

УДК 631.31+631.4+631.15:65.011.4

## **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОВРЕЖДЕНИЙ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ СПЕКТРОВ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ЛИДАРОМ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ**

**Сибирёв А.В., доктор технических наук, старший научный сотрудник,**

**sibirev2011@yandex.ru**

**Аксенов А.Г., доктор технических наук, ведущий научный сотрудник,**

**1053vim@mail.ru**

**Мосяков М.А., кандидат технических наук, старший научный сотрудник, maks.mosyakov@yandex.ru**

**Сазонов Н.В., младший научный сотрудник, sazopov\_nikolay@mail.ru  
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ**

**Ключевые слова:** система, оптическая, идентификация, растения, биологический объект, картофель, методика, флуоресценция

Эффективность картофелеводства в значительной степени зависит от производства качественных семян, удовлетворяющих требованиям региона выращивания. К основной составляющей этого производства относится селекция, создающая генетическую основу семян. Различные сорта картофеля, кроме продолжительности вегетационного периода и урожайности, обладают такими наследственными признаками, как выход крахмала, устойчивость к болезням и вредителям, неблагоприятным факторам среды и многим другим. В связи с комплексным внедрением машинных технологий по возделыванию, уборке и послеуборочной доработке картофеля и длительностью хранения клубней до их реализации или посадки, к картофелю растению предъявляются дополнительные наследственные требования (генетические признаки). Возрастающий удельный вес механических воздействий на клубни при возделывании, уборке и закладке на хранение - определил необходимость вести селекцию на повышенную выносливость картофеля к механическим нагрузкам.

**Введение.** Все разнообразие существующих методов оценки небольших партий клубней направлено в основном на выявление отдельных факторов устойчивости, к тому же, реакция сортов и гибридов меняется в зависимости от метода испытания их на устойчивость к механическому

воздействию. А это означает, что испытания необходимо проводить методами, наиболее близко воспроизводящими условия, имеющие место при обычной комбайновой уборке [1-7].

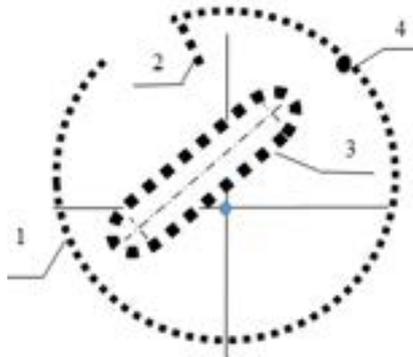
Разработка методики и устройств, удовлетворяющих выше перечисленным условиям, позволит вести направленную селекцию сортов, пригодных к механизированной уборке.

**Материалы и методы.** В исследовании по определению спектров флуоресценции были использованы 3 сорта картофеля (*S. tuberosum* L.) – сорта «Жуковский», «Удача» и «Кумач» из коллекции ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр имени А.Г. Лорха» (Москва).

Все сорта, анализируемые в ходе эксперимента, были выращены в полевых условиях (в пределах одной локации) с июня по начало сентября 2020 г. Все образцы были посажены одновременно или с разницей в один день и выкопаны таким же образом.

Климатические, агрометеорологические условия, почва участка вегетации, а также характеристика и мероприятия по посадке, обработке, уборке и хранению исследуемых образцов.

Макетный образец устройства для оценки пригодности сортов и гибридов к механизированной уборке, конструктивно-технологическая схема и общий вид которого представлены на рисунках 1 и 2 соответственно.



**Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема устройства для оценки пригодности сортов и гибридов к механизированной уборке:**

*1 – прутковый барабан; 2 – лопасть; 3 – пальчиковая горка; 4 – встряхиватель*



**Рисунок 2 – Общий вид макетного образца устройства для оценки пригодности сортов и гибридов к механизированной уборке:**

*1 – площадка опорная; 2 – шкаф управления; 3 – барабан; 4 – персональный компьютер;*

*5 – регистратор данных; 6 – пальчиковая горка*

Устройство состоит из барабана с обрешеченными прутками 1, с лопастью 2 и открытым за ней окном для загрузки и выгрузки партии испытуемых клубней. Внутри барабана над его осью установлена пальчиковая горка 3, позволяющая менять угол наклона. По торцам барабана установлены неподвижные стенки, предназначенные для удерживания клубней от выкатывания за пределы барабана и имитации боковин элеватора и боковин других рабочих органов картофелеуборочных комбайнов.

