

УДК 631.56

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
МЕХАНИЧЕСКИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ
КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ НА ХРАНЕНИЕ**

Колошеин Дмитрий Владимирович
к.т.н., доцент кафедры
РИНЦ SPIN-код: 4912-0628
dkoloshein@mail.ru
ФГБОУ ВО РГАТУ
390044, Россия, г. Рязань, ул. Костычева, дом 1

Маслова Лилия Александровна
старший преподаватель
maslovala@bk.ru
ФГБОУ ВО РГАТУ
390044, Россия, г. Рязань, ул. Костычева, дом 1

Попов Андрей Сергеевич
к.т.н., доцент кафедры
РИНЦ SPIN-код: 1662-5333
popov1975.popoff@yandex.ru
ФГБОУ ВО РГАТУ
390044, Россия, г. Рязань, ул. Костычева, дом 1

Михайлов Дмитрий Николаевич
аспирант
dm.mikh.rgatu@gmail.com
ФГБОУ ВО РГАТУ
390044, Россия, г. Рязань, ул. Костычева, дом 1

Подъяблонский Алексей Валерьевич
к.т.н., доцент кафедры
РИНЦ SPIN-код: 6329-1063
podyablonskiy62@mail.ru
Академия ФСИН России
390000, Россия, г. Рязань, ул. Сенная, дом 1

Чернышов Роман Владимирович
аспирант
jaga300@yandex.ru
ФГБОУ ВО РГАТУ
390044, Россия, г. Рязань, ул. Костычева, дом 1

Долгов Илья Олегович
аспирант
sisim62@mail.ru
ФГБОУ ВО РГАТУ
390044, Россия, г. Рязань, ул. Костычева, дом 1

Одной из главных проблем картофелеводства остаются механические повреждения клубней, снижающие сохранность продукции. Повреждения появляются на всех этапах обработки, от уборки до хранения картофеля и на поврежденных

UDC 631.56

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

**STUDY OF THE INFLUENCE OF
MECHANICAL DAMAGE TO POTATO
TUBERS ON STORAGE**

Koloshein Dmitry Vladimirovich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
of the Department, RSCI SPIN-code: 4912-0628
dkoloshein@mail.ru
FSBEI HE RGATU
390044, Russia, Ryazan, Kostycheva, 1

Maslova Lilia Alexandrovna
senior lecturer
maslovala@bk.ru
FSBEI HE RGATU
390044, Russia, Ryazan, Kostycheva, 1

Popov Andrey Sergeevich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
of the Department, RSCI SPIN-code: 1662-5333
popov1975.popoff@yandex.ru
FSBEI HE RGATU
390044, Russia, Ryazan, Kostycheva, 1

Mikhailov Dmitry Nikolaevich
graduate student
dm.mikh.rgatu@gmail.com
FSBEI HE RGATU
390044, Russia, Ryazan, Kostycheva, 1

Podyablonskiy Aleksey Valerievich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
of the Department, RSCI SPIN-code: 6329-1063
podyablonskiy62@mail.ru
Academy of the Federal Penitentiary Service of Russia
390000, Russia, Ryazan, Sennaya, 1

Chernyshov Roman Vladimirovich
graduate student
dm.mikh.rgatu@gmail.com
FSBEI HE RGATU
390044, Russia, Ryazan, Kostycheva, 1

Dolgov Ilya Olegovich
graduate student
sisim62@mail.ru
FSBEI HE RGATU
390044, Russia, Ryazan, Kostycheva, 1

One of the main problems of potato growing remains mechanical damage to tubers, reducing the shelf life of products. Damage occurs at all stages of processing, from harvesting to storage of potatoes, and on damaged surfaces, foci of pathogen development and

поверхностях образуются очаги развития патогенов и гнилей, что приводит к потерям продукции. Основной целью исследований является задача изучения сочетания механических повреждений от микроклиматических условий хранения и их влияния на сохранность картофеля. По результатам метода Парето основное внимание следует уделить механическим повреждениям клубням, а также контролю температуры и влажности для наибольшей эффективности хранения картофеля. При этом исследования, посвященные влиянию механических повреждений, характеризуют частоту возникновения и процент ущерба, связанный с каждым из рассматриваемых факторов. Массовая доля каждого фактора в рассматриваемом методе вычислялась, как процентное соотношение отдельного значения от общей суммы влияний всех факторов. Исследования показывают важность поддержания оптимальной температуры (2–4°C) и влажности (88–92%), чтобы в какой-то мере снизить потери из-за механических повреждений. Однако даже в условиях оптимальной температуры и влажности, значительные механические повреждения ускоряют процесс порчи картофеля. Моделирование демонстрирует, что лучшие результаты хранения достигаются при минимальных повреждениях и соблюдении условий, подтверждая значимость комплексного подхода к управлению факторами. Аналитическое моделирование может позволить создать оптимальные микроклиматические условия процесса хранения картофеля в зависимости от процента механических повреждений полученных в результате уборки, транспортировки и загрузки на хранение. Таким образом, с помощью полученной модели можно разработать методику управления микроклиматом в картофелехранилище, позволяющим повысить сохранность клубней

