

Код МРНТИ 53.07.03

М.К. Есенов<sup>1</sup>, \*Л.И. Раматуллаева<sup>1</sup>, А.А. Волненко<sup>1</sup>, Г.К. Ивахнюк<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>AUEZOV UNIVERSITY (Шымкент қ., Қазақстан),  
<sup>2</sup>САНКТ-ПЕТЕРБУРГ МЕМЛЕКЕТТІК ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ИНСТИТУТЫ  
(Санкт-Петербург қ., Ресей)

## ДИСПЕРСТІ МАТЕРИАЛДАРДЫ ӨНДЕУГЕ АРНАЛҒАН ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ЖАБДЫҚТАҒЫ ЖЫЛУ ЖӘНЕ МАССА АЛМАСУ ПРОЦЕСТЕРІНЕ САЛҚЫНДАТҚЫШ ЖЫЛДАМДЫҒЫНЫҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

**Аннотация.**  $W$  салқындатқыш ағынының жылдамдығы 1-4 м/с-қа дейін өскен кезде барабанның көлденең орналасуы кезінде барабанды материалмен толтыру коэффициентінің мәні 8,11%, ал барабанның көлбеу бұрышында  $\alpha = 1^\circ$  5,68% төмендейтіні дәлелденді. Бұл газдың құлаған бөлшектерге әсер ету күшінің артуымен түсіндіріледі және олар перифериялық араластырғыш құрылғының қалақтарынан құлаған кезде түсіру жағына қарай үлкен қашықтыққа түсіріледі, бұл олардың кептіргіште болу уақытын  $\tau$  азайтады және материалдың жылу тасымалдағышпен жанасу уақытын және температураны  $\theta$ , төмендетуге әкеледі:  $2^\circ\text{C}$  ( $\alpha = 0^\circ$ );  $1,7^\circ\text{C}$  ( $\alpha = 1^\circ$ ). Кептіргіштен шығатын  $t_2$  кептіру агентінің температурасы сәйкесінше 5-6  $^\circ\text{C}$  артады. Бұл дайын өнімнің ылғалдылығының сәйкесінше өсуіне әкеледі: 2,2% ( $\alpha = 0^\circ$ ), 3,09% ( $\alpha = 1^\circ$ ). Мысалы,  $t_1$  80 $^\circ\text{C}$  жоғарылаған кезде,  $\theta_2$  материалының температурасы артады: 8,5  $^\circ\text{C}$  ( $\alpha = 0^\circ$ ), 3,5  $^\circ\text{C}$  ( $\alpha = 2^\circ$ ). Барабанда кептіру агентінің массалық жылдамдығының артуы ( $w_p$ ) 1,8-2,8 кг/(м<sup>2</sup>с) аралығында толтыру коэффициентінің 18-20% төмендеуіне әкеледі.

**Түйінді сөздер:** жылу тасымалдағыштың жылдамдығы, жылу және масса алмасу процестері, дисперсті материалдарды өңдеу, кептіргіш, кептіру қондырғылары, кептіру агенті, барабан агрегаттары.

### Studying the influence of coolant speed on the processes of heat and mass transfer in technological equipment for processing disperse materials

**Abstract.** It has been proven that with an increase in coolant flow rate  $w$  in the range from 1-4m/s with a horizontal drum position, the value of the drum filling coefficient with material  $\psi$  decreases by 8.11%, and with the drum inclination angle  $\alpha = 1^\circ$  by 5.68%. This is explained by the fact that the force of the gas on falling particles increases and, when falling from the blades of the peripheral mixing device, they are carried a greater distance towards unloading, which reduces the time  $\tau$  of their stay in the dryer and leads to a decrease in the time of contact of the material with the coolant and temperature  $\theta_2$  by  $2^\circ\text{C}$  ( $\alpha = 0^\circ$ );  $1,7^\circ\text{C}$  ( $\alpha = 1^\circ$ ). The temperature of the drying agent  $t_2$  leaving the dryer increases by 5-6  $^\circ\text{C}$ . In soybeans, this leads to an increase in the moisture content of the finished product by 2.2% ( $\alpha = 0^\circ$ ), 3.09% ( $\alpha = 1^\circ$ ). Thus, with an increase in  $t_1$  by 80  $^\circ\text{C}$ , the temperature of the material  $\theta_2$  increases by 8.5  $^\circ\text{C}$  ( $\alpha = 0^\circ$ ), 3.5  $^\circ\text{C}$  ( $\alpha = 2^\circ$ ). It was revealed that an increase in the mass velocity of the drying agent in the drum ( $w_p$ ) 1.8-2.8 kg/(m<sup>2</sup>s) entails a decrease in the filling factor by 18-20%.

**Key words:** coolant speed, heat and mass transfer processes, processing of dispersed materials, dryer, drying installations, drying agent, drum units.

### Изучение влияния скорости теплоносителя на процессы тепло- и массообмена в технологическом оборудовании для обработки дисперсных материалов

**Аннотация.** Доказано, что при возрастании скорости потока теплоносителя  $w = 1-4$  м/с при горизонтальном расположении барабана значение коэффициента заполнения барабана материалом  $\psi$  уменьшается на 8,11%, а при угле наклона барабана  $\alpha = 1^\circ$  – на 5,68%. Здесь увеличивается сила воздействия газа на падающие частицы и они при падении с лопаток перемешивающего устройства сносят на большее расстояние в сторону разгрузки, что снижает время  $\tau$  их пребывания в сушилке и приводит к снижению времени контакта материала с теплоносителем и температуры  $\theta_2$  на  $2^\circ\text{C}$  ( $\alpha = 0^\circ$ );  $1,7^\circ\text{C}$  ( $\alpha = 1^\circ$ ). Температура сушильного агента  $t_2$ , выходящего из сушилки, увеличивается на 5-6  $^\circ\text{C}$ ; ведет к возрастанию влажности готового продукта на 2,2% ( $\alpha = 0^\circ$ ), 3,09% ( $\alpha = 1^\circ$ ). При повышении  $t_1$  на 80  $^\circ\text{C}$  температура материала  $\theta_2$  увеличивается на 8,5  $^\circ\text{C}$  ( $\alpha = 0^\circ$ ), 3,5  $^\circ\text{C}$  ( $\alpha = 2^\circ$ ). Увеличение массовой скорости агента сушки в барабане ( $w_p$ ) 1,8-2,8 кг/(м<sup>2</sup>с) влечет за собой понижение коэффициента заполнения на 18-20%.

