**Ф. 7.03-03**

Айтөреев М.Ж.

# «Процесстер мен аппараттар – 2» пәні бойынша практикалық сабақтарға арналған әдістемелік нұсқаулық

Шымкент, 2013

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

М.ӘУЕЗОВ атындағы ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН МЕМЛЕКЕТТІК УНИВЕРСИТЕТІ

«Силикаттар технологиялары және минералдар синтезі» кафедрасы

Айтөреев М.Ж.

# «Процесстер мен аппараттар – 2» пәні бойынша практикалық сабақтарды орындауға арналған әдістемелік нұсқаулар

5В073000 – «Құрылыс материалдары, бұйымдары және конструкцияларын өндіру» мамандығы студенттеріне арналған

Шымкент, 2013

ӘОК 621.1; 536.24+666.04 (075.32)

Құрастырған: Айтөреев М.Ж. «Процесстер мен аппараттар – 2» пәні бойынша практикалық сабақтарды орындауға арналған әдістемелік нұсқаулар. – Шымкент: М.Әуезов атындағы ОҚМУ, 2013, 210 б.

Әдістемелік нұсқаулар мамандықтың оқу жоспары және «Процесстер мен аппараттар – 2» пәнінің оқу бағдарламасы талаптарына сәйкес жасалған және пән бойынша практикалық орындау кезіндегі барлық қажетті әдістемелік мәліметтерді құрайды.

Әдістемелік нұсқауларда «Процесстер мен аппараттар – 2» пәні бойынша орындалатын әрбір практикалық жұмыстардың жоспары, теориялық бөлімі, есептеу әдістемелері, есептеу мысалдары, бақылау сұрақтары және ұсынылатын әдебиеттер тізімі келтірілген.

Әдістемелік нұсқаулар 5В073000 – «Құрылыс материалдары, бұйымдары және конструкцияларын өндіру» мамандығы студенттеріне арналған

Рецензент: Көпжасаров Б.Т. – т.ғ.к., доцент «Құрылыс материалдары, бұйымдары мен конструкциялары технологиясы» кафедрасының меңгерушісі

«Силикаттар технологиялары және минералдар синтезі» кафедрасы отырысында (№7, 20.02.2013ж.) және Химия-технологиялық факультетінің Әдістемелік комиссиясымен (№6, 28.02.2013ж.) қарастырылған және баспадан шығаруға ұсынылған.

Баспадан шығаруға М. Әуезов атындағы ОҚМУ Оқу-әдістемелік кеңесімен ұсынылған, хаттама № __, «___» _____2013ж.

© М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, 2013.
Шығаруға жауапты: Айтөреев М.Ж.

## Мазмұны


1. Кіріспе..... 4
2. Практикалық сабақтың мақсаты және мүддесі..... 4
3. Практикалық сабақ: Қалыптасқан жылулық режим кезіндегі көп қабатты жазық қабырғадан жылу ағынының өтуін есептеу..... 5
   3.1 Сабақ жоспары..... 5
   3.2 Теориялық бөлім..... 5
   3.3 Есепті орындау әдістемесі..... 13
   3.4 Есепті шығару мысалы.....
   3.5 Есептеуді орындау үшін алдын-ала берілгендер..... 22
   3.6 Студенттің өзіндік дайындалуға арналған бақылау сұрақтары..... 24
4. Практикалық сабақ: Жылулық қондырғыларды аэродинамикалық есептеу..... 31
   4.1 Сабақ жоспары..... 31
   4.2 Теориялық бөлім..... 31
   4.3 Есепті орындау әдістемесі..... 45
   4.4 Есептеуді орындау үшін алдын-ала берілгендер..... 62
   4.5 Студенттің өзіндік дайындалуға арналған бақылау сұрақтары..... 64
5. Практикалық сабақ: Әр түрлі отын түрлерінің жану процесстерін есептеу..... 69
   5.1 Сабақ жоспары..... 69
   5.2 Теориялық бөлім..... 69
   5.3 Есепті орындау әдістемесі..... 74
   5.4 Есептеуді орындау үшін алдын-ала берілгендер..... 81
   5.5 Студенттің өзіндік дайындалуға арналған бақылау сұрақтары..... 87
6. Практикалық сабақ: Кептіру кезіндегі отынның және жылудың меншікті шығынын I-d диаграммасы көмегімен есептеу..... 94
   6.1 Сабақ жоспары..... 94
   6.2 Теориялық бөлім..... 94
   6.3 Есепті орындау әдістемесі..... 115
   6.4 Есептеуді орындау үшін алдын-ала берілгендер..... 124
   6.5 Студенттің өзіндік дайындалуға арналған бақылау сұрақтары..... 127

7. Практикалық сабақ: Әктас күйдіруге арналған шахталы пешін жылутехникалық есептеу..... 5
7.1 Сабақ жоспары..... 5
7.2 Теориялық бөлім..... 5
7.3 Есепті орындау әдістемесі..... 13
7.4 Есептеуді орындау үшін алдын-ала берілгендер.....
7.5 Студенттің өзіндік дайындалуға арналған бақылау сұрақтары..... 22
8. Практикалық сабақ: Жылуылғалдылық өңдеуге арналған қондырғылардың негізгі өлшемдерін есептеу..... 132
8.1 Сабақ жоспары..... 132
8.2 Теориялық бөлім..... 132
8.3 Есепті орындау әдістемесі..... 136
8.4 Есептеуді орындау үшін алдын-ала берілгендер..... 145
8.5 Студенттің өзіндік дайындалуға арналған бақылау сұрақтары..... 146
9. Практикалық сабақ: Жылуылғалдылық өңдеу қондырғысының жылулық балансын есептеу..... 132
9.1 Сабақ жоспары..... 132
9.2 Теориялық бөлім..... 132
9.3 Есепті орындау әдістемесі..... 136
9.4 Есептеуді орындау үшін алдын-ала берілгендер..... 145
9.5 Студенттің өзіндік дайындалуға арналған бақылау сұрақтары..... 146
10. Практикалық сабақ: Жылуылғалдылық өңдеуге арналған қондырғылардың гидравликалық бу беру жүйесін есептеу..... 132
10.1 Сабақ жоспары..... 132
10.2 Теориялық бөлім..... 132
10.3 Есепті орындау әдістемесі..... 136
10.4 Есептеуді орындау үшін алдын-ала берілгендер..... 145
10.5 Студенттің өзіндік дайындалуға арналған бақылау сұрақтары..... 146
11. Жұмыс мәтінін рәсімдеу және қорғау тәртібі..... 149
12. Ұсынылатын әдебиеттер тізімі..... 149
Қосымша А ..... 150

## 1. КІРІСПЕ

«Процесстер мен аппараттар – 2» пәні құрылыс материалдары, бұйымдары және конструкцияларын жылулық өңдеу кезінде өтетін жылулық процесстер туралы ғылымның негізін және осы процесстерді жүргізу үшін қажетті жылулық қондырғылардың конструкциясын жобалауды және оларды дұрыс жұмыс істету принциптерін оқытады.

Құрылыс материалдары және бұйымдары дайын өнімге дейін, қандай да болмасын бір жылулық өңдеу түрінен өтетіні белгілі, мысалы: әктас және цемент клинкерін пештерде күйдіру, гипсті қайнату қазандықтарында қыздыру, керамикалық сазды кірпіштерді кептіргіштерде кептіру және соңынан күйдіру, силикат кірпіші және бетон бұйымдарын камераларда және автоклавтарда булау және т.б. Жылулық өңдеуден өткен дайын өнімнің сапасы аталған жылулық процесстердің дұрыс жүргізілуіне және жылулық қондырғылардың тиімді жұмыс істеуіне тікелей байланысты болады, бұл өз кезегінде дайын өнімнің өзіндік құнын төмендетеді, яғни өндірістің экономикалық тиімділігін арттырады.

Жобаланатын жылулық қондырғылардың конструкциясына қойылатын талаптарға жылутехникалық көрсеткіштердің сәйкестігін анықтау үшін, алдын-ала есептеулер жүргізу қажет, атап айтқанда: өндірістің жылдық өнімділігін қамтамасыз ететін жылулық қондырғылардың қажетті санын анықтау; қондырғылардың жұмыс камераларындағы газды ағындарды қозғалысқа келтіруге арналған құрал-жабдықтардың қажетті қуатын таңдау; өнімнің өлшем бірлігіне кететін отын-энергетикалық қорлардың меншікті және шартты шығын мөлшерлерін анықтау; қондырғы қабырғаларының жылуоқшаулықты қоршау материалдарының тиімділігін есептеу; кептіру және күйдіру кезіндегі жылудың меншікті шығынын анықтау және т.б.

Сондықтан, құрылыс материалдары, бұйымдары және конструкциялары өндірістерінің болашақ мамандары жылулық қондырғылардың конструкцияларын жобалауға және жылулық процесстерге байланысты жылутехникалық есептеулерді толық меңгергенде ғана, білікті маман ретінде өз жұмыстарын дұрыс жүргізе алады.

## 2. ПРАКТИКАЛЫҚ САБАҚТЫҢ МАҚСАТЫ ЖӘНЕ МҮДДЕСІ

Сабақтың мақсаты және мүддесі – құрылыс материалдары, бұйымдары және конструкциялары технологияларындағы газды ағындар қозғалысының аэродинамикасын; өндірістік отындардың жану процесстерін; әртүрлі күйдіру температурасы кезіндегі қатты денелердің жылуоқшаулағыш мүмкіндіктерін; кептіру, күйдіру және булау процестері кезіндегі дайын өнімнің өлшем бірлігіне кететін отын, су буы және жылудың меншікті шығындарын, жылулық қондырғылардың негізгі өлшемдерін және гидравликалық бу беру жүйесін жылутехникалық есептеулердің ерекшеліктерін оқып зерделеу болып табылады.

# 3. ҚАЛЫПТАСҚАН ЖЫЛУЛЫҚ РЕЖИМ КЕЗІНДЕГІ КӨП ҚАБАТТЫ ЖАЗЫҚ ҚАБЫРҒАДАН ЖЫЛУ АҒЫНЫНЫҢ ӨТУІН ЕСЕПТЕУ

## 3.1. Сабақ жоспары:

1. Есептеудің бірінші сатысын орындау. Қабырғаның ішкі бетіндегі, қабаттар аралығындағы және қабырғаның сыртқы бетіндегі температуралардың жуық шамасын, олардың орташа температуралық мәндерін, жылуөткізгіштік коэффициенттерін, жылулық кедергілер мәндерін, жылу өту коэффициенті және қабырға қабаттары арқылы қоршаған ортаға кететін меншікті жылу ағынының мәнін есептеу.
2. Есептеудің екінші сатысын орындау. Есептеудің бірінші сатысынан алынған мәндерді ескере отырып, температуралардың нақты шамасын, олардың орташа температуралық мәндерін, жылуөткізгіштік коэффициенттерін, жылулық кедергілер мәндерін, жылу өту коэффициенті және қабырға қабаттары арқылы қоршаған ортаға кететін меншікті жылу ағынының мәнін қайта есептеу.
3. Есептеудің үшінші сатысын орындау. Есептеудің екінші және үшінші сатысындағы анықталған қабаттар аралығындағы және қабырғаның сыртқы бетіндегі температуралардың пайыздық айырмашылығын есептеу.
4. Есептеудің кезекті сатыларын есептеу. Қабырға қабаттары арқылы қоршаған ортаға кететін меншікті жылу ағынының нақты мәнін анықтау.

## 3.2. Теориялық бөлім

Температураның айырмашылығы кезінде екі дененің арасындағы жылуалмасу: жылуөткізгіштік, конвективті және сәуле шашу арқылы өтуі мүмкін.

***Жылуөткізгіштік*** деп – бір-бірімен тікелей жанасқан температуралары әр түрлі екі қатты дененің арасындағы жылуалмасу процесін айтады. Жылуөткізгіштік арқылы жылуалмасу процесінің тиімді өтуі, жылу қабылдайтын дененің өз бойынан жылуды өткізу дәрежесіне байланысты болады.

***Конвективті*** деп – температуралары әр түрлі өзара жылуалмасатын денелердің кем дегенде біреуі қозғалыста болу кезінде, яғни аққыштық қасиеті бар (газды немесе сұйық) денелердің қатысуымен болатын жылуалмасу процесін айтады. Мұндай жылуалмасу кезінде бір денеден екінші денеге жылудың берілуі газды және сұйық денелерді құрайтын элементарлық бөлшектердің (молекулалар, атомдар) ішкі жылулық энергиясымен беріледі.

***Сәуле шашу*** деп – белгілі бір қашықтықта тұрған температуралары әр түрлі денелердің арасындағы сәулелік энергия арқылы болатын жылуалмасу процесін айтады. Мұндай жылуалмасу кезінде температурасы жоғары денеден бөлінген сәулелік энергия түссіз аралық орта арқылы өтіп, белгілі бір қашықтықта

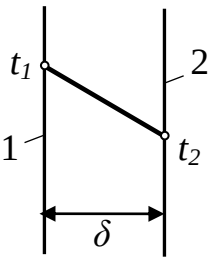
тұрған дененің бойына еніп, жылулық энергияға арналады. Сәулелік энергияның жолында тұрған денелер сәулені өз бойына сіңіруі немесе кері қайтаруы немесе өзінің бойынан өткізуі мүмкін. Түссіз денелер сәулені өз бойынан өткізеді, ақ түсті денелер кері қайтарады, ал қара түсті денелер өз бойына сіңіреді.

Жылулық қондырғыларда шикізат материалдарын және бұйымдарды жылулық өңдеу кезінде жылуалмасудың барлық үш түрі болуы мүмкін, тек жылуалмасу жағдайына және қондырғылардың конструкциялық ерекшеліктеріне байланысты олардың біреуі басымырақ болады. Мысалы, кептіргіш қондырғыларында ыстық жылутасымалдағыш және кептірілетін материал арасындағы болатын жылулмасу процесі негізінен конвективті және жылуөткізгіштік арқылы болады. Ал, жоғары температурада жұмыс істейтін пештерде конвективті және жылуөткізгіштікке қарағанда сәуле шашу жылуалмасуы басымырақ болады.

Жылуөткізгіштік жылуалмасуы арқылы екі түрлі жылулық режимде өтуі мүмкін: қалыптасқан және қалыптаспаған.

Қалыптасқан жылулық режим кезінде дененің кез-келген бөлігіндегі температура уақытқа байланысты тұрақты болады.

Қалыптаспаған жылулық режим кезінде дененің температурасы уақытқа байланысты тұрақты болмайды. Қалыптаспаған жылулық режим ретінде үздікті режимде жұмыс істейтін қондырғыларды бастапқы қыздыру немесе суыту кезіндегі өтетін жылуалмасу процесін айтуға болады.




3.1 сурет. Бір қабатты жазық қабырға арқылы жылуөту схемасы.

Қалыптасқан жылулық режим кезінде бір қабатты жазық қабырға арқылы жылудың өту схемасы 3.1 суретте келтірілген. Қабырғаның ыстық жағының бетінің температурасы ($t_1$), қабырғаның суық жағының бетінің температурасынан ($t_2$ ) жоғары болғандықтан, жылудың берілуі қабырғаның ыстық жағының бетінен *1* қабырғаның суық жағының бетіне *2* қарай бағытталады.

Қалыптасқан жылулық режим кезінде жылуөткізгіштік жылуалмасуы арқылы берілетін жалпы жылу ағыныны Фурье заңы бойынша анықталады:

$$Q = \lambda \cdot \frac{t_1 - t_2}{\delta} \cdot F \cdot \tau \text{ , } Дж \qquad (3.1)$$

мұнда: $\lambda$ – жылуөткізгіштік коэффициенті, $Вт/(м \cdot {}^oC)$

$\delta$ – қабырға қалыңдығы, $м$

$F$ – жылуөтетін қабырға бетінің ауданы, $м^2$

$\tau$ – жылуөту кезіндегі уақыт, *секунд*

(3.1) теңдеуде көрінгендей, жылуөткізгіштік арқылы бір беттен екінші бір бетке берілетін жылудың мөлшері, екі жақ беттің температураларының айырмашылығына, бет ауданына және жылуөту уақытына тіке пропорциональды және екі жақ беттің арақашықтығына кері пропорциональды болады.

Егер, (3.1) теңдеудегі барлық мәндерді бірге тең деп қабылдасақ, онда теңдеуді мына түрде жазуға болады:

$$\lambda = \frac{q \cdot \delta}{(t_1 - t_2) \cdot F \cdot \tau}, \quad Вт/(м \cdot {}^oC) \tag{3.2}$$

Демек, ***жылуөткізгіштік коэффициенті*** деп – қабырға материалының қалыңдық бірлігі бойынша температураның бір градусқа төмендеуі кезінде материалдың бет бірлігінен (1 $м^2$) уақыт бірлігінде (1 *секунд*) өтетін жылудың мөлшерін білдіретін шама.

Жылуөткізгіштік коэффициентінің мәні тәжірибе нәтижесінде анықталады және дененің жылуфизикалық қасиеттеріне байланысты болады (тығыздығы, кәуектілігі, температурасы және т.б.).

Жылуөткізгіштік коэффициентінің температураға байланыстылығы келесі теңдеу бойынша анықталады:

$$\lambda_t = \lambda_o \pm b \cdot t, \quad Вт/(м \cdot {}^oC) \tag{3.3}$$

мұнда: $\lambda_i$ – 0 $^oC$ кезіндегі дененің жылуөткізгіштік коэффициенті, $Вт/(м \cdot {}^oC)$

$b$ – жылуөткізгіштіктің температуралық дұрыстау коэффициенті, материалдың табиғатына байланысты қабылданады,

$t$ – жылуөткізгіштік коэффициентін анықтау кезіндегі температура, $^oC$

Жылуөткізгіштігі $\lambda$=0,175$Вт/(м \cdot {}^oC)$ төмен болатын материалдар ***жылуоқшаулықты*** материалдар деп аталады және олар 3 топқа бөлінеді:

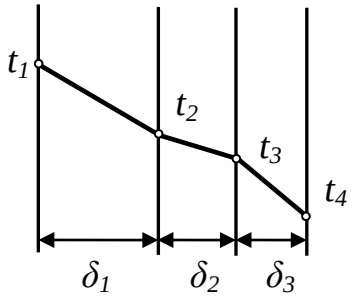
– төмен жылуөткізгіштікті жылуоқшаулықты материалдар ( $\lambda$<0,06);
– орташа жылуөткізгіштікті жылуоқшаулықты материалдар ($\lambda$=0,06÷0,115);
– жоғары жылуөткізгіштікті жылуоқшаулықты материалдар ($\lambda$=0,115÷0,175).

Егер, (3.1) теңдеуді қабырға бет бірлігі мен уақыт бірлігінің көбейтіндісіне бөлсек $(F \cdot \tau)$, онда 1 $м^2$ қабырға бет ауданынан 1 *сағат* уақыт аралығында өтетін жылу мөлшерін анықтаймыз. Бұл мән ***меншікті жылу ағыны*** деп аталады:

$$q = \frac{Q}{F \cdot \tau} = \lambda \cdot \frac{t_1 - t_2}{\delta} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\delta}{\lambda}}, \quad Вт/м^2 \tag{3.4}$$

мұнда: $\frac{\delta}{\lambda}$ – қабырғаның жылу кедергісі, $(м^2 \cdot {}^oC)/Вт$

Егер, қабырға бірнеше қабаттан тұратын болса, онда (3.4) теңдеу арқылы әр қабаттан өтетін меншікті жылу ағынының мәнін табуға болады. Мысалы, 3.2 суретке сәйкес, қалыңдықтары әр түрлі үш қабатты жазық қабырғадан қалыптасқан жылулық режим кезінде жылуөткізгіштік жылуалмасуы арқылы өтетін меншікті жылу ағындарының мәндері мына формулалар бойынша анықталады:



3.2 сурет. Үш қабатты жазық қабырға арқылы жылуөту схемасы.

$$q_1 = \frac{\lambda_1 \cdot (t_1 - t_2)}{\delta_1},$$
$$q_2 = \frac{\lambda_2 \cdot (t_2 - t_3)}{\delta_2},\ Вт/м^2 \qquad (3.5)$$
$$q_3 = \frac{\lambda_3 \cdot (t_3 - t_4)}{\delta_3}$$

Қалыптасқан жылулық режим кезінде әрбір қабат арқылы өтетін жылу ағыны бір-біріне тең және көп қабатты қабырға арқылы өтетін жалпы жылу ағынының мәніне тең болады, яғни:

$$q = q_1 = q_2 = q_3\ ,\ Вт/м^2 \qquad (3.6)$$

$q$ мәнін (3.6) теңдеулер жүйесіне қою арқылы аламыз:

$$t_1 - t_2 = \frac{q \cdot \delta_1}{\lambda_1}$$
$$t_2 - t_3 = \frac{q \cdot \delta_2}{\lambda_2}\ ,\ ^oC \qquad (3.7)$$
$$t_3 - t_4 = \frac{q \cdot \delta_3}{\lambda_{31}}$$

(3.7) теңдеудің оң және сол жақтарын біріктіріп, аламыз:

$$t_1 - t_4 = q \cdot \left( \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right)\ ,\ ^oC \qquad (3.8)$$

(3.8) теңдеуден аламыз:

$$q = \frac{t_1 - t_4}{\left( \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right)}\ ,\ Вт/м^2 \qquad (3.9)$$

(3.9) теңдеулі қолданып, кез-келген (n) қабатты қабырға үшін меншікті жылу ағынының мәнін мына теңдеу арқылы анықтауға болады:

$$q = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \ldots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}\right)} = K \cdot (t_1 - t_{n+1}) \ , \ Вт/м^2 \qquad (3.10)$$

мұнда: $K$ – жылуөту коэффициенті, $Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$

$$K = \frac{1}{\left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \ldots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}\right)} = \frac{1}{\sum \frac{\delta_n}{\lambda_n}}$$

Егер, меншікті жылу ағынының мәні және қондырғының жұмыс камерасымен жанасатын қабырғаның ішкі бетінің температурасы белгілі болса, онда қалыптасқан жылулық режим кезіндегі, қабырға қабаттары аралығындағы температуралардың мәндерін (3.7) және (3.10) формулаларын қолданып, мына түрде анықтауға болады:

– бірінші және екінші қабаттар аралығындағы температура (3.2 сурет)

$$t_2 = t_1 - \frac{q \cdot \delta_1}{\lambda_1} \ , \ {}^oC \qquad (3.11)$$

– екінші және үшінші қабаттар аралығындағы температура (3.2 сурет)

$$t_3 = t_2 - \frac{q \cdot \delta_2}{\lambda_2} \ , \ {}^oC \qquad (3.12)$$

немесе, (3.11) теңдеудегі мәндерді (3.12) теңдеуге қою арқылы аламыз:

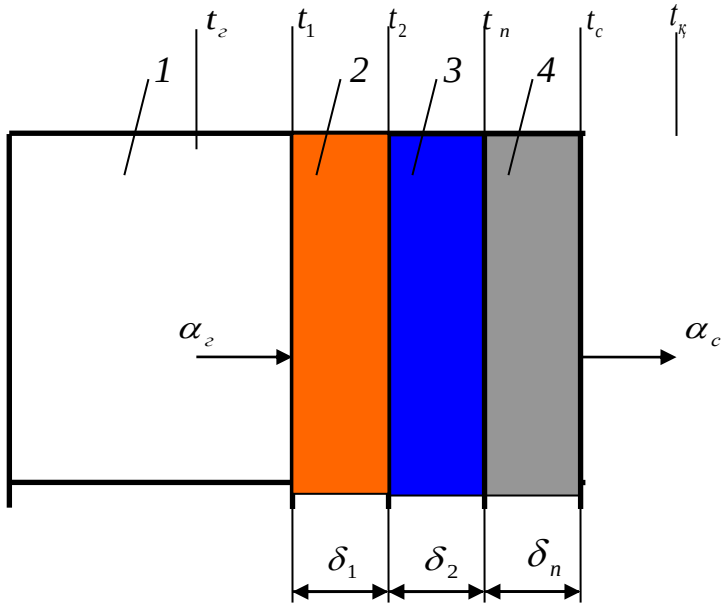
$$t_3 = t_1 - q \cdot \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}\right) \ , \ {}^oC \qquad (3.13)$$

(3.13) теңдеу арқылы, кез-келген (n) қабат аралығындағы температура мәнін мына теңдеу арқылы анықтауға болады:

$$t_{n+1} = t_1 - q \cdot \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \ldots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}\right) \ , \ {}^oC \qquad (3.14)$$

### 3.3. Есепті орындау әдістемесі

Есептеуді жүргізу үшін 3.3 суретке сәйкес алдын-ала мына берілгендер қабылданады: қоршау конструкциясындағы қабаттар саны және материалдар түрі $(N_1, N_2, N_n, дана)$; әр қабаттың қалыңдықтары $(\delta_1, \delta_2, \delta_n, м)$; жылулық агрегаттағы газды ағын температурасы $(t_г, ^oC)$; әр қабат материалдарының жылуөткізгіштік коэффициенттері $(\lambda_{O1}, \lambda_{O2}, \lambda_{On}, Вт/(м\cdot^oC))$; жылуөткізгіштік коэффициентерінің температуралық түзетулері $(в_1, в_2, в_n)$; қабырғаның ішкі бетіндегі, қабаттар аралығындағы және қабырғаның сыртқы бетіндегі температураларды есептеу коэффициенттері $(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_n)$; қабырғаның ішкі бетіне газды ағыннан жылу беру коэффициенті $(\alpha_г, Вт/(м\cdot^oC))$; қоршаған орта температурасы $(t_к, ^oC)$.




3.3 сурет. Қоршау конструкциясы үш қабатты қабырғадан тұратын жылулық қондырғы схемасы: *1* – қондырғының жұмыс камерасы; *2, 3, 4* – қабырғаны құрайтын материалдар қабаттары, *дана*; $t_г$ – жұмыс камерасындағы газды ағын температурасы, $^oC$; $t_1$ – қабырғаның ішкі бетінің температурасы, $^oC$; $t_2$, $t_n$ – қабаттар аралығындағы температуралар, $^oC$; $t_c$ – қабырғаның сыртқы бетінің температурасы, $^oC$; $t_қ$ – қоршаған ортадағы ауаның температурасы, $^oC$; $\alpha_г$ – қабырғаның ішкі бетіне газды ағыннан жылу беру коэффициенті, $Вт/(м^2\cdot^oC)$; $\alpha_c$ – қабырғаның сыртқы бетінен қоршаған ортаға жылу беру коэффициенті, $Вт/(м^2\cdot^oC)$, $\delta_1, \delta_2, \delta_n$ – әр қабаттың қалыңдықтары, *м*.

#### 1. Есептің бірінші сатысы

1.1. Қабырғаның ішкі бетіндегі, қабаттар аралығындағы және қабырғаның сыртқы бетіндегі температуралардың жуық шамасы есептеледі. Температураларды есептеу коэффициенттерінің мәні $(\varphi_n)$ бірден төмен және әрқайсысы келесісінен кіші болатындай етіп қабылданады. Есептеу мына түрде жүргізіледі:

$$
\begin{aligned}
&t_1 = t_г \cdot \varphi_1, {}^oC \\
&t_2 = t_г \cdot \varphi_2, {}^oC \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots \\
&t_n = t_г \cdot \varphi_n, {}^oC \\
&t_c = t_г \cdot \varphi_{(n-1)}, {}^oC
\end{aligned}
\qquad (3.15)
$$

мұнда: $t_г$ – жұмыс камерасындағы газды ағын температурасы, ${}^oC$;
$t_1$ – қабырғаның ішкі бетінің температурасы, ${}^oC$;
$t_2, t_n$ – қабаттар аралығындағы температуралар, ${}^oC$;
$t_c$ – қабырғаның сыртқы бетінің температурасы, ${}^oC$.
$\varphi_1$, $\varphi_2$, $\varphi_n$, $\varphi_{n-1}$ – температураларды есептеу коэффициенттері.

Есептеу нәтижесінде алынған температуралардың мәні (3.16) – теңдеуге сәйкес болса, онда есептеу дұрыс жүргізілген болып саналады:

$$
t_г > t_1 > t_2 > t_n > t_c > t_қ \qquad (3.16)
$$

Егер, температуралардың мәні (3.16) – теңдеуге сәйкес келмесе, онда температураларды есептеу коэффициенттерінің мәнін қайта қарау керек.

1.2. Қабырға қабаттары материалдарының орташа температураларын есептеу мына теңдеу бойынша жүргізеді:

$$
\begin{aligned}
&t_{орт1} = \frac{t_1 + t_2}{2}, {}^oC \\
&t_{орт2} = \frac{t_2 + t_n}{2}, {}^oC \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
&t_{орт_n} = \frac{t_n + t_c}{2}, {}^oC
\end{aligned}
\qquad (3.17)
$$

1.3. Әр қабат материалдарының температураға сәйкес жылуөткізгіштік коэффициентері мына теңдеу бойынша есептеледі:

$$
\begin{aligned}
&\lambda_1 = \lambda_{01} + в_1 \cdot t_{орт1}, Вт/(м \cdot {}^oC) \\
&\lambda_2 = \lambda_{02} + в_2 \cdot t_{орт2}, Вт/(м \cdot {}^oC) \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
&\lambda_n = \lambda_{0n} + в_n \cdot t_{орт_n}, Вт/(м \cdot {}^oC)
\end{aligned}
\qquad (3.18)
$$

мұнда: $\lambda_{O1}, \lambda_{O2}, \lambda_{On} - 0$, $^{o}C$ кезіндегі қабырға қабаты материалдарының жылуөткізгіштік коэффициентерінің мәні, $Bm/(м \cdot ^{o}C)$;
әр қабат материалдары үшін 3.1 кестеден алынады;
$в_1, в_2, в_n$ – жылуөткізгіштік коэффициентінің температуралық түзетулері, әр қабат материалдары үшін 3.1 кестеден алынады.

3.1 кесте. Қоршау материалдарының тығыздығы, *0,°C* кезіндегі жылу өткізгіштік коэффициенті, жылу өткізгіштік коэффициентінің температуралық түзету мәндері

| № рн | Материалдардың аталуы | Тығыздық, кг/м$^3$ | Жылу өткізгіштік коэффициентері, *Bm*/(м·°C) | Жылу өткізгіштік коэффициенттерінің температуралық түзетулері |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Шамот | 1950 | 1,04 | +0,00015 |
| 2 | Шамот | 1900 | 0,70 | +0,00064 |
| 3 | Шамот | 1300 | 0,61 | +0,00018 |
| 4 | Шамот | 1200 | 0,35 | +0,00035 |
| 5 | Шамот | 1000 | 0,28 | +0,00023 |
| 6 | Шамот | 800 | 0,21 | +0,00043 |
| 7 | Пеношамот | 600 | 0,105 | +0,00015 |
| 8 | шамоты толтырғыш | 1000 | 0,33 | +0,00049 |
| 9 | Ультра жеңіл шамот | 300 | 0,058 | +0,00017 |
| 10 | Динас | 2100 | 1,58 | +0,00038 |
| 11 | Динас | 1950 | 1,07 | +0,00093 |
| 12 | Динас | 1900 | 0,81 | +0,00076 |
| 13 | Динас | 1100 | 0,58 | +0,00043 |
| 14 | Пенодинас | 1200 | 0,47 | +0,00047 |
| 15 | Жартылай қышқыл кірпіш | 1800 | 0,85 | +0,00040 |
| 16 | Сазды кірпіш | 1800 | 0,47 | +0,00051 |
| 17 | Силикатты кірпіш | 1900 | 0,81 | 0,0 |
| 18 | Жоғары глиноземді | 2500 | 2,10 | -0,00062 |
| 19 | Жоғары глиноземді | 2200 | 1,52 | -0,00018 |
| 20 | Жоғары глиноземді | 1330 | 0,66 | +0,00008 |
| 21 | Корунд | 2800 | 2,10 | +0,00215 |
| 22 | Силиманит | 2500 | 1,66 | -0,00018 |
| 23 | Муллит | 2800 | 2,96 | -0,00110 |
| 24 | Тальк | 2750 | 0,75 | -0,00031 |
| 25 | Магнезит | 2700 | 6,20 | -0,00270 |
| 26 | Магнезит | 2600 | 4,60 | -0,00120 |
| 27 | Магнезитхромит | 2800 | 4,00 | -0,00082 |
| 28 | Хроммагнезит | 3300 | 3,50 | -0,00058 |
| 29 | Хроммагнезит | 3000 | 2,80 | -0,00098 |
| 30 | Хроммагнезит | 2900 | 2,00 | -0,00035 |
| 31 | Хромит | 3000 | 1,28 | +0,00041 |
| 32 | Форстерит | 3000 | 3,30 | -0,00110 |
| 33 | Периклазошпинель | 3000 | 2,50 | -0,00058 |
| 34 | Циркон | 3300 | 1,30 | +0,00064 |
| 35 | Кварцты шыны | 2210 | 1,35 | +0,0010 |

3.1 кестенің жалғасы

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 36 | Карборунд | 2250 | 5,20 | -0,00130 |
| 37 | Графит | 1600 | 163 | -0,0410 |
| 38 | Уголь | 1470 | 23,2 | +0,00035 |
| 39 | Диатомит | 1100 | 0,27 | +0,00023 |
| 40 | Диатомит | 750 | 0,17 | +0,00035 |
| 41 | Диатомитті толтырғыш | 500 | 0,10 | +0,00028 |
| 42 | Пенодиатомит | 400 | 0,078 | +0,00031 |
| 43 | Диатомит | 250 | 0,085 | +0,00030 |
| 44 | Керамзит | 300 | 0,065 | +0,00035 |
| 45 | Пеношыны | 400 | 0,124 | 0,0 |
| 46 | Минералды мақта | 500 | 0,05 | +0,00050 |
| 47 | Шлакты мақта | 300 | 0,065 | +0,00035 |
| 48 | Вермикулит | 300 | 0,08 | +0,00025 |
| 49 | Вермикулит | 100 | 0,065 | +0,00022 |
| 50 | Керамовермикулит | 700 | 0,14 | +0,00015 |
| 51 | Вулканит | 300 | 0,08 | +0,00020 |
| 52 | Каолинді талшық | 200 | 0,05 | +0,00030 |
| 53 | Перлит | 250 | 0,09 | +0,00020 |
| 54 | Ұнтақталған трепел | 650 | 0,09 | +0,00020 |
| 55 | Асбестік талшық | 600 | 0,13 | +0,00019 |
| 56 | Асбестік талшық | 340 | 0,087 | +0,00004 |
| 57 | Асбестік картон | 900 | 0,16 | +0,00017 |
| 58 | Асбестік жіп | 800 | 0,13 | +0,00015 |
| 59 | Асбозурит | 450 | 0,162 | +0,00017 |
| 60 | Темірбетон | 2500 | 1,56 | 0,0 |
| 61 | Бетон | 2400 | 1,05 | 0,0 |
| 62 | Ірі кеуекті бетон | 1900 | 0,29 | 0,0 |
| 63 | Шлакты бетон | 1860 | 0,92 | 0,0 |
| 64 | Күлді бетон | 1640 | 0,50 | 0,0 |
| 65 | Керамзитті бетон | 1700 | 0,41 | 0,0 |
| 66 | Силикатты бетон | 1030 | 0,63 | 0,0 |
| 67 | Газды бетон | 940 | 0,24 | 0,0 |
| 68 | Газды бетон | 500 | 0,125 | 0,0 |
| 69 | Пенобетон | 400 | 0,138 | 0,0 |
| 70 | Болат темір | 7800 | 5,6 | 0,0 |
| 71 | Гипті бетон | 1300 | 0,46 | 0,0 |
| 72 | Әкті ұлутас | 1400 | 0,64 | 0,0 |

1.4. Қабырғаның сыртқы бетінен қоршаған ортаға жылу беру коэффициенті мына теңдеу бойынша есептеледі:

$$\alpha_c = 2{,}552 \cdot (t_c - t_қ)^{0{,}25} + \frac{4{,}64}{t_c - t_қ} \cdot \left[ \left( \frac{273 + t_c}{100} \right)^4 - \left( \frac{273 + t_қ}{100} \right)^4 \right], Вт/(м^2 \cdot {}^oC) \qquad (3.19)$$

1.5. Газды ағыннан қабырғаның ішкі бетіне жылу берудегі кедергі мәні мына теңдеу бойынша есептеледі:

$$R_г = \frac{1}{\alpha_г}, (м^2 \cdot ^oC) / Вт \qquad (3.20)$$

мұнда $\alpha_г$ – қабырғаның ішкі бетіне газды ағыннан жылу беру коэффициенті, $Вт/(м^2 \cdot °C)$, 3.2 кестеден алынады.

3.2 кесте. Жылутасымалдағыштың температурасына сәйкес ыстық газдардан қабырғаның ішкі бетіне жылу беру коэффициентінің мәні

| Температура, $^oC$ | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Жылу беру коэффициенті, $Вт/(м^2 \cdot ^oC)$ | 15,5 | 27,5 | 37,5 | 43,5 | 49,5 | 53,0 | 56,5 | 60,0 | 64,0 |

3.2 кестенің жалғасы

| Температура, $^oC$ | 1000 | 1100 | 1200 | 1300 | 1400 | 1500 | 1600 | 1700 | 1800 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| жылу беру коэффициенті, $Вт/(м^2 \cdot ^oC)$ | 68,0 | 75,5 | 80,5 | 86,0 | 92,0 | 97,0 | 102,5 | 108,0 | 117,0 |

1.6. Әр қабат материалдарының жылулық кедергілері мына теңдеу бойынша есептеледі:

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1}, (м^2 \cdot ^oC) / Вт$$
$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2}, (м^2 \cdot ^oC) / Вт \qquad (3.21)$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$R_n = \frac{\delta_n}{\lambda_n}, (м^2 \cdot ^oC) / Вт$$

1.7. Қабырғаның сыртқы бетінен қоршаған ортаға жылу берудегі кедергі мәні мына теңдеу бойынша есептеледі:

$$R_c = \frac{1}{\alpha_c}, (м^2 \cdot ^oC) / Вт \qquad (3.22)$$

1.8. Газды ағыннан қабырға қабаттары арқылы қоршаған ортаға жылу өту коэффициенті мына теңдеу бойынша есептеледі:

$$K = \frac{1}{R_г + R_1 + R_2 + R_n + R_c}, Вт/(м^2 \cdot {}^oC) \qquad (3.23)$$

1.9. Қабырға қабаттары арқылы қоршаған ортаға кететін меншікті жылу ағынының мәні мына теңдеу бойынша есептеледі:

$$q = 3{,}6 \cdot K \cdot (t_г - t_қ), кДж/(м^2 \cdot сағ) \qquad (3.24)$$

**2. Есептің екінші сатысы**

2.1. Есептеудің бірінші сатысынан алынған мәндерді ескере отырып, қабырғаның ішкі бетіндегі, қабаттар аралығындағы және қабырғаның сыртқы бетіндегі температуралардың нақты шамасы есептеледі:

$$\begin{aligned}
t_1 &= t_г - \frac{q \cdot R_г}{3{,}6}, {}^oC \\
t_2 &= t_1 - \frac{q \cdot R_1}{3{,}6}, {}^oC \\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\
t_n &= t_{(n-1)} - \frac{q \cdot R_n}{3{,}6}, {}^oC \\
t_c &= t_n - \frac{q \cdot R_{(n+1)}}{3{,}6}, {}^oC
\end{aligned} \qquad (3.25)$$

2.2. Қабырға қабаттары материалдарының орташа температурасы, әр қабат материалдарының температураға сәйкес жылуөткізгіштік коэффициентері, қабырғаның сыртқы бетінен қоршаған ортаға жылу беру коэффициенті, газды ағыннан қабырғаның ішкі бетіне жылу берудегі кедергі мәні, әр қабат материалдарының жылулық кедергілері, қабырғаның сыртқы бетінен қоршаған ортаға жылу берудегі кедергі мәні, газды ағыннан қабырға қабаттары арқылы қоршаған ортаға жылу өту коэффициенті, қабырға қабаттары арқылы қоршаған ортаға кететін меншікті жылу ағынының мәні (3.17, 3.18, 3.19, 3.20, 3.21, 3.22, 3.23, 3.24) теңдеулері бойынша есептеледі.

**3. Есептің үшінші сатысы**

3.1. Есептеудің екінші сатысынан алынған мәндерді ескере отырып, қабырғаның ішкі бетіндегі, қабаттар аралығындағы және қабырғаның сыртқы бетіндегі температуралардың нақты шамасы (3.25) теңдеу бойынша қайта есептеледі.

3.2. Есептеудің екінші сатысындағы анықталған қабырға қабаттары арқылы қоршаған ортаға кететін меншікті жылу ағыны мәнінің сәйкестігін тексеру үшін екінші және үшінші сатыда есептелген қабырғаның ішкі бетіндегі, қабаттар аралығындағы және қабырғаның сыртқы бетіндегі температуралардың пайыздық айырмашылығы мына теңдеу бойынша есептеледі:

$$
\begin{aligned}
P_1 &= \frac{(t_{1,N} - t_{1,(N-1)})}{t_{1,N}} \cdot 100,\% \\
P_2 &= \frac{(t_{2,N} - t_{2,(N-1)})}{t_{2,N}} \cdot 100,\% \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
P_n &= \frac{(t_{n,N} - t_{n,(N-1)})}{t_{n,N}} \cdot 100,\% \\
P_{n+1} &= \frac{(t_{c,N} - t_{c,(N-1)})}{t_{c,N}} \cdot 100,\%
\end{aligned}
\qquad (3.26)
$$

мұнда: $N$ – есептеу сатысының реттік нөмірі;

$t_{1,N}$; $t_{2,N}$; $t_{n,N}$; $t_{c,N}$ – $N$ сатысындағы есептелген қабырғаның ішкі бетіндегі, қабаттар аралығындағы және қабырғаның сыртқы бетіндегі температуралардың мәндері, $^oC$;

$t_{1,(N-1)}$; $t_{2,(N-1)}$; $t_{n,(N-1)}$; $t_{c,(N-1)}$ – $(N-1)$ сатысындағы есептелген қабырғаның ішкі бетіндегі, қабаттар аралығындағы және қабырғаның сыртқы бетіндегі температуралардың мәндері, $^oC$.

Егер $N$ және $(N-1)$ сатыларындағы есептелген қабырғаның ішкі бетіндегі, қабаттар аралығындағы және қабырғаның сыртқы бетіндегі температуралардың пайыздық айырмашылық мәндерінің біреуі 3 пайыздан көп болса, онда есептеудің үшінші сатысын (3.17, 3.18, 3.19, 3.20, 3.21, 3.22, 3.23, 3.24) теңдеулерін қолданып, ары қарай есептейді және есептеудің төртінші сатысын (3.25) теңдеу бойынша жүргізіп, (3.26) теңдеуге сәйкес температуралардың пайыздық айырмашылық мәндері есептеледі.

Есептеу сатысы соңғы сатыдағы температуралардың пайыздық айырмашылықтарының барлығы 3 пайыздан төмен болғанша жүргізіледі және сол сатыда анықталған қабырға қабаттары арқылы қоршаған ортаға кететін меншікті жылу ағыны мәні дұрыс деп саналады.

## 3.4. Есепті шығару мысалы

Қалыптасқан жылулық режим кезіндегі үш қабаттан тұратын жылулық қондырғының қабырғасы арқылы уақыт бірлігінде өтетін жылу ағынының мәнін есептеу.

3.3 суретке сәйкес алдын-ала мына берілгендер қабылданады:

1) Қабырға қабаттарының саны 3 дана:
- шамотты отқа төзімді кірпіш, $N_1$=1 *дана*,
- диатомитті жылу оқшаулықты кірпіш, $N_2$=1 *дана*,
- керамикалық сазды кірпіш, $N_3$=1 *дана*.

