



PIROLIZ BIOENERGETIK QURILMASI KONDENSATORIDAGI ISSIQLIK ALMASHINUV JARAYONLARI MODELINI ISHLAB CHIQUISH

Uzoqov G'.N. Mamatkulova S.G., Temirova D.B.

Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti, Qarshi, O'zbekiston

Annotatsiya: Maqolada biomassa pirolizi bug'ining optimal sovutish parametrlarini aniqlash uchun piroliz qurilmasi kondensatoridagi issiqlik almashinuv jarayonlarini matematik modellashtirish natijalari keltirilgan. Kondensatorning ish siklini issiqlik-texnik tahlili, uni hisoblash va tanlash uchun kondensatorning issiqlik balansining matematik modeli ishlab chiqilgan bo'lib, bu harorat rejimining optimal parametrlari qiymatlarini olishga imkon beradi. Bir vaqtning o'zida iste'molchini issiq suv, gazsimon va suyuq bioyoqilg'i bilan ta'minlaydigan rekuperativ issiqlik almashtirgichi bilan bioenergetik piroliz qurilmasining texnologik sxemasi taqdim etilgan. Olingan natijalarning tahlili shuni ko'rsatadiki, piroliz qurilmasi kondensatorining chiqishidagi suv harorati o'rtacha 60÷70 °C oralig'ida va avtonom iste'molchining issiqlik ta'minoti tizimlari uchun yaroqli bo'ladi.

Kalit so'zlar: piroliz qurilmasi, sovutish jarayoni, piroliz qurilmasi kondensatori, matematik model, kondensatorning issiqlik balansi, sovutish suvi harorati, issiqlik almashinuv.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В КОНДЕНСАТОРЕ ПИРОЛИЗНОЙ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Узаков Г.Н., Маматкулова С.Г., Темирова Д.Б.

Каршинский инженерно-экономический институт, Карши, Узбекистан

Аннотация: В статье представлены результаты математического моделирования процессов теплообмена в конденсаторе пиролизной установки для определения оптимальных параметров охлаждения пара пиролизной биомассы. Создана математическая модель теплового баланса пиролизного конденсатора для расчета, выбора и анализа рабочего цикла, что позволило получить оптимальные параметры температурного режима. Представлена технологическая схема пиролизной биоэнергетической установки с рекуперативным теплообменником, который одновременно обеспечит потребителя горячей водой, газообразным и жидким биотопливом. Анализ результатов показывает, что температура воды на выходе конденсатора установки пиролиза находится в диапазоне 60-70 °С, который подходит для систем отопления автономного потребителя.

Ключевые слова: пиролизная установка, процесс охлаждения, конденсатор пиролизной установки, математическая модель, тепловой баланс конденсатора, температура охлаждающей воды, теплообмен.

DEVELOPMENT OF A MODEL FOR HEAT EXCHANGE PROCESSES IN A PYROLYSIS BIOENERGY PLANT CAPACITOR

Uzakov G.N., Mamatkulova S.G., Temirova D.B.

Karshi Engineering Economics Institute, Karshi, Uzbekistan





Abstract: *The article presents the results of mathematical modeling of heat exchange processes in the condenser of a pyrolysis plant, in order to identify optimal parameters for cooling the biomass pyrolysis steam. A mathematical model of the thermal balance of the condenser of a pyrolysis plant has been developed for calculating, selecting and thermotechnical analysis of the working cycle of the condenser, which allows to obtain the values of the optimal parameters of the temperature regime. The technological scheme of a pyrolysis bioenergy plant with a recuperative heat exchanger, which simultaneously provides hot water, gaseous and liquid biofuels to the consumer, is presented. The analysis of the obtained results shows that the water temperature at the outlet of the condenser of the pyrolysis plant is on average in the range of 60-70 °C and suitable for heat supply systems of an autonomous consumer.*

Keywords: *pyrolysis plant, cooling process, pyrolysis plant condenser, mathematical model, condenser thermal balance, cooling water temperature, heat exchanger.*

Kirish.