**Ключевые слова:** скорость теплоносителя, процессы тепло- и массообмена, обработка дисперсных материалов, сушилка, сушильные установки, сушильный агент, барабанные агрегаты.

#### Кіріспе

Соңғы өнімді дайындау немесе шығару процесінде шикізат немесе материалдар кептірілмеген жерде мұндай өндірісті табу қиын. Көптеген технологиялық процестерде бұл дайын өнімнің сапасын да, бүкіл технологиялық желінің тиімділігін де анықтайтын операциялардың бірі. Кептіру процестері энергияны көп қажет ететіні белгілі, сондықтан олардың тиімділігі өндірістің экономикалық көрсеткіштеріне айтарлықтай әсер етеді.

Осыған байланысты материалдарды кептіруге арналған қондырғылар [1-5, 9-12] біртекті, жоғары сапалы өнімді алу кезінде жоғары тиімділік пен біркелкі кептіруді қамтамасыз етуі керек. Артықшылығы кептіру процесінің үздіксіздігін, ыңғайлылықты, техникалық қызмет көрсетудің және жөндеудің қарапайымдылығын, қондырғының максималды өнімділігін және материалдың ылғалдылығын кетіру үшін жылу мен электр энергиясының минималды шығындарымен кептіру кеңістігіндегі ерекше ылғалды көтеруді қамтамасыз ететін қондырғыларға берілуі керек.

#### Материалдар мен әдістер

Сонымен қатар, процестің, аппараттың және барлық технологияның экологиялық тазалығы туралы заманауи талапты ұмытпауымыз керек. Газ, сұйық және қатты қалдықтарды тазарту үшін шаң-газ ұстағыштар мен басқа да қондырғыларды құру игерудің жетілмегендігін көрсетеді.

[1-5, 9-12] материалға берілетін жылудың жоғарылауына кептіру кеңістігінің көлемінің ұлғаюымен, орташа температура айырмашылығының және жылу беру коэффициентінің жоғарылауымен қол жеткізуге болатыны белгілі.

Аппарат көлемінің ұлғаюы кептіргіштің алып жатқан аумағы мен металл сыйымдылығының өсуіне байланысты. Сонымен қатар, бұл кептіру агентінің шығынын және, әрине, оны жылытуға кететін шығындарды арттырады. Сонымен, диаметрі өзгергенін көрсететін мәліметтер келтірілген  $D_0$  1м-ден 3,5 м-ге дейін салқындатқышты дайындауға жұмсалатын энергия шығынын он есе арттырады. Сонымен қатар, жетектің қуаты шамамен 30 есе артады.

Температура айырмашылығын арттыру арқылы кептіру қондырғысының тиімділігін арттыру  $\Delta t_{cp}$  әрдайым қол

жетімді бола бермейді [7], өйткені кіретін салқындатқыштың температурасы көбінесе кептірілген материалдардың физика-химиялық қасиеттерімен шектеледі. Сонымен қатар, құрылғының кіреберісіндегі газ температурасының 100 °С-тан 400 °С-қа дейін жоғарылауы [6] жылыту қондырғысының энергия сыйымдылығын 7 есе арттыруға әкеледі.

Жоғарыда айтылғандардан, кептіру қондырғылары үшін қолайлы кептіру процесін қарқындатудың үнемді жолдарының бірі жылу беру  $\alpha$  коэффициентін арттыру болып табылады.

Д.М. Стерлиннің [8] айтуы бойынша  $\alpha$  барабан аппараттарындағы коэффициентінің барабанның айналу жылдамдығын  $N$  және кептіру аймағындағы кептіру агентінің массалық жылдамдығын арттыру арқылы жоғарылатуға болады ( $\rho, w$ ), бұл жылу алмасу коэффициентінің жоғарылауына ғана емес, сонымен қатар газды жылытуға жұмсалатын энергия шығынының артуына және барабаннан материал бөлшектерінің көбірек тасымалдануына әкеледі. Бұл тәсіл алдын-ала жан-жақты талдауды қажет етеді.

Кептірілетін материалдың бөлшектерін үрленетін кептіру агентімен тікелей байланыстыру арқылы сусымалы, тұйыршықты және ұсақ бөлшектерді өңдеу үшін қолданылатын барабанды кептіргіштер кептіргіш қондырғылардың басқа түрлеріне қарағанда бірқатар артықшылықтарға ие [4]:

- техникалық қызмет көрсету оңай;
  - олар салыстырмалы түрде үлкен өнімділікке ие (буланған ылғал бойынша ол 10 т/сағ. дейін жетеді);
  - жоғары температуралы газдарды қолдану мүмкіндігіне байланысты өте үнемді, өйткені барабан айналғанда материал үздіксіз араласады және бөлшектер өте қысқа уақыт ішінде Газбен үрленеді;
  - оларда бөлшектердің диаметрі 300 мм ге дейін болатын ірі материалдарды кептіруге болады.
- Сондықтан олар әртүрлі салаларда кеңінен қолданылды (50%-дан астам).

Дисперсті материалдарды кептіру үшін шахта, пневматикалық, аэрофонтанды кептіргіштер мен қайнаған қабаты бар кептіргіштер де қолданылады.

Шахта кептіргіштері әр түрлі [1-3] шахта ішіндегі материалдың қозғалу сипаты бойынша:

- материал шахтаның ішіне еркін түседі;
- материалдың еркін түсуі әртүрлі пішіндегі сөрелерді орнату арқылы жасанды түрде баяулайды;
- материал шахтада үздіксіз массамен қозғалады және оның қозғалыс жылдамдығы шахтадан алынған кептірілген материалдың мөлшерімен анықталады;
- шахтадағы материалдың қозғалыс жылдамдығы шахта ішінде орналасқан тасымалдау механизмдерінің жылдамдығымен анықталады.

Олар төмен өнімділікке, күрделі дизайнға ие және үлкен өндіріс орындарын алады.

Пневматикалық аппараттарда материалды кептіру салқындатқыштың (қыздырылған ауа немесе жанғыш газдар) жоғары ағынында жүреді. Материалдың бөлшектерінің мөлшері мен тығыздығына байланысты ағынның жылдамдығы 10-45 м/с болуы керек, бұл газдың энергия шығынын едәуір арттырады.

