

К ВОПРОСУ МЕХАНИЗАЦИИ УБОРКИ ТОПИНАМБУРА

В.В. МИХЕЕВ, кандидат технических наук, ведущий специалист,
В.И. ЕРЕМЧЕНКО, кандидат технических наук, ведущий специалист,
П.А. ЕРЕМИН, научный сотрудник,
В.К. ПЫШКИН, кандидат технических наук, ведущий специалист

*Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ
109428, Россия, Москва, 1-й Институтский проезд, 5
e-mail: miheev-vim@mail.ru*

Выявлены основные проблемы механизации уборки клубней топинамбура. Даны результаты лабораторно-полевых исследований условий произрастания и отделения клубней топинамбура от стеблей в период его уборки. Средняя глубина залегания корневищ в почве 190–210 мм, средняя масса их 6,09 кг. Степень отделения клубней от корневища при однократном динамическом воздействии (падение с высоты 1,5 м) составляет до 26,01%; средние усилия на отрыв клубней от куста или столонов $4,40\text{--}12,42 \pm 0,1$ Н. Полное удаление клубней от корневища достигнуто при фиксации стеблей и корневища в неподвижном состоянии. Указанные усилия на отрыв клубней прикладывали как в направлении отрыва, так и с поворотом на угол 90–180°. Выявлены эффективные механико-технологические приемы отделения клубней топинамбура от корневища и стеблей. Они заключаются в совокупном воздействии сил динамического характера ударного типа, равноценных падению с высоты не менее 1,5 м, вращательных на угол 90–180° и отрывающих с усилием воздействия на клубни не менее 12,42 Н на корневище, клубни и столоны. Установлены состав, размещение, схемы и характер взаимодействия рабочих органов уборочной машины для осенней уборки топинамбура. Предложены инновационные схемы и состав рабочих органов машины для уборки топинамбура на базе адаптера к серийным уборочным машинам для картофеля. В составе ее рабочих органов использованы теребильный и поддерживающе-транспортирующий аппарат, отделяющие устройства, располагаемые над сепарирующим элеватором уборочной машины. Описана технология работы рабочих органов по элементам конструкции уборочной машины.

Ключевые слова: уборка, топинамбур, клубень, комбайн, адаптер

Топинамбур – естественный, восполняемый источник сырья широкого применения не только в России, но и в других странах [1]. Он широко распространен в мире и возделывается в различных почвенно-климатических зонах страны как кормовая, сырьевая и продовольственная культура. Топинамбур неприхотлив к агротехнике, не требует хороших почв, может возделываться на одном месте более 10 лет, дает хороший урожай без удобрений и орошения – 30–50 т/га. При соблюдении технологии рентабельность может достигать 350–400% и более [2]. Агротехнические приемы возделывания топинамбура и картофеля в основном схожи. При осенней уборке топинамбура важно правильно выбрать ее срок, чтобы сохранить оптимальный химический состав в клубнях и концентрацию нередуцирующих сахаров, например инулина [3, 4].

Применение картофелеуборочных машин для уборки топинамбура в осенний период не совсем оправдано, так как отделить клубни методами встряхивания и сепарацией на транспортерах сложно из-за прочных связей клубней с корневищем. Данная проблема тормозит рост производства топинамбура.

Цель исследования – определить эффективные механико-технологические приемы уборки топинамбура в осенний период.

В задачи исследований входило установить основные параметры корневищ топинамбура в типичных условиях произрастания; выявить эффективные механико-технологические приемы отделения клубней топинамбура от корневищ и столонов; определить величину и направление внешних усилий, приводящих к отделению клубней от корневища; установить состав, размещение, схемы и характер взаимодействия рабочих органов машин для уборки топинамбура.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в лабораторно-полевых условиях на базе ООО «АПК Редкинская» Тверской области в осенние периоды 2015–2017 гг. В опытах использованы посадки топинамбура (сорт С-12), возделываемые по гребневой технологии. Агротехнические характеристики посадок топинамбура и биологическую урожайность определяли в периоды его уборки. Устанавливали глубину залегания клубней и их выкапывания, степень выделения клубней из вороха, силы отрыва клубней от столонов и корневища.

Почва на опытных участках по механическому составу была типичной для зоны (легкий суглинок) влажностью 19–20%.

Глубину залегания клубней и их выкапывания устанавливали замерами линейкой (точность 1 мм). Они практически совпадали и составляли в среднем соответственно $190\text{--}210 \pm 50$ мм. При выборочном выкапывании корневищ использовали штыковую лопату (рис. 1).

