

Тип статьи: научная
УДК 631.365.34
DOI: 10.35887/2305-2538-2024-2-106-112

ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОРНЕПЛОДОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ПРИ СОРТИРОВКЕ ПЕРЕД УКЛАДКОЙ НА ХРАНЕНИЕ

Данила Александрович Николукин¹, Владимир Евгеньевич Петерс²,
Михаил Александрович Попов³, Андрей Владиленович Крищенко⁴

^{1,2} Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация
^{1,2,3,4} Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Российская Федерация

¹JeyViJey@mail.ru, ¹<https://orcid.org/0009-0008-4860-677X>

²<https://orcid.org/0009-0000-1066-6752>

Автор ответственный за переписку: Данила Алексеевич Николукин, JeyViJey@mail.ru
Corresponding author: Danila Nikoluyukin, JeyViJey@mail.ru

Реферат. Одной из проблем сахарной отрасли являются высокие потери качества корнеплодов сахарной свёклы в период хранения. Для увеличения сохранности создаются методы долгосрочного хранения сырья. Разработка системы технического зрения направлена на обеспечение большей сохранности сырья в период уборки и хранения. В работе обосновано применение методов долгосрочного хранения сахарной свёклы сроком более 2 месяцев. Установлено, что маленькие корнеплоды сильнее подвержены перепадам температур и относительной влажности окружающей среды, что приводит к изменению парциального давления водяных паров между поверхностью сахарной свёклы и окружающим её воздухом. В процессе хранения в насыпи сахарной свёклы относительная влажность воздуха достигает от 90 до 95% за счет выноса влаги с поверхности корнеплодов, что является источником потерь свекломассы. Определены критерии крупности корнеплодов сахарной свёклы. Показана необходимость создания метода сортировки грузовых автомашин на приёмном пункте сахарных заводов. Выявлено, что при определении требований к сахарной свекле, поступающей на хранение, необходимо учитывать помимо физико-химических показателей также значение параметра удельной поверхности корнеплода. Поэтому, рекомендуется отправлять в кагаты крупные корнеплоды, массой более 570 г. Сформулирована цель статьи, которая заключается в разработке программно-алгоритмического обеспечения для определения параметров корнеплодов сахарной свёклы при сортировке грузовых автомашин. Описан процесс распределения грузовых автомашин на приёмном пункте сахарных заводов человеком в настоящее время. Представлена и описана блок-схема алгоритма работы программы интеллектуальной системы технического зрения. Описаны особенности созданного программного обеспечения такие, как работа с датчиками, обработка программных или аппаратных ошибок. По результатам исследования разработан алгоритм для работы программы и программное обеспечение интеллектуальной системы технического зрения для определения параметров корнеплодов сахарной свёклы [1].

Ключевые слова: сахарная свекла, хранение, размер корнеплода сахарной свёклы, машинное зрение, кагат.

SOFTWARE AND ALGORITHMIC SUPPORT OF AN INTELLIGENT VISION SYSTEM FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF SUGAR BEET ROOT CROPS DURING SORTING BEFORE STORAGE

Danila Nikoluyukin¹, Vladimir Peters², Mikhail Popov³, Andrey Kryshchenko⁴

^{1,2} Tambov State Technical University, Tambov, Russia

^{1,2,3,4} *Scientific Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in
Agriculture, Tambov, Russia*

