

**OBTAINING OF HIGH DENSITY AND MECHANICALLY STRENGTH
ACTIVATED CARBON FROM FAST-GROWING DECIDUOUS SOFT STRUCTURE
WOOD**

**BLĪVU UN MEHĀNISKI STIPRU AKTĪVO OGĻU IEGŪŠANA NO ĀTRAUDZĪGO
MĪKSTO LAPUKOKU KOKSNES**

Janis Rizhikovs, researcher, Mgr.sc.ing
Latvian State Institute of Wood Chemistry
Address: Dzerbenes street 27, LV-1006, Riga, Latvia
Phone: +37167551552, Fax: +37167550635
E-mail: tpd@edi.lv

Atslēgas vārdi: modificēta koksne, granulas, hidrotermiska apstrāde, aktīvā ogle

Ievads

Granulētu aktīvo ogļu kvalitāti raksturo liels blīvums, mehāniskā stiprība un augsta sorbcijas spēja no gāzes-tvaiku vides, lai minimālā adsorbera tilpumā panāktu maksimālu sorbcijas spēju un iespēju daudzkārtējai sorbenta reģenerācijai. No kokoglēm ražotās aktīvās ogles ir ar mazu neorganisko piemaisījumu saturu, labu poru sadalījumu, bet ar zemām mehāniskajām īpašībām. Strauji aug pieprasījums pēc granulētām ogļēm gan ūdens attīrīšanai, gan gāzveida emisiju kontrolei un šķīdinātāju reģenerācijai un cēlmetālu un reto metālu iegūšanai. Šajā pētījumā ir izstrādāta tehnoloģiju šāda sorbenta iegūšanai no ātraudzīgo mīksto lapukoku koksnes, kas šajā gadījumā ir baltalksnis (*Alnus incana* (L.) Moench), kam ir zemas mehāniskās īpašības. Baltalksnis ir lielisks koks mežu platību atjaunošanai uz aizaugušajām lauksaimniecības zemēm. Mūsu laboratorijas iepriekšējie pētījumi balstījās uz iespēju pārvērst lapu koku koksni aktīvās oglēs, kam raksturīgs augsts blīvums un mehāniskā stiprība, izmantojot kā katalizatoru sērskābi [1]. Šajā pētījumā mēģinām atsacīties no hidrolīzes katalizatora lietošanas, jo sēra paliekas piesārņo ne tikai apkārtējo vidi, bet arī pašus gala produktus un rada liekus notekūdeņus. Darba uzmanība pievērsta baltalkšņa koksnes autohidrolīzei etiķskābes klātbūtnē tvaika vidē zem spiediena. Tehnoloģijas pamatprocesi ir:

- 1) koksnes šķelšana vai smalcināšana;
- 2) koksnes hidrotermiska modificēšana, kuras laikā autohidrolīzes iespaidā noārdās daļa viegli hidrolizējamo polisaharīdu, kas tālāk darbojas kā saistviela granulēšanas procesā;
- 3) žāvēšana, ja nepieciešams;
- 4) granulēšana;

- 5) pārrogošana līdz $T=600^{\circ}\text{C}$;
- 6) aktivācija ar pārkarētu ūdens tvaiku pie $T = 850 - 870^{\circ}\text{C}$.

Termolīzes tvaiku-gāzu maisījumu var izmantot kā kurināmo pārrogošanas procesa uzturēšanai, bet aktivācijas gāzes sadedzina tvaiku ražošanas un pārkarēšanas. Tehnoloģisko blakusproduktu jeb izmešu problēmas radīsies koksnes modifikācijas procesā – autohidrolīzē un žāvēšanā, kas saistīti ar ūdens un tvaiku izmantošanu un tāpat ar atbilstošiem notekūdeņiem un gāzu-tvaiku izplūdi atmosfērā.

Eksperimentālā daļa

Izstrādājot tehnoloģiju par optimāla risinājuma parametriem, izvēlēts minimāls enerģijas patēriņš, minimāls izmešu daudzums un to piesārņojuma pakāpe. Šī iemesla dēļ jau sākumā atteicāmies no hidrolīzes katalizatoru izmantošanas, jo tie piesārņo aktivētās ogles. Darba gaitā pārbaudīti 4 hidrotermiskās apstrādes varianti: ar ūdeni piesātinātas koksnes hidrotermiskā apstrāde pie $120 - 180^{\circ}\text{C}$ autoklāvā; koksnes apstrāde autoklāvā ar periodisku piesātinātu tvaika padevi un nopūšanu; koksnes apstrādi ar piesātinātu vai nedaudz pārkarētu tvaiku caurplūdes reaktorā; kā arī pilotiekārtas tipa autoklāvā, kur lēnām palielina un samazina spiedienu, izturot pie 180°C temperatūras.

