapin V.Ya., Mishurov N.P. Mashinno-tekhnologicheskoe obespechenie selektsii i semenovodstva zernovykh kultur: analit. obzor. – Moskva: FGBNU “Rosinformagrotekh”, 2020. – 96 s.

6. Zotikov V.I. Otechestvennaya selektsiya zernobobovykh i krupyanykh kultur // Zernobobovye i krupyanye kultury. 2020. No. 3 (35). S. 12-19. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11179.

7. Eikel, G.: Wie die Saat, so die Ernte, Profi Magazin fur Agrartechnik 11 (2000), H. 4, S. 44-49.

8. Petukhov D.A., Revenko V.Yu., Frolov S.S. Eksperimentalnaya otsenka posevnoy tekhniki dlya selektsionnykh rabot // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. – 2025. – No. 11 (341). – S. 8–12. DOI: 10.33267/2072-9642-2025-11-8-12.

✦ ✦ ✦

УДК 631.332.719
DOI: 10.53083/1996-4277-2026-265-11-74-79

В.Е. Зубков, Н.П. Семилетова, С.В. Калашников
V.E. Zubkov, N.P. Semiletova, S.V. Kalashnikov

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАШИНЫ ДЛЯ РЕЗКИ И СТЕРИЛИЗАЦИИ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ ПЕРЕД ПОСАДКОЙ

SUBSTANTIATION OF THE PARAMETERS OF A MACHINE FOR CUTTING AND STERILIZING POTATO TUBERS BEFORE PLANTING

Ключевые слова: *технологический процесс, резка, стерилизация, клубни картофеля, посадка, дезинфекция, термонож, зона нагрева, обеззараживание, производительность, барабан, теплопроводность, физическая модель.*

Рассматриваются вопросы резки и стерилизации клубней картофеля перед посадкой. Проведен обзор существующих машин для резки стерилизации клубней картофеля перед посадкой отечественных и зарубежных производителей. Предложена конструкция машины для резки и стерилизации клубней картофеля перед посадкой, которая использовалась ранее на аграрных предприятиях, эффективная в работе, простая по конструкции и обладающая низкой стоимостью, в 5-6 раз ниже стоимости лучших зарубежных образцов. В данной машине дезинфекция клубней проводилась с помощью химических растворов, что усложняет конструкцию машины и не обеспечивает 100%-ного эффекта обеззараживания порезов клубней. С целью достижения 100% в эффекте стерилизации порезов на клубнях вместо ванны с химическим раствором предлагается использовать термоножи. Термонож выполнен со встроенным в корпус ножа нагревательным элементом. Известно, что на резку, с целью дальнейшей посадки, обычно используют клубни со средним диаметром 40-80 мм. Для создания условий гарантированного контакта пореза клубня с поверхностью термоножа целесообразно зону контакта клубней с ножом увеличить в расчете на интервал средних диаметров клубней от 30 до 90 мм. Графоаналитическим способом была определена величина зоны нагрева ножа, которая входит в соприкосновение с поверхностью пореза клубня, которая равна 150 мм. Известно, что уже при температуре свыше 121°С погибают микробы, загрязняющие поверхность пореза клубня. Однако с целью одновременного обеспечения стерилизации клубней и высокой производительности машины для резки и стерилизации клубней температуру ножа следует увеличивать. Также был проведен предварительный расчет максимально возможной производительности данной машины. Построена физическая модель процесса передачи тепла от нагревательного элемента к плоскости пореза клубня.

Keywords: *technological process, cutting, sterilization, potato tubers, planting, disinfection, thermal knife, heating zone, disinfection, productivity, drum, thermal conductivity, physical model.*

