

2. Контейнеровоз должен иметь высококлиренсную порталную конструкцию и обеспечивать возможность многоярусной установки не менее 9 порожних контейнеров.
3. Ширина плодуборочного агрегата должна быть переменной и составлять от 2,3 до 3,4 м.
4. Сборщики плодов на агрегате должны быть размещены на трех ярусах.
5. Высота первого яруса $H_я$ должна составлять 0,6–1,9 м, второго – 1,9–3,2 м; третьего – 3,2–4,5 м.
6. Диапазон изменения высоты положения площадки второго яруса должен составлять 0,9 м, третьего – 1,4 м.

Литература

1. Сельское хозяйство Республики Беларусь: статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2013. – 364 с.
2. Варламов, Г. П. Машины для уборки фруктов / Г. П. Варламов. – М.: Машиностроение, 1978. – 216 с.
3. Юрин, А. Н. Агрегат для уборки плодов и обрезки деревьев в садах / А. Н. Юрин, А. А. Лях // Сельскохозяйственная научно-техническая и рыночная информация. – 2013. – № 8. – С. 39–43.
4. Юрин, А. Н. Агрегат самоходный универсальный АСУ-6 для уборки плодов и обрезки деревьев в садах интенсивного типа / А. Н. Юрин, А. А. Лях, В. М. Резвинский, А. Д. Кузнецов // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб.: в 2 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2013. – Вып. 47. – Т. 1. – С. 218–224.

УДК 631.331.022

Поступила в редакцию 06.10.2017
Received 06.10.2017

А. Н. Юрин, В. В. Викторovich

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: anton-jurin@rambler.ru; lab_plodoyagoda@mail.ru*

ОБОСНОВАНИЕ РАБОЧЕЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПЛОДУБОРОЧНОГО АГРЕГАТА

В статье приводятся результаты анализа рабочего процесса многоместных мобильных платформ для уборки плодов и даются предложения по наиболее перспективной схеме агрегата для уборки десертных плодов.

Ключевые слова: плодоводство, уборка плодов, механизированные работы, производительность труда сборщиков плодов, рабочий процесс, многоместные мобильные платформы, теория систем массового обслуживания с отказами.

A. N. Jurin, V. V. Viktorovich

*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: anton-jurin@rambler.ru; lab_plodoyagoda@mail.ru*

EXPERIMENTAL STUDIES OF DAMAGE TO FRUITS AT THEIR MECHANIZED CLEANING

The article presents the results of the performed studies on the analysis of the working process of multi-seat mobile platforms for fruit harvesting and gives suggestions on the most promising scheme of the unit for harvesting dessert fruits.

Keywords: fruit-growing, harvesting of fruits, mechanized work, productivity of fruit pickers, the working process, multi-seat mobile platforms, queuing theory of queuing systems.

Введение

В соответствии с нормами рационального питания и условиями продовольственной безопасности каждый человек должен потреблять в год 90–100 кг плодов и ягод, без учета цитрусовых. В Республике Беларусь душевое потребление плодов и ягод отечественного производства

составляет около 20 кг, общее же потребление – около 60 кг. При этом общее потребление плодово-ягодной продукции в год на одного человека в США – 127 кг, Франции – 135 кг, Германии – 126 кг, Италии – 187 кг.

В результате республика вынуждена импортировать свежую плодово-ягодную продукцию. В 2015 году объем поставок составил 1649,8 тыс. тонн. При этом импорт плодово-ягодной продукции за последние 5 лет увеличился в 4 раза.

В то же время плодородческая отрасль в Беларуси располагает потенциальными возможностями для увеличения объемов производства плодов и ягод при высоком уровне окупаемости затрат и рентабельности отрасли. Отрасль также обладает высоким экспортным потенциалом, принимая в внимание крайне низкий объем душевого потребления плодов и ягод в соседних государствах (Россия – 18 кг, Казахстан – 12 кг, Украина – 44 кг).

При этом плодородство в Беларуси остается одной из наименее механизированных отраслей сельского хозяйства – доля механизированных работ не превышает 25...30 %, а затраты на содержание и обслуживание плодоносящего сада или ягодника составляют до 8,9 млн чел.-ч/га, что негативно сказывается на качестве производимой продукции и ее стоимости за счет несоблюдения агротехнических сроков уборки плодов и ягод.