Работает определитель повреждаемости клубней следующим образом.

В прутковый барабан 1 через окно помещают порцию испытуемых клубней картофеля. При вращении барабана по часовой стрелке лопасть 2 захватывает клубни и поднимает их на заданную высоту, которая устанавливается за счет изменения угла наклона лопасти. При дальнейшем вращении барабана клубни падают на пальчиковую горку 3, имитируя перепады и перемещение клубней по ежным транспортерам комбайна.

С пальчиковой горки 3 клубни скатываются на обрешеченные прутки барабана (имитация очередного перепада) по которым они перекатываются до возврата на лопасть 2, имитируя при этом элеватор картофелеуборочного комбайна.

При перекатывании по внутренней поверхности барабана клубни натываются на пруток 4, имитируя при этом встряхиватель элеватора. Неподвижные боковины по торцам барабана удерживают клубни от выкатывания за пределы барабана и пальчиковой горки, имитируя при этом боковины элеватора и ежных транспортеров картофелеуборочных машин.

При отсчете заданного количества циклов барабан реверсируется и клубни высыпаются через окно в приемную тару, движение барабана автоматически выключается.

Расчетное количество циклов определяется исходя из соответствия числа перепадов и пройденного пути клубнями картофеля по элеватору картофелеуборочной машины и имитатора.

Экспериментально количество циклов для каждого вида картофелеуборочных машин уточняется методом тарировки при уборке картофеля в поле.

Высота перепадов на имитаторе лимитируется конструктивными размерами барабана и должна соответствовать перепадам на картофелеуборочных машинах. Более тонкая настройка имитатора повреждений под конкретную уборочную машину достигается изменением угла поворота лопасти 2 и расположением пальчиковой горки 3 имитатора.

Установлено, что удельный вес отдельных групп около 70 % приходится на внутренние повреждения (потемнение мякоти), возникающие при ударных нагрузках на сепарирующих рабочих органах и перепадах между ними.

С целью определения места и регистрации величины наибольшего силового воздействия макетного образца устройства для оценки пригодности сортов и гибридов к механизированной уборке, а также рекомендаций в последующих изменениях в конструктивно-технологических параметрах машин для сортирования картофеля были проведены экспериментальные исследования с использованием программного инструмента «Электронный картофель Tuber Log» в производственных условиях ФНАЦ ВИМ.

Программный инструмент «Электронный картофель Tuber Log» (рисунок 3) включает в себя: регистратор данных 1, выполненный по форме, размеру и плотности в соответствии со стандартным клубнем картофеля, персональный 2 или планшетный компьютер 3, с установленным программным обеспечением для обработки зарегистрированных данных повреждений корнеплодов и последующего его анализа, а также вспомогательная аппаратура 4.



**Рисунок 3 – Общий вид программного инструмента «Электронный картофель Tuber Log»:** 1 – регистратор данных; 2 – персональный компьютер; 3 – планшетный компьютер; 4 – вспомогательная аппаратура

Экспериментальные исследования по оценке силового воздействия на клубни картофеля проводились на макетном образце устройства для оценки пригодности сортов и гибридов к механизированной уборке, конструктивное исполнение и принцип работы которого разработаны в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Общий вид лабораторной установки по оценке силового воздействия макетного образца устройства для оценки пригодности сортов и гибридов к механизированной уборке:** 1 – площадка опорная; 2 – шкаф управления; 3 – барабан; 4 – персональный компьютер;

*5 – регистратор данных; 6 – пальчиковая горка*

Электронный картофель позволяет фиксировать величину приобретенного ускорения, а также импульс ударной силы от его взаимодействия с рабочими элементами лабораторной установки.

