

СТАТЬИ

УДК 681.5:[664.8.031+628.89]

**НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ОРГАНИЗАЦИЮ АВТОМАТИЧЕСКОГО
УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ ПРИ ХРАНЕНИИ
СЕМЕННОГО КАРТОФЕЛЯ**

¹Алиев М.Г., ²Пачкин С.Г., ²Иванов П.П., ³Котляров Р.В., ³Шевцова Т.Г.

¹ФГБОУ ВО «Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия»,
Кемерово, e-mail: marik.aliev.97@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
Кемерово, e-mail: sergon777@inbox.ru, ipp7@yandex.ru;

³ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»,
Кемерово, e-mail: kotlyarovrv@kuzstu.ru, shevcova-t@yandex.ru

В настоящее время в отечественном агропромышленном комплексе наблюдается значительная нехватка автоматизированных овощехранилищ, что заставляет сельхозпроизводителей продавать продукцию по заниженным ценам в период сбора урожая. При этом предлагаемые на рынке системы автоматизации хорошо решают технические задачи, в основном связанные с вентиляцией, и редко проводится анализ полного цикла хранения овощей с выделением критериев, определяющих оптимальные значения параметров микроклимата на каждой из стадий хранения. Предлагается провести усовершенствование существующей системы автоматизации за счёт деления большого овощехранилища, управляемого одним контуром регулирования, на несколько секций. Для автоматического управления всеми этими секциями разработана функциональная схема модульной приточно-вытяжной системы, которая позволит в каждой из них поддерживать заданные режимы микроклимата со своей температурой, влажностью и концентрацией кислорода. Такой подход позволяет более гибко реализовать полный цикл хранения картофеля разных сортов с различными экономическими целями хранения. Основной эффект при применении систем автоматизации, разрабатываемых для овощехранилищ, достигается не только техническими решениями, но и адаптацией алгоритмов управления под конкретные сорта и сроки хранения, с учётом различных исходных факторов и требований к качеству конечной продукции. Разработан алгоритм управления полным циклом на примере хранения семенного картофеля, предполагающий следующую последовательность стадий: проверочный пуск оборудования – просушка – лечение – охлаждение – основной – весенний – дезинфекция хранилища (просушка) – останов оборудования.

Ключевые слова: автоматизация, алгоритм управления, овощехранилище, вентиляция, хранение картофеля, микроклимат

**A NEW LOOK AT THE ORGANIZATION OF AUTOMATIC MICROCLIMATE
CONTROL DURING THE STORAGE OF SEED POTATOES**

¹Aliev M.G., ²Pachkin S.G., ²Ivanov P.P., ³Kotlyarov R.V., ³Shevtsova T.G.

¹Kuzbass State Agricultural Academy, Kemerovo, e-mail: marik.aliev.97@mail.ru;

²Kemerovo State University, Kemerovo, e-mail: sergon777@inbox.ru, ipp7@yandex.ru;

³T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, e-mail: kotlyarovrv@kuzstu.ru,
shevcova-t@yandex.ru

Currently, there is a significant shortage of automated vegetable storages in the domestic agro-industrial complex, which forces agricultural producers to sell products at low prices during the harvest period. At the same time, automation systems offered on the market solve technical problems well, mainly related to ventilation, and rarely an analysis of the full cycle of vegetable storage is carried out with the selection of criteria determining the optimal values of microclimate parameters at each of the storage stages. It is proposed to improve the existing automation system by dividing a large vegetable storage, controlled by a single control loop, into several sections. For automatic control of all these sections, a functional scheme of a modular supply and exhaust system has been developed, which will allow each of them to maintain the specified microclimate modes with its own temperature, humidity and oxygen concentration. This approach allows you to more flexibly implement a full cycle of storage of potatoes of different varieties, with different economic storage purposes. The main effect when using automation systems developed for vegetable storages is achieved not only by technical solutions, but also by adapting control algorithms to specific varieties and storage periods, taking into account various initial factors and requirements for the quality of final products. An algorithm for managing the full cycle has been developed using the example of seed potato storage, which assumes the following sequence of stages: – test start-up of equipment – drying – treatment – cooling – main – spring – disinfection of storage (drying) – equipment shutdown.