Ключевые слова: КАРТОФЕЛЬ, СОХРАННОСТЬ, ФАКТОРЫ, МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ, ХРАНЕНИЕ, ПОТЕРИ, МИКРОКЛИМАТ, МОДЕЛИРОВАНИЕ

rot are formed, which leads to product loss. The main objective of the research is to study the combination of mechanical damage from microclimatic storage conditions and their impact on the shelf life of potatoes. According to the results of the Pareto method, the main attention should be paid to mechanical damage to tubers, as well as temperature and humidity control for the greatest efficiency of potato storage. At the same time, studies devoted to the impact of mechanical damage characterize the frequency of occurrence and the percentage of damage associated with each of the factors under consideration. The mass fraction of each factor in the method under consideration was calculated as a percentage of a separate value from the total sum of the effects of all factors. Research shows the importance of maintaining optimal temperature (2–4°C) and humidity (88–92%) in order to reduce losses due to mechanical damage to some extent. However, even under optimal temperature and humidity conditions, significant mechanical damage accelerates the process of potato spoilage. Modeling demonstrates that the best storage results are achieved with minimal damage and compliance with the conditions, confirming the importance of an integrated approach to managing factors. Analytical modeling can create optimal microclimatic conditions for the potato storage process depending on the percentage of mechanical damage received as a result of harvesting, transportation and loading for storage. Thus, using the obtained model, it is possible to develop a method for managing the microclimate in a potato storage facility, which allows increasing the safety of tubers

Keywords: POTATOES, PRESERVATION, FACTORS, MECHANICAL DAMAGE, STORAGE, LOSSES, MICROCLIMATE, MODELING

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-204-038>

Введение. Согласно статистике в РФ в 2024 году посадили 282 тысячи гектаров картофеля, при этом на 15 октября убрали свыше 260 тысяч гектаров, что говорит, о том, что уборка продолжается. Объем урожая в 2024 году планируется свыше 7 млн. тонн, в то время как в прошлом году собрали свыше 8 млн. тонн картофеля. Однако в 2024 году

<http://ej.kubagro.ru/2024/10/pdf/38.pdf>

картофель стал самым подорожавшим продуктом. Росту цен на картофель способствовало сокращение посевных площадей и низкая база прошлого года. В условиях роста цен важно не только предотвращать дальнейшее повышение, но и совершенствовать технологические особенности уборки, перевозки и хранения картофеля.

В свою очередь механические повреждения картофеля – это одна из ключевых проблем, влияющих на качество и сохранность продукта в процессе хранения. Повреждения возникают на разных этапах возделывания картофеля, включая уборку, погрузочно-разгрузочные работы, транспортировку и непосредственно размещение в хранилищах. При хранении в картофелехранилище поврежденные клубни начинают заболеть, что приводит к снижению сохранности.

Цель исследований. Исследование влияния механических повреждений клубней картофеля на хранение.

Методика исследований.

Исследования по моделированию влияния механических повреждений на хранение картофеля проводились в соответствии с научными исследованиями, относящимися к технологическим особенностям уборки, транспортировки и хранения клубней. Так в разное время этими вопросами занимались Н.И. Верещагин, Н.Н. Колчин, К.А. Пшеченков, А.А. Сорокин и другие. Их труды послужили фундаментом для последующих исследований в этой области.

Результаты исследований.

Для более точного процентного уточнения влияния механических повреждений воспользуемся методом Парето [1] (рисунок 1), основанным на выявлении важных факторов, влияющих на хранение картофеля. Сочетание факторов в свою очередь позволит обратить внимание на наиболее важные, что в конечном итоге в долгосрочной перспективе (в расчете на весь период хранения) улучшит результат. В контексте

хранения картофеля, основным фактором будут механические повреждения (при транспортировке и загрузке), однако зададимся и другими важными факторами влияния.