Ең қарқынды-аэрофонтанды кептіргіштер мен қайнаған қабаты бар құрылғылар. Олардағы гидродинамикалық

жағдай газ және қатты фазалардың жылдамдық өрісімен анықталады, бұл фазалардың аппаратта және оның жеке аймақтарында болу уақыты бойынша таралуын, сондай-ақ фазалардың араласу жағдайларын анықтайды. Мысалы, пневматикалық кептіргіштерде қатты және газ фазаларының қозғалысы идеалды выгтыстыруға жақын режимде жүзеге асырылады, бұл осы кептіргіштердің оң жағы. Классикалық қайнаған қабаты бар кептіргіштерде және аэрофонтанды кептіру қондырғыларында материалдың қарқынды араласуы жүреді, яғни режим тамаша араластыру режиміне жақын, бұл дайын өнімнің біркелкі емес ылғалдылығына әкеледі.

Соңғы уақытта материалдарды кептіруге перспективалы болып бір аппаратта газ және қатты фазалардың екі жанасу аймағын біріктіретін аралас аппараттар табылады, онда әр түрлі гидродинамикалық режимдерде кептіру жүзеге асырылады, бұл процесті едәуір күшейтуге мүмкіндік береді.

Бос және байланысты ылғалдылығы бар ылғалды материалдар көбінесе жоғары бастапқы ылғалдылыққа ие және айқын адгезиялық-когезиялық қасиеттерге ие. Мұндай жағдайларда кептірудің бірінші кезеңі бір-біріне жабысатын және жиналатын материалдардың бөлінуін қамтамасыз етуі керек. Осы мақсатта [2, 8, 9] пневмокөлік режимінде кептірілген өнімді шығарумен ауа жылдамдығының жоғарылауы кезінде жылдам араластырғыштары бар аппараттарды пайдалануға болады. Екінші кезең-кептіру камерасы.

Аралас кептіргіштер, әдетте, алынған өнімді сусыздандыруға арналған екі немесе үш құрылымнан тұрады. Оларға [8, 9] жатады:

- «қайнаған» қабаттан, пневматикалық көліктен және циклоннан тұратын аралас циклонды кептіргіш;
- эжектор мен циклонның тіркесімі болып табылатын аралас аэрофонтанды кептіргіш;
- саңырауқұлақ роторы бар барабан аппаратынан және кептіру бағанынан тұратын біріктірілген қарсы ток кептіргіш;
- қайнаған және фонтанды қабаты бар таспалы кептіргіш;
- көлденең пневмокөлік пен барабан аппаратынан тұратын аралас кептіргіш.

Аралас кептіргіштер өте көп, бұл өңделген өнімнің физика-химиялық сипаттамаларының (дисперсті материал, суспензия, шлам) қасиеттерінің, гранулометриялық құрамының және т.б. ерекшеліктерімен және оның сапасына қойылатын соңғы талаптармен байланысты. Дегенмен, олардың негізгі кемшілігі-олар әртүрлі конструкциялардың комбинацияларынан тұрады, бұл кептіргіштер санының артуына ғана емес, сонымен қатар қызмет көрсету персоналының өсуіне әкеледі. Бұл қазір қымбат. Аралас кептіргіштерді негізінен жобалау ұйымдары әзірледі, олар белгілі конструкциялар мен оларды есептеу әдістерін қолдана отырып, оларды біріктірді.

### Нәтижелер

Мұндай кемшіліктер дисперсті материалдың қайнаған қабатында және біз жасаған барабан аппаратында екі фазалық байланыс аймағы бар кептіргіштен айырылған [10], өйткені бұл біртұтас құрылым.

Құрылымның сенімділігіне, қызмет көрсетудің қарапайымдылығына және материалдардың кең спектрін өңдеу мүмкіндігіне байланысты ауыл шаруашылығында, химия және тамақ өнеркәсібінде қолданылатын кептіру қондырғыларының барлық конструкцияларының ішінде барабан агрегаттары ең кең таралған (50%-дан астам) болды.

Көптеген ғалымдардың күш-жігері барабан кептіргіштерінде болатын жылу-масса алмасу процестерін күшейтуге бағытталған. Олардың жұмыс тиімділігін арттырудың әртүрлі әдістері, барабанның теріс бұрышын және оларды есептеу әдістерін қолдана отырып, қондырғылардың жаңа конструкциялары, ішкі тарату құрылғыларының жаңа конструкциялары жасалды. Алайда, жүргізілген зерттеулердің материалдары әртүрлі сипатта болады, бұл барабан түріндегі кептіргіштердің ең қолайлы дизайнын зерттеуде, есептеуде, жобалауда және таңдауда айтарлықтай қиындықтар туғызады.

Барабанды кептіргіштер кептірілетін материал бөлшектерінің үрленетін кептіру агентімен тікелей жанасуы есебінен сусымалы, түйіршікті және ұсақ кесекті материалдарды өңдеу үшін қолданылады. Соңғысы, әдетте, кептіру агентінің температурасы жоғары (400-900 °C).

Барабанды кептіру қондырғыларының негізгі бөлігі болып табылады [6] айналмалы барабан көкжиекке қарай белгілі бір көлбеу бұрышпен орнатылған (әдетте +3°...-3°). Соңғы уақытқа дейін тек оң бұрыш қолданылды (0° + 3°), яғни барабан тиеу жағынан кептірілетін материалдың түсіру жағына қарай еңіспен орнатылды. Бірақ соңғы кездері барабанның көлбеу бұрышына көлбеу жүктеме жағына бағытталған кезде ауысу байқалды. Барабанның ішінде материалды араластыруға арналған ішкі саптама бар (1-кесте) [4].

Материалды барабан бойымен жылжыту иық пышақтарынан түсетін және үйіндідегі бөлшектерге, кептіру аген-

тінің қысым күшіне және ауырлық күшіне әсер ету арқылы жүзеге асырылады.

Материалды жақсырақ араластыру, материалдың кептіру агентімен жанасу аймағын ұлғайту үшін, демек, кептіру агентінен кептіру барабандарының ішіне жылу массасы мен жылу беру коэффициентін арттыру үшін құю құрылғысы (саптама) орнатылады.

Барабанның басында материалды тиеу жағынан қабылдау-бұрандалы саптама, ал одан әрі негізгі, ол ретінде қалақша саптамалары, секторлық немесе олардың комбинациялары пайдаланылады.