Pētījumu gaitā noskaidrojās, ka galvenie trīs procesa parametri, no kuriem atkarīgs modificētas koksnes un tās karbonizācijas produktu iznākums un īpašības, ir: koksnes daļiņu izmērs, izejmateriāla mitrums un hidrotermiskās apstrādes ilgums. Tādēļ tika realizēts pilna faktoru eksperimenta plāns, lai gūtu precīzāku priekšstatu par procesa norisi un sastādītu tā matemātisko plānu. Vadoties no priekšmēģinājumu rezultātiem, izvēlējas sekojošus nulles līmeņus un soļus: koksnes daļiņu izmērs – $1 \pm 0,75$ mm; koksnes mitrums – $40 \pm 10\%$ relat. un procesa ilgums – 90 ± 40 minūtes. Procesā temperatūra visos gadījumos 170°C . Eksperimentālo darbu veica laboratorijas autoklāvā ar periodisku tvaika padevi un nopūšanu. Darba rezultāti apkopoti 1. tabulā.

1. tabula

Pilnais faktoru plāns un galvenie procesu un tā produktus raksturojošie rezultāti

Nr p.k.	Plāns, faktoru līmeņi			Paraugu lieces pretestība, MPa		Karbonizētu paraugu spiedes pretestība, MPa, y_3	Ūdenī šķīstošo vielu saturs pēc modifikācijas, %	Modificētās koksnes iznākums, % no a.s. koksnes
	Mitrums x_1	Apstrādes laiks x_2	Daļiņu izmērs x_3	Nekarbonizēti, y_1	Karbonizēti, y_2			
1	-	-	+	37,62	7,18	13,43	22,0	92,2
2	-	+	-	39,86	8,90	17,25	19,0	81,5
3	+	-	-	49,12	8,57	21,83	24,1	92,3
4	+	+	+	36,30	8,59	12,32	13,5	83,0
5	-	-	-	51,55	10,75	18,07	24,4	94,3
6	-	+	+	38,37	7,83	9,52	14,1	83,9
7	+	-	+	35,43	8,28	10,57	21,8	91,5
8	+	+	-	37,26	13,06	16,21	17,9	88,2
9	0	0	0	40,81	9,24	18,04	20,3	84,8

Izmantojot kā atsaucis funkcijas nekarbonizētu un karbonizētu plātņu lieces pretestību un karbonizētu plātņu spiedes pretestību, aprēķināti procesu matemātiskie modeļi, kas raksturo faktoru ietekmi uz plātņu īpašībām.

Nekarbonizētas plātnes (atsauces funkcija lieces pretestība):

$$y_1 = 40,69 - 1,16x_1 - 2,74x_2 - 3,76x_3$$

Karbonizētas plātnes (atsauces funkcija lieces pretestība):

$$y_2 = 9,15 + 0,48x_1 + 0,45x_2 - 1,18x_3$$

Koeficienti pie neatkarīgajiem mainīgajiem demonstrē faktoru ietekmi uz rezultātu. Jo faktors nozīmīgāks, jo tā ietekme uz lieci lielāka. Kā redzams, nekarbonizētām modificētās koksnes plātnēm lielākas lieces pretestības sasniegšanai parametriem (faktoriem) jābūt zem nulles līmeņa, jo visi koeficienti ir negatīvi. Vislielāko ietekmi uz nekarbonizētās koksnes plastiķu lieces pretestību atstāj koksnes daļiņu izmēri (koeficients -3,76) un hidrotermiskās apstrādes laiks (koeficients -2,74). Eksperimentam ņemto koksnes skaidu mitrumam mazāka nozīme, kas no praktiskā viedokļa ir izdevīgi, jo kokmateriāla mitrumam nav īpaši būtiska iespaids uz nekarbonizētu plastiķu īpašībām.