2) Жылулық агрегаттағы газды ағын температурасы:
- $t_г = 1200,0\ ^oC$.

3) Қоршаған орта температурасы:
- $t_қ = 20,0\ ^oC$.

4) Қабырғаның ішкі бетіне газды ағыннан жылу беру коэффициенті:
- $\alpha_г = 80,5\ Вт/(м^{2\cdot o}C)$.

5) Қабырға қабаттарының қалыңдықтары:
- $\delta_1 = 0,25 м$,
- $\delta_1 = 0,20 м$,
- $\delta_1 = 0,12 м$.

6) Қабырға қабаты материалдарының жылуөткізгіштік коэффициенттері:
- $\lambda_{O1} = 0,61\ Вт/(м\cdot °C)$,
- $\lambda_{O2} = 0,17\ Вт/(м\cdot °C)$,
- $\lambda_{O3} = 0,47\ Вт/(м\cdot °C)$.

7) Жылуөткізгіштік коэффициентерінің температуралық түзетулері:
- $в_1 = 0,00035$ ,
- $в_2 = 0,00035$ ,
- $в_3 = 0,00047$ .

8) Температураларды есептеу коэффициенттері:
- $\varphi_1 = 0,9$,
- $\varphi_1 = 0,8$,
- $\varphi_1 = 0,7$,
- $\varphi_1 = 0,6$.

1. Есептің бірінші сатысы.

1.1. Қабырғаның ішкі бетіндегі, қабаттар аралығындағы және қабырғаның сыртқы бетіндегі температуралардың жуық шамасын есептеу.

$$t_1 = t_Г \cdot \varphi_1 = 1200 \cdot 0{,}9 = 1080{,}00 \ \ ^oC$$
$$t_2 = t_Г \cdot \varphi_2 = 1200 \cdot 0{,}8 = 960{,}00 \ \ ^oC$$
$$t_3 = t_Г \cdot \varphi_3 = 1200 \cdot 0{,}7 = 840{,}00 \ \ ^oC$$
$$t_4 = t_Г \cdot \varphi_4 = 1200 \cdot 720{,}00 \ \ ^oC$$

Есептеу нәтижесінде алынған температуралардың мәні (3.16) – теңдеуге сәйкес, яғни:

1200 > 1080 > 960 > 840 > 720 > 20

1.2. Қабырға қабаттары материалдарының орташа температураларын есептеу.

$$t_{орт_1} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{1080 + 960}{2} = 1020{,}00 \ \ ^oC$$
$$t_{орт_2} = \frac{t_2 + t_3}{2} = \frac{960 + 840}{2} = 900{,}00 \ \ ^oC$$
$$t_{орт_3} = \frac{t_3 + t_4}{2} = \frac{840 + 720}{2} = 780{,}00 \ \ ^oC$$

1.3. Әр қабат материалдарының температураға сәйкес жылуөткізгіштік коэффициентерін есептеу.

$$\lambda_1 = \lambda_{01} + в_1 \cdot t_{орт1} = 0{,}61 + 0{,}00035 \cdot 1020{,}0 = 0{,}9670 \ \ Вт/(м \cdot °C)$$
$$\lambda_2 = \lambda_{02} + в_2 \cdot t_{орт2} = 0{,}17 + 0{,}00035 \cdot 900{,}0 = 0{,}4850 \ \ Вт/(м \cdot °C)$$
$$\lambda_3 = \lambda_{03} + в_3 \cdot t_{орт3} = 0{,}47 + 0{,}00051 \cdot 780{,}0 = 0{,}8678 \ \ Вт/(м \cdot °C)$$

1.4. Қабырғаның сыртқы бетінен қоршаған ортаға жылу беру коэффициентін есептеу.

$$\alpha_C = 2{,}552 \cdot (t_c - t_қ)^{0{,}25} + \frac{4{,}64}{t_c - t_қ} \cdot \left[ \left( \frac{273 + t_c}{100} \right)^4 - \left( \frac{273 + t_қ}{100} \right)^4 \right] = 2{,}552 \cdot (720 - 20)^{0{,}25} +$$
$$+ \frac{4{,}64}{720 - 20} \cdot \left[ \left( \frac{273 + 720}{100} \right)^4 - \left( \frac{273 + 20}{100} \right)^4 \right] = 77{,}0873 \, Вт/(м^2 \cdot °C)$$

1.5. Газды ағыннан қабырғаның ішкі бетіне жылу берудегі кедергі мәнін есептеу.

$$R_Г = \frac{1}{\alpha_Г} = \frac{1}{80,5} = 0,0124 \quad (м^2 \cdot ^0 C) / Вт$$

1.6. Әр қабат материалдарының жылулық кедергілерін есептеу.

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,25}{0,9670} = 0,2585 \quad (м^2 \cdot ^0 C) / Вт$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,20}{0,4850} = 0,4124 \quad (м^2 \cdot ^0 C) / Вт$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0,12}{0,8678} = 0,1383 \quad (м^2 \cdot ^0 C) / Вт$$

1.7. Қабырғаның сыртқы бетінен қоршаған ортаға жылу берудегі кедергі мәнін есептеу.

$$R_C = \frac{1}{\alpha_C} = \frac{1}{77,0873} = 0,0129 \quad (м^2 \cdot ^0 C) / Вт$$

1.8. Газды ағыннан қабырға қабаттары арқылы қоршаған ортаға жылу өту коэффициентін есептеу.

$$K = \frac{1}{R_Г + R_1 + R_2 + R_3 + R_C} = \frac{1}{0,0124 + 0,2585 + 0,4124 + 0,1383 + 0,0129} = 1,1983$$

$Вт/(м^2 \cdot °C)$

1.9. Қабырға қабаттары арқылы қоршаған ортаға кететін меншікті жылу ағынының мәнін есептеу.

$$q = 3,6 \cdot K \cdot (t_Г - t_К) = 3,6 \cdot 1,1983 \cdot (1200 - 20) = 5090,3784 \quad кДж/(м^2 \cdot сағ)$$

2. Есептің екінші сатысы.

2.1. Қабырғаның ішкі бетіндегі, қабаттар аралығындағы және қабырғаның сыртқы бетіндегі температуралардың нақты шамасын есептеу.

$$t_1 = t_Г - \frac{q \cdot R_Г}{3{,}6} = 1200 - \frac{5090{,}3784 \cdot 0{,}0124}{3{,}6} = 1182{,}46 \ {}^oC$$

$$t_2 = t_1 - \frac{q \cdot R_1}{3{,}6} = 1182{,}46 - \frac{5090{,}3784 \cdot 0{,}2585}{3{,}6} = 816{,}94 \ {}^oC$$

$$t_3 = t_2 - \frac{q \cdot R_2}{3{,}6} = 816{,}94 - \frac{5090{,}3784 \cdot 0{,}4124}{3{,}6} = 233{,}81 \ {}^oC$$

$$t_4 = t_3 - \frac{q \cdot R_3}{3{,}6} = 233{,}81 - \frac{5090{,}3784 \cdot 0{,}1383}{3{,}6} = 38{,}25 \ {}^oC$$

2.2. Қабырға қабаттары материалдарының орташа температураларын есептеу.

$$t_{орт1} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{1182{,}46 + 816{,}94}{2} = 999{,}70 \ {}^oC$$

$$t_{орт2} = \frac{t_2 + t_3}{2} = \frac{816{,}94 + 233{,}81}{2} = 525{,}37 \ {}^oC$$

$$t_{орт3} = \frac{t_3 + t_4}{2} = \frac{233{,}81 + 38{,}25}{2} = 136{,}03 \ {}^oC$$

2.3. Әр қабат материалдарының температураға сәйкес жылуөткізгіштік коэффициентерін есептеу.

$$\lambda_1 = \lambda_{01} + в_1 \cdot t_{орт1} = 0{,}61 + 0{,}00035 \cdot 999{,}7 = 0{,}9598 \quad Вт/(м \cdot °C)$$

$$\lambda_2 = \lambda_{02} + в_2 \cdot t_{орт2} = 0{,}17 + 0{,}00035 \cdot 525{,}37 = 0{,}3538 \quad Вт/(м \cdot °C)$$

$$\lambda_3 = \lambda_{03} + в_3 \cdot t_{орт3} = 0{,}47 + 0{,}00051 \cdot 136{,}03 = 0{,}5394 \quad Вт/(м \cdot °C)$$

2.4. Қабырғаның сыртқы бетінен қоршаған ортаға жылу беру коэффициентін есептеу.

$$\alpha_C = 2{,}552 \cdot (t_c - t_қ)^{0{,}25} + \frac{4{,}64}{t_c - t_қ} \cdot \left[ \left( \frac{273 + t_c}{100} \right)^4 - \left( \frac{273 + t_қ}{100} \right)^4 \right] = 2{,}552 \cdot (38{,}25 - 20)^{0{,}25} +$$

$$+ \frac{4{,}64}{38{,}25 - 20} \cdot \left[ \left( \frac{273 + 38{,}25}{100} \right)^4 - \left( \frac{273 + 20}{100} \right)^4 \right] = 10{,}3979 \ Вт/(м^2 \cdot °C)$$

2.5. Газды ағыннан қабырғаның ішкі бетіне жылу берудегі кедергі мәнін есептеу.

$$R_Г = \frac{1}{\alpha_Г} = \frac{1}{80{,}5} = 0{,}0124 \quad (м^2 \cdot {}^0C) / Вт$$

2.6. Әр қабат материалдарының жылулық кедергілерін есептеу.

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,25}{0,9598} = 0,2604 \quad (м^2 \cdot ^0C)/Вт$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,20}{0,3538} = 0,5653 \quad (м^2 \cdot ^0C)/Вт$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0,12}{0,5394} = 0,2224 \quad (м^2 \cdot ^0C)/Вт$$

2.7. Қабырғаның сыртқы бетінен қоршаған ортаға жылу берудегі кедергі мәнін есептеу.

$$R_C = \frac{1}{\alpha_C} = \frac{1}{10,3979} = 0,0962 \quad (м^2 \cdot ^0C)/Вт$$

2.8. Газды ағыннан қабырға қабаттары арқылы қоршаған ортаға жылу өту коэффициентін есептеу.

$$K = \frac{1}{R_Г + R_1 + R_2 + R_3 + R_C} = \frac{1}{0,0124 + 0,2604 + 0,5653 + 0,2224 + 0,0962} = 0,8645$$

$Вт/(м^2 \cdot °C)$

2.9. Қабырға қабаттары арқылы қоршаған ортаға кететін меншікті жылу ағынының мәнін есептеу.

$$q = 3,6 \cdot K \cdot (t_Г - t_К) = 3,6 \cdot 0,8645 \cdot (1200 - 20) = 3672,396 \quad кДж/(м^2 \cdot сағ)$$

3. Есептің үшінші сатысы.

3.1. Қабырғаның ішкі бетіндегі, қабаттар аралығындағы және қабырғаның сыртқы бетіндегі температуралардың нақты шамасын есептеу.

$$t_1 = t_Г - \frac{q \cdot R_Г}{3,6} = 1200 - \frac{3672,396 \cdot 0,0124}{3,6} = 1187,35 \ ^oC$$

$$t_2 = t_1 - \frac{q \cdot R_1}{3,6} = 1187,35 - \frac{3672,396 \cdot 0,2604}{3,6} = 921,71 \ ^oC$$

$$t_3 = t_2 - \frac{q \cdot R_2}{3,6} = 921,71 - \frac{3672,396 \cdot 0,5653}{3,6} = 345,04 \ ^oC$$

$$t_4 = t_3 - \frac{q \cdot R_3}{3,6} = 345,04 - \frac{3672,396 \cdot 0,2224}{3,6} = 118,16 \ ^oC$$

3.2. Температуралардың пайыздық айырмашылығын есептеу.

$$P_1 = \frac{(t_{1,3} - t_{1,2})}{t_{1,3}} \cdot 100 = \frac{1187{,}35 - 1182{,}46}{1187{,}35} \cdot 100 = 0{,}4\ ,\ \%$$

$$P_2 = \frac{(t_{2,3} - t_{2,2})}{t_{2,3}} \cdot 100 = \frac{921{,}71 - 816{,}94}{921{,}71} \cdot 100 = 11{,}4\ ,\ \%$$

$$P_3 = \frac{(t_{3,3} - t_{3,2})}{t_{3,3}} \cdot 100 = \frac{345{,}04 - 233{,}81}{345{,}04} \cdot 100 = 32{,}2\ ,\ \%$$

$$P_4 = \frac{(t_{4,3} - t_{4,2})}{t_{4,3}} \cdot 100 = \frac{118{,}16 - 38{,}25}{118{,}16} \cdot 100 = 67{,}6\ ,\ \%$$

Есептің үшінші және екінші сатыларындағы анықталған қабаттар аралығындағы және қабырғаның сыртқы бетіндегі температуралардың пайыздық айырмашылық мәндері үш пайыздан көп ( $P_2 = 11{,}4\ \%$ , $P_3 = 32{,}2\ \%$ , $P_4 = 67{,}6\ \%$ ), яғни есептеудің үшінші сатысын (3.17, 3.18, 3.19, 3.20, 3.21, 3.22, 3.23, 3.24) теңдеулерін қолданып, ары қарай жалғастыру қажет. Есептің төртінші сатысын (3.25) теңдеу бойынша жүргізіп, (3.26) теңдеуге сәйкес төртінші және үшінші сатылардағы анықталған температуралардың пайыздық айырмашылық мәндері тағы да есептеледі.

Есептеуді температуралардың пайыздық айырмашылықтарының барлығы үш пайыздан төмен болғанша жүргізіледі және сол сатыда анықталған қабырға қабаттары арқылы қоршаған ортаға кететін меншікті жылу ағыны мәні дұрыс деп саналады.

## 3.5. Есептеуді орындау үшін алдын-ала берілгендер

| Вариант | Газды ағын температурасы, $t_г$, $^oC$ | Қоршаған орта температурасы, $t_a$, $^oC$ | Жылу беру коэффициенті, $\alpha_г$, $Вт/(м^2 \cdot ^oC)$ | Қабырға материалдарының қалыңдықтары, $M$ | | | | Қабырға материалдарының жылуөткізгіштік коэффициенттері, $Вт/(м \cdot ^oC)$ (1 кестеден қабылданады) | | | | Жылуөткізгіштік коэффициентерінің температуралық түзетулері (1 кестеден қабылданады) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | $\delta_1$ | $\delta_2$ | $\delta_3$ | $\delta_4$ | $\lambda_{01}$ | $\lambda_{02}$ | $\lambda_{03}$ | $\lambda_{04}$ | $в_1$ | $в_2$ | $в_3$ | $в_4$ |
| 1. | 1500 | 15 | 97,0 | 0,25 | 0,20 | 0,15 | 0,10 | 1 | 9 | 42 | 15 | 1 | 9 | 42 | 15 |
| 2. | 1300 | 18 | 86,0 | 0,20 | 0,18 | 0,15 | - | 2 | 7 | 16 | - | 2 | 7 | 16 | - |
| 3. | 1100 | 20 | 75,5 | 0,40 | 0,30 | 0,15 | - | 3 | 6 | 67 | - | 3 | 6 | 67 | - |
| 4. | 850 | 19 | 62,0 | 0,30 | 0,25 | 0,10 | - | 26 | 24 | 66 | - | 26 | 24 | 66 | - |
| 5. | 655 | 17 | 55,2 | 0,25 | 0,15 | - | - | 17 | 62 | - | - | 17 | 62 | - | - |
| 6. | 1245 | 20 | 83,4 | 0,33 | 0,25 | 0,15 | - | 29 | 4 | 61 | - | 29 | 4 | 61 | - |
| 7. | 1459 | 20 | 96,5 | 0,25 | 0,22 | 0,15 | 0,10 | 5 | 9 | 52 | 68 | 5 | 9 | 52 | 68 |
| 8. | 1000 | 10 | 68,0 | 0,24 | 0,18 | 0,14 | - | 27 | 41 | 63 | - | 27 | 41 | 63 | - |
| 9. | 300 | 12 | 37,5 | 0,15 | 0,12 | - | - | 16 | 17 | - | - | 16 | 17 | - | - |
| 10. | 275 | 18 | 33,2 | 0,20 | 0,10 | - | - | 72 | 70 | - | - | 72 | 70 | - | - |
| 11. | 500 | 21 | 49,5 | 0,27 | 0,15 | - | - | 39 | 68 | - | - | 39 | 68 | - | - |
| 12. | 1550 | 25 | 100,5 | 0,30 | 0,25 | 0,20 | 0,12 | 30 | 19 | 7 | 64 | 30 | 19 | 7 | 64 |
| 13. | 1487 | 22 | 97,0 | 0,25 | 0,25 | 0,20 | 0,20 | 28 | 50 | 43 | 69 | 28 | 50 | 43 | 69 |
| 14. | 1296 | 20 | 85,9 | 0,20 | 0,25 | 0,15 | - | 13 | 14 | 60 | - | 13 | 14 | 60 | - |
| 15. | 925 | 18 | 65,7 | 0,30 | 0,15 | 0,15 | - | 42 | 15 | 16 | - | 42 | 15 | 16 | - |
| 16. | 755 | 22 | 58,6 | 0,20 | 0,10 | - | - | 25 | 24 | - | - | 25 | 24 | - | - |
| 17. | 1150 | 25 | 77,3 | 0,15 | 0,15 | 0,10 | - | 30 | 45 | 65 | - | 30 | 45 | 65 | - |
| 18. | 1250 | 20 | 83,5 | 0,18 | 0,20 | 0,05 | - | 10 | 48 | 36 | - | 10 | 48 | 36 | - |
| 19. | 800 | 20 | 60,0 | 0,22 | 0,15 | - | - | 19 | 66 | - | - | 19 | 66 | - | - |
| 20. | 600 | 15 | 53,0 | 0,40 | 0,20 | - | - | 16 | 70 | - | - | 16 | 70 | - | - |
| 21. | 1350 | 20 | 87,0 | 0,25 | 0,20 | 0,15 | 0,10 | 31 | 22 | 51 | 62 | 31 | 22 | 51 | 62 |
| 22. | 1250 | 22 | 83,0 | 0,30 | 0,25 | 0,20 | 0,12 | 27 | 14 | 39 | 17 | 27 | 14 | 39 | 17 |
| 23. | 950 | 12 | 66,0 | 0,30 | 0,25 | 0,10 | - | 13 | 45 | 71 | - | 13 | 45 | 71 | - |
| 24. | 880 | 15 | 61,5 | 0,15 | 0,15 | 0,10 | - | 12 | 9 | 72 | - | 12 | 9 | 72 | - |
| 25. | 325 | 17 | 38,5 | 0,20 | 0,10 | - | - | 16 | 66 | - | - | 16 | 66 | - | - |
| 26. | 1120 | 21 | 76,3 | 0,30 | 0,25 | 0,10 | - | 19 | 52 | 63 | - | 19 | 52 | 63 | - |
| 27. | 1080 | 22 | 73,0 | 0,15 | 0,15 | 0,10 | - | 6 | 54 | 61 | - | 6 | 54 | 61 | - |
| 28. | 925 | 20 | 65,0 | 0,18 | 0,20 | 0,05 | - | 3 | 47 | 59 | - | 3 | 47 | 59 | - |
| 29. | 1255 | 19 | 83,5 | 0,25 | 0,20 | 0,15 | 0,10 | 6 | 8 | 53 | 17 | 6 | 8 | 53 | 17 |
| 30. | 875 | 18 | 63,0 | 0,30 | 0,25 | 0,10 | - | 33 | 54 | 62 | - | 33 | 54 | 62 | - |
| 31. | 555 | 17 | 51,5 | 0,18 | 0,20 | 0,05 | - | 35 | 57 | 69 | - | 35 | 57 | 69 | - |
| 32. | 780 | 20 | 58,8 | 0,15 | 0,15 | 0,10 | - | 14 | 9 | 65 | - | 14 | 9 | 65 | - |
| 33. | 1360 | 19 | 89,0 | 0,25 | 0,22 | 0,15 | 0,10 | 2 | 14 | 50 | 67 | 2 | 14 | 50 | 67 |
| 34. | 1480 | 22 | 96,5 | 0,30 | 0,25 | 0,20 | 0,12 | 4 | 13 | 54 | 71 | 4 | 13 | 54 | 71 |
| 35. | 1500 | 25 | 97,0 | 0,25 | 0,22 | 0,15 | 0,10 | 1 | 43 | 58 | 67 | 1 | 43 | 58 | 67 |
| 36. | 1200 | 25 | 80,5 | 0,40 | 0,30 | 0,15 | - | 20 | 27 | 65 | - | 20 | 27 | 65 | - |
| 37. | 1090 | 24 | 75,0 | 0,40 | 0,30 | 0,15 | - | 26 | 50 | 16 | - | 26 | 50 | 16 | - |
| 38. | 1600 | 23 | 102,5 | 0,25 | 0,22 | 0,15 | 0,10 | 40 | 24 | 41 | 66 | 40 | 24 | 41 | 66 |
| 39. | 250 | 20 | 32,0 | 0,20 | 0,10 | - | - | 15 | 65 | - | - | 15 | 65 | - | - |
| 40. | 770 | 18 | 59,0 | 0,30 | 0,25 | 0,10 | - | 19 | 53 | 16 | - | 19 | 53 | 16 | - |

### 3.6. Студенттің өзіндік дайындалуға арналған бақылау сұрақтары

#### 1. Жазбаша (ауызша) сұрақтар

1. Жылу алмасу деп қандай процесті айтады?
2. Екі дененің тек біреуі жылу қабылдау процесі қалай аталады?
3. Екі дененің арасындағы жылуалмасудың олардың олардың арасындағы үшінші бір қатты дене арқылы өтуі қалай аталады?
4. Уақыт бойынша өзгеретін жылулық режим қалай аталады?
5. Уақыт бойынша өзгермейтін жылулық режим қалай аталады?
6. Цемент клинкерін күйдіруге арналған айналмалы пешінің пісу бөлімінде жылу алмасудың қай түрі басым болады?
7. Цемент клинкерін күйдіруге арналған айналмалы пешінің қыздыру бөлімінде жылу алмасудың қай түрі басым болады?
8. Цемент клинкерін күйдіруге арналған шахталы пешінде жылу алмасудың қай түрі болады?
9. Цемент клинкерін құрғақ тәсілде күйдіруге арналған айналмалы пешінің циклонды жылуалмастырғышында жылу алмасудың қай түрі басым болады?
10. Барабанды кептіргіштерде жылу алмасудың қай түрі басым болады?
11. Меншікті және жалпы жылу ағындарының мөлшері қалай анықталады?
12. Жылуоқшаулығының қызметі атаңыз? Жылуөткізгіштік коэффициентінің мәнінен байланысты жылуоқшаулықты материалдар қалай жіктеледі?
13. Жылуөткізгіштік коэффицентінің мәні температураға байланысты қалай анықталады?
14. Қалыптасқан жылулық режим кезіндегі қабырғаның жылулық кедергісі қалай анықталады?
15. Қалыптасқан жылулық режим кезіндегі қабырғаның жылу өту коэффицентінің мәні қалай анықталады?
16. Егер, меншікті жылу ағынының мәні және қондырғының жұмыс камерасымен жанасатын қабырғаның ішкі бетінің температурасы белгілі болса, онда қалыптасқан жылулық режим кезіндегі, қабырға қабаттары аралығындағы температуралардың мәндері қалай анықталады?
17. Жылулық қондырғы қабырғасының жылулық кедергісінің мәнін анықтаңыз. Қабырға материалының жылуөткізгіштік коэффициенті $\lambda$=0,200 $Вт/(м\cdot^oC)$, қабырға қалыңдығы $\delta$=400$мм$.
18. Қалыптасқан жылулық режим кезіндегі жазық бетті қатты қабырғадан кететін меншікті жылу ағынының мәнін анықтаңыз. Қабырға материалының жылуөткізгіштік коэффициенті $\lambda$=0,200 $Вт/(м\cdot^oC)$, қабырға қалыңдығы $\delta$=200$мм$, қабырға қалыңдығы бойынша температура айырмашылығы $\Delta t$=500$^oC$.
19. Пеш қабырғасы арқылы қоршаған ортаға кететін жалпы жылу ағының мәнін анықтаңыз, пеш қабырғасының қалыңдығы $\delta$=300$мм$, қабырға бетінің ауданы $F$=1,0$м^2$, қабырғаның ішкі бетінің температурасы $t_1$=1150$^oC$, қабырғаның сыртқы бетінің температурасы $t_2$=150$^oC$. Қабырға материалының жылуөткізгіштік коэффициенті $\lambda$=0,3$Вт/(м\cdot^oC)$.

## 2. Тест сұрақтары

**1.** Жылу алмасу деп қандай процессті айтады?
А) Температурасы жоғары денеден температурасы төмен денеге жылудың берілуі
Б) Температуралары бірдей екі денелердің арасындағы жылудың берілуі
В) Суық денелердің арасындағы өзара жылудың берілуі
Г) Дененің ішіндегі температураның таралуы
Д) Дұрыс жауап жоқ
**2.** Екі дененің тек біреуі жылу қабылдау процесі қалай аталады?
А) Жылулық қуат
Б) Жылу ағыны
В) Жылуөткізгіштік
Г) Жылу беру
Д) Жылуоқшаулығы
**3.** Екі дененің арасындағы жылуалмасудың олардың олардың арасындағы үшінші бір қатты дене арқылы өтуі қалай аталады?
А) Жылуөткізгіштік
Б) Жылуалмасу
В) Жылуөту
Г) Жылу ағыны
Д) Жылулық қуат
**4.** Жылуөткізгіштік көрсеткіші бойынша төмен жылуөткізетін жылуоқшаулықты материалдың жылуөткізгіштігі (25 $^{o}$C кезінде):
А. $\lambda<0,01$ *Вт/(м ·$^{o}$C)*
В. $\lambda=0,115\div0,175$ *Вт/(м·$^{o}$C)*
С. $\lambda=0,06\div0,115$ *Вт/(м·$^{o}$C)*
Д. $\lambda=0,175\div0,215$ *Вт/(м·$^{o}$C)*
Е. $\lambda<0,06$ *Вт/(м·$^{o}$C)*
**5.** Жылуөткізгіштік көрсеткіші бойынша орташа жылуөткізетін жылуоқшаулықты материалдың жылуөткізгіштігі (25 $^{o}$C кезінде):
А. $\lambda=0,175\div0,215$ *Вт/(м·$^{o}$C)*
В. $\lambda=0,115\div0,175$ *Вт/(м·$^{o}$C)*
С. $\lambda<0,06$ *Вт/(м·$^{o}$C)*
Д. $\lambda=0,06\div0,115$ *Вт/(м·$^{o}$C)*
Е. $\lambda<0,01$ *Вт/(м·$^{o}$C)*
**6.** Жылуөткізгіштік көрсеткіші бойынша жоғары жылуөткізетін жылуоқшаулықты материалдың жылуөткізгіштігі (25 $^{o}$C кезінде):
А. $\lambda=0,115\div0,175$ *Вт/(м·$^{o}$C)*
В. $\lambda<0,06$ *Вт/(м·$^{o}$C)*
С. $\lambda=0,06\div0,115$ *Вт/(м·$^{o}$C)*
Д. $\lambda=0,175\div0,215$ *Вт/(м·$^{o}$C)*
Е. $\lambda<0,01$ *Вт/(м·$^{o}$C)*
**7.** Уақыт бойынша өзгеретін температуралық жазықтық аталады:

А) Циклды
Б) Қалыптасқан
В) Қалыптаспаған
Г) Айналмалы
Д) Өлшемсіз

**8.** Уақыт бойынша өзгермейтін температуралық жазықтық аталады:
А) Өлшемсіз
Б) Қалыптаспаған
В) Циклды
Г) Айналмалы
Д) Қалыптасқан

**9.** Жылуөткізгіштік арқылы берілетін жылу ағына қандай формула бойынша анықталады?

А) $Q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_1 - t_2) \cdot F \cdot \tau,$

Б) $Q = \frac{\delta}{\lambda} \cdot (t_2 - t_1) \cdot F \cdot \tau,$

В) $Q = \lambda \cdot (t_2 - t_1) \cdot F \cdot \tau,$

Г) $Q = \frac{t_2 - t_1 \cdot \tau \cdot F}{\lambda} \cdot,$

Д) $Q = \frac{(t_2 - t_1) \cdot \tau \cdot F}{\delta} \cdot,$

**10.**Қалыптасқан жылулық режим кезіндегі қоршаған ортаға кететін жылу ағыны қалай анықталады?

А) $Q = \left( \frac{1}{\alpha_1} + \varepsilon \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right) \cdot (t_{ã} - t_{à}),$

Б) $Q = \frac{t_c - t_a}{\alpha_1 + \varepsilon \frac{\lambda}{\delta} + \alpha_2},$

В) $Q = \left( \alpha_1 + \varepsilon \frac{\lambda}{\delta} + \alpha_2 \right) \cdot (t_{ã} - t_{à}),$

Г) $Q = \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right) \cdot (t_{ã} - t_{à}),$

Д) $Q = \frac{t_c - t_a}{\frac{1}{\alpha_1} + \varepsilon \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}},$

**11.**Қабырғаның жылу кедергісі қалай анықталады?

А) $r = \left( \frac{\lambda}{\delta} \right)^2$

Б) $r = \lambda \cdot \delta$

В) $r = \frac{\lambda}{\delta}$

Г) $r = \frac{\delta}{\lambda}$

Д) $r = \frac{\lambda}{2} \cdot \delta,$

**12.**Үш қабатты қабырғаның сыртқы бетінің температурасы қалай анықталады?

А) $t_{с.бет} = t_1 - q \cdot \left( \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right), \quad °C$

Б) $t_{с.бет} = \frac{t_1}{q} \cdot \left( \frac{\lambda_1}{\delta_1} + \frac{\lambda_2}{\delta_2} + \frac{\lambda_3}{\delta_3} \right), \quad °C$

В) $t_{с.бет} = \frac{t_1}{q} \cdot \left( \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right), \quad °C$

Г) $t_{с.бет} = q - t_1 \cdot \left( \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right), \quad °C$

Д) $t_{с.бет} = \frac{q}{t_1} \cdot \left( \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right), \quad °C$

**13.**Жылу беру коэффициенті қалай анықталады?

А) $K = \frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_1} - \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad Вт/м^2 \cdot °C$

Б) $K = \frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad Вт/м^2 \cdot °C$

В) $K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad Вт/м^2 \cdot °C$

Г) $K = \frac{1}{1 + \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad Вт/м^2 \cdot °C$

Д) $K = \frac{1}{1 + \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}}, \quad Вт/м^2 \cdot °C$

**14.**Жылуөткізгіштік коэффиценті қалай анықталады?

А) $\lambda_t = (\lambda_o \pm b) \cdot t,$

Б) $\lambda_t = \frac{\lambda_o}{b \cdot t},$

В) $\lambda_t = \frac{\lambda_o \mp b}{t},$

Г) $\lambda_t = \frac{\lambda_o \pm t}{b},$

Д) $\lambda_t = \lambda_o \pm b \cdot t,$

**15.**Қалыптасқан жылулық режим кезіндегі қабырғаның жылулық кедергісі қалай анықталады?

А) $R = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}\right) \cdot \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}\right)$,

Б) $R = \frac{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}}$,

В) $R = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}$,

Г) $R = \frac{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}}$,

Д) $R = \frac{1}{\alpha_1} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} - \frac{\delta_2}{\lambda_2} - \frac{\delta_3}{\lambda_3} - \frac{1}{\alpha_2}$,

**16.**Қалыптасқан жылулық режим кезіндегі жазық бетті қатты қабырғадан кететін меншікті жылу ағынының мәнін анықтаңыз. Қабырға материалының жылуөткізгіштік коэффициенті λ=0,25 *Вт/(м·°С)*, қабырға қалыңдығы δ=250*мм*, қабырға қалыңдығы бойынша температура айырмашылығы Δt=100*°С*.

А) q=50 *Вт/м*$^2$

Б) q=250 *Вт/м*$^2$

В) q=300 *Вт/м*$^2$

Г) q=200 *Вт/м*$^2$

Д) q=100 *Вт/м*$^2$

**17.**Пеш қабырғасы арқылы қоршаған ортаға кететін жылу ағының мәнін анықтаңыз, пеш қабырғасының қалыңдығы δ=500*мм*, қабырға бетінің ауданы F=10*м*$^2$, қабырғаның ішкі бетінің температурасы $t_1$=1050*°С*, қабырғаның сыртқы бетінің температурасы $t_2$=50*°С*. Қабырға материалының жылуөткізгіштік коэффициенті λ=0,5 *Вт/(м·°С)*.

А) q=100000 *Вт/м*$^2$

Б) q=1000 *Вт/м*$^2$

В) q=100 *Вт/м*$^2$

Г) q=10000 *Вт/м*$^2$

Д) q=10 *Вт/м*$^2$

**18.**Жылулық қондырғы қабырғасының жылулық кедергісінің мәнін анықтаңыз. Қабырға материалының жылуөткізгіштік коэффициенті λ=0,250 *Вт/(м·*$^0$*С)*, қабырға қалыңдығы δ=500*мм*.

А) r=2,0 *(м*$^2$ *·*$^0$*С)/Вт*

Б) r=1,0 (м$^2$ ·$^0$С)/Вт

В) r=0,5 (м$^2$ ·$^0$С)/Вт

Г) r=3,0 (м$^2$ ·$^0$С)/Вт

Д) r=0,1 (м$^2$ ·$^0$С)/Вт

# 4. ЖЫЛУЛЫҚ ҚОНДЫРҒЫЛАРДЫ АЭРОДИНАМИКАЛЫҚ ЕСЕПТЕУ

## 4.1. Сабақтың жоспары:

1. Жылулық қондырғының жұмыс каналдарындағы газды ағындардың қозғалу бағытының схемасын құру.
2. Жұмыс каналдарындағы газды ағындар қозғалысы жолында кездесетін шығындалу тегеуріндерінің мәнін есептеу.
3. Жылулық қондырғыдағы толық шығындалатын және қажетті тегеуріннің мәнін есептеу.
4. Кедергі диаграммасын және қондырғының аэродинамикалық сипаттамасын графикалық тұрғызу.
5. Газды ағындарды қозғалысқа келтіруге арналған желдеткіш және үрлегіш құрал-жабдықтарын есептеу және таңдау.

## 4.2. Теориялық бөлім

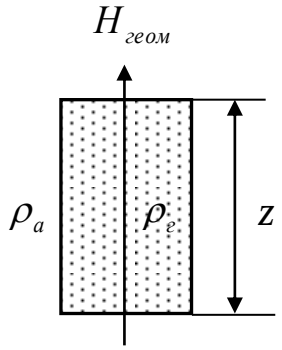
Газды ағындардың қозғалысын зерттейтін ғылым – газдар механикасы немесе ***аэродинамика*** деп аталады. Сондықтан, жылулық қондырғыларды жобалау кезінде газды ағындар қозғалысы бойынша жүргізілетін есептеулер – ***аэродинамикалық есептеулер*** деп аталады.

Құрылыс материалдары, бұйымдары және конструкциялары өндірісіндегі жылутехникалық процесстердің ең маңызды бөлігі жылулық қондырғылардағы газды ағындар қозғалысы болып табылады. Өйткені, шикізат материалдары және бұйымдарын жылулық өңдеу кезінде оларға жылудың берілуі, көп жағдайда газды ағын ретінде болатын жылутасымалдағыштармен (ыстық ауа, түтінді газдар) беріледі. Бұл жылутасымалдағыштар жұмыс камерасында өзінің жылуының бір бөлігін жылулық өңдеуден өтетін материалдарға береді. Жылудың тиімді берілуі, яғни, дайын өнімдер сапасы және қондырғының өнімділігі жылутасымалдағыштың көрсеткіштеріне байланысты болды: газды ағындар қозғалысының жылдамдығы, температурасы, қозғалу бағыты және сипаты. Аталған көрсеткіштер қондырғының жұмыс камерасында жылутехникалық талаптарға сәйкес жылуалмасу жағдайын, камераның биіктігі бойынша температураның біркелкілігін, қажетті жылулық режимді қамтамасыз етуі қажет. Газды ағындардың мұндай көрсеткіштерін анықтау үшін аэродинамикалық есептеулерді орындау қажет: газды ағындар қозғалатын каналдардың оңтайлы ішкі өлшемдерін есептеу (қима ауданы, ұзындығы), газды ағындардың қозғалу энергиясын анықтау, газды ағындар қозғалысы кезінде кезедесетін әртүрлі кедергілерге шығындалатын энергияны анықтау және т.б. Каналдардың қима аудандарының өлшемі кіші болған жағдайда, оларды жасауға кететін шығындар аз болады, бірақ газды ағындар қозғалысы қиындайды, ал қима аудандарының өлшемі үлкен болған жағдайда, керісінше болады. Егер, газды ағындардардың қозғалыс энергиясының мәні кедергілер мәнінен төмен болған жағдайда, онда олардың қозғалысы қиындап, жылулық өңдеу режимі бұзылуы мүмкін.

Газдар аэродинамикасында газды ағындардың қозғалу энергиясы – ***тегеурін*** күшімен (қысым күші) өлшенеді. Бұл халықаралық өлшеу жүйесінде (СИ) *Па* өлшенеді. (1*кПа* =$10^3$ *Па*, 1*МПа* =$10^6$ *Па*, 0,1*МПа* = 1*кг күш/см*$^2$ = 1*атм* = 760 *мм сынап бағанасы*).

Газдарды қозғалысқа келтіретін энергия күші геометриялық, статикалық және жылдамдылық тегеуріндерінен тұрады.

***Геометриялық тегеурін*** деп – жылулық қондырғының каналдарындағы газды ағындардың және қоршаған ортадағы ауаның тығыздықтарының айырмашылығы болып және каналдардың биіктіктерінің өзгеруі әсерінен газды ағындардың төменнен жоғары қарай, яғни газдардың кәдімгі табиғи қозғалу бағытына сәйкес қозғалуын тудыратын энергияны айтады (4.1 сурет).



4.1 сурет. Геометриялық тегеурін мәні

Газды ағындар мен ауаның тығыздарының айырмашылығы көп болған сайын және тік каналдардың биіктігі жоғары болған сайын, олардың қозғалу энергиясы артады. Яғни, газды ағындардың тығыздығы қоршаған ортаның тығыздығынан төмен болса, онда ол жоғары қарай көтерілуге бағытталады. Ал, газды ағындардың тығыздықтары қоршаған ортаның тығыздығынан жоғары болса, онда керісінше төмен қарай бағытталады. Геометриялық тегеуріннің мысалы ретінде, түтінді мұржадағы газды ағындардың қозғалысын айтуға болады.

Белгілі бір биіктік кезіндегі жұмыс каналындағы геометриялық тегеурін мәні мына формула бойынша анықталады:

$$H_{геом} = z \cdot g \cdot \left( \rho_а \cdot \frac{273}{T_а} - \rho_г \cdot \frac{273}{T_г} \right), Па \qquad (4.1)$$

мұнда: $z$ – биіктіктің өзгеруі, *м*

$g$ – дененің еркін түсу жылдамдығы, *м/с*$^2$

$\rho_а$ – қоршаған ортадағы ауаның тығыздығы, *кг/м*$^3$

$\rho_г$ – газды ағындардың тығыздығы, *кг/м*$^3$

$T_а$ – қоршаған ортадағы ауаның температурасы, *К*

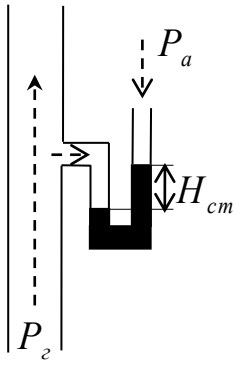
$T_г$ – газды ағындардың температурасы, *К*

*Мысал.* Тігінен орналасқан каналдың биіктігі 10*м*, ішіндегі газды ағынның температурасы 500 $^oC$, тығыздығы 1,32 *кг/*м$^3$. Қоршаған ортадағы ауаның температурасы 25 $^oC$, тығыздығы 1,29 *кг/м*$^3$. Каналдың жоғарғы жағындағы газды ағынның тегеурін күшін анықтау қажет.

Тегеурін мәнін (4.1) формулаға сәйкес анықтаймыз:

$$H_{геом} = 10 \cdot 9{,}8 \cdot \left( 1{,}29 \cdot \frac{273}{25 + 273} - 1{,}32 \cdot \frac{273}{500 + 273} \right) = 70{,}1 Па$$

***Статикалық тегеурін*** деп – жылулық қондырғының каналдарындағы газды ағындардың және қоршаған ортадағы ауаның қысымдарының айырмашылығы әсерінен газды ағындардың қозғалуына әсер ететін энергияны айтады. Статикалық тегеурін механикалық құрал-жабдықтардың (желдеткіш, үрлегіш) көмегімен пайда болады. Егер 4.2 суретке сәйкес, жылулық қондырғы каналының бүйір қабырғасына перпендикуляр бағытта U – тәрізді түтікшені бір ұшын жанастырып, түтікшенің екінші ұшын қоршаған ортадағы ауамен жалғасақ, онда түтікшедегі сұйықтықтың биіктігі бойынша айырмашылықты көреміз. Биіктіктің шамасын өлшеу арқылы қысымдардың айырмашылығын анықтауға болады, яғни статикалық тегеурін мәнін.




4.2 сурет. Статикалық тегеурінді анықтау схемасы

Егер, газды ағынның қысымы жоғары болса, онда ол артық қысым деп аталады, ал егер, қоршаған ортаның қысымынан төмен болса, онда сирек қысым немесе вакуум деп аталады.

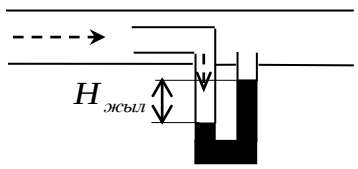
Статикалық тегеурін мәні мына формула бойынша анықталады:

$$H_{ст} = P_г - P_a,\ Па \qquad (4.2)$$

мұнда: $P_г$ – газды ағындардың қысымы, *Па*

$P_a$ – қоршаған ортадағы ауаның қысымы, *Па*

***Жылдамдылық тегеурін*** деп – газды ағындардың жылулық қондырғылар каналдарында сыртқы инерция күші әсерінен түзу бағытта қозғалуына әсер ететін энергияны айтады. Жылдамдылық тегеурінінің мәнін де U – тәрізді түтікшенінің көмегімен өлшеуге болады. Егер түтікшенің бір ұшын газды ағынның бағытына қарама-қарсы бағытта орнатсақ, онда түтікшедегі сұйықтықтың биіктігі бойынша айырмашылықты көреміз. Биіктіктің шамасын өлшеу арқылы жылдамдылық тегеурінді анықтауға болады. Жылдамдылық тегеурінің мәні каналдағы газды ағынның қозғалу энергиясына байланысты болады. Неғұрлым газдың қозғалу жылдамдығы жоғары болса, соғұрлым жылдамдылық тегеурінің мәні артады. Каналдардағы газды ағын түзу бағытта қозғалудан ауытқитын болса (бұрылыстар), онда жылдамдылық тегеурінің мәні де төмендейді (4.3 сурет).