The issues of cutting and sterilizing potato tubers before planting are discussed. The existing machines for cutting and sterilizing potato tubers before planting from domestic and foreign manufacturers are reviewed. We proposed a design for a machine for cutting and sterilizing potato tubers before planting which was previously used in agricultural enterprises and was efficient, simple in design, and 5-6 times lower than the cost of the best foreign designs. In this machine, the tubers were disinfected by chemical solutions which complicated the design of the machine and did not provide 100% disinfection of the cuts on the tubers. In order to achieve 100% sterilization of cuts on tubers, it is proposed to use thermal knives instead of a chemical solution bath. The thermal knife is equipped with a heating element integrated into the knife body. It is known that tubers with an average diameter of 40-80 mm are commonly used for cutting and subsequent planting. To ensure guaranteed contact between the cut tuber and the thermal knife surface, it is advisable to increase the contact area of a tuber and the knife to accommodate the range of average tuber diameters from 30 to 90 mm. Using a graph-analytical method, the size of the knife heating zone which comes into contact with the surface of the tuber cut was determined to be 150 mm. It is known that at temperatures above 121°C, bacteria that contaminate the surface of the tuber cut are killed. However, in order to simultaneously ensure the sterilization of the tubers and the high output of the tuber cutting and sterilization machine, the temperature of the knife should be increased. A preliminary calculation of the maximum possible output of this machine was also carried out. A physical model of the process of heat transfer from the heating element to the cutting plane of the tuber was constructed.

Зубков Виктор Егорович, д.т.н., профессор, зав. кафедрой технического сервиса в АПК, ФГБОУ ВО Луганский ГАУ, г. Луганск, ЛНР, Российская Федерация, e-mail: zubkov-viktor@mail.ru.

Семилетова Наталья Павловна, ст. преподаватель, ФГБОУ ВО Луганский ГАУ, г. Луганск, ЛНР, Российская Федерация, e-mail: natalya_semiletova 78@mail.ru.

Калашников Сергей Владимирович, аспирант, ФГБОУ ВО Луганский ГАУ, г. Луганск, ЛНР, Российская Федерация, e-mail: kalashnikovsergiy@gmail.com.

Zubkov Viktor Egorovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Lugansk Voroshilov State Agricultural University, Lugansk, Russian Federation, e-mail: zubkov-viktor@mail.ru.

Semiletova Natalya Pavlovna, Asst. Prof., Lugansk Voroshilov State Agricultural University, Lugansk, Russian Federation, e-mail: natalya_semiletova78@mail.ru.

Kalashnikov Sergey Vladimirovich, post-graduate student, Lugansk Voroshilov State Agricultural University, Lugansk, Russian Federation, e-mail: kalashnikovsergiy@gmail.com.

Введение

Общеизвестно, что резка клубней картофеля перед посадкой позволяет существенно сократить затраты на посадочный материал [1].

Современные технологии картофелеводства включают использование машин для резки семенного материала с функцией огневой дезинфекции [2]. Принцип работы таких устройств, представленных в США и Европе (например, Miedema PGS или разработки DUBRULLE), заключается в использовании дисковых ножей, нагретых до 350°C. Термическое воздействие в момент разрезания клубня позволяет полностью нейтрализовать возбудителей болезней, что, по оценкам экспертов, обеспечивает прирост урожая до 40% [3].

На текущий момент российский рынок полностью зависит от импортных поставок данного оборудования. Реализацией занимаются компании «Агрико-Евразия», «Колнаг» и ряд других дилеров. Основным барьером для массового внедрения этих машин является их высокая цена (1,5-3 млн руб.), что делает покупку экономически оправданной преимущественно для крупных агрохолдингов.

Нами в рамках импортозамещения, а также импортовытеснения, разрабатывается конструкция отечественной машины для резки и стерилизации клубней картофеля перед посадкой эффективной в работе, простой по конструкции и обладающей низкой стоимостью, в 5-6 раз ниже стоимости лучших зарубежных образцов.

Цель исследований – повышение эффективности подготовки клубней картофеля перед посадкой обоснованием параметров рабочего органа машины для его резки и стерилизации.

Задачи исследований:

1) обосновать геометрические параметры секции рабочего органа для резки и стерилизации клубней картофеля;

2) определить максимально возможную производительность машины для резки и стерилизации клубней картофеля;

3) предложить методику определения расхода теплоты на стерилизацию площади пореза клубней.

Объекты и методы

Создание машины для резки и стерилизации клубней картофеля ведется на базе разработанной нами ранее машины для резки и дезинфекции резанных клубней картофеля (рис. 1), которая состоит из пары сферических дисков 2, направленных выпуклостью друг к другу, дискового ножа 1, прутков 3, размещенных на сферической поверхности дисков, ванны 4 с дезинфицирующим раствором и гибкоупругим прижимом 5.

Данная машина успешно использовалась на аграрных предприятиях, возделывающих картофель. Следует отметить, что дезинфекция клубней с помощью химических растворов усложняет конструкцию машины и не обеспечивает 100%-ного эффекта обеззараживания порезов клубней [4, 5].

