

В. П. Буяшов, А. И. Николаевич, Б. М. Астрахан

*УО «Белорусский национальный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь*

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МАШИН ДЛЯ УБОРКИ КАРТОФЕЛЯ

В статье приводятся результаты исследования условий функционирования машин для уборки картофеля. Разработана модель технологического процесса картофелеуборочного комбайна.

Ключевые слова: условия функционирования, методика статистических исследований, модель функционирования, конфигурация картофельных грядок, подача почвы.

W. P. Buyashov, A. I. Nikolaevich, B. M. Astrahan

*Educational establishment «Belarusian National Technical University»
Minsk, Republic of Belarus*

INVESTIGATION OF THE CONDITIONS OF MACHINERY FOR POTATO HARVESTING

The article presents the result of the research of the conditions for the operation of machines for harvesting potatoes and developed a model of the technological process of a potato harvester.

Keywords: conditions of operation, methodology of statistical research, the model of functioning, configuration of potato beds, soil supply.

Введение

Для территории Республики Беларусь РНДУП «Институт почвоведения и агрохимии» разработано почвенно-географическое районирование. Выделены Северная (30 % территории), Центральная (43 %) и Южная (27 %) почвенные провинции, которые делятся на 7 почвенно-климатических округов, 20 агропромышленных районов и 12 подрайонов (в составе пяти районов) [1]. В Системе машин бывшего СССР БССР была выделена единой зоной 18, несмотря на такое разнообразие условий. Если в северо-западном округе почвенный покров представлен суглинистыми и супесчаными дерново-подзолистыми почвами, то в юго-восточном почвы песчаные, супесчаные и низинные торфяно-болотные. Минская область имеет 49 % от пашни супесчаных, 33 % – суглинистых и по 9 % – песчаных и торфяно-болотных почв [2], причем 25 % пашни засорено камнями, из них 17 % – с очень слабой засоренностью, где можно возделывать картофель (до 30 т/га камней в пахотном горизонте) [3].

Наиболее засоренные камнями поля находятся в Минской, Витебской и Гродненской областях, в Брестской области – незначительная засоренность, Гомельская и Могилевская области не засорены.

В связи с тем, что природно-климатические условия в республике варьируются в достаточно широком диапазоне, сельскому хозяйству нужен соответствующий им типоразмерный ряд картофелеуборочных машин (КУМ).

Тип, конструкцию и параметры рабочих органов КУМ следует разрабатывать или применять, исходя из условий функционирования: типа почвы, конфигурации и размеров грядок, расположения клубней в гнездах и их урожайности, формы и размеров компонентов картофельной грядки, их физико-механических свойств. Все эти свойства картофельного растения не являются постоянными даже на одном и том же поле, не говоря уже о районе, области, республике; они являются случайными в вероятностно-статистическом смысле. Качественные показатели работы картофелеуборочных комбайнов (КУК) зависят от условий функционирования и их конструкции, а также от рационально подобранных режимов работы (проведенных регулировок).

Раньше КУМ создавались длительным и дорогостоящим опытно-конструкторским путем, исключая возможность на стадии проектирования научно прогнозировать и тем более оптимизировать технологические, энергетические и технико-экономические показатели работы в типичных почвенно-климатических условиях. В настоящее время в республике они создаются копированием зарубежных аналогов. ПО «Гомсельмаш» выпускает КУК ПКК-2-03 и ПКК-2-05, ОАО «Управляющая компания холдинга «Лидсельмаш» – копатель КСТ-1,4А, а ЗАО «Агропромсельмаш» – копатель КСТ-1,4М.

Основная часть

Для оптимизации компоновочных решений КУК и их технологических процессов (ТП), а также оптимизации параметров рабочих органов возникает необходимость в моделировании ТП.

Модель функционирования КУК можно представить в виде многомерного объекта [4].

Входными воздействиями модели при постоянных рабочей скорости и глубине подкапывания и определенных эксплуатационных регулировках рабочих органов являются:

$Q(t)$ – секундная подача вороха картофельной грядки (почва, клубни, камни, ботва, сорняки);

$W_{\text{вх}}(t)$ – состояние входных компонентов (влажность, размеры и др.);

$R(t)$ – сопротивление движению машины.

