

**В.И. Ветохин<sup>1</sup>, Ю.И. Овсиенко<sup>1</sup>, В.В. Голдыбан<sup>2</sup>, И.А. Барановский<sup>2</sup>,  
В.В. Амосов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Полтавская государственная аграрная академия  
г. Полтава, Украина  
e-mail: [veto.vladim@gmail.com](mailto:veto.vladim@gmail.com)

<sup>2</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: [goldyban@mail.ru](mailto:goldyban@mail.ru)

<sup>3</sup>Центральноукраинский национальный технический университет  
г. Кропивницкий, Украина  
e-mail: [v\\_vas\\_a@ukr.net](mailto:v_vas_a@ukr.net)

## **ОБЗОР МЕТОДОВ ОРИЕНТАЦИИ КУЛЬТИВАТОРОВ ПРИ МЕЖДУРЯДНОЙ ОБРАБОТКЕ ПРОПАШНЫХ КУЛЬТУР**

Методы управления ориентацией пропашного орудия прошли развитие от визуального контроля с ручным управлением положением, к бесконтактному отслеживанию рядка и управлением с помощью электрогидравлического привода. При значительной засоренности посевов, проблема реализации оптического сигнала слежения может быть решена сочетанием средств контактного отслеживания рядка по направляющим в почве и оптико-электронных устройств.

**Ключевые слова:** механическая борьба с сорняками, пропашной агрегат, ориентация относительно рядков, системы управления положением.

**V.I. Vetokhin<sup>1</sup>, J.I. Ovsienko<sup>1</sup>, V.V. Goldyban<sup>2</sup>, I.A. Baranovsky<sup>2</sup>,  
V.V. Amosov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Poltava State Agrarian Academy  
Poltava, Ukraine

<sup>2</sup>RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»  
Minsk, Republic of Belarus

<sup>3</sup>Central Ukrainian National Technical University  
Kropyvnytskyi, Ukraine

## **REVIEW OF METHODS OF CULTIVATOR ORIENTATION AT INTER-ROW CULTIVATION OF ROW CROPS**

Row orientation control techniques have evolved from visual control with manual position control to contactless row tracking and electro-hydraulic drive control. The problem of implementing an optical tracking signal, with a significant weediness of crops, can be solved by a combination of means of contact tracking of a row along guides in the soil and optoelectronic devices.

**Keywords:** mechanical weed control, row cultivation, orientation relative to rows, position control systems.

### **Введение**

Засоренность культурных посевов сорняками приводит к значительным потерям урожая при выращивании пропашных культур, особенно в органическом производстве, где культурные растения всегда характеризуется низкой конкурентоспособностью относительно диких растений [1, 2]. Физическая борьба с сорняками является распространенной и использует механические средства, применяемые для обработки почвы [3]. Уход за посевами пропашных культур включает многократное механическое разрыхление почвы и внесение химических средств. На эксплуатационные расходы и урожайность существенно влияет размер защитной зоны, на которую сельскохозяйственные орудия могут приближаться к рядам растений, не причиняя ущерба. Поэтому изучение и совершенствование методов и технических средств для ориентации (вождения) пропашного агрегата вдоль рядков, при выращивании пропашных культур, – актуальная и важная задача.

Обзор развития технических средств для ориентации пропашных орудий вдоль рядков выполнен ранее [4]. Однако недостаточный акцент был сделан на методах управления орудиями.

### Основная часть

В соответствии с положениями современной теории управления процессами в системе выделяются следующие компоненты: объект управления, датчик сигнала управления (измерительное устройство), устройство логической обработки сигнала, усилитель-преобразователь, привод, исполнительное устройство [5, 6]. Дальнейшее рассмотрение технических средств будем осуществлять с выделением указанных компонентов систем.

