

Библиографический список

1. Чудаков Е.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля. – М.: Колос, 1972. – С. 260-280.
2. Гуревич Л.В., Меламуд Р.А. Тормозное управление автомобиля. – М.: Транспорт, 1978. – 152 с.
3. Горшков Ю.Г. Повышение эффективности функционирования системы «дифференциал – пневматический колесный движитель – несущая поверхность» мобильных машин сельскохозяйственного назначения: дис. ... докт. техн. наук. – Челябинск, 1999. – 311 с.
4. Кульпин Э.Ю. Повышение эффективности эксплуатации грузовых автомобилей в сельском хозяйстве автоматическим подтормаживанием буксующего колеса: дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск, 2012.
5. Гребенщикова О.А. Улучшение условий и охраны труда операторов мобильных колесных машин в условиях сельского хозяйства: дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск, 2012.
6. Gartman N. Entscheidet beim Landwirtschftstor der Reifen uber Zugrft // Schweiz Landechn. – 1975. – № 3. – 156 p.
7. Крестовников Г.А. Исследование механизма блокировки и самоблокирующихся дифференциалов // Проблемы повышения проходимости колесных машин: сб. ст. – М.: АН СССР, 1959.

References

1. Chudakov E.A. Osnovy teorii i rascheta traktora i avtomobilya. – M.: Kolos, 1972. – S. 260-280.
2. Gurevich L.V., Melamud R.A. Tormoznoe upravlenie avtomobilya. – M., Transport, 1978. – 152 s.
3. Gorshkov Yu.G. Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya sistemy «differentsial-pnevmaticheskii kolesnyi dvizhitel' – nesushchaya poverkhnost'» mobil'nykh mashin sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya: Diss. ... dokt. tekhn. nauk. – Chelyabinsk, 1999. – 311 s.
4. Kul'pin E.Yu. Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii gruzovykh avtomobilei v sel'skom khozyaistve avtomaticheskim podtormazhivaniem buksuyushchego kolesa: Diss. ... kand. tekhn. nauk. – Chelyabinsk, 2012.
5. Grebenschikova O.A. Uluchshenie uslovii i okhrany truda operatorov mobil'nykh kolesnykh mashin v usloviyakh sel'skogo khozyaistva: Diss. ... kand. tekhn. nauk. – Chelyabinsk, 2012.
6. Gartman N. Entscheidet beim Landwirtschftstor der Reifen uber Zugrft // Schweiz Landechn. – 1975. – No. 3. – 156 p.
7. Krestovnikov G.A. Issledovanie mekhanizma blokirovki i samoblokiruyushchikhsya differentsialov // Problemy povysheniya prokhodimosti kolesnykh mashin: sb. st. / AN SSSR. – M., 1959.



УДК 621.365.46.014.144:664.8.039.5:635.11 **И.В. Алтухов, В.Д. Очиров**
I.V. Altukhov, V.D. Ochirov

СКОРОСТЬ НАГРЕВА СВЕКЛЫ ПРИ ИК-ЭНЕРГОПОДВОДЕ

HEATING RATE BEET WHEN DRIED WITH INFRARED ENERGY SUPPLY

Ключевые слова: скорость нагрева, свекла, сушка, температура нагрева, ИК-энергоподвод, постоянная времени нагрева, геометрические и теплофизические свойства, питательные вещества, средневолновое излучение, влагосодержание.

Представлены теоретически определенные данные по скорости нагрева измельченных корнеплодов свеклы в зависимости от геометрических и теплофизических свойств при удалении влаги из корнеплодов инфракрасным излучением. Размеры измельченных корнеплодов свеклы варьируются в интервале от 25×3×3 до 40×6×6 мм. Содержание влаги в продукте изменяется в пределах от 80 до 10%. Расчеты проведены для диапазона температур от 40 до 60⁰С. Приведено условие оптимальной обработки свеклы: скорость нагрева материала до предельно допустимой температуры в процессе обработки их инфракрасным излучением не должна превышать значений,

получаемых в результате деления предельно допустимой температуры для данного материала и процесса на постоянную времени нагрева материала. Также приведено выражение для постоянной времени нагрева: постоянная времени нагрева определяется как такое время, в течение которого превышение температуры материала достигло бы установившегося значения, если бы не было отдачи теплоты в окружающую среду. Полученные данные представлены в табличном и графическом вариантах. Анализ кривых показывает, что скорость нагрева увеличивается при снижении влагосодержания и уменьшения размеров измельченных корнеплодов. Для свеклы скорость нагрева варьируется в мягких режимах – от 0,1 до 1,2⁰С/с. В связи с чем можно сделать вывод, что в начале процесса сушки свеклы для быстроты процесса необходимо подводить высокую температуру, а с постепенным удалением влаги температуру нагрева необходимо снижать в зависимости от влагосодержания.

