

Температурно-влажностный режим хранения — важный фактор сохранности сахара белого^S

Е.А. ТАРАСОВА, канд. техн. наук (e-mail: ip2201@rambler.ru)

К.Б. ГУРЬЕВА, канд. техн. наук

ФГБУ «Научно-исследовательский институт проблем хранения Росрезерва»

Введение

Необходимость хранения пищевой продукции приобретает государственное значение при выполнении задач по обеспечению продовольственной безопасности нашей страны. Кроме того, в отношении сельскохозяйственной продукции актуальность хранения возникает при формировании государственного интервенционного фонда для возможности регулирования цен и поддержки сельхозпроизводителей. В соответствии с распоряжением Правительства РФ от 25 августа 2021 г. № 2354-р в перечень видов сельскохозяйственной продукции, в отношении которой могут проводиться государственные закупочные и товарные интервенции, включён сахар белый согласно коду ОКПД 2 10.81.12.110: сахар белый свекловичный в твёрдом состоянии без вкусоароматических или красящих добавок. На хранение чаще всего направляется сахар белый кристаллический.

Основной целью изготовителя при производстве сахара белого кристаллического (далее — сахар) является соответствие продукции требованиям нормативных документов, действующих на территории Российской Федерации, а важнейшим результатом при хранении в течение установленного срока годности — выпуск сахара с сохранением его показателей безопасности и качества без изменения первоначальной категории.

Сахар не относится к скоропортящейся продукции, что объясняется его составом: массовая доля сахарозы по прямой поляризации для сахара категории «Экстра» не менее 99,8 %, для сахара категорий ТС1 и ТС2 — не менее 99,7 %, массовая доля влаги для сахара категорий «Экстра» и ТС1 не более 0,1 %, для сахара категории ТС2 — не более 0,12 %. Однако при хранении в складских условиях его органолептические, физико-химические и микробиологические показатели могут претерпевать нежелательные изменения. При поступлении на хранение ключевыми моментами обеспечения стабильности регламентируемых показателей сахара на протяжении срока годности являются соблюдение температурно-влажностного режима, правил размещения продукции и санитарного состояния помещений. Из перечисленных условий хранения наиболее сложным является поддержание на складе оптимального температурно-влажностного режима, в первую очередь из-за зависимости его от природных климатических условий.

Основные факторы, формирующие микроклимат на складе

Влияние погодных и складских условий на сохранность сахара изучал профессор С.В. Лебедев ещё в 30-е гг. XX в. Результаты

многофакторного лабораторного эксперимента и анализ наблюдений складского хранения сахара в Сибири позволили определить степень влияния температурно-влажностного режима хранения и амплитуды колебаний среднемесячной температуры воздуха на увлажнение, микробиологическое загрязнение и увеличение содержания редуцирующих веществ в сахаре. Основной причиной увлажнения сахара учёный считал расслоение воздуха на складе на тёплый и холодный под влиянием внешних температурных и метеорологических изменений [1].

Для создания эффективной системы хранения, предусматривающей поддержание оптимального температурно-влажностного режима, в ФГБУ НИИПХ Росрезерва проанализированы данные наблюдений за хранением сахара на отапливаемых и неотапливаемых складах, расположенных в разных климатических зонах, исследованы наиболее нестабильные качественные показатели сахара, влияющие на его сохранность.

Годовой мониторинг температурно-влажностных параметров воздуха внутри складов различных конструкций позволил уточнить степень влияния погодных условий на складской микроклимат: осенью и зимой наблюдается охлаждение и осушение воздуха, а летом и весной — нагревание и увеличение его влагоёмкости.

^S Выбор спонсора научных публикаций осуществляется по усмотрению редакции, любая взаимосвязь между видами деятельности спонсора и результатами научной работы исключается



В неотапливаемых складских помещениях в период наблюдения температура зимой опускалась до -27°C , в отапливаемых до $+11^{\circ}\text{C}$. Наибольшая температура в помещениях в летний период составила $+29,5^{\circ}\text{C}$, преобладающая максимальная температура, зафиксированная на складах, составила $+23^{\circ}\text{C}$. Относительная влажность воздуха в зависимости от конструкции хранилища в осенне-зимние месяцы находилась в пределах от 7 до 40 %, в весенне-летние месяцы колебалась от 55 до 75 %.