Keywords: automation, control algorithm, vegetable storage, ventilation, potato storage, microclimate

В современных условиях на российском агропромышленном рынке появилась серьёзная проблема – острая нехватка автоматизированных овощехранилищ. Многие сельхозпредприятия терпят огромные убытки из-за невозможности сохранить урожай и обеспечить круглогодичную поставку плодоовощной продукции на при-

лавки магазинов. При этом сохранность продукции в процессе хранения зависит от основных параметров микроклимата хранилища: температуры, влажности, концентрации кислорода.

По оценкам специалистов средний срок окупаемости овощехранилища при его оптимальной стоимости – пять лет. Однако низкие цены в 2016–2020 гг. на столовый картофель ещё больше увеличивали сроки окупаемости капитальных вложений, в том числе и затрат на разработку систем автоматизации. При этом конъюнктурной особенностью рынка является весеннее понижение цены на отечественный картофель вследствие появления импортного молодого картофеля. Хотя именно в марте-апреле стоимость отечественной продукции должна быть самой высокой. Отсутствие или несоответствие систем автоматизации управления микроклиматом в картофелехранилищах современным стандартам, а также несоблюдение технологии выращивания сводит к минимуму все шансы сохранить урожай с соблюдением показателей качества к началу весны, и поэтому производители неохотно инвестируют средства в модернизацию существующих и строительство новых овощехранилищ. «Многие считают, что лучше продать продукцию осенью, пусть и по невысокой цене, чем тратить её на хранение», – говорит предприниматель Андрей Гробовой [1].

Для изменения ситуации, помимо решения агропромышленных проблем (повышение культуры выращивания, соблюдение севооборота и внедрение технологии бережной уборки в агрономические сроки), необходимо более тщательно подходить к проблеме качественного управления технологией хранения картофеля, начиная с этапов сбора и первичной обработки клубней, закладки картофеля в хранилище, хранения и заканчивая разгрузкой и отправкой потребителю. Ведь исходное состояние продукта, загружаемого в хранилище, напрямую зависит от погодных условий, которые часто значительно осложняют сбор урожая. «Если некачественный продукт войдет в хранилище, то качественным он оттуда не выйдет», – подчеркивает Гробовой. «Пока отечественному картофелю, который хранился полгода, по большей части тяжело конкурировать с молодой импортной продукцией», – признает он. «Производители должны стремиться к повышению его товарности, а государство – стимулировать торговые сети в закупке отечественного продукта», – предлагает эксперт [2].

Цель исследования – предложить более эффективный способ использования систем

автоматического управления микроклиматом в овощехранилищах, позволяющий расширить спектр решаемых задач при хранении, повысив тем самым конкурентоспособность на рынке, и разработать алгоритм управления хранением на примере семенной картофеля при использовании предложенной системы автоматизации.

Материалы и методы исследования

Качественное управление, позволяющее сохранять конкурентоспособную продукцию на современном рынке, невозможно без использования самых передовых технологий автоматизации. Причём стоит отметить, что техническая сторона вопроса не является самой существенной при повышении качества управления. Гораздо большее значение имеет продуманный и хорошо реализованный алгоритм управления, заложённый в микропроцессорный контроллер.

По подсчётам экспертов стоимость проектирования и строительства нового овощехранилища составляет примерно 60–70% от общей стоимости объекта. Поскольку не каждому производителю это под силу, идеальным выходом является монтаж и настройка климатического оборудования в имеющихся зданиях с тщательной изоляцией стен. Но вот на чём нельзя экономить – это на вентиляционном оборудовании.

При этом старая система управления микроклиматом ОРТХ, используемая во многих овощехранилищах, подразумевает один контур управления на всё овощехранилище. Такой централизованный подход, на первый взгляд, является наиболее дешёвым, но оказывается менее функциональным и точным. Причина морального устаревания такого подхода находится в специфике рынка овощной продукции. Мелкие объёмы сельхозпродукции невыгодно продавать, окупаемость в этой отрасли возможна только при больших объёмах. Крупным сельхозпредприятиям выгоднее иметь одно хранилище на 1500 т, чем 5 хранилищ по 300 т.

Однако выход из строя единственной системы или её органов управления ведёт к блокировке всего хранилища. Отдельной проблемой является то, что в случае заражения картофеля в какой-либо локальной части хранилища для устранения заражения придётся блокировать весь воздухообмен. При этом отсутствие контроля в другой части хранилища в процессе устранения инфекции может также привести к печальным последствиям.