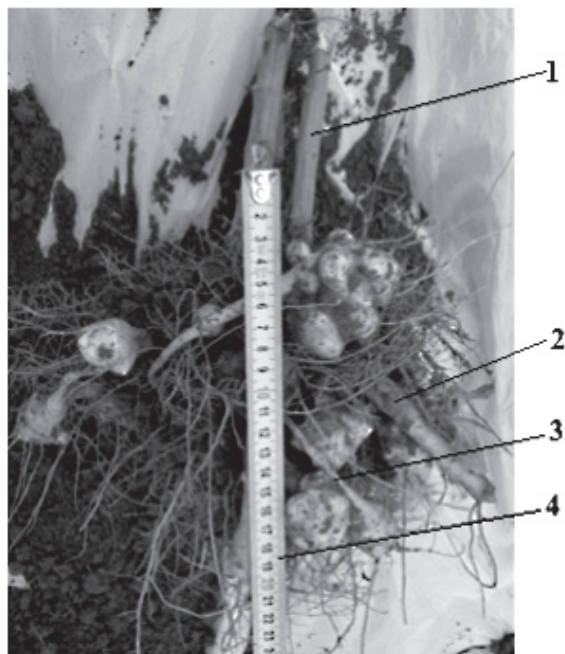


Рис. 1. Общий вид выкопанного корневища топинамбура при измерениях его характеристик: 1 – стебель; 2 – столон; 3 – клубень топинамбура; 4 – линейка

Fig. 1. General view of Jerusalem artichoke rhizome when measuring its parameters: 1 – stem; 2 – stolon; 3 – tuber; 4 – ruler

Степень выделения клубней из корневища определяли в следующей последовательности: верхнюю листостебельную часть топинамбура скашивали на высоте 20–25 см, шанцевым инструментом подкапывали куст, придерживая его стебли рукой, извлекали из гребня корневище с клубнями, столонами и землей. Не нарушая их связей, корневище (средней массой 6,09 кг) первый раз поднимали на высоту 0,5 м, сбрасывали на землю и подсчитывали массу отделившихся клубней. Затем корневище с неотделившимися клубнями еще раз сбрасывали с высоты 1,5; 2,0 м и т.д. Как и в первом случае, подсчитывали массу отделившихся клубней. Выбранные высоты сбрасывания и их кратность характерны для машинной уборки существующими комбайнами. После каждого сбрасывания определяли массу выкопанного корневища и оторвавшихся клубней. Для этого применяли ручные весы с погрешностью измерения ± 10 г. По средним показателям при пятикратной повторности устанавливали степень отделения клубней от корневища. Усилие отрыва клубней определяли динамометром с точностью 10 г, диаметр столонов, связывающих клубень с корневищем, измеряли штангенциркулем с точностью 0,1 мм. Угол вращения клубней составлял $90\text{--}180^\circ$, отрыв производили вручную горизонтальным усилием до 20 Н.

Состав, размещение, схему и характер взаимодействия рабочих органов машин для уборки топинамбура устанавливали аналоговым методом.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Максимальная степень отделения клубней составила 26,1% при падении с высоты 1,5 м (см. таблицу). В последующем увеличение высоты сбрасывания до 2 м и выше не привело к увеличению степени отделения клубней.

Оставшиеся на корневище клубни отделяли вручную, прикладывая значительное усилие, которое зависело от диаметра столона, связывающего клубень с корневищем: при диаметре $3 \pm 0,1$ мм средняя сила отрыва составила $4,40 \pm 0,1$ Н; $4 \pm 0,1$ мм – $9,33 \pm 0,1$ Н; $6 \pm 0,1$ мм – $12,42 \pm 0,1$ Н.

Средняя степень отделения клубней при разной высоте падения корневищ исходной средней массой 6,09 кг

The average degree of tuber separation at different height of falling, the average mass of a tuber is 6.09 kg

Высота сброса корневища с клубнями, м	Средняя масса оторвавшихся клубней, кг	Степень отделения клубней, %
0,5	0,44	7,20
1,5	1,59	26,10
2,0	0,34	5,58
2,5	0,25	4,1
Точность, кг	±0,01	±0,01

Отрыв происходил с меньшим усилием, если стебли корневища фиксировались в неподвижном состоянии, а усилие к клубням прикладывали в направлении как на отрыв, так и с поворотом на угол 90–180°.