Karbonizētu modificētās koksnes plātņu gadījumā būtiska ir ņemtās koksnes mitruma un koksnes hidrotermiskās apstrādes ilguma palielināšana (koeficienti pozitīvi), tomēr arī pārņemto paraugu gadījumā, jo mazākas daļiņas, jo materiāls būs stiprāks. Jāatzīmē, ka abos gadījumos (nekarbonizētas un karbonizētas plātnes) b_0 vērtības tuvas nulles eksperimenta plātņu lieces pretestības līmenim – attiecīgi 40,81 un 9,24 MPa. Tas norāda, ka aprēķins labi atbilst eksperimenta rezultātiem.

Karbonizētu plastiķu spiedes pretestības sakarību ar izejmateriāla īpašībām un hidrotermiskās apstrādes laiku raksturo vienādojums:

$$y_3 = 14,9 + 0,34x_1 - 1,07x_2 - 3,44x_3$$

Koeficients pie neatkarīgajiem mainīgajiem norāda, ka vienīgais faktors, kas uzrāda nelielu pozitīvu ietekmi uz spiedes pretestību ir eksperimentam ņemto skaidu mitrums. Koeficients pie x_3 (daļiņu izmērs) liecina, ka mazāka izmēra daļiņas veido karbonizētus plastiķus ar augstu spiedes pretestību.

Pildot pilno faktoru eksperimenta plānu, karsējot laboratorijas tipa autoklāvā ar ūdeni piesātinātu koksni, modificētās koksnes žāvēšanas laikā jāiztvaicē 5.0 – 5.6 kg ūdens, rēķinot uz kilogramu modificētās koksnes (2. tabula). Diemžēl, lai iegūtu 1 kg sausas modificētas koksnes, atmosfērā līdz ar ūdens tvaiku, žāvējot, nonāk arī 7 – 31 g furfuroļa un 3.2 – 12.6 g etiķskābes. Ceļot hidrotermiskās apstrādes temperatūru, intensīvāk notiek ksilāna deacetilēšanās un autokatalītiskā furfuroļa veidošanās no pentozēm. Tamdēļ optimālajā apstrādes temperatūrā 170 – 180°C šo gaistošo blakusproduktu iznākumi un koncentrācijas izmešos ir sevišķi augsti. Žāvētavu izmešos to koncentrācija sasniedz jau 0.9 līdz 1.5% no kopīgās tvaiku masas. Secinājam, ka metode ir vienkārša, modificētās koksnes kvalitāte laba, bet enerģijas patēriņš augsts un izmešu piesārņojums ir ievērojams, īpaši ar furfuroli.

Laboratorijas apstākļos pārbaudīts paņēmiens ar sausas ($w = 10-20\%$) un mitras ($w = 40-50\%$) koksnes apstrādi autoklāvā 150 – 175°C temperatūrā ar piesātinātu tvaiku, to padodot un nopūšot periodiski. Sausas koksnes gadījumā tvaika patēriņš ir 1.8 – 3.5 kg uz 1 kg modificētās koksnes un nopūšanas kondensāts 1.3 – 2.5 kg/kg a.s. modificētas koksnes.

Lai iegūtu 1 kg sausas modificētas koksnes, žāvējot jāiztvaicē 1.0- 1.8 kg ūdens, kurā etiķskābes koncentrācija ir 0.3 – 2.3%, bet furfurola koncentrācija no 0.3 līdz 3.0%, rēķinot uz kopīgo tvaiku masu. Nopūšanas tvaiku kondensātā šo piemaisījumu koncentrācija ir zemāka, attiecīgi 0.2 – 1,2% un 0.2 – 1,1%, rēķinot uz kondensāta masu (2. tabula). Redzams, ka šis paņēmieni dod iespēju samazināt gan enerģijas patēriņu, gan attīrāmo izmešu daudzumu līdz 2.3 – 4.3 kg/kg a.s. modificētas koksnes.