Также при централизованном подходе страдает функциональность хранения. Так, например, продовольственный картофель имеет меньшую стоимость на рынке,

чем «чипсовый» или семенной картофель. При этом технологии хранения у всех трех видов разные. Поэтому если сельхозпроизводитель попытается расширить ассортимент и удовлетворить потребности нескольких покупателей, то у него ничего не выйдет, поскольку тогда ему придётся либо строить ещё одно хранилище (что дорого), либо уже имеющееся хранилище полностью отдавать под новый продукт. Наличие таких барьеров не даёт производителям быстро перестраиваться под постоянно меняющийся рынок и удовлетворять спрос новых потребителей.

Из сказанного выше следует вывод, что классический подход не соответствует современным требованиям, а хранение овощей, несмотря на свою компактность, должно быть более разносторонним и децентрализованным.

Результаты исследования и их обсуждение

Решением обозначенных проблем может стать секционное деление рабочего пространства хранилища. При этом наилучших результатов можно достичь за счет использования модульной приточно-вытяжной системы, показанной на рис. 1.

Для каждой секции в таком хранилище полагается своя приточно-вытяжная система, рассчитанная на объём воздуха секции, с роторной рекуперацией и байпасом для рециркуляции воздуха. Подача воздуха будет осуществляться по воздуховодам из оцинкованной стали, что уменьшит сопротивление и повысит КПД вентиляторов контура рекуперации, использование которого позволит уменьшить энергозатраты при нагреве воздуха в холодный период года. Технологию и режим хранения в каждой секции можно менять независимо от другой. В то же время в случае поломки оборудования при-

точно-вытяжной системы какой-либо секции не нужно останавливать воздухообмен в других секциях. Более того, если использовать климатическое оборудование с достаточным запасом по производительности, то, увеличив её до максимума в одной приточно-вытяжной секции, можно частично вентилировать и соседнюю секцию в случае её поломки. Ещё одним плюсом является то, что управление всеми приточно-вытяжными установками может осуществляться с одного шкафа управления или автоматизированного рабочего места диспетчера.

К достоинствам модульного исполнения также можно отнести вариативность компоновки в зависимости от климатических условий и технологических требований, компактность расположения оборудования, удобство монтажа и ремонта. Так, например, если хранилище используется в холодной климатической зоне, то подавать уличный воздух напрямую в хранилище запрещено из-за низких отрицательных температур. Это обстоятельство предполагает обязательную установку в систему подачи свежего воздуха рекуператоров, водо- или электронагревателей и смесительных камер (так называемых тамбуров). В районах с тёплым климатом могут, наоборот, потребоваться системы охлаждения. А если для поддержания необходимого микроклимата нужно более точное регулирование, то при помощи автоматической системы теплообменник может использоваться и как обогреватель, и как охладитель. Подавать в теплообменник горячий или холодный гликоль, решает программируемый контроллер. Вентиляторы на воздухоохладителях автоматически переключаются в реверс при смене режима охлаждения или подогрева для того, чтобы обеспечить правильную конвекцию и равномерную температуру по всему объёму помещения.