Приведенные исследования по выявлению эффективного механико-технологического приема отделения клубней топинамбура от корневища показали, что полного отделения клубней от корневища можно достичь, только применяя динамические воздействия ударного типа, равноценные падению с высоты не менее 1,5 м, вращательные на угол 90–180°, а также отрывающие с усилием воздействия на клубни до 20 Н.

В существующих уборочных машинах, например картофелеуборочных, не имеется рабочих органов, осуществляющих указанные выше сложные воздействия на корневища [5–10]. Для этих целей требуется применять специальные машины, способные отделять клубни топинамбура при фиксации корневищ и осуществлять кроме ударного и вращательное воздействие с отрывом, т.е. выполнять многовекторные воздействия на клубни и столоны.

Анализ известных способов уборки топинамбура и средств механизации показал следующее:

– в разработанном ранее копателе-валкователе установка гребенки над сепарирующими первым и вторым элеваторами не способствовала качественному отделению клубней, хотя степень отделения была выше, чем на обычных копателях [8, 11];

– в другой машине [12, 13] использованы ворошиллки в виде роторов, установленные

на пути движения вороха, находящегося на сепарирующих транспортерах. Ворошиллки позволили увеличить активность разновекторного воздействия на ворох из корневищ топинамбура и степень отделения клубней. Однако механизм отрыва клубней, выполненный в виде роторов, установленных на пути движения вороха корневищ, является препятствием на пути транспортирования и способствует забиванию машины, повреждению клубней и выпадению корневищ из уборочной машины. Корневища ворошатся в течение короткого промежутка времени и только с одной стороны (размещения ротора), поэтому, даже вращаясь с большой скоростью, роторы не обеспечивают гарантированного отрыва клубней от корневищ без их повреждения.

С учетом проведенных исследований и недостатков известных уборочных машин нами предлагается адаптер к серийным картофелеуборочным машинам, состоящий из теребильного, поддерживающе-транспортирующего аппарата, отделяющего и очесывающего устройств (рис. 2) [14]. Предложенная машина (см. рис. 2, а) с инновационным адаптером включает уборочную машину 1, лемех 2, теребильное устройство 3, планчато-прутковый сепарирующий элеватор 4, пассивные секции 5. Теребильное устройство в виде двух бесконечных приводных гибких лент рабочих контуров установлено с зазором над планчато-прутковым сепарирующим элеватором вдоль его оси. Приводные гибкие ленты рабочих контуров теребильного устройства размещены слева и справа от оси рядка с оптимальным зазором, обеспечивающим захват и удержание стеблей топинамбура при рабочем ходе машины.

Пассивные секции 5 (см. рис. 2, б, в) установлены по высоте в промежутке между теребильным устройством 3 и планчато-прутковым сепарирующим элеватором 4. Эти секции выполнены из пружинных обрезиненных прутьев 6. Они закреплены на раме машины 1 попарно (зеркально друг к другу) в ряд с сужением к каждой следующей паре. При этом пассивные секции установлены под углом к рабочему контуру теребильного устройства с возможностью регулировки угла схождения по ходу пере-

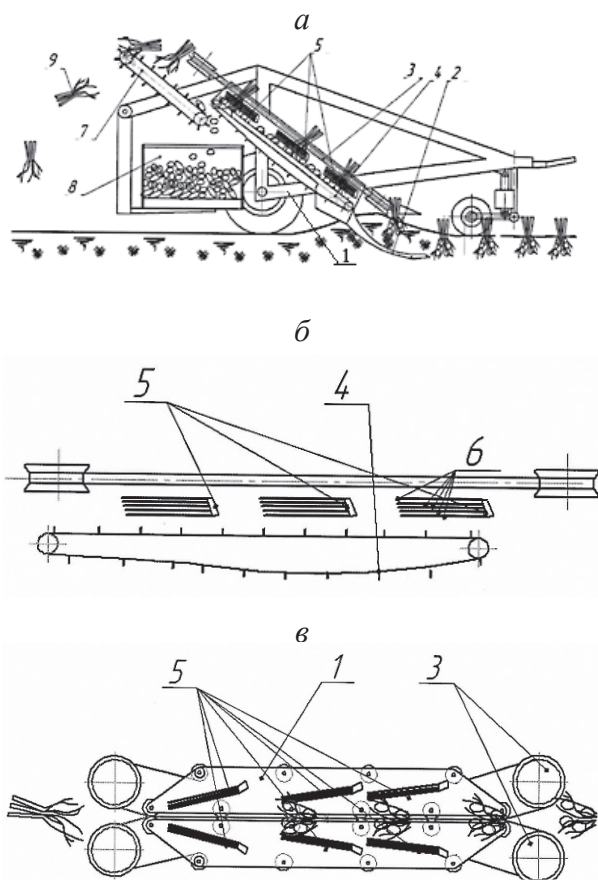


Рис. 2. Теребильно-очесывающий адаптер к уборочной машине для топинамбура:
а – общая схема (вид сбоку); б – вид сбоку;
в – сверху