Выходными переменными являются:

$q(t)$ – количество отделенных примесей на рабочих органах;

$Q_{\text{кл}}(t)$ – количество клубней в бункере;

$Q_{\text{пр}}(t)$ – количество примесей в бункере;

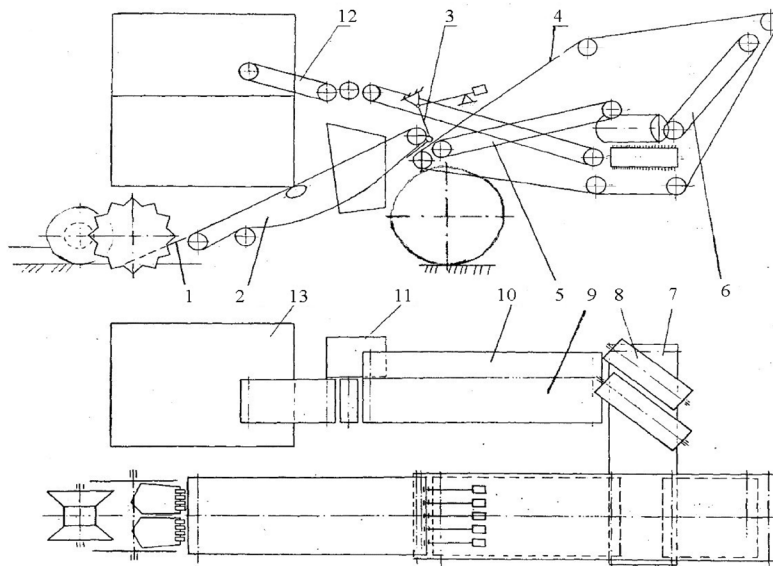
$\Pi(t)$ – потери клубней (сумма потерь на каждом рабочем органе);

$W_{\text{вых}}$ – состояние выходных переменных;

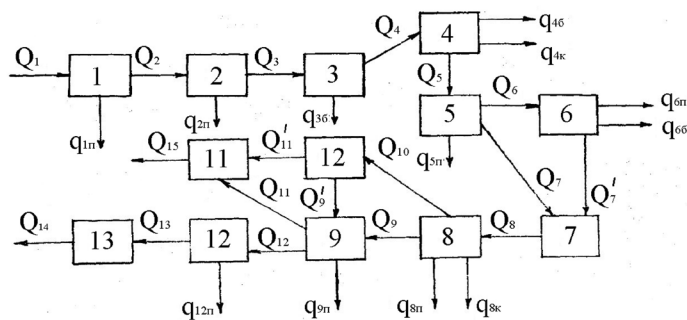
$N(t)$ – мощность, затрачиваемая на выполнение ТП.

КУМ перерабатывает входные воздействия в качественные технологические и энергетические выходные показатели. Условия работы и показатели качества могут быть оценены специальным математическим аппаратом. По тому, как КУМ перерабатывает условия функционирования в выходные показатели, может быть найдена математическая модель, адекватно описывающая работу машины.