Dunyoning rivojlangan mamlakatlarida muqobil yoqilg'ini olish uchun biomassani qayta ishlash masalasi dolzarb hisoblanadi va bu yo'nalish jadal rivojlanmoqda. Jahon energetika kengashi (WEC) ma'lumotlariga ko'ra, 2040-yilga kelib biomassaning global energiya balansidagi ulushi 13% gacha o'sishi kutilmoqda [1,2,3]. Uglevodorod chiqindilari va o'simlik biomassasini qayta ishlashning zamonaviy texnologiyalari orasida ularni piroliz usuli bilan termokimyoviy qayta ishlash eng samarali texnologiya hisoblanadi [3].

Piroliz qurilmalarida biomassadan yuqori sifatli bioyoqilg'ini (qattiq, suyuq va gazsimon) maksimal miqdorda olish uchun issiqlik almashtirgich-sovutgich, ya'ni sovutish muhitining optimal parametrlariga ega kondensator yaratish kerak [4,5].

Piroliz bioenergetik qurilmalarida piroliz qurilmasi (PQ) reaktoridan bug'-gaz aralashmasi kondensatsiya va sovutishdan keyin pirogaz va suyuq yoqilg'ini hosil bo'luvchi kondensatorga kiradi. Olingan suyuq bioyoqilg'ini va piroliz gazining miqdori ko'p jihatdan bug'-gaz aralashmasi va sovutish suvi o'rtasidagi issiqlik uzatish jarayonlariga, kondensatorning issiqlik-texnik parametrlariga bog'liq.

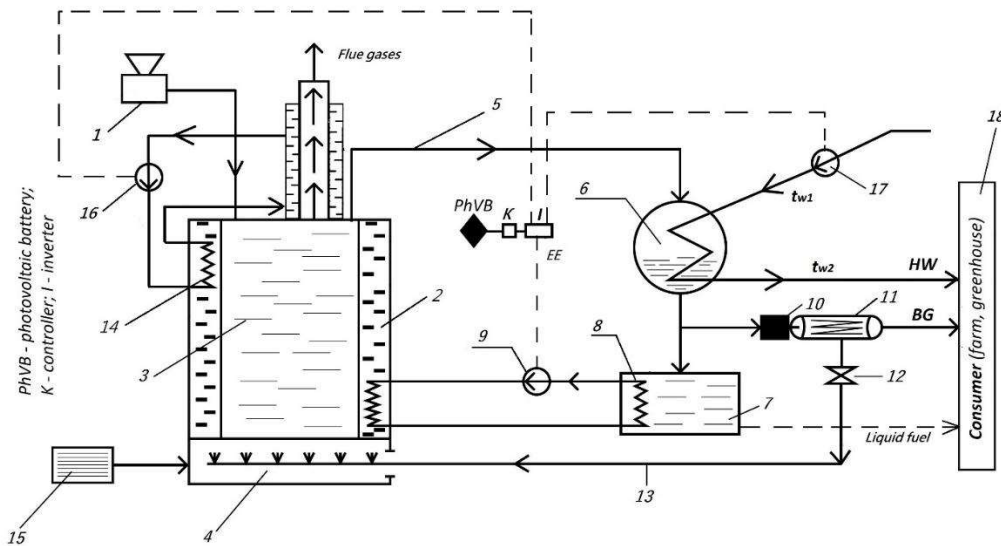
Turli mamlakatlarning ko'plab tadqiqotchilari tomonidan texnologik parametrlarni optimallashtirish va PQda issiqlik uzatishni kuchaytirish bilan bog'liq ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilgan [6,7,8,9,10]. Biroq, PQ kondensatorlaridagi parametrlarni optimallashtirish uchun issiqlik-texnik, issiqlik-texnologik hisob-kitoblari va issiqlik uzatish jarayonlarini modellashtirish yetarli darajada o'rganilmagan.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, biomassa va turli uglevodorod chiqindilarining bug'lanishi natijasida olingan bug'-gaz aralashmasi tarkibi va termodinamik va fizik xususiyatlari oddiy suv bug'ining xususiyatlaridan farq qiladi. Ushbu ishda PQ kondensatorini optimal parametrlarini tanlash uchun issiqlik almashinuvi jarayonlari nostatsionar harorat sharoitida modellashtirilgan.

Materillar va metodlar.