Keywords: heating rate, beet, drying, heating temperature, infrared (IR) energy supply, heating time constant, geometric and thermophysical properties, nutrients, medium wave radiation, moisture content.

Theoretically determined data on heating rate of chipped beet roots depending on their geometrical and thermophysical properties at moisture removal by infrared radiation is discussed. The dimensions of chipped beet roots range from 25 × 3 × 3 to 40 × 6 × 6 mm. The moisture content of the product ranges from 80% to 10%. The calculations are performed for the temperature range from 40 to 60°C. The following optimal condition of beet treatment is presented: the material heating rate to the maximum allowable temperature when dried by infrared radiation should not exceed the values obtained by divid-

ing the maximum allowable temperature for that material and the process by the constant of material heating time. The following expression for the heating time constant is presented: the heating time constant is defined as the time during which the temperature rise of the material would reach a steady-state value provided there is no return of heat to the environment. The obtained data are presented in tabular and graphical form. The analysis of the curves shows that the heating rate increases with lower moisture content and decreased size of the chipped roots. The rate of beet heating varies within moderate ranges: from 0.1 to 1.2°C s. Therefore, it may be concluded that in the beginning of beet drying high temperature should be applied to accelerate the process, and with gradual moisture removal the heating temperature should be reduced depending on moisture content.

Алтухов Игорь Вячеславович, к.т.н., доцент, каф. энергообеспечения и теплотехники, Иркутская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: altukhigor@yandex.ru.

Очиров Вадим Дансарунович, к.т.н., зав. каф. энергообеспечения и теплотехники, Иркутская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: ochirov@igsha.ru.

Altukhov Igor Vyacheslavovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Power Supply and Heat Engineering, Irkutsk State Agricultural Academy. E-mail: altukhigor@yandex.ru.

Ochirov Vadim Dansarunovich, Cand. Tech. Sci., Head, Chair of Power Supply and Heat Engineering, Irkutsk State Agricultural Academy. E-mail: ochirov@igsha.ru.

Введение

На сегодняшний день применение ИК-излучения для сушки сырья – это один из самых распространенных технологических процессов, используемых в химической, фармацевтической, пищевой промышленности и АПК [1-3].

Цель исследования – определение скорости нагрева корнеплодов свеклы при ИК-обработке в зависимости от геометрических и теплофизических характеристик.

Объекты и методы

Как известно, чем быстрее производится сушка, тем выше качество полуфабриката. Скорость сушки во многом зависит от температуры теплоносителя [4]. Поэтому в процессе сушки должен быть задан такой температурный режим ИК-нагрева для сырья, который будет оптимальным, в зависимости от его биохимических, геометрических и теплофизических свойств.

Режим сушки характеризуется температурным уровнем процесса, т.е. начальной и конечной температурами сушки. Этот параметр влияет не только на продолжительность сушки, но и на качество высушенного материала.

Для круглогодичного сохранения корнеплодов свеклы с высокой концентрацией питательных веществ ее необходимо хранить при влагосодержании 10%. Начальное влагосодержание свеклы после уборки составляет 75-80%. Оптимальный диапазон температур сушки измельченных корнеплодов свеклы при ИК-энергоподводе находится в пределах от 40 до 60°C.

Условие оптимальной обработки свеклы сформулируем следующим образом:

$$v_{\text{пред.доп.}} = \frac{t_{\text{пред.доп.}}}{T}, \quad (1)$$

где $v_{\text{пред.доп.}}$ – предельно допустимая скорость нагрева, °C/с;

$t_{\text{пред.доп.}}$ – предельно допустимая температура нагрева, °C;

T – постоянная времени нагрева, с.

Выражение для определения постоянной времени нагрева [5, 6]:

$$T = \frac{c \cdot \rho \cdot V}{\alpha \cdot F}, \quad (2)$$

где c – удельная теплоемкость продукта, Дж/кг·°C;

ρ – плотность продукта, кг/м³;

V – объем продукта, м³;

α – коэффициент теплообмена продукта, Дж/(м²·°C·с);

F – площадь внешней поверхности продукта, м².

Отношение $\frac{V}{F}$ представляет собой обобщенный показатель геометрической характеристики продукта. Этот показатель можно определить при наличии геометрических размеров продукта. Размеры измельченных корнеплодов свеклы варьируются в интервале от 25×3×3 до 40×6×6 мм.

Результаты исследований

Нами по формулам (1) и (2) определены данные по скорости сушки свеклы при облучении средневолновым ИК-излучением [7, 8] в зависимости от геометрической характеристики и содержания влаги (табл., рис.).