Наблюдение за условиями хранения сахара на отапливаемом складе, расположенном в центральном регионе России, показало, что температура в середине штабелей практически в течение всего года в среднем на 2°C ниже температуры складского воздуха. Данные исследования, представленные на рис. 1 и 2, наглядно демонстрируют, что в рассматриваемых условиях хранения сахара поддерживались следующие температурно-влажностные параметры складского воздуха: температура не выше $+22^{\circ}\text{C}$, относительная влажность воздуха не более

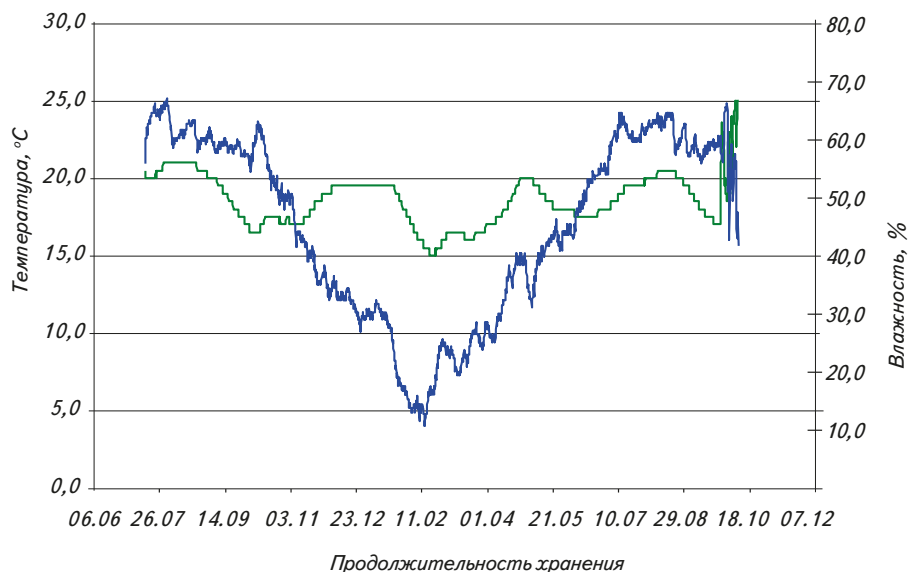


Рис. 2. Динамика изменения температуры и относительной влажности воздуха в середине штабеля № 2

68 %. Наименьшая температура воздуха за время наблюдения составила $+14^{\circ}\text{C}$, а относительная влажность воздуха 15 %.

Проработка материалов годового мониторинга температурно-влажностных показателей воздуха на складах показала, что сезонные изменения климата оказывают существенное влияние на динамику параметров складского микро-

климата. Основными факторами, формирующими температурно-влажностный режим хранения в помещении, являются погодные условия, географическое расположение и конструкция здания. Отапливаемые склады обеспечивают хранение сахара без резких колебаний температуры и относительной влажности окружающего воздуха, а также поддержание температуры в зимний период не ниже $+10^{\circ}\text{C}$. Требуемые условия хранения рекомендуется поддерживать с помощью отопления (охлаждения) и вентиляции складов, а также техническими способами кондиционирования воздуха. В целях обеспечения заданного температурно-влажностного режима при проектировании новых складов и реконструкции действующих необходимо проводить прогнозирование состояния микроклимата внутри здания [2].