¹JeyViJey@mail.ru, ¹<https://orcid.org/0009-0008-4860-677X>

²<https://orcid.org/0009-0000-1066-6752>

Abstract. *The application of methods of long-term storage of sugar beet for a period of more than 2 months is justified. It has been found that small root crops are more susceptible to temperature fluctuations and relative humidity of the environment, which leads to a change in the partial pressure of water vapor between the surface of sugar beet and the surrounding air. During storage in a sugar beet mound, the relative humidity reaches from 90 to 95% due to the removal of moisture from the surface of root crops, which is a source of beet mass losses. The criteria for the size of sugar beet root crops have been determined. The necessity of creating a method for sorting trucks at the receiving point of sugar factories is shown. It was revealed that when determining the requirements for sugar beet entering storage, it is necessary to take into account, in addition to physical and chemical parameters, the value of the specific surface area of the root crop. Therefore, it is recommended to send large root crops weighing more than 570 g to kagats. The purpose of the article is formulated, which is to develop software and algorithmic support for determining the parameters of sugar beet root crops when sorting trucks. The process of distribution of trucks at the receiving point of sugar factories by man at the present time is described. A block diagram of the algorithm of the intelligent vision system program is presented and described. The features of the created software are described, such as working with sensors, processing software or hardware errors. According to the results of the study, an algorithm for the operation of the program and software of an intelligent vision system for determining the parameters of sugar beet root crops have been developed [1].*

Keywords: *sugar beet, storage, sugar beet root crop size, machine vision, kagat.*

Для цитирования: Николюкин Д.А., Петерс В.Е., Попов М.А., Крищенко А.В. Программно-алгоритмическое обеспечение интеллектуальной системы технического зрения для определения параметров корнеплодов сахарной свеклы при сортировке перед укладкой на хранение // Наука в Центральной России Science in the Central Russia. 2024. Т. 68, № 2. С. 106-112. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-2-106-112>.

For citation: Nikolyukin D., Peters V., Popov M., Kryshchenko A. Software and algorithmic support of an intelligent vision system for determining the parameters of sugar beet root crops during sorting before storage. *Nauka v central'noj Rossii = Science in the Central Russia*: 2024; 68(2): 106-112. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-2-106-112>.

Введение. Актуальным направлением исследований, направленных на сохранность корнеплодов является совершенствование их вывоза во время уборки сахарной свеклы в условиях ограниченного приёма сахарными заводами. Ограничение приёма возникает по причине добавления квот и небольшой производительности заводов, а также недостаточной площади свеклопунктов для хранения поступивших партий сырья. Эти факторы принуждают свеклосеющие хозяйства сохранять высокий темп уборки путём организации хранения корнеплодов сахарной свёклы в полевых кагатах на полях возделывания. Это приводит к значительным потерям свекломассы. Храня сахарную свеклу в полевых кагатах, потери достигают 16% за 30 суток хранения, при этом качество хранения сильно зависит от физических показателей сахарной свёклы. Период уборки сахарной свеклы начинается с сентября и заканчивается к середине ноября. Хранится сахарная свекла в полевых кагатах до 8 недель в зависимости от способа её уборки. В начале уборки средняя продолжительность хранения в полевых кагатах доходит до 2 недель. С ноября срок хранения корнеплодов в полевых кагатах увеличивается до 8 недель, что позволяет обеспечить сахарный завод свеклосырьем вплоть до января. В настоящее время, в полевых кагатах хранится до 70% свеклосырья от общего объема переработки.

Также, снижается интенсивность перевозки свеклосырья с полей возделывания из-за неблагоприятных погодных условий, таких как обильные осадки и распутица. Погодные условия привели к снижению качества сахарной свеклы за счет развития грибковых и бактериальных

инфекций корнеплодов, что привело повышению потерь в полевых кагатах. Помимо этого, на сохранность корнеплодов при хранении существенно влияют её размеры, загрязненность, наличие зеленой массы и засоренность насыпи. Определение физических параметров корнеплодов на приёмном пункте сахарного завода позволяет корректировать направление их перевозки на хранение или сразу на переработку [2].

В результате исследования выявлено, что чем выше масса корнеплода, тем меньше его удельная поверхность. Удельной поверхностью можно назвать соотношение общей площади поверхности к массе корнеплода сахарной свёклы. На рисунке 1 показана зависимость удельной поверхности от массы корнеплодов сахарной свёклы. Из графика видно, что чем больше масса корнеплода, тем меньше его удельная поверхность.