Температура: Оптимальный диапазон для хранения.

Влажность: Контроль влажности для предотвращения прорастания и гниения.

Болезни и инфекции: Наличие патогенов и гнилей.

Срок хранения: Влияние времени на качество клубней.

Движение воздушной смеси: Обеспечение вентиляции для предотвращения скопления CO_2 и влаги.

Требования к хранению находятся в зависимости от того, используется ли он как продовольственный, семенной или кормовой.

Исследования, посвященные влиянию механических повреждений, предоставили статистические данные, которые характеризуют частоту возникновения и процент ущерба, связанный с каждым из рассматриваемых факторов. При этом массовая доля каждого фактора вычислялась, как процентное соотношение отдельного значения от общей суммы влияний всех факторов. В дальнейшем запишем основные факторы и их влияние:

Механические повреждения – 35;

Температура – 23;

Влажность – 22;

Болезни и инфекции – 8;

Движение воздушной смеси – 7;

Срок хранения – 3;

Производственное назначение – 2.

При этом общая сумма влияния всех факторов составит 100.

Процентное соотношение для каждого фактора вычислялось по формуле (1):

$$X_{\text{фактор}} = \frac{F}{100} \cdot 100 \% , \quad (1)$$

где, F – значение влияния фактора.

Тогда,

$$X_{\text{механические повреждения}} = 35\%,$$

$$X_{\text{температура}} = 23\%,$$

$$X_{\text{влажность}} = 22\%,$$

$$X_{\text{болезни и инфекции}} = 8\%,$$

$$X_{\text{движение воздушной смеси}} = 7\%,$$

$$X_{\text{срок хранения}} = 3\%,$$

$$X_{\text{производственное назначение}} = 2\%.$$

Используя данные о массовой доле факторов, построим диаграмму Парето.

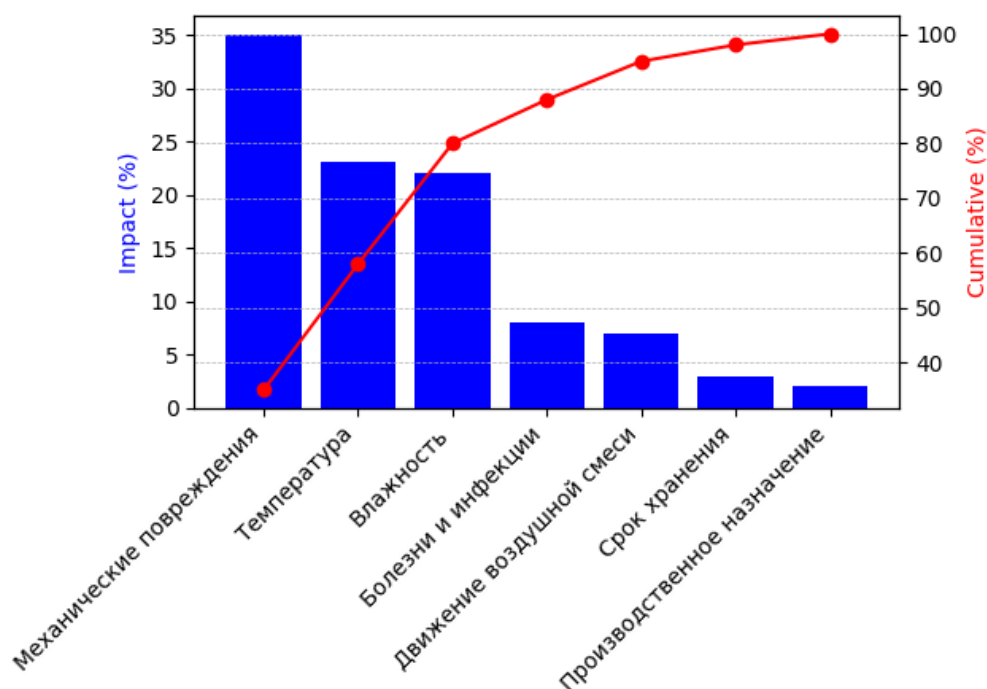


Рисунок 1 – Диаграмма Парето для определения значимости факторов влияющих на потери, при хранении картофеля

Полученные результаты на рисунке 1 представляют собой определенные значения влияния факторов и их накопленный процент. Красная линия отображает накопленное влияние, а горизонтальная

пунктирная линия на уровне 80%, подчеркивает точку отсечения, где соотношение закона Парето 80/20 часто применимо [1]. По результатам анализа, основное внимание следует уделить механическим повреждениям клубням, а также контролю температуры и влажности для наибольшей эффективности хранения картофеля.