Несмотря на высокую ресурсоемкость производства плодово-ягодной продукции, плодородство рентабельно более чем на 200 % по сравнению с возделыванием однолетних полевых культур. Прибыль от реализации плодово-ягодной продукции в 3–9 раз больше, чем от реализации пшеницы и других однолетних культур.

Уборка плодов – заключительная и решающая операция в общем плане работ по выращиванию плодов, которая во многом определяет качественные и количественные показатели производимой продукции и экономики отрасли в целом.

Объекты и методы исследований

Объектом исследований являлись механизированные средства для уборки плодов. При исследовании применялась теория систем массового обслуживания с отказами.

Результаты исследований

Производительность труда сборщиков плодов или обрезчиков, а также качество выполнения операций зависят от ряда факторов, таких как скорость движения платформы, количество сборщиков или обрезчиков в рабочей зоне, плотность и характер распределения плодов или удаляемых ветвей в кроне деревьев, компоновка рабочих мест, а также эргономические способности рабочих.

В связи с большим числом взаимосвязанных факторов решение такой задачи чисто экспериментальным путем трудоемко и недостаточно надежно. Поэтому определение оптимальных режимов движения платформы для заданных агротехнических условий может быть достигнуто на основании комплексных исследований.

В данном случае движущаяся платформа с рабочими и деревья с плодами или ветвями, подлежащими съему или удалению, рассматриваются как система массового обслуживания, включающая определенное число обслуживающих единиц и поступающий поток плодов или ветвей. В дальнейшем будем называть обслуживающие единицы каналами обслуживания, а поток плодов или ветвей – заявками. Работа такой системы заключается в обслуживании заявок, которые поступают к рабочему месту в случайные моменты времени. Эти заявки обслуживаются некоторое время, после чего канал освобождается и готов обслужить очередную заявку.

Анализ условий функционирования системы и событий, происходящих при сборе плодов или срезании ветвей рабочими, находящимися на подвижной платформе, дает основание считать ее, с определенным приближением, системой массового обслуживания с отказами. В такой системе заявка, пришедшая в момент, когда каналы обслуживания заняты, получает отказ и покидает ее. Подобный случай произойдет тогда, когда рабочий не сможет справиться с потоком поступающих плодов или ветвей, в результате часть из них останется на деревьях.

С известным приближением поток поступающих плодов или ветвей можно считать пуассоновским, так как если одиночные точки распределены в поле статистически равномерно, со средней плотностью X и попадают в неперекрывающиеся области независимым образом, то такое распределение в основном подчиняется закону Пуассона:

$$P_k = \frac{\alpha^k}{k!} e^{-\alpha},$$

где α – среднее число точек, попадающих в область D .

Для случая распределения точек в пространстве объемом V_D значение $\alpha = V_D \lambda$.

Работа системы массового обслуживания с отказами определяется следующими параметрами: числом n каналов обслуживания, плотностью λ потока заявок, плотностью $\mu = 1/t_{\text{обсл}}$ обслуживания одного канала, средним временем $t_{\text{обсл}}$ обслуживания одной заявки.

Для установившегося режима работы системы с отказами вероятность состояний определяется формулой Эрланга:

$$P_k = \frac{\alpha^k / k!}{\sum_{k=0}^n \alpha^k / k!} (k = 0, 1, \dots, n), \quad (1)$$

где $\alpha = \frac{\lambda}{\mu} = \lambda \cdot t_{\text{обсл}}$ – приведенная плотность заявок, то есть среднее число заявок, приходящих на среднее время обслуживания одной заявки;

k – число занятых каналов.

В качестве одной заявки для удобства изложения системы массового обслуживания с отказами в дальнейшем подразумеваем одиночный плод или совокупность плодов, а в качестве канала – приемный ленточный конвейер (лоток).

