

МЕХАΝІЗАЦЫЯ, ЭНЕРГЕТЫКА І АўТАМАТЫЗАЦЫЯ

УДК 631.563.2:66.647.84:66.011

Т. П. ТРОЦКАЯ, В. П. ХРАПАВІЦКІ

ЭНЕРГАЗБЕРАГАЛЬНАЯ СУШКА СЕЛЬСКАГАСПАДАРЧЫХ ПРАДУКТАў У АЗОНА-ПАВЕТРАНЫМ АСЯРОДДЗІ

Вытворчасць асноўных відаў сельскагаспадарчай прадукцыі ў краінах СНД абумоўлена спажываннем велізарнай колькасці рэсурсаў, у тым ліку 60 млн. т нафтапрадуктаў, 190 млрд. кВт/гадз электраэнергіі, 20 млрд. м³ прыроднага газу і 40 млн. т вугалю.

Спажыванне энергіі за апошнія 10 гадоў павялічылася ў 1,3 раза, у тым ліку электраэнергіі ў 2,2 раза. Вялікую трывогу выклікае той факт, што на 1% прыросту валавой прадукцыі ў супастаўных цэнах прыпадае 3—4% прыросту энергаспажывання. Затратны характар энергаспажывання па-ранейшаму захоўваецца ва ўсіх галінах сельскагаспадарчай вытворчасці. Атрыманне ўраджаяў, якія забяспечвалі б краіну лішкам прадуктаў, патрабавала б павелічэння амаль усіх відаў рэсурсаў у 2—2,5 раза ў параўнанні з сярэднімі паказчыкамі. Аднак фактычнае становішча спраў з наяўнасцю рэсурсаў робіць гэты ўзровень недасяжным.

Далейшае павышэнне вытворчасці сельскагаспадарчай прадукцыі ва ўмовах сучаснага матэрыяльна-энергетычнага забеспячэння патрабуе адшукаць дадатковыя пастаўкі вёсцы рэсурсаў на падставе іх шырока-маштабнай эканоміі, распрацоўкі і ўкаранення новых рэсурсазберагальных тэхналогій, шырокага выкарыстання ў энергетычным балансе краіны аднаўляльных крыніц энергіі.

У сучасны момант у сусветным грамадстве павышаецца ўсведамленне таго, што прыродныя рэсурсы на зямлі далёка не бязмежныя і найважнейшай задачай з'яўляецца іх захаванне, аднаўленне і рацыянальнае выкарыстанне. Ацэнка вынікаў дзейнасці чалавека па некаторых глабальных паказчыках выклікае трывогу і сведчыць пра неабходнасць увядзення абмежаванняў у выкарыстанні прыродных багаццяў. Трэба таксама развіваць тэхналогію з нізкімі энерга- і матэрыялазатратамі. Адною з праблем у тэхналагічным цыкле з'яўляецца праблема захаванасці вырашчанага ўраджаю. Аднак і тут з прычыны адсутнасці дастатковай колькасці тэхнікі, паліва і складскіх памяшканняў па статыстычным даных штогод губляецца звыш 25—30% ураджаю.

Калі ўлічыць сукупныя затраты рэсурсаў з улікам расходу металу на вытворчасць машын, угнаенняў, хімікатаў і іншых матэрыялаў, то ў нашай краіне па зерні яны складаюць 27,7—30,3 кг у. п/ц, па бульбе — 11,4 і па цукровых бураках — 5,6 кг у. п/ц, што ў 3—4 разы перавышае ўзровень ЗША. Тады страты ўраджаю адпавядаюць бессэнсоўным затратам энергарэсурсаў для зерня 6,92—9 кг у. п/ц, для бульбы — 3,4 кг у. п/ц, для цукровых буракоў — 1,68 кг у. п/ц.