Описание конструкций и рекомендаций по использованию первых культиваторов и пропашных орудий содержатся в работах К.И. Дебу [7]. Так, управление положением относительно рядка растений «Полольника Эльворти» (рис. 1, а) осуществлялось вручную, физической силой рабочего с помощью двух рукояток, а «полольника завода в Эрцгебирге» (рис. 1, б) – с помощью двухколесного передка.

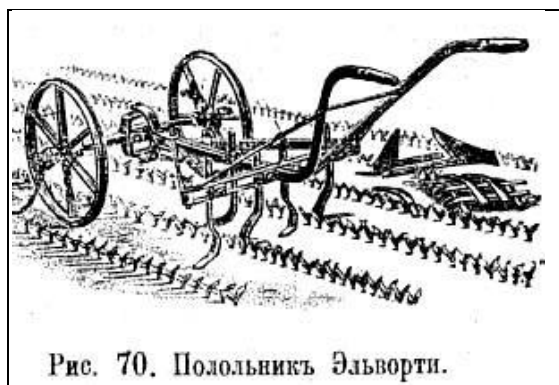


Рис. 70. Полольник Эльворти.



Рис. 84. Полольник завода в Эрцгебирге.

Рис. 1 – Вид пропашных орудий в конце 19-го века (а) и начале 20-го века (б) [7]

Функции датчика сигнала управления (измерительного устройства), устройства логической обработки сигнала, усилителя-преобразователя и привода, выполняли соответствующие органы человека. Визуальное отслеживание движения рабочих органов относительно рядков и управлением орудием с помощью физической силы рабочего накладывало ограничения на скорость движения вдоль поля и на размер защитной зоны рядка.

Поиск путей решения проблемы по увеличению рабочей скорости привел к решению разместить рабочего-оператора максимально приближенно к рабочей зоны культиватора и облегчить физическую нагрузку за счет различных механических усилителей [8, 9]. Так, например, согласно американскому патенту Tractor attachment (1922) [8], рабочий находился на дополнительном сиденье трактора – непосредственно над культиватором. Рабочий руководит колесами трактора с помощью штурвала или культиватором с помощью длинного рычага.

Описанные решения недостаточно учитывали физиологические особенности человека-оператора, например, в отношении времени, необходимого для принятия решения и времени на управление положением рабочих органов.

Начало серийного производства тракторов с передней навесной системой (в 1960-х годах) придало ускорение дальнейшему развитию механических способов ориентации культиваторов [10]. Однако такая компоновка еще больше усложнила условия визуального наблюдения за относительным положением рабочих органов и рядков растений, что привело к весьма ограниченному применению. Неустойчивость динамической системы машинно-тракторного агрегата, обусловленная такой компоновкой, значительно уменьшала время на осуществление управленческого воздействия.

Использование культиваторов с индивидуальным рулевым управлением и дополнительным рабочим местом впоследствии не нашло существенного распространения по причине значительной усталости рабочего-оператора и, как следствие, ограничение рабочей скорости и производительности.

Поиск средств ориентации, основанных на различных физических принципах, активно проходил в 1970-1980 годы: вождение вдоль токонесущих проводов, использование фотооптических устройств, управления по лучу лазера и так далее [11].

Использование направляющих щелей в почве, нарезаемых при посеве, для стабилизации движения культиватора предложено в середине 1960-х годов рядом европейских и американских

фирм. Стяжки навесной системы трактора ослабляются, и культиватор движется вдоль рядков, копируя траекторию направляющих щелей, совпадающих с кривизной рядков. Способ оказался достаточно надежным и не требовал сложных дорогих гидро- и электро- устройств. За счет повышения точности копирования рядков рабочими органами, удалось снизить размер защитной зоны, увеличив тем самым обрабатываемую площадь междурядий.

Например, по французскому патенту FR2423961 (1979) была предложена система автоматического вождения для сельскохозяйственного трактора (рис. 2) [13]. Система имеет датчик, который следит за направляющим каналом, произведенным при предыдущем проходе.