*Значения скорости нагрева свеклы
в зависимости от геометрических характеристик и содержания влаги*

Содержание влаги, %	Температура нагрева, °С				
	40	45	50	55	60
10	0,769-0,210	0,865-0,236	0,961-0,263	1,057-0,289	1,153-0,315
20	0,655-0,180	0,737-0,202	0,819-0,225	0,901-0,247	0,983-0,270
30	0,579-0,157	0,652-0,177	0,724-0,196	0,797-0,216	0,869-0,263
40	0,512-0,139	0,576-0,157	0,641-0,174	0,705-0,192	0,769-0,209
50	0,465-0,125	0,523-0,141	0,581-0,157	0,639-0,172	0,697-0,188
60	0,416-0,114	0,468-0,128	0,520-0,142	0,572-0,157	0,625-0,171
70	0,384-0,104	0,432-0,117	0,480-0,130	0,528-0,143	0,576-0,157
80	0,353-0,096	0,398-0,108	0,442-0,120	0,486-0,132	0,530-0,144

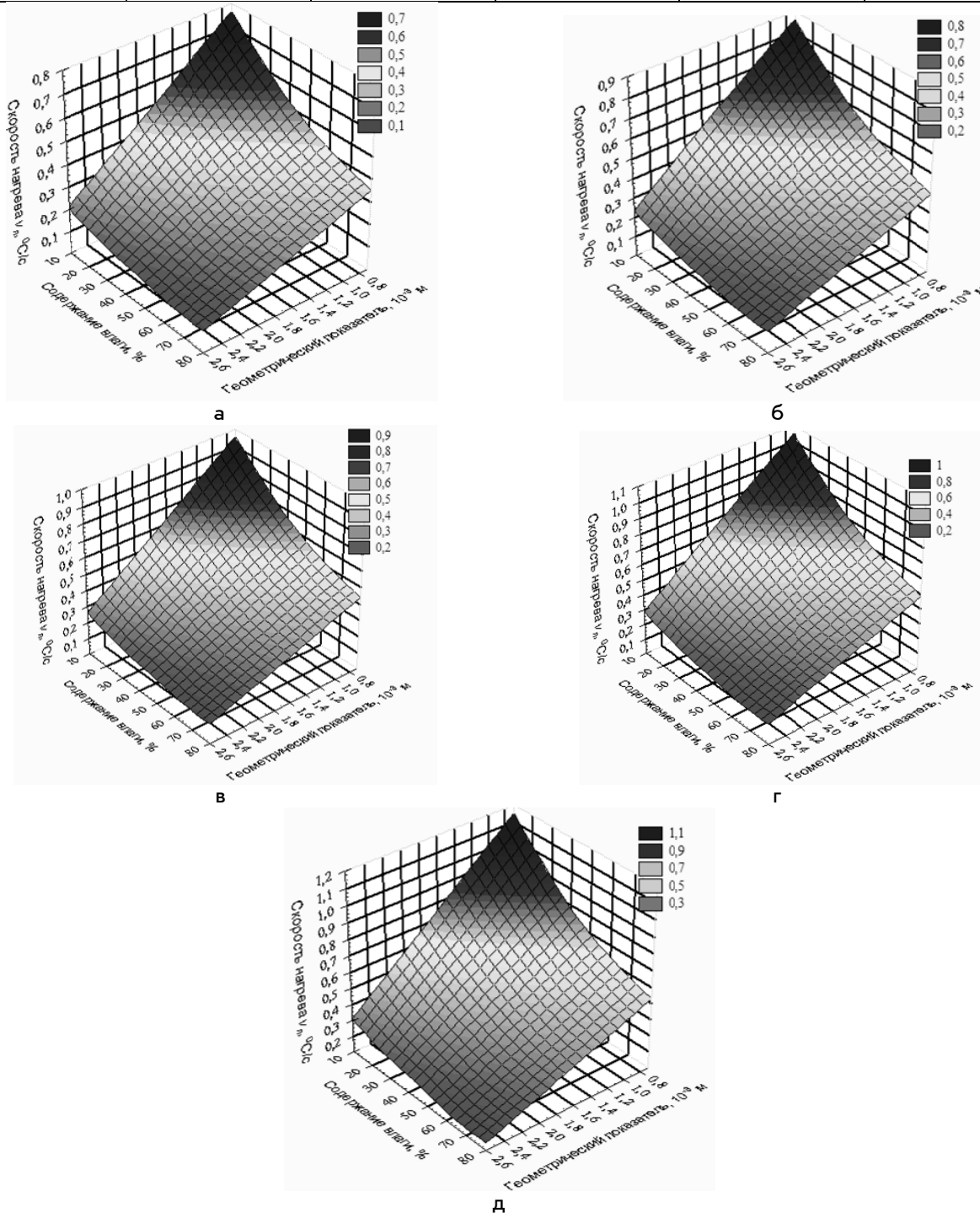


Рис. Скорость нагрева корнеплодов свеклы при температуре нагрева:
а – $t = 40^{\circ}\text{C}$; б – $t = 45^{\circ}\text{C}$; в – $t = 50^{\circ}\text{C}$; г – $t = 55^{\circ}\text{C}$; д – $t = 60^{\circ}\text{C}$