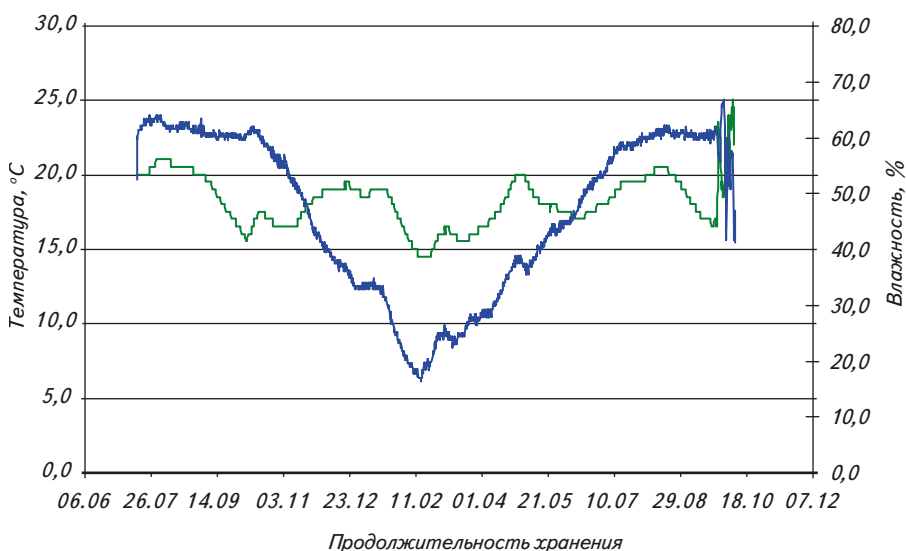


Рис. 1. Динамика изменения температуры и относительной влажности воздуха в середине штабеля № 1

Влияние температурно-влажностного режима хранения на сохранность сахара

Из-за разности температур и парциальных давлений водяного пара влажного воздуха между



сахаром и окружающим воздухом непрерывно происходят процессы тепло- и влагообмена. Движение влаготтока направлено в сторону более низкой температуры, поэтому спрогнозировать периоды вероятного увлажнения или подсушки сахара можно по изменению температуры сахара в штабеле. Исследование состояния сахара на протяжении годового мониторинга температурно-влажностного режима хранения показало, что отсутствие возможности регулировать температуру хранения, характерное для неотапливаемых складов, влияет на продолжительность периодов изменения массовой доли влаги сахара: увлажнение происходит в период с марта по июль, а снижение влажности с сентября по ноябрь и с января по февраль. На отапливаемых складах амплитуда изменения температуры сахара в течение года меньше, поэтому естественная его подсушка наблюдается с ноября по февраль, а увлажнение — с мая по август. В зимнее время, когда абсолютная влажность воздуха в отапливаемых хранилищах снижается до 2–3 г/м³, а в неотапливаемых — до 0,5–1,0 г/м³, содержание массовой доли влаги в сахаре опускается до 0,04–0,05 %. Снижение данного показателя после увлажнения сахара обуславливает сцепление его кристаллов между собой и, как следствие, комкование. С наступлением весенне-летнего периода хранения прослеживается восстановление сыпучести продукта.

Повышение массовой доли влаги в сахаре в сочетании с повышенной температурой окружающего воздуха (выше +25 °С) при хранении активизирует процессы инверсии сахарозы, меланоидинообразования, развития микробиологических процессов, что влечёт за собой снижение содержания сахарозы и увеличение цветности. Контроль физико-химических показателей сахара

в процессе длительного хранения не выявил существенного увеличения массовой доли редуцирующих веществ, что объясняется участием образующихся при инверсии сахарозы альдоз в реакции меланоидинообразования. Несоблюдение температурно-влажностного режима хранения является основной причиной микробиологической обсеменённости сахара плесневыми грибами (*Penicillium*, *Aspergillus*), дрожжами (*Saccharomyces rouxii*, *Saccharomyces rosei*, *Torulopsis* и др.), мезофильными бактериями.

Сохранность сахара в период нахождения на складе неразрывно связана с его сорбционными свойствами и величиной равновесной влажности, которые изменяются в зависимости от температурно-влажностных условий.

С целью дальнейшего изучения влияния температуры и относительной влажности воздуха на влагосорбционную способность сахара в ФГБУ НИИПХ Росрезерва исследована динамика равновесной влажности сахара в заданных условиях хранения, моделирую-

щих сезонные погодные изменения. Равновесная влажность — это влажность, соответствующая динамическому равновесию, когда влагообмен между окружающей воздушной средой и продуктом прекращается.

Для изучения влияния температурно-влажностного режима хранения на гигроскопичность сахара были выбраны следующие условия: температура воздуха (+10±2) и (+25±2) °С, относительная влажность воздуха 66, 75, 80, 85 %. Влияние режима хранения на гигроскопичность сахара отражено на графике (рис. 3).