Ishning maqsadi issiqlik almashinuvi jarayonlarini modellashtirish va rekuperatorli piroliz BEQ kondensatorining issiqlik-texnik parametrlarini tahlil qilishdan iborat. Rekuperativ issiqlik almashtirgichli piroliz bioenergetik qurilmaning (PBEQ) asosiy texnologik sxemasi 1-rasmda keltirilgan.

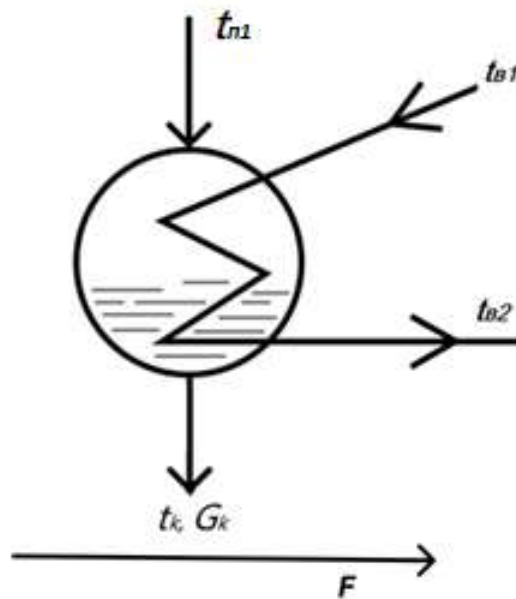




1-rasm. Rekuperativ issiqlik almashtirgichli bioenergiya qurilmasining texnologik sxemasi.

1-biomassani tayyorlash baki; 2-suvli qoplama; 3-piroliz reaktori; 4- gorelka; 5-bug'-gaz aralashmasi quvuri; 6-suv sovutgichi (kondensator); 7-piroliz suyuqligining sig'imi; 8-1-sonli rekuperativ issiqlik almashtirgich; 9-sirkulyatsiya nasos; 10-pirogazni tozalash bloki; 11-galdolzer; 12- ventil; 13 - ehtiyojlari uchun pirogaz quvuri; 14-2-sonli rekuperativ issiqlik almashtirgich; 15-zaxira yoqilg'i; 16, 17-sirkulyatsiya nasoslar; 18-IS, BG va IE iste'molchisi.

Matematik modelni PBEQning asosiy sxemasi asosida ishlab chiqish uchun, PBEQ kondensatori modelining hisoblash sxemasini taqdim etamiz.



2-rasm. PBEQ kondensatori modeli sxemasi.

Natijalar va muhokamalar.

Issiqlik almashinuvi, bug'-gaz aralashmasi sovuq suv sovutish quvurlari yuzasida kondensatsiyalanganida sodir bo'ladi. Bunday holda issiqlik, quvur devori orqali issiq issiqlik tashuvchidan (bug') sovutadigan sovuq issiqlik tashuvchiga uzatiladi. Bizning holatda, sovuq issiqlik tashuvchi sifatida boshlang'ich harorati $t_{s1} = 16 \div 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ bo'lgan artesian sovuq suvidan foydalaniladi.

PQ kondensatorida bug' kondensatsiyalanganida, kondensatsiya harorati teng bo'lgan bug' harorati t_k , doimiy hisoblanadi va kondensatordagi bosim R_k bilan aniqlanadi.

Hisoblash sxemasiga asosan, PQ kondensatorini issiqlik balansining matematik modeli quyidagi differensial tenglama ko‘rinishiga ega

$$C_{ps}G_s dt_s = k(t_k - t_s)d, \quad (1)$$

yoki

$$\frac{dt_s}{dF} = \frac{K}{C_{ps}}(t_k - t_s), \quad (2)$$

bu erda, C_{ps} - kondensatorning sirkulyatsion suvining issiqlik sig‘imi, kDj/(kg·s); G_s - kondensatorida sovutish suvining sarfi, kg/s; t_s - suv harorati, °C; K - issiqlik uzatish koeffitsiyenti, Vt/(m²·°C); t_k - harorat kondensatorida kondensatsiya paytida bug‘ harorati, °C; F - issiqlik almashinuv yuzasi, m².