Анализ кривых показывает, что скорость нагрева увеличивается при снижении влагосодержания и уменьшения размеров измельченных корнеплодов. Для свеклы скорость нагрева варьируются в мягких режимах – от 0,1 до 1,2⁰С/с.

Заключение

Можно сделать вывод, что в начале процесса сушки свеклы для быстроты процесса необходимо подводить высокую температуру, а с постепенным удалением влаги температуру нагрева необходимо снижать в зависимости от влагосодержания.

Библиографический список

1. Алтухов И.В., Очиров В.Д. Анализ способов сушки пищевых продуктов // Вестник Иркутской государственной сельскохозяйственной академии. – 2009. – № 36. – С. 16-21.
2. Попов В.М., Афонькина В.А., Шукшина Е.И. Сушка термолабильных культур в ИК-диапазоне с учетом оптических свойств продукта // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2012. – № 37. – С. 90-92.
3. Худоногов И.А., Очиров В.Д. Влияние режимов ИК-энергоподвода на качественные и количественные показатели сушеных корнеплодов моркови // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 8. – С. 73-77.
4. Пиляева О.В., Книга Ю.А. Основные направления энергосбережения при эксплуатации зерноочистительно-сушильных комплексов сельскохозяйственного назначения // Технические науки – от теории к практике. – 2013. – № 19. – С. 86-90.
5. Алтухов И.В., Очиров В.Д. Теплофизические характеристики как основа расчета постоянной времени нагрева сахаросодержащих корнеплодов в процессах тепловой обработки // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2010. – № 4. – С. 134-139.
6. Алтухов И.В., Очиров В.Д., Федотов В.А. Определение скорости нагрева топинамбура в процессе сушки инфракрасным излучением // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2013. – № 1. – С. 14-15.
7. Алтухов И.В., Очиров В.Д. Оптические свойства сельскохозяйственных продуктов растительного и животного происхождения // Вестник Иркутской государственной сельскохозяйственной академии. – 2009. – № 37. – С. 43-49.

8. Худоногов И.А., Очиров В.Д. Сравнительные исследования спектральных терморadiационных характеристик корнеплодов моркови с использованием аналогового и цифрового приборов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 11. – С. 74-78.

References

1. Altukhov I.V., Ochirov V.D. Analiz sposobov sushki pishchevykh produktov // Vestnik Irkutskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. – 2009. – № 36. – S. 16-21.
2. Popov V.M., Afon'kina V.A., Shukshina E.I. Sushka termolabil'nykh kul'tur v IK-diapazone s uchetom opticheskikh svoistv produkta // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika. – 2012. – № 37. – S. 90-92.
3. Khudonogov I.A., Ochirov V.D. Vliyanie rezhimov IK-energopodvoda na kachestvennye i kolichestvennye pokazateli sushenykh korneplodov morkovi // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2010. – № 8. – S. 73-77.
4. Pilyaeva O.V., Kniga Yu.A. Osnovnye napravleniya energosberezheniya pri ekspluatatsii zernoochistitel'no-sushil'nykh kompleksov sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya // Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike. – 2013. – № 19. – S. 86-90.
5. Altukhov I.V., Ochirov V.D. Teplofizicheskie kharakteristiki kak osnova rascheta postoyannoi vremeni nagreva sakharosoderzhashchikh korneplodov v protsessakh teplovoi obrabotki // Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2010. – № 4. – S. 134-139.
6. Altukhov I.V., Ochirov V.D., Fedotov V.A. Opredelenie skorosti nagreva topinambura v protsesse sushki infrakrasnym izlucheniem // Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaistva. – 2013. – № 1. – S. 14-15.
7. Altukhov I.V., Ochirov V.D. Opticheskie svoistva sel'skokhozyaistvennykh produktov rastitel'nogo i zhivotnogo proiskhozhdeniya // Vestnik Irkutskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. – 2009. – № 37. – S. 43-49.
8. Khudonogov I.A., Ochirov V.D. Sravnitel'nye issledovaniya spektral'nykh termoradiatsionnykh kharakteristik korneplodov morkovi s ispol'zovaniem analogovogo i tsifrovogo priborov // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2010. – № 11. – S. 74-78.