4.3 сурет. Жылдамдылық тегеурінді анықтау схемасы

Жылдамдылық тегеурін мәні мына формула бойынша анықталады:

$$H_{жыл} = \left(\frac{w_г^2}{2}\right) \cdot \rho_г \cdot \left(\frac{T_г}{273}\right),\ Па \qquad (4.3)$$

мұнда: $w_г$ – газды ағындардың жылдамдығы, *м/с*

Газды ағындар қозғалысы кезінде тегеуріндердің бір-біріне айналуы жүреді. Газды ағындар қозғалыс жолында каналдардың қима ауданы кішірейген жағдайда, потенциальдық энергияның бір бөлігінің кинетикалық энергияға ауысуы нәтижесінде газды ағындардың жылдамдығы артады. Ал керісінше, каналдардың қима ауданы ұлғайған жағдайда, кинетикалық энергияның бір бөлігінің потенциальдық энергияға ауысуы нәтижесінде газды ағындардың жылдамдығы төмендейді. Мұндай жағдайда, идеальды газдар үшін қозғалу энергиясының жалпы мәні, энергияның сақталу заңына сәйкес өзгеріссіз қалады.

Жылулық қондырғылардағы газды ағындардың бірқалыпты қозғалысы кезіндегі, энергия сақталудың негізгі заңдылығын Бернулли теңдеуімен көрсетуге болады. Ол былай оқылады: «Газды ағындарды бірқалыпты қозғалысы кезінде жылулық қондырғылардың каналдарының кез келген бөлімінде геометриялық, статикалық, жылдамдылықты және шығындалу тегеуріндері қосындысының мәні тұрақты шама болып табылады». Бұдан мынадай қорытындыға келеміз: тегеуріндердің біреуінің мәнінің өзгеруі, басқа да тегеуріндер мәндерінің өзгеруіне әсер етеді, яғни бір тегеурін түрінің екінші бір тегуерін түріне өтуі олардың қосынды мәндерінің тұрақты шама кезінде ғана жүзеге асады.

Бернулли теңдеуінің математикалық көрінісі

$$z \cdot g \cdot (\rho_a - \rho_г) + (P_г - P_a) + \left( \frac{w_г^2}{2} \right) \cdot \rho_г + \sum h = const \qquad (4.4)$$

мұнда: $\sum h$ – газды ағындар қозғалысы жолында кездесетін кедергілердің жалпы қосындысы, *Па*

Теңдеуде көрінгендей Бернулли теңдеуі жоғарыда қарастырған тегеуріндерді ескергенде, төрт тегеуріннің қосындысынан тұрады. Теңдеудің төртінші бөлігі ***шығындалу тегеурін*** деп аталады. Бернулли теңдеуіндегі шығындалу тегеурін керісінше роль атқарады. Егер жоғарыда қарастырған үш тегеуріндер (геометриялық, статикалық және жылдамдылық) газды ағындарды қозғалысқа әкелетін энергиялар болса, шығындалу тегеуріні керісінше, газды ағындардың қозғалыс энергиясын төмендететін тегеурін болып табылады.

***Шығындалу тегеуріні*** – өз кезегінде геометриялық, жергілікті, үйкеліс және бұйымдарға шығындалатын тегеуріндер қосындысынан құралады.

***Геометриялық шығындалу тегеурін*** деп – жылулық қондырғылар каналдарындағы қыздырылған газды ағындардың және қоршаған ортадағы ауаның тығыздықтарының айырмашылығы болып және каналдардың биіктіктерінің өзгеруі әсерінен газды ағындардың жоғарыдан төмен қарай, яғни кәдімгі табиғи қозғалу бағытына кері бағытта қозғалу әсерінен болатын шығындалу энергиясын айтады.

Геометриялық шығындалу тегеурін мәні мына формула бойынша анықталады:

$$h_{геом} = \pm z \cdot g \cdot \left( \rho_a \cdot \frac{273}{T_a} - \rho_г \cdot \frac{273}{T_г} \right), \; Па \qquad (4.5)$$

мұнда: «+» – белгісі, газды ағындардың жоғарыдан төмен қарай қозғалу кезінде қойылады,

«–» – белгісі, газды ағындардың төменнен жоғары қарай қозғалу кезінде қойылады.

***Жергілікті шығындалу тегеурін*** деп – газды ағындардың инерция күші әсерінен түзу бағытта қозғалуынан ауытқыған кезде немесе каналдардың ішкі қима аудандарының өлшемі өзгерген жағдайда болатын шығындалу энергиясын айтады (мысалы: бұрылыстарда, кеңеюде, кішіреюде, вентильдерде және т.б.).

Жергілікті шығындалу тегеурін мәні мына формула бойынша анықталады:

$$h_{жер} = \xi_{жер} \cdot \left( \frac{w_г^2}{2} \right) \cdot \rho_г \cdot \left( \frac{T_г}{273} \right), \; Па \qquad (4.6)$$

мұнда: $\xi_{жер}$ – жергілікті кедергі коэффициенті, газды ағындардың түзу бағыттан ауытқуын ескеретін көрсеткіш, анықтамадан алынатын шама.

***Үйкеліс шығындалу тегеурін*** деп – каналдардың ішкі бетінің кедір-бұдырлығы әсерінен газды ағындардың еркін қозғалуына кедергі келтіретін ирелеңдеген бағыт нәтижесінде болатын шығындалу энергиясын айтады. Газды ағындардың молекулааралық өзара тартылыс күшінің әсері және олардың қозғалу жылдамдылығының бәсеңдеуі, жалпы қозғалыс энергиясының төмендеуіне әкеледі.

Үйкеліс шығындалу тегеурін мәні мына формула бойынша анықталады:

$$h_{үйк} = \xi_{үйк} \cdot \left( \frac{w_г^2}{2} \right) \cdot \left( \frac{\ell}{d_{экв}} \right) \cdot \rho_г \cdot \left( \frac{T_г}{273} \right), \; Па \qquad (4.7)$$

мұнда: $\xi_{үйк}$ – үйкеліс кедергі коэффициенті, каналдардың ішкі бетінің кедір-бұдырлығын ескеретін көрсеткіш, анықтамадан алынатын шама.

$\ell$ – каналдардың ұзындықтары, *м*

$d_{экв}$ – каналдардың эквивалентті диаметрі, $d = 4F / П, \;\; м$

$F$ – каналдардың қима аудандары, $м^2$

$P$ – каналдардың периметрі, *м*

***Бұйымдарға шығындалатын тегеурін*** деп – газды ағындардың жылулық қондырғының жұмыс камерасындағы жылулық өңдеуден өтетін шикізат материалдарына немесе шала бұйымдарға тікелей жанасу кезіндегі болатын шығындалу энергиясын айтады. Жылулық қондырығының конструкциясына және шикізат материалдары мен шала бұйымдардың жұмыс камерасына толтырылу сипатына байланысты бұйымдарға шығындалатын тегеурін мәні мына формула бойынша анықталады.

Қалыптаудан алынған бұйымдар үшін:

$$h_{бұй} = \xi_{бұй} \cdot \left(\frac{w_г^2}{2}\right) \cdot \rho_г \cdot \ell \cdot \left[\left(\frac{T_a}{273}\right) - \left(\frac{t_1 - t_2}{273}\right)\right], \; Па \qquad (4.8)$$

мұнда: $\xi_{бұй}$ – бұйымдардың кедергі коэффициенті, жұмыс камерасындағы шала бұйымдардың толтырылу сипатын білдіретін көрсеткіш, анықтамадан алынатын шама.

$\ell$ – жұмыс камерасының ұзындығы, *м*

$T_a$ – қоршаған ортадағы ауаның температурасы, *К*

$t_1$ – жұмыс камерасының бас жағындағы газды ағын температурасы, $^oC$

$t_2$ – жұмыс камерасының соңғы бөлігіндегі газды ағын температурасы, $^oC$

Түйіршікті материалдар қабаты үшін:

$$h_{бұй} = \xi_{бұй} \cdot \left(\frac{w_г^2}{2}\right) \cdot \rho_г \cdot \frac{H_м}{d_м} \cdot \left(\frac{T_{орт}}{273}\right), \; Па \qquad (4.9)$$

мұнда: $\xi_{бұй}$ – бұйымдардың кедергі коэффициенті, жұмыс камерасындағы түйіршікті материалдар қабатының сипатын білдіретін көрсеткіш, анықтамадан алынатын шама.

$H_м$ – материал қабатының биіктігі, *м*

$d_м$ – материалдардың орташа диаметрі, *м*

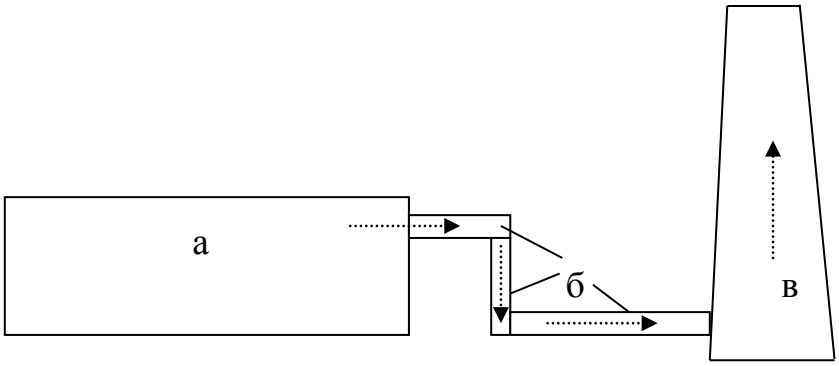
$T_{орт}$ – түйіршікті материал қабаты арқылы өтетін газды ағынның орташа температурасы, *К*

Құрылыс материалдары, бұйымдары және конструкциялары өндірістерінде жылулық қондырғылардағы газды ағындарды қозғалысқа келтіру табиғи (еркін қозғалыс) және жасанды (еріксіз қозғалыс) жолмен жүргізіледі.

***Табиғи қозғалыс*** арқылы жылулық өңдеуден өткен газды ағындарды (ыстық ауа, түтінді газ) жұмыс камерасынан шығару үшін түтінді мұржаны қолданады. Түтінді мұржадағы ыстық газды ағындардың (150 $^oC$-тан жоғары) тығыздықтары қоршаған ортадағы ауаның тығыздығынан төмен болуы әсерінен, мұржа биіктігі бойынша газды ағын және ауаның қысымдарының айырмашылығы пайда болады. Нәтижесінде геометриялық тегеурін әсерінен газды ағындарда төменнен жоғары қарай бағытталған қозғалыс энергиясы туындайды.

(4.1) формулаға сәйкес, мұржаның биіктігі және тығыздықтардың айырмашылығы артқан сайын, қозғалыс энергиясы жоғарылайды.

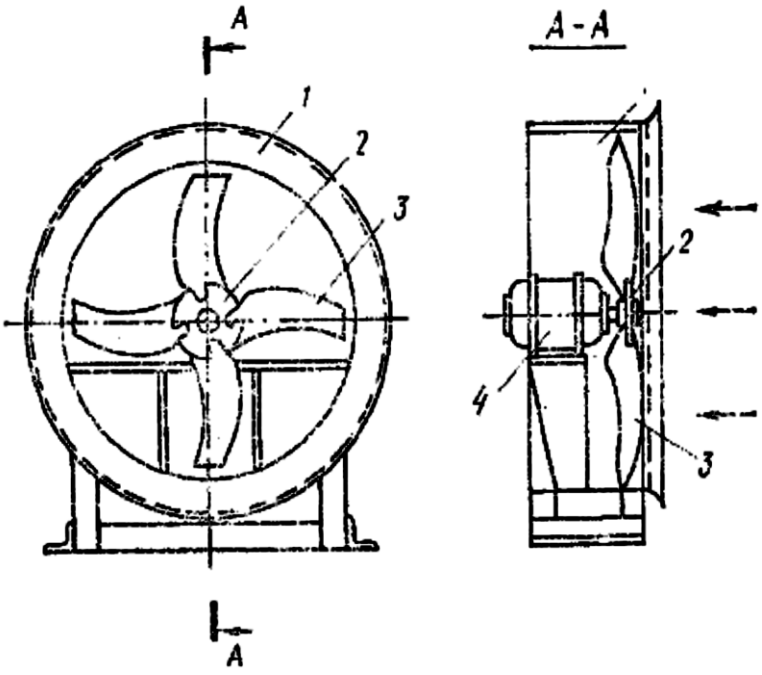
4.4 суретте түтінді мұржаның жұмыс істеу схемасы келтірілген. Жылулық өңдеуден өткен түтінді газ жылулық қондырғының жұмыс камерасынан (а) түтінді каналдар арқылы (б) түтінді мұржаға (в) өтіп атмосфераға лақтырылады.




4.4 сурет. Түтінді мұржаның жұмыс істеу схемасы

***Жасанды қозғалыс*** арқылы жылулық өңдеуден өткен газды ағындарды (ыстық ауа, түтінді газ) жұмыс камерасынан шығару үшін желдеткіш құрал-жабдықтарын және эжекторларды қолданады. Конструкциялық ерекшеліктеріне және жұмыс принциптеріне сәйкес желдеткіштер осьтік және ортадан тепкіш болып бөлінеді.

***Осьтік желдеткіштер*** – конструкциясы бойынша қарапайым және салыстырмалы төмен температурадағы газды ағындарды қозғалысқа келтіру үшін қолданады. Көбінесе кептіргіш қондырғыларының жұмыс камерасында жылутасымалдағыш айналымын (циркуляция) тудыру үшін, кейде осы мақсатпен пештердің қыздыру және суыту бөлімдерінде қолданады. Осьтік желдеткіштердің негізгі тетіктеріне қаңқасы *1*, жұмыс доңғалағы *2*, қалақтары *3* және электрқозғалтқыш *4* жатады (4.5 сурет).

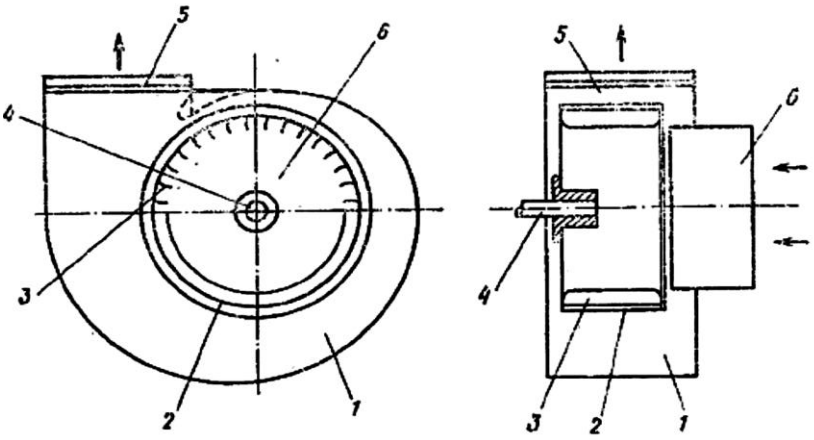



4.5 сурет. Осьтік желдеткіштің схемасы

Осьтік желдеткіштер жылутасымалдағыштың қозғалыс жолында аз кедергі келтіреді. Сондықтан олардың пайдалы әсер коэффициенті 0,7-0,75 аралығында болады. Алайда, олардың максимальды тегеурін күші 250-300 *Па* аралығында ғана болады. Өндірістік осьтік желдеткіштер қаңқасының өлшемдері 0,4-1,2*м*, өнімділігі 1200-4000 $м^3$/*сағат* аралығында болады. Осьтік желдеткіштердің

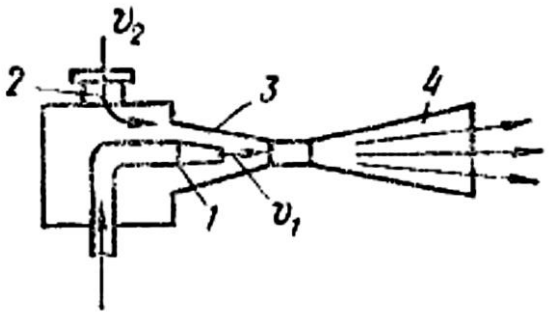
электрқозғалтқышы жылутасымалдағышпен тікелей жанасатын болғандықтан, олардың қолданылу температурасы шектеулі болады (100 $^oC$-тан төмен).

***Ортадан тепкіш желдеткіштер*** – қуаты жоғары құрал-жабдықтарға жатады. Жұмыс қысымы бойынша желдеткіштер 3 топқа бөлінеді: төмен қысымды (жұмыс қысымы – 1000 *Па* дейін), орташа қысымды (жұмыс қысымы – 2000 *Па* дейін) және жоғары қысымды (2000-10000 *Па* дейін). Төмен және орташа қысымды желдеткіштердің өнімділігі 3000-100000 $м^3/сағат$, ал жоғары қысымды желдеткіштердің өнімділігі 5000-20000 $м^3/сағат$ аралығында болады. Желдеткіш спирал тәрізді қаңқадан *1*, орталықтан ауытқу арқылы айналатын доңғалақтан *2*, қалақтардан *3*, біліктен *4*, газды ағын шығатын бөліктен *5* және газды ағын сорылатын бөліктен *6* тұрады. Доңғалақ айналу кезінде сорылатын бөліктен ішке енген газды ағын қалақтармен орталықтан тебу күші арқылы қаңқаның ішкі бетіне қарай ығысып, шығатын бөліктен желдеткіштен сыртқа шығады (4.6 сурет).




4.6 сурет. Ортадан тепкіш желдеткіштің схемасы

***Эжектор*** деп – қысымдары және қозғалу жылдамдықтары әртүрлі газды ағындарды араластыру арқылы жалпы бір ағын алатын құрылғыны айтады.




4.7 сурет. Эжектордың жұмыс істеу схемасы

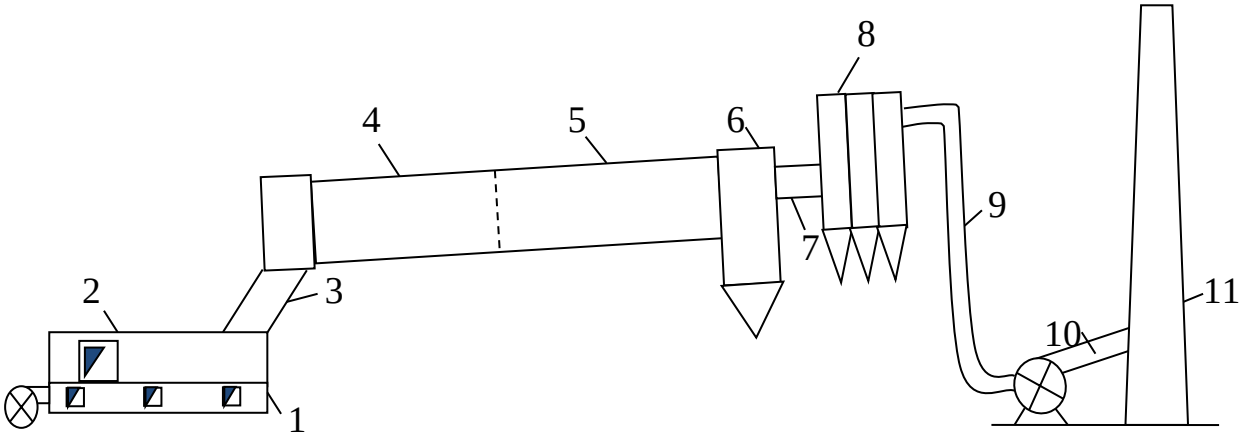
Белгілі бір қысымда қозғалу жылдамдығы жоғары ($\upsilon_1$) газды ағын құбыр *1* арқылы эжектордың ішіне беріледі. Нәтижесінде эжектордың ішіне басқа құбыр *2* арқылы екінші бір жылдамдықта ($\upsilon_2$) берілетін газды ағын ішке қарай сорылып, эжектордың араласу камерасында *3* бірге араласады. Газды ағындар қоспасы эжектордың диффузоры *4* арқылы сыртқа шығарылады (4.7 сурет).

Сондықтан, эжекторлар тек қана газды ағындарды қозғалысқа келтіріп қана қоймай, олардың араласуына да мүмкіндік тудырады. Эжекторларды жылулық қондырғылардың жұмыс камераларында тұйықталған газды ағын айналымын жасау (рециркуляция), жұмыс камерасына жылутасымалдағыштарды беру және жылулық өңдеуден өткен түтінгі газдарды сыртқа шығару, сонымен қатар, жанарғы құрылғыларында газды отын мен ауаны сору және оларды жағуға дейін алдын-ала араластыру үшін қолданылады.

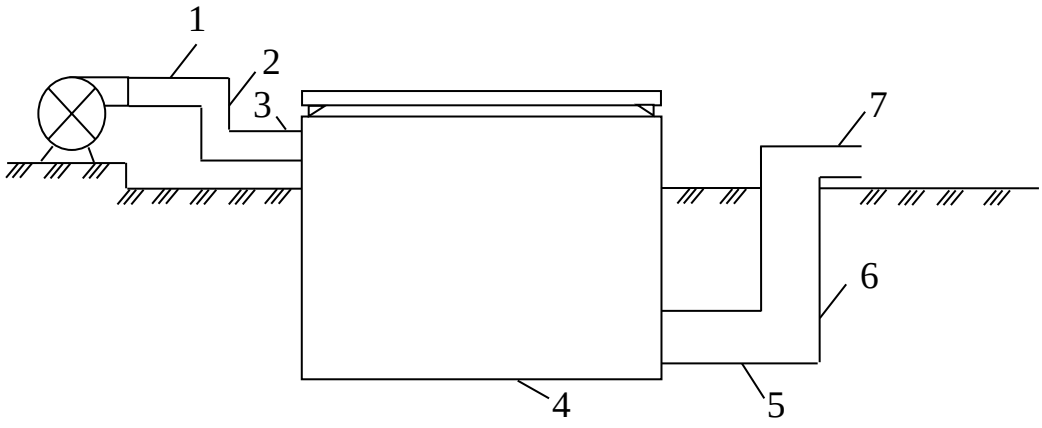
## 4.3. Есепті орындау әдістемесі

### 4.3.1 Жылулық қондырғының жұмыс каналдарындағы газды ағындардың қозғалу бағытының схемасын құру

Жылулық қондырғыларды аэродинамикалық есептеу үшін, қондырғының конструкциясына сәйкес, жұмыс каналдарындағы газды ағындардың қозғалу бағытының сипаттайтын схемасын алдын-ала құру қажет. Цемент клинкерін сулы тәсілде күйдіруге арналған айналмалы пешінің және бетон бұйымдарын жылуылғалдылық өңдеуге арналған шұңқырлы булау камерасының аэродинамикалық схемалары сәйкесінше 4.8 және 4.9 суреттерде келтірілген.




4.8 сурет. Цемент клинкерін сулы тәсілде күйдіруге арналған айналмалы пешінің аэродинамикалық схемасы. *1* – мұздатқышқа суық ауа беру жүйесі, *2* – мұздатқыш, *3* – ыстық ауаны пешке жіберетін канал, *4* – пештің жұмыс камерасы (кальцилену және күйдіру бөлімдері), *5* – пештің жұмыс камерасы (қыздыру және кептіру бөлімдері), *6* – шлам беру кеңістігі, *7* – түтінді газды шығару каналы, *8* – шаң отырғызу құрылғысы (электрофильтр), *9* – түтінді газды түтінді сорғышқа жіберу каналы, *10* – түтінді газды түтінді мұржаға жіберу каналы, *11* – түтінді мұржа.




4.9 сурет. Бетон бұйымдарын жылуылғалдылық өңдеуге арналған шұңқырлы булау камерасының аэродинамикалық схемасы. 1, 2, 3 – суық ауа беру жүйесі, 4 – қондырғының жұмыс камерасы, 5, 6, 7 – бу ауа қоспасын шығару жүйесі

### 4.3.2 Жұмыс каналдарындағы газды ағындар қозғалысы жолында кездесетін шығындалу тегеуріндерінің мәнін есептеу

Жылулық қондырғылардың конструкциясы әр түрлі күрделі бөлімдерден құрылғандықтан оның барлық көлемі бойынша толық шығындалу тегеурінін есептеу біршама қиындық тудырады. Есептеуді жеңілдету мақсатымен, жылулық қондырғы газды ағынның қозғалу сипаты барлық көлемі бойынша біркелкі болатын және жергілікті кедергімен аяқталатын бірнеше бөлімдерге бөлінеді. Содан соң, әр бөлімдегі жеке анықталған шығындалу тегеуріндерінің (геометриялық, үйкеліс, жергілікті және бұйымдарға) жалпы мөлшерін бір-біріне қосып, толық шығындалу тегеуріні анықталады.

Әр бөлімдердегі шығындалу тегеуріндерінің мәнін есептеуден бұрын, сол бөлімнің конструкциялық ерекшелігіне сәйкес қандай шығындалу тегеуріні туындайтының анықтап алу қажет. Содан кейін, аэродинамикалық көрсеткіштердің мәндерін (газды ағындардың жұмыс көлемі, олардың қозғалу жылдамдығы, газды ортаның температурасы, каналдардың өлшемдері және т.б.) қолданып, есептеуді жүргізеді.

Газды ағындардың жұмыс көлемі мына формула бойынша есептеледі:

$$V_{ж} = 1{,}1 \cdot V_{г} \ , \ м^3/сағат \qquad (4.10)$$

мұнда: 1,1 – қосымша коэффициент, есептеудің дұрыс есептелмегенін, қондырғыны тұрғызу кезіндегі жобадан ауытқуды, каналдардағы саңлауларды және тағы басқаларды ескереді.

$V_{г}$ – қондырғының жұмыс каналдарындағы газды ағындардың көлемдік шығыны, $м^3/сағат$

Газды ағындардың қозғалу жылдамдығы мына формула бойынша есептеледі:

$$w_{г} = \frac{V_{ж}}{3600 \cdot F} \ , \ м^3/секунд \qquad (4.11)$$

мұнда: $F$ – каналдардың қима ауданы, $м^2$

Әр бөлімдердегі шығындалу тегеуріндерінің мәндері (4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9) формулалар арқылы есептеледі.

### 4.3.3 Жылулық қондырғыдағы толық шығындалатын және қажетті тегеуріннің мәнін есептеу

Жылулық қондырғылардағы толық шығындалу тегеуріні, әр бөлімдегі жеке анықталған шығындалу тегеуріндерінің (геометриялық, үйкеліс, жергілікті және бұйымдарға) жалпы мөлшеріне тең болады.

Демек, жылулық қондырғының толық шығындалу тегеуріні мына формула бойынша анықталады:

$$\sum h_{тол} = h_1 + h_2 + h_3 + .....+ h_i, Па \qquad (4.12)$$

мұнда: $h_1, h_2, h_3 .... h_i$ – қондырғының әр бөліміндегі анықталған шығындалу тегеуріндерінің мәндері, *Па*

$$h_1 = h_{геом1} + h_{жер1} + h_{үйк1} + h_{бұй1}, Па$$

$$h_2 = h_{геом2} + h_{жер2} + h_{үйк2} + h_{бұй2}, Па$$

$$h_3 = h_{геом3} + h_{жер3} + h_{үйк3} + h_{бұй3}, Па$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$h_i = h_{геом_i} + h_{жер_i} + h_{үйк_i} + h_{бұй_i}, Па$$

Жылулық қондырғыдағы қажетті тегеуріннің мәні үрлегіш-сорғыш құрылғыларын таңдау үшін қажет. Жылулық қондырғының дұрыс жұмыс істеуіне қажетті тегеурін үрлегіш-сорғыш құрылғыларының көмегімен қалыптасады және ол толық шығындалу тегеурін мәнінен 20÷40 пайыз жоғары болуы тиіс. Бұл жағдай, жылулық қондырғылардың каналдарында қосымша кедергілердің пайда болуы (каналдардың қима аудандары ішкі бетінің ) және атмосфералық жағдайлардың ауытқуына байланысты қондырғы бір қалыпты жұмыс істеуі үшін қажет. Жылулық агрегаттағы қажетті тегеурінді мына формула бойынша анықталады:

$$H_{қаж} = (1{,}2 \div 1{,}4) \cdot \sum h_{тол}, Па \qquad (4.13)$$

### 4.3.4 Кедергі диаграммасын және қондырғының аэродинамикалық сипаттамасын графикалық тұрғызу

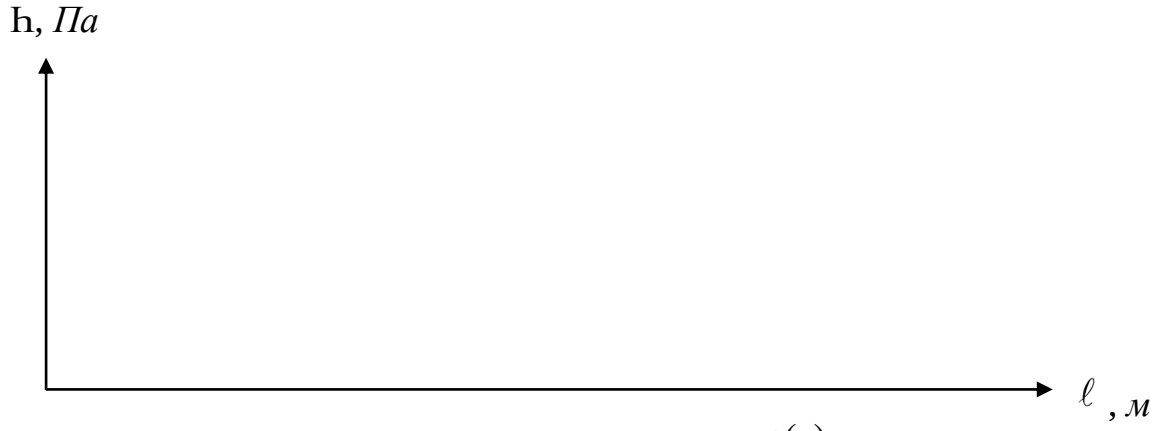
Газды ағын қозғалысының сипатына және қондырғы бөлімдердің ұзындықтарына байланысты тегеуріннің өзгеруін көрнекті түрде бейнелеу үшін, бөлімдердің ұзындықтары мен сол бөлімдердегі шығындалу тегеуріндерінің мәні арасындағы байланыстылықты көрсететін график $h = f(\ell)$ кедергі диаграммасы деп аталады. Шығындалу тегеурін мәні ординат осіне, ал қондырғы ұзындықтарының мәні абсцисс осіне қойылады (4.10 сурет).

Жылулық агрегаттың аэродинамикалық сипаттамасы шығындалатын тегеурін мен агрегаттың каналдарынан өтетін газды ағын мөлшері арасындағы математикалық байланысты көрсетеді және жылулық агрегаттың өнімділігін арттырудағы мүмкіндігін анықтау үшін қажет.

$$\sum h_{тол} = A \cdot V^2_{ж.орт} \qquad (4.14)$$

мұнда: $A$ – берілген қондырғы үшін шығындалу тегеуріндерінің барлық коэффициентерінің мәнін, каналдардың өлшемдерін, газды ағындардың қозғалу бағыттарын, газды ағынның және қоршаған ортадағы ауаның температурасын және т.б. көрсеткіштерді ескеретін тұрақты шама. $A = \sum h_{тол} / V^2_{ж.орт}$

$V_{ж.орт}$ – қондырғының каналдарының өтетін газды ағындардың орташа шығын мөлшері, *м³/секунд*



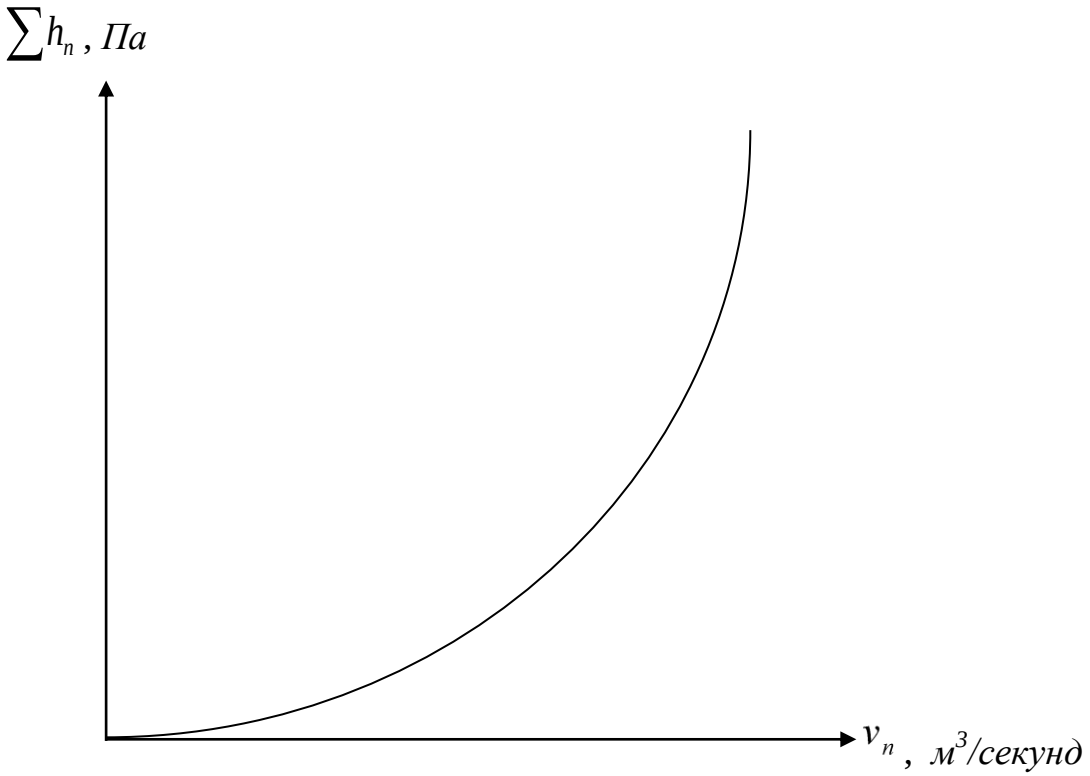

4.10 сурет. Кедергі диаграммасы $h = f(\ell)$

Қондырғының аэродинамикалық сипаттамасының графигін тұрғызу үшін газды ағынның орташа шығын көлемі ($V_{ж.орт}$) мәнінен үш мән жоғары және үш мән төмен етіп қабылданады. Бұл мәндер 4.1 кестеге толтырылып, оларға сәйкес болатын газды ағынның орташа шығын мөлшерінің мәндері анықталады және *A* мәнін қолданып, әр қатар үшін шығындалу тегеуріндерінің мәндері есептеледі.

4.1 кесте. Қондырғының аэродинамикалық сипаттамасын тұрғызу көрсеткіштері

| Газды ағынның шығын мөлшері $V_n$ , *м³/секунд* | $V_n^2$ | $\sum h_n = A \cdot V_n^2$ |
|---|---|---|
| $V_1$ | | |
| $V_2$ | | |
| $V_3$ | | |
| $V_{ж.орт}$ | | |
| $V_5$ | | |
| $V_6$ | | |
| $V_7$ | | |

Жылулық қондырғының аэродинамикалық сипаттамасының графикалық көрінісі парабола түрінде болады. Параболаның тармақ сызығы *A* көрсеткішіне байланысты. Есептелген мәндер бойынша тұрғызылатын қондырғының аэродинамикалық сипаттамасының графигі $h = f(v)$ 4.11 суретте көрсетілген.




4.11 сурет. Қондырғының аэродинамикалық сипаттамасы $h = f(v)$

### 4.3.5 Газды ағындарды қозғалысқа келтіруге арналған желдеткіш және үрлегіш құрал-жабдықтарын таңдау және есептеу

Газды ағынның жұмыс көлемі ($V_ж$) және қажетті тегеурінің ($H_қ$) мәндерін анықтағаннан кейін, желдеткішті 4.12, 4.13, 4.14 суреттерде келтірілген номограммалар бойынша таңдайды.

Номограмма екі бөліктен тұрады: төменгі бөлігі желдеткіштің нөмірі ($N_ж$) және газды ағынның көлемдік шығыны ($V_ж$) арасындағы байланыстылықты көрсетеді, ал жоғарғы бөлігі желдеткіштің қажетті тегеуріні ($H_қ$), пайдалы әсер коэффициенті ($\eta_ж$) және роторының шартты айналу саны (*A*) арасындағы байланыстылықты көрсетеді.

Желдеткішті таңдау мына жолмен жүргізіледі: номограмманың төменгі бөлігінен есептелген газды ағынның көлемдік шығынының мәні ($V_ж$) арқылы, желдеткіштің әр түрлі нөмірлеріне $N_ж$ сәйкес сызықтармен қиылысатын көлденең сызық жүргізеді. Газды ағынның көлемдік шығынының мәнін ($V_ж$) сол жақтағы шкала бойынша таңдау кезінде үздіксіз сызықтармен қиылысқан

нүктені алады, ал оң жақтағы шкала бойынша таңдау кезінде үздікті сызықтармен қиылысқан нүктені алады.

Содан соң, қиылысқан нүкте арқылы номограмманың жоғарғы бөлігіндегі есептелген толық тегеурін мәнінен сәйкес келетін көлденең сызыққа дейін тіке перпендикуляр сызық жүргізіледі. Номограмманың жоғарғы бөлігіндегі қиылысу арқылы алынған нүкте бойынша желдеткіштің пайдалы әсер коэффициентінің ( $\eta_ж$ ) және доңғалағының шартты айналу санының ($A$) мәндерін анықтайды. Желдеткіштің пайдалы әсер коэффициентін ( $\eta_ж$ ) максималды мәні бойынша қабылдайды.

Желдеткіштің шартты айналу санын мына формула бойынша есептейді:

$$n = \frac{A}{N_ж}, айналу / минут \qquad (4.15)$$

мұнда: $A$ – доңғалақтың шартты айналу саны (номограммадан алынады);

$N_ж$ – желдеткіш нөмірі.

Желдеткіштің электрқозғалтқыш білігіндегі қуатын мына формула бойынша есептейді:

$$N_Э = \frac{V_ж \cdot H_қ}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta_ж \cdot \eta_б}, кВт \qquad (4.16)$$

мұнда: $\eta_ж$ – желдеткіштің пайдалы әсер коэффициенті (номограммадан алынады);

$\eta_б$ – электрқозғалтқыштан желдеткіш білігіне берілетін пайдалы әсер коэффициенті. (0,9–1,0 аралығында қабылданады).