Аналогичные модели строятся для отдельных рабочих органов (подкапывающих, сепарирующих, ботвоудаляющих и т. д.) и представляются в виде цепочки. Получается модель ТП конкретного КУК, вновь проектируемого или серийного, например Л-601 (рисунки 1а и 1б). При движении комбайна подкапывающий орган, имеющий конкретные параметры, вырезает картофельную грядку на глубину, ограничиваемую копирующим катком и боковыми вертикальными дисками. В результате на лемех поступает секундная подача массы Q_1 , состоящая из почвы, клубней, ботвы и других растительных примесей, а также камней и комков почвы в определенном соотношении. На лемехе пласт частично разрушается и начинается сепарация почвы. Оставшаяся масса ($Q_2 = Q_1 - q_{1п}$) поступает на первый элеватор 2, где под действием встряхивателей разрушаются почвенные комки и происходит основная сепарация почвы. Далее масса $Q_3 = Q_2 - q_{2п}$ поступает к ботвоудалителю 3, валик которого затягивает под комбайн часть ботвы $q_{3б}$, а оставшаяся масса $Q_4 = Q_3 - q_{3б}$ подается на редкопрутковый (ячеистый) транспортер 4, по которому удаляются крупные примеси (камни, оставшиеся длинные растительные примеси), а клубни, часть почвы, мелкие растительные остатки, камни, размер которых меньше размеров ячеек $Q_5 = Q_4 - (q_{4б} + q_{4к})$, проваливаются на второй элеватор 5, где происходит дальнейшая сепарация почвы. Сход с элеватора 5 поступает на пальчиковые поверхности горки 6 (Q_6) и поперечного транспортера 7 (Q_7). Горка 6 выносит на поверхность поля сзади КУК мелкие примеси $q_{6б}$ и часть почвы $q_{6п}$, а поперечный транспортер направляет массу $Q_8 = Q_7 + Q'_7$ к щеткам 8 камнеотделяющего устройства, часть камней $q_{8к}$ и почвы $q_{8п}$ сходят с поперечного транспортера, а клубни и оставшиеся камни поступают на переборочный стол, на котором рабочие перебрасывают ошибочно попавшие камни из потока клубней в поток камней, а клубни – наоборот. На переборочном столе и транспортере загрузки бункера происходит окончательная сепарация почвы $q_{9п}$ и $q_{12п}$, камни поступают в бункер 11, а клубни определенной чистоты – в бункер 13. При этом на каждом рабочем органе i могут быть потери клубней $q_{ик}$.



а



б

1 – лемех; 2 – элеватор; 3 – ботвоудалитель; 4 – транспортер редкопрутковый; 5 – элеватор второй;
 6 – горка пальчиковая; 7 – транспортер поперечный; 8 – щетки; 9 – поток клубней; 10 – поток примесей;
 11 – бункер для примесей; 12 – транспортер загрузки бункера; 13 – бункер для картофеля

Рисунок 1. – Конструктивная схема (а) и модель ТП (б) комбайна JL-601

Особенностью моделей ТП КУМ является сложность, а подчас и невозможность получения информации о некоторых компонентах входных и выходных величин. Это затрудняет управление ТП. Практически учесть все входные переменные, влияющие на ход ТП, невозможно, приходится ограничиваться лишь главными. Количественная оценка входных и выходных переменных должна выполняться методами теории вероятностей и математической статистики [5].

Из свойств почвы наибольшее влияние на работоспособность КУМ оказывает механический состав и влажность. Другие показатели (плотность, пластичность, липкость, связность, твердость, прочность почвенных комков) являются в известной мере функциями двух первых.

Чем больше содержание физической глины, тем хуже агротехнические показатели работы машин, особенно при экстремальных значениях влажности: при низкой влажности возрастают повреждения клубней, снижается полнота разрушения почвенных комков, возрастают тяговое сопротивление и энергоемкость машин; при повышенной – ухудшается сепарация почвы из-за повышения ее липкости и связности, снижаются тягово-сцепные свойства и устойчивость курсового движения агрегатов с асимметричным тяговым нагружением; снижается несущая способность почвы, что повышает вероятность нарушения экологической совместимости движителей с почвой.

Для возделывания картофеля наиболее пригодны супесчаные и суглинистые почвы. На более тяжелых суглинках, медленно прогреваемых весной, урожаи обычно ниже. Осенью при

дождливой погоде на таких почвах затрудняется уборка клубней КУК, так как ухудшается сепарация.

Наилучшие показатели качества уборки для суглинистых почв достигаются при влажности почвы 17...24 %, а при влажности более 27 % применение КУК становится практически невозможным из-за низкой несущей способности почвы.

Твердость почвы в картофельной грядке обычно колеблется в пределах 0,8...1,4 г/см³, при твердости до 1,3 г/см³ в почве комки не образуются или легко разрушаются, а при большей твердости образуются прочные комки, которые необходимо разрушать рабочими органами КУК, а более твердые – отделять.