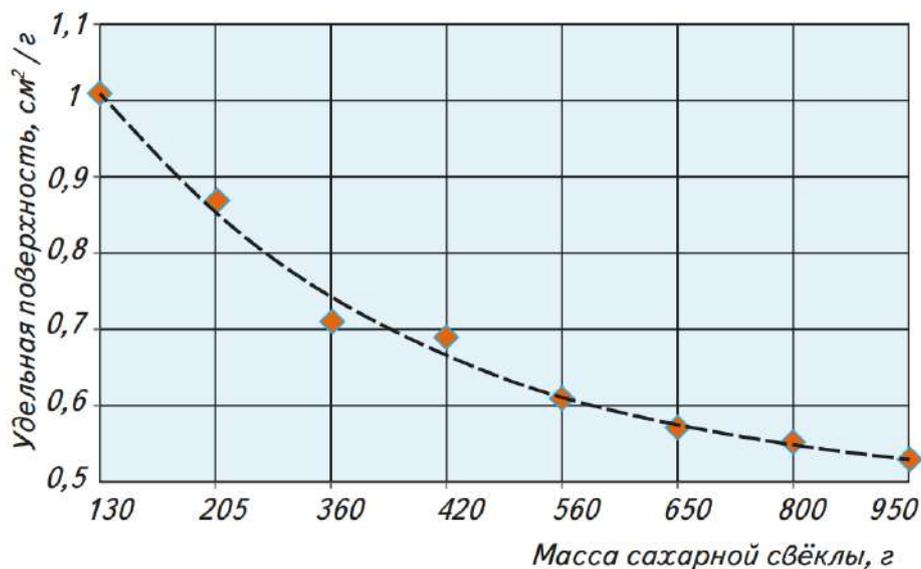


Рисунок 1 – Зависимость удельной поверхности от массы корнеплодов сахарной свёклы

Крупные корнеплоды сахарной свёклы имеют более высокую инерционность, то есть они менее подвержены влиянию факторов окружающей среды, которые приводят к изменению температуры. Наибольшее значение удельной поверхности (1,01 см² / г) у свёклы массой 130 г. Значимое снижение удельной поверхности до 0,7 см² / г происходит при увеличении массы корнеплода до 360 г. При достижении массы 560 г удельная поверхность снижается до 0,6 см² / г, а при дальнейшем увеличении массы корнеплода удельная поверхность практически не меняется. Для определения $F_{уд}$ удельной поверхности в зависимости от массы корнеплода сахарной свёклы предлагается следующее уравнение:

$$F_{уд} = 0,808 \cdot e^{-0,004 \cdot M_{св}} + 0,509,$$

где $M_{св}$ – масса корнеплода сахарной свёклы.

Определяя критерий крупности корнеплодов сахарной свёклы, предназначенных для хранения, предлагается брать в учёт значение удельной поверхности корнеплодов сахарной свёклы. Исходя из графика на рисунке 1, к мелкой свёкле предлагается относить корнеплоды массой менее 360 г, к свёкле средней крупности – 360–560 г, а к крупной от 560 г. [3].

Важной является задача создания метода сортировки при формировании кагатов сахарной свёклы для их хранения на срок двух и более месяцев. В настоящее время партии сырья сортирует человек и делает это с погрешностью из-за таких человеческих факторов как усталость,

невнимательность или торопливость. Точность сортировки человеком по оценочным данным составляет 50-60%, что приводит к слишком высокой вероятности отправки некачественного для длительного хранения сырья. Применение интеллектуальной системы технического зрения дает возможность идентифицировать партии сахарной свёклы на партии с крупной сахарной свёклой, и на партии с мелкой сахарной свёклой. Это даст возможность отправлять на долгосрочное хранение сначала партии с крупным сырьём, а с мелким отправлять сразу на переработку. Таким образом, снижаются риски потери массы и качества сахарной свёклы.