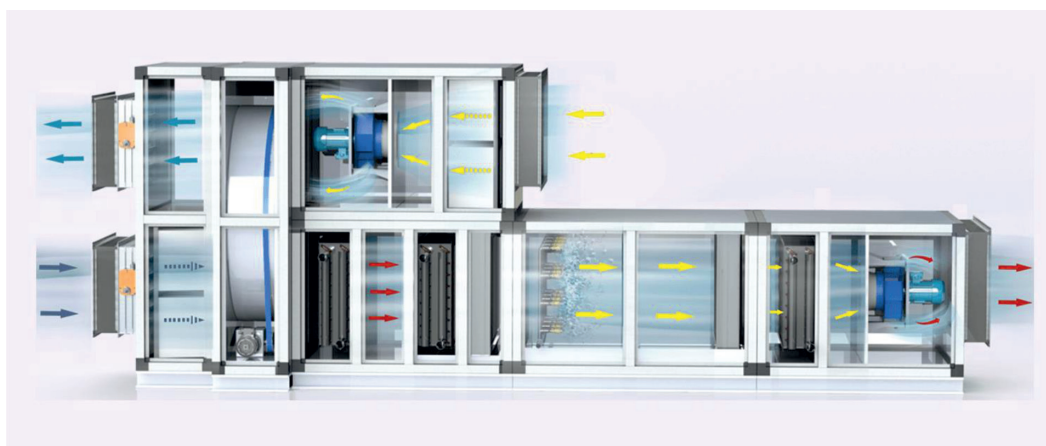


Рис. 1. Модульная приточно-вытяжная система

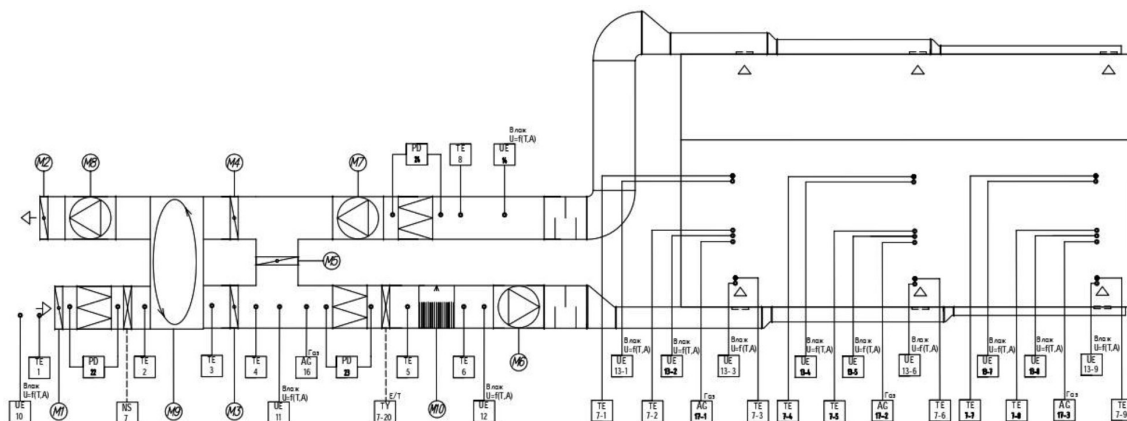


Рис. 2. Функциональная схема автоматизации микроклимата в исполнении модульной приточно-вытяжной установки

При помощи современных контроллеров и измерительных приборов можно осуществлять регулирование микроклимата как по одному, так и по нескольким параметрам. При этом границы определяются спецификой хранимого продукта и бюджетом. Так, если регулирование по температуре и влажности является обыденностью, то некоторые передовые предприятия идут более инновационным путём. Например, глава агрокомбината «Московский» Виктор Семкин заявляет, что «индивидуальная вентиляция каждой секции осуществляется по программируемым значениям содержания углекислоты и этилена в воздухе» [3].

Стоит отметить, что если соблюдать технологию выращивания и сбора урожая, то современные системы автоматического управления микроклиматом овощехранилища способны обеспечить сохранность картофеля почти круглый год. Так, по утверждению директора по развитию агрохолдинга «Терра де люкс» Андрея Буханцова, «последние остатки урожая, собранного в 2018 г., компания реализовала в середине июня 2019-го». При этом нужно понимать, что система автоматизации – это не только техническая обвязка и использование новых эффективных датчиков и исполнительного оборудования, но и возможность реализации более продуманного и адаптивного алгоритма управления. Поэтому даже при инновационном подходе деления хранилища на секции, основная идея, позволяющая расширить период эффективного управления микроклиматом овощехранилищ, заключается в анализе и последующем охвате всего цикла хранения от самого сбора до выгрузки. Это позволяет учесть исходное состояние картофеля на период сбора и в дальнейшем легко изменять па-

раметры хранения в зависимости от этапа хранения. Как отмечено в работе [4], простое проветривание помещения хранилища, без учёта ряда особенностей загрузки и расположения системы приточной вентиляции, может привести к потере веса продукта и существенному снижению его качества.

Современный технологический цикл хранения картофеля можно представить такой последовательностью стадий [5]:

- проверочный пуск оборудования;
- просушка;
- лечение;
- охлаждение;
- основной;
- весенний;
- дезинфекция хранилища (просушка);
- останов оборудования.

Функциональная схема автоматизации модульной приточно-вытяжной системы для реализации полного цикла хранения картофеля при секционном делении хранилища показана на рис. 2.