Хотя средняя прочность клубней превосходит среднюю прочность комков суглинистых почв, разрушить все почвенные комки статическим сжатием без повреждения клубней невозможно, так как минимальная прочность клубней и максимальная прочность комков перекрываются. С увеличением твердости почвы уменьшается коэффициент ее сепарации.

Коэффициент трения почвы по металлу влияет на скорость перемещения ее по лемеху и колеблется в значительных пределах: от 0,45...0,50 (супесь) до 0,60...0,70 (глина).

Поступление почвы в КУМ зависит от рабочей скорости, формы и размеров грядок, типа подкапывающих рабочих органов, их ширины, а также глубины подкапывания.

Результаты исследований

Для определения статистических характеристик размеров грядок картофельного поля были проведены исследования на различных полях. На участке длиной 100 м по концам устанавливались вешки точно по оси грядки. Между ними натягивался шнур, который служил базовой линией. От базовой линии через интервал 0,25 м замерялись расстояния (рисунок 2) до соответственно: левого и правого краев вершины первой грядки (размеры a_1 и a_2), левого и правого краев вершины второй грядки (размеры a_3 и a_4), осей первой и второй грядок (размеры b_1 и b_2), левого и правого краев основания первой грядки (размеры c_1 и c_2), левого и правого краев основания второй грядки (размеры c_3 и c_4). Замерялась также глубина первой, второй и третьей борозд (размеры h_1 , h_2 , h_3).

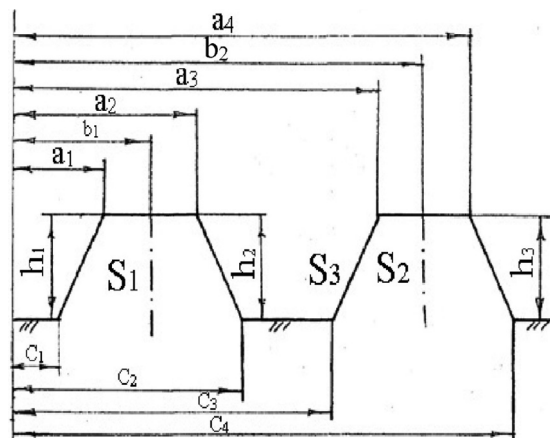


Рисунок 2. – Размеры двух соседних грядок

В результате обработки исходных данных были получены статистические характеристики указанных размеров (параметров грядки): минимальное значение (min), среднее значение (сред.), максимальное значение (max), среднеквадратическое отклонение (с. кв. о.) и коэффициент вариации (коэф. вар.) для конкретного картофельного поля учхоза им. Фрунзе Минского района (таблица 1).

Анализ таблицы 1 показывает, что на длине гона 100 м параметры грядок изменялись в широких пределах: даже минимальное значение коэффициента вариации составляло 18 % (для параметра h_1), а максимальное значение достигало 104 % (для параметра c_1). При этом величина среднего значения междурядий колебалась в пределах 76...81 см, хотя картофель был посажен с междурядьем 70 см.

Занимаясь разработкой систем автоматического вождения (САВ) агрегатов при возделывании и уборке картофеля, для обоснования чувствительного элемента и выбора базовых поверхностей для него необходимо предварительно исследовать условия функционирования объекта вождения.

Как известно, в странах СНГ применяется гребневая посадка картофеля с шириной междурядий 70 см. Необходимо знать параметры грядок картофельного поля на всех операциях возделывания и уборки картофеля.

Таблица 1. – Статистические характеристики размеров картофельных грядок

| Параметры | Значения | | | | |
|-----------|----------|-----------|---------|---------------|---------------|
| | min, см | сред., см | max, см | с. кв. о., см | коэф. вар., % |
| b_1 | 0 | 56 | 98 | 32 | 57 |
| b_2 | 85 | 135 | 173 | 29 | 21 |
| a_1 | -12 | 48 | 93 | 34 | 70 |
| a_2 | 12 | 65 | 108 | 31 | 47 |
| a_3 | 70 | 128 | 170 | 30 | 23 |
| a_4 | 92 | 143 | 184 | 29 | 20 |
| c_1 | -25 | 28 | 69 | 29 | 104 |
| c_2 | 20 | 81 | 126 | 35 | 43 |
| c_3 | 54 | 109 | 145 | 27 | 25 |
| c_4 | 105 | 157 | 199 | 33 | 21 |
| h_1 | 7 | 10 | 15 | 2 | 18 |
| h_2 | 6 | 10 | 14 | 2 | 23 |
| h_3 | 2 | 9 | 14 | 3 | 30 |