Жақсы сусымалы және бөлшектердің диаметрі бар материалдарды кептіру кезінде  $d_q < 8$  мм диаметрі барабандарда  $D_6 = 1000...1600$  мм әдетте сектор саптамасы қолданылады, ал  $d_q > 8$  мм – қалақша. Егер материал жабысуға бейім болса, бірақ кептіруден кейін оның ағымы жақсарды, содан кейін диаметрі  $D_6 = 1000...2200$  мм барабандарда алдыңғы бөлігінде қалақша, содан кейін сектор немесе тарату орнатылады.  $D_6 = 2500...2800$  мм материалдың ағындылығына және бөлшектердің диаметріне қарамастан, ұзындығы 2 м қалақша саптамасы, ал қалған кеңістікте секторлық және тарату қондырғысы орналасқан [7].

Кептіру барабанындағы жылу алмасу тиімділігіне кептіру агентінің қозғалыс жылдамдығы айтарлықтай әсер ететіні белгілі. Сонымен, кептіру агенті барабан бойымен неғұрлым жоғары жылдамдықпен қозғалса, жылу беру коэффициенті соғұрлым жоғары болады.

Автор [10]  $w$  салқындатқышының ағынының жылдамдығы 1 м/с-тан 4 м/с-қа дейін өскен кезде, барабанның көлденең орналасуы кезінде барабанды материалмен толтыру коэффициентінің  $\psi$  мәні 8,11%-ға, ал барабанның көлбеу бұрышында  $\alpha = 1^\circ$ -тен 5,68%-ға төмендейтінін көрсететін эксперименттік мәліметтер

*Кесте 1*

*Ішкі саптаманың негізгі түрлерінің параметрлері*

*Table 1*

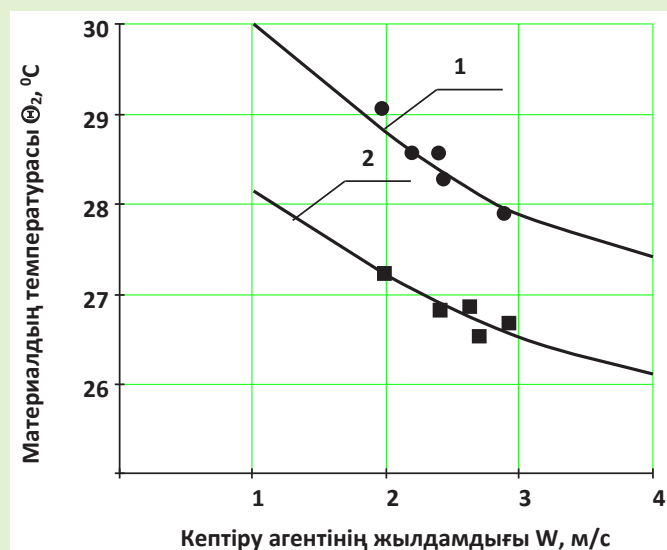
*Parameters of the main types of internal nozzle*

*Таблица 1*

*Параметры основных типов внутренней насадки*

Саптама түрі	Барабанның диаметрі, м	Саптама қалақтарының саны, дана.	Барабанды материалмен толтыру коэффициенті, %	Бөлшектердің құлауының орташа биіктігі, м
Қалақша	1,0	6	15	0,617
	1,2	8		0,741
	1,6	12		1,080
	2,0	14	18	1,045
	2,1	16		1,345
	2,5	18		1,545
	2,8	20		1,590
Секторлық	1,0	25	25	0,150
	1,2	25		0,191
	1,6	25		0,245
	2,0	28	21	0,344
	2,2	28		0,398
	2,5	28		0,452
	2,8	51		0,439

алды. Бұл газдың құлаған бөлшектерге әсер ету күшінің артуымен түсіндіріледі және олар перифериялық араластырғыш құрылғының қалақтарынан құлаған кезде түсіру жағына қарай үлкен қашықтыққа түсіріледі, бұл олардың кептіргіште болу  $\tau$  уақытын азайтады және материалдың жылу тасымалдағышпен жанасу уақытын және температураны төмендетуге  $\theta_2$ -ден  $2^\circ\text{C}$  және  $\alpha = 0^\circ$  және де  $1,7^\circ\text{C}$ -ден  $\alpha = 1^\circ$  әкеледі (сурет 1). Сонымен қатар, кептіргіштен шығатын  $t_2$  кептіру агентінің тем-



Қисықтар мен эксперименттік нүктелерді белгілеу:  
1 –  $\alpha = 0^\circ$ ; 2 –  $\alpha = 1^\circ$ .

**Сурет 1. Барабаннан шығатын материалдың температурасының кептіру агентінің жылдамдығына тәуелділігі.**

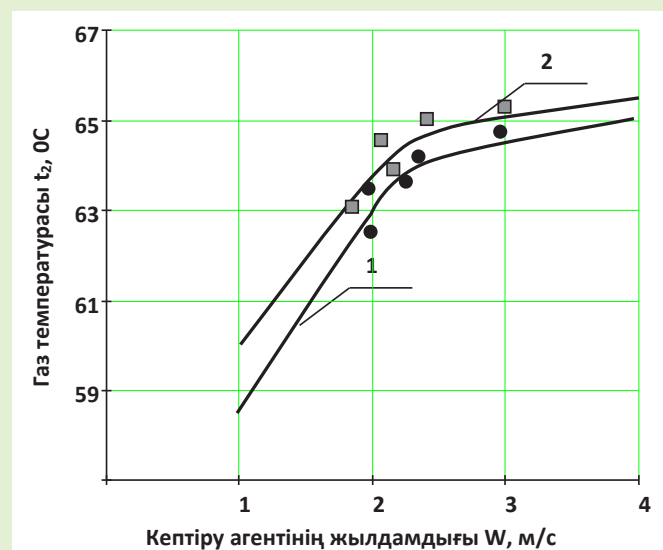
**Figure 1. Dependence of the temperature of the material leaving the drum on the speed of the drying agent.**  
**Рис. 1. Зависимость температуры материала, выходящего из барабана, от скорости сушильного агента.**

### Талқылау

Авторлар [11, 12], айналмалы саптамасы бар барабан аппаратында жүргізілген зерттеулердің нәтижесінде барабанда кептіру агентінің массалық жылдамдығының артуы ( $w\rho_d$ ) 1,8-ден 2,8  $\text{kg}/(\text{m}^2\text{s})$  шегінде (5-сурет) толтыру коэффициентінің іс жүзінде 18-20%-ға төмендеуіне әкеп соқтыратынын анықтады. Қисық сызықтардың сипаты  $\psi = f(w\rho_d)$  материалдың тығыздығына қарамастан барабанның оң және теріс көлбеу бұрышына ұқсас. Сонымен қатар, тығыздығы жоғары материалды кептіру жағдайында барабанды толтыру коэффициентінің мәні жоғары мәндерге ие.