Асабліва вялікія страты назіраюцца пры ўборцы, пасляўборачнай апрацоўцы і захаванні. Пасляўборачная апрацоўка зерня, гародніны,

бульбы, кармоў, асабліва ў зоне павышанай вільготнасці, абумоўлівае ўзнікненне велізарных затрат энергіі. Толькі на сушку, пасляўборачную апрацоўку і захаванне зерня прыпадае каля адной трэцяй часткі затрат на яго вытворчасць. Наогул на сушку зерня і кармоў траціцца 6—8% энергетычных рэсурсаў. Для іх скарачэння неабходна ўдасканалваць тэхналогію і тэхнічныя сродкі, павышаць іх прадукцыйнасць, распрацоўваць новыя энергазберагальныя тэхналогіі.

У той жа час існуючыя зараз тэхналогіі і спосабы цеплавой сушкі сельскагаспадарчых прадуктаў да кандыцыйнай вільготнасці не задавальваюць вытворчасць адносна прадукцыйнасці, затрат энергіі на адзінку выпаранай вільгаці і тэмпературных рэжымаў. Традыцыйны падыход, які прадугледжвае павелічэнне прадукцыйнасці існуючых у вытворчасці сушылак за кошт змянення фізічных параметраў сушкі, сучасным вытворчым патрабаванням ужо не задавальняе.

Калі меркаваць па карысных затратах цеплыні q_k на 1 кг выпаранай вільгаці, то можна сказаць, што карысная цеплыня на выпарэнне вільгаці q_n меншая за фактычную $q_{ф}$ на тую колькасць цеплыні, якая затрачваецца на падагрэванне паветра $q_{п.п}$ і высушванне матэрыялу q_m :

$$q_k = q_{ф} - q_{п.п} - q_m, \text{ кДж/кг.} \quad (1)$$

Спробы павялічыць карысны расход цеплыні шляхам выкарыстання тэхналогій, якія забяспечваюць непасрэднае нагрэванне матэрыялу, заключаліся ў памяншэнні затрат цеплыні на падагрэванне паветра $q_{п.п}$. Тут вядомы такія метады, як сушка з выкарыстаннем токаў высокай і звышвысокай частаты, ультрагукавая сушка і г. д. У дадзеным выпадку адбываецца непасрэднае нагрэванне матэрыялу і памяншэнне невытворчых страт цеплыні на нагрэванне сушыльнага агента. Аднак выкарыстанне гэтых метадаў патрабуе складанага і энергаёмкага абсталявання. У сувязі з гэтым шырокага выкарыстання на практыцы названыя метады не знайшлі.

Некаторыя даследчыкі лічаць, што для працэсу сушкі састаў сухога газу не мае значэння тады, калі ён не ўтварае хімічных злучэнняў з вадой [1]. У сувязі з гэтым уяўляецца мэтазгодным змяніць хімічны састаў газу-цепланосьбіту.

Прапанаваны спосаб сушкі зерня і іншых аб'ектаў расліннага паходжання прадугледжвае ўключэнне ў састаў газу-агенту азону. Вядома, што озон з'яўляецца адным з мацнейшых акісляльнікаў і актыўным хімічным агентам, уступае ў хімічныя рэакцыі не толькі з вадой, але і з раслінным матэрыялам. Як паказалі фундаментальныя даследаванні [2, 3], праведзеныя ў БДУ і ў Інстытуце фотабіялогіі АН Беларусі, а таксама ў іншых навукова-даследчых арганізацыях, акрамя непасрэднага фізіка-хімічнага ўзаемадзеяння з кампанентамі пакрыўных тканак, озон індуквае ў раслінных аб'ектах (плады, гародніну, бульбу і інш.), якія знаходзяцца ў прыжыццёвым стане, выразна адаптыўную рэакцыю ў адказ. Такая адаптыўная рэакцыя фарміруецца ўжо на пачатковых этапах ўздзеяння азону на раслінныя аб'екты і суправаджаецца цэлай сукупнасцю хуткапрацякаючых спалучаных працэсаў. Пры пэўных рэжымах азоннай апрацоўкі ў раслінных аб'ектах адбываецца рэзка павелічэнне скорасці вільгацеаддзялення, інтэнсіўнасці дыхання і цеплавідзялення. Завяршэнне гэтых працэсаў характарызуецца структурнай мадыфікацыяй пакрыўных тканак, якая выклікае узмацненне іх бар'ерных уласцівасцяў (транспарту газаў, вады, цеплавога балансу і г. д.), і пераходам раслінных тканак у новы стацыянарны стан з паніжаным узроўнем знешняга і ўнутранага абмену.