Анализ результатов исследования показал следующий характер зависимости равновесной влажности сахара от температуры и относительной влажности воздуха.

Влияние температуры хранения существенно проявляется при относительной влажности окружающего воздуха более 80 %. С понижением температуры от +25 до +10 °С значение равновесной влажности сахара увеличивается. То есть если сорбция влаги происходит при относительной

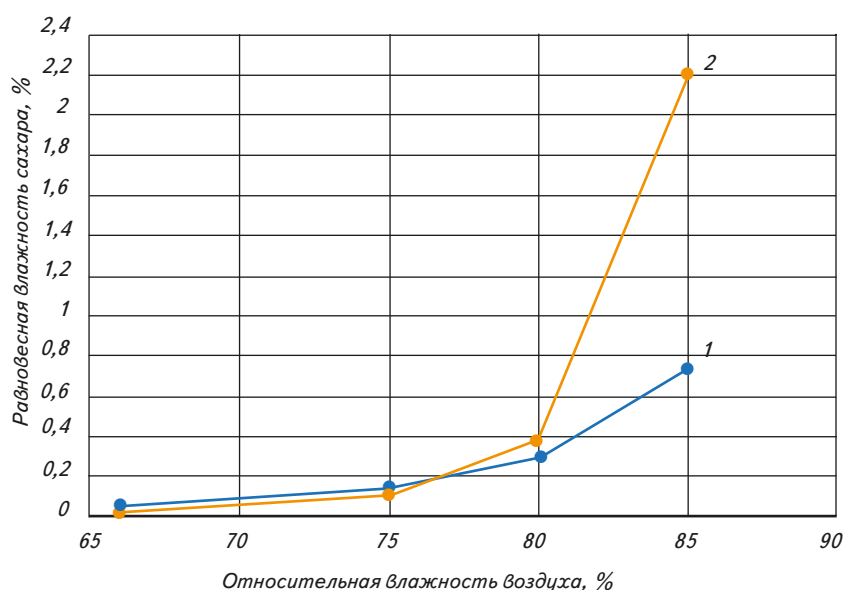


Рис. 3. Изотермы сорбции влаги сахаром в условиях хранения: 1 — при температуре (+25±2) °С, 2 — при температуре (+10±2) °С



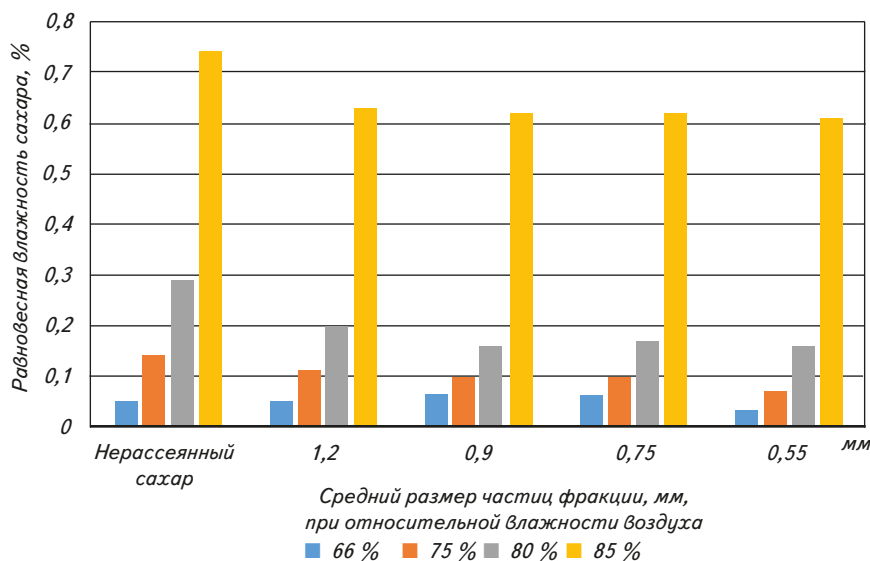


Рис. 4. Влияние относительной влажности воздуха и размера кристаллов на равновесную влажность сахара при температуре $(+25 \pm 2)^\circ\text{C}$

влажности воздуха более 77 %, то при температуре $+10^\circ\text{C}$ сахар способен поглотить больше влаги, чем при $+25^\circ\text{C}$.