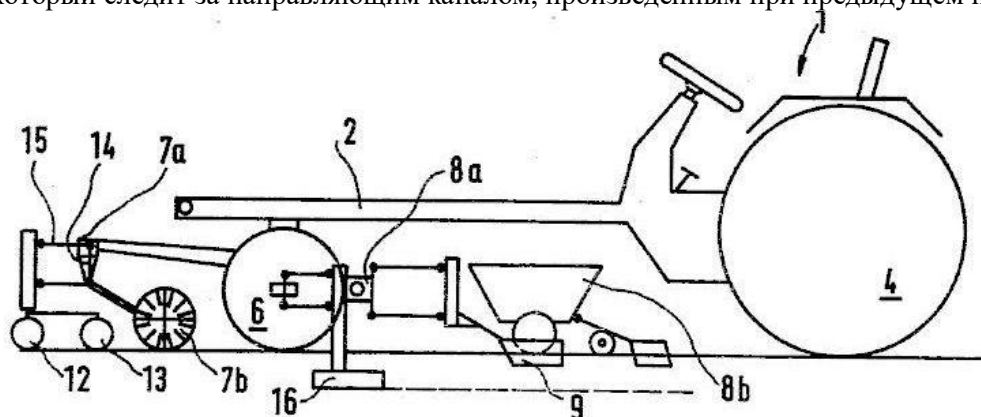


Рис. 2 – Схема устройства для автоматического вождения моторного сельскохозяйственного средства по патенту FR2423961 [17]

Культиватор оснащается теми же ножами, которые устанавливались на сеялку для образования щелей. Ножи выполнены в форме плоского лезвия с вертикальной заостренной кромкой [12, 13]. Однако такая форма не обеспечивала образование щели в почве, которая была бы достаточно стойкой для ориентации агрегата.

Несущую способность и устойчивость щелей в почве, достаточную для ориентации культиватора при многократных проходах агрегата, удалось обеспечить благодаря особой форме ножа-щелереза (рис. 3) [14, 15, 16]. Достигнутые показатели были подтверждены экспериментальными исследованиями и производственной эксплуатацией серийных орудий [14].