Исследования по определению мест повреждений на макетном образце устройства проводились при различных значениях частоты вращения  $n_{EL}$  сепарирующего барабана и поступательной скорости  $V_{EL}$  движения пальчиковой горки.

Методика проведения экспериментальных исследований заключается в следующем. Устанавливали оптимальные значения частоты вращения  $n_{EL}$  сепарирующего барабана и поступательной скорости  $V_{EL}$  движения пальчиковой горки.

Далее производилось включение привода барабана устройства для оценки пригодности сортов к механизированной уборке от шкафа управления 2. При установившемся режиме движения рабочих поверхностей устройства для оценки пригодности сортов к механизированной уборке 1 подавался электронный картофель 2.

После прохождения электронным картофелем 3 сортирующей поверхности производилось отключение видеорегистратора, шкафа управления 2, изменялись исследуемые факторы и эксперимент повторялся в соответствии с выбранным планом проведения исследований. Измерение исследуемого параметра – силовое воздействие на клубень картофеля проводили в трехкратной повторности, после чего для оценки вариационного ряда пользовались средними величинами массовых измерений.

К механическим повреждениям клубней относятся:

- с содранной кожурой, от 1/4 до 1/2 поверхности;
- с содранной кожурой более 1/2 поверхности;
- с вырванной мякотью глубиной более 5 мм;
- с трещинами длиной более 20 мм;
- с разрезами и подрезами;
- раздавленные.

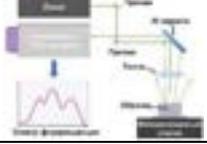
Результаты исследований записывались в журнал наблюдений.

Повторность проведения опытов при исследовании влияния технологических параметров роликовой сортирующей поверхности на величину силового воздействия сортирующего материала является четырехкратной.

Для определения спектров флуоресценции при различных длинах волн, режимах генерации клубней с механическими

повреждениями, а также без повреждений использовались лазерные источники и спектрометры, представленные в таблице 1.

**Таблица 1 – Схемы экспериментов, лазерные источники и спектрометры**

Эксперимент	Серия А	Серия В
Источник	Азотный импульсный лазер АИЛ-3	Импульсный твердотельный лазер Nd:YLiF <sub>4</sub> с диодной накачкой (Laser Compact, DTL-319QT)
Схема установки		
Режим генерации	Импульсный	Импульсный
$\lambda$ , нм	307	527
Средняя мощность, мВт	3	3
Энергия импульса излучения, мкДж	30	200
Частота, Гц	100	1000
Импульс, нс	5	5
Спектрометр	AvaSpec-2048	Spectra Physics, MS127i

Для регистрации спектров флуоресценции был использован компактный лидар комбинационного рассеяния, конструктивно-технологическая схема, которого представлена на рисунке 5.

Лидар основан на импульсном твердотельном лазере Nd: YLiF<sub>4</sub> с диодной накачкой (Laser Compact, DTL-319QT: 527 нм, 5 нс, 1 кГц, 200 мкДж/имп).

Принцип действия экспериментальной установки для регистрации спектров флуоресценции на основе лидара комбинационного рассеяния заключается в следующем.

Лазерный пучок с помощью двух поворотных призм направляется на исследуемый объект. Рассеянное от объекта излучение собирают с помощью кварцевой линзы и фокусируют на входную щель спектрографа.



**Рисунок 5 – Конструктивно-технологическая схема экспериментальной установки для регистрации спектров флуоресценции на основе лидара комбинационного рассеяния**

Система регистрации сигналов состоит из компактного спектрографа (Spectra Physics, MS127i), оборудованного ПЗС-камерой со стробируемым усилителем яркости (Andor iStar).

Для увеличения соотношения сигнал-шум была использована дифракционная решётка с малой дисперсией (400 штрихов/мм) и входная щель шириной 250 мкм. Во избежание повреждения ПЗС-матрицы рассеянным лазерным излучением при регистрации сигналов был использован полосовой светофильтр ОС-13.



**Рисунок 6 – Общий вид экспериментальной установки для регистрации спектров флуоресценции на основе лидара комбинационного рассеяния**

Методика получения спектральных изображений повреждений биологических объектов, представленных клубнями картофеля различных сортов определяется этапами от начала вегетации исследуемых образцов, включая процессы уборки и хранения до воздействия лидара комбинационного рассеяния и заключается в следующем.