5-суреттен көріп отырғанымыздай [12] материалдың тығыздығы бірдей болған кезде теріс көлбеу бұрышындағы барабанды толтыру коэффициенті коэффициенті  $\alpha_\theta = -1^\circ$  көбірек,  $\alpha_\theta = 1^\circ$  оң жағдайына қарағанда. Бұдан шығатыны, теріс көлбеу бұрышпен жұмыс істейтін кептіргіш  $\alpha_\theta = -1^\circ$ , айтарлықтай резервтерге ие, өйткені барабан арқылы өтетін салқындатқыштың мөлшерін көбейту мүмкіндігі бар.

пературасы сәйкесінше  $6^\circ\text{C}$  және  $5^\circ\text{C}$ -қа артады (2-сурет). Бұл, өз кезегінде, дайын өнімнің ылғалдылығының сәйкесінше 2,2% және 3,09% өсуіне әкеледі. 4-суретте көрсетілген графиктерді талдау [11]  $t_1$  барабанының кіреберісіндегі салқындатқыштың температурасы дайын өнімнің температурасына да әсер ететіндігін көрсетеді. Сонымен,  $t_1$   $80^\circ\text{C}$ -қа жоғарылаған кезде,  $\theta_2$  материалының температурасы  $\alpha = 0^\circ$  болғанда  $8,5^\circ\text{C}$ -қа, ал  $\alpha = 2^\circ$  болғанда  $3,5^\circ\text{C}$ -қа артады.



Қисықтар мен эксперименттік нүктелерді белгілеу:  
1 –  $\alpha = 0^\circ$ ; 2 –  $\alpha = 1^\circ$ .

**Сурет 2. Барабаннан шығатын газ температурасының кептіру агентінің жылдамдығына тәуелділігі.**

**Figure 2. Dependence of the temperature of the gas leaving the drum on the speed of the drying agent**  
**Рис. 2. Зависимость температуры газа, выходящего из барабана, от скорости сушильного агента.**

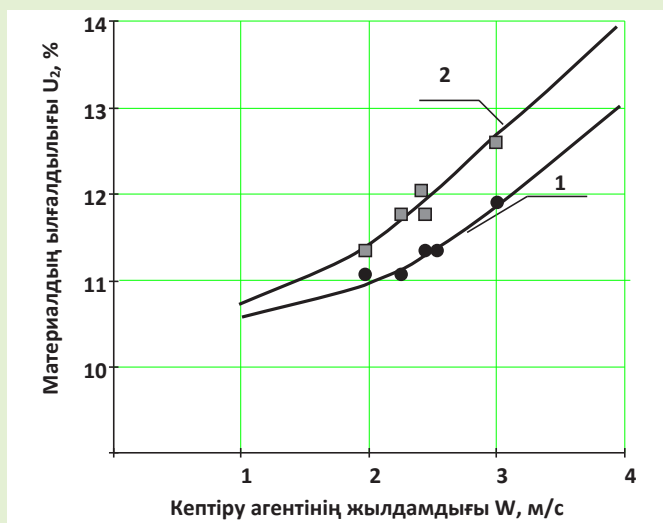
Михайлов Н.М. [12] барабан кептіргіште жылу алмасудың көлемдік коэффициенті мен ауа жылдамдығы арасындағы байланыс теңдеу арқылы көрсетілетінін атап өтті:

$$\alpha_v = A(\gamma v)^k. \quad (1)$$

Алайда, мұндай өңдеу, автордың өзі атап өткендей, практикалық емес, өйткені ауа жылдамдығы иық пышақтарынан түскен бөлшектер мен иық пышақтарындағы бөлшектер үшін жылу алмасу қарқындылығына әр түрлі әсер етеді. Бұл жағдайда  $A$  және  $k$  коэффициенттерінің мәні кептіргіштің дизайнына ғана емес, сонымен қатар оның жұмыс режиміне, атап айтқанда барабанның айналу санына және бөлшектердің мөлшеріне байланысты болады.

[8-12] толтыру дәрежесі барабанның бұрышына қарамастан газдардың жылдамдығына кері әсер ететіндігі анықталды. Соңғысы өзгергенімен, барабанды толтырудың шекті мәндері және  $G = f(w)$  функциясының



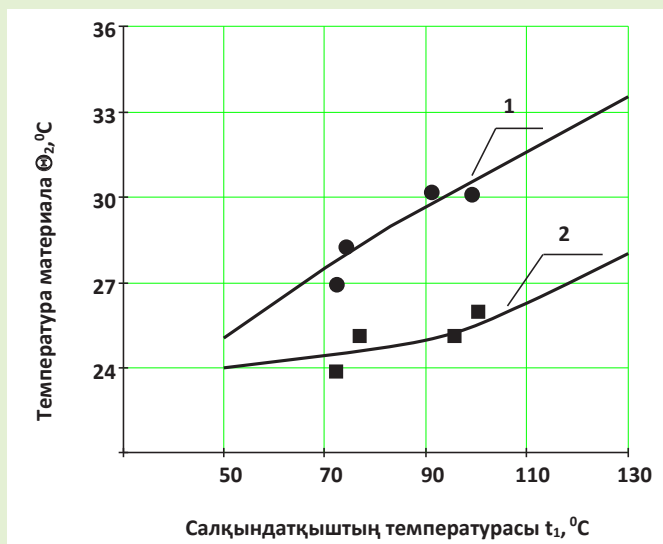


Қисықтар мен эксперименттік нүктелерді белгілеу:  
1 –  $\alpha = 0^\circ$ ; 2 –  $\alpha = 1^\circ$ .