2. tabula

Modificētās koksnes iznākuma un radušos notekūdeņu daudzuma atkarība no koksnes hidrotermiskās apstrādes veida

Hidrotermiskās apstrādes veids	Modificētās koksnes iznākums, % no a.s. koksnes masas	Attīrāmā ūdens daudzums, kg/kg a.s. modificētas koksnes masu	Etiķskābes koncentrācija, %		Furfurola koncentrācija, %	
			Nopūšanas kondensāts	Žāvēšanas tvaiki	Nopūšanas kondensāts	Žāvēšanas tvaiki
Laboratorijas autoklāvs	73-93	5,0–5,6	-	0,10-0,23	-	0,14-0,55
Laboratorijas autoklāvs ar periodisku tvaika padevi un nopūšanu	82-94	2,3–4,3	0,20-1,20	0,30-2,30	0,20-1,10	0,30-3,00
Tvaika caurplūdes pilotiekārta	87-92	1,8–2,4	0,30-0,70		0,50-1,50	
Pilotiekārta-autoklāvs	85 - 91	0,5-0,6	3,90-6,03		0,15-0,17	

Strādājot ar laboratorijas hidrotermiskās apstrādes iekārtu, iegūtos procesa matemātiskos modeļus izmantoja par pamatu tehnoloģijas tālākai atstrādāšanai uz Polisaharīdu ķīmijas laboratorijas pilotiekārtas kinētikas pētīšanai 4 l tvaika caurplūdes reaktorā. Kā galvenie parametri procesa vērtējumam izvēlēti: minimāls reakcijas laiks, minimāls tvaika patēriņš un pietiekami augsts modificētās koksnes ūdenī šķīstošo vielu saturs un iegūto koksnes plastiķu blīvums.

Zināms izmešu masas un energoresursu samazinājums panākts, izdarot hidrotermisko apstrādi caurplūdes reaktorā, kā rezultātā ievērojami saīsinājās procesa laiks no 2 līdz 1 stundai. To panāk, uzturot atbilstošu temperatūru, būtiski neizmainot koksnes mitrumu reakcijas laikā. Tādēļ nepieciešams uzturēt minimālu tvaika pārkarsējumu pie atbilstošā spiediena. Līdz ar to izdodas samazināt tvaika patēriņu un arī piesārņoto kondensātu daudzumu līdz 1,8-2,4 kg/kg absolūti sausas modificētas koksnes masu. Lai gan, samazinot tvaiku caurplūdi, nedaudz samazinās arī izdalītā furfurola un etiķskābes daudzums, attiecīgi 0,5-1,5% un 0,3-0,7% no kondensāta masas, tomēr to koncentrācijas notekūdeņos ir pietiekamas, lai būtu vērā ņemamas. Modificētās koksnes iznākums ir pietiekami augsts (87-92% no a.s. koksnes) ar nepieciešamo iekšējās saistvielas – ūdenī šķīstošo vielu daudzumu (15 – 18%) tajā. Pilotiekārtā noskaidrotā iespēja būtiski saīsināt procesa laiku ļauj prognozēt iespēju hidrotermiskai apstrādei izmantot nepārtrauktas darbības caurplūdes aparātus.

Vienīgais trūkums caurplūdes reaktora izmantošanai ir tāds, ka pēc modificēšanas iegūtā masa ir ar lielu mitrumu (w = 40-60%). Tādēļ ir nepieciešama žāvēšana, lai varētu

realizēt gan malšanas (ja modificē šķeldu), gan granulēšanas procesu, kur nepieciešamais mitruma saturs materiālam ir zem $w = 10\%$. Risinot šo problēmu, baltalkšņa koksnes modificēšanai tika izmantota vēl viena LV Koksnes Ķīmijas Institutā pieejamā pilotiekārta, kas paredzēta koksnes termiskai apstrādei zem spiediena. Iekārtā ievieto paplātes ar materiālu un pievada nepieciešamo ūdens daudzumu, kas vajadzīgs tvaika vides nodrošināšanai. Šajā gadījumā ņēma tik daudz ūdeni, lai tā attiecība pret a.s. koksni būtu aptuveni 1:2, respektīvi, uz kg a.s. koksnes tika ņemts 0.5 kg ūdens, tādējādi samazinot iespējamo notekūdeņu daudzumu līdz minimumam. Vēl jo vairāk, materiāls pēc modificēšanas ir jau sauss ($w = 4-6\%$) – nav nepieciešama žāvēšana, kas dod iespēju modificēt šķeldu un pēc tam to malt. Koksnes modificēšana palielina ne tikai tās enerģijas blīvumu un hidrofobitāti, bet arī malšanas īpašības [3-4] un procesa kopējā enerģijas balance samazinās. To samazina ne tikai modificētas koksnes malšana, bet arī tiek izlaists viens liels enerģijas patēriņa process – modificētās koksnes žāvēšana, kas raksturojas ar piesārņojošo vielu izdalīšanos.