Лидар был установлена на штативе над столом, на расстоянии 15-20 см от образца, расположенного на белом листе бумаги. Образцы освещались тремя галогенными лампами: две мощностью 500 Вт, одна – 700 Вт, как это рекомендовано в инструкции к камере. Перед съемкой проводилась калибровка лидара с помощью калибровочной панели, после этого при получении серий снимков панель удаляли из кадра.

Для проведения съемки посредством лидара комбинационного рассеяния использовали срезы клубней. Выполняли поперечные разрезы клубней по центру с помощью ножа на две приблизительно равные доли, от одной из них проводился срез, максимально однородный по толщине в различных частях среза. Все срезы имели толщину в пределах 2-3 см. В случаях невозможности выполнения поперечного среза по центру клубня (выявляемые дефекты только при разрезании клубня, например, такие, как результат поражения различными инфекциями) делали продольный срез по центру доли клубня, полученной при поперечном разрезе. Срезы в пределах изучаемого сорта выполняли непосредственно перед съемкой. Методы обработки изображений можно подразделить на два класса: пространственные (выполняющиеся непосредственно над матрицей изображения) и частотные. При вводе изображений в ЭВМ происходит преобразование непрерывного изображения в дискретную форму. Таким образом, в процессе дальнейшей обработки будут использоваться только значения сигнала (изображения), зафиксированные в определенных точках [4]. Обработку полученных спектральных изображений осуществляли оконным методом, т.е. последовательно обрабатывались не все изображения за один этап, а только определенная его часть – «окно», после обработки координаты которого, на исходном изображении изменяются по определенным алгоритмам, и производится аналогичная обработка изображения следующего окна. Таким образом, удастся значительно снизить затраты памяти и времени обработки на ЭВМ. Эти действия должны быть произведены на первом этапе - этапе предварительной обработки [4]. В опытно-экспериментальной программе обрабатывалось монохромное изображение размером 128×128 точек. Выделение областей срезов клубней и плодов яблок осуществляли на основе анализа интенсивности сигнала по различным линиям спектра (белый фон имел

практически одинаковую интенсивность отражения по всем линиям спектра).

Для исследования были взяты от трех до пяти гиперспектральных изображений здоровых и поврежденных плодов яблок и клубней картофеля.

При получении спектральных кривых проводили сегментацию изображений и использовали средние значения спектральных яркостей выделенных сегментов по нескольким изображениям.

Спектральные изображения различных видов повреждений клубней картофеля немытого картофеля обоих сортов зарегистрировали спектры флуоресценции, представленные на рисунке 4.68.

**Результаты исследования.** Разработана методика получения и обработки спектральных изображений различных видов повреждений плодов и трех сортов картофеля – «Жуковский», «Удача» и «Кумач» из коллекции ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр имени А.Г. Лорха».

Для регистрации спектров флуоресценции разработан и представлен компактный лидар комбинационного рассеяния, принцип работы которого основан на импульсном твердотельном лазере Nd: YLiF<sub>4</sub> с диодной накачкой (Laser Compact, DTL-319QT: 527 нм, 5 нс, 1 кГц, 200 мкДж/имп).

Определены спектральные и гиперрастровые признаки поврежденности тканей плодов яблок и картофеля, характерные для методов дистанционного оптического мониторинга с выделением областей срезов клубней и плодов яблок на основе анализа интенсивности сигнала по различным линиям спектра (белый фон имел практически одинаковую интенсивность отражения по всем линиям спектра).

**Выводы.** Разработана методика обработки спектральных изображений различных видов повреждений плодов яблок и клубней картофеля с определением существенных различий в интенсивности спектров отражения различных сортов: 420-570 и 860-980 нм и выделением кластеров идентичных изображений сортов исследуемых биологических объектов клубней картофеля.

### Библиографический список

1. Ya.P. Lobachevsky, P.A. Emelyanov, A.G. Aksenov, A.V. Sibirev. *Onion production machine technology*: Edited by: 2016. – 168 pp. – Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Agroengineering Center VIM.