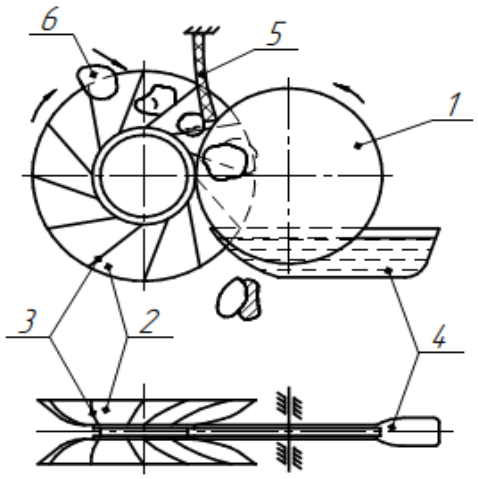

Рис. 1 – Технологическая схема секции машины для резки и дезинфекции клубней: 1 – дисковый нож, 2 – сферический диск клубнеориентирующего желоба, 3 – пруток, 4 – ванна с дезинфицирующим раствором, 5 – гибко-упругий прижим, 6 – клубни

Конструкция данной машины взята нами за основу и с целью достижения 100%-ного эффекта стерилизации порезов на клубнях вместо ванны с химическим раствором предлагается использовать термоножи. Термонож выполнен со встроенным в корпус ножа нагревательным элементом. Одним из основных параметров термоножа является величина зоны нагрева ножа, которая входит в соприкосновение с поверхностью пореза клубня. Величина этой зоны определялась нами графоаналитическим способом по следующей методике. Была построена схема секции машины с реальными геометрическими параметрами (рис. 2).

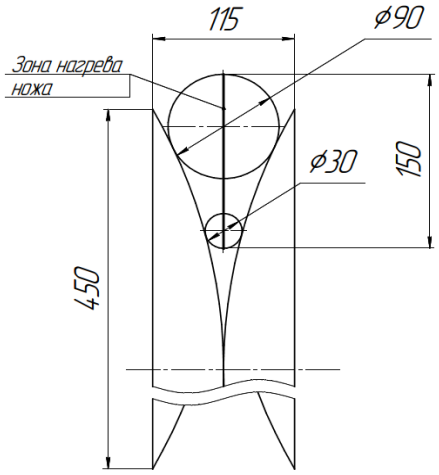

Рис. 2. Схема секции машины с реальными геометрическими параметрами

Известно, что на резку с целью дальнейшей посадки обычно используют клубни со средним диаметром 40-80 мм [6]. Для создания условий гарантированного контакта пореза клубня с поверхностью термоножа целесообразно зону контакта клубней с ножом увеличить в расчете на интервал средних диаметров клубней от 30 до 90 мм. В результате построения в масштабе схемы секции с размещенными в ней моделями клубней со средними диаметрами от 30 до 90 мм определилась величина зоны контакта ножа с порезом клубня, которая равна 150 мм. Этот параметр использован при проектировании конструкции термоножа.

Результаты исследования и их обсуждения

Процесс резки и стерилизации клубней осуществляется в секциях машины собранных во вращающийся барабан, поэтому на технологический процесс оказывает существенное влияние возникающая при ее работе центробежная сила, которая и определяет предельно возможную производительность машины [7]. Необходимо было провести предварительный расчет максимально возможной производительности данной машины. Среднестатистический диаметр клубней картофеля колеблется от 3 до 11 см. Средний диаметр клубней в этом интервале будет равен 7 см. Масса модели клубня со средним диаметром 7 см будет равна:

$$M_к = \frac{\pi d^3}{6} \cdot \rho_к = \frac{3{,}14 \cdot 7^3}{6} \cdot 1{,}1 = 197 \text{ г},$$

где $\rho_к$ – плотность клубня, $\rho_к$ = 1,1 г/см^3.

Из геометрических расчетов принимаем, что за один оборот пары дисков в секцию поступают 12 клубней массой каждый по 197 г. При подаче клубней для резки и стерилизации в междиско-

вое пространство секции под углом в 20-25º, с учетом условий исключения возможности отрыва клубней от поверхности вращающихся дисков под действием центробежной силы, предельно допустимая частота вращения барабана устройства может быть принята равной около 40 об/мин.