Материалы и методы. Для более точного понимания поставленной задачи рассмотрим процесс распределения сахарной свёклы на одном из заводов Курской области. Партии сырья поступают на свёклоперерабатывающий завод с полей в большегрузных автомашинах. На территории завода автомашина доставляет сырьё на приёмный пункт, где заводской персонал производит зрительную оценку качества прибывшей сахарной свёклы, а именно: её загрязнённость, засоренность, крупность. После зрительного анализа автомашину отправляют на выгрузку сырья либо в оперативные кагаты, либо в кагаты длительного вентилируемого хранения (ДВХ). Оперативные кагаты используются для своевременной сырьевой подпитки завода, в то время как ДВХ кагаты используют в качестве резерва и должны состоять преимущественно из крупной сахарной свёклы. Попадание в ДВХ кагаты партий мелкой сахарной свёклы приводит к значительному сокращению хранения с полутора месяцев до двух недель. Это связано с образованием участков повышенной плотности, которые плохо вентилируются. Из-за этого в участках скопления мелкой сахарной свёклы образуются зоны самосогревания, что приводит к повышению влажности этих зон и кагата в целом. Используя интеллектуальную систему технического зрения, можно исключить влияние человеческих факторов, таких как усталость, торопливость, невнимательность на анализ сырья и тем самым улучшить процесс распределения сырья по типам кагатов. Помимо увеличения точности, возрастёт и скорость анализа кузова. Если человек справляется со зрительным анализом в течение 2-3 минут, то система выполняет весь цикл менее, чем за минуту.

Результаты и их обсуждение. Система технического зрения работает в автономном режиме и имеет возможность самостоятельного исправления программных ошибок без участия специалиста. При возникновении программных ошибок система сбрасывает все подключенные порты и перезагружает микрокомпьютер. В системе также имеется удалённый доступ для возможности подключаться к системе на большом расстоянии, это исключит необходимость постоянного физического присутствия специалиста. Предусмотрен переход системы и в ручной режим, в котором специалист может менять или редактировать блоки функций непосредственно на самом свеклопункте. Все части алгоритма выполнены в виде отдельных функций, поэтому при необходимости их замена не составит большого труда. Не нужно менять весь алгоритм и его программную часть, достаточно лишь заменить одну функцию на другую. Программное обеспечение системы написано на языке программирования Python версии 3.7, а автоматический запуск программ выполнен с помощью консоли Linux Debian и bash-скриптов [4].

На рисунке 2 представлена блок-схема алгоритма работы программы сортировки грузовиков, прибывающих на приёмный пункт сахарного завода.

Алгоритм работает в автономном режиме, при включении контроллера. Через снятие показаний с дальномера выполнен поиск большегрузной автомашины. Поиск работает непрерывно до момента обнаружения движения грузовика. Причём функция учитывает появление в рабочей зоне легкового автомобиля или человека и не реагирует на них, а срабатывает только на грузовые автомашины.

Затем отслеживается окончательная остановка грузовика. Окончательная остановка определяется трехкратным совпадением результатов с дальномера. Это нужно для случаев, когда грузовая автомашина не выполнила остановку до конца и следствием этого полученная фотография будет смазанной.

Для повышения точности определяется дисперсия последних трех значений. Если рассчитанная дисперсия выше заданного порогового значения, замеры будут проведены заново.