Fig. 2. Pulling and stripping adapter to the harvesting machine for Jerusalem artichoke:
а – general scheme (side view); б – side view;
v – top view

мещения приводных гибких лент рабочих контуров теребильного устройства.

Технология уборки сводится к следующему: зеленую массу топинамбура предварительно скашивают на корм скоту, оставляя стебли высотой 20–25 см. Уборочная машина при движении между гребнями посадок топинамбура лемехом 2 подкапывает каждый куст топинамбура и частично разрушает его связь с почвой. Под действием подпора пласта почвы куст топинамбура со стеблями и корневищем поступает на элеватор 4. В этот момент стебли топинамбура захватываются и жестко фиксируются в вертикальном положении гибкими лентами рабочих контуров теребильного устройства. В таком состоянии куст топинамбура с корневищем и клубнями перемещается

над планчато-прутковым сепарирующим элеватором, где корневища с клубнями подвергаются снизу ударно-отрывающему воздействию со стороны планчато-пруткового элеватора и с двух сторон вращательно-отрывающему воздействию пружинных обрезиненных прутьев, установленных на пассивных секциях. В указанных зонах корневища взаимодействуют с пружинными обрезиненными прутьями и подвергаются разновекторному воздействию сил отрыва и кручения (не менее чем на 90°), что обеспечивает повышенный эффект отделения клубней. Отделенные клубни далее падают на нижний прутково-планчатый сепарирующий элеватор 4 и затем на пальчиковую горку 7, где окончательно очищаются и под своей массой скатываются в бункер 8 уборочной машины. Стебли 9 топинамбура после теребильного аппарата сбрасываются на поле. Далее клубни выгружаются из бункера в кузов транспортной машины.

ВЫВОДЫ

1. Выявлены основные проблемы механизации уборки клубней топинамбура. Приведены результаты лабораторно-полевых исследований уборки топинамбура: средняя глубина залегания корневищ в почве 190–210 мм, средняя масса 6,09 кг; степень отделения клубней от корневища при однократном динамическом воздействии (падение с высоты 1,5 м) до 26,01%; средние усилия на отрыв клубней от куста или столонов $4,40\text{--}12,42 \pm 0,1$ Н.

Полная уборка клубней осуществлена при фиксации стеблей и корневища в неподвижном состоянии, а указанные усилия на отрыв клубней прикладывали как на отрыв, так и с поворотом на угол $90\text{--}180^\circ$.

2. Установлены эффективные механико-технологические приемы отделения клубней топинамбура от корневища и стеблей, заключающиеся в совокупном воздействии сил динамического характера (ударного типа, равноценных падению с высоты не менее 1,5 м, вращательных на угол $90\text{--}180^\circ$) и отрывающих с усилием воздействия на клубни не менее 12,42 Н на корневище, клубни и столоны.

3. По методу аналогии и выявленным эффективным механико-технологическим приемам установлены состав, размещение, схемы и характер взаимодействия рабочих органов машины для уборки топинамбура. Предложен адаптер к серийным картофелеуборочным машинам для уборки топинамбура, содержащий теребильный, поддерживающе-транспортирующий аппарат, отделяющие устройства, который располагается над существующим на машинах сепарирующим элеватором. Полученные экспериментальные данные и предложения по составу рабочих органов адаптера будут использованы при проектировании машины для уборки топинамбура.