Изотермы сорбции влаги сахаром в условиях относительной влажности воздуха в диапазоне от 66 до 75 % увеличиваются постепенно, а начиная с 80 % интенсивность их возрастает. Так, при температуре хранения $(+25 \pm 2)^\circ\text{C}$ повышение относительной влажности воздуха с 66 до 80 % привело к увеличению равновесной влажности сахара с 0,05 до 0,29 %. При относительной влажности воздуха 85 % значение равновесной влажности составило 0,74 %. При температуре хранения $(+10 \pm 2)^\circ\text{C}$ равновесная влажность сахара с повышением относительной влажности воздуха с 66 до 80 % увеличилась с 0,02 до 0,38 %, а при относительной влажности воздуха 85 % её значение составило 2,20 %.

Динамика равновесной влажности сахара при температуре хранения $(+25 \pm 2)^\circ\text{C}$ в зависимости от относительной влажности воздуха на примере сахара с кристаллами разных фракций (средний размер частиц 1,2; 0,9; 0,75; 0,55 мм)

подтвердила влияние однородности и размера кристаллов на его гигроскопичность (рис. 4). Согласно полученным результатам эксперимента испытанные образцы сахара с однородными кристаллами в пределах каждой фракции менее гигроскопичны, чем сахар, не подвергнутый разделению на фракции (нерасеянный).

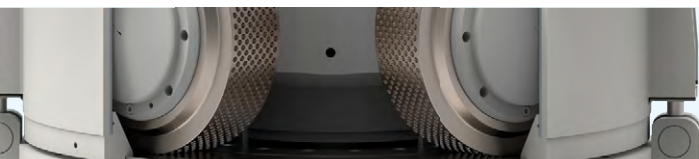
При превышении значения относительной влажности воздуха, соответствующего величине равновесной влажности сахара в рассматриваемых условиях, происходит конденсация влаги на упаковке и поверхности кристаллов, вызывая растворение поверхностного слоя кристаллов сахара с образованием насыщенного раствора, который под действием сил тяжести и за счёт капиллярных сил стягивается к точкам соприкосновения кристаллов [3, 4]. Изменение условий хранения в сторону снижения относительной влажности воздуха приводит к десорбции паров воды с поверхности кристаллов с одновременным переходом раствора из насыщенного состояния в пересыщенное. В условиях пересыщенного раствора сахароза

выкристаллизовывается, сцепляя кристаллы и образуя отдельные комки сахара. Дальнейшее снижение относительной влажности складского воздуха приводит к образованию сплошного монолита, прочность которого увеличивается с каждым новым циклом увлажнения и подсыхания сахара. Кроме снижения сыпучести сахара образование насыщенного раствора на поверхности кристаллов способствует развитию микроорганизмов, что отрицательно сказывается на безопасности продукта. Гидролиз сахарозы приводит к увеличению редуцирующих сахаров, участвующих в реакции меланоидинообразования, возрастает скорость нарастания цветности сахара [5].

Результаты наблюдения за состоянием сахара и периодического контроля его качества показали, что условия хранения при температуре выше $+25^\circ\text{C}$, а также резкие её колебания (более 10°C) в совокупности с чередованием увлажнения и подсушки продукта негативно отражаются на его цветности. Математический анализ данных мониторинга цветности сахара, хранящегося на отопляемом складе, позволил рассчитать теоретические линии регрессии нарастания его цветности, которые подтверждаются данными лабораторного эксперимента при изучении влияния температуры хранения на изменение цветности (рис. 5).

Представленные линии регрессии для разных температур хранения наглядно демонстрируют зависимость скорости нарастания цветности как от температуры, так и от исходной цветности сахара. На основании данных экспериментального и натурального хранения сахара можно отметить следующее.