Равенство (1) представляет собой закон распределения числа занятых каналов в зависимости от характеристик потока заявок и производительности системы обслуживания. Рассматривая случай, когда $k = n$, получим вероятность отказа системы, то есть вероятность того, что поступившая заявка найдет все каналы занятыми:

$$P_{\text{отк}} = P_k = \frac{\alpha^n / n!}{\sum_{n=0}^n \alpha^n / n!}.$$

В частности, для одноканальной системы $n = 1$ получается:

$$P_{\text{отк}} = P_1 = \frac{\alpha}{1 + \alpha}.$$

Вероятности P_k могут быть вычислены с помощью таблиц пуассоновского распределения по формуле:

$$P_k = \frac{P(k; \alpha)}{R(n; \alpha)} = \frac{R(k; \alpha) - R(k-1; \alpha)}{R(n; \alpha)} (k = 0, 1, \dots, n).$$

Вероятность того, что заявка будет обслужена определенным каналом и не получит отказа, выражается формулой:

$$P_{\text{обсл}} = 1 - P_k = 1 - \frac{P(n; \alpha)}{R(n; \alpha)} = \frac{R(n-1; \alpha)}{R(n; \alpha)}.$$

Среднее число занятых каналов составляет

$$k = \alpha \cdot P_{\text{обсл}}.$$

Вероятность того, что канал занят, выражается формулой:

$$P_{\text{зан}} = \frac{k}{n} = \frac{\alpha}{n} \cdot P_{\text{обсл}}.$$

Среднее время простоя канала

$$t_{\text{пр}} = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{1 - P_{\text{зан}}}{P_{\text{зан}}}$$

Приведенные формулы справедливы для случая, когда время обслуживания и плотность потока заявок подчиняются показательному закону распределения:

$$q(t) = \mu e^{-\mu t} (t > 0); \quad f(t) = \lambda e^{-\lambda t} (t > 0).$$

На основании результатов исследований систем массового обслуживания можно сделать вывод, что формулы Эрланга остаются справедливыми при любом законе распределения времени, но при условии, что поток заявок будет стационарным пуассоновским. Этим условиям в основном отвечает поток плодов, поступающих к рабочим на платформе, то есть заявки, как правило, ординарны. Отдельные скопления плодов можно рассматривать как единичную заявку, так как она может быть обслужена рабочим за один прием.

Для эффективного использования многоместной мобильной платформы необходимо уметь определять оптимальную скорость ее перемещения при различном характере и плотности распределения плодов в сфере действия каждого канала обслуживания и разной плотности обслуживания заявок в зависимости от количества рабочих, обслуживающих ярус или платформу в целом. Наиболее эффективное использование обслуживающего персонала будет достигнуто при перемещении платформы с такой скоростью, при которой рабочий сможет обслужить наибольшее количество заявок, а количество отказов в обслуживании будет минимальным.

Конкретные данные о плотности плодов на дереве, зависящие от возраста и размера дерева, влияют на производительность мобильной платформы, которая, в свою очередь, зависит от индивидуальных способностей рабочих и условий их работы. Такие данные могут быть получены только в результате экспериментальных исследований.

На рисунке 1 показаны интегральные кривые плотности распределения плодов по высоте в кроне плодовых деревьев пальметтной формировки шести-семилетнего возраста пяти наиболее распространенных сортов плодов.

С помощью данных этого графика можно определить размеры и расположение ярусов, имеющих равнозначную плотность плодов, а значит, определить оптимальную компоновку рабочих площадок платформы. Так, при трехъярусной компоновке рабочих площадок платформы размеры равнозначных (по плотности плодов) ярусов, содержащих примерно по 33 % плодов, будут следующими: нижний ярус будет иметь высоту до 0,8 м от уровня почвы, средний ярус расположится на высоте 0,8–1,5 м, верхний – на высоте 1,5–3,5 м.

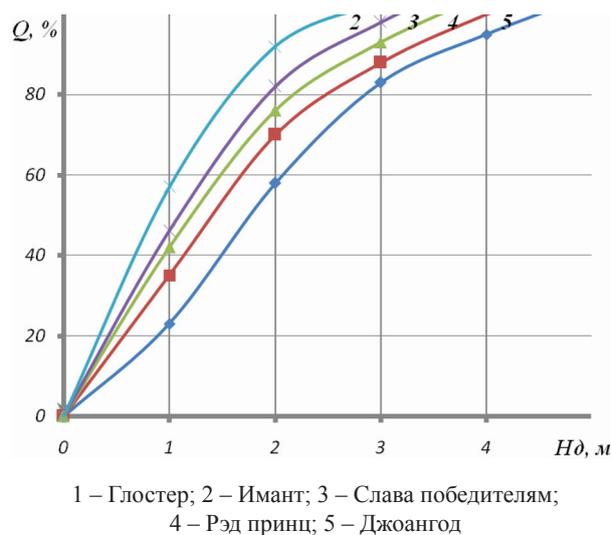
На рисунке 2 показана диаграмма плотности плодов $q_{\text{пл}}$ (в штуках на метр яруса) для различных ярусов деревьев.