Масса клубней, поступающих в секцию за один оборот, будет равна:

$$M_{об.} = 197 \cdot 12 = 2{,}364 \text{ кг.}$$

За одну минуту секция машины обработает:

$$M_{мин.} = 40 \cdot 2{,}346 = 94{,}56 \text{ кг/мин.,}$$

а за 1 ч будет обработано:

$$M_{час} = 60 \cdot 94{,}56 = 5{,}7 \text{ т/ч.}$$

Это производительность одной секции, а так как машина состоит из 7 секций, то общая производительность машины будет:

$$W_м = 5{,}7 \cdot 7 = 39{,}9 \text{ т/ч.}$$

Это максимально возможная производительность машины. В действительности реальная производительность машины будет зависеть от времени стерилизации клубней, которое в свою очередь зависит от механизма передачи тепла, а также температуры термоножа. Уже при температуре свыше 121°С погибают микробы, загрязняющие поверхность пореза клубня (рис. 3). Однако с целью одновременного обеспечения стерилизации клубней и высокой производительности машины для резки и стерилизации клубней температуру ножа следует увеличивать. Соотношение рациональных параметров: времени стерилизации и производительности машины возможно определить только экспериментальным способом на разработанной нами лабораторной установке и методике исследований, о чем будет сообщено позже.

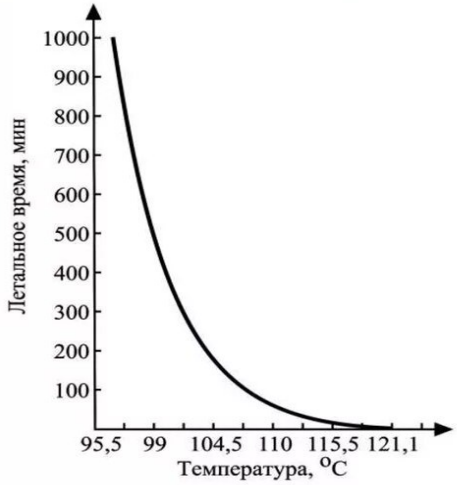

Рис. 3. Зависимость летального времени микроорганизмов от температуры стерилизации

Рассмотрим физику процесса передачи тепла от нагревательного элемента к плоскости пореза клубня, используя физическую модель процесса его передачи (рис. 4).

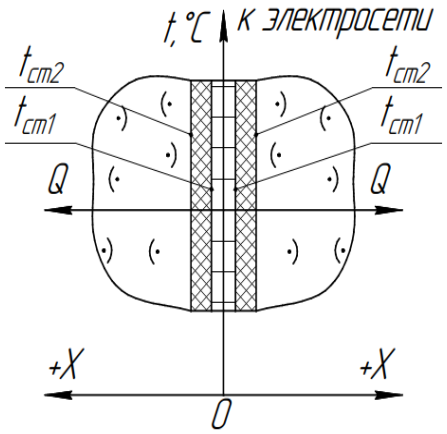

Рис. 4. Физическая модель двусторонней передачи тепла от ножа электронагревателя через плоскую стенку к плоскости пореза клубня

Модель представляет собой симметричную систему, в центре которой размещен цилиндрический нагревательный элемент, с двух сторон к которому примыкают стенки ножа. Стенки ножа, в свою очередь, соприкасаются с двумя площадями пореза клубня.

Перенос тепла в соответствии с данной физической моделью осуществляется следующим образом: от нагревательного элемента через стенки ножа к площадям порезов клубня, с помощью теплопроводности, путем соприкосновения поверхности нагрева ножа и холодных поверхностей порезов клубней. В соответствии с принятой физической моделью теплопередачи считается, что температура тела является функцией только одной координаты X и не изменяется с течением времени.

Предстоит решить задачу переноса теплоты через стенку, у которой длина и ширина велики, по сравнению с толщиной. Условием передачи теплоты является наличие разности температур в различных точках тела.

Проанализируем процесс распространения тепловой энергии посредством теплопроводности в условиях плоской перегородки. Примем во внимание, что толщина конструкции составляет δ, а показатель теплопроводности используемого материала обозначается как λ (рис. 5).

Используя закон Фурье в качестве фундамента, путем математических преобразований была выведена зависимость для вычисления

теплового потока, проходящего через площадь стенки *F* за заданный промежуток времени *т*.