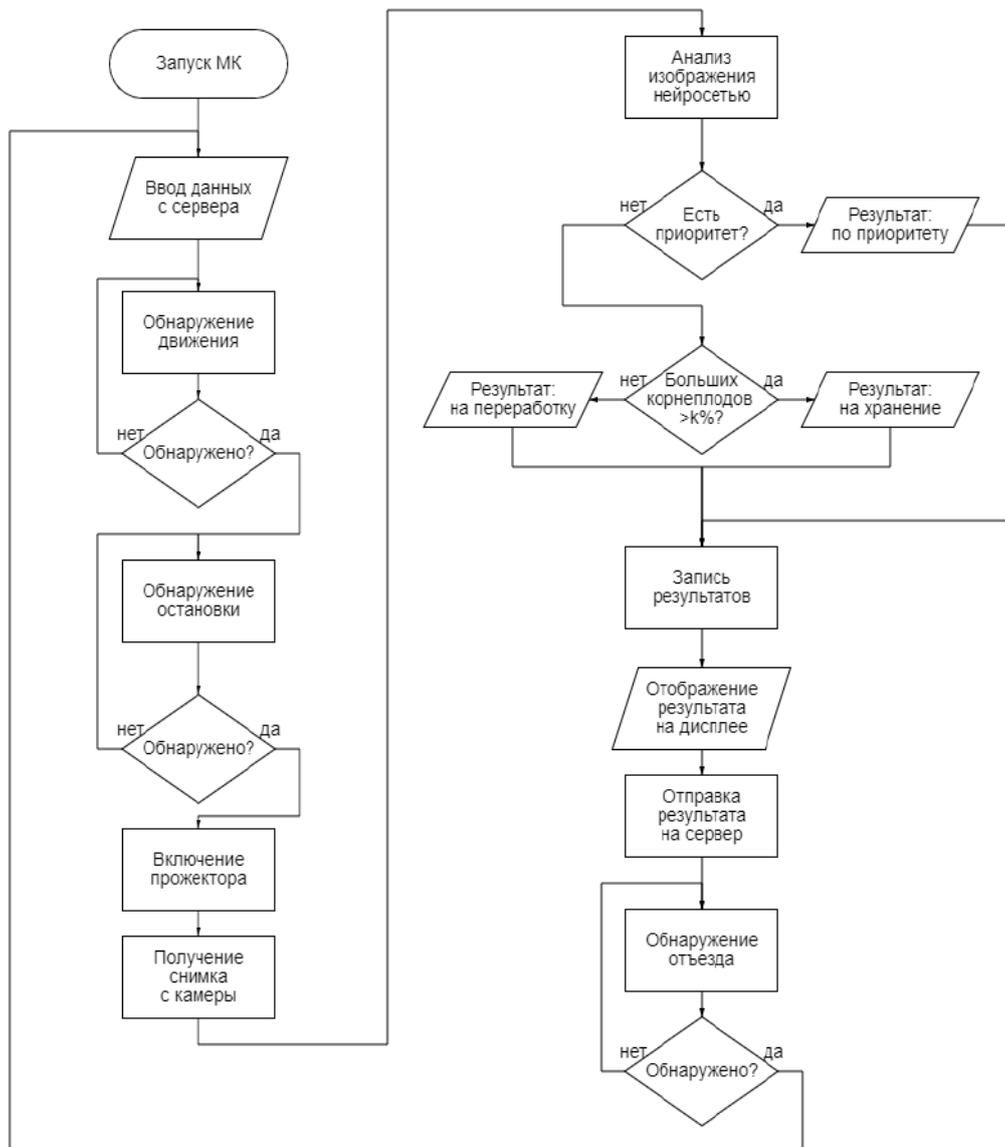


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма программы сортировки большегрузных автомашин

После успешного прохождения условия с дисперсией происходит подготовка к созданию фотографии поверхности насыпи – включается светодиодный прожектор для получения светлого и чёткого снимка в любое время и погоду. Камера работает с чётко и заранее заданными параметрами для получения одинаковых по цветопередаче изображений. После включения прожектора создаётся снимок, используемый в дальнейшей работе алгоритма.

Полученная фотография обрабатывается нейронной сетью и фильтрами для детекции корнеплодов сахарной свёклы. По окончании обработки выдаётся результат работы нейронной сети и фильтров: больше крупной свёклы – команда на хранение, большей мелкой свёклы – команда в переработку. Эта команда выводится на светодиодное табло водителю грузовика.