При известной плотности плодов $q_{\text{пл}}$ и скорости движения платформы можно определить плотность потока заявок по формуле:

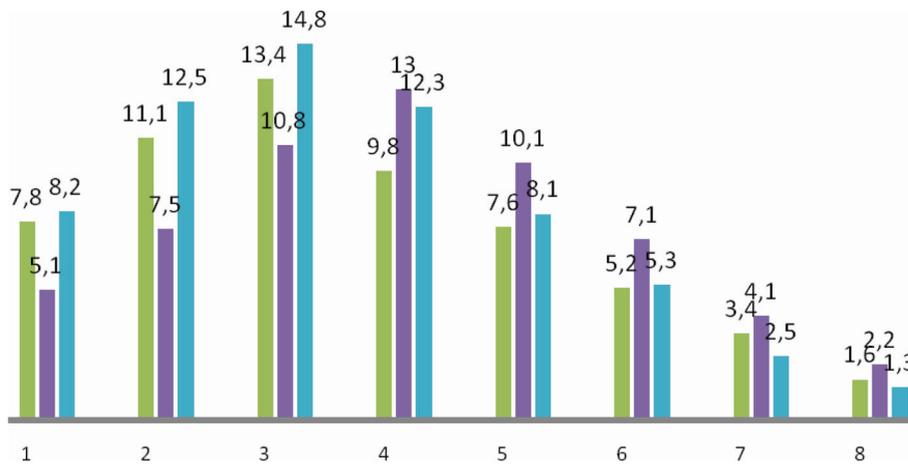
$$\lambda_{\text{пл}} = q_{\text{пл}} V_{\text{плт}}$$

Изучение способностей сборщиков проводилось многими исследователями, которые устанавливали производительность труда рабочих на сборе плодов с деревьев, имеющих различную плотность и характер распределения плодов.

Установлено, что производительность труда квалифицированных сборщиков составляет 65–105 плодов в минуту, сборщиков средней



1 – Глостер; 2 – Имант; 3 – Слава победителям; 4 – Рэд принц; 5 – Джоангод
Рисунок 1. – Интегральные кривые плотности распределения плодов в кроне плодовых деревьев пальметтной формировки



1 – высота 0,5 м; 2 – высота 1,0 м; 3 – высота 1,5 м; 4 – высота 2,0 м; 5 – высота 2,5 м; 6 – высота 3,0 м; 7 – высота 3,5 м; 8 – высота 4,0 м (зеленый – Глостер; синий – Имант; голубой – Рэд принц)

Рисунок 2. – Диаграмма плотности распределения плодов в ярусах кроны плодовых деревьев пальметтной формировки

квалификации 50–94 плода в минуту. Среднее время на обслуживание заявки (съем одного плода) колеблется в пределах соответственно для квалифицированных сборщиков 0,5– 0,92 с, для сборщиков средней квалификации – 0,63–1,2 с. Полагая, что в основном на платформе будут работать сборщики средней квалификации, плотность потока обслуживания может быть принята $\mu_{пл} = 0,6–1,2$ с.

Проведенные исследования позволяют построить номограмму, связывающую вероятность обслуживания заявок с количеством каналов обслуживания n , плотность потока обслуживания с приведенной плотностью потока заявок α и скоростью движения платформы $V_{плт}$. На рисунке 3 приведена номограмма для определения рабочих режимов мобильной платформы для сбора плодов семечковых и косточковых культур.

С помощью этой номограммы можно, задаваясь требуемой полнотой съема плодов, определить скорость движения платформы при соответствующих α , μ и плотности плодов $q_{пл}$.