Рассмотрим взаимодействие механических повреждений клубней картофеля с другими перечисленными факторами.

Так нарушение оптимального температурного диапазона в случае с механическими повреждениями картофеля ускоряет процессы гниения и прорастания. Относительная высокая влажность в сочетании с механическими повреждениями может значительно увеличить риск развития плесени и других грибковых заболеваний, так как повреждённые места быстрее увлажняются и становятся благоприятной средой для роста микробов. Механические повреждения представляют собой потенциальные точки для патогенов.

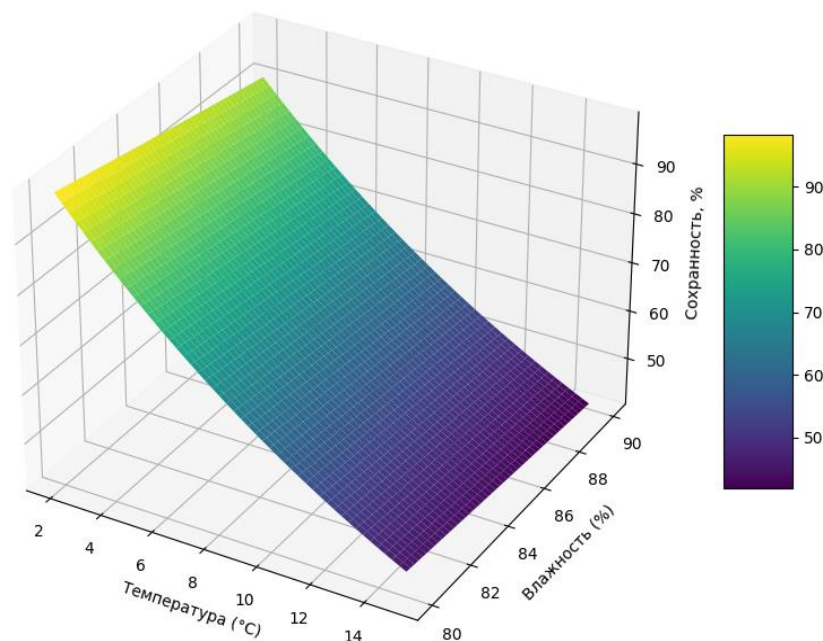


Рисунок 2 - Влияние температуры, влажности и повреждений на качество хранимого картофеля

Грибковые и бактериальные инфекции сложнее избежать, если кожура клубня повреждена. В свою очередь механические повреждения напрямую влияют на сокращение возможного срока хранения. Повреждённые клубни портятся быстрее, особенно если условия хранения не соблюдаются должным образом.

Построим график (рисунок 2) демонстрирующий влияние механических повреждений и других факторов, влияющих на потери, при хранении картофеля.

Полученная модель отображает влияние температуры и влажности и механических повреждений на качество хранимого картофеля. При этом механические повреждения основополагающий фактор, имеющий наибольший вес.

По мере увеличения каждого из факторов (температура, влажность, механические повреждения), качество картофеля значительно падает. Это показывает, что в условиях комбинированных неблагоприятных факторов условия хранения картофеля существенно влияют на его сохранность. Поскольку модель линейная, влияние факторов отображается как плоскость, которая убывает с увеличением каждого фактора. Это указывает на то, что каждая переменная в отдельности или в комбинации приводит к снижению качества.

В дальнейшем смоделируем отдельно влияние механических повреждений, температуры (рисунок 3) и влажности на сохранность картофеля.