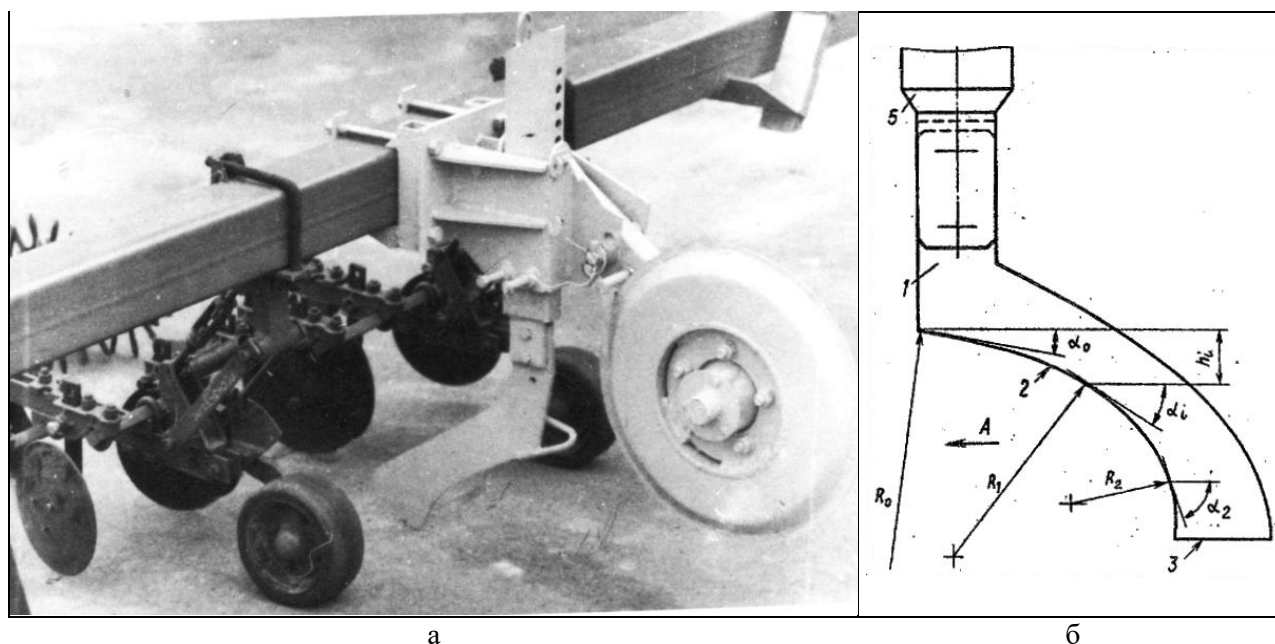


Рис. 3 – Вид ориентатора пропашных машин, разработки НПО «Сахарная свекла»: а - конструктивное исполнение для культиватора «Плай»; б - форма ножа для образования щелей в почве [15]

В описанных выше устройствах функции датчика сигнала управления (измерительного устройства), устройства логической обработки сигнала, усилителя-преобразователя и привода,

выполняли колесо или щелерез, которые двигались по борозде щели. Таким образом реализуется схема так называемого регулятора прямого действия.

Дальнейший поиск путей уменьшения затрат ручного труда и нагрузки на оператора происходил с заимствованием достижений смежных областей техники. Так, например, транспортное средство оснащалось передатчиками и приемником излучения, в частности акустическими или радиолокационными, для бесконтактного обнаружения отражателей и определения поперечного расстояния, влияющими на систему рулевого управления, тем самым обеспечивая автоматическое поперечное наведения транспортного средства US4069888A (1975) [17].

С использованием этих принципов предложена система позиционирования для сельскохозяйственных устройств (рис. 4) [18]. Система содержит приемник сигнала-эха для измерения расстояния от линии объектов, например, рядков культур. Система сравнивает измеренные расстояния и размещает движущийся объект таким образом, чтобы выровнять два измеряемых расстояния.

Система позиционирования (рис. 4) содержит блок 10 измерения расстояния, передает сигналы, которые используются для определения расстояний до двух рядов посевов 6a, 6b, в блок 12 управления, установленный на тракторе, где сигналы обрабатываются для определения относительного положения сельскохозяйственных орудий 2 по опорному пути, определенного этими двумя рядами культур. Согласно этому определению, команды направляются на устройство 13 позиционирования для того, чтобы поддерживать устройство точно в центре между двумя рядами посевов 6a, 6b и между всеми рядками 6a-6f.

Техническая реализация такого метода довольно сложна, что и свидетельствует блок-схема управления в системе позиционирования (рис. 4, б).

Описанные в патенте US4835691 (1987) метод и устройство, содержат все принципиальные составляющие современных серийных орудий.

Однако использование акустических и радиолокационных устройств для определения положения рядков культурных растений, столкнулось с существенными трудностями. Использование оптического сигнала для получения информации о положении растений в рядке, как это было в начале развития механизации в конце девятнадцатого столетия, оказалось более надежным. Операции распознавания образа, логической обработки информации, принятия и исполнения решения по управлению, на сегодняшний день, стал выполнять комплекс компьютеров и электрогидравлических механизмов, например, способ и устройство по патенту US5442552 Robotic Cultivator [19].

Культиватор содержит видеокамеру для сбора визуальной информации о расположении растений в ряду. Затем кадр-захват используется для создания оцифрованного изображения визуальной информации. Компьютер обрабатывает информацию для определения центральной линии ряда растений и высчитывает отклонение положения орудия. Наконец, устройство позиционирования перемещает инструменты культиватора на основе анализа текущего положения инструментов орудия относительно центральной линии рядка.