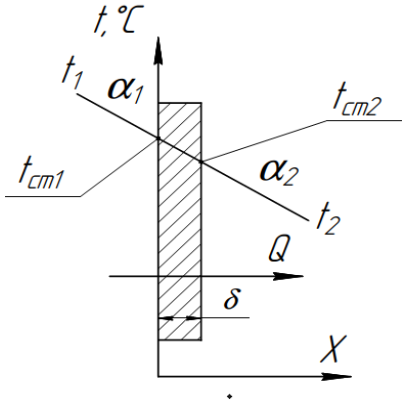

Рис. 5. Схема теплопередачи через однослойную плоскую стенку термоножа

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot F \cdot (t_{ст1} - t_{ст2}) \cdot \tau, \text{ Дж/Ккал},$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала ножа;

δ – толщина стенки термоножа;

$t_{ст1}$ – температура наружной стенки поверхности термоножа;

$t_{ст2}$ – температура внутренней поверхности стенки термоножа.

Подставляя в формулу реальные значения параметров материала и температуры стенки термоножа, получим количество теплоты, расходуемое на процесс стерилизации клубней, что позволит определить затраты энергии, расходуемой на этот процесс.

В создании машины для резки и стерилизации клубней принимает участие ООО «Колнаг» (г. Коломна Московской области) и ООО «Машстройиндустрия» (г. Луганск ЛНР), которым передаются результаты исследований с целью использования при проектировании конструкции машины и в дальнейшем для доработки опытных образцов по результатам производственных испытаний.

Выводы

1. В результате геометрического моделирования секции рабочего органа для резки и стерилизации клубней картофеля в интервале средних диаметров клубней картофеля от 30 до 90 мм величина рабочей зоны контакта ножа с порезом клубня составляет 150 мм. Этот параметр использован при проектировании конструкции термоножа.

2. Расчетным путем определена максимально возможная производительность машины для резки и стерилизации клубней картофеля, которая составляет 39,9 т/ч.

3. Предложена методика определения расхода теплоты на стерилизацию площади пореза клубней, на основе которой будут определены затраты энергии на этот процесс.

4. Для проверки теоретических предпосылок необходимо разработать экспериментальную установку и провести лабораторные испытания выбранной конструктивно-технологической схемы устройства для резки и стерилизации клубней картофеля на предмет соответствия теоретических и экспериментальных исследований.

Библиографический список

1. Семеноводство картофеля: учебное пособие / А. И. Усков, Е. В. Овэс, Л. Б. Ускова [и др.]. – Москва: ИНФРА-М, 2026. – 162 с. – Текст: непосредственный.

2. Калинин, А. Б. Мировые тенденции и современные технические системы для возделывания картофеля: учебное пособие / А. Б. Калинин, В. А. Ружьев, И. З. Теплинский. – Санкт-Петербург: Проспект науки, 2024. – 160 с. – Текст: непосредственный.

3. Технологии возделывания овощных, бахчевых культур, картофеля, пряно-ароматических и лекарственных растений: монография / А. А. Аутко, В. К. Пестис, В. В. Гракун [и др.]; под общей редакцией А. А. Аутко; Нац. акад. наук Беларуси. – Минск: Беларуская навука, 2021. – 615 с. – Текст: непосредственный.

4. Лекции по курсу «Основные процессы и аппараты химической технологии»: учебно-методическое пособие / составили: Ж. Т. Ешова, Д. Н. Акбаева. – Алматы: Қазақ университеті, 2017 – 392 с. – Текст: непосредственный.

5. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии учебник для вузов / А. Г. Касаткин. – Изд. 11-е, стер., дораб. – Москва: АльянС, 2005. – 750 с. – Текст: непосредственный.

6. Колин, А. Р. Использование частей клубня на семена / А. Р. Колин. – Текст: непосредственный // Картофель и овощи. – 1983. – № 2. – С. 8-9.

7. Зубков, В. Е. Разработка устройства для резки клубней картофеля перед посадкой: рекомендации / В. Е. Зубков. – Луганск: Элтон-2, 2012. – 16 с. – Текст: непосредственный.

8. Спиридонов, А. М. Стандартизация и подтверждение соответствия сельскохозяйственной

продукции. Стандартизация овощей и картофеля: учебное пособие / А. М. Спиридонов. – Санкт-Петербург: СПбГАУ, 2023. – 80 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Semenovodstvo kartofelya: uchebnoe posobie / A.I. Uskov, E.V. Oves, L.B. Uskova [i dr.]. – Moskva: INFRA-M, 2026. – 162 s.