Quyidagicha belgilash kiritamiz:

$$a = \frac{K}{C_{rs} \cdot G_s}, \quad (3)$$

U holda tenglama (2) quyidagicha bo‘ladi:

$$\frac{dt_s}{dF} = a(t_k - t_s), \quad (4)$$

Differensial tenglamani (4) yechish uchun dastlabki shartlarni quyidagicha tuzamiz: $F=0$; $t_s = t_{s0} = t_{s1}$, u holda (4) tenglamaning yechimi sovutish suvi haroratiga nisbatan quyidagicha bo‘ladi:

$$t_s = t_k - (t_k - t_{s0}) \cdot e^{-aF}, \quad (5)$$

Agar biz suvni isitish issiqligini $C_{ps}G_s(t_{s2} - t_{s1})$ bug‘ kondensatsiyasining issiqligi $C_k G_k(t_k - t_{ks})$ ga tenglashtirsak, ba‘zi o‘zgarishlardan so‘ng bug‘ entalpiyalari orqali kondensatorning issiqlik balansi:

$$G_k(i_k - i_{ks}) = G_s C_{rs}(t_k - t_{s0})(1 - e^{-aF}), \quad (6)$$

bu yerda, i_k, i_{ks} - PQ kondensatoridagi bug‘ va kondensatning entalpiyasi, kDj/kg; $F = \pi dl$ - issiqlik almashinuv yuzasi, m²; d - sovutish suvi quvurlarining diametri, m; l - kondensatoridagi quvur uzunligi, m.

PQ kondensatorining material balansi:

$$G_p = G_{PG} + G_{PJ}, \quad \text{kg/s} \quad (7)$$

bu yerda, G_p - bug‘ sarfi, kg/s; G_{PG} - piroliz gazining sarfi, kg/s; G_{PJ} - piroliz suyuqligining sarfi, kg/s.

PQ kondensatoridagi sovutish suvining tezligi quyidagi formula bilan aniqlanadi [11,12,13]:

$$w_s = \frac{Q_k}{C_{rs} \cdot \rho_s \cdot \Delta t_s \cdot F} \quad (8)$$

bu yerda, Q_k - sovutish suvining kondensatsiya qiluvchi bug‘lariga berilgan issiqlik, Vt; ρ_s - suvning zichligi, kg/m³; Δt_s - kondensatorida suvni isitish, °C.

Kondensatoridagi sovutish suvining o‘rtacha harorati, °C:

$$t_{o'rs} = 0,5(t_{s1} + t_{s2}), \quad (9)$$

bu yerda, t_{s1}, t_{s2} - kondensatorning kirish va chiqishidagi sovutish suvining harorati, °C.

Issiqlik admashinuv yuzasi orqali umumiy issiqlik oqimi issiqlik uzatish tenglamasi bilan aniqlanadi:

$$dQ = k \Delta t dF, \quad (10)$$

Issiqlik uzatish koeffitsiyenti:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (11)$$

Harorat bosimi:

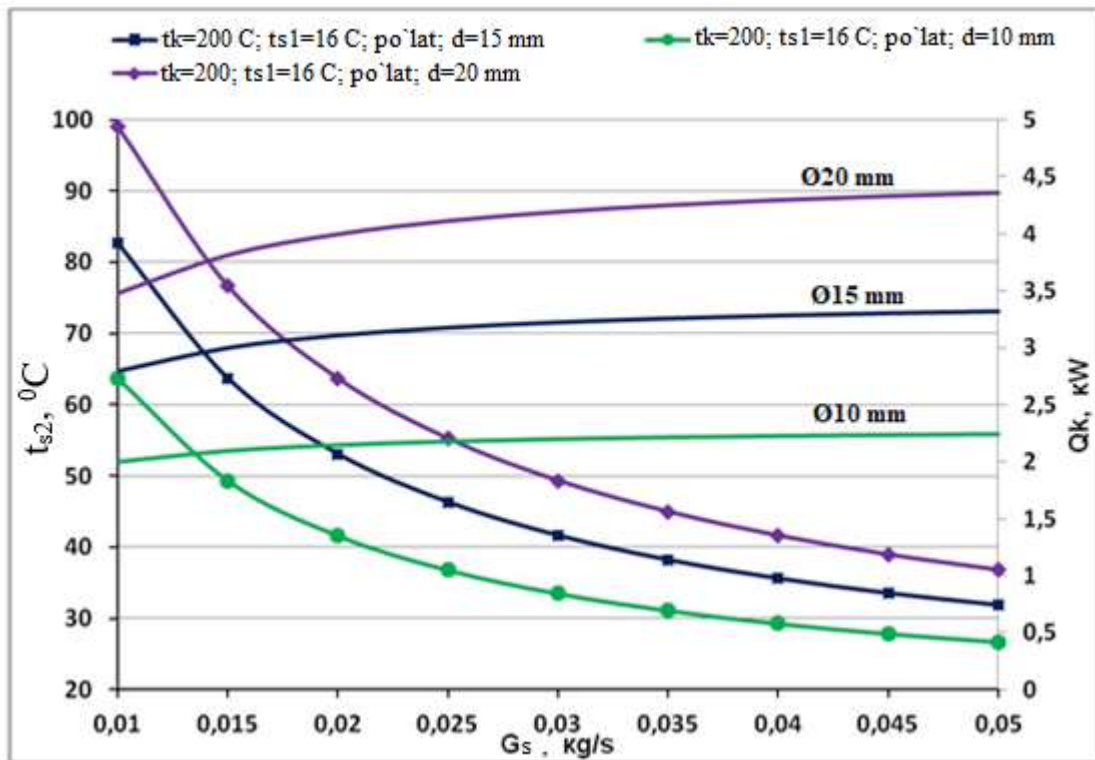
$$\Delta t = \frac{(t_k - t_{s1}) - (t_k - t_{s2})}{\ln \frac{(t_k - t_{s1})}{(t_k - t_{s2})}} \quad (12)$$