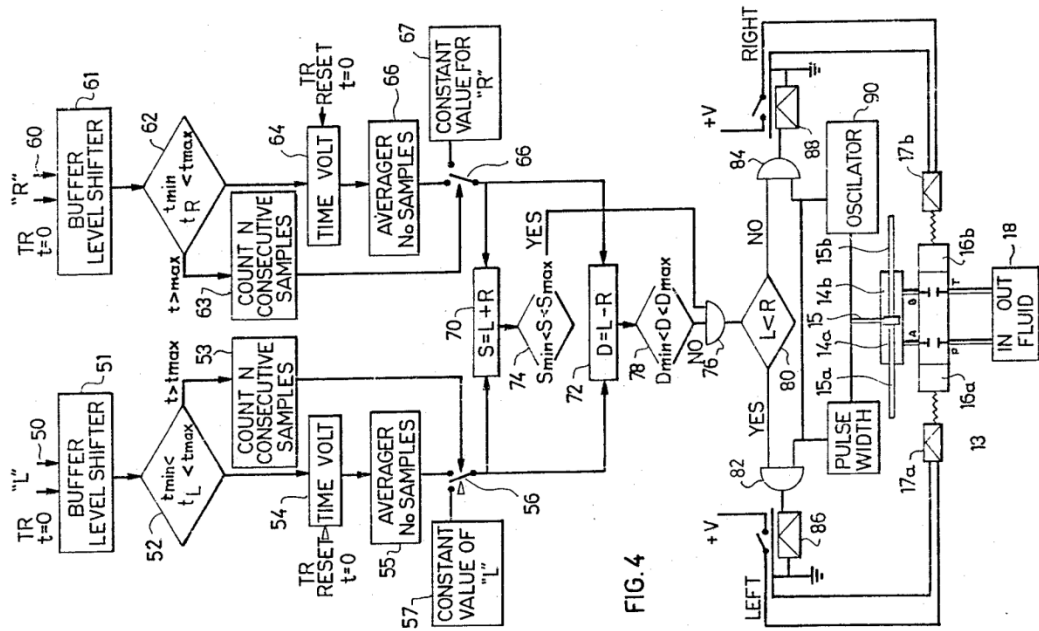
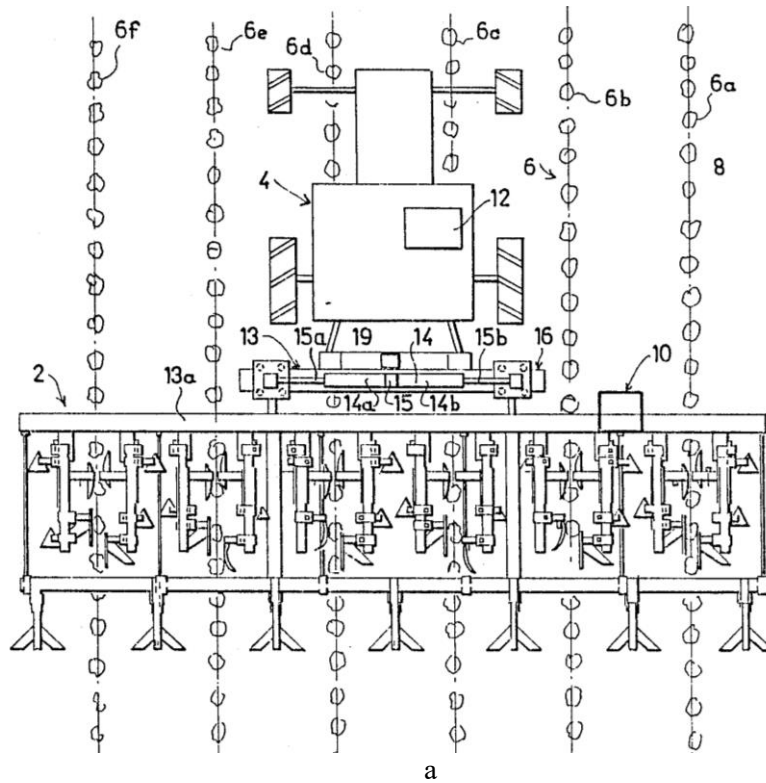


FIG. 4

6

Рис. 4 – Схема системы позиционирования сельскохозяйственных орудий по патенту US4835691 (1987) [18]

*a - вид в плане, иллюстрирующий систему позиционирования;  
 б - блок-схема реализации управления в системе позиционирования*

Таким образом, развитие систем распознавания образов, математического и аппаратного обеспечения, позволило серийно внедрить технические средства бесконтактного отслеживания рядков растений и управления положением исполнительных органов культиваторов.