**Сурет 3.** Барабаннан шығатын материалдың ылғалдылығының кептіру агентінің жылдамдығына тәуелділігі.

**Figure 3.** Dependence of the humidity of the material leaving the drum on the speed of the drying agent.

**Рис. 3.** Зависимость влажности материала, выходящего из барабана, от скорости сушильного агента.

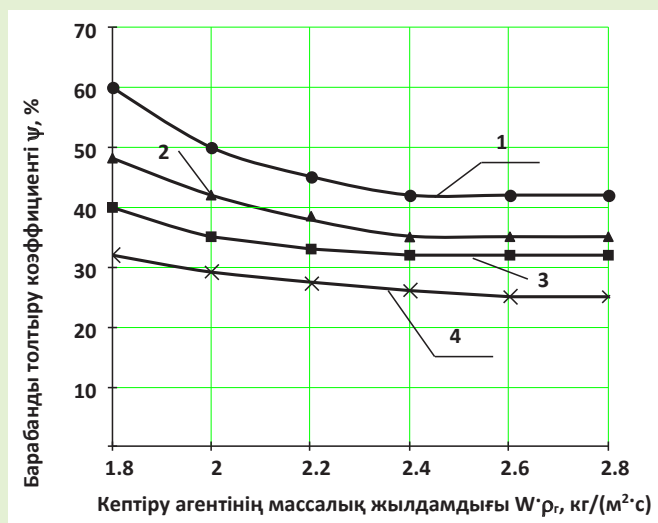


Қисықтар мен эксперименттік нүктелерді белгілеу:  
1 –  $\alpha = 0^\circ$ ; 2 –  $\alpha = 2^\circ$ .

**Сурет 4.** Барабаннан шығатын материалдың температурасының кіретін салқындатқыштың температурасына тәуелділігі.

**Figure 4.** Dependence of the temperature of the material leaving the drum on the temperature of the incoming refrigerant.

**Рис. 4.** Зависимость температуры материала, выходящего из барабана, от температуры поступающего хладагента.



Қисықтарды белгілеу:

1 – барабанның бұрышы  $\alpha_b = -1^\circ$  болғанда  $\rho_m = 950 \text{ кг/м}^3$ ;  
2 – барабанның бұрышы  $\alpha_b = 1^\circ$  болғанда  $\rho_m = 950 \text{ кг/м}^3$ ;  
3 – барабанның бұрышы  $\alpha_b = -1^\circ$  болғанда  $\rho_m = 1200 \text{ кг/м}^3$ ;  
4 – барабанның бұрышы  $\alpha_b = 1^\circ$  болғанда  $\rho_m = 1200 \text{ кг/м}^3$ .

**Сурет 5.** Барабанды толтыру коэффициентінің салқындатқыштың массалық жылдамдығына тәуелділігі.

**Figure 5.** Dependence of the drum filling factor on the mass velocity of the coolant.

**Рис. 5.** Зависимость коэффициента заполнения барабана от массовой скорости теплоносителя.

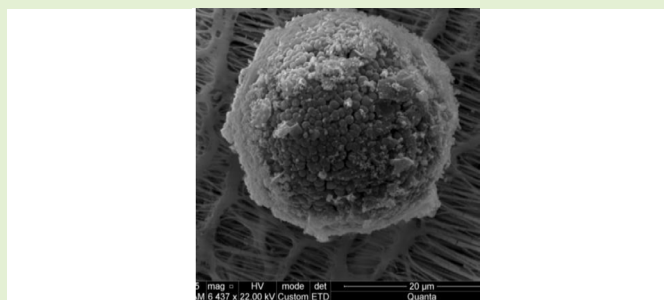
көлбеу бұрышы өзгереді, бірақ аппараттың өнімділігі төмендейді.

Шаң кешендерінің пішінін, өлшемін және құрамдас құрамын терең зерттеу үшін біз негізгі технологиялық операцияларды орындау кезінде кеуек диаметрі 0,8 мкм болатын PTFE сүзгілеріне шаң үлгілерін таңдадық. Қосымша зерттеулер Quanta 200 сканерлеуші электронды микроскопында электронды микроскопия және энергия дисперсиялық рентгендік микроанализ арқылы жүргізілді.

Тоқтатылған шаң бөлшектерінің дисперсті құрамын физика-химиялық талдаудың жалпы нәтижелері және аэрозоль үлгілерінің электрондық фотосуреттерінің мысалдары 6-ші суретте келтірілген. Ұнтақтау процесінде пайда болған шаң-мөлшері 67,0 нм-ден 2,0 мкм-ге дейінгі жеке немесе агломераттарға жиналған микро және нанокұрылымды бөлшектер түрінде кристалды және сфералық пішіндері бар әртүрлі химиялық сипаттағы шаң бөлшектерінің күрделі гетерогенді қоспасы.

Шаңның пайда болуы технологиялық операцияларды орындау кезінде пайда болады, негізінен жұмыс процесінде қолданылатын шикізаттан. Алынған үлгілерде анықталған шаң бөлшектері бір-біріне жабысып қалған немесе агломераттарға жиналған аэрозоль болды. Пішіні мен құрамы бойынша шаң бөлшектерінің көп бөлігі полиморфты құрылымның ыдырауының типтік аэрозолі болды, олар әртүрлі пішіндегі полиэдралар болып табылатын көптеген үшкір жиектері немесе кристалдық құрылымы бар.

Сондай-ақ, қалқымалы шаңның құрамында жеке, көбінесе сопақ немесе дөңгелек, аэрозоль бөлшектері-конденсаттар болды (6-сурет).



**Сурет 6. Шаң үлгілерінің микрофотосы.**  
**Figure 6. Microphoto of dust samples.**  
**Рис. 6. Микрофото образцов пыли.**

### Қорытынды

Өнеркәсіптің әртүрлі салаларында ең көп таралған технологиялық процесс: тау-кен, химия, тамақ, фарма-

цевтика, сондай-ақ құрылыс материалдары, бояулар, минералды тыңайтқыштар және т.б. өндірістерде кептіру болып табылады, оны жүзеге асыру үшін негізінен (50%-дан астам) барабан аппараттары қолданылады. Кептіру барабанында, пайдалану мен дизайнның қарапайымдылығына қарамастан, салқындатқыштың айналмалы және құйылатын қабаттағы дисперсті қатты заттармен күрделі өзара әрекеттесуі жүреді. Кептіргіш барабан агрегаты, әдетте, саптамасы бар барабан аппаратының өзінен, салқындатқышты салқындатуға арналған қыздырғыш немесе тоңазытқыштан, желдеткіштен, дымқыл материалды мөлшерлеп беруге арналған қоректендіргіштен, тиеу және түсіру бункерлерінен, шаң жинау және газ тазарту жүйесінен тұрады, яғни химиялық немесе тамақ өнеркәсібінің барлық машиналары мен аппараттары бар технологиялық қондырғының аналогы болып табылады.