Изготовленный сахар цветностью 100–103 ед. ICUMSA (категория TC2) не предназначен для



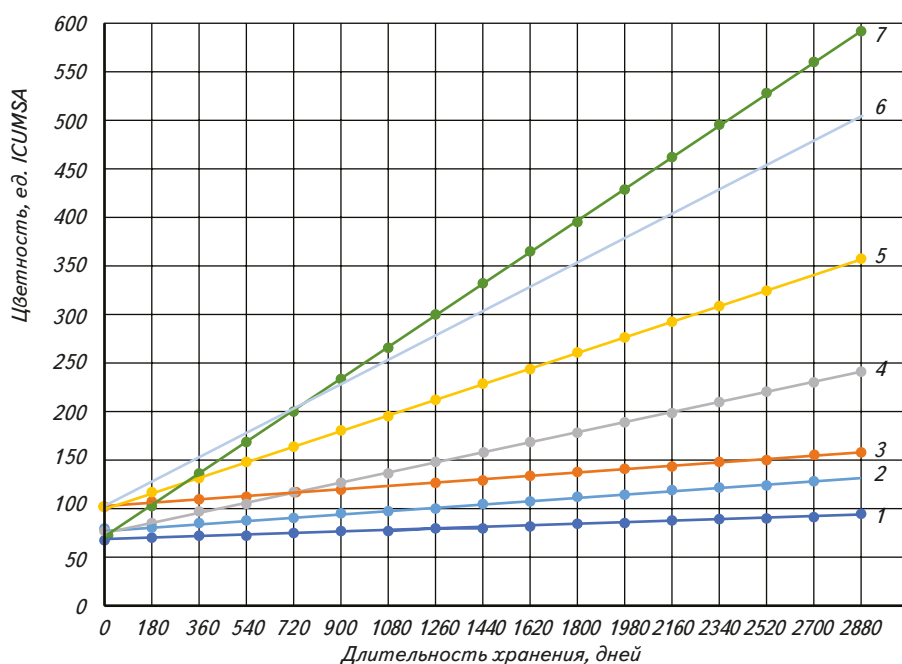


Рис. 5. Теоретические линии регрессии (прогнозы) нарастания цветности сахара, ед. ICUMSA:

- 1 – хранение на отапливаемом складе при температуре не выше $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- хранение при постоянной температуре $(+5\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$: 2 – исходная цветность 80 ед., 3 – исходная цветность 103 ед.;
- хранение при постоянной температуре $(+25\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$: 4 – исходная цветность 77,9 ед., 5 – исходная цветность 103 ед.;
- хранение при постоянной температуре $(+35\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$: 6 – исходная цветность 103 ед., 7 – исходная цветность 77,8 ед.

хранения. В случае хранения более шести месяцев при температуре $(+5\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ цветность такого сахара превышает предельные значения, установленные ГОСТ 33222-2015 «Сахар белый. Технические условия». В таком случае выпуск с хранения предусматривает изменение категории сахара на ТС3.

Хранение сахара с исходной цветностью 78–80 ед. ICUMSA (категория ТС2) при температуре $(+5\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ возможно в рамках заявленной категории на протяжении четырёх лет. В условиях постоянной температуры $(+25\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ продолжительность хранения такого продукта с сохранением категории сокращается в два раза, а при постоянной температуре хранения $(+35\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ – в шесть раз. На отапливаемом складе (температура окружающего воздуха не выше

$+22\text{ }^{\circ}\text{C}$) возможно хранение сахара с исходной цветностью 68–77 ед. ICUMSA (категория ТС2) на протяжении восьми лет.

Представленные результаты свидетельствуют о значительном влиянии температурного режима хранения сахара на скорость нарастания его цветности. Экспериментально доказано, что продолжительные периоды нахождения при температуре выше $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ способствуют интенсификации процесса меланоидинообразования. Учитывая, что показатель «цветность в растворе» является одним из основных при определении категории сахара, увеличение значения по данному показателю отрицательно сказывается на его сохранности в пределах заявленной категории. Хранение сахара цветностью более 80 ед. ICUMSA

при температуре выше $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ нецелесообразно.