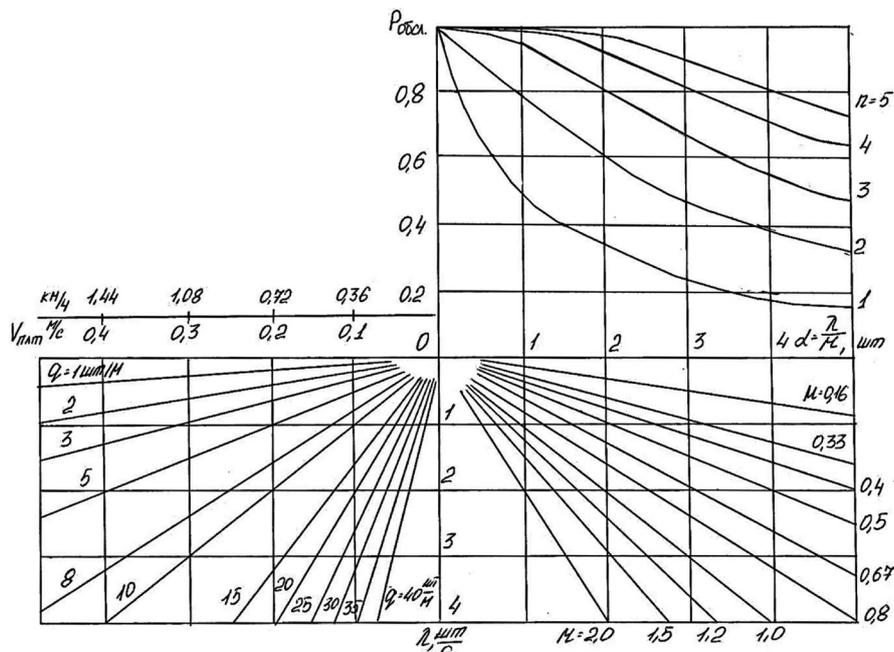


Рисунок 3. – Номограмма для определения рабочих режимов мобильной платформы для сбора плодов и обрезки плодовых деревьев

Исходя из целесообразности компоновки рабочих площадок плодосборной платформы, определяем необходимое количество рабочих ярусов, после чего, пользуясь графиками распределения плодов, устанавливаем размеры ярусов, а также плотность плодов $q_{пл}$ в каждом ярусе. Затем, задаваясь необходимой полнотой съема плодов, определяем оптимальную скорость движения платформы. Так, если требуемая полнота съема плодов должна быть не менее 90 % и ярус с плотностью $q_{пл} = 15$ плодов на 1 м обслуживается двумя сборщиками, обеспечивающими плотность обслуживания заявок $\mu_{пл} = 1$, то рабочая скорость передвижения платформы должна быть $V_{плт} = 0,12$ км/ч.

Сравнение средних скоростей движения платформы, полученных в результате исследований, со скоростью, определяемой по номограмме, показывает достаточно удовлетворительное совпадение экспериментальных и расчетных данных. Так, на участке сада со средней урожайностью 109 ц/га (что соответствует средней плотности плодов в каждом из трех ярусов $q_{пл} = 10$ плодов на 1 м) замеренное значение средней скорости движения платформы при обслуживании каждого яруса одним рабочим составляло 0,042 км/ч. По номограмме для этих же условий при $\mu_{пл} = 1$ скорость платформы составляет 0,038 км/ч, то есть расхождение не превышает 10 %.

Представленная номограмма позволяет сделать вывод, что для увеличения скорости движения платформы и повышения эффективности ее применения целесообразно увеличить число рабочих на каждом канале обслуживания. Например, при увеличении числа рабочих на каждом из каналов с двух до четырех ($P_{обсл} = 0,9$, $\mu = 1$, $q_{пл} = 15$ плод./м) скорость платформы может быть увеличена почти в 4 раза. В этом же случае можно обеспечивать более высокую полноту съема плодов ($P_{обсл} = 0,98$) при повышении скорости платформы в 2 раза.

Таким образом, с увеличением числа рабочих обеспечивается более эффективное их использование и повышается полнота съема плодов.

Для уточнения этого вывода с помощью формулы была выявлена зависимость простоя каналов обслуживания от приведенной плотности потока заявок в ярусе при $\mu_{пл} = 1$. Результаты расчетов показаны на рисунке 4, из которого видно, что среднее время простоя каждого канала обслуживания при увеличении их числа возрастает. Однако в этом случае, как следует из номограммы (рисунок 3), может быть увеличена производительность платформы в результате повышения приведенной плотности потока заявок α до 2,1, в связи с чем среднее время простоя каналов обслуживания практически не возрастает. Это подтверждает целесообразность увеличения количества рабочих на платформе для повышения эффективности ее применения.