Выражаем благодарность руководителю компании ООО «Редкинская АПК» Тверской области М.П. Чуркину за организационную и техническую помощь в проведении исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Meyer R., Ratering T., Voss-Fels K.P. Technology options for feeding 10 billion people – Plant breeding and innovative agriculture' was carried out by the Institute for Technology Assessment and Systems Analysis (ITAS): The STOA project. – IP/A/STOA/FWC/2008-096/Lot7 /C1/SC1. – SC3. – October 2013.–194 p.
2. Покровская Г.И., Разина А.А. Высокие урожаи топинамбура в Восточной Сибири // Кормопроизводство.– 1993. – № 3. – С. 31–32.
3. Bach V., Kidmose U., Bjorn G.K. et al. Effects of harvest time and variety on sensory quality and chemical composition of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers // Food Chemistry. – 2012. – Vol. 133, Is. 1. – P. 82–89.
4. Левина Н.С., Тертышная Ю.В., Бидей И. А., Елизарова О.В. Исследование динамики накопления инулина в процессе вегетации топинамбура // Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства: сб. докл. междунар. науч.-техн. конф. – М.: ФГБНУ ВИМ, 2015. – Ч. 1. – С. 123–124.
5. Soltner H.J. Mechanisierung der Topinamburproduktion // Landtechnik. 1989. – Bd 44, H. 5. – S. 168–169.
6. Peters R., Solter H.J. Erste Erfahrung mit der lege und erntetechnik der topinambur // Der Kartoffel bau. – 1988. – N 12. – S. 396–398.
7. Barloy J. Techniques of cultivation and production of the Jerusalem artichoke, in Topinambour (Jerusalem Artichoke) // Report EUR11855, Grassi G. and Gosse G., Eds., Commission of the European Communities (CEC). – Luxembourg, 1988. – P. 45–57.
8. Рейнгарт Э.С., Сорокин А.А., Пономарев А.Г. и др. Технологии и комплекс машин для производства топинамбура // Тракторы и с.-х. машины. – 2003. – № 11. – С. 30–31.
9. Рейнгарт Э.С., Сорокин А.А., Пономарев А.Г. Унифицированные картофелеуборочные машины нового поколения // Тракторы и с.-х. машины. – 2006. – № 10. – С. 3–5.
10. Калинин А. Комплекс машин Grimme для возделывания топинамбура // Картофельная система. – 2017. – № 2. – С. 32–47.
11. А.с. СССР SU735205 Корнеклубнеуборочная машина / Э.С. Рейнгарт, Н.Ф. Диденко, Л.И. Левчук, В.А. Филиппова (СССР); 2637540/30-15; заявл. 03.07.78; опубл. 25.05.80. – Бюл. № 19.
12. А.с. СССР SU1256712 МКИ А 01 D 27/04; Теребильный аппарат для корнеклубнеуборочной машины / В.А. Хвостов, Л.И. Левчук, Э.С. Рейнгарт и др.; опубл. 15.09.86; Бюл. № 34.
13. Пат. РФ № 2579274. Копатель-валкоуладчик для уборки клубней топинамбура / В.В. Михеев, В.П. Елизаров, В.И. Еремченко и др.; заявл. 17.12.14, опубл. 10.04.16; Бюл. № 10.
14. Пат. РФ № 2650390. Теребильно-очесывающий адаптер для уборки топинамбура / В.В. Михеев, П.А. Ерёмин, А.Ю. Измайлов и др.; опубл. 2018; Бюл. № 4.

REFERENCES

1. Meyer R., Ratering T., Voss-Fels K.P. Technology options for feeding 10 billion people – Plant breeding and innovative agriculture' was carried out by the Institute for Technology Assessment and Systems Analysis (ITAS): The STOA project. – IP/A/STOA/FWC/2008-096/Lot7 /C1/SC1. – SC3. – October 2013.–194 p.
2. Pokrovskaya G.I., Razina A.A. Vysokie urozhai topinambura v Vostochnoi Sibiri // Kormoproizvodstvo.– 1993. – № 3. – S. 31–32.
3. Bach V., Kidmose U., Bjorn G.K. et al. Effects of harvest time and variety on sensory quality and chemical composition of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers // Food Chemistry. – 2012. – Vol. 133, Is. 1. – P. 82–89.
4. Levina N.S., Tertyshnaya Yu.V., Bidei I.A., Elizarova O.V. Issledovanie dinamiki nakopleniya inulina v protsesse vegetatsii topinam-