Фирма Einbock GmbH & Co использует на пропашных культиваторах систему управления с помощью видеокамеры (рис. 5) [20]. Основные настройки осуществляются из кабины трактора с помощью блока управления с сенсорным экраном и интегрированным видеомонитором.





Рис. 5 – Основные элементы Camera steering system ROW-GUARD фирмы Einbock GmbH & Co [20]  
*а - видеокамера с двумя объективами высокой четкости с разной экспозицией для улучшения работы при изменении условий света; б - система смещения культиватора относительно строки растений*

Аналогичную систему использует ряд производителей, в том числе фирма BEDNAR FMT в культиваторе ROW.MASTER RN [21].

Одна из проблем применения подобных систем связана с тем, что определения центральной линии ряда растений и, соответственно, управление положением орудия проблематично при значительной засоренности посевов.

В последнее время, с ростом спроса на продукцию без использования химических средств, и так называемых «низко-технологических» технических средств, используются культиваторы с компоновкой, которая приведена на рис. 6 [22]. Стабилизация по глубине обработки и управление положением относительно рядков осуществляется с помощью управляемых колес (рис. 6), подобно схеме, применявшейся в начале прошлого века (см. рис.1, б).



Рис. 6 – Вид культиватора, что использовался в исследовании «Innovative operative machines for physical weed control on organic cauliflower in Central Italy» [22]

### Заключение

Методы ориентации пропашных орудий относительно рядка культурных растений прошли развитие от визуального контроля и ручного управления положением культиватора непосредственно физической силой; визуального контроля и управления с помощью различных усилителей; контактного отслеживания положения рядка по направляющим в почве – к

бесконтактному оптическому отслеживанию рядка с автоматическим управлением посредством электрогидравлического привода.

Имеет место воспроизведение робототехническими средствами функций системы человек-машина и использованием оптического сигнала для получения визуальной информации о положении растений в рядке, как это было вначале механизации. Операции распознавания образа, логической обработки информации, принятия и исполнения решения по управлению выполняет комплекс компьютеров и электрогидравлических механизмов. Оптический сигнал проходит обработку средствами искусственного интеллекта.

Проблему управления положением орудия при значительной засоренности посевов, связанную с определением центральной линии ряда растений, возможно разрешить сочетанием контактного отслеживания положения по направляющим в почве и управления положением культиватора электрогидравлическим приводом на новой элементной базе.