Соответствующие статистические исследования проводились по методике, описанной ранее (см. рисунок 2). При этом измерение 1 проводилось весной при нарезке гребней, 2 – при посадке картофеля, 3 – при слепом окучивании, 4 – при культивации с подкормкой, 5 – при уборке ботвы. Кроме вышеуказанных прямых измерений аналитически определялись площади сечений обеих грядок и борозды между ними.

Обработка результатов статистических исследований проводилась по методике [5]. Определялись оценки: среднего значения, дисперсии, коэффициента вариации и спектральные плотности всех процессов: $a_1(l) \dots a_4(l)$, $b_1(l)$, $b_2(l)$, $c_1(l) \dots c_4(l)$, $h_1(l) \dots h_3(l)$, $S_1(l) \dots S_3(l)$, а также взаимные корреляционные функции следующих процессов: a_1-b_1 , a_2-b_2 , a_3-b_1 , a_4-b_1 , a_3-b_2 , a_1-c_1 , a_3-c_3 , a_2-c_2 , a_4-c_4 , a_4-b_2 , b_1-b_2 , h_1-h_2 , h_1-h_3 , h_2-h_3 , S_1-S_2 , S_1-S_3 .

Анализ полученных данных показал, что средние значения измеряемых параметров в период вегетации изменялись в больших пределах. Так, например, $b_1 = 50,1 \dots 66,0$ см; $b_2 = 128,2 \dots 141,1$ см, $a_2 = 59,4 \dots 72,4$ см, $a_3 = 116,4 \dots 139,5$ см, $h_2 = 10 \dots 15,7$ см. При этом коэффициенты вариации соответствующих параметров составляли: $V_{b_1} = 54,7 \dots 60,2$ %, $V_{b_2} = 21,6 \dots 24,2$ %, $V_{a_2} = 46,3 \dots 49,2$ %, $V_{a_3} = 23,3 \dots 27,1$ %, $V_{h_2} = 10,8 \dots 23,3$ %, а значение V_{c_1} в четырех измерениях превышало 100 % и колебалось в пределах 83,4...139,1 %.

Средняя ширина междурядий также существенно изменялась и ни при одном измерении не была равна 70 см; при нарезке гребней – 75,1 см, в момент уборки картофеля – 79,3 см, минимальная ширина – 72,1 см после окучивания, средняя ширина борозды по вершинам соседних грядок – 57,0...67,1 см, причем минимальное значение 57,0 см получено после посадки картофеля и после второго окучивания. Средняя ширина дна борозды после нарезки гребней – 27,7 см и в момент уборки картофеля – 27,8 см (практически одинаковая), а после второго окучивания равна 14,1 см.

Средняя глубина борозд в процессе вегетации картофеля уменьшалась: самые глубокие борозды оставались весной при нарезке $h = 13,8 \dots 15,7$ см, а к моменту уборки $h = 8,9 \dots 10,1$ см при дисперсиях 2,5...3,5 см² и 3,5...7,0 см² соответственно. Форма грядок не оставалась геометрически правильной на всех операциях возделывания, наблюдалось их деформирование не только колесами агрегатов, но и камнями, посторонними предметами, смывом ливневыми дождями и т.д.

Колебания значений параметров грядок и борозд необходимо учитывать при разработке конструкций подкапывающих рабочих органов и датчиков (копиров) САВ, в которых необходимо предусмотреть регулировку расстояния между элементами щупа для обеспечения постоянного контакта с базовой поверхностью. Смятие грядок нарушает непрерывность траектории ориентации, служащей опорой для щупов чувствительного элемента САВ, образуя дополнительные источники помех, что приводит к ложным срабатываниям системы.

