

Балкаров Р. А., Балкаров А. Р.

Balkarov R. A., Balkarov A. R.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ОБОСНОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
СРЕДСТВ ДЛЯ ТОВАРНОЙ ОБРАБОТКИ ФРУКТОВ**

**RESULTS OF SUBSTANTIATION OF RATIONAL MODES OF OPERATION
OF MEANS FOR COMMODITY FRUIT PROCESSING**

Работа посвящена актуальным аспектам одной из наиболее трудоемких операций, обоснованию рациональных режимов работы средств для товарной обработки фруктов в условиях горного и предгорного садоводства КБР. Подразумеваются под такими средствами разные виды используемых средств, начиная от ручного перебора плодов до линии товарной обработки.

Задача заключается в установлении рациональных количественных соотношений между плотностью потока плодов и сортировщиками, а также пропускной способностью для обеспечения бесперебойной нормальной работы всей линии товарной обработки плодов.

Предполагается, что на линию обработки плодов прибывает пуассоновский поток требований, поэтому решение подобной задачи осуществляется методами теории массового обслуживания.

Результаты расчетов для выбора эффективного режима работы сортировального пункта для удобства практического применения представлены в виде номограммы.

Статья представляет интерес для специалистов сельского хозяйства, научных сотрудников, преподавателей и студентов аграрных ВУЗов.

Ключевые слова: линия товарной обработки плодов и сортировщиков, рациональный режим,

взаимосвязанная работа, вероятностный характер, теория массового обслуживания.

The work is devoted to the actual aspects of one of the most labor-intensive operations, the justification of rational modes of operation of means for commodity fruit processing in the conditions of mountain and foothill gardening of the KBR. This means that different types of tools are used, ranging from manual sorting of fruits to the line of commodity processing. The task is to establish rational quantitative relations between the density of the fruit flow and the sorters, as well as the throughput capacity to ensure uninterrupted normal operation of the entire line of commodity fruit processing. It is assumed that a Poisson flow of requirements arrives at the fruit processing line, so the solution of such a problem is carried out by the methods of queuing theory. The results of calculations for the selection of the effective mode of operation of the sorting station for the convenience of practical application are presented in the form of a nomogram.

The article is of interest to agricultural specialists, researchers, teachers and students of agricultural universities.

Key words: line of commodity processing of fruits and sorters, rational mode, interconnected work, probabilistic nature, queuing theory.

Балкаров Руслан Асланбиевич – доктор технических наук, профессор кафедры технологии обслуживания и ремонта машин в АПК, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик
Тел.: 8 903 425 00 59
E-mail: rus.balkarov.52@mailru
Balkarov Ruslan Aslanbievich –

Doctor of TECHNICAL Sciences, Professor of the Department of Machine Maintenance and Repair Technology in Agro-Industrial Complex, FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik
Tel.: 8 903 425 00 59
E-mail: rus.balkarov.52@mailru
Балкаров Алим Русланович –

Введение. Работа посвящена актуальным аспектам одной из наиболее трудоемких операций, обоснованию рациональных режимов работы средств для товарной обработки фруктов в условиях горного и предгорного садоводства КБР. Под такими средствами понимаются все виды используемых средств, от ручного перебора фруктов до технологической линии товарной обработки [1-4].

Считается, что все операции по сортированию, калиброванию и упаковыванию фруктов входят в понятие «товарная обработка» [5].

В условиях предгорного интенсивного садоводства КБР товарная обработка фруктов пока выполняется ручным способом, это приводит к увеличению затрат труда и уменьшению прибыли. В перспективе ожидается что, товарная обработка фруктов в условиях КБР также должна быть полностью механизирована и автоматизирована, в связи с этим последующие наши исследования проводятся с учетом этого обстоятельства.