Modificējot koksni šādā periodiskas darbības autoklāvā samazinās gan notekūdeņu daudzums līdz 0,5-0,6 kg/kg a.s. modificētas koksnes, gan arī galvenā piesārņotāja – furfurola – daudzums, jo tas ilgajā izturēšanas procesā sadalās un tiek samazināts līdz minimumam (2.tabula). Furfurola saturs kondensātos sastāda tikai 0,15-0,17% no kondensāta masas. Vienīgi etiķskābes koncentrācija palielinājusies līdz ar kondensātu daudzuma samazināšanos.

Modificētās koksnes iznākums ir tāds pats kā iepriekšējos variantos - 85-91% no a.s. koksnes, tā ļoti labi granulējas granulatorā ar matricu un piespiedējveltni, kur granulu iznākumu sasniedza 94% un iegūto granulu blīvums - $1,379 \text{ g/cm}^3$. Pilotiekārtas autoklāvā iegūtās modificētās koksnes granulas karbonizēja periodiskas darbības laboratorijas tipa retortē līdz $T=600^\circ\text{C}$ ar temperatūras celšanas ātrumu 2°C/min , ko regulēja automātiski. Ogļu iznākums sasniedza 41% no a.s. modificētās koksnes un to kvalitāte bija teicama. Negaistošās oglekļa saturs 88,73%. Pēc karbonizācijas modificētās koksnes granulu blīvums nedaudz samazinās, bet joprojām tas ir virs $1,000 \text{ g/cm}^3$. Aktīvās ogles ir ne tikai ar augstu blīvumu, bet tām piemīt arī lieliskas sorbcijas īpašības, kas ir salīdzināmas ar aktīvajām oglēm, kas iegūtas no kokosriekstu čaumalām.

Secinājumi

1. Bez katalizatora izmantošanas pie temperatūras 170°C un reakcijas laika 60 min. laboratorijas reaktors izdodas iegūt modificētu koksni, no kuras iegūtās plastikas pirms un pēc karbonizēšanas uzrāda augstu mehānisko stiprību: liece attiecīgi nekarbonizētai – 50 MPa un karbonizētai – 13 MPa, spiedes pretestība karbonizētiem paraugiem līdz 20-22 MPa.
2. Noskaidrota izejvielas mitruma, fracionālā sastāva un hidrotermiskās apstrādes ilguma ietekme uz modificētās koksnes karbonizētu un nekarbonizētu plātnīšu lieces un spiedes pretestību vērtībām. Vislielākos rādītājus uzrāda karbonizētās un nekarbonizētās plātnītes, kas iegūtas no koksnes ar daļiņu izmēriem, kas nepārsniedz 0,25 mm.
3. Caurplūdes tipa hidrotermiskās apstrādes reaktors arī pilotiekārtas mērogā ir piemērots alkšņa koksnes skaidu modifikācijai ar pieņemamu tvaika patēriņu – 2 kg/kg a.s. modificētas koksnes, kuru iespējams samazināt.
4. Autoklāva tipa hidrotermiskās apstrādes iekārta ir piemērota arī koksnes modifikācijai kas paredzēta granulēšanai. Turklāt iegūtās modificētās koksnes mitrumus atbilst granulēšanas

un malšanas nosacījumiem, kas ļauj izvairīties no vienas tehnoloģiskās operācijas – žāvēšanas.

5. Modificētas alkšņa koksnes granulācija matricas ar piespiedējveltni tipa granulatorā realizēta ar 85-94% granulu iznākumu no presmasas masas rēķinot. Granulu blīvums ir ļoti augsts, sasniedzot pat 1,379 g/cm³. No modificētas alkšņa koksnes granulām pagatavotas kokosriekstu čaumalu aktivētajām oglēm līdzīgs sorbents.