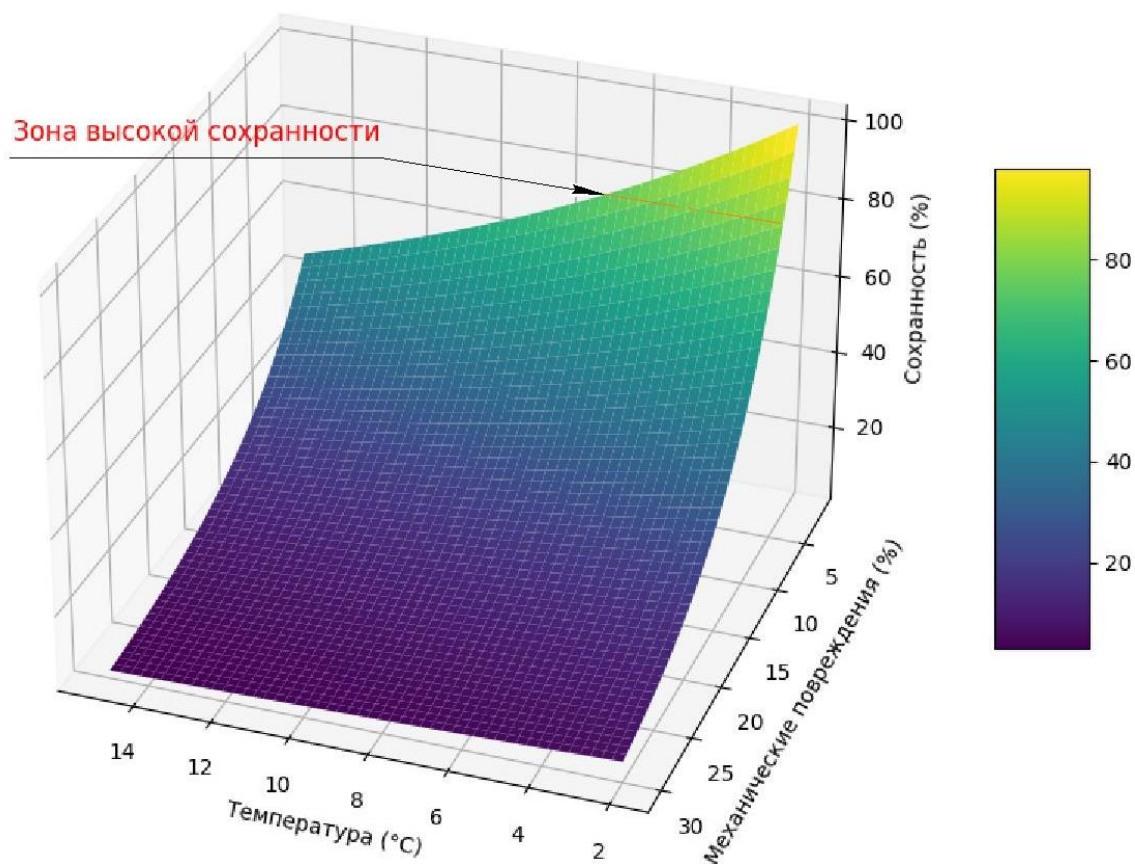


Рисунок 3 - Влияние температуры и механических повреждений на сохранность картофеля

Результаты аналитического моделирования продемонстрировали, что оптимальные условия для сохранности картофеля находятся в температурном диапазоне от 2°C до 4°C (рисунок 3). Таким образом, обеспечение необходимой температуры для режимов хранения в сочетании с низким уровнем механических повреждений является критически важным для предотвращения порчи картофеля. В случае наличия значительного процента механических повреждений и повышения общей температуры в картофелехранилище наблюдается существенное снижение сохранности картофеля, что подчеркивает важность соблюдения рекомендуемых условий хранения.

Смоделируем влияние влажности и механических повреждений на сохранность картофеля. Полученная модель позволит понять как разные

уровни влажности и механических повреждений клубней влияют на сохранность картофеля. Согласно технологическим особенностям оптимальная влажность для хранения составляет 88-92%, зададимся этим показателем в модели.