Методология проведения работ. Задача заключается в установлении рациональных количественных соотношений между плотностью потока плодов и сортировщиками, а также пропускной способностью для обеспечения бесперебойной нормальной работы всей линии товарной обработки плодов. При этом допускается приближенно, что на линию обработки плодов прибывает пуассоновский поток требований, решение аналогичной задачи выполняется методами теории массового обслуживания.

Результаты исследования. 1. Результаты обоснования потребного количества сортировщиков при ручном сортировании фруктов.

При ручном сортировании фруктов имеет место разомкнутая СМО. Под одним требованием при этом подразумевается масса фруктов, доставляемая одним транспортным средством. Плотность таких

требований λ и интенсивность обслуживания μ этих требований определяются по аналогии с [7]. Средняя продолжительность обслуживания (сортирования и упаковки) при этом определяется из равенства:

$$t_{об} = \frac{Q_T K_T}{n_C W_{C1}}, \quad (1)$$

где:

Q_T – грузоподъемность транспортного средства, кг;

K_T – коэффициент использования грузоподъемности;

n_C – количество сортировщиков;

W_{C1} – производительность одного сортировщика, кг/ч.

Соответственно, для интенсивности обслуживания μ получим:

$$\mu = \frac{1}{t_{об}} = \frac{n_C W_{C1}}{Q_T K_T}. \quad (2)$$

Некоторое влияние на интенсивность обслуживания оказывает способ укладки плодов. В связи с этим, предварительно необходимо было обосновать наиболее эффективный способ укладки плодов. Применяют три основных способа укладки плодов в тару: пряморядный, шахматный, диагональный.

Эффектность того или иного способа укладки плодов в тару в соответствии с [6] определяется количеством укладываемых плодов N_T коэффициентом использования ёмкости тары η_T .

Наиболее универсальным показателем для всех видов плодов является коэффициент η_T , который использован и в данном исследовании.

Исследованиями [5, 6] установлено, что наибольшая вместимость ящичной тары имеет место при шахматном и диагональном способах укладки плодов. При этом изменение η_T в зависимости от размеров плодов и тары происходит в диапазоне $\eta_T = 0,64-0,70$.

Исходя из этого, рекомендуется преимущественное использование и в условиях КБР шахматного и диагонального способов укладки плодов. При этом, как указано в [6], желательно чтобы отношение трех основных размеров ящичной тары (длины, ширины, высоты) к диаметру укладываемых плодов было целым числом.

Соответственно, коэффициент η_T при этом будет больше, а потребность в ящичной таре уменьшается.

С учетом изложенных особенностей для указанных двух основных способов укладки плодов при определении интенсивности обслуживания μ в формуле (1) используется усредненное значение производительности W_{C1} одного сортировщика.

Потребное количество сортировщиков должно быть определено таким образом, чтобы общая средняя продолжительность сортирования фруктов (время ожидания и сортирования) T_c не превышало 4 ч ($T_c < 4$ ч), а вероятность отказа в приеме фруктов на сортировальный пункт $P_{отк}$ из-за его переполненности соответствовала соотношению $P_{отк} \leq 0,05$.

Для удобства практических расчетов с учетом $\alpha = \lambda / \mu$ целесообразно T_c представить в виде:

$$T_c = \frac{1}{\mu} \left[\frac{n_o}{\alpha} + (1 - P_{отк}) \right] \leq T_{cd}, \quad (3)$$

где:

n_o – количество ожидающих в очереди требований;

T_{cd} – допустимое время ожидания и сортирования, ч.

Под одним требованием подразумевается, как указано ранее, масса фруктов, доставляемая на сортировальный пункт одним транспортным средством.

Для наиболее часто используемых в КБР транспортных средств – грузового автомобиля ГАЗ-53 и тракторного транспортного средства МТЗ-80+2ПТС-4М одно требование соответствует в среднем 4000 кг.

Для T_{cd} применяются значения $T_{cd} = 2, 4, 6$ ч с целью охвата широкого диапазона изменения.

Результаты расчетов выбора эффективного режима работы сортировального пункта представлены в

виде номограммы (рис. 1), для удобства практического применения.