Следует отметить, что скорость движения платформы нельзя увеличивать беспрестанно, так как может наступить момент, когда за промежуток времени заявки очередная заявка переместится за пределы зоны действия сборщика. Исходя из этого условия, предельная скорость движения платформы

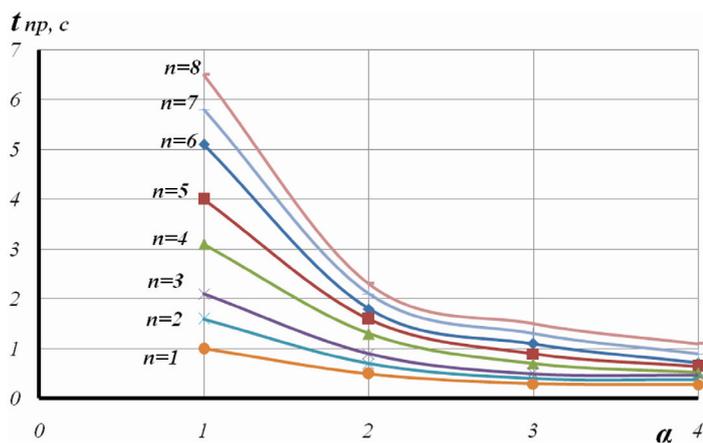


Рисунок 4. – Зависимость простоя каналов обслуживания от их числа и приведенной плотности потока заявок в ярусе крон

$$[V_{плт}] = \frac{\alpha}{q_{пл}}$$

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что при анализе рабочего процесса многоместных мобильных платформ для уборки плодов приемлема теория систем массового обслуживания с отказами.

Заклучение

При анализе рабочего процесса многоместных мобильных платформ для уборки плодов приемлема теория систем массового обслуживания с отказами.

Номограмма для определения рабочих режимов мобильной платформы позволяет определить допустимую рабочую скорость движения плодуборочной платформы в зависимости от полноты уборки плодов, количества сборщиков, плотности распределения плодов на дереве и времени, затрачиваемого сборщиком на уборку одного плода.

Литература

1. Сельское хозяйство Республики Беларусь: статистический сборник/ Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2013. – 364 с.
2. Варламов, Г. П. Машины для уборки фруктов / Г. П. Варламов. – М.: Машиностроение, 1978. – 216 с.
3. Юрин, А. Н. Агрегат для уборки плодов и обрезки деревьев в садах / А. Н. Юрин, А. А. Лях // Сельскохозяйственная научно-техническая и рыночная информация. – 2013. – № 8. – С. 39–43.
4. Юрин, А. Н. Агрегат самоходный универсальный АСУ-6 для уборки плодов и обрезки деревьев в садах интенсивного типа / А. Н. Юрин, А. А. Лях, В. М. Резвинский, А. Д. Кузнецов // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб.: в 2 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2013. – Вып. 47. – Т. 1. – С. 218–224.

УДК 631.331.022

Поступила в редакцию 06.10.2017
Received 06.10.2017

А. Н. Юрин, В. В. Викторovich

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: anton-jurin@rambler.ru; lab_plodoyagoda@mail.ru*

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЛНОТЫ СБОРА ПЛОДОВ И ИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ УБОРКЕ

В статье изложено обоснование рабочей скорости движения плодуборочной платформы, а также представлены зависимости количества поврежденных плодов от скорости их столкновения и времени, затраченного сборщиком на уборку одного плода.

Ключевые слова: плодоводство, уборка плодов, механизированные работы, производительность труда сборщиков плодов, рабочий процесс, многоместные мобильные платформы, теория систем массового обслуживания с отказами.

A. N. Jurin, V. V. Viktorovich

*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: anton-jurin@rambler.ru; lab_plodoyagoda@mail.ru*

JUSTIFICATION OF WORKING SPEED OF MOVEMENT OF FRUIT-CLEANING UNIT

The article presents the results of the performed studies on the analysis of the working process of multi-seat mobile platforms for fruit harvesting and gives suggestions on the most promising scheme of the unit for harvesting dessert fruits.

Keywords: fruit-growing, harvesting of fruits, mechanized work, productivity of fruit pickers, the working process, multi-seat mobile platforms, queuing theory of queuing systems.

Введение

Уборка плодов – заключительная и решающая операция при возделывании многолетних насаждений, определяющая качественные и количественные показатели производимой продукции, на выполнение которой приходится 20–40 % всех затрат на производство плодов [1].