Электрқозғалтқыштың белгіленген қуатын мына формула бойынша есептейді:

$$N_Б = K \cdot N_Э, кВт \qquad (4.17)$$

мұнда: $K$ –қосымша қуат коэффициенті, желдеткіштің электрқозғалтқыш білігіндегі қуат:

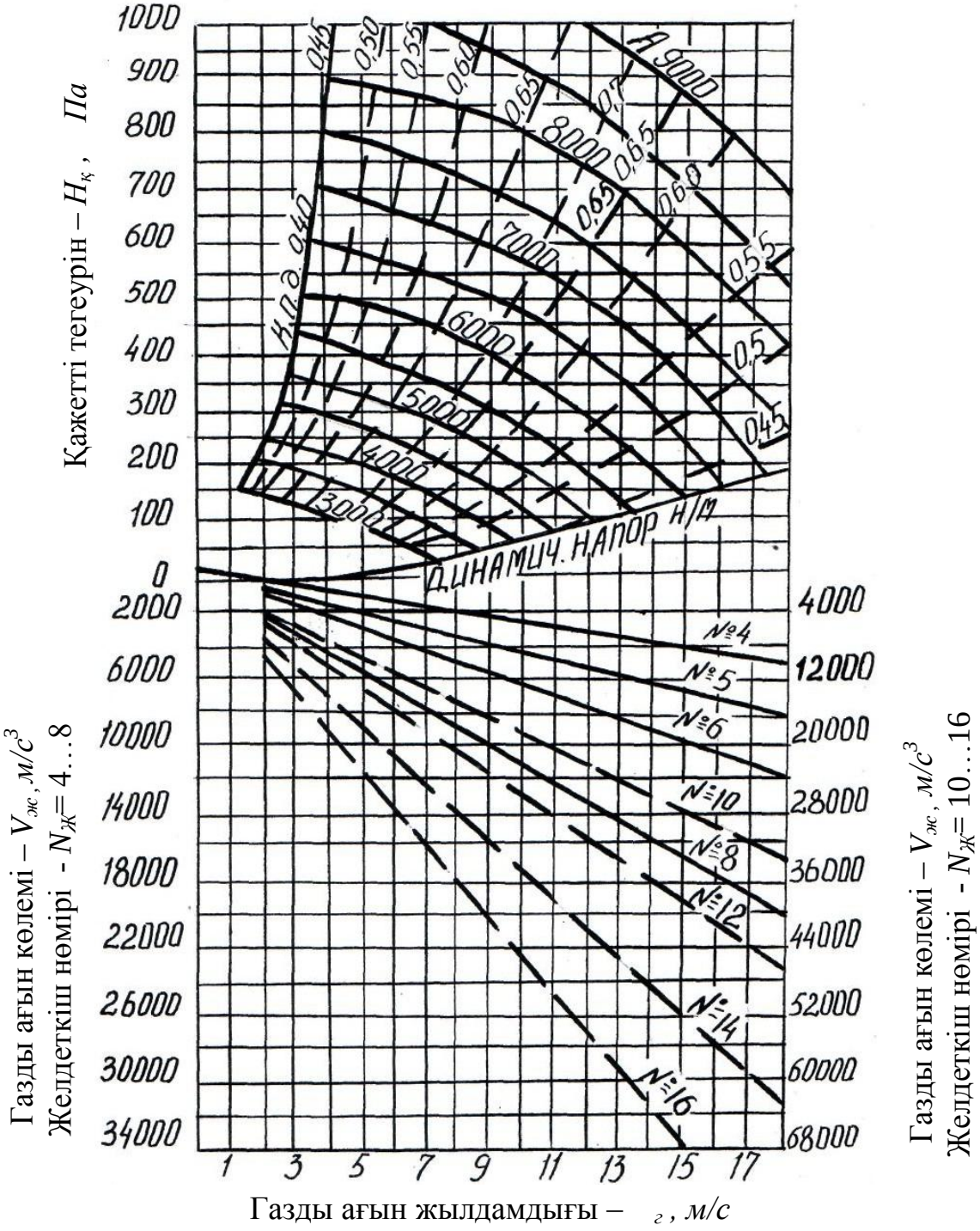
0,5 *кВт* аз болғанда $K = 1{,}5$;

0,5÷1,0 *кВт* аралығында $K = 1{,}3$;

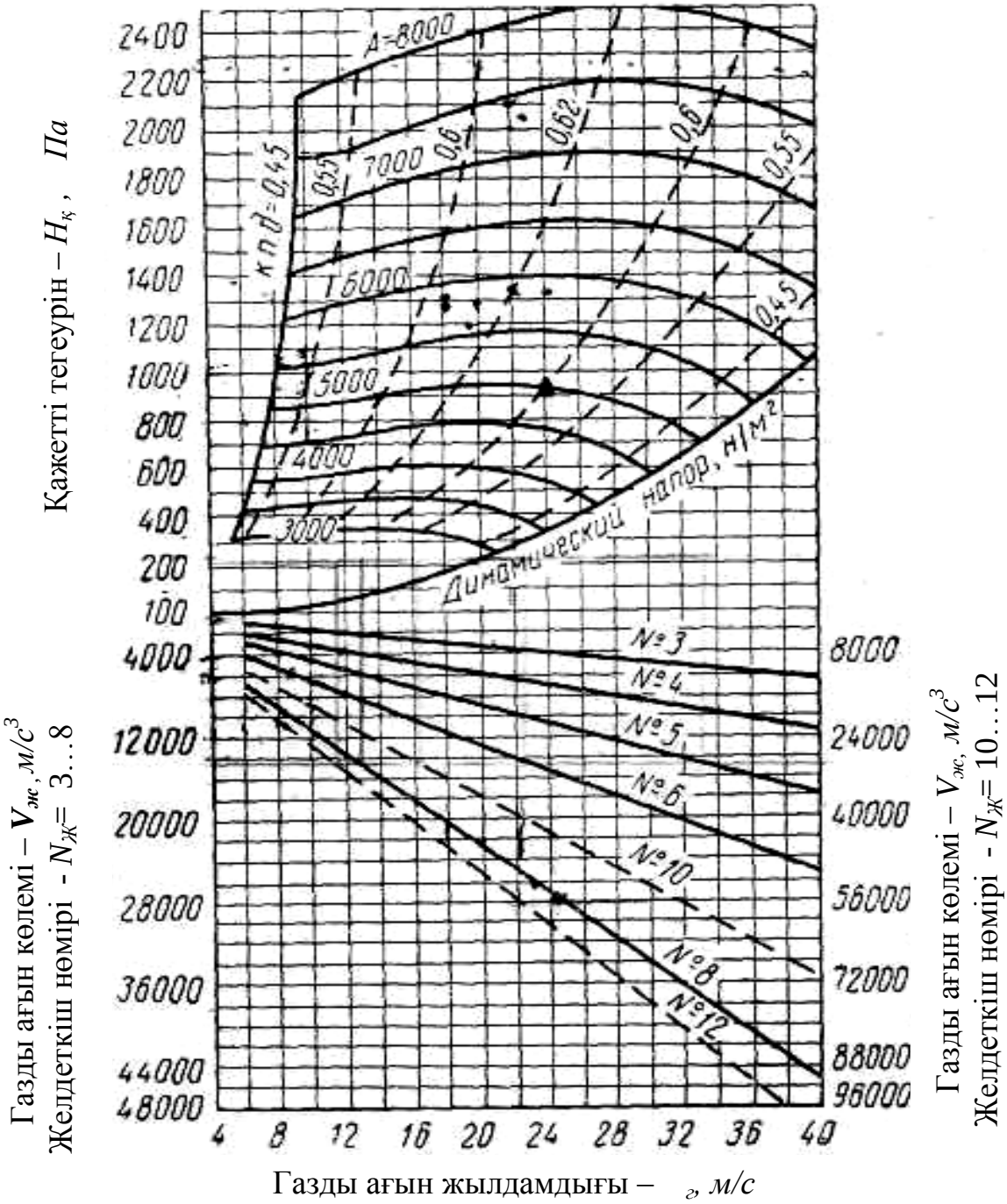
1,01÷2,0 *кВт* аралығында $K = 1{,}2$;

2,01÷5,0 *кВт* аралығында $K = 1{,}15$;

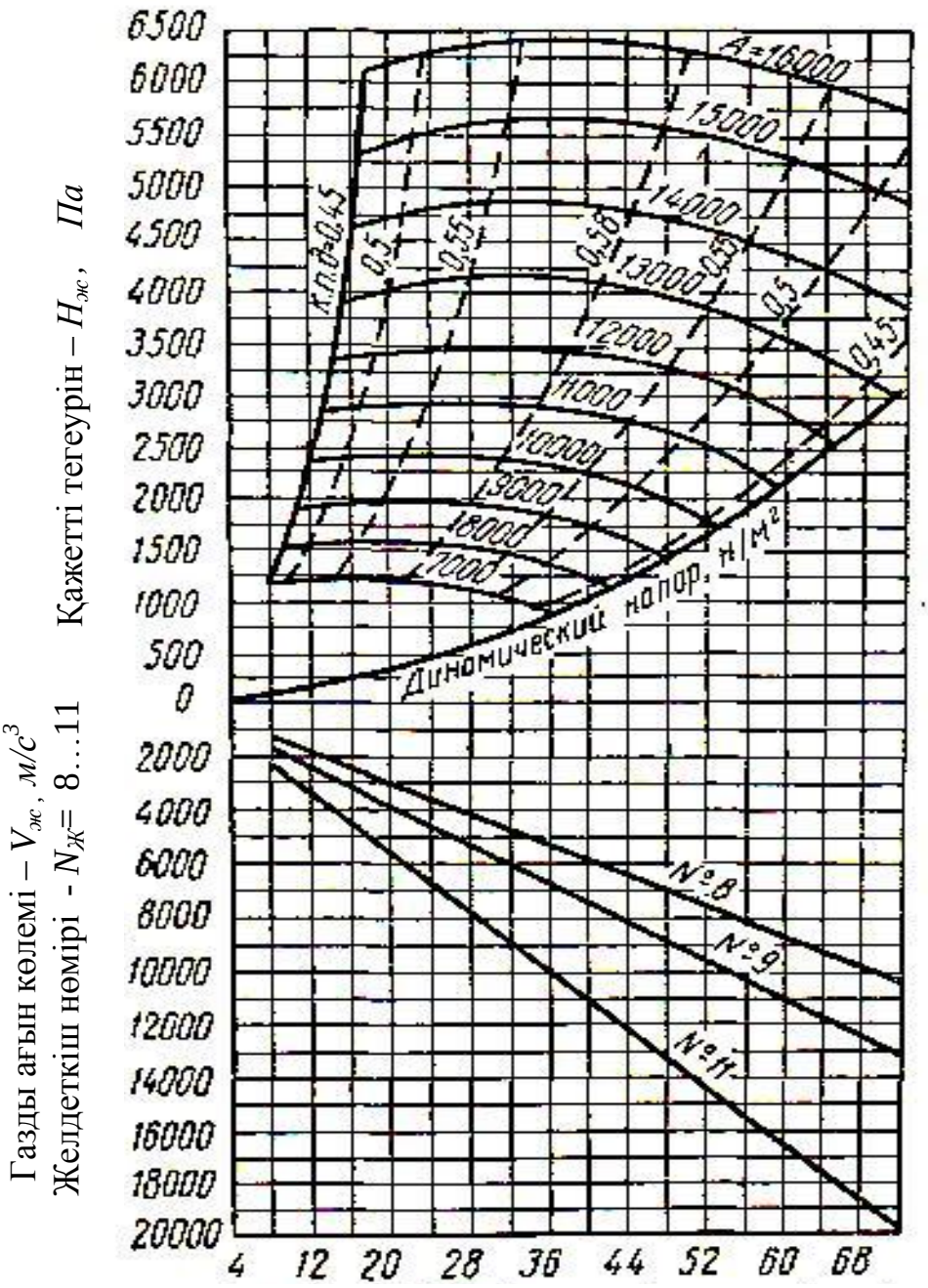
5,0 *кВт* жоғары болған кезде $K = 1{,}1$.




4.12 сурет. Төмен қысымды ортадан тепкіш желдеткіштерді таңдау номограммасы




4.13 сурет. Орташа қысымды ортадан тепкіш желдеткіштерді таңдау номограммасы




4.14 сурет. Жоғары қысымды ортадан тепкіш желдеткіштерді таңдау номограммасы

## 4.4. Есептеуді орындау үшін алдын-ала берілгендер

1. Айналмалы пешін аэродинамикалық есептеу үшін алдын-ала берілгендер

| № | Көрсеткіштер | Мәндері |
|---|---|---|
| 1 | Атмосфералық ауаның температурасы | $t_{ауа}=20\ ^oC$ |
| 2 | Бөлімдердегі газды ағынның температуралары | $t_1=20\ ^oC$; $t_2=500\ ^oC$; $t_3=500\ ^oC$; $t_4=500\div1700\ ^oC$; $t_5=1700\div350\ ^oC$; $t_6=250\ ^oC$; $t_7=250\ ^oC$; $t_8=250\ ^oC$; $t_9=250\ ^oC$; $t_{10}=250\ ^oC$; $t_{11}=200\ ^oC$; |
| 3 | Атмосфералық ауаның тығыздығы | $\rho_{ауа}=1,293\ кг/м^3$ |
| 4 | Газды ағынның тығыздығы | $\rho_{газ}=1,331\ кг/м^3$ |
| 5 | Бөлімдердегі шығындар | $h_3=10\ Па$; $h_6=50\ Па$; $h_8=400\ Па$; $h_9=20\ Па$; $h_{10}=20\ Па$; |
| 6 | Шынжырларға шығындалатын шығындар | $h_{шынж}=15\ Па/пог.м$ |
| 7 | Кедергі коэффициентерінің мәні | үйкелісте – 0,05; бұрылыстарда – 0,8÷1,5; кеңеюде – 0,6; кішіреюде – 0,45; атмосфераға шығу кезінде – 2,0 |

| Нұсқа | Газды ағынның көлемі $м^3/сағат$ | Бөлімдердің өлшемдері, *м* | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 4 | 5 | 7 | 11 |
| 1 | $V_1$ =26000, $V_2$ =30000 | 2x2x1 | 5x2x1 | 60x3,0 | 65x3,0 | 4x2 | 90x1,0 |
| 2 | $V_1$ =24000, $V_2$ =28000 | 1,5x1,5x1 | 6x4x1 | 65x3,5 | 65x3,5 | 4x2 | 95x1,2 |
| 3 | $V_1$ =30000, $V_2$ =34000 | 2,5x2,5x1 | 7x4x1 | 62x3,0 | 70x3,0 | 4x2 | 100x1,4 |
| 4 | $V_1$ =32000, $V_2$ =36000 | 2x2x1 | 8x6x1 | 65x3,5 | 65x3,5 | 5x3 | 105x1,5 |
| 5 | $V_1$ =34000, $V_2$ =38000 | 2x1,5x1 | 9x6x1 | 65x3,5 | 70x3,5 | 5x3 | 110x1,8 |
| 6 | $V_1$ =36000, $V_2$ =40000 | 2x2x1 | 6x4x1 | 70x3,6 | 75x3,6 | 4x4 | 120x2,0 |
| 7 | $V_1$ =38000, $V_2$ =42000 | 1,5x1x1 | 7x4x1 | 60x4,0 | 55x4,0 | 4x4 | 120x2,2 |
| 8 | $V_1$ =27500, $V_2$ =31200 | 2,2x2,2x1,2 | 5x1,5x1 | 60x3,2 | 65x3,2 | 5x2 | 90x1,5 |
| 9 | $V_1$ =23500, $V_2$ =28900 | 1,65x1,65x1,1 | 6x1,7x1 | 62x3,5 | 65x3,5 | 6x2 | 95x1,2 |
| 10 | $V_1$ =31640, $V_2$ =34550 | 2,7x2,7x1 | 7x1,6x1 | 64x3,0 | 70x3,0 | 3x2 | 105x1,4 |
| 11 | $V_1$ =33452, $V_2$ =34897 | 2,3x2,4x1,3 | 8x3,5x1 | 66x3,5 | 65x3,5 | 5x4 | 108x1,5 |
| 12 | $V_1$ =33650, $V_2$ =38987 | 2,5x1,5x1,1 | 9x4,5x1 | 67x3,5 | 70x3,5 | 6x3 | 111x1,8 |
| 13 | $V_1$ =35270, $V_2$ =42478 | 1,8x1,8x1 | 6x4,2x1 | 71x3,6 | 75x3,6 | 5x4 | 127x2,0 |
| 14 | $V_1$ =37666, $V_2$ =42563 | 1,5x2x1 | 7x4,8x1 | 63x4,1 | 55x4,1 | 4x2 | 122x2,2 |
| 15 | $V_1$ =40600, $V_2$ =42500 | 1,5x2x1 | 7x4,8x1 | 63x4,1 | 55x4,1 | 4x2 | 122x2,2 |
| 16 | $V_1$ =26500, $V_2$ =30550 | 2,3x2x1,1 | 5x2,5x1 | 55x3,1 | 66x3,1 | 4x2,5 | 106x1,1 |
| 17 | $V_1$ =24800, $V_2$ =28600 | 1,4x1,4x1 | 6x4,4x1 | 61x3,4 | 65x3,4 | 4x2,4 | 97x1,3 |
| 18 | $V_1$ =31200, $V_2$ =33650 | 2x2,3x1 | 7x4,3x1 | 59x3,2 | 73x3,2 | 4x2,2 | 103x1,2 |
| 19 | $V_1$ =32750, $V_2$ =36650 | 1,9x2x1,3 | 8x5,1x1 | 48x3,7 | 55x3,7 | 5x3,1 | 105x1,5 |
| 20 | $V_1$ =34250, $V_2$ =38360 | 2x1,7x1,3 | 9x6,3x1 | 66x3,4 | 69x3,4 | 5x3,2 | 107x1,8 |
| 21 | $V_1$ =36950, $V_2$ =41270 | 2x3x1 | 6x4,5x1 | 72x3,5 | 78x3,5 | 4x3,4 | 93x2,2 |
| 22 | $V_1$ =37360, $V_2$ =42550 | 3,1x2,2x1,1 | 7x3,5x1 | 67x4,2 | 60x4,2 | 4x4,1 | 98x2,3 |
| 23 | $V_1$ =27200, $V_2$ =31400 | 2x2,2x1,2 | 5x1,4x1 | 65x3,8 | 68x3,8 | 5x2,8 | 95x1,4 |
| 24 | $V_1$ =23525, $V_2$ =27450 | 1,5x1,5x1,5 | 6x1,2x1 | 63x3,8 | 69x3,8 | 6x2,9 | 99x1,6 |
| 25 | $V_1$ =31150, $V_2$ =34170 | 2,4x2,4x1,3 | 7x1,4x1 | 64x3,2 | 71x3,2 | 3x2,7 | 101x1,4 |
| 26 | $V_1$ =33750, $V_2$ =34975 | 1,3x1,4x1 | 8x2x1 | 69x3,5 | 74x3,5 | 5x4 | 108x1,7 |
| 27 | $V_1$ =33545, $V_2$ =37431 | 2,1x1,9x1,1 | 9x4x1 | 63x3,5 | 72x3,5 | 6x3,2 | 117x1,8 |
| 28 | $V_1$ =35789, $V_2$ =42521 | 1,66x1,75x1 | 6x2x1 | 77x3,7 | 75x3,7 | 5x4,7 | 128x2,1 |
| 29 | $V_1$ =37250, $V_2$ =41640 | 1,8x1,9x1 | 7x4x1 | 62x4,5 | 54x4,5 | 4x2,5 | 135x2,5 |
| 30 | $V_1$ =41500, $V_2$ =43700 | 1x2x1 | 7x3x1 | 61x4,5 | 65x4,5 | 4x22,6 | 142x2,4 |

2. Шұңқырлы булау камерасын аэродинамикалық есептеу үшін алдын-ала берілгендер

| № | Көрсеткіштер | Мәндері |
|---|---|---|
| 1 | Атмосфералық ауаның температурасы | $t_{ауа}=20\ ^oC$ |
| 2 | Бөлімдердегі газды ағынның температуралары | $t_1=20\ ^oC$; $t_2=20\ ^oC$; $t_3=20\ ^oC$; $t_4=50\div100\ ^oC$; $t_5=30\div60\ ^oC$; $t_6=20\div40\ ^oC$; $t_7=20\div25\ ^oC$; |
| 3 | Атмосфералық ауаның тығыздығы | $\rho_{ауа}=1,293\ кг/м^3$ |
| 4 | Газды ағынның тығыздығы | $\rho_{газ}=1,251\ кг/м^3$ |
| 5 | Кедергі коэффициентерінің мәні | үйкелісте – 0,05; бұрылыстарда – 0,8÷1,5; кеңеюде – 0,6; кішіреюде – 0,45; бұйымдарға – 0,25÷0,45; |

| Нұсқа | Газды ағынның көлемі $м^3/сағат$ | Бөлімдердің өлшемдері, *м* | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | V =6000,0 | 2,0x0,2 | 2,5x0,2 | 4,0x0,2 | 11x3,2x5,0 | 4,5x0,5 | 5,0x0,5 | 2,5x0,5 |
| 2 | V =5000,0 | 1,5x0,2 | 2,2x0,2 | 3,5x0,2 | 12x3,8x4,0 | 3,5x0,5 | 4,2x0,5 | 2,0x0,5 |
| 3 | V =4000,0 | 1,8x0,25 | 2,5x0,25 | 3,2x0,25 | 10x4,5x5,0 | 5,5x0,4 | 4,5x0,4 | 3,5x0,4 |
| 4 | V =4200,0 | 2,5x0,21 | 2,1x0,21 | 2,8x0,21 | 8x3,5x4,5 | 2,8x0,45 | 3,5x0,45 | 2,1x0,45 |
| 5 | V =7500,0 | 2,3x0,22 | 2,2x0,22 | 2,8x0,22 | 9x4,5x4,3 | 4,1x0,35 | 4,5x0,35 | 3,5x0,35 |
| 6 | V =6200,0 | 1,9x0,2 | 1,5x0,2 | 3,1x0,2 | 12x3,8x4,0 | 2,5x0,65 | 5,0x0,65 | 2,5x0,65 |
| 7 | V =8100,0 | 2,0x0,25 | 2,5x0,25 | 4,0x0,25 | 10x4,0x4,2 | 3,6x0,55 | 3,5x0,55 | 2,9x0,55 |
| 8 | V =5800,0 | 3,1x0,2 | 3,5x0,2 | 2,5x0,2 | 9x4,5x5,0 | 4,5x0,6 | 5,0x0,6 | 3,2x0,6 |
| 9 | V =4900,0 | 1,6x0,15 | 1,9x0,15 | 2,2x0,15 | 8x4,5x4,0 | 2,5x0,35 | 3,5x0,35 | 2,0x0,35 |
| 10 | V =4500,0 | 1,8x0,2 | 2,0x0,2 | 2,4x0,2 | 13x5,5x5,0 | 5,5x0,4 | 5,0x0,4 | 1,5x0,4 |
| 11 | V =5100,0 | 2,8x0,25 | 2,9x0,25 | 3,1x0,25 | 10x5,5x3,0 | 3,5x0,3 | 3,5x0,3 | 2,0x0,3 |
| 12 | V =9500,0 | 2,6x0,2 | 2,0x0,2 | 2,7x0,2 | 14x5x4,5 | 4,1x0,5 | 4,5x0,5 | 2,0x0,5 |
| 13 | V =6300,0 | 2,5x0,15 | 2,0x0,15 | 2,0x0,15 | 10x5,5x5,0 | 3,0x0,3 | 3,5x0,3 | 2,1x0,3 |
| 14 | V =5900,0 | 2,0x0,25 | 2,5x0,25 | 2,8x0,25 | 11x3,0x2,5 | 2,5x0,4 | 3,5x0,4 | 2,0x0,4 |
| 15 | V =6900,0 | 2,0x0,18 | 2,5x0,18 | 2,2x0,18 | 12x3,5x4,0 | 2,8x0,45 | 3,5x0,45 | 2,1x0,45 |
| 16 | V =6700,0 | 2,2x0,25 | 2,2x0,25 | 3,0x0,25 | 10x3,5x4,5 | 4,0x0,55 | 5,0x0,55 | 2,5x0,55 |
| 17 | V =3900,0 | 2,5x0,2 | 2,0x0,2 | 2,5x0,2 | 7x3,5x4,2 | 2,5x0,35 | 4,0x0,35 | 2,0x0,35 |
| 18 | V =4800,0 | 1,5x0,2 | 2,0x0,2 | 3,0x0,2 | 9x3,5x3,5 | 3,5x0,2 | 4,5x0,2 | 3,5x0,2 |
| 19 | V =4860,0 | 3,5x0,25 | 2,0x0,25 | 2,7x0,25 | 10x3,0x4,0 | 2,0x0,25 | 3,0x0,25 | 2,0x0,25 |
| 20 | V =5750,0 | 2,5x0,28 | 2,7x0,28 | 2,8x0,28 | 13x4,5x5,5 | 4,5x0,45 | 4,5x0,45 | 3,0x0,45 |
| 21 | V =6150,0 | 2,9x0,2 | 2,5x0,2 | 2,1x0,2 | 9x3,7x4,1 | 2,2x0,35 | 5,0x0,35 | 2,5x0,35 |
| 22 | V =5750,0 | 1,5x0,15 | 2,0x0,15 | 2,0x0,15 | 7x2,0x2,2 | 2,6x0,25 | 3,5x0,25 | 2,3x0,25 |
| 23 | V =5700,0 | 2,5x0,28 | 2,5x0,28 | 2,5x0,28 | 9x3,5x4,0 | 4,0x0,5 | 3,0x0,5 | 3,3x0,5 |
| 24 | V =6350,0 | 2,6x0,22 | 2,9x0,22 | 2,0x0,22 | 10,5x4,0x4,0 | 2,5x0,45 | 3,5x0,45 | 2,0x0,45 |
| 25 | V =6500,0 | 2,8x0,24 | 2,2x0,24 | 2,4x0,24 | 12,5x3,9x4,1 | 3,5x0,44 | 4,0x0,44 | 2,5x0,44 |
| 26 | V =7400,0 | 1,8x0,2 | 2,0x0,2 | 3,0x0,2 | 9,5x3,7x4,2 | 3,0x0,32 | 3,5x0,32 | 2,0x0,32 |
| 27 | V =7100,0 | 2,3x0,25 | 1,8x0,25 | 1,7x0,25 | 8,5x4,2x4,0 | 3,5x0,35 | 2,5x0,35 | 2,5x0,35 |
| 28 | V =6300,0 | 2,0x0,27 | 2,0x0,27 | 2,0x0,27 | 10,2x4,2x4,0 | 2,0x0,33 | 3,5x0,33 | 2,1x0,33 |
| 29 | V =7100,0 | 2,7x0,21 | 2,0x0,21 | 2,3x0,21 | 11,3x3,5x2,7 | 2,5x0,42 | 3,5x0,42 | 2,0x0,42 |
| 30 | V =7350,0 | 2,0x0,19 | 2,0x0,19 | 2,0x0,19 | 10x3,0x4,1 | 2,8x0,41 | 3,0x0,41 | 2,2x0,41 |

## 4.5. Студенттің өзіндік дайындалуға арналған бақылау сұрақтары

### 1. Жазбаша (ауызша) сұрақтар

1. Жылутехникасының аэродинамика бөлімінде қандай заңдылықтар қарастырылады?
2. Газды ағындарға арналған Бернулли теңдеуінің физикалық мағынасы қандай?
3. Жылулық қондырғылардың жұмыс каналдарындағы газды ағындарды еркін қозғалысқа келтіру қандай құрылғылар көмегімен жасалады?
4. Кедергі диаграммасы нені білдіреді?
5. Газды ағындар қозғалысы кезінде геометриялық тегеурін қалай пайда болады?
6. Газды ағындар қозғалысы кезінде статикалық тегеурін қалай пайда болады?
7. Газды ағындар қозғалысы кезінде жылдамдылық тегеурін қалай пайда болады?
8. Газды ағындар қозғалысы кезінде шығындалу тегеурін қалай пайда болады?
9. Газды ағындар қозғалысы кезінде геометриялық шығындалу тегеурін қалай пайда болады?
10. Газды ағындар қозғалысы кезінде жергілікті шығындалу тегеурін қалай пайда болады?
11. Газды ағындар қозғалысы кезінде үйкеліс шығындалу тегеурін қалай пайда болады?
12. Газды ағындар қозғалысы кезінде бұйымдарға шығындалу тегеурін қалай пайда болады?
13. Жылулық қондырғының аэродинамикалық пайдалы әсер коэффиценті анықталады?
14. Газды ағындардың статика заңының физикалық мағынасы қандай?
15. Газды ағындардың ыдыраусыз ағу теңдеуінің физикалық мағынасы қандай?
16. Түтінді мұржаның жұмыс істеу принципі неге негізделген?
17. Осьтік желдеткіштердің конструкциялық ерекшеліктері және жұмыс істеу принципі қандай?
18. Ортадан тепкіш желдеткіштердің конструкциялық ерекшеліктері және жұмыс істеу принципі қандай?
19. Жылулық қондырғылардағы газды ағындарды қозғалысқа келтіруге арналған үрлегіш-сорғыш құрылғылары қалай таңдалады?
20. Газды ағындар күйінің негізгі параметрлері қандай?

### 2. Тест сұрақтары

1. Газдардың статика теңдеуі

А) $Z \cdot g \cdot \rho_г + P_г + \frac{W_г^2}{2} \rho_г + h = const$,

Б) $V_t = V_O \left(1 + \frac{1}{273} \cdot t\right)$,

В) $Z \cdot g \cdot \rho_г + P_г + \frac{W_г^2}{2}\rho_г = const$,

Г) $\Delta P = Z \cdot g \cdot (\rho_a - \rho_г)$,

Д) $Z \cdot g \cdot (\rho_a - \rho_г) + (P_г - P_a) + \frac{W_г^2}{2}\rho_г + h = const$,

**2.** Теоретикалық жағдайда идеальды газдар үшін Бернулли теңдеуі

А) $Z \cdot g \cdot (\rho_a - \rho_г) + (P_г - P_a) + \frac{W_г^2}{2}\rho_г + h = const$,

Б) $\Delta P = Z \cdot g \cdot (\rho_a - \rho_г)$,

В) $Z \cdot g \cdot \rho_г + P_г + \frac{W_г^2}{2}\rho_г + h = const$,

Г) $Z \cdot g \cdot \rho_г + P_г + \frac{W_г^2}{2}\rho_г = const$,

Д) $V_t = V_O\left(1 + \frac{1}{273} \cdot t\right)$,

**3.** Нақты жағдайдағы газдар үшін Бернулли теңдеуі

А) $Z \cdot g \cdot \rho_г + P_г + \frac{W_г^2}{2}\rho_г + h = const$,

Б) $Z \cdot g \cdot \rho_г + P_г + \frac{W_г^2}{2}\rho_г = const$,

В) $\Delta P = Z \cdot g \cdot (\rho_a - \rho_г)$,

Г) $Z \cdot g \cdot (\rho_a - \rho_г) + (P_г - P_a) + \frac{W_г^2}{2}\rho_г + h = const$,

Д) $V_t = V_O\left(1 + \frac{1}{273} \cdot t\right)$,

**4.** Жылулық қондырғылардың ішіндегі газдар үшін Бернулли теңдеуі

А) $Z \cdot g \cdot \rho_г + P_г + \frac{W_г^2}{2}\rho_г + h = const$,

Б) $Z \cdot g \cdot (\rho_a - \rho_г) + (P_г - P_a) + \frac{W_г^2}{2}\rho_г + h = const$,

В) $Z \cdot g \cdot \rho_г + P_г + \frac{W_г^2}{2}\rho_г = const$,

Г) $V_t = V_O\left(1 + \frac{1}{273} \cdot t\right)$,

Д) $\Delta P = Z \cdot g \cdot (\rho_a - \rho_г)$,

**5.** Ағындардың ыдыраусыз ағу теңдеуі

А) $Z \cdot g \cdot \rho_г + P_г + \frac{W_г^2}{2}\rho_г = const$

Б) $\Delta P = Z \cdot g \cdot (\rho_a - \rho_г)$

В) $F_1 \cdot W_1 \cdot \rho_1 = F_2 \cdot W_2 \cdot \rho_2 \pm V_2 \cdot \rho_2 = F_3 \cdot W_3 \cdot \rho_3 \pm V_3 \cdot \rho_3 = const$

Г) $Z \cdot g \cdot \rho_г + P_г + \frac{W_г^2}{2}\rho_г + h = const$

Д) $Z \cdot g \cdot (\rho_a - \rho_г) + (P_г - P_a) + \frac{W_г^2}{2}\rho_г + h = const$

**6.** Газды ағындардың түзу бағыттан ауытқыған кезде пайда болатын жергілікті шығындалатын тегеуріннің мәні қандай формула бойынша анықталады?

А) $h = \pm Z \cdot g \cdot (\rho_a \frac{273}{T_a} - \rho_г \frac{273}{T_г})$,

Б) $h = \varsigma \cdot (\frac{W_г^2}{2}) \cdot (\frac{\ell}{d_{экв}}) \cdot \rho_г \cdot (\frac{T_г}{273})$,

В) $h = \varsigma \cdot (\frac{W_г^2}{2}) \cdot \rho_г \cdot (\frac{H}{d_{экв}}) \cdot \frac{T_{орт}}{273}$,

Г) $h = \varsigma \cdot (\frac{W_г^2}{2}) \cdot \rho_г \cdot \ell \cdot \left[ (\frac{T_a}{273}) - (\frac{t_1 - t_2}{273}) \right]$,

Д) $h = \varsigma \cdot (\frac{W_г^2}{2}) \rho_г \cdot (\frac{T_г}{273})$,

**7.** Үйкелгенде шығындалатын тегеуріннің мәні қандай формула бойынша анықталады?

А) $h = \varsigma \cdot (\frac{W_г^2}{2}) \cdot \rho_г \cdot \ell \cdot \left[ (\frac{T_a}{273}) - (\frac{t_1 - t_2}{273}) \right]$,

Б) $h = \varsigma \cdot (\frac{W_г^2}{2}) \rho_г \cdot (\frac{T_г}{273})$,

В) $h = \varsigma \cdot (\frac{W_г^2}{2}) \cdot \rho_г \cdot (\frac{H}{d_{экв}}) \cdot \frac{T_{орт}}{273}$,

Г) $h = \varsigma \cdot (\frac{W_г^2}{2}) \cdot (\frac{\ell}{d_{экв}}) \cdot \rho_г \cdot (\frac{T_г}{273})$,

Д) $h = \pm Z \cdot g \cdot (\rho_a \frac{273}{T_a} - \rho_г \frac{273}{T_г})$,

**8.** Биіктіктің өзгеруі әсерінен болатын геометриялық шығындалу тегеуріні қандай формула бойынша анықталады?

А) $h = \pm Z \cdot g \cdot (\rho_a \frac{273}{T_a} - \rho_г \frac{273}{T_г})$,

Б) $h = \varsigma \cdot (\frac{W_г^2}{2}) \cdot (\frac{\ell}{d_{экв}}) \cdot \rho_г \cdot (\frac{T_г}{273})$,

В) $h = \varsigma \cdot (\frac{W_г^2}{2}) \rho_г \cdot (\frac{T_г}{273})$,

Г) $h = \varsigma \cdot (\frac{W_г^2}{2}) \cdot \rho_г \cdot (\frac{H}{d_{экв}}) \cdot \frac{T_{орт}}{273}$,

Д) $h = \varsigma \cdot (\frac{W_г^2}{2}) \cdot \rho_г \cdot \ell \cdot \left[ (\frac{T_a}{273}) - (\frac{t_1 - t_2}{273}) \right]$,

**9.** Қалыптанған бұйымдарға шығындалатын тегеурін мәні қандай формула бойынша анықталады?

А) $h = \pm Z \cdot g \cdot (\rho_a \frac{273}{T_a} - \rho_г \frac{273}{T_г})$,

Б) $h = \varsigma \cdot (\frac{W_г^2}{2}) \cdot \rho_г \cdot \ell \cdot \left[ (\frac{T_a}{273}) - (\frac{t_1 - t_2}{273}) \right]$,

В) $h = \varsigma \cdot (\frac{W_г^2}{2}) \cdot (\frac{\ell}{d_{экв}}) \cdot \rho_г \cdot (\frac{T_г}{273})$,

Г) $h = \varsigma \cdot (\frac{W_г^2}{2}) \rho_г \cdot (\frac{T_г}{273})$,

Д) $h = \varsigma \cdot (\frac{W_г^2}{2}) \cdot \rho_г \cdot (\frac{H}{d_{экв}}) \cdot \frac{T_{орт}}{273}$,

**10.** Түйіршікті материалдарға шығындалатын тегеурін мәні қандай формула бойынша анықталады?

А) $h = \varsigma \cdot (\frac{W_г^2}{2}) \cdot \rho_г \cdot (\frac{H}{d_{экв}}) \cdot \frac{T_{орт}}{273}$,

Б) $h = \varsigma \cdot (\frac{W_г^2}{2}) \cdot \rho_г \cdot \ell \cdot \left[ (\frac{T_a}{273}) - (\frac{t_1 - t_2}{273}) \right]$,

В) $h = \pm Z \cdot g \cdot (\rho_a \frac{273}{T_a} - \rho_г \frac{273}{T_г})$,

Г) $h = \varsigma \cdot (\frac{W_г^2}{2}) \cdot (\frac{\ell}{d_{экв}}) \cdot \rho_г \cdot (\frac{T_г}{273})$,

Д) $h = \varsigma \cdot (\frac{W_г^2}{2}) \rho_г \cdot (\frac{T_г}{273})$,

**11.**Түтінсорғышпен болатын толық тегеурін мәні қандай формула бойынша анықталады?

А) $H = (1{,}2 \div 1{,}4) \cdot \sum h$,

Б) $H = Z \cdot g \cdot (\rho_a - \rho_г)$,

В) $V_3 = \frac{m_1 \cdot V_1 + m_2 \cdot V_2}{m_1 + m_2}$,

Г) $\sum h = h_1 + h_2 + h_3 + \cdots + h_n + h_{n+1}$,

Д) $H = \Delta P + \frac{2g}{\rho} \cdot (W_2^2 - W_1^2)$,

**12.**Үрлеу желдеткішпен берілетін толық тегеурін қандай формуламен анықталады?

А) $H = \Delta P + \frac{2g}{\rho} \cdot (W_2^2 - W_1^2)$,

Б) $H = \Delta P + \frac{\rho}{2g} \cdot (W_2^2 - W_1^2)$,

В) $H = \Delta P + \frac{g}{\rho} \cdot (W_2^2 + W_1^2)$,

Г) $H = \frac{2g}{\rho} \cdot (W_2^2 - W_1^2)$,

Д) $H = \Delta P + \frac{2g}{\rho} \cdot W^2$,

**13.**Түтінді мұржа көмегімен газдың сорылуына қажетті тегеурін мәні қандай формула бойынша анықталады?

А) $h = g \cdot Z \cdot (\rho_a - \rho_г)$,

Б) $h = g \cdot Z \cdot (\rho_г - \rho_a)$,

В) $h = g \cdot (\rho_a - \rho_г)$,

Г) $h = g \cdot Z \cdot (\rho_a + \rho_г)$,

Д) $h = \frac{Z}{g} \cdot (\rho_a - \rho_г)$,

**14.**Қондырғының толық шығындалатын тегеуріні қандай формуламен анықталады?

А) $\sum h = h_1 - h_2 - h_3 - \cdots - h_n - h_{n+1}$,

Б) $\sum h = h_1 = h_2 = h_3 = \cdots = h_n = h_{n+1}$,

В) $\sum h = h_1 + h_2 + h_3 + \cdots + h_n + h_{n+1}$,

Г) $\sum h = V_Г \cdot (h_1 + h_2 + h_3 + \cdots + h_n + h_{n+1})$,

Д) $\sum h = V_Г \cdot (h_1 - h_2 - h_3 - \cdots - h_n - h_{n+1})$,

**15.**Қондырғының қажетті тегеуріні қандай формуламен анықталады?

А) $H = (\frac{\sum h}{2})^2$,

Б) $H = (\sum h)^2$,

В) $H = \frac{V_Г}{\sum h}$,

Г) $H = (1{,}2 \div 1{,}4) \cdot \sum h$,

Д) $H = 1{,}1 \cdot \sum h$,

**16.**Аэродинамикалық пайдалы әсер коэффициенті қандай формула бойынша анықталады?

А) $\eta_a = (\frac{h_{ж.к.}}{\sum h}) \cdot 100\%$,

Б) $\eta_a = (\sum h) \cdot 100\%$,

В) $\eta_a = (h_{ж.к.}) \cdot 100\%$,

Г) $\eta_a = (h_{ж.к.} \cdot \sum h) \cdot 100\%$,

Д) $\eta_a = (h_{ж.к.} + \sum h) \cdot 100\%$,

**17.**Желдеткіштің электрқозғалтқышы білігіндегі қуат мәні қандай формуламен анықталады?

А) $N_Э = \frac{V \cdot \eta_{ж} \cdot \eta_{б}}{3600 \cdot 1000 \cdot H}$,

Б) $N_Э = \frac{V \cdot 3600}{1000 \cdot H \cdot \eta_{ж} \cdot \eta_{б}}$,

В) $N_Э = \frac{V \cdot 1000}{3600 \cdot H \cdot \eta_{ж} \cdot \eta_{б}}$,

Г) $N_Э = \frac{3600 \cdot 1000 \cdot \eta_{ж} \cdot \eta_{б}}{V \cdot H}$,

Д) $N_Э = \frac{V \cdot H}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta_{ж} \cdot \eta_{б}}$,

**18.**Электрқозғалтқыштың белгіленген қуаты қандай формуламен анықталады?

А) $N_б = \left(\frac{N_Э}{K}\right)^2$,

Б) $N_б = \frac{K}{N_Э}$,

В) $N_б = \frac{N_Э}{K}$,

Г) $N_б = \frac{K^2}{N_Э}$,

Д) $N_б = K \cdot N_Э$,

**19.**Остік желдеткіштердің өнімділігі:
А) 500-1000 *м$^3$/сағат*
Б) 5000-10000 *м$^3$/сағат*
В) 10000-20000 *м$^3$/сағат*
Г) 20000-30000 *м$^3$/сағат*
Д) 1200-4000 *м$^3$/сағат*
**20.**Төмен және орташа қысымды орталықтан тебу желдеткіштерінің өнімділігі:
А) 500-1000 *м$^3$/сағат*
Б) 3000-100000 *м$^3$/сағат*
В) 100-500 *м$^3$/сағат*
Г) 100000-500000 *м$^3$/сағат*
Д) 500000-1000000 *м$^3$/сағат*
**21.**Жоғары қысымды орталықтан тебу желдеткіштерінің өнімділігі:
А) 5000-20000 *м$^3$/сағат*
Б) 500-1000 *м$^3$/сағат*
В) 100-500 *м$^3$/сағат*
Г) 10000-50000 *м$^3$/сағат*
Д) 50000-100000 *м$^3$/сағат*
**22.**Жылулық қондырғыдағы қажетті тегеурінді анықтаңыз. Қондырғыдағы толық шығындалу тегеурінің мәні $\sum h$=1000 *Па.*
А) Н=12000÷14000 *Па*
Б) Н=120÷140 *Па*
В) Н=1,2÷1,4 *Па*
Г) Н=1200÷1400 *Па*
Д) Н=1000÷1100 *Па*
**23.**Жылулық қондырғының аэродинамикалық пайдалы әсер коэффициентінің мәнін анықтаңыз. Қондырғының жұмыс камерасындағы шығындалу тегеурінің мәні $h_{ж.к.}$=200 *Па*, қондырғының толық шығындалу тегеурінің мәні $\sum h$=1000 *Па.*
А) $\eta_а$=20 %
Б) $\eta_а$=10 %
В) $\eta_а$=40 %
Г) $\eta_а$=50 %
Д) $\eta_а$=80 %

# 5. ӘР ТҮРЛІ ОТЫН ТҮРЛЕРІНІҢ ЖАНУ ПРОЦЕСТЕРІН ЕСЕПТЕУ

## 5.1. Сабақ жоспары:

1. Жұмыс отынның төменгі жылу шығару мүмкіндігін есептеу.
2. Отынның жануына қажетті ауаның шығын мөлшерін есептеу.
3. Отынның жану өнімдерінің мөлшерін есептеу.
4. Отынның жану процесінің материалды балансын есептеу.
5. Отынның жану кезіндегі калориметриялық және шын мәніндегі температураларын есептеу.
6. Отынның жану өнімдерінің қажетті температурасына сәйкес, ауаның жалпы шығын коэфициентін есептеу.
7. Жану өнімдерінің ылғал мөлшерін есептеу

## 5.2. Теориялық бөлім

***Отындар*** жылу және жылутасымалдағыштар көздері ретінде құрылыс материалдары және бұйымдары өндірістерінің технологияларында жылутехникасына қатысты процесстерді жүргізу үшін қолданылады.

Жылутехникалық процесстердің тиімді өтуі үшін әртүрлі отын түрлеріне келесі талаптар қойылады:

- отындар өздерінің көлемдік салмағына сәйкес қажетті мөлшерде жылу шығаруды қамтамасыз етуі қажет;

- отындар жануы кезінде адамдардың денсаулығына, сондай-ақ оттық құрылғыларының және пештердің конструкциялық материалдарына әсер ететін зиянды газдардың пайда болмауы қажет;

- отындар мүмкіндігінше арзан және оңай қамтамасыз етілуі қажет;

- отындар өндіріс қоймаларында құрылымы бұзылмай ұзақ уақыт сақталу мүмкіндігіне ие болулары қажет.

***Отынның жануы*** деп – отынның құрамындағы жанғыш компоненттерінің ауадағы оттекпен химиялық әрекеттесу реакциясын айтады.

Отынның жануы – күрделі физика-химиялық процесс. Жану реакциясының көп бөлігі – экзотермиялық, яғни жылу бөлінумен жүреді. Жану процесінде сонымен қатар, жылу сіңірумен жүретін кейбір эндотермиялық реакцияларда өтеді (отын құрамындағы физикалық ылғалдың ыдырауы).

Отын бастапқы қыздырылу кезінде 105-110 $^{o}C$ температурасы аралығында өзінің ылғалдылығын жоғалтады. Шамамен 150-180 $^{o}C$ температурасы аралығында отынның құрамы бойынша ыдырап, ұшқыш заттар және қатты қалдық – коксқа бөлінеді. Ары қарай қыздырылу кезінде отын тұтанып жана бастайды.

Отынның тұтану температурасы оның тек химиялық құрамына емес, сонмен қатар, жану жағдайына да байланысты болады. Отындардың жану жағдайы әртүрлі болғандықтан, олардың тұтану температурасы, отынның жылу

шығару мүмкіндігі сияқты нақты көрсеткіш болып табылмайды. Тұтану температурасының мәні отындардың құрамындағы ұшқыш заттардың мөлшері жоғарылаған сайын төмендейді, ал керісінше отынның жасы ұлғайған сайын артады. Мысалы: ағаш және торфтың тұтану температурасы 250÷300 $^oC$, қоңыр көмірдің тұтану температурасы 350÷450 $^oC$, тас көмірдің тұтану температурасы 400÷500 $^oC$, антрацит және кокстың тұтану температурасы 700÷800 $^oC$,

Газды отындарды құрайтын жанғыш газдардың тұтану температурасы да, олардың құрамына және жану жағдайына байланысты әртүрлі болады: $CO$ – 650 $^oC$, $H_2$ – 580 $^oC$, $CH_4$ – 700 $^oC$.

Отынның соңына дейін толық жануы оттық кеңістігіндегі температураға, оттық кеңістігіне ауаның қажетті мөлшерде берілуіне және құрамындағы элементтердің ауамен толықтай араласуына байланысты болады.

Сондықтан отындардың жануын есептеудің бірінші сатысы отынның жануына қажетті ауаның мөлшерін анықтау қажет. Содан соң, отынның жану кезінде пайда болатын жану өнімдерінің мөлшерін және құрамын есептейді, соңынан түтінді газдардың температурасын анықтайды.

Химиялық реакцияға қатысатын элементтердің атомдық және молекулалық салмақтарын ескеріп, оттектің және ауаның мөлшерін анықтауға болады. Отынның жануына қатысатын заттар салмақтық (*кг*) немесе көлемдік ($м^3$) мөлшермен белгіленеді. Қатты және сұйық отындардың жануын есептеу *кг*, ал газды отындарда $м^3$ жүргізіледі.

Химиялық теңесулер арқылы есептелген ауаның мөлшері – ауаның ***теоретикалық қажетті мөлшері*** деп атайды. Бұл мән отынның элементтерінің реакцияға түсуіне қажетті ең төменгі шекті мән болып табылады. Өйткені, шын мәнінде отынның толық жануы үшін ауаның мөлшері отынның түріне байланысты біршама жоғары болады. Бұл көрсеткішті ауаның шығын коэффициентімен белгілейді.