В верхней части номограммы для всего диапазона изменения $\alpha = \lambda / \mu = 0,2-0,8$ вычисляется среднее количество ожидающих в очереди требований n_o , вероятность отказа $P_{отк}$ в приеме транспортных средств с плодами на сортировальный пункт; вероятность простоя сортировщиков P_o из-за отсутствия сортируемых плодов.

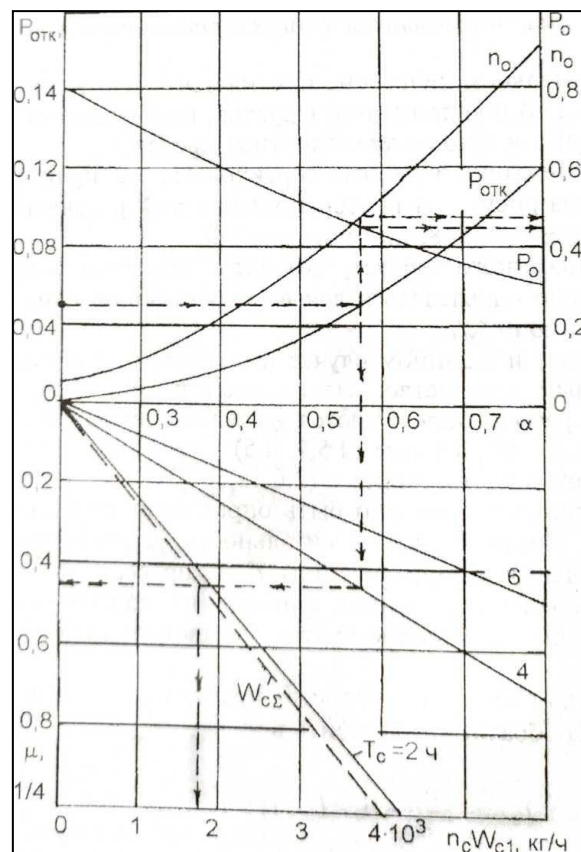


Рисунок 1 – Номограмма для выбора эффективного режима работы сортировального пункта

Затем, как показано стрелками, для предельно допустимого значения $P_{отк} < 0,05$ определяются соответствующие значения $n_o = 0,48$, $P_o = 0,45$ и $\alpha = 0,575$.

При указанных значениях n_o , α , $P_{отк}$ из формулы (3) получим:

$$\mu = \frac{1,785}{T_{cd}}. \quad (4)$$

Исходя из этого равенства с учетом формулы (2) в нижней части номограммы для величины $T_c = 2, 4, 6$ ч определены необходимые значения интенсивности

обслуживания μ или сортирования (1/ч) и соответствующей производительности сортировального пункта:

$$W_{C\Sigma} = n_C W_{C1} \quad (5)$$

При значениях $\alpha=0,575$ и $T_{CD}=4$ ч по нижней вертикальной оси определяем требуемую интенсивность сортирования (по количеству обслуженных за 1 ч требований) $\mu=0,45$ 1/ч.

Затем по горизонтальной оси при массе плодов в одном требовании 4000 кг вычисляем требуемую суммарную производительность сортировального пункта:

$$W_{C\Sigma} = n_C W_{C1} = 1750 \text{ кг/ч.} \quad (6)$$

При известной средней производительности одного сортировщика W_{C1} можно определить требуемое количество сортировщиков:

$$n_C = \frac{W_{C\Sigma}}{W_{C1}} \quad (7)$$

Для ранее полученного значения $W_{C1}=181,2$ кг/ч (рис. 2) получим:

$$n_C = \frac{1750}{181,2} \approx 10.$$

Поскольку для разных видов и сортов фруктов с учетом их размерных и массовых характеристик значения W_{C1} существенно различаются, то разными будут соответствующие значения n_C .