Кептіргіш барабан агрегаттары бойынша жүргізілген зерттеулерді талдауға сүйене отырып, бірдей жағдайларда жаңа сындарлы шешімдерді зерттеудің оңтайлы әдістемесі негізделген.

### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Есенов М.К. Тау-кен және қайта өңдеу өндірісіндегі шаң деңгейін төмендету үшін технологиялық жабдықты экологиялық модернизациялау аспектілері. / М.К. Есенов, Л.И. Раматуллаева, А.С. Колесников, Г.К. Ивахнюк. // Тау-кен ақпараттық-аналитикалық бюллетені. 2023. №10. Б. 136-148 (ағылшын тілінде)
2. Чжан Дж. Сұйықтандыру технологиясын қолдана отырып, тамақ өнімдерін өңдеудегі жылу беруді жақсарту: шолу. / Дж. Чжан, Л. Янг, А.С. Муджумдар. // Азық-түлік ғылымы және диетология саласындағы сыни шолулар. 2018. №58 (14). Б. 2359-2376 (ағылшын тілінде)
3. Хоссейн М.С. Азық-түлікті конвективті кептіру кезінде жылу беруді арттыру: шолу. / М.С. Хоссейн, М. Рокнуззаман. // Азық-түлік технологиясы және биопроецестер. 2020. №13 (5). Б. 781-801 (ағылшын тілінде)
4. Есенов М.К. Қоршаған ортаны қорғау үшін аэрозоль бөлшектерін ұстауды оңтайландыру. / М.К. Есенов, Л.И. Раматуллаева, А.А. Волненко, Г.К. Ивахнюк. // Қазақстанның тау-кен журналы. 2024. №4. Б. 50-58 (қазақ тілінде)
5. Гинсбург А.С. Тамақ өнеркәсібінің кептіру қондырғыларын есептеу және жобалау: М.: Агропромиздат, 1985, Б. 374 (орыс тілінде)
6. Лыков М.В. Химия өнеркәсібінде кептіру: М.: Химия, 1970, Б. 430 (орыс тілінде)
7. Першин В.Ф. Барабан типті машиналар: теория, есептеу және жобалау негіздері: Воронеж: Басылым. ВГУ, 1990, Б. 243 (орыс тілінде)
8. Стерлин Д.М. ДСП өндірісінде кептіру: М.: Леспром, 1977, Б. 178 (орыс тілінде)
9. Сажин Б.С. Кептіру техникасының негіздері: М.: Химия, 1984, Б. 320 (орыс тілінде)
10. Серімбетов Б.А. Жылжымалы тарату құрылғысы бар барабанды кептіру аппараттарын есептеу және модельдеу: автореф. дисс ... канд. Шымкент: 1999. 27 б. (орыс тілінде)
11. Теңізбаев Е.Ж. Айналмалы тарату элементтері бар кептіргіш барабан аппараттарында жылу-масса алмасу: автореф. дисс ... канд. Шымкент: 2003. 144 б. (орыс тілінде)
12. Михайлов Н.М. Электрстанцияларында отынды кептіру мәселелері: М.: Мемэнергоиздат, 1951, Б. 274 б. (орыс тілінде)

### REFERENCES

1. Yessenov M.K. Aspects of ecological modernization of technological equipment to reduce the level of dust from mining and processing production. MIAB. / Yessenov M.K., Ramatullaeva L.I., Kolesnikov A.S., Ivakhniyuk G.K. // Mining Informational and Analytical Bulletin. 2023. №10. P. 136-148 (in English)
2. Zhang J. Heat transfer enhancement in food processing using fluidization technology: a review. / Zhang J., Yang L., Mujumdar A.S. // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2018. №58 (14). P. 2359-2376 (in English)

3. Hossain M.S. Heat transfer enhancement during convective drying of food products: a review. / Hossain M.S., Roknuzzaman M. // *Food and Bioprocess Technology*. 2020. №13 (5). P. 781-801 (in English)
4. Yessenov M.K. Optimization of aerosol particle capture for environmental protection. / M.K. Yessenov, L.I. Ramatullayeva, A.A. Volnenko, G.K. Ivakhniyuk. // *Mining Journal of Kazakhstan*. 2024. №4. P. 50-58 (in Kazakh)
5. Ginzburg A.S. Calculation and design of drying plants in the food industry: M.: Agropromizdat, 1985, S. 374 [Ginzburg A.S. Calculation and Design of Drying Installations in the Food Industry: Moscow: Agropromizdat, 1985, P. 374] (in Russian)
6. Lykov M.V. Sushka v khimicheskoi promyshlennosti: M.: Khimiya, 1970, P. 430 [Lykov M.V. Drying in the Chemical Industry: Moscow: Chemistry, 1970, P. 430] (in Russian)
7. Peshin V.F. Mashiny barabannogo tipa: osnovy teorii, rascheta i konstruirovaniya: Voronezh: Izd. VGU, 1990, S. 243 [Peshin V.F. Drum Machines: Fundamentals of Theory, Calculation, and Design: Voronezh: Publishing House of Voronezh State University, 1990, P. 243] (in Russian)
8. Steplin D.M. Sushka v proizvodstve dpevesno-stpuzhechnykh plit: M.: Lesppom, 1977, S. 178 [Sterlin D.M. Drying in the Production of Wood Chipboards: Moscow: Lesprom, 1977, P. 178] (in Russian)
9. Sazhin B.S. Osnovy tekhniki sushki: M.: Khimiya, 1984, S. 320 [Sazhin B.S. Fundamentals of Drying Technology: Moscow: Chemistry, 1984, P. 320] (in Russian)
10. Serimbetov B.A. Raschet i modelirovanie barabannykh sushil'nykh apparatov s podvizhnym raspredelitel'nyim ustroystvom: avtoref. diss ... kand. Shymkent: 1999. 27 s. [Serimbetov B.A. Calculation and Modeling of Drum Drying Apparatuses with a Moving Distribution Device: Abstract of Dissertation. Shymkent: 1999. 27 p.] (in Russian)
11. Tenizbaev E.Zh. Teplomassoobmen v sushil'nykh barabannykh apparatakh s vrashchayushchimisya raspredelitel'nyimi elementami: avtoref. diss ... kand. Shymkent: 2003. 144 p. [Tenizbaev E.Z. Heat and Mass Transfer in Drum Dryers with Rotating Distribution Elements: Abstract of Dissertation. Shymkent: 2003. 144 p.] (in Russian)
12. Mikhailov N.M. Voprosy sushki topliva na elektrostantsiyakh: M.: State Energy Publishing House, 1951, p. 274 [Mikhailov N.M. Issues of Fuel Drying at Power Plants: Moscow: State Energy Publishing House, 1951, P. 274] (in Russian)