***Ауаның шығын коэффициенті*** деп – отынның жануына қажетті ауаның шын мәніндегі мөлшерінің теоретикалық мөлшеріне қатынасын айтады және мына формула бойынша анықталады:

$$\alpha = \frac{L_\alpha}{L_o} \qquad (5.1)$$

мұнда: $L_\alpha$ – жануға қажетті ауаның шын мәніндегі мөлшері,
$м^3/кг$ *қатты (сұйық) отын* немесе $м^3/м^3$ *газды отын*
$L_o$ – жануға ауаның теоретикалық мөлшері, $м^3/кг$ *қатты (сұйық) отын* немесе $м^3/м^3$ *газды отын*

Ауаның шығын коэффициентінің мәні отын түріне және оттық конструкциясына байланысты болады. Ауаның газды отындармен араласу дәрежесі салыстырмалы жоғары болғандықтан, газды отындар үшін $\alpha = 1{,}02 \div 1{,}1$ аралығында болады. Мазут отынын ауамен жақсы араласу үшін бүріккіш (форсунка) құрылғысымен шашырату арқылы жағады, бірақ сонда да ауаның шығын коэффициенті біршама жоғары болады $\alpha = 1{,}1 \div 1{,}2$. Шаңды

көмір отындары үшін $\alpha = 1{,}2 \div 1{,}25$. Түйіршікті қатты отындар үшін $\alpha = 1{,}4 \div 1{,}8$. Сондықтан қолданылатын отын түріне байланысты ауаның шығын коэффициентінің мәнін жылутехникалық анықтамалық әдебиеттерден таңдайды. Ауаның шығын коэффициентін қабылдай отырып, (5.1) теңдеуді мына түрде жазуға болады:

$$L_\alpha = \alpha \cdot L_o \text{, } м^3/кг \text{ қатты (сұйық) отын немесе } м^3/м^3 \text{ газды отын} \qquad (5.2)$$

Отынның жануы кезінде бөлінетін жану өнімдеріне мына газдар жатады: $CO_2$, $H_2O$, $SO_2$, $N_2$, $O_2$. Бұл газдар отын құрамындағы $C$, $H_2$, $S$,элементтерінің жану нәтижесінде пайда болады. Азот отынның жануына қатыспайды, яғни ол толықтай жану өнімдерінің құрамына енеді. Сонымен қатар, жану өнімдерінің құрамына реакцияға түспеген оттек қосылады.

Жану өнімдерінің анықталған мәндерінің дұрыстығын тексеру үшін жану процесінің материалды балансы есептеледі. Материалды балансты есептеу массаның сақталу заңына сәйкес, реакцияға түскенге дейінгі және реакциядан кейінгі заттардың тепе-теңдігін анықтау тәсілімен жүргізіледі.

Материалды баланс теңдеуі мына формула бойынша есептеледі:

$$G_o + G_a = G_г + G_к \qquad (5.3)$$

мұнда: $G_o$ – жануға қатысатын отынның мөлшері, *кг*

$G_a$ – жануға қатысатын ауаның мөлшері, *кг*

$G_г$ – жану өнімдерінің мөлшері, *кг*

$G_к$ – күлдің мөлшері, *кг*

(5.3) теңдеудің сол жағы материалды баланстың кіріс бөлігі, ал оң жағы шығыс бөлігі деп аталады. Егер, материалды баланстың кіріс және шығыс бөліктерінің айырмашылы 1 пайыздан төмен болса, онда есептеу дұрыс жүргізілген деп саналады.

Отынның жану процесін есептеудің келесі сатысы, жану температураларын анықтау болып саналады. Отынның жану температуралары: калориметриялық (теоретикалық) және шын мәніндегі (практикалық) деп бөлінеді.

***Калориметриялық температура*** деп – отын элементтерінің ауамен толықтай араласу, яғни жану процесінің шығынсыз өтуі кезіндегі пайда болған жану өнімдерінің температурасын айтады.

Шын мәнінде оттық кеңістігінде және пештерде жану өнімдерінің бұл температурасына ешқашан жету мүмкін емес. Өйткені, жану процесі кезінде әртүрлі шығындар болуы мүмкін: отынның химиялық немесе механикалық толық жанбауы, ауа мөлшерінің жеткіліксіздігі, отынның ұшқыш заттарымен ауадаға оттектің араласу дәрежесінің төмен болуы, жылудың оттықтың конструкциялық тетіктеріне шығындалуы және т.б. Сондықтан, есептеуде жану өнімдерінің температурасы ретінде шын мәніндегі температураны қабылдайды.

***Шын мәніндегі температура*** деп – отынның жануы кезіндегі шығындарды ескергендегі пайда болатын жану өнімдерінің температурасын айтады.

Отынның калориметриялық температурасының шын мәніндегі температураға қатынасын оттықтың ***пирометриялық коэффициенті*** деп атайды. Яғни, оттықтың пирометриялық коэффициенті мына формула бойынша анықталады:

$$\eta_o = \frac{t_к}{t_ш} \qquad (5.4)$$

мұнда: $t_к$ – калориметриялық жану температурасы, $^oC$

$t_ш$ – шын мәніндегі жану температурасы, $^oC$

Оттықтың пирометриялық коэффициенті жылулық қондырғылардың конструкциялық ерекшеліктеріне сәйкес анықтамалық әдебиеттерден алынады (5.1 кесте).

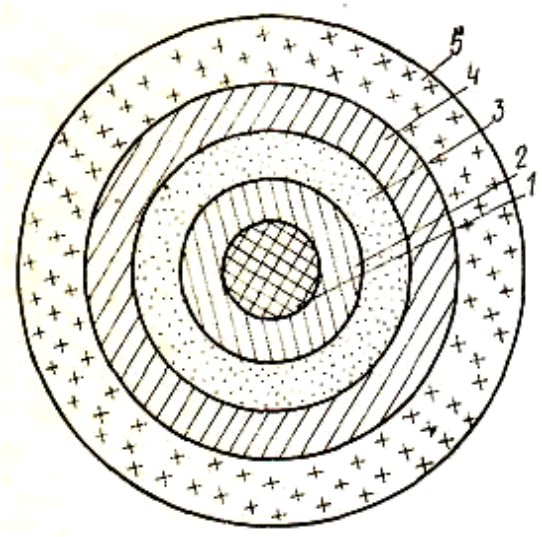
5.1 кесте. Жылулық қондырғының конструкциясына байланысты $\eta_o$ мәні

| Пеш түрлері | Отын түрлері | $\eta_o$ |
|---|---|---|
| Камералы | Газды отын | 0,73-0,78 |
| | Қатты отын | 0,66-0,70 |
| Туннельді | Газды отын | 0,78-0,83 |
| | Сұйық отын | 0,77-0,82 |
| Шахталы | Газды отын | 0,67-0,73 |
| | Қатты отын | 0,52-0,62 |
| Айналмалы | Газды отын | 0,70-0,75 |
| | Шаңды отын | 0,68-0,75 |
| | Сұйық отын | 0,69-0,75 |
| Шеңберлі | Қатты отын | 0,58-0,60 |

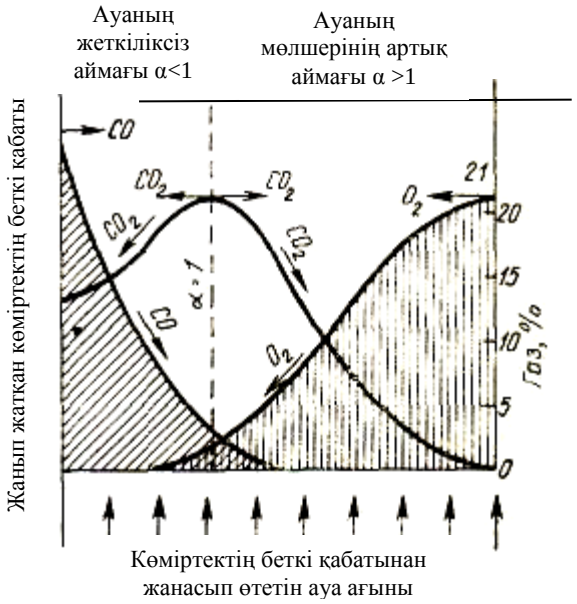
Отындарды жағу үшін арнайы оттық құрылғыларын қолданады. Жеке орналасқан оттық құрылғыларын негізінен шикізат материалдарын және бұйымдарды салыстырмалы төмен температурада жылулық өңдеу кезінде, яғни кептіргіштерді жылутасымалдағышпен қамтамасыз ету үшін қолданады. Ал, жоғары температуралық процесстерде отындар тікелей пештердің жұмыс камерасында немесе пештермен жанасып орналасқан оттықтарда жанады.

***Қатты отындардың жану процесі және жағу құрылғылары.*** Қатты отындарды жағу кезінде, жоғарыда айтылғандай, ең алдымен ұшқыш заттар және коксты қалдық бөлінеді. Қыздыру кезінде ең алдымен физикалық ылғал буланып, құрғақ отын ыдырай бастайды. Бұл процесс эндотермиялық болғандықтан, реакция өту үшін жылу сіңіруді қажет етеді. Ол үшін, бұл жылу алдын-ала жанған ыстық отын түйіршіктерінен алынады. Ұшқыш заттар өз кезегінде жану реакциясына түсіп, өздерінің жылуының бір бөлігін оттық кеңістігінде қажетті жану температурасын қамтамасыз ету үшін жанып жатқан

отын түйіршігіне қайтарады. Отын түйіршігінен бөлінген ұшқыш жанғыш заттар қоршаған ортаға өтіп, ауадағы оттекпен химиялық реакцияға түсіп әрекеттеседі, яғни жанады, нәтижесінде жылу бөлінеді. Бұл процесстің өтуін 5.1 суреттен көруге болады. Жанып жатқан отын түйіршігінің *1* айналасында төрт аймақты көруге болады: ұшқыш жанғыш заттар аймағы *2*, ұшқыш заттар және оттектен тұратын жанғыш қоспа аймағы *3*, реакция нәтижесінде пайда болған жану өнімдері аймағы *4* және қоршаған орта *5* аймағы. Жанып жатқан отын түйіршігінен жану өнімдері аймағына қарай ұшқыш заттар бағытталса, ал қоршаған орта аймағынан жану өнімдері аймағына қарай ауа молекулалары бағытталады.



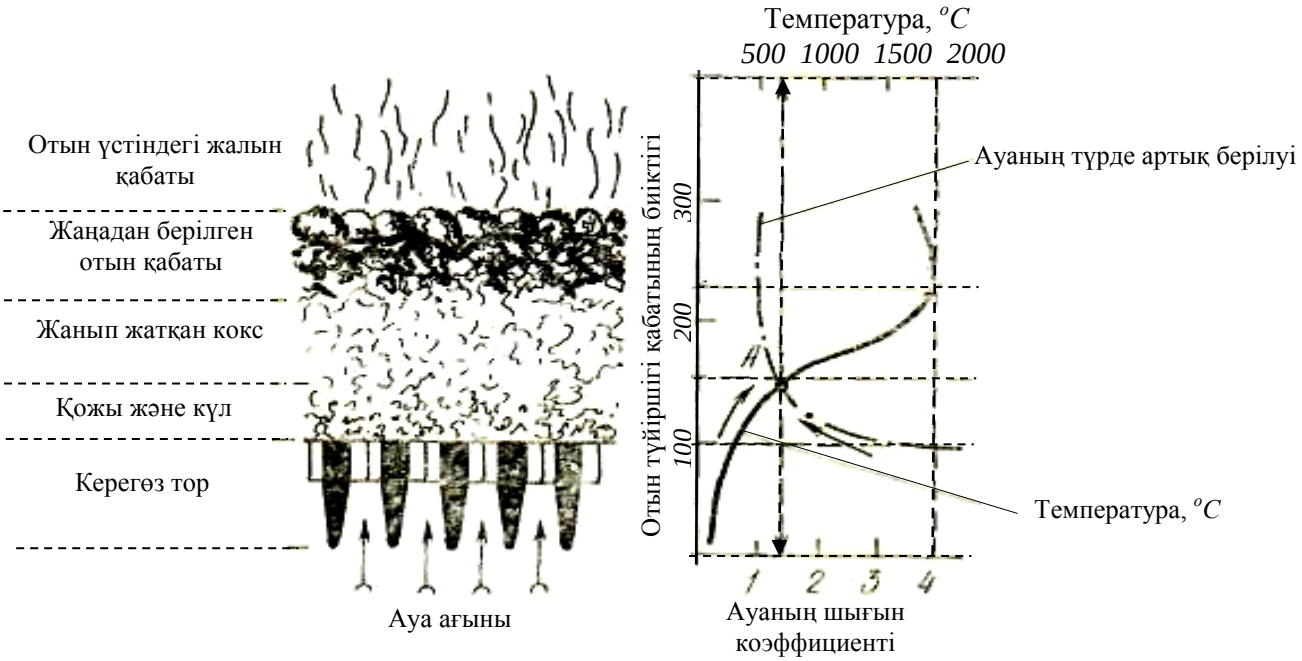

5.1 сурет. Жанып жатқан отын түйіршігі




5.2 сурет. Ауа ағынымен жанасқан қыздырылған отын түйіршігі айналасындағы газдар концентрациясының өзгеруі

Отындағы ұшқыш заттардың мөлшері толық біткеннен кейін, қыздырылған коксты қалдықтағы көміртектің жануы жүреді. Қоршаған ортадағы ауаның молекулалары кокстағы көміртекпен химиялық реакцияға түседі. Көміртек түйіршігі жанында оттектің мөлшері аз болғандықтан, жану өнімдері көміртек тотығы (*CO*) түрінде болады. Ол оттек концентрациясы көп аймаққа өтіп, ары қарай тотығып, көміртек қос тотығына ($CO_2$) айналады (5.2 сурет).

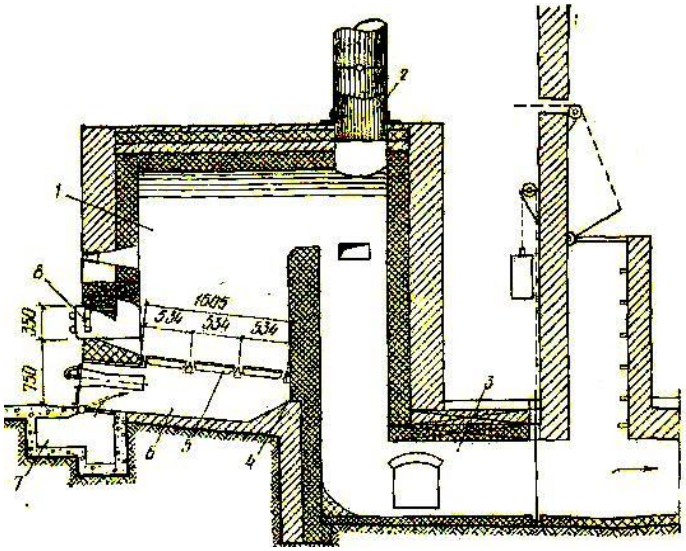
Нақты жанып жатқан отын түйіршігінің схемасын 5.3 суреттен көруге болады. Темір керегөз тордың жоғарғы жағынан үздіксіз отын түйіршіктері түсіріледі, ал төменгі жағынан үздіксіз ауа беріледі. Отын коксы толық жанып біткеннен кейін қалған отынның минералды бөлігі (күл), балқыған күйде төмен қарай ағады және біршама суытылып, тордың үстінде қожы (шлак) қабатын түзеді. Қожы қабаты отын түйіршіктеріне қарай ауаның өтуін қиындатқанымен, біршама тиімділігі де бар: темір керегөз торды қатты қыздырылудан сақтайды, өзінің жылуын ауа ағынына беріп, оны алдын-ала біршама қыздырады, ауаның отын түйіршіктері қабатына біркелкі жайылуына мүмкіндік жасайды, яғни тор тесіктерінің арасынан фонтан түрінде атқылайтын ауа ағынын болдырмайды.



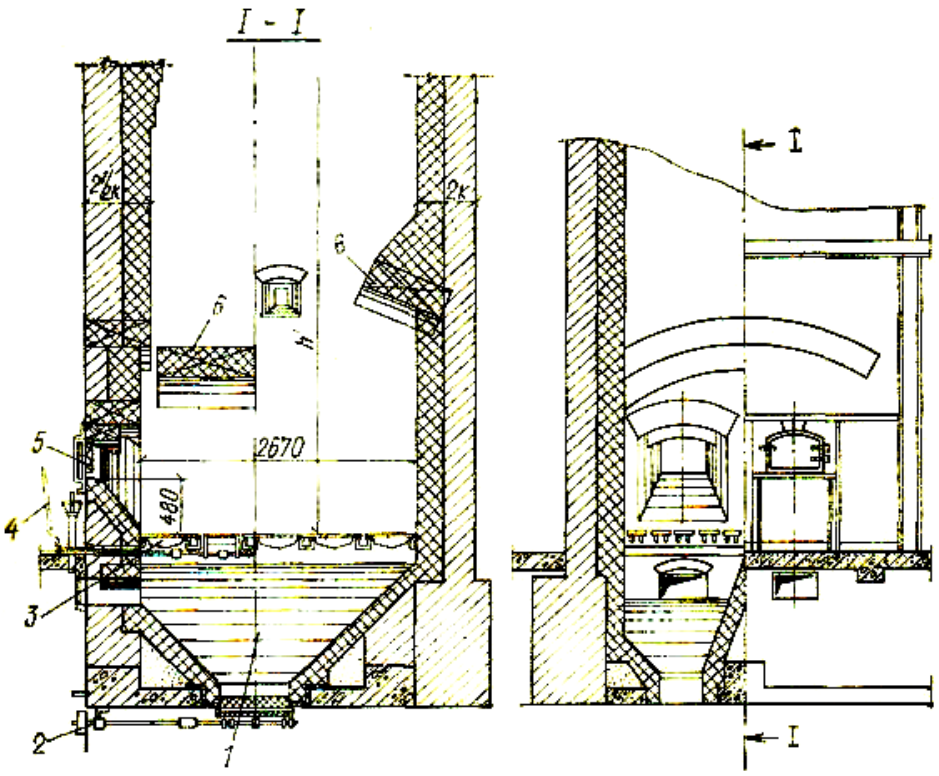

5.3 сурет. Ауа ағыны мен отын түйіршігінің қарама-қарсы қозғалысы кезіндегі жанып жатқан қабаттың құрылымы

Қатты отындарды жағу құрылғылары – ***оттық*** деп айтады. Оттықтарда олардың конструкциялық ерекшеліктеріне қарамастан міндетті түрде келесі элементтер болады: жалын кеңістігі, керегөз тор, отын беру құрылғысы, қожы және күл жиналатын кеңістік, ауа беру жүйесі, қосымша тетіктер (есіктер, терезелер және т.б.).

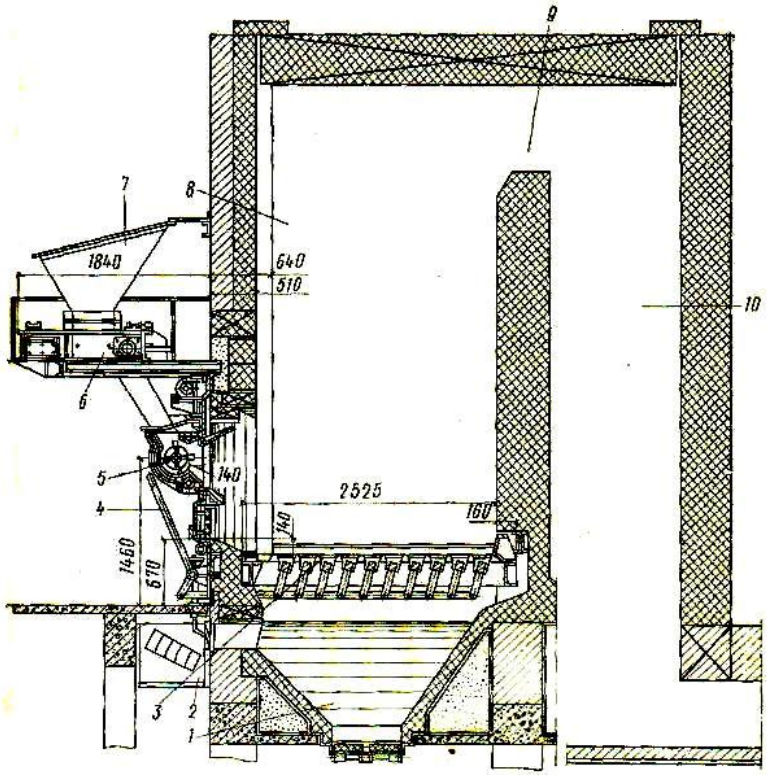
Қазіргі кезде, силикат өндірісінде қатты отындарды жағуға арналған оттықтардың әртүрлі конструкциялары қолданылады: қолмен жұмыс істейтін, механикаландырылған, жылжымалы керегөз торлы және т.б. (5.4, 5.5, 5.6, 5.7 суреттер).



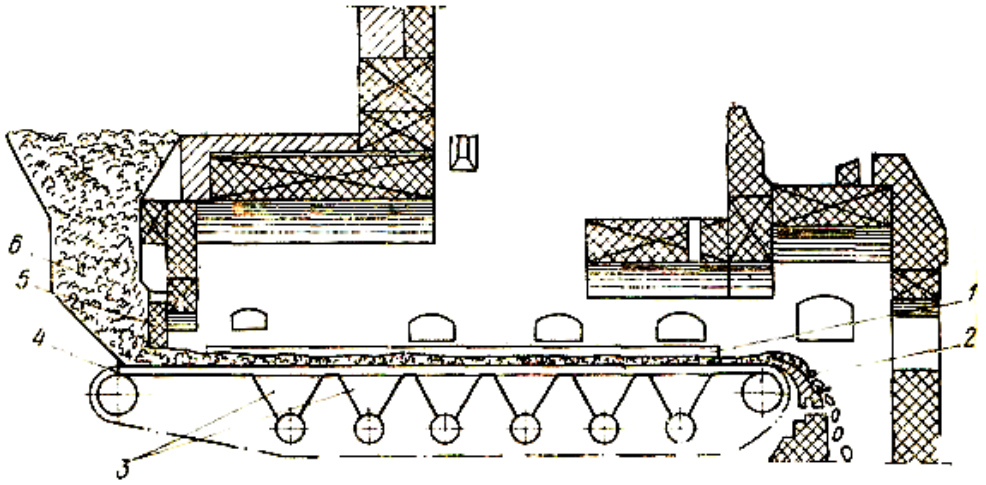
5.4 сурет. Антрацит жағуға арналған қарапайым оттық. *1* – жалын кеңістігі, *2* – қауіпсіздік құбыры, *3* – түтінді канал, *4* – жақтау, *5* – керегөз тор, *6* – күл жиналатын кеңістік, *7* – ауа беру жүйесі, *8* – отын берілетін есік




5.5 сурет. Қоңыр көмірлерді жағуға арналған қолмен жұмыс істейтін оттық. *1* – қожы және күл жиналатын бункер, *2* – күл жиналатын бункерді ашатын рычаг, *3* – аудару керегөз торлары, *4* – аудару керегөз торларын басқаратын рычаг, *5* – отын берілетін есік, *6* – жалын кеңістігінің үстіңгі қабаты




5.6 сурет. Пневмомеханикалық отын беру құрылғысы бар және жылжымалы керегөз торлы оттық. *1* – күл жиналатын кеңістік, *2* – ауа беру жүйесі, *3* – жылжымалы крегөз тор, *4* – рычагты жүйе, *5* – пневмомехникалық құрылығы, *6* – отын бункері, *7* – шығын бункері, *8* – жалын кеңістігі, *9, 10* – түтінді канал




5.7 сурет. Жылжымалы шынжырлы керегөз торлы оттық. *1* – сумен суытылатын қабат, *2* – шлак түсіргіш, *3* – ауа беру жүйесі, *4* – тор беті, *5* – отын қабатының биіктігін реттегіш, *6* – отын бункері

***Сұйық отындардың жану процесі және жағу құрылғылары.*** Сұйық отын ретінде жылулық қондырғыларда негізінен мазут отынын пайдаланады.

Мазуттың жану процесі бірнеше сатыдан тұрады: мазут ағынын тамшыларға шашырату, шашыраған мазут тамшыларын ауамен араластыру, мазут тамшыларын қыздыру және буландыру, олардың газды фаза пайда болуымен термиялық ыдырауы, газды фазаның тұтануы және оттекпен тотығу процесінің аяқталуы. Мазутты тамшыларға шашырату, олардың ауамен араласу бетін ұлғайту үшін қажет. Мазутты жағу процесінің жақсы өтуі, оларды шашырату және ауамен жақсы араластыру дәрежесіне байланысты болады, өйткені, ауа мазутты буландыруды және жанғыш газды фазаны тұтануын қамтамасыз ететін жылутасымалдағыш болып табылады. Жанғыш газдар ауамен араласу кезінде бірден жанады.

Мазутты жағуға арналған құрылғылар ***бүріккіш*** (форсунка) деп аталады. Конструкциясы және жұмыс істеу принципі бойынша бүріккіштер негізгі үш түрге бөлінеді: механикалық, ауа ағынымен жұмыс істейтін, су буымен жұмыс істейтін.

Механикалық бүріккіштердің жұмыс істеуі, өлшемі кіші тесіктерден мазут ағының жоғары қысым әсерінен 45-50 *м/с* жылдамдықта өткізіп, шашыратуға негізделген. Олар жұмыс істеу кезінде ешқандай шулы дыбыс шықпайды және жоғары пирометриялық коэффициентке ие. Алайда, олардың өлшемі үлкен, тесіктері тез бітеліп қалады және мазуттың берілуін реттеу қиындау болады. Осыған байланысты, механикалық бүріккіштерді қазіргі кезде өте сирек қолданады.

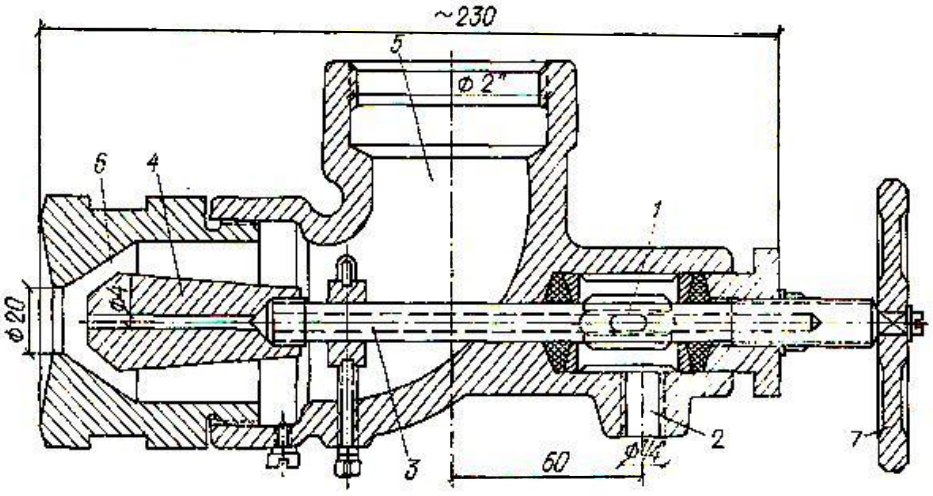
Су буымен жұмыс істейтін бүріккіштерде мазутты қыздырылған су буы арқылы 0,15÷0,4 *МПа* қысыммен шашыратады. 1 *кг* мазутты шашыратуға кететін су буының шығыны 0,3÷0,8 *кг*. Бұл бүріккіштердің жұмыс істеуі қарапайым және реттелуі оңай, бірақ жұмыс істеу кезінде шулы дыбыс жоғары, жану температурасын төмендетеді және экономикалық тиімділігі төмен. Силикат өндірісі зауыттарында бұл бүріккіштерді де көп қолданбайды.

Ауа ағынымен жұмыс істейтін бүріккіштерде мазутты шашырату ауаның көмегімен жүргізіледі. Олар компрессорлық және желдеткішті деп бөлінеді. Компрессорлық бүріккіштерді жоғары қысымды бүріккіштер деп атайды, олардағы ауаның қысымы 0,3÷0,7 *МПа* аралығында. Желдеткішті бүріккіштер орташа қысымды (30 *кПа* дейін) және төмен қысымды (10 *кПа* дейін) болады. Ауа ағынымен жұмыс істейтін бүріккіштер экономикалық тиімді, жануға қажетті ауа шығыны төмен, пирометриялық коэффициенті жоғары және отынның толықтай жануын қамтамасыз етеді. Бұл бүріккіштерді силикат өндірісінде кеңінен қолданады. Бүріккішке берілетін мазуттың қысымы 75 *кПа* дейін, ал ағу жылдамдығы 50÷75 *м/с* болуы тиіс.

Желдеткішті бүріккіштер конструкциясы бойынша тіке ағынды және турбулентті болып бөлінеді. Тіке ағындылар ұзын жалын береді – 3 *м/с* дейін, жалынның кеңею бұрышы 20÷30$^{o}$. Турбулентті ағындылар қысқа жалын береді – 0,3÷0,7 *м/с* аралығында, жалынның кеңею бұрышы 60÷90$^{o}$.

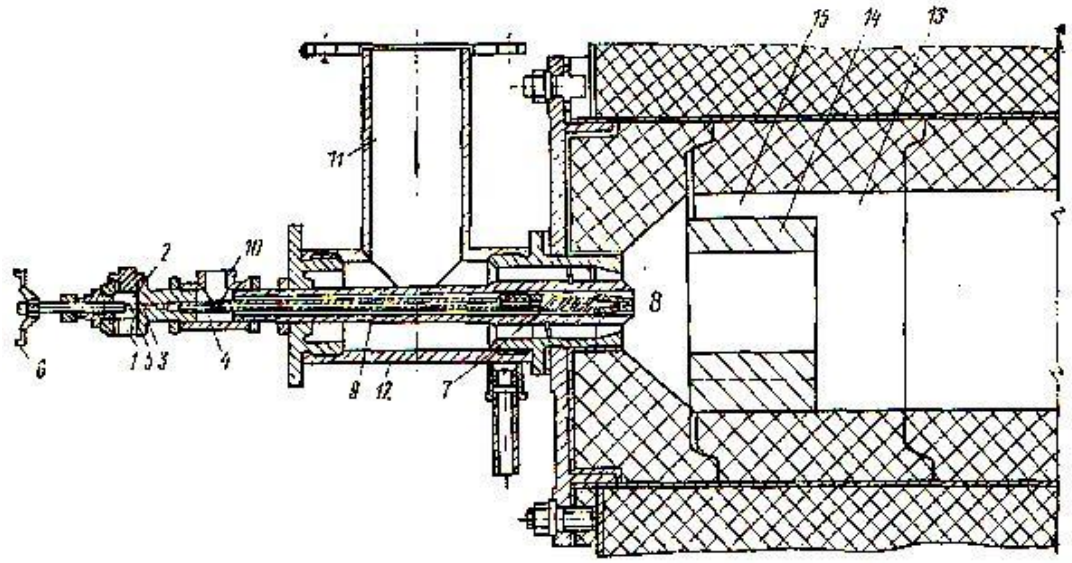
Қазіргі кезде, құрылыс материалдары және бұйымдары өндірістерінде мазутты жағуға арналған әртүрлі конструкциялы бүріккіштер қолданылады.

Туннельді пештерде мазутты жағуда қысқа жалын қажет болған жағдайда ФДБ типті бүріккішті қолданады (5.8 сурет). Шамамен 0,1 *МПа* қысыммен құбыр *2* арқылы берілген мазут тесік *1* арқылы тесікті құбырға *3* өтеді, ол жерден мазут шығатын түтікше *4* арқылы шеңберлі кеңістікке өтеді. Екінші құбыр *5* арқылы 3,5÷4 *кПа* қысыммен берілген ауа түтікшенің сыртқы жағындағы каналмен жылжып, шеңберлі тесік *6* арқылы мазут ағынымен араласады, сосын араласқан қоспа тамшылар түрінде бүріккіштен шығады. Бұрандалы маховик *7* көмегімен тесікті құбырды *3* жылжыту арқылы шеңберлі кеңістіктің аумағын кеңейтуге болады, яғни «мазут – ауа» қоспасының арақатынас мөлшерін және ауаның қысымын реттеуге. Бүріккіштің сағаттық өнімділігі 8 *кг/сағат*.




5.8 сурет. Қысқа жалынды төмен қысымды желдеткішті бүріккіш. *1* – мазут шығу тесігі, *2* – мазут беру құбыры, *3* – тесікті құбыр, *4* – мазут шығатын түтікше, *5* – төмен қысымды ауа беру құбыры, *6* – шеңберлі тесік, *7* – маховик

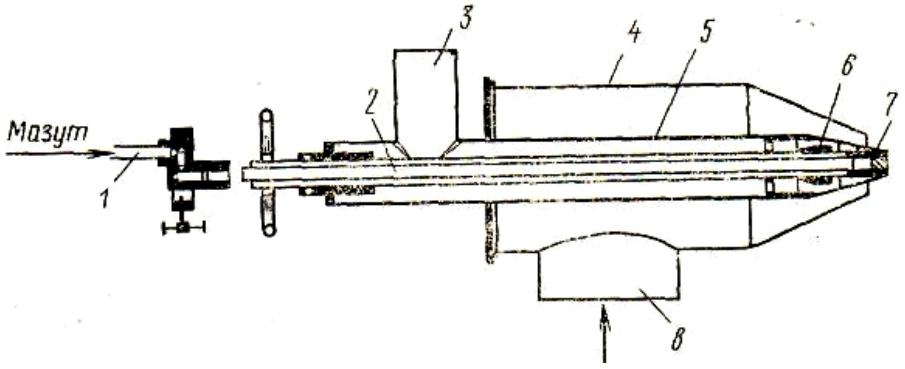
МПР типті, конструкциясы бойынша күрделі, бірақ жетілдірілген екі сатылы шашыратын қайта айналымды (рециркуляциялық) бүріккіштің жұмыс істеу принципі келесідей (5.9 сурет). 30 *кПа* қысыммен құбыр *1* арқылы берілген мазут камераға *2* өтеді, ол жерден осьтік канал *3* арқылы тесікті құбырға *4* өтеді. Маховикті *6* айналдыру арқылы клапанның *5* өлшемін өзгертіп, мазут шығынын реттеуге болады. Тесікті құбырмен *4* жылжыған мазут түтікшеге *8* өтіп, шашыраған жалын түзеді. Тесікті құбыр *4* ішкі құбырға *9* кіргізілген. Ол жерге құбыр *10* арқылы 0,2 *МПа* қысыммен компрессорлық ауа беріледі. Ішкі құбырмен *9* жылжыған ауа бұрандалы тетікке *7* өтіп, осі бойынша айналымды қозғалысқа өтеді. Содан соң шеңберлі конусты кеңістік арқылы мазут жалынын кесіп, оны да айналымды қозғалысқа келтіреді. Желдеткіштік құбыр *11* арқылы ауа 3 *кПа* қысыммен сыртқы құбырға *12* өтеді. Ол жерден шеңберлі конусты кеңістік өтіп, мазут жалынының айналымдық қозғалысын арттырады. Отқа төзімді материалмен қапталған кеңістікке *13* өткен жалын құбырлармен *14* бөлінген каналдар *15* арқылы жануды жалғастырады. Жалын шығатын жердің кеңеюі әсерінен ортаның қысымы төмендеп, жану өнімдері бөлінген каналдармен *15* сорылады, яғни газды айналымды тудырады. Нәтижесінде жалынның қыздырылуына мүмкіндік жасайды. Екі рет шашырату, ағынның осі бойынша айналуы қысқа жалынды толық жанған жану өнімдерінің пайда болуына әсер теді. Бүріккіштің өнімділігі 15 *кг* мазут 1 сағатта.




5.9 сурет. Екі сатылы шашыратын қайта айналымды бүріккіш. *1* – мазут беру құбыры, *2* – камера, *3* – осьтік канал, *4* – тесікті құбыр, *5* – клапан, *6* – маховик, *7* – бұрандалы тетік, *8* – түтікше, *9* – ішкі құбыр, *10* – компрессорлық ауа құбыры, *11* – желдеткіштік ауа құбыры, *12* – сыртқы құбыр, *13* – отқа төзімді материалмен қапталған жалын кеңістігі, *14* – жалын кеңістігіндегі құбыр, *15* – бөлінген каналдар

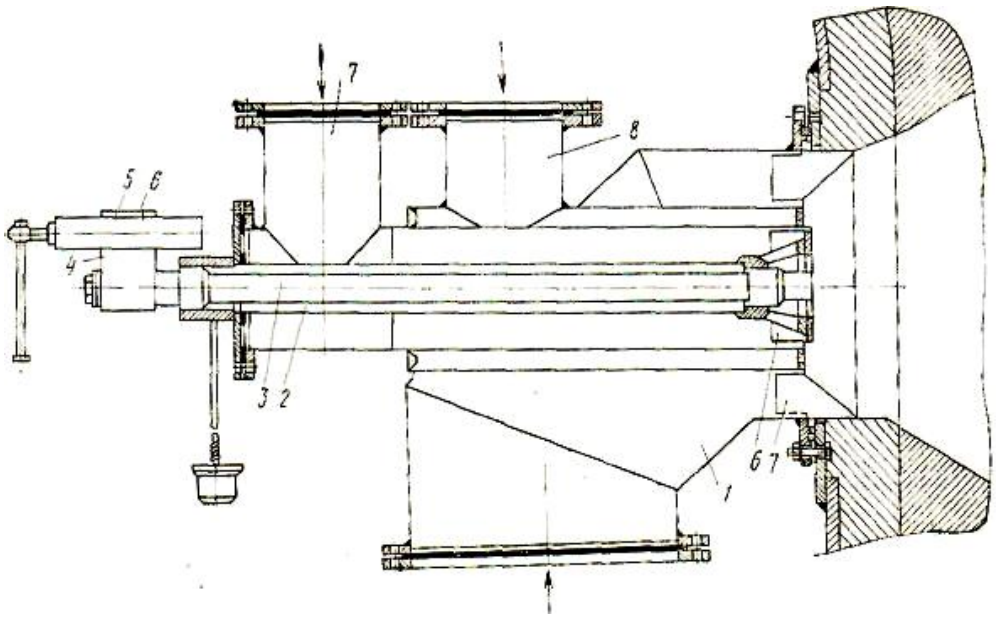
Айналмалы пештерде желдеткішті газ-мазуттық бүріккішті кеңінен қолданады (5.10 сурет). 0,4÷0,6 *МПа* қысыммен құбыр *1* арқылы берілген мазут тесікті құбырға *2* өтеді, ол ішкі бұрандалы түтікше арқылы шашырап

бүріккіштен шығады. 2,5 *кПа* қысыммен желдеткішпен берілген ауа құбыр 8 арқылы сыртқы құбырға *4* өтеді. Егер бүріккіште мазут орнына газды отынды қолданған жағдайда екінші құбыр *3* арқылы берілген газды отын ішкі құбырға *5* өтеді. Газды отынның мөлшерін және жылдамдығын реттеу үшін бүріккішке дроссель орнатылған. Бүріккіштің өнімділігі 800 *кг* мазут немесе 800 $м^3$ газды отын 1 сағатта.




5.10 сурет. Газ-мазуттық бүріккіш. *1* – мазут беру құбыры, *2* – тесікті құбыр, *3* – газ беру құбыры, *4* – сыртқы құбыр, *5* – ішкі құбыр, *6* – дроссель, *7* – ішкі бұрандалы түтікше

Мазут отынын пештен бөлек оттықта (мысалы, кептіргіштерде) жағу кезінде, көбінесе қысқа жалын қажет етпейтін жағдайда газмазуттық бүріккішті қолданады Мұндай бүріккіштердің көп таралған типі «Ильмарине» деп аталады (5.11 сурет).



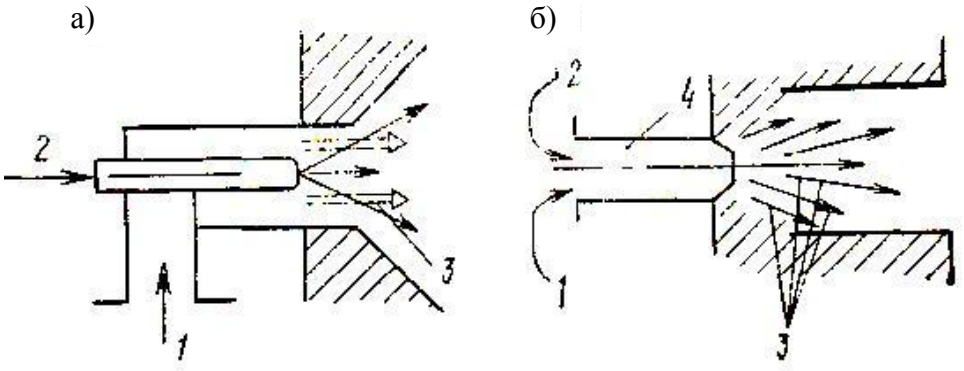

5.11 сурет. Газ-мазуттық бүріккіш. *1* – ауа беру жүйесі: *5,6* – турбуленттік тетіктер, *2* – шашырату каналы, *3* – орталық канал, *4* – мазут беру жүйесі: *5* – штуцер, *6* – шашыратқыш ағынын беру құрылғысы, *7* – ауа беру құбыры, *8* – газ беру құбыры

Мазут беру жүйесінде *4* штуцер *5* арқылы 2,0 *МПа* қысыммен мазут беріледі. Шашыратқыш ағынын беру құбыры *6* арқылы 0,1÷0,2 *МПа* қысыммен

қыздырылған су буы немесе компрессорлық ауа беріледі. Мазут ары қарай орталық каналға *3*, ал шашырытқыш ағыны *6* шашырату каналына *2* беріледі. Біріншілік ауа 1,2 *кПа* қысыммен құбырға *7*, ал екіншілік ауа сол қысыммен астыңғы құбырға *1* беріледі. Ары қарай екі ауа ағыны да турбуленттік тетіктер арқылы өтеді. Газды отынды жағу кезінде 3,5 *кПа* қысыммен газ құбырға 8 өтіп, біріншілік және екіншілік ауа ағындары жүретін каналдардың ортасындағы газды каналға беріледі. Бүріккіштегі жалын ұзындығы – 1÷2 *м* аралығында, жалынның кеңею бұрышы $80^{o}$.

***Газды отындардың жану процесі және жағу құрылғылары.*** Құрылыс материалдары және бұйымдары өнәркәсіптеріндегі жылулық қондырғыларда газды отындар ретінде көбінесе табиғи газды қолданады. Табиғи газ компоненттерінің негізгі бөлігін метан құрайды. Газды отынның жануы басқа отын түрлері де сияқты бірнеше сатыдан тұрады: газды ауа қоспасының пайда болуы, оның қыздырылуы, термиялық ыдырауы, термиялық ыдыраған өнімдердің тұтануы және жануы.

Қатты және сұйық отындардан айырмашылығы газды отындардың жануы гомогенді процесс болып болып табылады. Бұл кезде, жанғыш газды заттардың және ауадағы оттектің арасында бөліну беті болмайды. Бірақ, бұл процесстің бастапқы талабы – газды отын мен ауаны араластыру кезінде міндетті түрде оттек молекуларының жанғыш газдардың молекуларымен тікелей жанасуы болып табылады. Жанғыш газды ауа қоспасын алдын-ала дайындау түріне байланысты отынның жануы екі түрге бөлінеді: диффузиялық және кинетикалық. Диффузиялық жануда газды отын және ауа оттық кеңістігіне бөлек түрде беріледі (5.12 а сурет), ал кинетикалық жануда оттық кеңістігіне алдын-ала қажетті мөлшерде қосып дайындалған жанғыш газды ауа қоспасы беріледі (5.12 б сурет).