Наогул біялагічнае дзеянне азону заключаецца ў наступных з'явах: хімічным пераўтварэнні рэчыва паверхні сельскагаспадарчых прадуктаў; пераўтварэнні і міжклетачным пераносе энергіі першаснага ўзаемадзеяння; вызваленні і другасным пераўтварэнні энергіі ва ўнутраных тканках.

Пры гэтым частка лішкавай энергіі траціцца на фізіка-хімічныя пераўтварэнні (змяненні структуры клетачных мембран, іоннай пранікальнасці, акісляльна-аднаўленчага патэнцыялу і іншых уласцівасцяў клеткі); частка энергіі выдзяляецца ў выглядзе цяпла, якое ўплывае на скорасць спалучаных працэсаў.

Разглядаючы асаблівасці працэсу сушкі ў аэра-паветраным асяроддзі, важна звярнуць увагу на ўраўненне агульнага патоку вільгаці ўнутры матэрыялу [4], бо выдзяленне вільгаці з унутраных яго слаёў патрабуе найбольшых энергызатрат:

$$\bar{q} = a_m \rho_0 \nabla U - a_m^T \rho_0 \nabla T - k_p \nabla P, \quad (2)$$

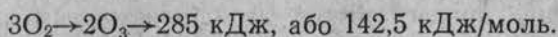
дзе q — агульны паток вільгаці ўнутры матэрыялу; a_m — каэфіцыент дыфузіі; ρ_0 — шчыльнасць сухога шкілету цела; $k_p \nabla P$ — малярны перанос вільгаці пад уплывам градыенту ціску; ∇U — градыент вільгацэўтрымання.

На падставе сказанага вышэй можна зрабіць вывад, што часткі ўраўнення (2) — паказчыкі шчыльнасці сухога шкілету цела (ρ_0) і ($k_p \nabla P$) будуць змяняцца. Асаблівую цікавасць ва ўраўненні (2) уяўляе выраз ($k_p \nabla P$), што характарызуе малярны перанос вільгаці ў выніку градыенту ціску, які пры сушцы нагрэтым паветрам і пры тэмпературы зерня T_z да 100°C звычайна адсутнічае ($P = \text{const}$). У той жа час пры сушцы ў аэра-паветраным асяроддзі змяненне асматычнага ціску ў міжклетачных каналах і шчыльнасці клетачных слаёў пад уздзеяннем азону і як вынік змяненне ρ_0 будуць ствараць градыент ціску і паскараць выдзяленне вільгаці з унутраных слаёў высушваемага матэрыялу без яе выпарэння і павышэння тэмпературы.

Аднак нельга выключыць і тэмпературны фактар, г. зн. атрыманне дадатковай колькасці цеплыні за кошт біяфізічных і біяхімічных працэсаў, акісляльных рэакцый, што адбываюцца ўнутры матэрыялу пад уплывам азону. Дадатковая цеплыня ў той жа час з'яўляецца паскаральнікам выпарэння вільгаці, выдзеленай з унутраных слаёў высушваемага матэрыялу.

Трэба мець на ўвазе, што працэс сушкі ў аэра-паветраным асяроддзі ажыццяўляецца пры бесперапыннай апрацоўцы матэрыялу аэрамі. Пры гэтым назіраецца прамое паверхневае і апасродкаванае ўнутранае ўзаемадзеянне азону з высушваемым матэрыялам з выдзяленнем лішка энергіі, якая ў канчатковым выніку істотна ўплывае на каэфіцыент дыфузіі (a_m).