Из нижней части номограммы видно, что уменьшение времени ожидания требований в очереди T_c приводит к значительному росту потребности в сортировщиках. Если принять, например, $T_c=2$ ч, то получим $W_{C\Sigma} = n_C W_{C1} = 3550$ кг/ч. Если принять предыдущее значение $W_{C1}=181,2$ кг/ч, то требуемое количество сортировщиков составит $n_C \approx 20$, что приведет к увеличению затрат на сортирование плодов почти в два раза.

Целесообразно, с целью экономии средств необходимо принимать максимально допустимое значение времени пребывания фруктов на операциях, связанных с сортированием.

Таким образом, полученные результаты моделирования позволяют обосновать эффективный режим работы при ручном способе сортирования фруктов.

2. Результаты обоснования рациональной взаимосвязанной работы линий товарной обработки плодов и сортировщиков.

В условиях предгорного и горного садоводства КБР в настоящее время не применяются высокопроизводительные линии товарной обработки плодов, поэтому данное исследование, в основном, имеет перспективный характер.

Задача в данном случае заключается в определении на основании такого количества сортировщиков, при котором вероятность прохождения нестандартных плодов неподобными будет минимально допустимой.

Из описания технологии товарной обработки плодов на наиболее распространенных линиях типа ЛТО-6 и ЛТО-3А следует, что количество сортировщиков в каждой группе составляет $Z_i=2$ (по одному сортировщику с каждой стороны).

Поскольку численные значения φ_y и \bar{Q}_y могут изменяться в широких пределах, то соответственно будет изменяться и плотность потока требований λ .

Аналогичным образом в определенном диапазоне будет изменяться μ и, соответственно, $\alpha = \lambda / \mu$.

На основании анализа многочисленных статистических данных по линиям товарной обработки плодов ЛТО-3А и ЛТО-6 определен возможный диапазон изменения $\alpha=0,4-8$.

Поскольку на линиях типа ЛТО-3А и ЛТО-6 работают 4 группы сортировщиков (по два в каждой группе), то задача сводится к определению вероятности прохождения нестандартных плодов через все четыре группы сортировщиков в зависимости от значения α .

Расчетная формула для вероятности прохождения нестандартных плодов при этом примет вид:

$$P_4 = \frac{\alpha^8 / 8!}{\sum_{k=0}^8 \alpha^k / k!} \quad (8)$$

По данным [8] средняя точность калибровки на линиях типа ЛТО-3А составляет 93,3%. Соответственно,

допустимая вероятность прохождения нестандартных плодов составляет 6,7%.

Полученное соотношение позволяет обосновать рациональный режим работы сортировщиков и линий товарной обработки плодов в целом.

3. Результаты обоснования рационального режима работы всего пункта товарной обработки фруктов.

Рассматриваемое исследование также имеет перспективный характер, поскольку в настоящее время в условиях предгорного и горного садоводства КБР пока не используются механизированные линии товарной обработки фруктов типа ЛТО-3А и ЛТО-6.

При рассмотрении линии товарной обработки фруктов как двухфазной системы массового обслуживания, образование очереди перед второй фазой, в которой не допускается, потому что, это приведет к неизбежной остановке (блокировке) первой фазы.

Под первой фазой подразумевается сама линия товарной обработки фруктов, а под второй фазой – упаковщики.

Важнейшими показателями работы пункта товарной обработки фруктов являются те, которые обеспечивают наибольшую вероятность его бесперебойной работы.

К таким показателям относятся: вероятность простоя пункта из-за отсутствия требований $P_{0,0}$ и вероятность бесперебойной работы без блокировки $P_{бр}$, в соответствии. При этом желательно иметь наименьшие возможные значения $P_{0,0}$ и наибольшие вероятности $P_{бр}$.

Для выбора рациональных значений $P_{0,0}$ и $P_{бр}$ на рисунке 2 построены графики зависимостей $P_{0,0}$ и $P_{бр}$ от α_2 , а так же от β (рис. 2).