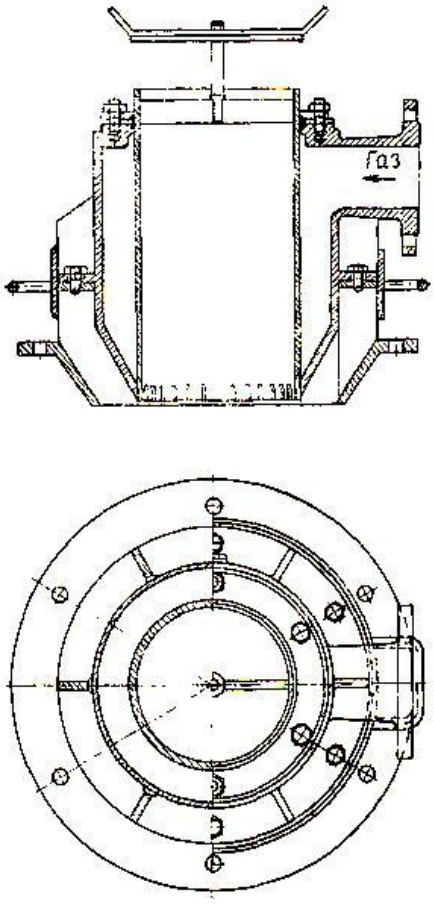

5.12 сурет. Диффузиялық (а) және кинетикалық (б) жану схемасы. *1* – ауа беру жүйесі: *2* – газ беру жүйесі, *3* – газды ауа қоспасы, *4* – жанарғы құрылғысының араласу камерасы

Газды отындарды жағуға арналған құрылғылар ***жанарғы*** (горелка) деп аталады. Жанарғылар орнатылуы әртүрлі болады: пештің жұмыс камерасына тікелей орнатылу, пештен бөлек тұрған оттық камерасында орнатылу және пешке туннель немесе канал түрінде жанасып орнатылу. Әртүрлі көрсеткіштер бойынша жанарғылардың жіктелуі кестеде келтірілген (5.2 кесте).

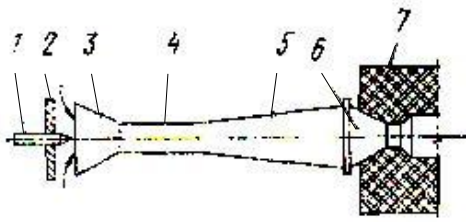
5.2 кесте. Газды отын жанарғыларының жіктелуі

| Көрсеткіштер | Жанарғылардың түрлері |
|---|---|
| Газдың қысымы | – төмен қысымды (5 *кПа* дейін);<br>– орташа қысымды (5-30 *кПа*);<br>– жоғары қысымды (30 *кПа* жоғары); |
| Газды ауа қоспасын дайындау тәсілі | – кинетикалық: газды отын және ауа алдын-ала толықтай немесе жартылай араласқан;<br>– диффузиялық: газды отын және ауа алдын-ала араластырылмаған; |
| Ауаны беру әдісі | – үрлеусіз;<br>– үрлегіш;<br>– инжекциялық; |
| Жану сипаты | – жалынды;<br>– жалынсыз; |
| Жағылатын отындар қоспасының түрі | – газ-мазут қоспасы;<br>– газ-шаңды көмір қоспасы;<br>– газ-мазут-шаңды көмір қоспасы; |

Жанарғылардың ең қарапайым конструкциясы бір және екі құбырлы диффузиялық жанарғылар болып табылады. Бұл жанарғыларда газды отын және ауаның араласуы жанарғыдан бөлек молекулярлық диффузия әсерінен жүреді. Жанарғылардың өнімділігі 360 $м^3$/*сағат* дейін болады (5.13 сурет).




5.13 сурет. Орташа қысымды үрлеусіз диффузиялық жанарғы

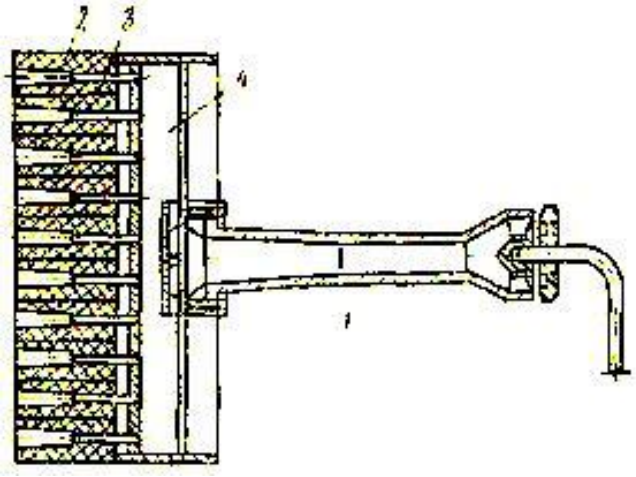



5.14 сурет. Кинетикалық инжекциялық жанарғы схемасы

Кинетикалық инжекциялық жанар-ғының жұмыс істеу принципі мына түрде болады. Құбырмен *1* берілген газды отын ағыны ауаны инжекторға *3* сорады. Бұрандалы шайба *2* көмегімен инжектор және шайба аралығын өзгерту арқылы ауаның мөлшерін реттеуге болады. Кезекпен канал *4*, диффузор *5* және конусты түтік *6* арқылы өткен газды ауа қоспасы жақсы араласады. Конусты түтіктен шыққан газды ауа қоспасы жану камерасында *7* жанады (5.14 сурет).

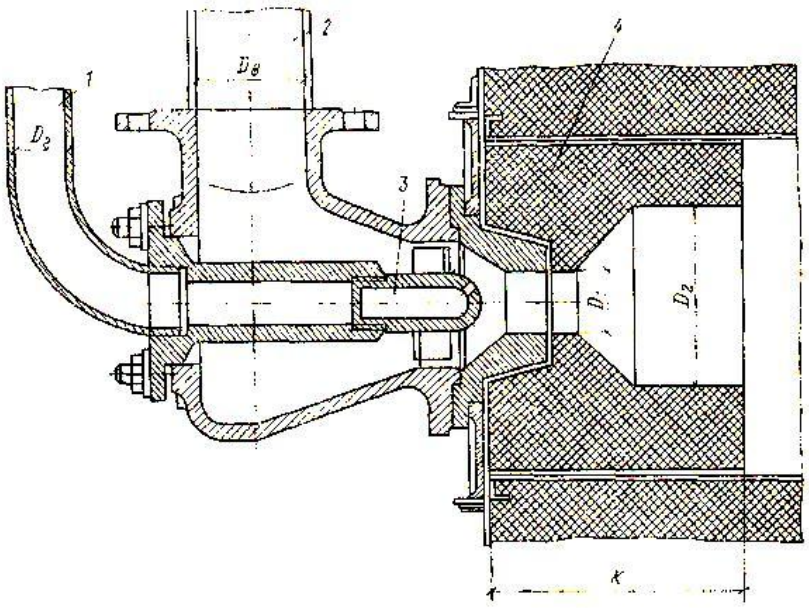
Қазіргі кезде, инжекциялық жанарғылардың көптеген түрлері қолданылады. Бұл жанарғылардың көмегі арқылы газды отынды жалынды және жалынсыз жағуға болады.

Кең аралықтағы бетті қыздыру кезінде жалынсыз жанарғыларды қолданады (5.15 сурет). Инжекциялық жанарғыдан *1* шыққан газды ауа қоспасы тарату камерасына *4* өтеді. Тарату камерасының келесі бетінде бірнеше құбырлар *3* жанастырылған. Бұл құбырларда газды ауа қоспасы бірнеше кіші ағындарға бөлініп жану камерасында *2* жанады.




5.15 сурет. Кең аралықтағы бетті қыздыруға арналған жалынсыз жанарғы

Ауа ағынын еріксіз қозғалыста болатын үрлегіш жанарғыларда желдеткіш құрылғыларын қолданады. Желдеткіш арқылы 10 *кПа* қысыммен құбырға *2* берілген ауа арнайы жақтауша *3* арқылы айналымға түсіп, иінді құбыр *1* арқылы берілген газды отынмен жақсы араласады. Пайда болған газды ауа қоспасы оттық кеңістігінде *4* жанады. Мұндай конструкциялы жанарғы туннельді пештерде кеңінен қолданылады. Жанарғы өнімділігі 1,2÷400 *м³/сағат* аралығында (5.16 сурет).




5.16 сурет. Ауа ағынын еріксіз беретін төмен қысымды үрлегіш жанарғы

## 5.3. Есепті орындау әдістемесі

### 1. Газды отындардың жануын есептеу

1. Алдын-ала берілгендер:
1.1. Отынның құрғақ масса бойынша мөлшері (%):
- метан ($CH_4^K$),
- этан ($C_2H_6^K$),
- пропан ($C_3H_8^K$),
- бутан ($C_4H_{10}^K$),
- пентан ($C_5H_{12}^K$),
- көміртек тотығы ($CO^K$),
- сутек ($H_2^K$),
- этилен ($C_2H_4^K$),
- күкіртсутек ($H_2S^K$),
- көміртек қос тотығы ($CO_2^K$),
- азот ($N_2^K$),
- оттек ($O_2^K$),

1.2. Отындағы судың ылғал масса бойынша мөлшері ($H_2O^{ЫЛ}$).
1.3. Ауаның ылғал мөлшері ($d$).
1.4. Ауаның шығын коэффициенті ($\alpha$).
1.5. Отынның температурасы ($t_o$).
1.6. Бірінші ауаның температурасы ($t_1$).
1.7. Екінші ауаның температурасы ($t_2$).
1.8. Бірінші ауаның үлесі ($n$)
1.9. Оттықтың пирометриялық коэффициенті ($\eta_o$).
1.10. Жану өнімдерінің қажетті температурасы ($t_{К.Т.}$).

2. Отынның жануын есептеуден бұрын, отын компоненттерінің мөлшерін құрғақ масса бойынша 100% -ке келтіріп алу керек.

Содан кейін ылғал масса күйіне келтіріп қайта есептейді. Отын компоненттерінің құрамын ылғал масса күйіне қайта өткізу мына формула бойынша жүргізіледі:

$$
\begin{aligned}
CH_4^{ЫЛ} &= 0{,}01 \cdot CH_4 \cdot (100 - H_2O^{ЫЛ}),\% & C_2H_6^{ЫЛ} &= 0{,}01 \cdot C_2H_6 \cdot (100 - H_2O^{ЫЛ}),\% \\
C_3H_8^{ЫЛ} &= 0{,}01 \cdot C_3H_8 \cdot (100 - H_2O^{ЫЛ}),\% & C_4H_{10}^{ЫЛ} &= 0{,}01 \cdot C_4H_{10} \cdot (100 - H_2O^{ЫЛ}),\% \\
C_5H_{12}^{ЫЛ} &= 0{,}01 \cdot C_5H_{12} \cdot (100 - H_2O^{ЫЛ}),\% & CO^{ЫЛ} &= 0{,}01 \cdot CO \cdot (100 - H_2O^{ЫЛ}),\% \\
H_2{}^{ЫЛ} &= 0{,}01 \cdot H_2 \cdot (100 - H_2O^{ЫЛ}),\% & C_2H_4^{ЫЛ} &= 0{,}01 \cdot C_2H_4 \cdot (100 - H_2O^{ЫЛ}),\% \\
H_2S^{ЫЛ} &= 0{,}01 \cdot H_2S \cdot (100 - H_2O^{ЫЛ}),\% & CO_2{}^{ЫЛ} &= 0{,}01 \cdot CO_2 \cdot (100 - H_2O^{ЫЛ}),\% \\
N_2{}^{ЫЛ} &= 0{,}01 \cdot N_2 \cdot (100 - H_2O^{ЫЛ}),\% & O_2{}^{ЫЛ} &= 0{,}01 \cdot O_2 \cdot (100 - H_2O^{ЫЛ}),\%
\end{aligned}
\qquad (5.5)
$$

3. Отынның төменгі жылу шығару мүмкіндігі, мына формула бойынша анықталады:

$$Q_{төм} = (358{,}2 \cdot CH_4^{ЫI} + 637{,}5 \cdot C_2H_6^{ЫI} + 912{,}5 \cdot C_3H_8^{ЫI} + 1186{,}5 \cdot C_4H_{10}^{ЫI} + \\ + 1460{,}8 \cdot C_5H_{12}^{ЫI} + 126{,}5 \cdot CO^{ЫI} + 107{,}6 \cdot H_2^{ЫI} + 587 \cdot C_2H_4^{ЫI} + 231 \cdot H_2S^{ЫI}) \quad кДж/м^3 \quad (5.6)$$

4. Отынның жануына қажетті ауаның мөлшерін есептеу мына жолмен жүргізіледі:

4.1. Отынның жануына қажетті құрғақ ауаның теоретикалық мөлшері:

$$L_o = 0{,}0476 \cdot \beta, \quad м^3/м^3 \quad (5.7)$$

мұнда: $\beta = 2 \cdot CH_4^{ЫI} + 3{,}5 \cdot C_2H_6^{ЫI} + 5{,}0 \cdot C_3H_8^{ЫI} + 6{,}5 \cdot C_4H_{10}^{ЫI} + 8{,}0 \cdot C_5H_{12}^{ЫI} + \\ + 0{,}5 \cdot CO^{ЫI} + 0{,}5 \cdot H_2^{ЫI} + 3{,}0 \cdot C_2H_4^{ЫI} + 1{,}5 \cdot H_2S^{ЫI} - 1{,}0 \cdot O_2^{ЫI}$

4.2. Отынның жануына қажетті ылғал ауаның теоретикалық мөлшері:

$$L_o^{/} = (1 + 0{,}0016 \cdot d) \cdot L_o, \quad м^3/м^3 \quad (5.8)$$

4.3. Ауаның шығын коэффициентін ескергендегі отынның жануына қажетті құрғақ ауаның шын мәніндегі мөлшері:

$$L_\alpha = \alpha \cdot L_o, \quad м^3/м^3 \quad (5.9)$$

4.4. Отынның жануына қажетті ылғал ауаның шын мәніндегі мөлшері:

$$L_\alpha^{/} = \alpha \cdot L_o^{/}, \quad м^3/м^3 \quad (5.10)$$

5. Отынның жану кезіндегі бөлінетін жану өнімдерінің көлемі мына формула бойынша есептеледі:

Көміртек қос тотығының көлемі:

$$V_{CO_2} = 0{,}01 \cdot (CH_4^{ЫI} + 2 \cdot C_2H_6^{ЫI} + 3 \cdot C_3H_8^{ЫI} + 4 \cdot C_4H_{10}^{ЫI} + \\ + 5 \cdot C_5H_{12}^{ЫI} + CO^{ЫI} + 2 \cdot C_2H_4^{ЫI} + \cdot CO_2^{ЫI}), \quad м^3/м^3 \quad (5.11)$$

Су буының көлемі:

$$V_{H_2O} = 0{,}01 \cdot (2 \cdot CH_4^{ЫI} + 3 \cdot C_2H_6^{ЫI} + 4 \cdot C_3H_8^{ЫI} + 5 \cdot C_4H_{10}^{ЫI} + \\ + 6 \cdot C_5H_{12}^{ЫI} + H_2O^{ЫI} + H_2^{ЫI} + 2 \cdot C_2H_4^{ЫI} + \cdot H_2S^{ЫI} + 0{,}16 \cdot \alpha \cdot L_\alpha), \quad м^3/м^3 \quad (5.12)$$

Күкірт қос тотығының көлемі:

$$V_{SO_2} = 0{,}01 \cdot H_2S^{ЫІ}, \quad м^3/м^3 \tag{5.13}$$

Азоттың көлемі:

$$V_{N_2} = 0{,}79 \cdot L_\alpha + 0{,}01 \cdot N_2^{ЫІ}, \quad м^3/м^3 \tag{5.14}$$

Оттектің көлемі:

$$V_{O_2} = 0{,}21 \cdot (\alpha - 1) \cdot L_o, \quad м^3/м^3 \tag{5.15}$$

Жану өнімдері көлемдерінің қосындысы:

$$V_\alpha = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{SO_2} + V_{N_2} + V_{O_2}, \quad м^3/м^3 \tag{5.16}$$

6. Жану өнімдерінің пайыздық мөлшері мына формула бойынша анықталады:

$$P_{CO_2} = \frac{100 \cdot V_{CO_2}}{V_\alpha}, \quad \% \tag{5.17}$$

$$P_{H_2O} = \frac{100 \cdot V_{H_2O}}{V_\alpha}, \quad \% \tag{5.18}$$

$$P_{SO_2} = \frac{100 \cdot V_{SO_2}}{V_\alpha}, \quad \% \tag{5.19}$$

$$P_{N_2} = \frac{100 \cdot V_{N_2}}{V_\alpha}, \quad \% \tag{5.20}$$

$$P_{O_2} = \frac{100 \cdot V_{O_2}}{V_\alpha}, \quad \% \tag{5.21}$$

Жану өнімдерінің жоғарыда шығарылған пайыздық мөлшерлерінің қосындысы 100 пайызға тең болу қажет.

$$\sum P = P_{CO_2} + P_{H_2O} + P_{SO_2} + P_{N_2} + P_{O_2} = 100, \ \% \tag{5.22}$$

7. Отынның жану процесінің материалды балансы есептеледі. Материалды баланс 100 $м^3$ отынға есептеледі және екі бөліктен тұрады: кіріс және шығыс.

7.1. Материалды баланстың кіріс бөлігін есептеу.

Отынның массасы газды компоненттерінің массаларының жалпы қосындысына тең деп алынады.

$$M_o = M_{CH_4} + M_{C_2H_6} + M_{C_3H_8} + M_{C_4H_{10}} + M_{C_5H_{12}} + M_{CO} + M_{H_2} + \\ + M_{C_2H_4} + M_{H_2S} + M_{CO_2} + M_{N_2} + M_{O_2} + M_{H_2O}, \ кг \qquad (5.23)$$

мұнда:

$$M_{CH_4} = CH_4^{ЫІ} \cdot \rho_{CH_4}, кг \qquad M_{C_2H_6} = C_2H_6^{ЫІ} \cdot \rho_{C_2H_6}, кг$$

$$M_{C_3H_8} = C_3H_8^{ЫІ} \cdot \rho_{C_3H_8}, кг \qquad M_{C_4H_{10}} = C_4H_{10}^{ЫІ} \cdot \rho_{C_4H_{10}}, кг$$

$$M_{C_5H_{12}} = C_5H_{12}^{ЫІ} \cdot \rho_{C_5H_{12}}, кг \qquad M_{CO} = CO^{ЫІ} \cdot \rho_{CO}, кг$$

$$M_{H_2} = H_2^{ЫІ} \cdot \rho_{H_2}, кг \qquad M_{C_2H_4} = C_2H_4^{ЫІ} \cdot \rho_{C_2H_4}, кг$$

$$M_{H_3S} = H_2S_8^{ЫІ} \cdot \rho_{H_2S}, кг \qquad M_{CO_2} = CO_2^{ЫІ} \cdot \rho_{CO_2}, кг$$

$$M_{N_2} = N_2^{ЫІ} \cdot \rho_{N_2}, кг \qquad M_{O_2} = O_2^{ЫІ} \cdot \rho_{O_2}, кг$$

$$M_{H_2O} = H_2O^{ЫІ} \cdot \rho_{H_2O}, кг$$

Газдар тығыздықтарының ($\rho$) мәні 4.3 кестеде келтірілген.

Ауаның массасы оттектің, азоттың және су буы массаларының қосындысынан тұрады.

Оттектің массасы: $M_{O_2} = \beta \cdot \alpha \cdot \rho_{O_2}, \ кг$ (5.24)

Азоттың массасы: $M_{N_2} = \beta \cdot 3{,}762 \cdot \alpha \cdot \rho_{N_2}, \ кг$ (5.25)

Су буының массасы: $M_{H_2O} = 100 \cdot 0{,}0016 \cdot d \cdot L_\alpha \cdot \rho_{H_2O}, кг$ (5.26)

Материалды баланстың кіріс бөлігінің жалпы массасы мына формула бойынша есептеледі:

$$M_{кіріс} = M_o + M_{O_2} + M_{N_2} + M_{H_2O}, кг \qquad (5.27)$$

5.3 кесте. Қалыпты жағдайдағы газдардың тығыздығы, *кг/м*$^3$

| $CH_4$ | $C_2H_6$ | $C_3H_8$ | $C_4H_{10}$ | $C_5H_{12}$ | $CO$ | $H_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,717 | 1,356 | 2,020 | 2,840 | 3,218 | 1,250 | 0,0898 |

5.3 кесте жалғасы

| $C_2H_4$ | $H_2S$ | $O_2$ | $N_2$ | $H_2O$ | $CO_2$ | $SO_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1,261 | 1,539 | 1,429 | 1,251 | 0,804 | 1,977 | 2,852 |

7.2. Материалды баланстың шығыс бөлігін есептеу.

Отынның жану өнімдерінің массалары келесі формулалар бойынша есептеледі:

Қос тотықты көміртек массасы: $M'_{CO_2} = 100 \cdot V_{CO_2} \cdot \rho_{CO_2}$, *кг* (5.28)

Қос тотықты күкірттің массасы: $M'_{SO_2} = 100 \cdot V_{SO_2} \cdot \rho_{SO_2}$, *кг* (5.29)

Су буының массасы: $M'_{H_2O} = 100 \cdot V_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O}$, *кг* (5.30)

Азоттың массасы: $M'_{N_2} = 100 \cdot V_{N_2} \cdot \rho_{N_2}$, *кг* (5.31)

Оттектің массасы: $M'_{O_2} = 100 \cdot V_{O_2} \cdot \rho_{O_2}$, *кг* (5.32)

Материалды баланстың шығыс бөлігінің жалпы массасы мына формула бойынша есептеледі:

$$M_{шығыс} = M'_K + M'_{CO_2} + M'_{SO_2} + M'_{H_2O} + M'_{N_2} + M'_{O_2}, \text{ кг} \quad (5.33)$$

Материалды баланстың абсолютті күрмеуі:

$$N_{абс} = M_{кіріс} - M_{шығыс}, \text{ кг} \quad (5.34)$$

Материалды баланстың пайыздық күрмеуі:

$$N_n = \frac{100 \cdot N_{абс}}{M_{кіріс}}, \ \% \quad (5.35)$$

8. Отынның жану кезіндегі калориметриялық және шын мәніндегі температураларын есептеу мына жолмен жүргізіледі.

Бірінші ауаның температурасына ($t_1$) сәйкес құрғақ ауаның ($C'_{құрг.ауа}$) және су буының ($C'_{H_2O}$) жылу сыйымдылықтары 4.4 кестедегі мәндер бойынша интерполяция әдісімен анықталады.

Бірінші ылғал ауаның жылу сыйымдылығы мына формула бойынша анықталады:

$$C_{ауа_1} = \frac{C'_{құрг.ауа} + 0{,}0016 \cdot d \cdot C'_{H_2O}}{1 + 0{,}0016 \cdot d}, \quad кДж/(м^3 \cdot {}^oC) \quad (5.36)$$

5.4 кесте. Құрғақ ауа және су буының жылу сыйымдылығы, *кДж/(м³ ·°C)*

| Температура, °C | Құрғақ ауаның жылу сыйымдылығы, *кДж/(м³ ·°C)* | Су буының жылу сыйымдылығы, *кДж/(м³ ·°C)* |
|---|---|---|
| 0 | 1,2971 | 1,4943 |
| 100 | 1,3005 | 1,5052 |
| 200 | 1,3076 | 1,5224 |
| 300 | 1,3177 | 1,5425 |
| 400 | 1,3294 | 1,5655 |
| 500 | 1,3428 | 1,5898 |
| 600 | 1,3570 | 1,6149 |
| 700 | 1,3712 | 1,6413 |
| 800 | 1,3846 | 1,6681 |
| 900 | 1,3976 | 1,6957 |
| 1000 | 1,4098 | 1,7230 |
| 1100 | 1,4219 | 1,7502 |
| 1200 | 1,4328 | 1,7700 |

Екінші ауаның температурасына ($t_2$) сәйкес құрғақ ауаның ($C''_{.ауа}$) және су буының ($C''_{H_2O}$) жылу сыйымдылықтары 5.4 кестедегі мәндер бойынша интерполяция әдісімен анықталады.

Екінші ылғал ауаның жылу сыйымдылығы мына формула бойынша анықталады:

$$C_{ауа_2} = \frac{C''_{.ауа} + 0{,}0016 \cdot d \cdot C''_{H_2O}}{1 + 0{,}0016 \cdot d}, \quad кДж/(м^3 \cdot ^oC) \qquad (5.37)$$

Газды отынның жылу сыйымдылығы мына формула бойынша есептеледі:

$$\begin{aligned} C_o = {} & CH_4^{ЫI} \cdot C_{CH_4} + C_2H_6^{ЫI} \cdot C_{C_2H_6} + C_3H_8^{ЫI} \cdot C_{C_3H_8} + \\ & + C_4H_{10}^{ЫI} \cdot C_{C_4H_{10}} + C_5H_{12}^{ЫI} \cdot C_{C_5H_{12}} + CO^{ЫI} \cdot C_{CO} + \\ & + H_2^{ЫI} \cdot C_{H_2} + C_2H_4^{ЫI} \cdot C_{C_2H_4} + H_2S^{ЫI} \cdot C_{H_2S} + \\ & + CO_2 \cdot C_{CO_2} + N_2^{ЫI} \cdot C_{N_2} + O_2^{ЫI} \cdot C_{O_2} + H_2O^{ЫI} \cdot C_{H_2O} \end{aligned}, \quad кДж/м^3 \qquad (5.38)$$

мұнда: – ($C_{CH_4}, C_{C_2H_6}, C_{C_3H_8}, C_{C_4H_{10}}, C_{C_5H_{12}}, C_{CO}, C_{H_2}, C_{C_2H_4}, C_{H_2S}, C_{CO_2}, C_{N_2}, C_{O_2}, C_{H_2O}$) газды отын компоненттерінің жылу сыйымдылықтары отынның температурасына ($t_o$) сәйкес 5.5 кестедегі мәндер бойынша интерполяция әдісімен анықталады

Газды отын жану өнімдерінің жылу мөлшері мына формула бойынша есептеледі.

$$I_{ж.ө.} = \frac{Q_{төм} + C_o \cdot t_o + L'_\alpha \cdot n \cdot C_{ауа_1} \cdot t_1 + L'_\alpha \cdot (1-n) \cdot C_{ауа_2} \cdot t_2}{V_\alpha}, \quad кДж/м^3 \qquad (5.39)$$

Бірінші ауаның үлесінің (n) мәні 5.6 кестеден алынады.

5.5 кесте. Газдардың орташа жылу сыйымдылықтары, $кДж/(м^3 \cdot {}^oC)$

| Температура, ${}^oC$ | Газдардың жылу сыйымдылықтары, $кДж/(м^3 \cdot {}^oC)$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $CH_4$ | $C_2H_6$ | $C_3H_8$ | $C_4H_{10}$ | $C_5H_{12}$ | CO |
| 0 | 1,5500 | 2,227 | 3,039 | 4,128 | 5,129 | 1,299 |
| 100 | 1,6421 | 2,525 | 3,450 | 4,517 | 5,837 | 1,302 |
| 200 | 1,7590 | 2,809 | 3,860 | 5,255 | 6,515 | 1,307 |
| 300 | 1,8862 | 3,077 | 4,271 | 5,774 | 7,135 | 1,317 |
| 400 | 2,0156 | 3,333 | 4,681 | 6,268 | 7,742 | 1,329 |
| 500 | 2,1404 | 3,571 | 5,095 | 6,691 | 8,257 | 1,343 |
| 600 | 2,2610 | 3,793 | 5,491 | 7,114 | 8,784 | 1,357 |
| 700 | 2,3770 | 4,003 | 5,724 | 7,486 | 9,232 | 1,372 |
| 800 | 2,4942 | 4,199 | 5,987 | 7,808 | 9,626 | 1,386 |
| 900 | 2,6026 | 4,379 | 6,230 | 8,114 | 9,990 | 1,399 |
| 1000 | 2,6994 | 4,543 | 6,561 | 8,403 | 10,350 | 1,413 |
| 1100 | 2,7865 | 4,684 | 6,678 | 8,679 | 10,680 | 1,425 |
| 1200 | 2,8631 | 4,826 | 6,882 | 8,939 | 10,997 | 1,436 |

5.5 кестенің жалғасы

| Температура, ${}^oC$ | Газдардың жылу сыйымдылықтары, $кДж/(м^3 \cdot {}^oC)$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $H_2$ | $C_2H_4$ | $H_2S$ | $O_2$ | $N_2$ | $CO_2$ |
| 0 | 1,2766 | 1,8268 | 1,5073 | 1,3059 | 1,2946 | 1,5998 |
| 100 | 1,2908 | 2,0621 | 1,5324 | 1,3176 | 1,2959 | 1,7003 |
| 200 | 1,2971 | 2,2828 | 1,5617 | 1,3352 | 1,2996 | 1,7874 |
| 300 | 1,2992 | 2,4955 | 1,5952 | 1,3562 | 1,3068 | 1,8628 |
| 400 | 1,3022 | 2,6860 | 1,6329 | 1,3775 | 1,3164 | 1,9298 |
| 500 | 1,3061 | 2,8635 | 1,6706 | 1,3980 | 1,3277 | 1,9888 |
| 600 | 1,3080 | 3,0259 | 1,7083 | 1,4168 | 1,3402 | 2,0412 |
| 700 | 1,3122 | 3,1700 | 1,7460 | 1,4345 | 1,3537 | 2,0885 |
| 800 | 1,3168 | 3,3082 | 1,7837 | 1,4500 | 1,3670 | 2,1312 |
| 900 | 1,3227 | 3,4317 | 1,8172 | 1,4646 | 1,3796 | 2,1693 |
| 1000 | 1,3289 | 3,5472 | 1,8507 | 1,4776 | 1,3918 | 2,2036 |
| 1100 | 1,3361 | 3,6657 | 1,8842 | 1,4893 | 1,4085 | 2,2350 |
| 1200 | 1,3432 | 3,7528 | 1,9093 | 1,5006 | 1,4144 | 2,2639 |

5.6 кесте. Бірінші ауаның үлесі

| Толық араластыратын инжекторлы жанарғы | Төмен температуралы процестер кезіндегі біршама араластыратын инжекторлы жанарғы | Жоғары температуралы процесстерде |
|---|---|---|
| 1,0 | 0,5–0,6 | 0,25–0,4 |

Есептеуден алынған жану өнімдерінің жылу мөлшерінің мәніне сәйкес отынның калориметриялық температураларының ($t_{к_1}$ және $t_{к_2}$) аралығы 5.7 кесте бойынша анықталады.

5.7 кесте. Жану өнімдерінің жылу мөлшері, *кДж/м*$^3$

| Жану өнімдерінің температурасы, °С | Жану өнімдері | | | | | Жану өнімдерінің жылу мөлшері, *кДж/м*$^3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $CO_2$ | $H_2O$ | $SO_2$ | $N_2$ | $O_2$ | |
| 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 100,0 | 170,0 | 150,7 | 181,3 | 129,8 | 131,9 | 136,5 |
| 200,0 | 357,6 | 304,4 | 377,7 | 260,0 | 267,1 | 275,5 |
| 300,0 | 558,9 | 462,7 | 586,6 | 391,9 | 407,0 | 417,4 |
| 400,0 | 772,1 | 626,4 | 807,2 | 526,7 | 551,0 | 564,0 |
| 500,0 | 994,4 | 795,1 | 1034,2 | 664,1 | 699,2 | 713,5 |
| 600,0 | 1224,7 | 968,9 | 1268,7 | 804,3 | 850,0 | 866,3 |
| 700,0 | 1462,1 | 1148,9 | 1506,5 | 947,5 | 1004,0 | 1025,0 |
| 800,0 | 1704,9 | 1334,4 | 1745,1 | 1093,6 | 1159,8 | 1185,3 |
| 900,0 | 1952,4 | 1526,2 | 1993,4 | 1241,9 | 1318,1 | 1341,5 |
| 1000,0 | 2203,6 | 1722,9 | 2235,9 | 1391,7 | 1477,6 | 1516,9 |
| 1100,0 | 2458,6 | 1925,2 | 2487,1 | 1543,7 | 1638,4 | 1684,4 |
| 1200,0 | 2716,5 | 2132,4 | 2733,3 | 1697,4 | 1800,8 | 1855,3 |
| 1300,0 | 2976,9 | 2343,9 | 3033,3 | 1852,7 | 1963,7 | 2029,4 |
| 1400,0 | 3239,1 | 2559,1 | 3333,3 | 2008,9 | 2128,2 | 2200,7 |
| 1500,0 | 3503,3 | 2779,3 | 3633,3 | 2166,3 | 2294,5 | 2380,3 |
| 1600,0 | 3769,1 | 3002,1 | 3933,3 | 2324,6 | 2460,7 | 2560,8 |
| 1700,0 | 4036,7 | 3229,4 | 4230,3 | 2484,1 | 2628,6 | 2736,2 |
| 1800,0 | 4305,1 | 3458,5 | 4530,0 | 2643,7 | 2797,7 | 2916,7 |
| 1900,0 | 4574,3 | 3690,4 | 4800,0 | 2804,4 | 2967,3 | 3096,7 |
| 2000,0 | 4844,4 | 3925,7 | 5100,0 | 2965,2 | 3138,6 | 3285,5 |
| 2100,0 | 5115,7 | 4163,5 | 5400,0 | 3127,7 | 3309,4 | 3468,4 |
| 2200,0 | 5387,0 | 4402,2 | 5700,0 | 3289,3 | 3482,7 | 3651,3 |
| 2300,0 | 5658,7 | 4643,8 | 6000,0 | 3452,6 | 3656,5 | 3834,2 |
| 2400,0 | 5930,9 | 4887,9 | 6300,0 | 3615,5 | 3831,5 | 4017,1 |
| 2500,0 | 6203,0 | 5132,4 | 6600,0 | 3778,8 | 4007,0 | 4200,0 |

Осы кесте бойынша анықталған $t_{к_1}$ және $t_{к_2}$ температураларына сәйкес жану өнімдері компонеттерінің жылу мөлшерлері ( $I'_{CO_2}, I'_{SO_2}, I'_{H_2O}, I'_{N_2}, I'_{O_2}$ және $I''_{CO_2}, I''_{SO_2}, I''_{H_2O}, I''_{N_2}, I''_{O_2}$ ) анықталады.

$t_{к_1}$ және $t_{к_2}$ температураларына сәйкес жану өнімдерінің жылу мөлшері мына формула бойынша есептеледі:

$$I_{к_1} = \frac{I'_{CO_2} \cdot P_{CO_2} + I'_{SO_2} \cdot P_{SO_2} + I'_{H_2O} \cdot P_{H_2O} + I'_{N_2} \cdot P_{N_2} + I'_{O_2} \cdot P_{O_2}}{100}, \text{ кДж/м}^3 \quad (5.40)$$

$$I_{к_2} = \frac{I''_{CO_2} \cdot P_{CO_2} + I''_{SO_2} \cdot P_{SO_2} + I''_{H_2O} \cdot P_{H_2O} + I''_{N_2} \cdot P_{N_2} + I''_{O_2} \cdot P_{O_2}}{100}, \text{ кДж/м}^3 \quad (5.41)$$

Отынның жану кезіндегі калориметриялық температурасымен жану өнімдерінің ең төменгі температурасы ($t_{к_1}$) арасындағы температура айырмашылығы ($\Delta t_к$) мына формула бойынша анықталады:

$$\Delta t_к = \frac{100 \cdot (I_{ж.ө.} - I_{к_1})}{(I_{к_2} - I_{к_1})}, \ ^oC \qquad (5.42)$$

Отынның жану кезіндегі калориметриялық температурасы мына формула бойынша есептеледі:

$$t_к = t_{к_1} + \Delta t_к \ , \ ^oC \qquad (5.43)$$

Отынның шын мәніндегі жану температурасын ($t_ш$) есептеу калориметриялық температураны анықтаған тәсіл бойынша жүргізіледі.

Отын жануының шын мәніндегі температурасына сәйкес, жану өнімдерінің жылу мөлшері есептеледі:

$$I_ш = I_{ж.ө.} \cdot \eta_o \ , \ кДж/м^3 \qquad (5.44)$$

мұнда: $\eta_o$ – оттықтың пирометриялық коэфициенті, 5.8 кестеден алынады.

5.8 кесте. Оттықтың пирометриялық коэфициенті

| Пеш түрі | Камералы | Туннельді | Шахталы | Айналмалы | Оттық |
|---|---|---|---|---|---|
| Пирометриялық коэффициент | 0,7-0,78 | 0,73-0,78 | 0,67-0,73 | 0,7-0,75 | 0,75-0,78 |

9. Отынның жану өнімдерінің қажетті температурасына сәйкес, ауаның жалпы шығын коэфициентін ($\alpha_ж$) есептеу мына жолмен жүргізіледі.

Отынның жану өнімдерінің қажетті температурасының мәнін күйдірілетін материалдардың немесе бұйымдарды максималды күйдіру температурасынан 200÷250 $^oC$ аралығында жоғары етіп алынады.

$$t_{.т.} = (200 \div 250) + t_к \ , \ ^oC \qquad (5.45)$$

Қажетті температураға ($t_{қ.т}$) сәйкес 5.7 кесте бойынша отынның жану өнімдерінің жылу мөлшері мына формула бойынша есептеледі:

$$I_{.т.} = \frac{I_{CO_2}^{.т.} \cdot P_{CO_2} + I_{SO_2}^{.т.} \cdot P_{SO_2} + I_{H_2O}^{.т.} \cdot P_{H_2O} + I_{N_2}^{.т.} \cdot P_{N_2} + I_{O_2}^{.т.} \cdot P_{O_2}}{100} \ , кДж/м^3 \qquad (5.46)$$

Қажетті температураға ($t_{қ.т}$) сәйкес 5.7 кесте бойынша отынның жануына қатысатын ауаның жылу мөлшері мына формула бойынша есептеледі:

$$I_{ауа.қ.т.} = \frac{0{,}79 \cdot I_{N_2}^{қ.т.} + 0{,}21 \cdot I_{O_2}^{қ.т.} + 0{,}0016 \cdot d \cdot I_{H_2O}^{қ.т.}}{1 + 0{,}0016 \cdot d} \text{ , кДж/м}^3 \quad (5.47)$$

Отынның жану өнімдерімен араластыруға қажетті қосымша ауаның мөлшері мына формула бойынша есептеледі:

$$X = \frac{I_{ж.ө.} \cdot V_\alpha \cdot \eta_o - I_{қ.т.} \cdot V_\alpha + L_\alpha^{/} \cdot t_1 \cdot C_{ауа_1}}{I_{ауа.қ.т.} - t_1 \cdot C_{ауа_1}}, \ м^3/м^3 \quad (5.48)$$

Жануға және отынның жану өнімдерімен араластыруға қажетті ауаның жалпы мөлшері мына формула бойынша есептеледі:

$$L_\alpha^{//} = L_\alpha^{/} + X \ , \ м^3/м^3 \quad (5.49)$$

Ауаның жалпы шығын коэфициенті мына формула бойынша анықталады:

$$\alpha_ж = \frac{L_\alpha^{//}}{L_o^{/}} \quad (5.50)$$

10. Ауамен араласқан жану өнімдерінің ылғал мөлшері ($d_ж$) есептеу мына жолмен жүргізіледі.

Көміртек қос тотығының көлемі:

$$V_{CO_2}^{/} = V_{CO_2} \ , \ м^3/м^3 \quad (5.51)$$

Күкірт қос тоты тотығының көлемі:

$$V_{SO_2}^{/} = V_{SO_2} \ , \ м^3/м^3 \quad (5.52)$$

Азоттың көлемі:

$$V_{N_2}^{/} = V_{N_2} + 0{,}79 \cdot (\alpha_ж - 1) \cdot L_o \ , \ м^3/м^3 \quad (5.53)$$

Оттектің көлемі:

$$V_{O_2}^{/} = 0{,}21 \cdot (\alpha_ж - 1) \cdot L_o \ , \ м^3/м^3 \quad (5.54)$$

Су буының көлемі:

$$V^{/}_{H_2O} = V_{H_2O} + 0{,}0016 \cdot d \cdot (\alpha_{ж} - 1) \cdot L_o \ , \ м^3/м^3 \qquad (5.55)$$

Ауамен араласқан жану өнімдерінің ылғал мөлшері мына формула бойынша есептеледі:

$$d_{ж} = \frac{1000 \cdot \rho_{H_2O} \cdot V^{/}_{H_2O}}{\rho_{CO_2} \cdot V^{/}_{CO_2} + \rho_{N_2} \cdot V^{/}_{N_2} + \rho_{O_2} \cdot V^{/}_{O_2} + \rho_{SO_2} \cdot V^{/}_{SO_2}} \ , \ г/кг \qquad (5.56)$$

## 2. Қатты және сұйық отындардың жануын есептеу

1. Алдын-ала берілгендер:
1.1 Отынның жанармай массасы бойынша мөлшері (%):
- көміртек ($C^{ЖН}$),
- сутек ($H^{ЖН}$),
- оттек ($O^{ЖН}$),
- азот ($N^{ЖН}$),
- күкірт ($S^{ЖН}$).

1.2. Күлдің құрғақ ($A^{К}$) немесе жұмыс массасы ($A^{ЖМ}$) бойынша мөлшері (%).
1.3. Отынның жұмыс массасы бойынша ылғал мөлшері ($W^{ЖМ}$).
1.4. Ауаның ылғал мөлшері ($d$).
1.5. Ауаның шығын коэффициенті ($\alpha$).
1.6. Жануға берілетін отынның жылу сыймдылығы ($C_o$).
1.7. Отынның температурасы ($t_o$).
1.8. Бірінші ауаның температурасы ($t_1$).
1.9. Екінші ауаның температурасы ($t_2$).
1.10. Бірінші ауаның үлесі ($n$)
1.11. Оттықтың пирометриялық коэффициенті ($\eta_o$).
1.12. Жану өнімдерінің қажетті температурасы ($t_{К.Т.}$).

2. Отынның жануын есептеуден бұрын, отын компоненттерінің мөлшерін жану массасы бойынша 100 пайызға келтіріп алу керек.