Заключение

Результаты научно-исследовательской работы показывают, что при определении срока годности и хранения сахара необходимо принимать во внимание влияние таких факторов, как температура и относительная влажность воздуха на складе. При этом установленная ГОСТ 33222-2015 «Сахар белый. Технические условия» допустимая температура хранения сахара $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ должна рассматриваться как кратковременная критическая температура складского воздуха. Условиями, гарантирующими устойчивое хранение при равновесной влажности сахара не более 0,1 %, являются относительная влажность воздуха в пределах 65–70 % и температура не выше $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

По итогам исследования влияния температурно-влажностного режима хранения на показатели безопасности и качества сахара сформулированы практические рекомендации, обеспечивающие его сохранность на протяжении установленного срока годности:

- хранение сахара следует осуществлять на отапливаемых складах с возможностью регулирования температурно-влажностных параметров воздуха;
- на протяжении хранения поддерживать оптимальные условия: относительную влажность воздуха не выше 70 % на уровне нижнего первого ряда мешков и температуру воздуха не выше $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$, без резких колебаний;
- для исключения комкования сахара нижний предел относительной влажности воздуха на складах целесообразно поддерживать на уровне 50 %;
- критической температурой воздуха на складе следует считать $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Превышение рекомендуемой температуры, но не выше



**Журнал «Сахар» объявляет стихотворный конкурс
к 220-летию российской свеклосахарной отрасли!**

**Лучшие стихи будут опубликованы
в номерах журнала «Сахар» 04(22)–12(22)***

Тексты** редакция просит присылать до 31 марта 2022 г. на электронный адрес редакции журнала «Сахар»: sahar@saharmag.com

ВАЖНО

Должны быть указаны:

ФИО автора;

название предприятия;

контакты автора (телефон, e-mail).

(*). Требования: текст должен быть уникальным, состоять из 16 строк и включать слова: «220 лет», «свеклосахарная отрасль», «Россия».

(**) Отправляя текст на конкурс, автор соглашается с передачей редакции журнала «Сахар» прав на опубликование текста и/или использование его в других материалах журнала «Сахар», сайтов www.rossahar.ru и www.saharmag.com, а также на обработку персональных данных.



Впиши себя в историю свеклосахарной отрасли России!

критической, возможно в течение одного месяца за весь период хранения;

– направляя сахар на хранение, необходимо учитывать зависимость степени сохранности продукта от его исходного качества.

Список литературы

1. Лебедев, С.В. Анализ явления отсыревания сахара / С.В. Лебедев // Известия Сибирского технологического института. – Т. 47 (I). – Вып. 6. – Томск, 1927. – 81 с.

2. Рымаров, А.Г. Прогнозирование параметров воздушного, теплого, газового и влажностного режимов помещений здания / А.Г. Рымаров // Academia. – Архитектура и строительство. – 2009. – № 5.

3. Терещенко, А.Г. Гигроскопичность и слёживаемость растворимых веществ: монография / А.Г. Терещенко. – Изд-во Томского политехнич. ун-та, 2011. – 79 с.

4. Славянский, А.А. Промышленное производство сахара / А.А. Славянский. – М. : Русайнс, 2021. – 396 с.

5. Взаимосвязь процессов и показателей качества сахара-песка и пути воздействия для обеспечения сохранности при длительном

хранении / Е.А. Тарасова, К.Б. Гурьева, О.Н. Магаюмова, Ю.И. Сидоренко. – Сб. матер. VI Межведомств. научно-практич. конф. «Товароведение, общественное питание и технологии хранения продовольствия». – М. : ФГБОУ ВПО МГУПП, 2014. – С. 118–121.

Аннотация. Условия хранения сахара белого оказывают значительное влияние на показатели его безопасности и качества. Поддержание оптимального температурно-влажностного режима хранения обеспечивает сохранность сахара с наименьшими качественными изменениями. На основании результатов исследовательской работы рекомендованы научно обоснованные параметры температуры и относительной влажности воздуха в складских помещениях, обеспечивающие сохранность сахара белого на протяжении установленного срока годности.

Ключевые слова: сахар белый, условия хранения, температурно-влажностный режим, равновесная влажность, цветность.

Summary. Storage conditions for white sugar have a significant impact on its safety and quality. Maintaining optimal temperature and humidity storage conditions ensures the storage of sugar with the least qualitative changes.

On the basis of the results of the research, scientifically grounded parameters of temperature and relative humidity in the warehouse are recommended, to ensure the safety of white sugar during the shelf life.

Keywords: white sugar, storage conditions, temperature and humidity regime, balanced humidity, color.