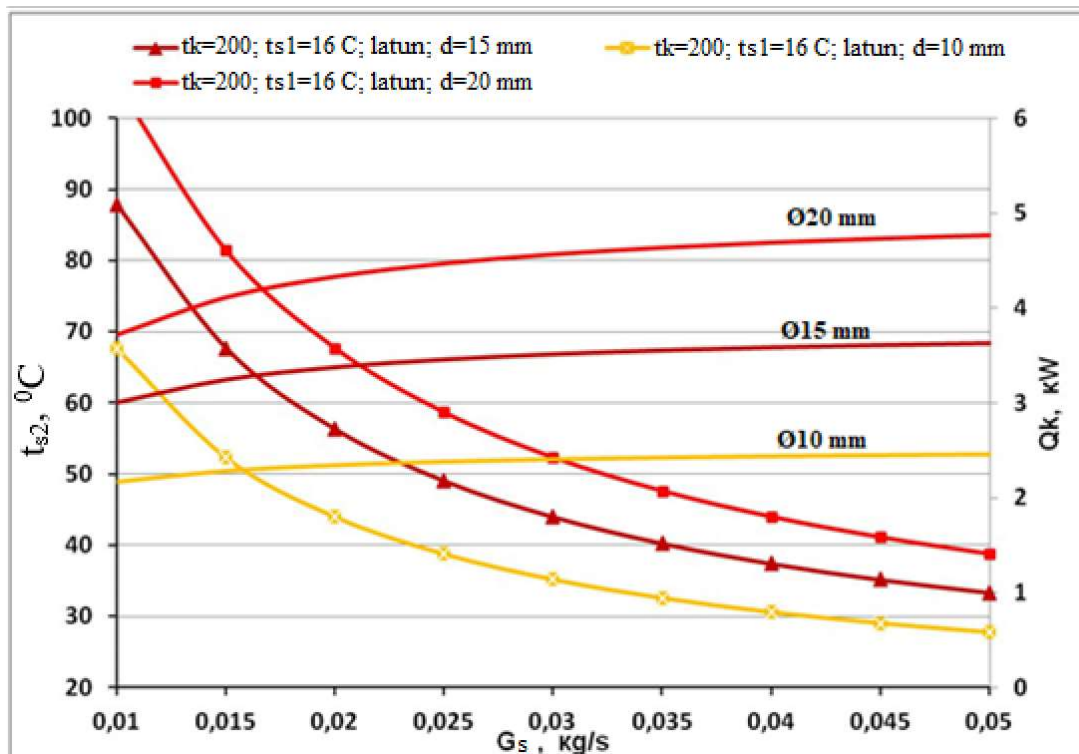
Hisoblash uchun dastlabki ma'lumotlar

T/r	Parametrlar	Belgilanishlar	O'lchov birliklari	Qiymatlar
1.	Suvning issiqlik sig'imi	C_{ps}	$\text{kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$	4.19
2.	Sovutish suvi sarfi	G_s	kg/s	$0,001\div 0,05$
3.	Suvning boshlang'ich harorati	$t_{s1}=t_{s0}$	$^{\circ}\text{C}$	$16\div 18$
4.	Suvning zichligi	ρ_s	kg/m^3	1000
5.	Bug' harorati	$t_p \setminus t_k$	$^{\circ}\text{C}$	$200\div 400$
6.	Issiqlik uzatish koeffitsiyenti	k	$\text{Wt} / \text{m}^2\cdot\text{k}$	200/220
7.	Quvur diametri	d_s	mm	10/15/20

Kondensatorning matematik modelini hisoblash natijalari 3-rasm va 4-rasmda keltirilgan .



3-rasm. Suv sarfi va quvurlarning diametriga nisbatan sovutish suvi haroratining o'zgarishi grafigi (material- po'lat).



4-rasm. Suv sarfi va quvurlarning diametriga nisbatan sovutish suvi haroratining o'zgarishi grafigi (material-latun).

Tadqiqot ishida, 10 mm, 15 mm va 20 mm bo'lgan turli xil materiallardan (po'lat va latun), sovutish suvi oqimi 0,01 kg/s dan 0,05 kg/s gacha, suv harorati 16 °C dan 20 °C gacha bo'lgan quvurlardan foydalangan holda PBEQ kondensatoridagi issiqlik almashinuvi jarayonlarini modellashtirish bo'yicha tadqiqotlar o'tkazildi. Olingan matematik modellashtirish natijalarini 3-rasm va 4-rasmda ko'rish mumkin. Po'lat quvur asosida ishlab chiqarilgan tadqiqotlar natijalaridan (3-rasm), d=10, sovutish suv sarfi 0,01 kg/s bo'lganda suv harorati 64 °C ga, issiqlik quvvati 2 kVt ga yetishi aniqlandi. d=15, sovutish suv sarfi 0,025 kg/s bo'lganda suv harorati 47 °C ga, issiqlik quvvati esa 3,2 kVt ga yetdi. d=20, sovutish suv sarfi 0,05 kg/s bo'lganda suv harorati 38 °C ga, issiqlik quvvati esa 4,3 kVt ga yetdi.

Latun quvuri asosida ishlab chiqarilgan matematik modellashtirish natijalariga ko'ra (4-rasm), d=10, sovutish suv sarfi 0,01 kg/s bo'lganda suv harorati 68 °C ga, issiqlik quvvati 2,1 kVt ga yetishi aniqlandi. d=15, sovutish suv sarfi 0,025 kg/s bo'lganda suv harorati 49 °C ga, issiqlik quvvati esa 3,5 kVt ga yetdi. d=20, sovutish suv sarfi 0,05 kg/s bo'lganda suv harorati 39 °C ga, issiqlik quvvati esa 4,8 kVt ga yetdi.

Tadqiqot natijalarni tahlili shuni ko'rsatadiki, diametri 15-20 mm bo'lgan kondensator quvurlarida kondensator chiqishida 60÷70 °C gacha bo'lgan haroratda issiq suv olish mumkin. 3-va 4-raslarda keltirilgan natijalar va PBEQ kondensatori issiqlik almashinuvi jarayonlarini modellashtirish asosida shuni xulosa qilib aytish mumkinki, quvur materialining turi muhim ahamiyatga ega emas.

Xulosalar.