Как говорилось ранее, технологии хранения разных сортов картофеля существенно отличаются друг от друга. При этом техническая обвязка, показанная на функциональной схеме (рис. 2), меняться не будет, а алгоритмы работы автоматической системы будут разные. Рассмотрим работу установки на примере цикла хранения семенного картофеля, управление хранением которого производится по следующему алгоритму:

1. Стадия сушки. Происходит при большой влажности картофеля и особенно важна, если сбор картофеля производится в период дождей:

1.1. При температуре наружного воздуха не менее 10 °С открывается заслонка входного потока наружного воздуха посредством включения двигателя М1 и заслонка выход-

ного потока внутреннего воздуха посредством включения М2. Также включаются вентиляторы М6, М8. Внутренние заслонки М4, М3 остаются открытыми, а байпасная заслонка М5 – закрытой. Если картофель сухой, то вентилируют 1–1,5 суток, если влажный и холодный, то 2,5–3 суток.

1.2. При температуре наружного воздуха менее 10°C для поддержания 10°C внутри хранилища используются роторный рекуператор М9 и электрокалорифер 2.

2. *Стадия лечения.* Заключается в поддержании в межклубневом пространстве температуры 16–20°C, влажности 85–90% и концентрации O_2 ниже 16–18%.

2.1. При температуре в хранилище (Т) менее 17°C включается электрокалорифер 2, вентиляторы М7, М6, открывается заслонка байпаса М5 внутреннего потока рециркуляционного воздуха и закрываются заслонки М4, М3.

2.2. При влажности в хранилище (Ф) менее 85% включается увлажнитель М10, а при необходимости электрокалорифер 2. Также включаются вентиляторы М7, М6, открывается заслонка байпаса М5 внутреннего потока рециркуляционного воздуха и закрываются заслонки М4, М3.

2.3. При концентрации O_2 в хранилище (CO_2) ниже 16% перекрывается клапан байпаса М5 и открываются клапаны М4, М3, открываются заслонки входного и наружного потока воздуха посредством включения М1, М2. При необходимости начинают работать роторный рекуператор, электрокалорифер 2 и увлажнитель.

3. *Стадия охлаждения.* Заключается в снижении в межклубневом пространстве температуры на 0,5°C в сутки в течение 30 дней. Вентиляция осуществляется воздухом с температурой на 2–3°C ниже температуры в насыпи клубней.

3.1. При низких, но положительных температурах наружного воздуха охлаждение происходит за счёт периодического открытия заслонок входного потока наружного воздуха посредством открытия заслонок входного потока наружного воздуха М1, выходного потока внутреннего воздуха посредством включения М2. Также включаются вентиляторы М6, М8. Внутренние заслонки М4, М3 остаются открытыми, а байпасная заслонка М5 – закрытой.

3.2. При отрицательных температурах наружного воздуха охлаждение происходит также за счёт периодического открытия заслонок входного потока наружного воздуха посредством включения М1, выходного потока внутреннего воздуха посредством включения М2. Также включаются вентиляторы М6, М8. Внутренние заслонки М4,

М3 остаются открытыми, а байпасная заслонка М5 закрытой. При необходимости включается роторный рекуператор М9, электрокалорифер 2 и увлажнитель.

4. *Основной период.* Заключается в поддержании температуры насыпи в межклубневом пространстве 2–4°C, концентрации кислорода в межклубневом пространстве не ниже 16–18%, влажности 90% в течение 4–5 месяцев. Температура внутри хранилища должна быть на 1–2°C больше, чем в насыпи.

4.1. При $T < 2^\circ C$ включается электрокалорифер 2, вентиляторы М7, М6, открывается заслонка байпаса М5 внутреннего потока рециркуляционного воздуха и закрываются заслонки М4, М3.

4.2. При $T > 4^\circ C$ воздуха охлаждение происходит за счёт периодического открытия заслонок входного потока наружного воздуха посредством включения М1, выходного потока внутреннего воздуха посредством включения М2. Также включаются вентиляторы М6, М8. Внутренние заслонки М4, М3 остаются открытыми, а байпасная заслонка М5 закрытой. При необходимости включаются роторный рекуператор М9, электрокалорифер 2 и увлажнитель.

4.3. При $\Phi < 85\%$ включается увлажнитель М10, при необходимости электрокалорифер 2, также включаются вентиляторы М7, М6, открывается заслонка байпаса М5 внутреннего потока рециркуляционного воздуха и закрываются заслонки М4, М3.

4.4. При $CO_2 < 16\%$ перекрывается клапан байпаса М5 и открываются клапаны М4, М3, открываются заслонки входного и наружного потока воздуха посредством включения М1, М2. При необходимости начинают работать роторный рекуператор, электрокалорифер 2 и увлажнитель.