2. Kalinin, A. B. Mirovye tendentsii i sovremennye tekhnicheskie sistemy dlya vozdelyvaniya kartofelya: uchebnoe posobie / A. B. Kalinin, V. A. Ruzhev, I. Z. Teplinskiy. – Sankt-Peterburg: Prospekt nauki, 2024. – 160 s.

3. Tekhnologii vozdelyvaniya ovoshchnykh, bakhchevykh kultur, kartofelya, pryano-aromaticheskikh i lekarstvennykh rasteniy: monografiya / A. A. Autko, V. K. Pestis, V. V. Grakun [i dr.]; pod obshch. red. A. A. Autko; Nats. akad. nauk Belarusi. – Minsk: Belaruskaya navuka, 2021. – 615 s.

4. Lektsii po kursu “Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii”: uchebno-metod. posobie / sostavili Zh.T. Eshova, D.N. Akbaeva. – Almaty, Kazak universitet, 2017 – 392 s.

5. Kasatkin A. G. Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii ucheb. dlya vuzov / A.G. Kasatkin. – Izd. 11-e, ster., dorab. – Moskva: AlyanS, 2005. – 750 s.

6. Kolin A.R. Ispolzovanie chastey klubnya na semena // Kartofel i ovoshchi. – 1983. – No. 2. – S. 8-9.

7. Zubkov V.E. Razrabotka ustroystva dlya rezki klubney kartofelya pered posadkoy (rekomendatsii) / V.E. Zubkov. – Lugansk: Elton-2, 2012. – 16 s.

8. Spiridonov, A. M. Standartizatsiya i podtverzhdenie sootvetstviya selskokhozyaystvennoy produktsii. Standartizatsiya ovoshchey i kartofelya: uchebnoe posobie / A. M. Spiridonov. – Sankt-Peterburg: SPbGAU, 2023. – 80 s.

✦ ✦ ✦

УДК 631.3:621.929.7
DOI: 10.53083/1996-4277-2026-265-11-79-85

И.Я. Федоренко, А.М. Левин, А.В. Пиянзин
I.Ya. Fedorenko, A.M. Levin

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ЗАДАЧАХ ВИБРОПЕРЕМЕЩЕНИЯ СЫПУЧИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

COMPUTATIONAL EXPERIMENT IN THE PROBLEMS OF VIBRATORY DISPLACEMENT OF BULK AGRICULTURAL MATERIALS

Ключевые слова: *вибрация, модель в виде материальной частицы, обыкновенные дифференциальные уравнения (ОДУ), численное решение ОДУ на компьютере, методы решения.*

Рассматриваются методы численного моделирования (численные методы, компьютерное моделирование) с использованием Mathcad для анализа взаимодействия частицы с шероховатой поверхностью. Основное внимание уделяется характеристикам вибрации (частота, амплитуда), а также влиянию шероховатости поверхности на динамику перемещения (параметры шероховатости, коэффициенты трения). Результаты показывают, как изменение этих параметров влияет на стабильность и скорость перемещения частицы, что может быть полезно для оптимизации процессов в различных инженерных приложениях. Показано, что динамика плоской частицы на вибрирующей шероховатой поверхности определяется сложным взаимодействием сил инерции, тяжести, трения и нормальной реакции, а её анализ требует учёта множества параметров и часто сводится к численному моделированию. Описаны алгоритмы и комплекс программ для математического моделирования в системах компьютерной математики нелинейных ОДУ. Для вычислительного эксперимента использовали план Плакетта-Бермана для 3 факторов. План содержит 15 опытов и пригоден как для реальных, так и вычислительных экспериментов. В процессе нашего вычислительного эксперимента факторы изменяли на уровнях: A = 0,001; 0,002 и 0,003 м; ω = 100, 200 и 300 $с^{-1}$; α = 0,08; 0,18 и 0,28 радиан. Эти значения вносили, в соотвествии с планом эксперимента, в компьютерную программу. Каждый такой прогон давал определенное значение средней скорости виброперемещения V. Для получения коэффициентов уравнения регрессии воспользовались подпрограммой *polyfitc*, имеющейся в Mathcad. Регрессионный анализ самого уравнения, проведенный при помощи подпрограммы *polyfitstat Mathcad,* показал, что коэффициент конкордации $R2$ составил 0,973. Это указывает на адекватное описа-