PBEQ kondensatorining issiqlik jarayonlarini matematik modellashtirish usuli bilan olib borilgan nazariy tadqiqotlar asosida quyidagi xulosalar chiqarish mumkin:

1. Diametri d=10÷20 mm bo'lgan po'lat quvurlarda sovutish suv sarfi 0,01 kg/s bo'lgan sovutish suvi harakatlanganda, kondensator chiqishidagi suv harorati mos ravishda $t_{s2} = 63 \div 98$ °C ga o'zgarishi aniqlandi.

2. Diametri d=10÷20 mm bo'lgan latun quvurlarda sovutish suv sarfi 0,01 kg/s bo'lgan sovutish suvi harakatlanganda, kondensator chiqishidagi suv harorati mos ravishda harorati mos ravishda $t_{s2} = 68 \div 100$ °C ga o'zgardi.



3. Sovutish suvi sarfining 0,01 kg/s dan 0,05 kg/s gacha ko'tarilganda va $d=20$ mm bo'lganda, kondensator chiqishidagi suv harorati: po'lat quvurda $98\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ gacha, latun quvurda $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $39\text{ }^{\circ}\text{C}$ gacha bo'lishi aniqlandi.

4. PBEI kondensatorining issiqlik rejimini modellashtirish natijalari shuni ko'rsatadiki, kondensator chiqishidagi harorat o'rtacha $60\div 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, oralig'ida bo'lib, undan issiq suv ta'minoti va issiqlik ta'minoti tizimlarida ishlatilishi mumkin.

5. Shunday qilib, sovutish suvi diametri $d=20$ mm bo'lgan quvurda harakatlanayotganda, sovutish suv sarfi $0,01\div 0,05$ kg/s da o'zgariganda o'rtacha issiqlik quvvati $2,6\div 4,8$ kVt olindi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Дегтъярев К. Биоэнергетика в России и мире – цифры, факты и тенденции. Электронный ресурс. <http://www.rgo.ru/2011/05/>
2. Попель О.С. Энергия биомассы // Энергия: Экономика, техника, экология. 2016. №11. С. 2-11.
3. Тихонов А.В. и др. Пиролиз как современный метод получения альтернативных источников энергии // Вестник Тверского государственного университета. – 2015. - № 2. с.45-51.
4. Мишустин О.А., Желтоброгохов В.Я., Грачева Н.В., Хонтемирова С.Б. Обзор развития и применения технологий пиролиза для переработки отходов. // Молодой ученый. 2018. - №45 (231). – с.42-45.
5. Шапарев В.П., Себко В.В., Михайлок В.М. Принципиальная схема реакторной установки для пиролиза твердых бытовых отходов в подвижном слое и экспериментально установленные особенности процесса. // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2011. № 2. с. 45-54.
6. Васильевич С.В. и др. Моделирование процесса получения жидких продуктов пиролиза растительной биомассы с учётом скорости их охлаждения. / Энергетика. Известия высших учебных заведений и энер. объединений СНГ. 2022. Т.65, № 4. – с.355-365.
7. Uzakov G., Mamatkulova S., Ergashev S. Thermal mode of the condenser of a pyrolysis bioenergy plant with recuperation of secondary thermal energy // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Т. 411. – С. 01021.
8. Маматкулова С. Г. Современное состояние и перспективы использования биоэнергетических установок в системах теплоснабжения // Muqobil energetika. – 2022. – Т. 1. – №. 04. – С. 63-67.
9. Молько М.В. Исследование кинетики пиролиза древесной биомассы в изотермических условиях. // Весці НАН беларусі. Сер. Фіз.-техн.наук. 2019. Т. 64, № 3. – с. 321-332.
10. Тучинский М.Р., Родных Ю.В. Математическое моделирование и оптимизация пиролизных установок. – М.: Химия, 1979. -168 с.
11. G.N. Uzakov, H.A. Davlonov, K.N. Holikov. Study of the Influence of the Source Biomass Moisture Content on Pyrolysis Parameters, Applied Solar Energy 54, 481-484.
12. Федюхин А.В. Разработка систем комбинированной выработки тепловой и энергетической энергии на основе исследования процессов пиролиза и газификации биомассы. Автореферат на соис. ученой степени к.т.н., Москва, 2014.
13. Ф.Ф. Цветков, Б.А. Григорьев, Тепломассообмен: Учебное пособие для вузов. – М.:Издательство МЭИ, 2005.