

УДК 631.243.9

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСА ПОТЕРИ СВЕКЛОМАССЫ ПРИ ХРАНЕНИИ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ В КАГАТЕ

**Кольцов Семен Михайлович**

аспирант

[smkoltsov@yandex.ru](mailto:smkoltsov@yandex.ru)

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

**Аннотация.** В статье представлены результаты проведенного исследования процессов естественного охлаждения в оперативном кагате сахарной свеклы среднесрочного хранения массой 3 650 т. Установлено, что адиабатическое охлаждение и связанные с ним процессы оказывают преобладающее влияние на снижение температуры в кагате при хранении. Представлена формула для расчета потерь в полевых и оперативных кагатах для склона, расположенного поперек движения преобладающего направления ветра.

**Ключевые слова:** сахарная свекла, хранение, охлаждение, потери свекломассы.

Одной из актуальных проблем свеклосахарной отрасли является хранение сахарной свеклы. Распространено хранение корнеплодов в полевых кагатах на полях выращивания. Часто продолжительность хранения в кагатах превышает регламентируемый срок в 1 месяц, что приводит к повышенным потерям свекломассы. Однако учет массы насыпи сахарной свеклы в производственных условиях не выполняется после копки. Первое взвешивание сырья происходит на весовой сахарного завода после полевого хранения. Потери свекломассы при хранении в полевых кагатах остаются не учтёнными [1, 2].

В рамках разработки методики потерь свекломассы во время хранения были проведено исследование в ноябре 2020 года в Курской области. Объектом исследования являлся оперативный кагат высотой 6,5 м и массой 3 650 т. Он располагался поперек преобладающего для данной местности юго-восточного направления ветра. Средняя скорость ветра составила 2,4 м/с. Измерение температуры в кагате проводилось каждые 3 часа с помощью термоштанг с глубиной погружения в насыпь 1 метр. В ходе исследований была выявлена разница температур между склонами исследуемого кагата.

При изучении факторов, которые обеспечили разницу температур между боковыми сторонами кагата, было составлено уравнение теплового баланса [7]:

$$Q = Q_{\text{дых}} + Q_{\text{л}} - Q_{\text{к}} - Q_{\text{и}} \quad (1)$$

где  $Q_{\text{дых}}$  – теплота, выделяемая при дыхании массы сахарной свеклы, Вт;  $Q_{\text{л}}$  – теплота, поступающая в насыпь от солнечной радиации, Вт;  $Q_{\text{к}}$  – теплота, отводимая из кагата за счет конвективного движения воздушных масс, Вт;  $Q_{\text{и}}$  – количество теплоты, расходуемое на испарение влаги с поверхности свеклы, Вт.

Отвод теплоты из кагата осуществляется с помощью двух процессов: конвективное движение воздушных масс между окружающей средой и кагатом, а также и испарение влаги с поверхности свеклы. При составлении уравнения отведенной теплоты от наветренного склона кагата конвективный теплообмен был представлен как нагрев с последующим влагонасыщением воздуха [3, 4]:

$$C_{\text{св}} m_{\text{св}} dT_{\text{св}} d\tau = L_{\text{в}} \rho_{\text{в}} C_{\text{в}} dT d\tau + C_{\text{п}} (d_{\text{к}} - d_{\text{н}}) dT d\tau + W S_{\text{н}} r d\tau \quad (2)$$

где  $C_{\text{св}}$  – теплоемкость сахарной свеклы, Дж/(кг·°C);  $m_{\text{св}}$  – масса свеклы, кг;  $dT_{\text{св}}$  – разность в начале и в конце измерения температуры сахарной свеклы, °C;  $L_{\text{в}}$  – количество поступающего в кагат воздуха, м<sup>3</sup>/ч;  $\rho_{\text{в}}$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $C_{\text{в}}$  – теплоемкость воздуха, Дж/(кг·°C);  $dT$  – разность температур в начале и в конце измерения температуры воздуха, °C;  $C_{\text{п}}$  – теплоемкость водяного пара, Дж/(кг·°C);  $(d_{\text{к}} - d_{\text{н}})$  – разность между влажностью воздуха, кг;  $W$  – скорость испарения, кг/(м<sup>2</sup>·с), зависящая от скорости ветра;  $S_{\text{н}}$  – площадь поверхности испарения в насыпи, м<sup>2</sup>;  $r$  – удельная теплота испарения, Дж/кг.

Расход поступающего из окружающей среды воздуха был определен с учетом скорости ветра. В процессе хранения конвективное движение воздуха обеспечивает вынос влаги из кагата, а её компенсация осуществляется путем выделения влаги на поверхности корнеплодов. За 12 дней исследований суммарно отведено от 1 м<sup>3</sup> внешнего слоя насыпи порядка 6,3 кВт тепла, а поступило тепла 0,43 кВт. Доля на отведение теплоты из кагата за счет нагрева приточного воздуха составила 24,9% от общей суммы отведенной теплоты, на влагонасыщение воздуха – 55,5%, а на испарение влаги с поверхности корнеплодов сахарной свеклы – 19,6% соответственно. Данное соотношение теплового баланса характерно для ноября.