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Есенов М.К. Аспекты экологической модернизации технологического оборудования для снижения уровня запыленности горно-обогатительных производств. / М.К. Есенов, Л.И. Раматуллаева, А.С. Колесников, Г.К. Ивахнюк. // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023. №10. С. 136-148 (на английском языке)
2. Чжан Дж. Улучшение теплопередачи в пищевой промышленности с использованием технологии псевдооживления: обзор. / Дж. Чжан, Л. Янг, А.С. Муджумдар. // *Критические обзоры в области науки о продуктах питания и диетологии*. 2018. №58 (14). С. 2359-2376 (на английском языке)
3. Хоссейн М.С. Повышение теплопередачи при конвективной сушке пищевых продуктов: обзор. / М.С. Хоссейн, М. Рокнуззаман. // *Пищевые технологии и биопроцессы*. 2020. №13 (5). С. 781-801 (на английском языке)
4. Есенов М.К. Оптимизация улавливания аэрозольных частиц для охраны окружающей среды. / М.К. Есенов, Л.И. Раматуллаева, А.А. Вольненко, Г.К. Ивахнюк. // *Горный журнал Казахстана*. 2024. №4. С. 50-58 (на казахском языке)
5. Гинзбург А.С. Расчет и проектирование сушильных установок пищевой промышленности: М.: Агропромиздат, 1985, С. 374 (на русском языке)
6. Лыков М.В. Сушка в химической промышленности: М.: Химия, 1970, С. 430 (на русском языке)
7. Першин В.Ф. Машины барабанного типа: основы теории, расчета и конструирования: Воронеж: Изд. ВГУ, 1990, С. 243 (на русском языке)
8. Стерлин Д.М. Сушка в производстве древесно-стружечных плит: М.: Леспром, 1977, С. 178 (на русском языке)
9. Сажин Б.С. Основы техники сушки: М.: Химия, 1984, С. 320 (на русском языке)
10. Серимбетов Б.А. Расчет и моделирование барабанных сушильных аппаратов с подвижным распределительным устройством: автореф. дисс ... канд. Шымкент: 1999. 27 с. (на русском языке)
11. Тенизбаев Е.Ж. Тепломассообмен в сушильных барабанных аппаратах с вращающимися распределительными элементами: автореф. дисс ... канд. Шымкент: 2003. 144 с. (на русском языке)
12. Михайлов Н.М. Вопросы сушки топлива на электростанциях: М.: Госэнергоиздат, 1951, С. 274 (на русском языке)



**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Есенов М.К.**, М. Әуезов ат. Оңтүстік Қазақстан университетінің КеАҚ «Тіршілік қауіпсіздігі және қоршаған ортаны қорғау» кафедрасының докторанты (Шымкент қ., Қазақстан), [kticz@bk.ru](mailto:kticz@bk.ru); <https://orcid.org/0009-0009-9925-5049>

**Раматуллаева Л.И.**, М. Әуезов ат. Оңтүстік Қазақстан университетінің КеАҚ «Тіршілік қауіпсіздігі және қоршаған ортаны қорғау» кафедрасының байланысты профессоры, т.ғ.к. (Шымкент қ., Қазақстан), [Ramatullaeva\\_l@mail.ru](mailto:Ramatullaeva_l@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-1771-9903>

**Волненко А.А.**, М. Әуезов ат. Оңтүстік Қазақстан университетінің КеАҚ «Механика және машина жасау» ФЗИ директоры, т.ғ.д., профессор (Шымкент қ., Қазақстан), [nii\\_mm@mail.ru](mailto:nii_mm@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-6800-9675>

**Ивахнюк Г.К.**, Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институтының профессоры 2328 (Санкт-Петербург қ., Ресей), [fireside@inbox.ru](mailto:fireside@inbox.ru); <https://orcid.org/0000-0002-3983-2328>

**Information about authors:**

**Yessenov M.K.**, doctorant of the Department of «Life Safety and Environmental Protection» of the NCJCK of the South Kazakhstan University named after M. Auyezov (Shymkent, Kazakhstan)

**Ramatullayeva L.I.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Life Safety and Environmental Protection» of the NCJCK of the M. Auyezov South Kazakhstan University (Shymkent, Kazakhstan)

**Volnenko A.A.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Research Institute «Mechanics and Mechanical Engineering» of the NCJCK of the M. Auyezov South Kazakhstan University (Shymkent, Kazakhstan)

**Ivakhnyuk G.K.**, Professor St.-Petersburg State Technological Institute (St. Petersburg, Russia)

**Информация об авторах:**

**Есенов М.К.**, докторант кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защиты окружающей среды» НАО Южно-Казахстанского университета им. М. Ауезова (г. Шымкент, Казахстан)

**Раматуллаева Л.И.**, к.т.н, асоц. профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защиты окружающей среды» НАО Южно-Казахстанского университета им. М. Ауезова (г. Шымкент, Казахстан)

**Волненко А.А.**, д.т.н, профессор, директор НИИ «Механика и машиностроение» НАО Южно-Казахстанского университета им. М. Ауезова (г. Шымкент, Казахстан)

**Ивахнюк Г.К.**, профессор Санкт-Петербургского государственного технологического института (г. Санкт-Петербург, Россия)



# TECH MINING RUSSIA

[www.techmining.ru](http://www.techmining.ru)

## 6-Я СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА СТРОИТЕЛЬСТВО, МОДЕРНИЗАЦИЯ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

**12** сентября  
2024

Москва  
Novotel Moscow City



16+