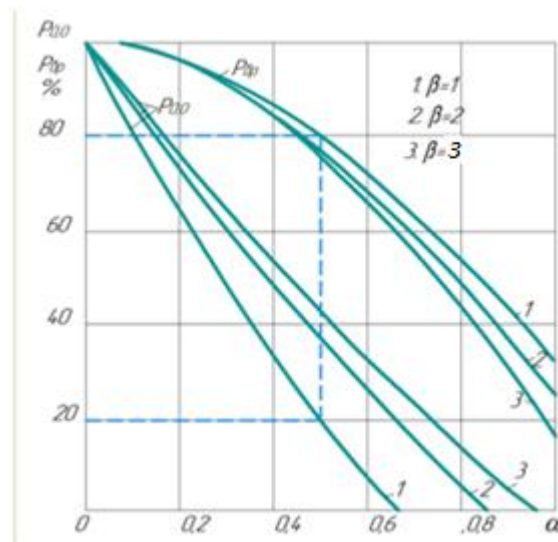


Рисунок 2 – Зависимости $P_{0,0}$ и $P_{бр}$ от α и β

Из представленных графиков видно, что при прочих равных условиях следует принимать $\beta=1$, равенству производительностей линии товарной обработки фруктов и упаковочных устройств при $\mu_1 = \mu_2$.

Поскольку невозможно достичь одновременно желаемых значений $P_{0,0}=0$ и $P_{бр}=1$, то необходимо принять компромиссное решение по следующим соображениям.

Поскольку обе вероятности $P_{0,0}=0$ и $P_{бр}=1$ связаны с остановкой работы всего пункта, то потери от таких простоев будут одинаковыми.

Соответственно, уступки по $P_{0,0}$ и $P_{бр}$, р должны быть одинаковыми с их наилучшими значениями $P_{0,0}=0$ и $P_{бр}=100\%$. В качестве такой уступки больше всего подходит $P_{0,0}=P_{бр}=20\%$, как показано на рисунке 6 штриховыми линиями. При этом будем иметь рациональные вероятности простоя пункта из-за отсутствия требований $P_{0,0}=20\%$ и бесперебойной работы (без блокировки первой фазы) $P_{бр}=80\%$ при $\alpha_2 = \lambda / \mu_2 = 0,5$.

Следовательно, при рациональном режиме работы пункта товарной обработки фруктов средняя плотность поступления требований на пункт, λ должна быть в два раза меньше, чем интенсивность их обслуживания упаковочными средствами.

Если за единичное требование принять $\bar{Q}_1=1$ т, то λ будет соответствовать количеству тонн фруктов, поступающих на пункт за 1ч. При этом μ_2 будет соответствовать количеству тонн упаковываемых фруктов.

Зная среднюю производительность одного упаковщика $W_{\phi 2}$, можно определить потребное рациональное количество упаковщиков с учетом $\mu_2 = 2\lambda$.

$$Z_{y2} = \frac{\mu_2 \bar{Q}_1}{W_{\phi 2}} = \frac{2\lambda \bar{Q}_1}{W_{\phi 2}}. \quad (9)$$

Интенсивность обслуживания в обеих фазах при этом будет одинаковой $\mu_1 = \mu_2$, что соответствует условию $\beta = \mu_1 / \mu_2 = 1$.

Полученные результаты позволяют обосновать рациональный режим работы перспективного механизированного пункта товарной обработки фруктов.

Область применения результатов. Полученные общие закономерности характерны для регионов, занятых интенсивным садоводством, поэтому основные результаты исследований практически применимы в любых интенсивных садоводческих хозяйствах Кабардино-Балкарской республики.

Выводы. 1. Потребное количество сортировщиков должно быть определено таким образом, чтобы общая средняя продолжительность сортирования фруктов (время ожидания и сортирования) T_c не превышало 4 ч ($T_c < 4$ ч), а вероятность отказа в приеме фруктов на сортировальный пункт $P_{отк}$ из-за его переполненности соответствовала соотношению $P_{отк} \leq 0,05$.