5. *Весенний период.* Заключается в снижении температуры хранилища в межклубневом пространстве на 0,5°C в сутки, до значений 1,5–2°C, и поддержании её до посадки. Также должно поддерживаться содержание кислорода в межклубневом пространстве не ниже 16–18%, а влажности $\Phi > 85–90\%$.

5.1. При $T > 2^\circ C$ воздуха охлаждение происходит за счёт периодического открытия заслонок (в холодное время суток) входного потока наружного воздуха посредством включения М1, выходного потока внутреннего воздуха посредством включения М2. Также включаются вентиляторы М6, М8. Внутренние заслонки М4, М3 остаются открытыми, а байпасная заслонка М5 закрытой. При необходимости включаются роторный рекуператор М9, электрокалорифер 2 и увлажнитель.

5.2. При $T < 1,5^{\circ}\text{C}$ включаются электрокалорифер 2, вентиляторы М7, М6, открывается заслонка байпаса М5 внутреннего потока рециркуляционного воздуха и закрываются заслонки М4, М3.

5.3. При $\Phi < 85\%$ включается увлажнитель М10, при необходимости электрокалорифер 2, также включаются вентиляторы М7, М6, открывается заслонка байпаса М5 внутреннего потока рециркуляционного воздуха и закрываются заслонки М4, М3.

5.4. При $\text{CO}_2 < 16\%$ перекрывается клапан байпаса М5 и открываются клапаны М4, М3, открываются заслонки входного и наружного потока воздуха посредством включения М1, М2. При необходимости начинают работать роторный рекуператор, электрокалорифер 2 и увлажнитель.

6. *Сушка и дезинфекция.* В тёплую сухую погоду в течение трёх суток производят вентиляцию путём открытия заслонок входного потока наружного воздуха посредством включения М1, выходного потока внутреннего воздуха посредством включения М2. Также включаются вентиляторы М6, М8. После трёх дней сушки все заслонки закрывают и систему останавливают.

7. *Останов оборудования* заключается в выключении всего оборудования. Все клапаны при этом должны быть закрыты.

Заключение

Предложено разделение больших овощехранилищ на несколько секций с модульной приточно-вытяжной системой, что позволяет оптимально использовать пространство хранилища, обеспечить технологические особенности хранения картофеля определенного сорта и учесть климатические условия региона. Представлена функциональная схема автоматизации

в исполнении модульной приточно-вытяжной установки.

Основная идея, позволяющая расширить период эффективного управления микроклиматом овощехранилищ, заключается в анализе и последующем охвате всего цикла хранения от самого сбора до выгрузки, что позволяет учесть исходное состояние овощей после сбора. Модульная приточно-вытяжная система позволит в каждой секции проводить независимые этапы хранения, а следовательно, позволить в одном овощехранилище хранить картофель разных сортов и разного требуемого качества соизмеримо с потребностью рынка.

Разработан алгоритм хранения семенного картофеля, состоящий из семи стадий и учитывающий все этапы хранения от загрузки до опустошения хранилища.

Список литературы

1. Плугов А. Цены на картофель: анализ по сезонам продаж и прогнозы // АБ-центр (экспертно-аналитический центр агробизнеса). URL: <https://ab-centre.ru/articles/ceny-na-kartofel-analiz-po-sezonam-prodazh-i-prognozy> (дата обращения: 10.09.2021).
2. Максимова Е. Картофелеводы потеряли стимул. Расширять производство неинтересно из-за низкой маржи // Агроинвестор. 2019. № 5. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agroinvestor.ru/analytics/article/31688-kartofelevody-poteryali-stimul> (дата обращения: 10.09.2021).
3. Загоровская В. Спецхран для овощей. Как добиться снижения потерь овощной продукции в процессе хранения // Агроинвестор / Агротехника и технологии. 2017. № 11. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/28930-spetskhran-dlya-ovoshchey> (дата обращения: 10.09.2021).
4. Калашников М.П. Совершенствование систем обеспечения микроклимата в зданиях картофелехранилищ // Construction and Geotechnics. 2020. Т. 11. № 3. С. 54–63. DOI: 10.15593/2224-9826/2020.3.05.
5. Пачкин С.Г., Алиев М.Г. Понижение стоимости сельскохозяйственной продукции за счёт автоматизации микроклимата овощехранилищ // Холодильная техника и биотехнологии: Сборник тезисов I Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Кемерово, 1–31 декабря 2019 г.). 2019. С. 85–89.