Паводле эксперыментальных даных сушкі зерня ў аэра-паветраным асяроддзі было выяўлена, што тэмпература доследнага ўзору да моманту кандыцыйнай вільготнасці значна павялічылася. Розніца тэмператур кантрольнага і доследнага ўзораў у асобных выпадках дасягала 10°C . Мелася на ўвазе, што існуе наяўнасць сумарнай лішкавай цеплыні ў зерні за кошт прысутнасці ў сушыльным агенце азону. Таму была вызначана сувязь з энергіяй, затрачанай на сінтэз азону і атрыманай пры яго распадзе [5]:



Масу раскладзенага азону m_{O_3} у адзінку часу вызначаем па выразе

$$m_{\text{O}_3} = k K_{\text{O}_3} V, \text{ мг,}$$

дзе k — каэфіцыент распаду азону ў зерневай масе; K_{O_3} — канцэнтрацыя азону ў сушыльным агенце, мг/м^3 ; V — аб'ём сушыльнага агента, які праходзіць праз зерне, м^3 .

Колькасць цеплыні, атрыманай у выніку распаду дадзенай масы азону, вызначалі наступным чынам:

$$Q = \frac{m_{\text{O}_3}}{48} 142,5 = \frac{142,5}{48} m_{\text{O}_3} = 2,95 k K_{\text{O}_3} V, \text{ кДж.}$$

У той жа час колькасць фактычна выдзеленай цеплыні ў зерні будзе складаць

$$Q = m_a(T_d - T_k)C_a, \text{ кДж,}$$

дзе m_a — маса зерня, кг; T_d — тэмпература доследнага ўзору зерня, °С; T_k — тэмпература кантрольнага ўзору зерня, °С; C_a — цеплаёмкасць зерня, кДж/(кг·град).

Мы думаем, што колькасць цеплыні, атрыманай у выніку распаду азону і фактычна выдзеленай у зерневай масе, аднолькавая і складае

$$(T_d - T_k)C_a = 2,95kK_0V,$$

адкуль

$$T_d - T_k = \frac{2,95kK_0V}{m_a C_a},$$

або

$$T = \frac{Q}{m_a C_a}.$$

Паводле [6], каэфіцыент дыфузіі вільгаці a_m можа актыўна павышацца за кошт павелічэння тэмпературы зерня T_a :

$$a_m = a_{m_0} \left(\frac{T_a}{273} \right)^K,$$

дзе $K = 179U - 41,5$. У сувязі з гэтым каэфіцыент дыфузіі вільгаці пры сушцы зерня з выкарыстаннем азонаванага сушыльнага агента будзе складаць

$$a_m = a_{m_0} \left(\frac{T_a + \nabla T}{273} \right)^K = a_{m_0} \left(\frac{T_a m_a C_a + Q}{273 m_a C_a} \right)^K.$$

Падставіўшы гэтыя значэнні каэфіцыента дыфузіі ва ўраўненне (2), атрымаем ураўненне агульнага патоку вільгаці з унутраных слаёў матэрыялу пры сушцы ў азона-паветраным асяроддзі:

$$\vec{q} = a_m \left(\frac{T_a m_a C_a + Q}{273 m_a C_a} \right)^K \rho_0 \nabla U - a_m^T \rho_0 \nabla T - k_p \nabla P.$$

Пераносячы гэтыя вынікі на раслінныя матэрыялы наогул і аналізуючы вынікі эксперыменту па сушцы зерня, дзе значна павялічылася тэмпература высушваемага матэрыялу ў азона-паветраным асяроддзі ў параўнанні з кантролем, можна зрабіць вывад, што дзякуючы прысутнасці азону змяняецца і градыент тэмпературы ∇T , якая ўваходзіць ва ўраўненне (2).

Такім чынам, усе часткі ўраўнення (2) павялічваюцца, а ў выніку гэтага паскараецца працэс сушкі ў азона-паветраным асяроддзі. Як сведчаць эксперыментальныя даныя, эфектыўнасць сушкі зерня з выкарыстаннем азону павышаецца ў 1,5—2 разы. У той жа час трэба чакаць, што змяненне пачатковых умоў і далейшая аптымізацыя рэжымаў азонавай апрацоўкі дазволіць яшчэ больш павысіць эфектыўнасць сушкі зерня і іншых матэрыялаў.