2. Для удобства практического применения результаты расчетов представлены в виде номограммы.

3. При рациональном режиме работы пункта товарной обработки фруктов средняя плотность поступления требований на пункт должна быть в два раза меньше, чем интенсивность их обслуживания упаковочными средствами.

4. Полученные результаты позволяют обосновать рациональный режим работы перспективного механизированного пункта товарной обработки фруктов.

Литература

1. Балкаров Р.А. Машины по уходу за почвой в садах на горных склонах // Садоводство и виноградарство. – 1999. – № 1. – С. 7.
2. Апазhev А.К., Шекихачев Ю.А. Исследование режимов работы плодуборочных машин // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. – 2020. – № 1 (27). – С. 75-79.
3. Балкаров Р.А. Моделирование технологических процессов по уборке фруктов в условиях предгорного и горного садоводства. Novainfo.Ru. – 2016. – Т.3 – №57. – С.107-112.
4. Energy efficiency of improvement of agriculture optimization technology and machine complex optimization / Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Fiapshev A.G., Hazhmetov L.M. // E3S Web of Conferences / International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems 2019 (SES-2019). – Vol. 124. – 2019. 05054. – DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912405054>.
5. Черепяхин В.И., Бубук В.И., Карпенчук Г.К. Плодоводство. – М.: Агропромиздат, 1991. 271 с.
6. Четвертаков А.В. Технологические процессы и средства механизации транспортировки и товарной обработки плодов: автореф. дисс. ...докт. техн. наук. – М., 1994. – 58 с.
7. Балкаров Р.А., Сабанчиева Ф.Р. Обоснование режимов работы приемных пунктов фруктохранилищ и перерабатывающих предприятий в условиях предгорного и горного садоводства (научная статья) // Известия Кабардино-Балкарского ГАУ. – 2019. – № 1 (23). – С. 39-42.
8. Варламов Г.П., Четвертаков А.В. Механизация уборки и товарной обработки фруктов. – М.: Колос, 1984. – 287 с.

References

1. Balkarov R.A. Mashiny po uhadu za pochvoj v sadah na gornyh sklonah // Sadovodstvo i vinogradarstvo. – 1999. – № 1. – S. 7.
2. Apazhev A.K., Shekihachev Y.A. Issledovanie rezhimov raboty ploduborochnykh mashin // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. V.M. Kokova. – 2020. – № 1 (27). – S. 75-79.
3. Balkarov R.A. Modelirovanie tekhnologicheskikh processov po uborke fruktov v usloviyah predgornogo i gornogo sadovodstva. Novainfo.Ru. – 2016. – Т.3 – №57. – S.107-112.
4. Energy efficiency of improvement of agriculture optimization technology and machine complex optimization / Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Fiapshev A.G., Hazhmetov L.M. // E3S Web of Conferences / International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems 2019 (SES-2019). – Vol. 124. – 2019. 05054. – DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912405054>.
5. Cherepahun V.I., Bubuk V.I., Karpenchuk G.K. Plodovodstvo. – M.: Agropromizdat, 1991. 271 s.
6. Chetvertakov A.V. Tekhnologicheskie processy i sredstva mekhanizatsii transportirovki i tovarnoj obrabotki plodov: avtoref. diss. ...dokt. tekhn. nauk. – M., 1994. – 58 s.
7. Balkarov R.A., Sabanchieva F.R. Obosnovanie rezhimov raboty priemnykh punktov fruktohranilishch i pererabatyvayushchih predpriyatij v usloviyah predgornogo i gornogo sadovodstva (nauchnaya stat'ya) // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo GAU. – 2019. – № 1 (23). – S. 39-42.
8. Varlamov G.P., Chertvetakov A.V. Mekhanizatsiya uborki i tovarnoj obrabotki fruktov. – M.: Kolos, 1984. – 287 s.