Содан соң жұмыс массасына келтіріп қайта есептейді. Егер күлдің мөлшері құрғақ масса күйінде берілсе, онда оны жұмыс массасына келтіру мына формула бойынша жүргізіледі:

$$A^{ЖМ} = 0{,}01 \cdot A^{К} \cdot (100 - W^{ЖМ}) \ , \ \% \qquad (5.57)$$

Отынның басқа компоненттердің мөлшерін қайта есептеу мына формула бойынша жүргізіледі:

$$
\begin{aligned}
C^{ЖМ} &= 0{,}01 \cdot C^{ЖН} \cdot (100 - A^{ЖМ} - W^{ЖМ}), \% \\
H^{ЖМ} &= 0{,}01 \cdot H^{ЖН} \cdot (100 - A^{ЖМ} - W^{ЖМ}), \% \\
O^{ЖМ} &= 0{,}01 \cdot O^{ЖН} \cdot (100 - A^{ЖМ} - W^{ЖМ}), \% \\
N^{ЖМ} &= 0{,}01 \cdot C^{ЖН} \cdot (100 - A^{ЖМ} - W^{ЖМ}), \% \\
S^{ЖМ} &= 0{,}01 \cdot S^{ЖН} \cdot (100 - A^{ЖМ} - W^{ЖМ}), \%
\end{aligned}
\qquad (5.58)
$$

3. Жұмыс массасы бойынша отынның төменгі жылу шығару мүмкіндігі мына формула бойынша анықталады:

$$Q_{төм}^{ЖМ} = 339 \cdot C^{ЖМ} + 1030 \cdot H^{ЖМ} - 108{,}9 \cdot (O^{ЖМ} - S^{ЖМ}) - 25 \cdot W^{ЖМ}, \ кДж/кг \quad (5.59)$$

4. Отынның жануына қажетті ауаның мөлшерін есептеу мына жолмен жүргізіледі:

4.1. Отынның жануына қажетті құрғақ ауаның теоретикалық мөлшері:

$$L_o = 0{,}0889 \cdot C^{ЖМ} + 0{,}265 \cdot H^{ЖМ} - 0{,}0333 \cdot (O^{ЖМ} - S^{ЖМ}), \ м^3/кг \qquad (5.60)$$

4.2. Отынның жануына қажетті ылғал ауаның теоретикалық мөлшері:

$$L_o^{/} = (1 + 0{,}0016 \cdot d) \cdot L_o, \ \ м^3/кг \qquad (5.61)$$

4.3. Ауаның шығын коэффициентін ескергендегі отынның жануына қажетті құрғақ ауаның шын мәніндегі мөлшері:

$$L_\alpha = \alpha \cdot L_o, \ \ м^3/кг \qquad (5.62)$$

4.4. Отынның жануына қажетті ылғал ауаның шын мәніндегі мөлшері:

$$L_\alpha^{/} = (1 + 0{,}0016 \cdot d) \cdot L_\alpha, \ \ м^3/кг \qquad (5.63)$$

5. Отынның жану кезіндегі бөлінетін жану өнімдерінің көлемі мына формула бойынша есептеледі:

Көміртек қос тотығының көлемі:

$$V_{CO_2} = 0{,}01855 \cdot C^{ЖМ}, \ \ м^3/кг \qquad (5.64)$$

Су буының көлемі:

$$V_{H_2O} = 0{,}112 \cdot H^{ЖМ} + 0{,}0124 \cdot W^{ЖМ} + 0{,}0016 \cdot d \cdot L_\alpha, \ \ м^3/кг \qquad (5.65)$$

Күкірт қос тотығының көлемі:

$$V_{SO_2} = 0{,}007 \cdot S^{ЖМ}, \quad м^3/кг \tag{5.66}$$

Азоттың көлемі:

$$V_{N_2} = 0{,}79 \cdot L_\alpha + 0{,}008 \cdot N^{ЖМ}, \quad м^3/кг \tag{5.67}$$

Оттектің көлемі:

$$V_{O_2} = 0{,}21 \cdot (\alpha - 1) \cdot L_o, \quad м^3/кг \tag{5.68}$$

Жану өнімдері көлемдерінің қосындысы:

$$V_\alpha = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{SO_2} + V_{N_2} + V_{O_2}, \quad м^3/кг \tag{5.69}$$

6. Жану өнімдерінің пайыздық мөлшері мына формула бойынша анықталады:

$$P_{CO_2} = \frac{100 \cdot V_{CO_2}}{V_\alpha}, \quad \% \tag{5.70}$$

$$P_{H_2O} = \frac{100 \cdot V_{H_2O}}{V_\alpha}, \quad \% \tag{5.71}$$

$$P_{SO_2} = \frac{100 \cdot V_{SO_2}}{V_\alpha}, \quad \% \tag{5.72}$$

$$P_{N_2} = \frac{100 \cdot V_{N_2}}{V_\alpha}, \quad \% \tag{5.73}$$

$$P_{O_2} = \frac{100 \cdot V_{O_2}}{V_\alpha}, \quad \% \tag{5.74}$$

Жану өнімдерінің жоғарыда шығарылған пайыздық мөлшерлерінің қосындысы 100 пайызға тең болу қажет.

$$\sum P = P_{CO_2} + P_{H_2O} + P_{SO_2} + P_{N_2} + P_{O_2} = 100, \ \% \tag{5.75}$$

7. Отынның жану процесінің материалды балансы есептеледі. Материалды баланс 100 *кг* отынға есептеледі және екі бөліктен тұрады: кіріс және шығыс.

7.1. Материалды баланстың кіріс бөлігін есептеу.

Отынның массасы: $M_O = 100$ *кг* (5.76)

Ауаның массасы оттектің, азоттың және су буы массаларының қосындысынан тұрады.

Оттектің массасы: $M_{O_2} = 100 \cdot 0{,}21 \cdot L_\alpha \cdot \rho_{O_2}$, *кг* (5.77)

Азоттың массасы: $M_{N_2} = 100 \cdot 0{,}79 \cdot L_\alpha \cdot \rho_{N_2}$, *кг* (5.78)

Су буының массасы: $M_{H_2O} = 100 \cdot 0{,}0016 \cdot d \cdot L_\alpha \cdot \rho_{H_2O}$, *кг* (5.79)

Материалды баланстың кіріс бөлігінің жалпы массасы мына формула бойынша есептеледі:

$$M_{кіріс} = M_o + M_{O_2} + M_{N_2} + M_{H_2O}, \text{ кг} \quad (5.80)$$

Газдардың ($\rho$) тығыздықтары 5.9 кестеде келтірілген.

5.9 кесте. Қалыпты жағдайдағы газдардың тығыздығы, *кг/м*$^3$

| $O_2$ | $N_2$ | $H_2O$ | $CO_2$ | $SO_2$ |
|---|---|---|---|---|
| 1,429 | 1,251 | 0,804 | 1,977 | 2,852 |

7.2. Материалды баланстың шығыс бөлігін есептеу.

Отынның массасы: $M'_K = A^{ЖМ}$ *кг* (5.81)

Отынның жану өнімдерінің массалары мына формулалар бойынша есептеледі:

Қос тотықты көміртек массасы: $M'_{CO_2} = 100 \cdot V_{CO_2} \cdot \rho_{CO_2}$, *кг* (5.82)

Қос тотықты күкірттің массасы: $M'_{SO_2} = 100 \cdot V_{SO_2} \cdot \rho_{SO_2}$, *кг* (5.83)

Су буының массасы: $M'_{H_2O} = 100 \cdot V_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O}$, *кг* (5.84)

Азоттың массасы: $M'_{N_2} = 100 \cdot V_{N_2} \cdot \rho_{N_2}$, *кг* (5.85)

Оттектің массасы: $M'_{O_2} = 100 \cdot V_{O_2} \cdot \rho_{O_2}$, *кг* (5.86)

Материалды баланстың шығыс бөлігінің жалпы массасы мына формула бойынша есептеледі:

$$M_{шығыс} = M'_K + M'_{CO_2} + M'_{SO_2} + M'_{H_2O} + M'_{N_2} + M'_{O_2}, \text{ кг} \quad (5.87)$$

Материалды баланстың абсолютті күрмеуі:

$$N_{абс} = M_{кіріс} - M_{шығыс}\ ,\ кг \qquad (5.88)$$

Материалды баланстың пайыздық күрмеуі:

$$N_n = \frac{100 \cdot N_{абс}}{M_{кіріс}}\ ,\ \% \qquad (5.89)$$

8. Отынның жану кезіндегі калориметриялық және шын мәніндегі температураларын есептеу мына жолмен жүргізіледі.

Бірінші ауаның температурасына ($t_1$) сәйкес құрғақ ауаның ($C^{/}_{құрғ.ауа}$) және су буының ($C^{/}_{H_2O}$) жылу сыйымдылықтары 5.4 кестедегі мәндер бойынша интерполяция әдісімен анықталады.

Бірінші ылғал ауаның жылу сыйымдылығы (5.36) формула бойынша анықталады.

Екінші ауаның температурасына ($t_2$) сәйкес құрғақ ауаның ($C^{//}_{құрғ.ауа}$) және су буының ($C^{//}_{H_2O}$) жылу сыйымдылықтары 5.4 кестедегі мәндер бойынша интерполяция әдісімен анықталады.

Екінші ылғал ауаның жылу сыйымдылығы (5.37) формула бойынша анықталады.

Сұйық отынның жылусыйымдылығы мына формула бойынша анықталады.

$$C_o = \frac{I_o}{t_o}\ ,\ кДж/(кг \cdot {}^oC) \qquad (5.90)$$

мұнда: $I_o$ – сұйық отынның жылу мөлшері, *кДж/кг*

$$I_o = 0{,}403 \cdot t_o + \frac{0{,}000405 \cdot t_o^2}{\sqrt{0{,}9952 \cdot \rho_o + 0{,}00306}}$$

Сұйық отынның ($\rho_o$) тығыздығы 5.10 кестеден алынады.

5.10 кесте. Сұйық отындардың тығыздығы, *кг/м*$^3$

| Мазут М-20 | Мазут М-40 | Мазут М-60 | Мазут М-80 | Мазут М-100 |
|---|---|---|---|---|
| 950 | 981 | 1000 | 1018 | 1050 |

Қатты отынның жылусыйымдылығы 5.11 кестеден алынады.

5.11 кесте. Қатты отындардың жылусыйымдылығы, *кДж/(кг·°С)*

| Ағаш | Сланец | Қоңыр көмір | Тас көмір | Антрацит |
|---|---|---|---|---|
| 2,4 | 1,0 | 1,13 | 1,3 | 0,95 |

Жану өнімдерінің жылу мөлшері мына формула бойынша есептеледі.

$$I_{ж.ө.} = \frac{Q_{төм}^{ЖМ} + C_o \cdot t_o + L_\alpha \cdot n \cdot C_{ауа_1} \cdot t_1 + L_\alpha \cdot (1-n) \cdot C_{ауа_2} \cdot t_2}{V_\alpha}, \quad кДж/м^3 \quad (5.91)$$

Бірінші ауаның үлесінің (n) мәні 5.12 кестеден алынады.

5.12 кесте. Бірінші ауаның үлесі

| Сұйық отын | Антрацит | Майлы көмір | Газды көмір | Құрғақ көмір |
|---|---|---|---|---|
| 0,25-0,3 | 0,15-0,3 | 0,36-0,5 | 0,45-0,6 | 0,25-0,4 |

Есептеуден алынған жану өнімдерінің жылу мөлшерінің мәніне сәйкес отынның калориметриялық температураларының ($t_{к_1}$ және $t_{к_2}$) аралығы 5.7 кесте бойынша анықталады.

Осы кесте бойынша анықталған $t_{к_1}$ және $t_{к_2}$ температураларына сәйкес жану өнімдері компонеттерінің жылу мөлшерлері ($I'_{CO_2}, I'_{SO_2}, I'_{H_2O}, I'_{N_2}, I'_{O_2}$ және $I''_{CO_2}, I''_{SO_2}, I''_{H_2O}, I''_{N_2}, I''_{O_2}$) анықталады.

$t_{к_1}$ және $t_{к_2}$ температураларына сәйкес жану өнімдерінің жылу мөлшері (5.40) және (5.41) формулалары бойынша есептеледі.

Отынның жану кезіндегі калориметриялық температурасымен жану өнімдерінің ең төменгі температурасы ($t_{к_1}$) арасындағы температура ($\Delta t_к$) айырмашылығы (5.42) формула бойынша анықталады.

Отынның жану кезіндегі калориметриялық температурасы (5.43) формула бойынша есептеледі.

Отынның шын мәніндегі жану температурасын ($t_ш$) есептеу калориметриялық температураны анықтаған тәсіл бойынша жүргізіледі.

Отын жануының шын мәніндегі температурасына сәйкес, жану өнімдерінің жылу мөлшері (5.44) формула бойынша есептеледі.

Оттықтың пирометриялық коэфициенті ($\eta_o$) 5.13 кестеден алынады.

5.13 кесте. Оттықтың пирометриялық коэфициенті

| Пеш түрі | Камералы | Туннельді | Шахталы | Айналмалы |
|---|---|---|---|---|
| Пирометриялық коэффициент | 0,66-0,7 | 0,78-0,83 | 0,52-0,62 | 0,7-0,75 |

9. Отынның жану өнімдерінің қажетті температурасына сәйкес, ауаның жалпы шығын коэфициентін ($\alpha_{ж}$) есептеу мына жолмен жүргізіледі.

Отынның жану өнімдерінің қажетті температурасының мәнін күйдірілетін материалдардың немесе бұйымдарды максималды күйдіру температурасынан 200÷250 $^{o}C$ аралығында жоғары етіп алынады (5.45) формула.

Қажетті температураға ($t_{қ.т}$) сәйкес 5.7 кесте бойынша отынның жану өнімдерінің жылу мөлшері (5.46) формула бойынша есептеледі.

Қажетті температураға ($t_{қ.т}$) сәйкес 5.7 кесте бойынша отынның жануына қатысатын ауаның жылу мөлшері (5.47) формула бойынша есептеледі:

Отынның жану өнімдерімен араластыруға қажетті қосымша ауаның мөлшері (5.48) формула бойынша есептеледі:

Жануға және отынның жану өнімдерімен араластыруға қажетті ауаның жалпы мөлшері (5.49) формула бойынша есептеледі:

Ауаның жалпы шығын коэфициенті (5.50) формула бойынша анықталады:

10. Ауамен араласқан жану өнімдерінің ылғал мөлшері ($d_{ж}$) есептеу мына жолмен жүргізіледі.

Көміртек қос тотығының көлемі (5.51) формула бойынша есептеледі.

Күкірт қос тоты тотығының көлемі (5.52) формула бойынша есептеледі.

Азоттың көлемі:

$$V'_{N_2} = 0{,}79 \cdot \alpha_{ж} \cdot L_o + 0{,}008 \cdot N^{ЖМ} \ , \ м^3/кг \qquad (5.92)$$

Оттектің көлемі (51) формула бойынша есептеледі.

Су буының көлемі:

$$V'_{H_2O} = 0{,}112 \cdot H^{ЖМ} + 0{,}0124 \cdot W^{ЖМ} + 0{,}0016 \cdot d \cdot \alpha_{ж} \cdot L_o \ , \ м^3/кг \qquad (5.93)$$

Ауамен араласқан жану өнімдерінің ылғал мөлшері (5.56) формула бойынша есептеледі.

## 5.4. Есептеуді орындау үшін алдын-ала берілгендер

1. Газды отындардың жану процесін есептеу үшін алдын-ала берілгендер

| Вариант | Отын компоненттерінің құрамы (құрғақ масса бойынша), % | | | | | | | | | | | | | Ауа шығыны коэффициенті (α) | Бірінші ауаның бөлігі (n) | Ауаның ылғал мөлшері (d) | Бірінші ауаның температурасы ($t_1$) | Екінші ауаның температурасы ($t_2$) | Отынның температурасы ($t_O$) | Жану өнімдерінің қажетті температурасы ($t_P$) | Оттықтың пирометриялық коэффициенті ($\eta_O$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Метан ($CH_4$) | Этан ($C_2H_6$) | Пропан ($C_3H_8$) | Бутан ($C_4H_{10}$) | Пентан ($C_5H_{12}$) | Көміртек тотығы (CO) | Сутек ($H_2$) | Этилен ($C_2H_4$) | Көмірсутек ($H_2S$) | Көміртек қос тотығы ($CO_2$) | Азот ($N_2$) | Оттек ($O_2$) | Ылғал мөлшері ($H_2O$) | | | | | | | | |
| 1. | 93,4 | 1,3 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 3,5 | 0,0 | 0,9 | 1,2 | 0,3 | 10 | 20 | 600 | 20 | 1600 | 0,7 |
| 2. | 92,5 | 1,2 | 0,6 | 0,3 | 0,7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,3 | 3,3 | 0,0 | 1,0 | 1,1 | 0,3 | 10 | 20 | 700 | 20 | 1500 | 0,7 |
| 3. | 91,3 | 1,5 | 0,7 | 0,7 | 1,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,4 | 3,1 | 0,0 | 1,1 | 1,0 | 0,25 | 10 | 20 | 800 | 20 | 1400 | 0,75 |
| 4. | 94,5 | 1,2 | 0, | 0,3 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,1 | 2,2 | 0,0 | 1,0 | 1,2 | 0,3 | 10 | 20 | 750 | 20 | 1500 | 0,72 |
| 5. | 95,2 | 0,9 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 2,2 | 0,0 | 0,8 | 1,05 | 0,25 | 10 | 20 | 780 | 20 | 1600 | 0,73 |
| 6. | 93,8 | 1,3 | 0,5 | 0,2 | 0,45 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,05 | 0,2 | 2,8 | 0,0 | 0,7 | 1,2 | 0,28 | 10 | 20 | 600 | 20 | 1700 | 0,6 |
| 7. | 92,8 | 1,4 | 0,6 | 0,4 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,3 | 2,9 | 0,0 | 1,0 | 1,1 | 0,29 | 10 | 20 | 800 | 20 | 1500 | 0,77 |
| 8. | 93,0 | 1,0 | 0,4 | 0,5 | 1,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 2,7 | 0,0 | 1,1 | 1,06 | 0,27 | 10 | 20 | 500 | 20 | 1550 | 0,75 |
| 9. | 93,8 | 1,1 | 05 | 03 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,4 | 2,6 | 0,0 | 0,9 | 1,05 | 0,26 | 10 | 20 | 450 | 20 | 1450 | 0,7 |
| 10. | 96,1 | 0,8 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 1,5 | 0,0 | 0,3 | 1,04 | 0,25 | 10 | 20 | 600 | 20 | 1300 | 0,7 |
| 11. | 94,7 | 1,3 | 0,3 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 2,3 | 0,0 | 1,0 | 1,1 | 0,25 | 10 | 20 | 650 | 20 | 1350 | 0,71 |
| 12. | 94,2 | 1,0 | 0,5 | 0,5 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 2,6 | 0,0 | 0,9 | 1,2 | 0,3 | 10 | 20 | 700 | 20 | 1400 | 0,72 |
| 13. | 91,6 | 2,5 | 0,7 | 0,8 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,4 | 2,7 | 0,0 | 0,8 | 1,3 | 0,31 | 10 | 20 | 550 | 20 | 1350 | 0,68 |
| 14. | 95,3 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,3 | 2,0 | 0,0 | 0,9 | 1,25 | 0,25 | 10 | 20 | 500 | 20 | 1300 | 0,70 |
| 15. | 92,8 | 1,6 | 0,3 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,3 | 3,1 | 0,0 | 1,2 | 1,1 | 0,27 | 10 | 20 | 480 | 20 | 1200 | 0,71 |
| 16. | 93,9 | 1,2 | 0,5 | 0,6 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 3,2 | 0,0 | 1,1 | 1,04 | 0,28 | 10 | 20 | 600 | 20 | 1100 | 0,72 |
| 17. | 91,5 | 1,6 | 0,5 | 0,7 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,4 | 3,3 | 0,0 | 1,4 | 1,05 | 0,29 | 10 | 20 | 550 | 20 | 1150 | 0,75 |
| 18. | 92,3 | 1,2 | 1,5 | 0,3 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 3,2 | 0,0 | 0,7 | 1,03 | 0,3 | 10 | 20 | 560 | 20 | 1600 | 0,73 |
| 19. | 91,7 | 2,1 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 2,9 | 0,0 | 1,8 | 1,1 | 0,3 | 10 | 20 | 540 | 20 | 1700 | 0,74 |
| 20. | 91,3 | 2,0 | 0,5 | 0,2 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 3,5 | 0,0 | 1,9 | 1,2 | 0,28 | 10 | 20 | 650 | 20 | 1550 | 0,7 |
| 21. | 92,0 | 1,0 | 1,3 | 0,5 | 0,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,3 | 3,3 | 0,0 | 1,0 | 1,1 | 0,29 | 10 | 20 | 640 | 20 | 1400 | 0,71 |
| 22. | 90,8 | 1,5 | 1,2 | 1,0 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,7 | 3,1 | 0,0 | 1,1 | 1,05 | 0,27 | 10 | 20 | 600 | 20 | 1350 | 0,72 |
| 23. | 92,4 | 1,9 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,4 | 2,8 | 0,0 | 1,2 | 1,08 | 0,3 | 10 | 20 | 500 | 20 | 1300 | 0,7 |
| 24. | 93,0 | 1,1 | 0,5 | 0,2 | 0,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 3,5 | 0,0 | 1,0 | 1,09 | 0,3 | 10 | 20 | 480 | 20 | 1400 | 0,7 |
| 25. | 94,0 | 1,0 | 1,1 | 0,6 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 2,3 | 0,0 | 0,4 | 1,07 | 0,3 | 10 | 20 | 400 | 20 | 1450 | 0,68 |

2. Қатты және сұйық отындардың жану процесін есептеу үшін алдын-ала берілгендер

| Вариант | Отын түрі | Отын компоненттерінің құрамы (жану массасы бойынша), % | | | | | Ылғал мөлшері ($W^P$) | Күлдің мөлшері ($A^C$) | Ауа шығыны коэффициенті (α) | Бірінші ауаның бөлігі (n) | Отын жылусыйымдылығы (Co) | Ауаның ылғал мөлшері (d) | Бірінші ауаның температурасы ($t_1$) | Екінші ауаның температурасы ($t_2$) | Отынның температурасы ($t_O$) | Жану өнімдерінің қажетті температурасы ($t_Г$) | Оттықтың пирометриялық коэффициенті ($\eta_O$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Көміртек $C^Г$ | Сутек $H^Г$ | Оттек $O^Г$ | Азот $N^Г$ | Күкірт $S^Г$ | | | | | | | | | | | |
| 1. | Караганды кенінің көмірі | 85,0 | 5,1 | 7,3 | 1,4 | 1,2 | 7,5 | 27,0 | 1,5 | 0,3 | 1,3 | 10 | 20 | 600 | 20 | 1600 | 0,7 |
| 2. | Таскөмірсай кенінің көмірі | 79,0 | 5,0 | 14,1 | 1,2 | 0,7 | 9,0 | 13,0 | 1,6 | 0,3 | 1,2 | 10 | 20 | 700 | 20 | 1500 | 0,7 |
| 3. | Аз күкіртті мазут М-20 маркалы | 87,2 | 11,7 | 0,3 | 0,3 | 0,5 | 0,1 | 2,0 | 1,25 | 0,25 | 0,95 | 10 | 20 | 800 | 40 | 1400 | 0,75 |
| 4. | Аз күкіртті мазут М-40 маркалы | 87,4 | 11,2 | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 0,2 | 3,0 | 1,3 | 0,3 | 0,98 | 10 | 20 | 750 | 50 | 1500 | 0,72 |
| 5. | Екібастұз кенінің көмірі | 80,5 | 5,4 | 8,3 | 1,5 | 4,3 | 5,8 | 14,6 | 1,6 | 0,25 | 0,87 | 10 | 20 | 780 | 20 | 1600 | 0,73 |
| 6. | Шұбаркөл кенінің көмірі | 94,0 | 1,8 | 1,3 | 1,0 | 1,9 | 6,5 | 17,9 | 1,65 | 0,28 | 1,3 | 10 | 20 | 600 | 20 | 1700 | 0,6 |
| 7. | Аз күкіртті мазут М-60 маркалы | 87,6 | 10,7 | 0,5 | 0,5 | 0,7 | 0,1 | 1,5 | 1,35 | 0,29 | 1,22 | 10 | 20 | 800 | 30 | 1500 | 0,77 |
| 8. | Тарбағатай кенінің көмірі | 74,0 | 5,1 | 18,1 | 1,3 | 1,5 | 8,0 | 10,5 | 1,7 | 0,26 | 1,98 | 10 | 20 | 450 | 20 | 1450 | 0,7 |
| 9. | Аз күкіртті мазут М-80 маркалы | 86,6 | 10,5 | 0,5 | 0,5 | 0,9 | 0,1 | 1,0 | 1,3 | 0,25 | 0,69 | 10 | 20 | 600 | 45 | 1300 | 0,7 |
| 10. | Күкіртті мазут М-40 маркалы | 85,0 | 11,4 | 0,2 | 0,2 | 3,2 | 0,2 | 2,0 | 1,32 | 0,25 | 0,89 | 10 | 20 | 650 | 40 | 1350 | 0,71 |
| 11. | Солярка | 86,5 | 12,8 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,3 | 3,0 | 1,2 | 0,3 | 0,87 | 10 | 20 | 700 | 30 | 1400 | 0,72 |
| 12. | Күкіртті мазут М-10 маркалы | 85,2 | 11,6 | 0,4 | 0,3 | 2,5 | 0,1 | 4,0 | 1,28 | 0,31 | 0,95 | 10 | 20 | 550 | 50 | 1350 | 0,68 |
| 13. | Кокс | 96,5 | 0,4 | 0,9 | 1,2 | 1,0 | 4,0 | 11,0 | 1,4 | 0,25 | 0,92 | 10 | 20 | 500 | 20 | 1300 | 0,70 |
| 14. | Күкіртті мазут М-20 маркалы | 85,0 | 11,6 | 0,2 | 0,3 | 2,9 | 0,2 | 3,0 | 1,33 | 0,27 | 0,88 | 10 | 20 | 480 | 45 | 1200 | 0,71 |
| 15. | Торф | 57,8 | 6,0 | 33,4 | 2,5 | 0,3 | 50,5 | 11,0 | 1,8 | 0,28 | 0,89 | 10 | 20 | 600 | 20 | 1100 | 0,72 |
| 16. | Воркута кенінің көмірі | 85,0 | 5,3 | 6,2 | 2,2 | 1,3 | 7,0 | 22,5 | 1,7 | 0,29 | 0,79 | 10 | 20 | 550 | 20 | 1150 | 0,75 |
| 17. | Ленгер кенінің көмірі | 80,5 | 5,5 | 11,2 | 1,5 | 1,3 | 8,0 | 17,5 | 1,75 | 0,3 | 0,64 | 10 | 20 | 560 | 20 | 1600 | 0,73 |

## 5.5. Студенттің өзіндік дайындалуға арналған бақылау сұрақтары

### 1. Жазбаша (ауызша) сұрақтар

1. Құрылыс материалдары және бұйымдары технологияларындағы қандай отын түрлерін қолданады?
2. Отынның жануы дегеніміз не?
3. Жылутехникалық процесстердің тиімді өтуі үшін әртүрлі отын түрлеріне қойылатын талаптар.
4. Отынның жануына қажетті ауаның теоретикалық және шын мәніндегі мөлшерлерінің айырмашылығы неде?
5. Ауаның шығын коэффициентінің мәні отынның жану процесіне қандай маңызды роль атқарады?
6. Отынның жануы кезінде бөлінетін жану өнімдерінің құрамындағы газдардың ерекшеліктері қандай?
7. Отанның жану процесінің материалды балансы қандай заңдылыққа негізделген?
8. Отынның шын мәніндегі жану температурасының калориметриялық жану температурасынан айырмашылығы неде?
9. Оттықтың пирометриялық коэффициенті деп қандай көрсеткішті айтады?
10. Қатты отындардың жану процесінің ерекшелігі қандай?
11. Қатты отындарды жағу құрылғыларының конструкциясы және жұмыс істеу принципі қандай?
12. Сұйық отындардың жану процесінің ерекшелігі қандай?
13. Сұйық отындарды жағу құрылғыларының конструкциясы және жұмыс істеу принципі қандай?
14. Газды отындардың жану процесінің ерекшелігі қандай?
15. Газды отындарды жағу құрылғыларының конструкциясы және жұмыс істеу принципі қандай?

### 2. Тест сұрақтары

**1.** Отын деп аталады:
А) Мұзбен әрекеттесуде, жарық және жылу бөлінумен бірге жүретін зат
Б) Сумен әрекеттесуде, жарық және жылу бөлінумен бірге жүретін зат
В) Бумен әрекеттесуде, жарық және жылу бөлінумен бірге жүретін зат
Г) Газбен әрекеттесуде, жарық және жылу бөлінумен бірге жүретін зат
Д) Оттекпен әрекеттесуде, жарық және жылу бөлінумен бірге жүретін зат
**2.** Шахталы пештерде пирометриялық оттық коэффиценті қандай аралықта?
А) $\eta_o$=0,72÷0,75
Б) $\eta_o$=0,45÷0,47
В) $\eta_o$=0,47÷0,52
Г) $\eta_o$=0,62÷0,72
Д) $\eta_o$=0,52÷0,62

**3.** Газды отынды жағу кезіндегі ауаның шығын коэффиценті?
А) α=1,10÷1,15
Б) α=1,5÷1,6
В) α=1,05÷1,10
Г) α=1,15÷1,20
Д) α=1,20÷1,25
**4.** Шаңды отынды жағу кезіндегі ауаның шығын коэффиценті?
А) α=1,20÷1,25
Б) α=1,0÷1,05
В) α=1,05÷1,10
Г) α=1,10÷1,15
Д) α=1,15÷1,20
**5.** Мазутты отынды жағу кезіндегі ауаның шығын коэффиценті?
А) α=1,4÷1,5
Б) α=1,0÷1,17
В) α=1,2÷1,3
Г) α=1,3÷1,4
Д) α=1,1÷1,2
**6.** Қатты отынды отынды жағу кезіндегі ауаның шығын коэффиценті?
А) α=1,4÷1,8
Б) α=1,1÷1,3
В) α=1,3÷1,4
Г) α=1,0÷1,3
Д) α=1,8÷2,0
**7.** Мазутты қандай қондырғы көмегімен жағады?
А) Бүріккіш
Б) Калорифер
В) Компрессор
Г) Термостат
Д) Дезинтегратор
**8.** Газды отынды қандай қондырғы көмегімен жағады?
А) Термостат
Б) Калорифер
В) Компрессор
Г) Жанарғы
Д) Дезинтегратор
**9.** Отынның шын мәніндегі жану температурасының калорметриялық жану температурасынан айырмасы қандай?
А) Температурасы орташа
Б) Температурасы жоғары
В) Температурасы төмен
Г) Айырмасы жоқ
Д) Әр кезде әр түрлі

**10.**Көміртектің толық жану реакциясы кезінде бөлінеді:
А) $CO_2$ + CO
Б) $SO_2$
В) $CO_4$
Г) $CO_2$
Д) $CO_2$ + CO + C
**11.**Көміртектің толық жанбау реакциясы кезінде бөлінеді:
А) CO
Б) $SO_3$
В) $CO_2$
Г) $CO_2$ +CO
Д) $CO_2$ + CO + C
**12.**Газды отынның ең көп бөлігін құрайды:
А) Бутан
Б) Пропан
В) Этан
Г) Метан
Д) Сутек
**13.**Газды отын құрамында кездеседі:
А) Метан, азот, хлор, фтор
Б) Метан, оттек, сутек, хлор
В) Метан, этан, пропан, бутан
Г) Метан, этан, оттек, хлор, фтор
Д) Оттек, азот, су буы, күкірт
**14.**Торфтың тұтану температурасы?
А) $t = 250 \div 300 \quad °C$
Б) $t = 100 \div 150 \quad °C$
В) $t = 150 \div 200 \quad °C$
Г) $t = 200 \div 250 \quad °C$
Д) $t = 300 \div 350 \quad °C$
**15.**Қоңыр көмірдің тұтану температурасы?
А) $t = 200 \div 250 \quad °C$
Б) $t = 350 \div 450 \quad °C$
В) $t = 250 \div 300 \quad °C$
Г) $t = 300 \div 350 \quad °C$
Д) $t = 350 \div 400 \quad °C$
**16.**Тас көмірдің тұтану температурасы?
А) $t = 500 \div 600 \quad °C$
Б) $t = 100 \div 200 \quad °C$
В) $t = 200 \div 300 \quad °C$
Г) $t = 300 \div 400 \quad °C$
Д) $t = 400 \div 500 \quad °C$
**17.**Кокстың тұтану температурасы?

А) $t = 700 \div 800 \quad °C$

Б) $t = 500 \div 600 \quad °C$

В) $t = 600 \div 700 \quad °C$

Г) $t = 800 \div 900 \quad °C$

Д) $t = 900 \div 1000 \quad °C$

**18.**Отынның жану өнімдері құрамындағы көміртек қос тотығының пайыздық мөлшерін анықтаңыз. Жану өнімдерінің көлемі. $V_\alpha$=10,0 *м³/кг*. Көміртек қос тотығының көлемі $V_{CO2}$ =1,5 *м³/кг*.

А) $P_{CO2}$ = 50,0 %

Б) $P_{CO2}$ = 1,5 %

В) $P_{CO2}$ = 0,15 %

Г) $P_{CO2}$ = 150,0 %

Д) $P_{CO2}$ = 15,0 %

**19.**Отынның жану өнімдері құрамындағы су буының пайыздық мөлшерін анықтаңыз. Жану өнімдерінің көлемі. $V_\alpha$=10,0 *м³/кг*. Су буының көлемі $V_{H2O}$ =2,5 *м³/кг*.

А) $P_{H2O}$ = 200,0 %

Б) $P_{H2O}$ = 2,5 %

В) $P_{H2O}$ = 25,0 %

Г) $P_{H2O}$ = 0,25 %

Д) $P_{H2O}$ = 0,20 %

**20.**Отынның жану өнімдері құрамындағы оттектің пайыздық мөлшерін анықтаңыз. Жану өнімдерінің көлемі. $V_\alpha$=10,0 *м³/кг*. Оттектің көлемі $V_{O2}$ =1,2 *м³/кг*.

А) $P_{O2}$ = 12,5 %

Б) $P_{O2}$ = 12,0 %

В) $P_{O2}$ = 25,0 %

Г) $P_{O2}$ = 0,12 %

Д) $P_{O2}$ = 1,0 %

**21.**Отынның жануына қажетті құрғақ ауаның шын мәніндегі мөлшерін анықтаңыз. Ауаның шығын коэффициенті $\alpha$=1,0. Құрғақ ауаның теоретикалық мөлшері $L_o$=5,0 *м³/кг*.

А) $L_\alpha$=120,0 *м³/кг*

Б) $L_\alpha$=5,0 *м³/кг*

В) $L_\alpha$=1,0 *м³/кг*

Г) $L_\alpha$=110,0 *м³/кг*

Д) $L_\alpha$=0,20 *м³/кг*

**22.**Отынның жану процесіндегі материалды баланстың абсолюттік күрмеуі мына формула бойынша анықталады:

А) $N_{абс}=(M_{кіріс} - M_{шығыс})$

Б) $N_{абс} =100 - M_{кіріс}$

В) $N_{абс} =100/M_{шығыс}$

Г) $N_{абс}=(M_{кіріс} + M_{шығыс})$

Д) $N_{абс}=M_{кіріс} /M_{шығыс}$

# 6. КЕПТІРУ КЕЗІНДЕГІ ОТЫННЫҢ ЖӘНЕ ЖЫЛУДЫҢ МЕНШІКТІ ШЫҒЫНЫН I-d ДИАГРАММАСЫ КӨМЕГІМЕН ЕСЕПТЕУ

## 6.1. Сабақ жоспары:

1. Жылутасымалдағыштың бастапқы көрсеткіштері бойынша теоретикалық кептіру процесін I-d диаграммасында тұрғызу.
2. Теоретикалық кептіру процесіне сәйкес жылутасымалдағыштың қажетті мөлшерін есептеу.
3. Кептіру процесі кезіндегі жылу шығындары және жылу мөлшері мәнінің төмендеу көрсеткішін анықтау.
4. Шын мәніндегі кептіру процесіне сәйкес жылутасымалдағыштың және отынның мөлшерін анықтау.
5. Шартты отынның және жылудың меншікті шығынын анықтау.

## 6.2. Теориялық бөлім

### 6.2.1 Шикізат материалдарын және бұйымдарды кептірудің қызметі

***Кептіру*** деп – салыстырмалы төмен температурада (шамамен $t\sim100^{o}C$) жылулық әсер ету нәтижесінде қатты материалдардағы ылғалды буландыру арқылы кетіру процесін айтады. Бұл процесс, тек қатты денелерге жылу әсер ету кезінде, сонымен қатар, денелердегі ылғал мөлшері қоршаған ортаның ылғал мөлшерінен жоғары болған кезде ғана өтеді.

Құрылыс материалдары, бұйымдары және конструкциялары өнеркәсіптерінде кептірудің қызметі кептірілетін материалдың түріне байланысты болады, мысалы:

- шикізат қоймасындағы түйіршікті материалдарды (кварц құмы, саз кесектері) кептіру, оларды ары қарай механикалық өңдеу процесстерін жеңілдетеді (ұсақтау, ұнтақтау, араластыру және т.б.);
- керамикалық қалыптанған құрылыс бұйымдарын кептіру, оларды ары қарай күйдіру процесіне тасымалдау үшін механикалық беріктігін арттыруға және бірден жоғары температурада қыздыру кезінде жарылыстардың болмауына мүмкіндік береді;
- көп компонентті шикізат массасын дайындау кезінде, бастапқы шикізаттардың пайыздық мөлшеріне сәйкес, олардың нақты салмақ мөлшерін (құрамындағы ылғалды ескермегенде) өлшеуге мүмкіндік береді;
- қатты отын түйіршіктерін кептіру, оларды механикалық өңдеуге (ұсақтау-ұнтақтау) және отынның жану процесін жақсартуға мүмкіндік береді.

***Кептіру режимі*** деп – уақытқа байланысты жылудың әсерінен қатты денелердегі ылғалдың кету жылдамдығын айтады.

Кептіру режимі және температурасы, материалдардың түріне, минералогиялық құрамына, технологиялық қасиеттеріне, отындардың тұтану

температурасына және т.б. көрсеткіштерге сәйкес қабылданады. Кварц құмын кептіруді кез келген температурада және жылдамдықта жүргізуге болады. Саздарды және отындарды кептіруді кез келген жылдамдықта жүргізуге болады, бірақ температураның максималды мәні шектеулі болуы тиіс. Өйткені, сазды тау жыныстарын жоғары температурада ($t \geq 400^{o}C$) кептіру, олардың иленгіштік қасиетін жоғалтады, ал отындар $t=150 \div 200^{o}C$ кезінде тұтанып жануы мүмкін). Қалыптанған бұйымдарды кептіру, олардың жарылуын болдырмау үшін, шектеулі жылдамдықта және салыстырмалы төмен температурада жүргізіледі.

Керамикалық құрылыс бұйымдары өндірісінде кептіру процесінің дұрыс жүргізілмеуі нәтижесінде болатын жарылыстар, дайын өнімнің сапасына және ақау мөлшеріне ерекше әсер етеді, яғни өндіріс өнімділігіне. Сонымен қатар, кептіру процесі жылудың қатысуымен өтетін болғандықтан, өнімнің өзіндік құнының 10-20 пайызын құрайды.

Сондықтан, кептіру процесінің тиімді жүргізілуі, отын және жылудың меншікті шығындарының аз, яғни дайын өнімнің өзіндік құнының төмен болуын қамтамасыз ете отырып, өндірістің өнімділігін және дайын өнімнің сапасын арттыруға тікелей байланысты болады.

Академик П.А.Ребиндердің жіктеуі бойынша ылғал және қатты дене арасында байланыс үш түрде болады: химиялық, физика-химиялық және физика-механикалық.

- ***химиялық*** байланысқан ылғал қатты дененің кристаллды тор құрылымында болады. Сондықтан, бұл байланыс ең мықты байланыс түрі және кептіру процесі кезінде бұзылмайды.
- ***физика-химиялық*** байланысқан ылғал адсорбиялық және осмотикалық күштердің әсерінен қатты денелердің құрамында болады. Бұл байланыс кептіру кезінде ыдырайды.
- ***физика-механикалық*** байланысқан ылғал қатты денедегі макро- және микрокапиллярлы қуыстарды толтырған ылғалдан тұрады. Бұл дененің физикалық құрылымына байланысты болады, яғни дененің тығыздығы неғұрлым жоғары болса, соғұрлым физика-механикалық байланысқан ылғал мөлшері төмен, ал керісінше кәуектілігі неғұрлым жоғары болса, соғұрлым ылғал мөлшері жоғары болады. Бұл байланыс ең әлсіз байланыс болып саналады, сондықтан ол кептіруге дейін немесе кептіру кезінде бірінші бұзылады.

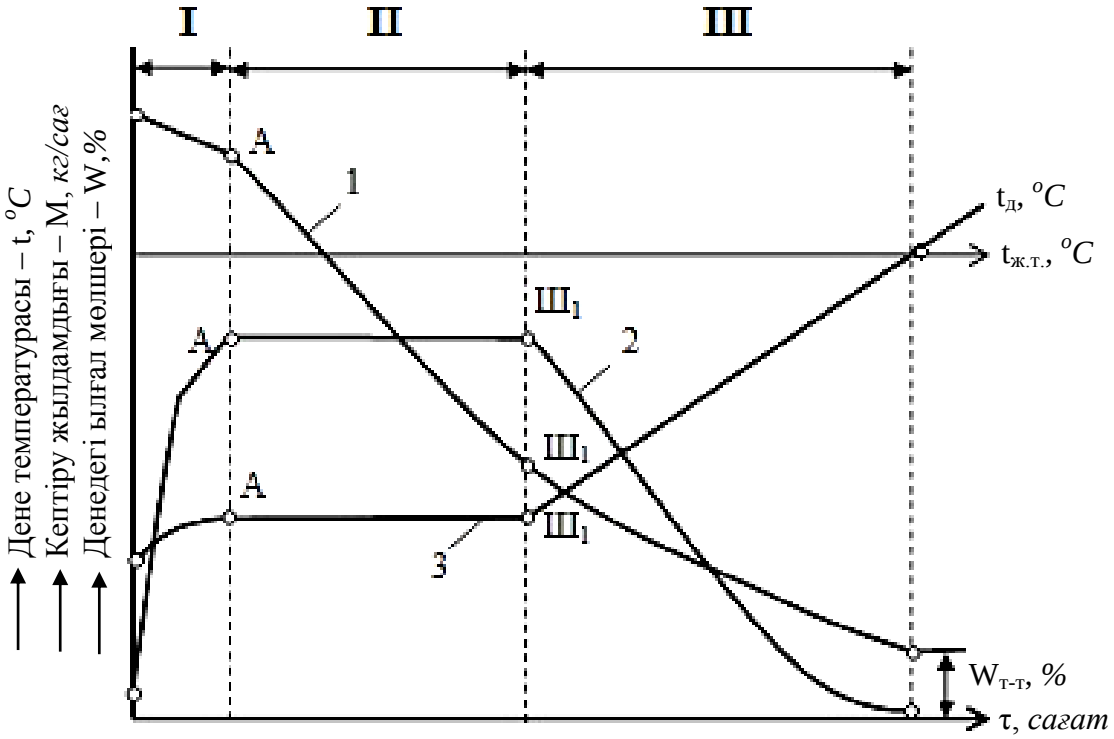
Шикізат материалдарын кептіру екі түрде жүргізіледі: табиғи және жасанды.

***Табиғи кептіру*** – қоршаған ортадағы ауаның әсерінен жабындардың астында немесе арнайы кептіргіш сарайларында жүргізіледі. Жылу көзі ретінде (жылутасымалдағыш) құрғақ атмосфералық ауаны қолданады.

***Жасанды кептіру*** – арнайы жылулық қондырғыларда (кептіргіштер) жүргізіледі. Жылу көзі ретінде ретінде қыздырылған ауаны немесе түтінді газдарды, электрлі қыздырғыш денелердің сәулелік жылу энергиялары, жоғары жиілікті электр тогының жылулығы қолданады. Қазіргі кезде, кептіру процесінің 85÷95 пайызы жасанды түрде жүргізіледі.

### 6.2.2 Кептіру процесінің сатылары (графигі)

Кептіру процесінің графигі негізгі үш сатыдан тұрады: **I** – кептірудің қыздыру сатысы, **II** – кептірудің тұрақты жылдамдық сатысы, **III** – кептіру жылдамдығының төмендеу сатысы (1 сурет).