Все полученные данные, а именно дата и время приезда данной грузовой автомашины, расстояние до поверхности насыпи с лазерного дальномера, фотографии до и после обработки нейронной сетью и фильтрами, количество распознанных корнеплодов на снимке и их

принадлежность соответствующим фракциям записываются в файл и передаются на сервер. В случае успешной отправки на сервер этот архив удаляется с микрокомпьютера для экономии места на карте памяти, так как за производственный сезон через свеклопункт проезжает больше 5 тысяч грузовых автомашин. В случае, если отправить на сервер архив не удалось, он не удаляется до следующей итерации [5]. Бывает это при нестабильном интернет соединении или при неполадках с аппаратной либо программной частями микрокомпьютера.

В конце срабатывает поиск отъезда грузовика и если система понимает, что анализируемый грузовик отъехал, весь цикл начинается сначала. Определение отъезда необходимо в случаях, если грузовая автомашина задержалась на свеклопункте на длительное время. В ином случае, система технического зрения анализировала бы одну и ту же автомашину несколько раз.

По результатам разработанного алгоритма и программного обеспечения система технического зрения была отправлена на тестовый период на свеклопункт, чтобы проверить её на надёжность и работоспособность в автономном режиме. За 2 месяца работы успешно обработано около 5000 снимков. Примеры полученных изображений представлены на рисунке 3.



Рисунок 3 – Обработанные нейронной сетью и фильтрами изображения

Заключение. В результате проведённой работы была обоснована необходимость применения машинного зрения на приёмном пункте сахарных заводов. Разработан алгоритм и программное обеспечение, а также проведены испытания системы технического зрения. Используя данную систему, можно снизить риски потери качества сахарной свёклы в период хранения.

Список источников

1. Завражнов А.И. Обоснование использования машинного зрения для сортировки сахарной свёклы при хранении в кагатах / А.И. Завражнов, С.М. Кольцов // Достижения науки и техники АПК. - 2022. - Т.36, №12. - С. 59 – 62.
2. Балашов А.В. Применение машинного зрения для определения размерных характеристик корнеплодов сахарной свёклы / А.В. Балашов, С.М. Кольцов // Сборник научных докладов XXII Международной научно-практической конференции. - 2023. - С. 46-50.
3. Завражнов А.И. Сортировка сахарной свёклы с применением машинного зрения как способ повышения сохранности свеклосахарного сырья / А.И. Завражнов, С.М. Кольцов // Сахар. - 2022. - №8. - С. 32-36.
4. Управление автозагрузкой в Debian [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://debian-help.ru/articles/avtozgruzka-debian/>, свободный (дата обращения 27.01.2024).
5. Итерация [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Итерация>, свободный (дата обращения 28.01.2024)..

References

1. Zavrazhnov A.I. Justification of the use of machine vision for sorting sugar beet during storage in kagats / A.I. Zavrazhnov, S.M. Koltsov // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. - 2022. - vol.36, No.12. – pp. 59-62.
2. Balashov A.V. The use of machine vision to determine the dimensional characteristics of sugar beet root crops / A.V. Balashov, S.M. Koltsov // collection of scientific reports of the XXII International Scientific and Practical Conference. - 2023. - pp. 46-50.
3. Zavrazhnov A.I. Sorting sugar glass using machine vision as a way to improve the safety of sugar raw materials / A.I. Zavrazhnov, S.M. Koltsov // Sugar. - 2022. - No.8. - pp. 32-36.
4. Managing startup in Debian [Electronic resource] / Access mode: <https://debian-help.ru/articles/avtozgruzka-debian/>, free (accessed 27.01.2024).
5. Iteration [Electronic resource] / Access mode: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Iteration>, free (accessed 28.01.2024)..

Информация об авторах

Д.А. Николоюкин – младший научный сотрудник; В.Е. Петерс – младший научный сотрудник; М.А. Попов – младший научный сотрудник; А.В. Крищенко – инженер.

Information about the authors

D. Nikolyyukin – junior researcher; V. Peters – junior researcher; M. Popov – junior researcher; A. Krischenko – engineer.

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 25.02.2024 Принята к публикации (Accepted): 22.04.2024