Падставай для гэтага могуць быць наступныя меркаванні. Асаблівай увагі заслугоўвае выкарыстанне азонавай апрацоўкі пры ўмераным павышэнні тэмпературы. Як вядома, падагріванне паветра на 1 °С памяншае яго адносную вільготнасць на 5%, а адпаведна і павялічвае вільгацэпаглынальную здольнасць; падагріванне да 10 °С паскарае хімічныя рэакцыі ў 2—3 разы і, у прыватнасці, індукуюмыя азонам. Верхняй мяжой павышэння тэмпературы з'яўляецца такая, пры якой паскораная

рэкамбінацыя і распад малекул азону адбываюцца не раней за ўзаемадзеянне з аб'ектам. Згодна з папярэднімі эксперыментальнымі атрыманымі данымі, сумеснае выкарыстанне азону і павышанай тэмпературы паскарае працэс сушкі да 10 разоў.

Заслугоўвае ўвагі выкарыстанне для гэтай мэты нетрадыцыйных крыніц энергіі, напрыклад сонечных калектараў, якія дазваляюць скараціць або зусім выключыць спажыванне вадкага паліва.

Эфектыўныя пры сушцы зерня і сонечныя паветрападагравальнікі, у якіх выкарыстоўваюцца плёначныя матэрыялы. Найбольшы эфект забяспечваюць пераносныя модулі. Яны простыя па канструкцыі, надзейныя ў эксплуатацыі, лёгка прыстасоўваюцца да тэхналагічных ліній, дазваляюць скараціць час актыўнага вентылявання і сушкі зерня ў 1,5 раза і эканоміць каля 35% электраэнергіі.

Адным з такіх геліяпадагравальнікаў паветра для сушкі сельскагаспадарчых культур з'яўляецца ГПП-240, распрацаваны лабараторыяй паліўна-энергетычных рэсурсаў ЦНДІМЭСГ. Пры актыўнай плошчы цеплаабменніка 240 м² ён мае сярэдняю ўдзельную цеплапрадукцыйнасць за ўвесь летні перыяд 0,5 мДж/(м²·гадз), а за ліпень — 1,67 мДж/(м²·гадз), што адпавядае 1220—3980 мДж/дзень пры 10-гадзінным светлавым дні. Сярэдняя цеплавая магутнасць можа змяняцца ад 10,7 да 35 кВт/гадз, што складае эканомію ад 4,16 да 13,58 кг у. п/гадз. Такі геліякалектар здольны падаграваць паветра на 4—27 °С да максімальнай тэмпературы 60 °С.

Выкарыстанне азанаванага паветра ў спалучэнні з геліяпаветрападагравальнікам для сушкі сельскагаспадарчых прадуктаў з'яўляецца высокатэхналагічным працэсам, які скарачае энергазатраты і становіцца ўплывае на якасць матэрыялу.

Універсальныя азанатарныя ўстаноўкі сельскагаспадарчага прызначэння вырабляюць зараз у Гродна (НТТМ, а/с 190) па заказах прадпрыемстваў. На малым прадпрыемстве «Старт» (Мінск) рыхтуюцца да вытворчасці больш дасканалыя азанатарныя ўстаноўкі з адпаведным комплексам абсталявання, неабходнага пры тэхналагічным выкарыстанні азону (аналізатары азону, сістэмы газападрыхтоўкі і г. д.).

Тэхналогія сушкі ў аэра-паветраным асяроддзі з'яўляецца нізкаэнергаёмкай і добра адаптавана да існуючых тэхналагічных канструкцый для сушкі матэрыялаў у калгасах і саўгасах.

Літаратура

1. Филоненко Г. К., Лебедев П. Д. Сушильные установки. М.; Л., 1952.
2. Отчет о НИР БГУ им. Ленина: Выбор оптимальных параметров хранения сельскохозяйственных продуктов при электронно-ионной обработке. № г. р. 81 101 786. Минск, 1982.
3. Отчет о НИР БГУ им. Ленина: Научное обоснование технологического процесса подготовки картофеля и моркови к длительному хранению на основе озонно-ионного антисептирования. № г. р. 01 820 070 103. Минск, 1984.
4. Лыков В. А. Теория сушки. М., 1968.
5. Глинка Н. Л. Общая химия. М., 1980.
6. Гинзбург А. С., Дубровский В. П., Казаков Е. Д. Влага в зерне. М., 1969.