2. Kurdyumov V.I., Zykin E.S., Eroshkin S.A., Khaibullina L.N. (2017), Theoretical justification of the diameter of the flat disk of the work tool of inter-row cultivator, *Herald of NGIEU*, Issue number 1: 54 – 60.

3. Kurdyumov V.I., Zykin E.S., Lazutkina S.A. (2016), Justification of the distance between flat disks of inter-row cultivator, *Herald of Ulyanovsk State Agricultural Academy*, Issue number 3: 174 – 178.

4. V.A. Khvostov, E.S. Reingart. *Root crop and onion harvesters (theory, design, calculations)*: Edited by: 1995. – 391 pp. – Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Agroengineering Center VIM.

5. Sibirev A.V., Emelyanov P.A., Aksenov A.G. (2017), Experimental laboratory studies of cylindrical soil impurity sifter during the separation process, *Herald of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. Issue number 2 (24): 33 – 36.

6. D.A. Negrov, E.N. Eremin, A.A. Nokov, L.A. Shestel. *Ultrasonic oscillatory systems used in the synthesis of polymer composite materials*: Edited by: 2012. – 128 pp. – Om STU, Russia;

7. Li S.T, Chen X.B, Chen W, Zhu S.P, Li Y.W, Yang L. (2018), Soil-cutting simulation and parameter optimization of handheld tiller's rotary blade by Smoothed Particle Hydrodynamics modeling and Taguchi method. *Journal of Cleaner Production*, Issue number 179: 55–61.

8. Sun D.X, Zhang A.M, Gong J.X. (2016), Design and experiment on 1SZL-250A type subsoiling rotary tillage fertilizer combined soil working machine, *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, Issue number 37(4): 1 – 6.

9. Sojka R.E, Horne D.J, Ross C.W, Baker C.J. (1997), Subsoiling and surface tillage effects on soil physical properties and forage oat stand and yield, *Soil and Tillage Research*, Issue number 40 (3-4): 25 – 144.

10. Nappe Mordi N. Al-Dosary (2016), Potato harvester performance on tubers damage at the eastern of Saudi Arabia, *CIGR Journal*, Issue number 18(2): 32 – 42.

11. Lü J.Q, Tian Z.E, Yang Y, Shang Q.Q, Wu J.E. (2015), Design and experimental analysis of 4U2A type double-row potato digger, *Transactions of the CSAE*, Issue number 31(6): 17–24.

12. Lü J.Q, Shang Q.Q, Yang Y, Li Z.H, Li J.C, Liu Z.Y. (2016), Design optimization and experiment on potato haulm cutter, *Transactions of the CSAM*, Issue number 47(5): 106 – 114.

13. Lü J.Q, Sun H, Dui H, Peng M.M, Yu J.Y. (2017), Design and experiment on conveyor separation device of potato digger under heavy soil condition, *Transactions of the CSAM*, Issue number 48(11): 146 – 155.

**METHOD FOR ASSESSING POTATO TUBER DAMAGE DURING  
REGISTRATION OF FLUORESCENCE SPECTRA BY A RAMAN SCATTERING  
LIDAR**

**Sibirev A.V. Aksenov A.G., Mosyakov M.A., Sazonov N.V.**

**Keywords:** *system, optical, identification, plants, biological object, potato, technique, fluorescence*

*The efficiency of potato growing depends to a large extent on the production of quality seeds that meet the requirements of the growing region. The main component of this production is selection, which creates the genetic basis of seeds. Different varieties of potatoes, in addition to the length of the growing season and yield, have such hereditary traits as starch yield, resistance to diseases and pests, adverse environmental factors, and many others. In connection with the complex introduction of machine technologies for the cultivation, harvesting and post-harvest processing of potatoes and the duration of storage of tubers before their sale or planting, additional hereditary requirements (genetic traits) are imposed on the potato plant. The increasing proportion of mechanical impacts on tubers during cultivation, harvesting and storage determined the need to conduct breeding for increased potato endurance to mechanical stress.*