- bura // Intellektual'nye mashinnye tekhnologii i tekhnika dlya realizatsii Gosudarstvennoi programmy razvitiya sel'skogo khozyaistva: sb. dokl. mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. – M.: FGBNUVIM, 2015. – Ch. 1. – S. 123–124.
5. **Soltner H.J.** Mechanisierung der Topinamburproduktion // Landtechnik. 1989. – Bd 44, H. 5. – S. 168–169.
 6. **Peters R., Solter H.J.** Erste Erfahrung mit der lege und erntetechnik der topinambur // Der Kartoffel bau. – 1988. – N 12. – S. 396–398.
 7. **Barloy J.** Techniques of cultivation and production of the Jerusalem artichoke, in Topinambour (Jerusalem Artichoke) // Report EUR11855, Grassi G. and Gosse G., Eds., Commission of the European Communities (CEC). – Luxembourg, 1988. – P. 45–57.
 8. **Reingart E.S., Sorokin A.A., Ponomarev A.G. i dr.** Tekhnologii i kompleks mashin dlya proizvodstva topinambura // Traktory i s.-kh. mashiny. – 2003. – № 11. – S. 30–31.
 9. **Reingart E.S., Sorokin A.A., Ponomarev A.G.** Unifitsirovannye kartofeleuborochnye mashiny novogo pokoleniya // Traktory i s.-kh. mashiny. – 2006. – № 10. – S. 3–5.
 10. **Kalinin A.** Kompleks mashin Grimme dlya vzdelyvaniya topinambura // Kartofel'naya sistema. – 2017. – № 2. – S. 32–47.
 11. **A.s.** SSSR SU735205 Korneklubneuborochnaya mashina / E.S. Reingart, N.F. Didenko, L.I. Levchuk, V.A. Filippova (SSSR); 2637540/30-15; zayavl. 03.07.78; opubl. 25.05.80. – Byul. № 19.
 12. **A.s.** SSSR SU1256712 MKI A 01 D 27/04; Terebil'nyi apparat dlya korneklubneuborochnoi mashiny / V.A. Khvostov, L.I. Levchuk, E.S. Reingart i dr.; opubl. 15.09.86; Byul. № 34.
 13. **Pat.** RF №2579274. Kopatel'-valkoukladchik dlya uborki klubnei topinambura / V.V. Mikheev, V.P. Elizarov, V.I. Eremchenko i dr.; zayavl. 17.12.14, opubl. 10.04.16; Byul. № 10.
 14. **Pat.** RF №2650390. Terebil'no-ochesyvayushchii adapter dlya uborki topinambura / V.V. Mikheev, P.A. Eremin, A.Yu. Izmailov i dr.; opubl. 2018; Byul. № 4.

MECHANIZATION OF HARVESTING OF JERUSALEM ARTICHOKE

**V.V. MIKHEEV, Candidate of Science in Engineering, Leading Specialist,
V.I. EREMCHENKO, Candidate of Science in Engineering, Leading Specialist,
V.K. PYSHKIN, Candidate of Science in Engineering, Leading Specialist,
P.A. EREMIN, Researcher**

*Federal Research Agro-Engineering Center VIM,
1st Institutskiy proezd, 5, Moscow, 109428, Russia,
e-mail: miheev-vim@mail.ru*

The main mechanization harvesting problems of Jerusalem artichoke tubers are revealed. The results of laboratory and field studies of the conditions for the growth and separation of Jerusalem artichoke tubers from stems during harvesting are given. The average depth of occurrence of rhizomes in the soil is 190–210 mm, their average mass is 6.09 kg. The degree of separation of tubers from the rhizome with a single dynamic effect (falling from the height of 1.5 m) accounts for 26.01%; the average effort to tear tubers from the bush or stolons is $4.40 \dots 12.42 \pm 0.1$ N. The complete removal of tubers from the rhizome is achieved by fixing the stems and rhizomes in a stationary condition. The above efforts to tear the tubers were applied in the direction of both tearing them off and turning them at an angle of $90 \dots 180^\circ$. Effective mechanical and technological methods of separation of Jerusalem artichoke tubers from rhizome and stems are identified. They consist of the combined effect of dynamic forces of the impact type, equivalent to a fall from the height of not less than 1.5 m, rotational at an angle $90 \dots 180^\circ$ and the tearing off effects on tubers of at least 12.42 N on the rhizome, tubers and stolons. The composition, arrangement, schemes and interaction of the harvesting machine working parts for autumn harvesting of Jerusalem artichoke are established. Innovative schemes and composition of the working parts of a harvesting machine for harvesting Jerusalem artichoke, based on an adapter to serial harvesting machines for potatoes, are proposed. Working parts of the harvesting machine include a pulling and supporting-conveying device as well as separating devices located above the separating elevator of the harvesting machine. The technology of operation of the working parts by the elements of the harvesting machine design is described.

Keywords: harvesting, Jerusalem artichoke, tuber, harvesting machine, adapter

Поступила в редакцию 03.03.2018