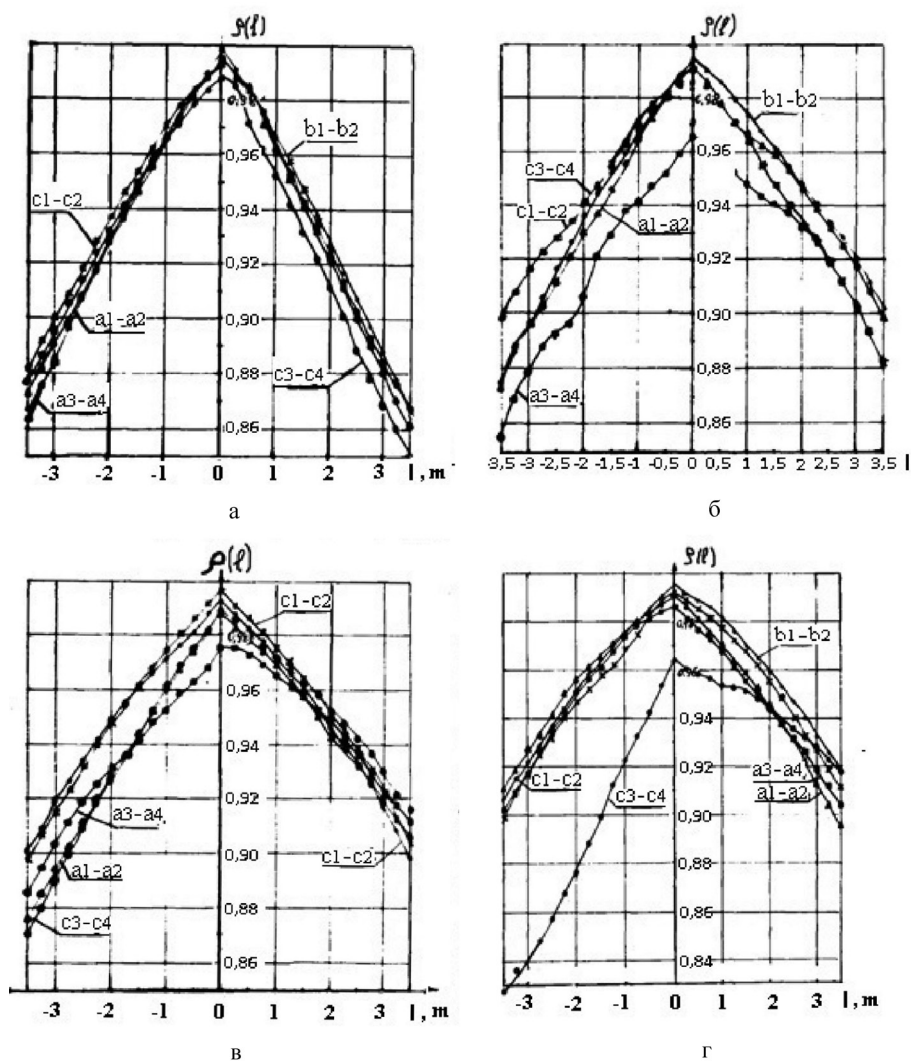
Представляют определенный интерес взаимные корреляционные функции процессов (рисунок 3).

После модернизации приемной части КСТ-1.4А с применением дисковых рабочих органов, установленных выпуклостью внутрь грядки на расстоянии 540 мм, значительно уменьшается количество почвы, поступающей в машину. Такой модернизированный копатель был установлен на первый образец модульного комбайна КМБ-2-01Д, а затем на КМБ-2Д.

По оценкам взаимных корреляционных функций рассматриваемых процессов видно, что максимальные значения коэффициентов корреляции очень высокие $\rho(l) > 0,96$ и приходятся на $l = 0$. При $l = \pm 3$ м коэффициенты корреляции уменьшаются, оставаясь довольно высокими $\rho(l) > 0,84$. После нарезки гребней различие в коэффициентах корреляции всех процессов незначительное, после посадки и слепого окучевания несколько увеличивается, а к моменту уборки $\rho(l) > 0,98$ при $l = 0$ для всех процессов, за исключением c_3-c_4 , где $\rho(l) > 0,96$ при $l = 0$.