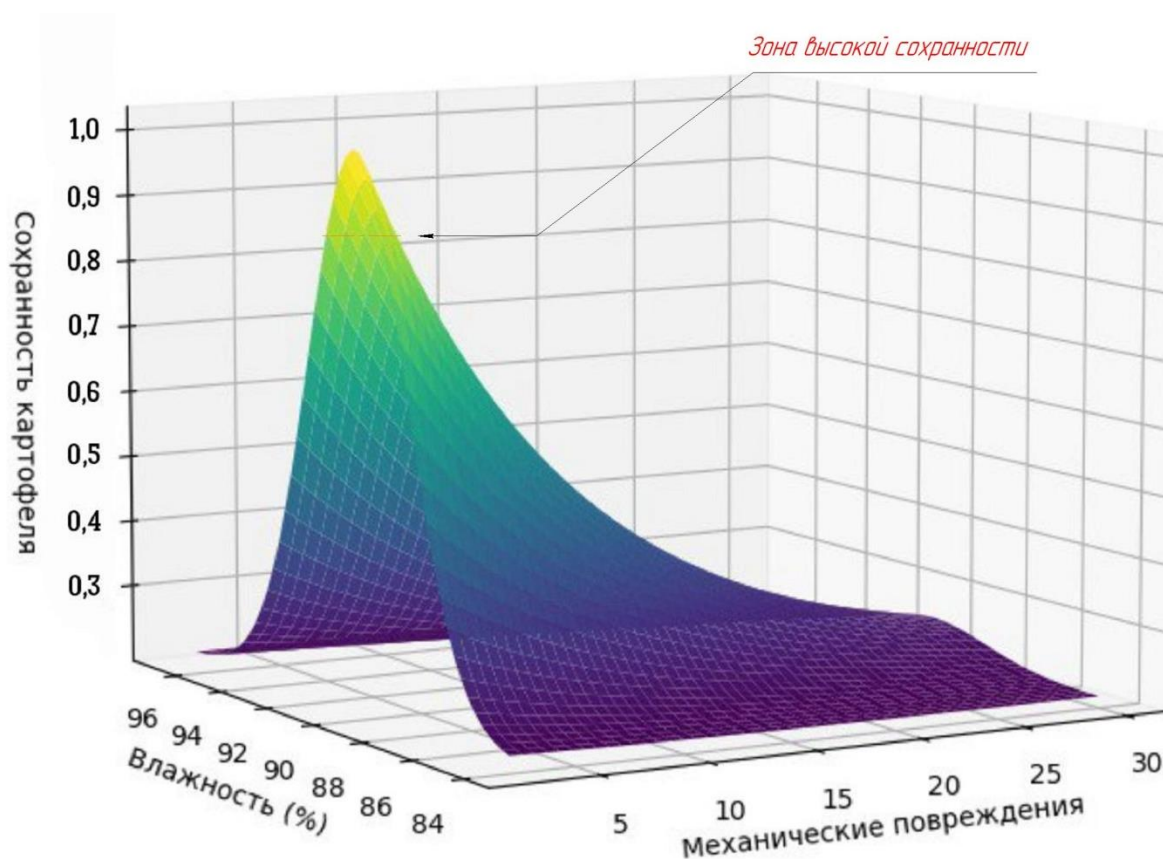


Рисунок 4 - Влияние влажности и механических повреждений на сохранность картофеля

Результаты аналитического моделирования позволили получить оптимальное воздействие влажности в заданном диапазоне.

Между тем, модель показывает, как процент сохранности картофеля уменьшается с увеличением механических повреждений и отклонением влажности от оптимального диапазона.

При этом наилучшая сохранность достигается при минимальных механических повреждениях и влажности, близкой к оптимальной. Даже если один из факторов будет в пределах нормы, отклонение другого может сильно ухудшить сохранность картофеля. В рамках дальнейшего

исследования установлено, что модель характеризуется нелинейным взаимодействием параметров, что подчеркивает важность учета, как механических повреждений, так и уровня влажности при планировании условий хранения. В частности, высокие показатели механических повреждений не могут быть компенсированы лишь посредством поддержания оптимальной влажности. Аналогично, оптимальная влажность не окажет должного положительного эффекта при наличии значительных механических повреждений. Таким образом, для предотвращения порчи продукта необходимо комплексное управление обоими факторами.

Выводы.

Аналитическое моделирование может позволить создать оптимальные микроклиматические условия процесса хранения картофеля с зависимости от процента механических повреждений полученных в результате уборки, транспортировки и загрузки на хранение. Таким образом, с помощью полученной модели можно разработать методику управления микроклиматом в картофелехранилище, позволяющим повысить сохранность клубней.

Библиографический список

1. Подиновский, Владислав Владимирович. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач: [монография] / В. В. Подиновский, В. Д. Ногин. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Физматлит, 2007. — 255 с. : ил. : 22 см — (Анализ и поддержка решений).; ISBN 978-5-9221-0812-6.

References

1. Podinovskij, Vladislav Vladimirovich. Pareto-optimal'nye resheniya mnogokriterial'nyh zadach : [monografiya] / V. V. Podinovskij, V. D. Nogin. — 2-e izd., ispr. i dop. — Moskva : Fizmatlit, 2007. — 255 s. : il. : 22 sm — (Analiz i podderzhka reshenij).; ISBN 978-5-9221-0812-6.