Literatūra

1. N.Vedernikov, I.Kruma, J.Zandersons, A.Zhurinsh, A.Tardenaka, B.Spince, J.Chirkova. Production of furfural and carbon materials from deciduous tree wood wastes. In *Proceedings of the 7th European Workshop on Lignocellulosics and Pulp*, Turku Abo, Finland, 2002, 51-54.
2. J.Rizhikovs, J.Zandersons, A.Tardenaka, B. Spince. Modified alder wood as a raw material for production of high-density activated carbon. In *Italic 4 – Science & Technology of Biomass: Advances and Challenges*, Rome, Italy, 2007, 62-65.
3. A.U.André P.C.Faaij, P.C.A.Bergman. Pre-treatment technologies and their effect on international bioenergy supply chain logistics. Techno-economic evaluation of torrefaction, fast pyrolysis and pelletisation. *Energy*, Vol 33, Issue 8, August **2008**, 1206-1223.
4. P.C.A.Bergman, A.R.Boersma, J.H.A.Kiel, R.W.H.Zwart. Development of torrefaction for biomass co-firing in existing coal-fired power stations. BIOCOAL concept version, ECN report, 2005.

J. Rižikovs. *Blīvu un mehāniski stipru aktīvo ogļu iegūšana no ātraudzīgo mīksto lapu koku koksnes*
Granulētu aktīvo ogļu kvalitāti raksturo liels blīvums, mehāniskā stiprība un augsta sorbcijas spēja no gāzes-tvaiku vides, lai minimālā adsorbera tilpumā panāktu maksimālu sorbcijas spēju un iespēju daudzkārtējai sorbenta reģenerācijai. No kokoglēm ražotās aktīvās ogles ir ar mazu neorganisko piemaisījumu saturu, labu poru sadalījumu, bet ar zemām mehāniskajām īpašībām. Strauji aug pieprasījums pēc granulētām oglēm gan ūdens attīrīšanai, gan gāzveida emisiju kontrolei un šķīdinātāju reģenerācijai un cēlmetālu un reto metālu iegūšanai. Šajā pētījumā izstrādāta tehnoloģiju šāda sorbenta iegūšanai no ātraudzīgo mīksto lapukoku koksnes, kas šajā gadījumā ir baltalksnis (*Alnus incana* (L.) Moench), kam ir zemas mehāniskās īpašības. Termolīzes tvaiku-gāzu maisījumu izmanto kā kurināmo pārogļošanas procesa uzturēšanai, bet aktivācijas gāzes sadedzina tvaiku ražošanas un pārkarsēšanas iekārtās un te izmeši neveidojas. Tehnoloģisko blakusproduktu jeb izmešu problēmas radīsies koksnes modifikācijas procesā – autohidrolīzē un žāvēšanā, kas saistīti ar ūdens un tvaiku izmantošanu un tāpēc ar atbilstošiem notekūdeņiem un gāzu-tvaiku izplūdi atmosfērā.

Rizhikovs J. *Obtaining of high density and mechanically strength activated carbon from fast-growing deciduous soft structure wood*

High-quality granular carbons are characterised by high density and mechanical strength, and a high sorption capacity from the gas-vapour medium. A technology for obtaining this sorbent from deciduous wood is being developed at the Latvian State Institute of Wood Chemistry. The basic processes of the technology are hydrothermal modification of wood, during which, as a result of the effect of autohydrolysis, a part of the easily hydrolysable polysaccharides is degraded, drying, pelleting, carbonisation and activation with steam. The problems of technological by-products or emissions emerge in the wood modification process – during autohydrolysis and drying, which are connected with utilizing of water and steam, therefore, with the corresponding wastewater and gas-vapour emissions in the atmosphere.

Рыжиков Я. Получение плотных и механически прочных активных углей из древесины быстрорастущих и мягких пород

Качественный гранулированный активный уголь характеризуется большой плотностью, механической прочностью и высокой сорбционной способностью в парогазовой среде, чтобы при минимальной емкости адсорбера достигнуть максимальную сорбционную способность и возможность многократной регенерации. В последнее время резко растёт спрос на гранулированных углей как для очистки воды, так и для контроля эмиссий газообразных веществ, а также для рекупераций растворителей. Эта работа посвящена выработке технологий получения такого сорбента из древесины быстрорастущих и мягких пород, в данном случае из белой ольхи (*Alnus incana* (L.) Moench, которая сама по себе является низкосортной древесиной с низкими механическими свойствами. Парогазовую смесь продуктов термолитического разложения используют как топливо для обеспечения процесса карбонизации, в то время как газообразующие продукты активации карбонизата используют для выработки тепла с целью получения перегретого пара. Экологические проблемы, связанные с выбросом в окружающую среду побочных продуктов, будут создаваться при модификации древесины на стадиях её автогидролиза и сушки.