Анализ графиков показывает, что рассмотренные процессы изменения параметров конфигурации грядок очень сильно зависимы с положительной корреляцией.

По результатам вышеизложенных исследований параметров грядки определялись статистические характеристики площадей сечения этих же картофельных грядок в момент уборки при заданной ширине захвата подкапывающих рабочих органов для рабочего диапазона значений глубины подкапывания. Расчеты показали, что в диапазоне изменения глубины подкапывания 18...24 см площадь сечения составляла для: однорядного КУК Л-601 – 0,08...0,12 м²; двухрядного



а...г – результаты соответственно 1...4 измерений

Рисунок 3. – Нормированные взаимные корреляционные функции процессов

КПК-2-01 – 0,14...0,20 м², двухрядного копателя КСТ-1,4А – 0,16...0,23 м². Коэффициент вариации площади при одной и той же глубине подкапывания колебался в пределах 4...7 %. Следовательно, подкапывающие рабочие органы комбайнов КПК-2-01 обеспечивают меньшее поступление почвы на сепарирующие рабочие органы, чем КСТ-1,4А.

Большая площадь сечения подкапывающего пласта получена из-за небольшой высоты грядок (среднее значение – 9...10 см). Высота грядок к моменту уборки может быть 20 см. Это зависит от типа почвы, технологии возделывания и количества осадков за срок вегетации.

Заключение

1. Условия функционирования КУМ сложны и многообразны: в РБ по почвенно-географическому районированию выделено три почвенных провинции: Северная (30 % территории), Центральная (43 %) и Южная (27 %); имеются песчаные, супесчаные, суглинистые и торфяно-болотные почвы, причем 10 % территории засорено камнями, а в Минской области 25 % каменистой-пашни. Разрабатывать необходимо картофелеуборочную технику, учитывая разнообразие условий функционирования.

2. Современная практика конструирования КУМ должна базироваться на научно обоснованном банке исходных данных, определяющих условия функционирования машин. В основу решения данной концепции могут быть положены результаты исследований, представленные в статье в виде статистических характеристик процессов изменения конфигураций и профилей картофельных грядок, описанных экспериментально-аналитическими зависимостями, позволившими с помощью научных гипотез, разработанных математических моделей, методик с применением компьютерной техники обосновать, разработать, исследовать, оптимизировать параметры и внедрить конструкции рабочих органов, компоновочные и технологические схемы машин, обеспечивающих надлежащие показатели качества уборки.

3. Качество работы КУМ регламентировано агротехническими требованиями, и основой их эффективного использования является обеспечение высокого качества управления ТП с целью более полного использования конструктивных возможностей для получения качества работы, удовлетворяющего этим требованиям. Управление ТП неосуществимо без создания простых средств контроля за качеством выполнения ТП каждым рабочим органом, позволяющих оперативно выявлять причины неоптимальности его выполнения и, проведя соответствующие регулировки, улучшать показатели работы КУМ. А разработка этих средств позволит создать предпосылки для перехода к автоматическому управлению режимами работы рабочих органов машин, начало чему уже положено.

Литература

1. Природа Белоруссии: Популярная энциклопедия. – Минск: Бел СЭ, 1989. – 599 с.
2. Почвы БССР. Минская область (по материалам II тура почвенных обследований колхозов, госхозов, лесничеств). – Минск, 1990. – 430 с.
3. Государственный земельный кадастр Республики Беларусь: по состоянию на 4 января 1992 г. – Минск, 1992. – 53 с.
4. Ресурсосберегающие технологии уборки корнеплодов и луковичных культур / В. П. Буяшов [и др.] // Изобретатель. – 2015. – № 10. – С. 37–39.
5. Методика статистической обработки на ЭВМ результатов испытаний и исследований сельскохозяйственных агрегатов и их систем управления / Е. А. Абелев [и др.]; под ред. А. Б. Лурье. – Ленинград: ЛСХИ, 1983. – 37 с.