За счет механизмов естественного охлаждения было потеряно 50,3 кг влаги или 7,6% от массы 1 м<sup>3</sup> насыпи. Рассматриваемый кагат только за счет расположения одной из сторон поперек преобладающего направления ветра потерял 28,4 т влаги, что является 0,8% от общей массы кагата за 12 дней наблюдения. В расчете не учитывались оставшиеся потери, к числу которых относятся потери при «дыхании» корнеплодов [1, 3, 5].

Расчет производится для кагата высотой 6,5 м и соотношением массы хранящегося сырья к площади поверхности кагата, соприкасающейся с окружающей средой,  $M_{\text{св}}/S_{\text{каг}} = 0,89$ . Исследования проведены с учетом

температуры слоя насыпи, расположенного на расстоянии 1 м от поверхности склона. На этот слой приходится 23% общей массы свеклы в кагате. За 38 дней хранения суммарные потери в рассматриваемом среднесрочном кагате высотой 6,5 м составили 3,4%, включая потери, связанные с «дыханием» свеклы, солнечной радиацией, конвективным тепломассообменом и испарением противоположного склона кагата.

Составлена формула, полученная при корреляционном анализе данных, для расчета потерь свекломассы только на склоне, расположенном поперек преобладающего направления ветра [6, 7]:

$$M' = (-0,01057 + 0,0959T_{\text{св}} - 0,0712T_{\text{окр}} + 0,1626v) \cdot \frac{0,89M_{\text{св}}}{S_{\text{каг}}} \quad (3)$$

где  $T_{\text{св}}$  – температура свеклы, °С;  $T_{\text{окр}}$  – температура окружающей среды, °С;  $v$  – скорость ветра, м/с;  $M_{\text{св}}$  – масса кагата, кг;  $S_{\text{каг}}$  – площадь поверхности кагата, м<sup>2</sup>.

Основным механизмом регулирования температуры внутри насыпи является отвод теплоты из неё за счет испарения влаги с поверхности свеклы с последующим влагонасыщением приточного воздуха [3, 8]. Из этого следует вывод, что основным механизмом обеспечения сохранности сахарной свеклы при естественном охлаждении кагата являются процессы, связанные с потерей влаги свеклой. Фактически естественное охлаждение в кагате приточным воздухом из окружающей среды носит адиабатический характер.

### Список литературы:

1. Путилина Л.Н. Приемы повышения сохранности свекловичного сырья в кагатах / Л.Н. Путилина, Н.Г. Кульнева // Мат. конф-ции: Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов (Курск) – 2019. – С. 317-320
2. Совершенствование технологии и средств механизации при возделывании и уборке сахарной свеклы в условиях Центрального Черноземья /

В.И. Горшенин, С.В. Соловьёв, А.Г. Абросимов, А.В. Алехин // Теория и практика мировой науки. – 2017. – № 12. – С. 78-81.

3. Повышение эффективности использования транспортно-технологических машин при уходе за посевами сахарной свеклы / М.О. Кузнецов, С.В. Соловьёв, А.Г. Абросимов., В.И. Горшенин // Наука и Образование. – 2020. – Т. 3. – № 2. – С. 187

4. Mathematical modeling of the temperature regime in a ventilated pile of sugar beet / A.I. Zavrazhnov, N.V. Zuglenok, A.A. Zavrazhnov, S.S. Tolstoshein, S.M. Koltsov // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020 – P. 62067

5. Эффективность вентилируемого хранения сахарной свёклы в условиях центрально-чернозёмного региона / А.И. Завражнов, Р.А. Шрамко, Л.А. Сабетова, А.А. Завражнов, С.М. Кольцов // Сахар – 2020. – № 8. – С. 20-26

6. Волков, М. А. Тепло- и массообменные процессы при хранении пищевых продуктов / В.А. Волков // – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 272 с.

7. Совершенствование сеялки для ленточного посева сахарной свеклы / В.И. Горшенин, А.Г. Абросимов, С.В. Соловьёв, И.А. Дробышев, О.А. Козлова // Научное обозрение. - 2014. - № 5. - С. 70-73. – 9 раз.

8. К вопросу об очистке сахарной свеклы при уборке в условиях ЦЧР / В.И. Горшенин, П.Н. Кузнецов, Н.В. Михеев, С.В. Соловьёв // Наука в центральной России. – 2017. – № 2 (26). С. 13-21.

**UDC 631.243.9**

## **INVESTIGATION OF THE ISSUE OF BEET MASS LOSS DURING SUGAR BEET STORAGE**

**Koltsov Semen Mikhailovich**

Post-graduate student

[smkoltsov@yandex.ru](mailto:smkoltsov@yandex.ru)

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

**Annotation.** The article presents the results of a study of natural cooling processes in an operational medium-term storage sugar beet kagat weighing 3,650 tons. It was found that adiabatic cooling and related processes have a predominant effect on the temperature reduction in the kagat during storage. A formula for calculating losses in field and operational kagats for a slope located across the movement of the prevailing wind direction is presented.

**Key words:** sugar beet, storage, cooling, loss of beet mass.