#### Список использованных источников

1. European Weed Research Society: Proceedings 8th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control. – Zaragoza, Spain, 9–11 March 2009. –148 p.
2. Barberi, P. Weed management in organic agriculture: are we addressing the right issues? // Weed Research. –№42. – P.176–193.
3. Cloutier D.C., Van der Weide R.Y., Peruzzi A., Leblanc M.L. Mechanical Weed Management // Nonchemical Weed Management: Principles, Concepts and Technology. – CAB International, Wallingford, UK, 2007. – P.111–134.
4. Огляд розвитку засобів для орієнтації просапних знарядь вздовж рядків, зокрема при вирощуванні цукрових буряків / Ветохін В.І., Амосов В.В., Голдибан В.В., Боровик О.Ю., Біловод І.В. // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України : Збірник наук. пр. УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. – 2020. Вип. 26(40). – С. 30-46.
5. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – С.Петербург : Профессия, 2003. – 751 с.
6. Співвідношення регулювання та саморегулювання процесів при роботі ґрунтообробного знаряддя / В.І. Ветохін, О.І. Біловод, Н.В. Прілепо, А.Н. Алтибаев. // Тези наукових доповідей ХІХ Міжнародної наукової конференції «Науково-технічні засади розробки, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій, УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого ; – Дослідницьке, 2019. – С.15–16.
7. Дебу К.И. Мотыги, пропашники и полольники / Сост. специалист по с.-х. машиностроению К.И. Дебу. – Санкт-Петербург : П.П. Сойкин, 1912. – 56с.
8. Tractor attachment: пат. 1472888 США: МПК F01B39/06. №535123; Заявл. 09.02.1922; Опубл. 06.11.1923.
9. Steered tractor mounted cultivator: пат. 2604835 США: МПК. A01B35/14. Приоритет 24.03.1944. №585264; Заявл. 28.03.1945; Опубл. 29.06.1952.
10. Соловей, Е.В. Эффективность применения передней навески машин для междурядной обработки пропашных культур. // Сб. научн. тр. – Т.99. – М. : ВИМ, 1983. – С.100–109.
11. Гельфенбейн С.П. Электроника и автоматика в мобильных сельхозмашинах / С.П. Гельфенбейн, В.Л. Волчанов. –М. : Агропромиздат, 1986. – 263 с.
12. Apparatus for guiding row crop processing implements : пат. 4117889 США: МПК A01B69/00. №761373; Заявл. 21.01.1977; Опубл. 03.10.1978.
13. Procédé et dispositif pour le guidage automatique d'un véhicule agricole motorisé : пат. 2423961 Франция : МПК A01B69/00. Приоритет DE19782818640, 27.04.1978 – FR7905653A; Заявл. 05.03.1979; Опубл. 23.11.1979.
14. Применение направляющих щелей при возделывании сахарной свеклы для управления культиватором : методические рекомендации / В.С. Глуховский, В.Н. Данченко, В.И. Ветохин, К.Н. Якименко и др. // НПО «Сахарная свекла» ; Черниговский обл. Агропром. – Чернигов : Десна, 1987. – 19 с.
15. Рабочий орган для нарезки щелей в почве : пат. 1396975 СССР : МКИ A01B13/16. №4054661/30-15; Заявл. 15.04.86; Опубл. 23.05.88, Бюл. №19.

16. Якименко, К.Н. Совершенствование способа и рабочих органов для коррекции направления движения пропашных агрегатов вдоль рядков сахарной свеклы на уходе за посевами : дис. ... к.т.н. : 05.20.01. – К. : ВНИС, 1990. – 191 с.
17. Traffic system, especially public local passenger traffic system: пат. 4069888 США: МПК В60Е27/00. №679684; Заявл. 23.04.1976; Оpubл. 24.01.1978.
18. Positioning system particularly useful for positioning agricultural implements : пат. 4835691 США : МПК G06F15/50. №95072; Заявл. 11.09.1987; Оpubл. 30.05.1989.
19. Robotic Cultivator : пат. 5442552 США : МПК G06F15/20. №32075; Заявл. 16.03.1993; Оpubл. 15.08.1995.
20. Camera steering system ROW-GUARD. *Einbock* : веб-сайт. URL: <https://www.einboeck.at/en/products/crop-care/camera-steering-system/row-guard>
21. Точная междурядная культивация. ROW-MASTER: RN, RN\_S : Проспект фірми BEDNAR FMT, s.r.o. URL: <https://www.bednar.com/upload/products/prospects/row-master-be3ro5yi8x.pdf>
22. Innovative operative machines for physical weed control on processing tomato in the Serchio Valley (Central Italy) / Fontanelli M., Raffaelli M., Ginanni M., Lulli L., Frascioni C., Sorelli F. and Peruzzi A. // 8<sup>th</sup> EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control, Zaragoza, Spain, 9-11 March 2009. – P. 41–48.