6.1 сурет. Кептіру процесінің графигі. *I* – кептірудің қыздыру сатысы, *II* – кептірудің тұрақты жылдамдық сатысы, *III* – кептіру жылдамдығының төмендеу сатысы. *1* – уақытқа байланысты денедегі ылғал мөлшерінің төмендеу сызығы; *2* – уақытқа байланысты денедегі ылғалдың кету жылдамдығы сызығы; *3* – уақытқа байланысты кептірілетін денедегі температураның өзгеру сызығы. $t_д$ –дененің температурасы, $^oC$; $t_{ж.т.}$ – жылутасымалдағыш температурасы, $^oC$; $W_{т-т}$ – дененің тепе-теңді ылғал күйі, %.

Кептіру процесі кезінде дененің массасының уақытқа байланысты өзгеруі жүреді. Дененің кептіргенге дейінгі ылғал мөлшері және салмағы белгілі болса, онда денедегі ылғалдың уақытқа байланысты төмендеу графигін түзуге болады (6.1 сурет, *1* – сызық). Бұл көрсеткіш бойынша, денедегі ылғалдың уақытқа байланысты кету жылдамдығы графигін түзуге болады (6.1 сурет, *2* – сызық).

***Кептірудің қыздыру сатысы.*** Денеге жылу әсер ету нәтижесінде, ол қыздырыла бастайды. Кептіру режиміне және жылутасымалдағыштың температурасына сәйкес, бұл сатының соңында дененің температурасы жоғарылап, белгілі бір мәнге тұрақтайды (6.1 сурет, *A* нүктесі) және денеге жылутасымалдағыштан берілетін жылу толықтай ылғалды буландыруға шығындалады. Бұл сатыда денедегі ылғалдың мөлшері жоғары болғандықтан, оның кету жылдамдығы тез жүреді.

***Кептірудің тұрақты жылдамдық сатысы.*** Бұл сатыда денедегі ылғалдың ортаңғы қабаттан беткі қабатқа қарай үздіксіз қозғалу нәтижесінде, оның беткі қабатынан ылғалдың кету жылдамдығы тұрақты болады (M=const). Дененің

беткі қабатындағы ылғалдың болуы, оның температурасының тұрақты болуына әсер етеді (6.1 сурет, *2, 3* – сызықтар). Бұл өте жауапты және қауіпті саты болып табылады, өйткені ылғалдың үздіксіз кетуі нәтижесінде дененің шөгуі, яғни өлшемінің кішіреюі жүреді. Бұл дененің барлық көлемі бойынша тартылыс кернеуін тудырып, жарылыстардың пайда болуына әкелуі мүмкін. Бұл сатының өту уақыты, денедегі орташа ылғал мөлшерінің төмендеп (6.1 сурет, *1* – сызық), белгілі бір шекті ылғал мөлшеріне жеткенше болады (6.1 сурет, *К* нүктесі). Шекті ылғалдылыққа жеткен кезде, дененің беткі қабатының шөгуі тоқтайды, ал денедегі қалған ылғалдың ары қарай буланып кетуі тек кәуекті қуыстардың пайда болуына әкеледі.

***Кептіру жылдамдығының төмендеу сатысы.*** Бұл сатыда денедегі ылғалдың кету жылдамдығы біртіндеп төмендеп, белгілі бір уақыттан кейін тоқтайды, яғни денеден ылғалдың булануы болмайды. Ылғал мөлшерінің төмендеу нәтижесінде, денедегі берілетін жылудың қалған бөлігі денені қыздыруға шығындалып, оның температурасы біртіндеп жоғарылайды және жылутасымалдағыштың температурасымен теңеседі. Кептіру процесінің соңында денедегі қалған ылғал мөлшері, гигроскопиялық ылғалдан жоғары және қоршаған ортадағы ылғалмен тепе-теңді немесе жоғары күйде болады.

### 6.2.3 Кептіру тәсілдері

Құрылыс материалдары, бұйымдары және конструкциялары өнеркәсіптерінде шикізат материалдарын және бұйымдарын кептіруде, жылу беру және жылу алмасу тәсілдеріне сәйкес келесі кептіру тәсілдерін қолданады:

- конвективті кептіру;
- радиациялық кептіру;
- жоғары жиілікті электр тогымен кептіру;
- тікелей жанастыру арқылы электрлі кептіру;
- құрама тәсілде кептіру.

***Конвективті кептіру*** кезінде ылғалдың булануы, кептірілетін материалмен жанасатын қозғалыстағы жылутасымалдағыштың (ыстық ауа немесе түтінді газдар) жылулығы әсерінен болады. Материалдың кептірілу дәрежесі конвекциялы жылу алмасудың тиімділігіне тікелей байланысты. Кептіру процесінің графигіне сәйкес (6.1 сурет) қыздыру сатысында материалдың беткі қабатындағы температура ортаңғы қабатқа қарағанда жоғары болады, нәтижесінде беткі қабаттағы ылғалдың булануы жүреді. Материалдың беткі қабатындағы ылғал мөлшерінің төмендеуіне байланысты, оның ортаңғы қабатындағы ылғал беткі қабатқа қарай үздіксіз жылжиды. Егер, бұл процесс тез жүретін болса, онда кептірілетін бұйымда жарылыстың пайда болуы мүмкін. Мұндай кемшіліктерге қарамастан, конвективті кептіру тәсілі өнеркәсіптерде кеңінен қолданылады.

***Радиациялық кептіру*** кезінде ылғалдың булануы, қыздырылған беттен кептірілген материалға берілетін сәулелік жылулық энергияның әсерінен болады. Материал бетінің сәулелік жылулық энергияның әсерінен тез қыздырылу нәтижесінде, ылғалдың беткі қабаттан бірден буланып, ортаңғы

қабаттағы ылғалды жылдам қозғалысқа әкеледі. Бірақ, мұндай тәсілде жылу көзі кептірілетін материалға тек бір жақтан берілетін болғандықтан, оның барлық көлемі бойынша ылғалдың біркелкіліксіздігін тудырып, жарылыстардың пайда болуына әкелуі мүмкін, яғни күрделі пішінді және қалың денелі керамикалық бұйымдары кептіруде бұл тәсілді қолдану тиімсіз болып табылады. Сондықтан, құрылыстық керамика өндірістерде жұқа денелі және жазық бетті бұйымдарды (керамикалық плиткалар, фарфорлы тарелкалар) кептіргенде бұл тәсілді кеңінен қолданады.

***Жоғары жиілікті электр тогымен кептіру*** кезінде ылғалдың буланuы, кептірілетін материалға берілетін жоғары жиілікті электр өрісінің әсерінен болады. Бұл тәсілде материал барлық көлемі бойынша біркелкі қыздырылады. Бірақ, қалың денелі бұйымдарды кептіру кезінде, қоршаған ортамен жылу- және ылғал алмасудың әсерінен материалдың сыртқы бетіне қарағанда ортаңғы бөлігіндегі температура жоғары болады. Нәтижесінде, ылғалдың ортаңғы бөліктен беткі қабатқа қарай орын ауысуы пайда болады. Электр өрісінің жиілігін өзгерту арқылы, ылғалдың орын ауысу жылдамдығын реттеуге болады. Бұл тәсілді қалың денелі және кептірілуі қиын бұйымдарды кептіру кезінде қолданған тиімді болады.

***Электрлі кептіру*** кезінде ылғалдың буланuы, электрөткізгіштік қасиеті бар материалдардан ауыспалы электр тогын өткізу нәтижесінде туындайтын жылудың әсерінен болады. Материалдың бойында жылудың бөлінуі әсерінен, оның барлық көлемі бойынша температураның таралуы біркелкі болады және ылғалдың тез буланuын қамтамасыз етеді. Дененің әр бөлігінде ток күшін және кернеуді өзгерту арқылы, әртүрлі қалыңдықты және күрделі пішінде бұйымдарды біркелкі кептіруге болады. Бұл тәсілді қалыптанғаннан кейін оларды тасымалдау қиындық тудыратын ірі өлшемді бұйымдарды кептіруде кеңінен қолданады (шыны қайнату құмыралары, шамотты отқатөзімді ірі оқшаулағыштар, электроқшаулағыш бұйымдар).

***Құрама тәсілде*** жоғарыда келтірілген тәсілдер бір мезгілде қолданады, мысалы: конвективті-радиациялық, конвективті-жоғары жиілікті ток, радиациялық-жоғары жиілікті ток. Бұл тәсілді кептіру процесінің тиімділігін және жылдамдылығын арттыру үшін кеңінен қолданады.

### 6.2.4 Кептіргіш қондығыларының жіктелуі, конструкциялары және жұмыс істеу принциптері.

Құрылыс материалдары, бұйымдары және конструкциялары өнеркәсіптерінде қолданылатын кептіргіш қондырғылары бірнеше көрсеткіштер бойынша жіктеледі.

*Жұмыс істеу режимі* бойынша – үздікті және үздіксіз режимде жұмыс істейтін.

*Технологиялық қызметі* бойынша – түйіршікті материалдарды кептіретін, сұйық массаларды кептіретін және қалыптанған бұйымдарды кептіретін.

*Кептіру тәсілі* бойынша – конвективті, радиациялық, электрлі және құрама әдісті кептіргіштер.

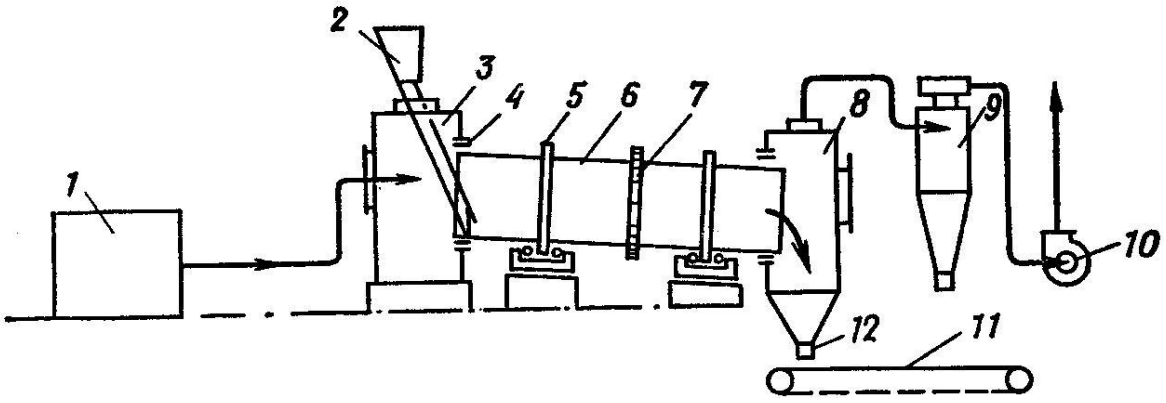
*Газды ағынның қозғалыс бағыты* бойынша – тіке ағынды (қондырғының жұмыс камерасында жылутасымалдағыш және кептірілетін материал бір бағытта қозғалады), кері ағынды (қондырғының жұмыс камерасында жылутасымалдағыш және кептірілетін материал бір-біріне қарама-қарсы бағытта қозғалады) және газды айналымды (циркуляциялық).

*Жылу көзі және жылутасымалдағыштың түрі* бойынша – ыстық ауамен кептіретін, түтінді газдармен кептіретін, газды ауа қоспасымен кептіретін және электр энергиясының сәулелік жылулығымен кептіретін.

*Қондырғының жұмыс камерасының пішіні және жұмыс істеу принципі* бойынша – барабанды, құбырлы, шахталы, қайнау қабатты, пневматикалық, шашыратқылы, камералы, туннельді, конвейерлі, саңлаулы және т.б.

***Барабанды кептіргіш.*** Барабанды кептіргіштерді түйіршікті шикізат материалдарын (құм, саз, әктас, шлак, көмір және т.б.) кептіру үшін қолданады. Кептіргіште жылутасымалдағыш ретінде газды ауа қоспасын қолданады, жұмыс істеуі үздіксіз режимде, конвективті кептіру тәсілімен, газды ағынның қозғалу бағыты бойынша тіке немесе кері ағында жүргізіледі.

Барабанның жұмыс камерасы бір жағына қарай $3 \div 6^{o}$ енкейтіліп орнатылған болат темірлі цилиндрлі қаңқадан *6* тұрады (6.2 сурет).




6.2 сурет. Тіке ағынды барабанды кептіргіштің схемасы.

Жұмыс камерасына алдын-ала оттық құрылғысында *1* дайындалған газдыауа қоспасынан құралған жылутасымалдағыш 700÷800 $^{o}C$ температурада беріледі. Кептіргіштің жұмыс камерасы арнайы тіреуіш роликтерге орнатылған бандаждар *5* арқылы жер деңгейінен жоғарыда болады. Барабанның өз осі бойынша 4÷6 *айн/минут* жылдамдықта айналып тұрады. Ол үшін, барабанның қаңқасына тісті доңғалақ *7* орнатылып, электрқозғалтқыш, редуктор және тісі шестерня арқылы айналыс күшін береді. Барабанның екі жағындағы камералардан *3, 8* қоршаған ортадан ауа сорылмас үшін, сақиналы тығын құралғылары *4* орнатылады. Шикізат материалы құбыр арқылы *2* үздіксіз барабанға түсіріледі. Барабанның үздіксіз айналуы және бір жағына қарай еңкейтіліп орнатылуы әсерінен ылғал материал жұмыс камерасында өздігінен жылжый отырып, жылутасымалдағышпен жылуалмасу нәтижесінде біртіндеп кептіріледі. Кептірілген материал түсіру құрылғысы *12* арқылы шығарылып, конвейерлі тасымалдағышпен *11* қажетті жерге тасымалданады. Жылулық

өңдеуден өткен жылутасымалдағыш циклон құрылғысында *9* шаңнан тазартылып, желдеткіш *10* арқылы атмосфераға лақтырылады.

Типтік кептіргіш барабандардың өлшемдері келесі аралықта болады: диаметрі D=1÷2,8*м*, ұзындығы L=5÷14*м,* диаметрі мен ұзындығының қатынасы D/L=1/5÷1/6. Барабанды айналдыруға кететін электр қуатының шығыны 6÷25*кВт* аралығында болады. 1 *кг* ылғалды буландыруға кететін меншікті жылу шығыны 4200÷5800 *кДж/кг ылғал*.

Кептіргіш барабандардың негізгі ерекшелігі: салыстырмалы жоғары көлемдік өнімділігі, жұмыс істеу мерзімінің ұзақтығы, жылулық үнемділігі. Кемшіліктері: ірі өлшемді, металл сыйымдылығы жоғары, жұмыс камерасының қолдану дәрежесі төмен (материалдың толтырылуы жұмыс камерасының 12÷15 пайызын құрайды).

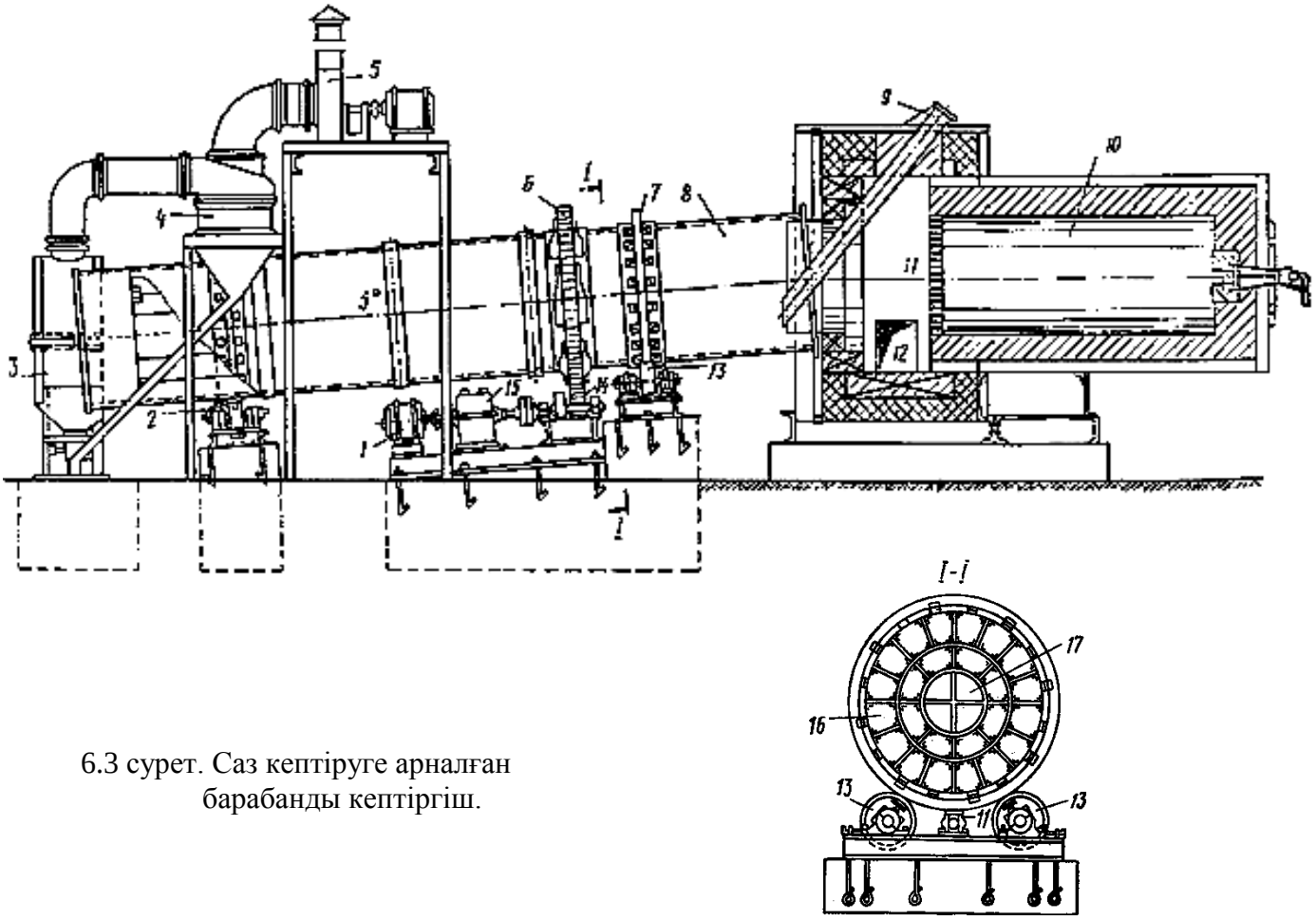
Кептіргіштің өнімділігі, оның көрсеткіштеріне байланысты болады (жұмыс камерасының өлшемдері, жылутасымалдағыштың температурасы, материалдың бастапқы және соңғы ылғалдылықтары) және 1$м^3$ жұмыс көлемінен алынатын өніммен өлшенеді (6.1 кесте).

6.1 кесте. Тіке ағынды кептіргіш барабанның көрсеткіштері

| Материалдың түрі | Материалдың бастапқы ылғалдылығы, % | Материалдың соңғы ылғалдылығы, % | Жылутасымалдағыштың бастапқы температурасы, $^oC$ | Жылутасымалдағыштың соңғы температурасы, $^oC$ | Материалдың температурасы, $^oC$ | Кептіргіш өнімділігі, *кг/($м^3$·сағ)* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Кварц құмы | 7÷15 | 0,3÷3 | 800÷900 | 100÷150 | 90 | 100÷120 |
| Саз кесектері (20-30*мм*) | 20÷30 | 3÷5 | 700÷800 | 60÷100 | 100 | 50÷65 |
| Отқатөзімді саздар | 9 | 0,7 | 800÷1000 | 70÷80 | 90 | 60 |

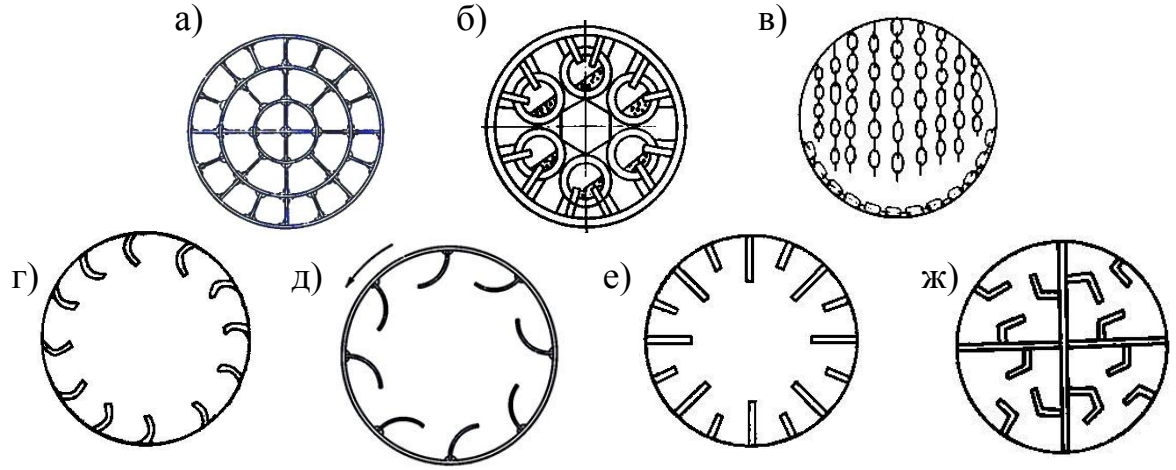
Саз кептіруге арналған барабанды кептіргіштің конструкциясы 6.3 суретте келтірілген.

Сазды шикізат қабылдағыш құбыры *9* арқылы цилиндрлі болат темірден жасалған жұмыс камерасына *8* түседі. Кептірілген материал қабылдағыш камерадан *3* шығарылып, тасымалдағыш құрылғыларымен қажетті жерге тасымалданады. Оттық камерасындағы *10* түтінді газдар араластыру камерасына *11* өтіп, қоршаған ортадан тесік *12* арқылы берілетін атмосфералық суық ауамен араласып, материалды кептіруге қажетті температурада дайындалған газдыауа қоспасы барабанға өтеді. Жылулық өңдеуден өткен газдыауа қоспасы циклонға *4* өтіп шаңнан тазартылады, сосын түтінсорғыш *5* арқылы атмосфераға лақтырылады. Барабанның қаңқасына бандаждар *7* қатырылған, олар өз кезегінде тіреуіш *13* роликтерге орнатылған. Барабан өз осі бойынша төмен қарай жылжып кетпеу үшін, төменгі бандаж тежегіш роликке *2* жанастырылған. Барабанды айналдыру үшін, оның қаңқасына тісті доңғалық *6* қатырылған. Тісті доңғалаққа жанастырылған тісті шестерня *14*, электрқозғалтқышпен *1* редуктордан *15* берілген айналыс күші әсерінен барабанды айналдырады.




6.3 сурет. Саз кептіруге арналған барабанды кептіргіш.

Кептіргіш барабанның жұмыс камерасында кептірілетін материал мен жылутасымалдағыш арасында жылуалмасу процесін жақсарту үшін әртүрлі жылуалмастырғыш құрылғыларын орнатады (6.4 сурет).

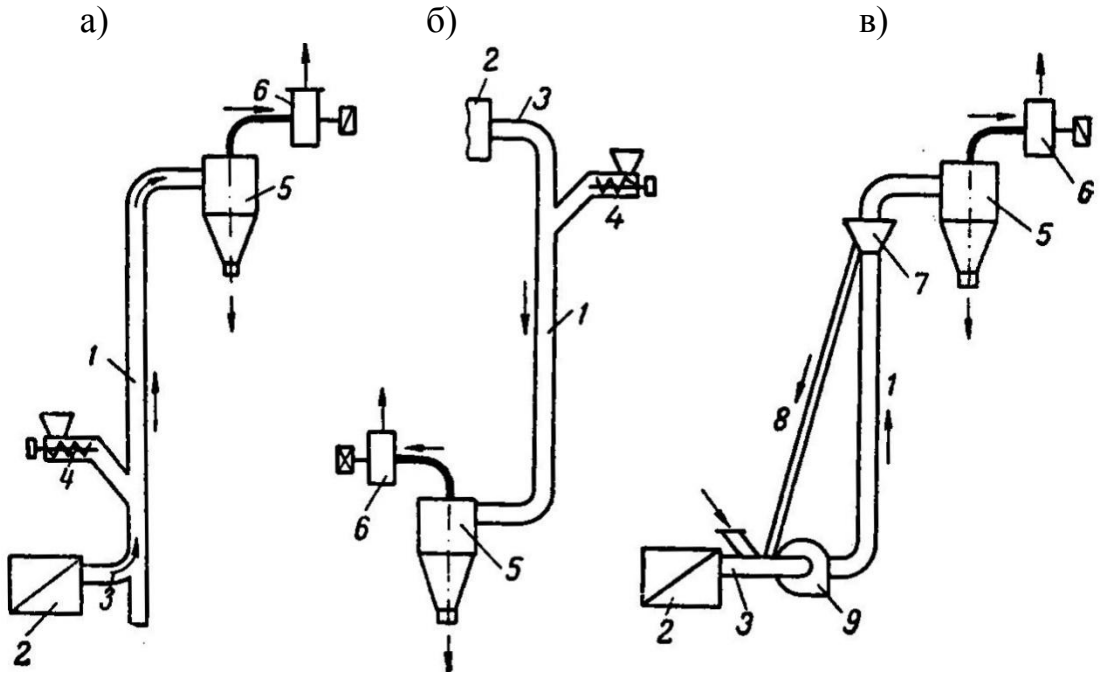



6.4 сурет. Кептіргіш барабанның ішкі жылуалмастырғыш құрылғылары. а) – қуысты; б) – цилиндрлі құбырлы; в) – шынжырлы; г), д), е), ж) – жақтаулы.

***Құбырлы кептіргіш.*** Құбырлы кептіргіштерді майда түйіршікті шикізат материалдарын (құм, саз, көмір және т.б.) кептіру үшін қолданады (6.5 сурет). Кептіргіште жылутасымалдағыш ретінде түтінді газдарды немесе қыздырылған ауаны қолданады, жұмыс істеуі үздіксіз режимде, конвективті кептіру тәсілімен, газды ағынның қозғалу бағыты бойынша тек тіке ағында жүргізіледі.

Құбырлы кептіргіштер конструкциясы бойынша үшке бөлінеді:

- газды ағын және материал төменгі жағынан берілетін;
- газды ағын және материал жоғарғы жағынан берілетін;
- шикізат материалын ұнтақтаумен бірге кептіру.

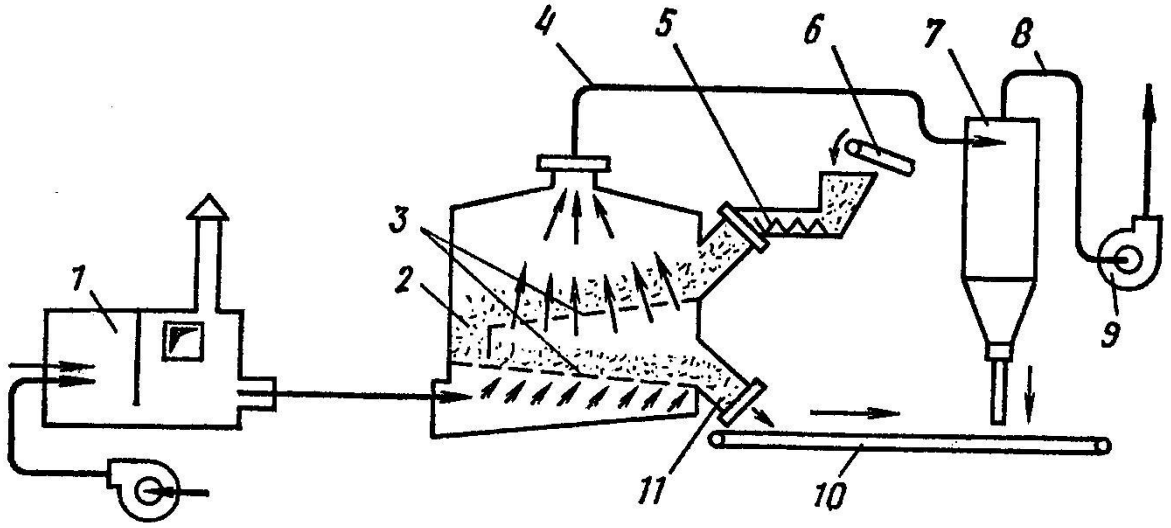



6.5 сурет. Құбырлы кептіргіштердің схемалары а) – газды ағын және материал төменгі жағынан берілетін; б) – газды ағын және материал жоғарғы жағынан берілетін; в) – шикізат материалын ұнтақтаумен бірге кептіру.

Құбырлы кептіргіштің жұмыс камерасы *1* тігінен орналасқан цилиндрлі құбырдан тұрады. Калориферде *2* дайындалған жылутасымалдағыш газды құбыр *3* арқылы жұмыс камерасына беріледі. Кептірілетін материал қабылдағыш құрылғы арқылы өлшеніп жұмыс камерасына түседі. Жұмыс камерасына түскен материал жылутасымалдағышпен тегеурін күші арқылы қозғалып конвективті жылуалмасу әсерінен кептіріледі. Кептірілген материал циклон құрылғысында *5* жылутасымалдағыштан ажыратылып, циклонның төменгі тесігі арқылы шығарылады. Тазартылған жылутасымалдағыш түтінсорғыш *6* арқылы атмосфераға лақтырылады. 6.5в суретте шикізат материалын ұнтақтаумен бірге кептіруге арналған құбырлы кептіргіш схемасы келтірілген. Шикізат материалы жұмыс камерасына түсуден бұрын ұнтақтағыш диірменде *9* ұнтақталады, сосын жылутасымалдағышпен жоғары көтеріліп, сепаратордан *7* өтеді. Сепаратордың торынан өтпеген материал түйіршіктері кері құбыр *8* арқылы төмен түсіп, қайтадан ұнтаудан өтеді.

Құбырлы кептіргіштің өлшемдері келесі аралықта болады: диаметрі D=0,5÷1,2*м*, биіктігі H=10÷20*м*. Кептіргішке берілетін жылутасымалдағыштың температурасы 400÷800 $^oC$ аралығында. Газды ағынның қозғалу жылдамдығы 10÷30 *м/секунд*. Құбырлы кептіргіштерде кептіру уақыты өте жылдам (бірнеше секунд) болғандықтан, ылғалдығы төмен немесе тез кептірілетін материалдар кептірілуі тиіс. 1 *кг* ылғалды буландыруға кететін меншікті жылу шығыны 3350÷4200 *кДж/кг ылғал*. Кептіргіштің көлемдік өнімділігі құмды кептіру кезінде ~500 *кг/м*$^3$*·сағат*, көмірді кептіру кезінде ~400 *кг/м*$^3$*·сағат*.

***Қайнау қабатты кептіргіш.*** Қайнау қабатты кептіргіштерді ірі түйіршікті немесе кесекті шикізат материалдарын кептіру үшін қолданады (6.6 сурет). Кептіргіште жылутасымалдағыш ретінде газдыауа қоспасын қолданады, жұмыс істеуі үздіксіз режимде, конвективті кептіру тәсілімен жүргізіледі. Бұл қондырғыларда материал мен жылутасымалдағыш арасында жылуалмасу дәрежесі барабанды кептіргіштерге қарағанда 8-10 есе жоғары болады, ал кептіру уақыты өте тез – бірнеше секунд ішінде өтеді.



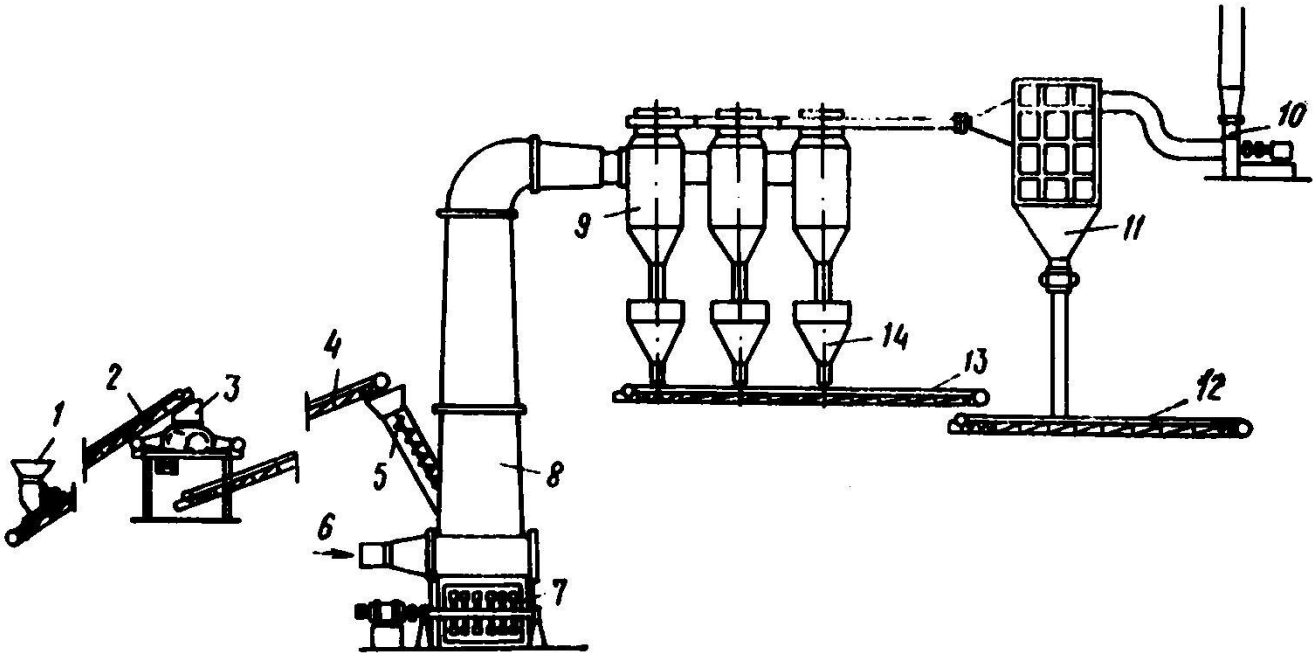

6.6 сурет. Қайнау қабатты кептіргіш схемасы.

Кептіргіштің жұмыс камерасы *2* керегөз тормен *3* бөлінген. Материал конвейер *6* арқылы бункерге түсіп, шнекті өлшегіш *5* құрылғымен өлшеніп, жұмыс камерасындағы тордың үстіне беріледі. Кептіргіштен бөлек оттық құрылғысында *1* дайындалған жылутасымалдағыш 200 $^oC$ температурада тордың астынан беріледі. Тор тесіктерінен өткен жоғары жылдамдықтағы жылутасымалдағыш тегеурін күші әсерінен материал түйіршіктерінің арасынан өтіп, оларды қозғалысқа келтіру арқылы қайнау қабат түзеді. Материал және жылутасымалдағыш арасындағы жанасу екі сатыдан өту нәтижесінде материал түйіршіктері жылдам кептіріледі. Сонымен қатар, газды ағын материал түйіршіктері арасынан екі сатыда өту кезінде, үстінгі сатыдағы материалдың ылғалдығы әсерінен түтінді газбен кететін шаңның мөлшері де аз болады.

Жылулық өңдеуден өткен газды ауа қоспасы түтінді құбыр *4* арқылы циклонға *7* өтіп, тазартылған газды ағын ары қарай құбыр *8* арқылы түтінсорғышпен *9* атмосфераға лақтырылады. Кептірілген материал құбыр *11*

арқылы жұмыс камерасынан шығарылып, конвейер *10* құрылғысымен қажетті жерге тасымалданады. Қайнау қабатты кептіргіштерде 1 *кг* ылғалды буландыруға кететін меншікті жылу шығыны 4000÷5000 *кДж/кг ылғал*. Кептіргіштің көлемдік өнімділігі 150÷200 *кг/м*$^3$*·сағат*.

***Пневматикалық (шахталы) кептіргіш.*** Пневматикалық кептіргіштерді сазды материалдарды ұсақтаумен бірге кептіру үшін қолданады (6.7 сурет). Кептіргіште жылутасымалдағыш ретінде газды ағындарды қолданады, жұмыс істеуі үздіксіз режимде, конвективті кептіру тәсілімен, газды ағынның қозғалу бағыты бойынша тек тіке ағында жүргізіледі.




6.7 сурет. Шикізат материалының кептірілуі ұнтақтаумен бірге жүретін кептіргіш схемасы.

Пневматикалық кептіргіштердің жұмыс камерасы *8* тігінен орналасқан шахта тәріздес кеңістіктен тұрады. Кептірілетін түйіршікті материал жұмыс камерасына құбыр *6* арқылы берілетін газды ағынның тегеурін күші әсерінен жоғары қарай бағытталып, жылуалмасу нәтижесінде кептіріледі. Жәшікті қабылдағышта *1* өлшенген сазды конвейер құрылғысымен *2* тасымалдап, дезинтеграторлы ұсақтағышқа *3* береді. Ұсақталған саз конвейер *4* арқылы шнекті өлшегішке *5* өтіп, жұмыс камерасының төменгі жағындағы балғалы ұнтақтағышқа *7* түседі. Ұнтақталған саз түйіршіктері балғалармен жоғары қарай лақтырылып, ары қарай газды ағынмен жоғары қарай тасымалданыды. Кептірілген материал шаң отырғызу құрылғысына *9* өтіп, ұсталынған саз түйіршіктері бункерлерге *14* түсіп, конвейер *13* тасымалданады. Циклонда ұсталынбаған майда шаң тозаң батереялық циклонға *11* өтіп, толықтай ұсталынады, сосын конвейер *12* арқылы қажетті жерге тасымалданады. Тазартылған газды ағын түтінсорғыш *10* арқылы атмосфераға лақтырылады.

Сазды шикізаттарды кептіруге арналған пневматикалық кептіргіштердің негізгі көрсеткіштері 6.2 кестеде келтірілген.

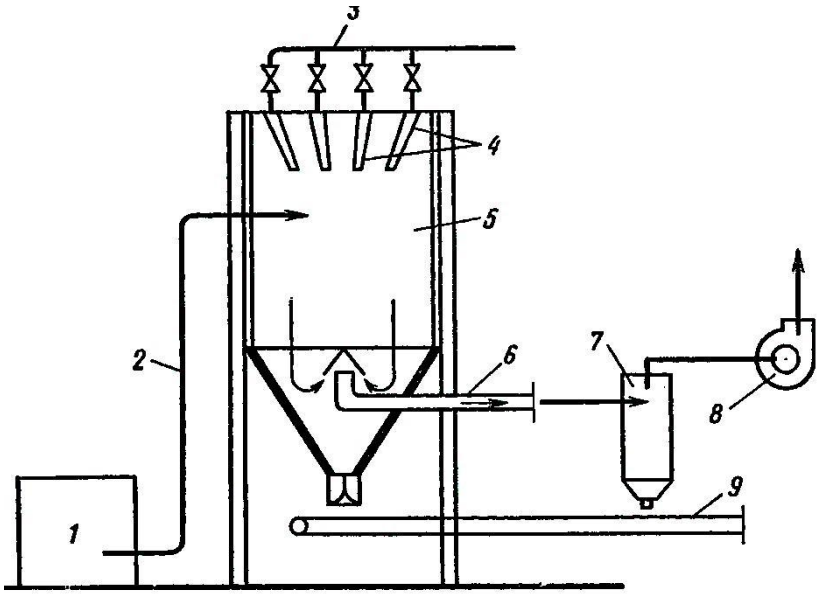
6.2 кесте. Саз кептіруге арналған пневматикалық кептіргіштің көрсеткіштері

| № рн | Көрсеткіштер | Мәндері |
|---|---|---|
| 1 | Өнімділігі, *т/сағат* | 3÷35 |
| 2 | Саз кесектерінің бастапқы өлшемдері, *мм* | 50 |
| 3 | Балғалы ұсақтағыш қаңқасының ішкі беті мен балғалардың аралығы, *мм* | 30÷110 |
| 4 | Саздың бастапқы ылғалдылығы, *%* | 17 |
| 5 | Кептірілген түйіршік ылғалдылығы, *%* | 8,4÷10,6 |
| 6 | Жылутасымалдағыштың бастапқы температурасы, $^oC$ | 150 |
| 7 | Жылутасымалдағыштың соңғы температурасы, $^oC$ | 52÷54,5 |
| 8 | Материал температурасы, $^oC$ | 40÷43,5 |
| 9 | Газды ағынның жылдамдығы, *м/с* | 9,5÷15 |
| 10 | Электрэнергиясының меншікті шығыны, *кВт·сағат/тонна* | 11÷12,62 |
| 11 | Шартты отынның меншікті шығыны, *кг/тонна саз* | 17,5÷23 |

Пневматикалық кептіргіштердің барабанды кептіргіштерге қарағанда біршама ерекшелігі бар. Сазды шикізатты бір қондырғыда кептірумен бірге ұнтақтау тасымалдау және төгу құрылғыларының санын азайтады, өндірістің технологиялық ағынындағы ұнтақталған материалды електен өткізу процесінің қажеттілігі болмайды, шахтадағы газды ағынның жылдамдығын өзгерту арқылы түйіршіктердің қажетті соңғы өлшемін реттеуге болады.

Пневматикалық кептіргіштердің кемшілігіне сазды материалдарды ұнтақтау кезінде шаң-тозаңның мөлшері көп болғандықтан, бірнеше сатыдан тұратын шаң отырғызу құрылғыларынан өткізу болып табылады.

***Шашыратқылы кептіргіш.*** Шашыратқылы кептіргіштерді ылғалдылығы жоғары (40÷50%) сұйық массалардан (суспензия, шликер) ылғалдылығы төмен (6÷10%) престеу түйіршіктерін алу үшін қолданады (6.8 сурет).




6.8 сурет. Шашыратқылы кептіргіш схемасы

Кептіргіштің жұмыс камерасы *5* тігінен орналасқан цилиндрлі және конусты бөліктерден тұратын кеңістіктен тұрады. Оттық кеңістігінде *1* дайындалған газдыауа қоспасы 700÷800$^oC$ температурада түтінді құбыр *2* арқылы кептіргіштің жұмыс камерасына беріледі. Сұйық масса құбыр *3* арқылы жұмыс камерасына беріліп, бүріккіш құрылғылары *4* әсерінен жұмыс камерасының цилиндрлі бөлігіне майда тамшыларға шашыратылады. Тамшылар ыстық жылутасымалдағыш ортасында жылдам кеуіп, кептіргіш қабырғасына соғылып, төмен қарай сырғиды, сосын жұмыс камерасының конусты бөлігінен бір жерге жиналып, сыртқа шығарылады, ары қарай

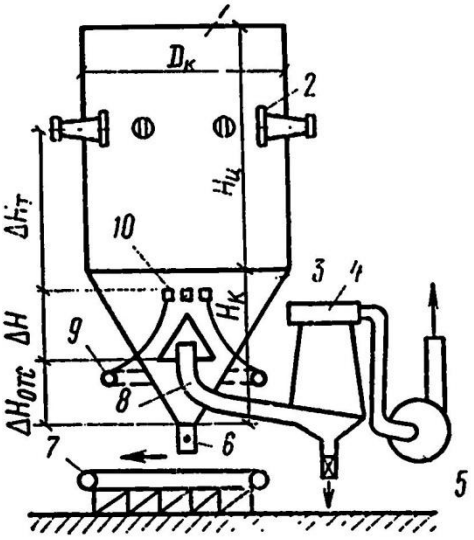
конвейерлі құрылғымен *9* қажетті жерге тасымалданады. Жылулық өңдеуден өткен жылутасымалдағыш жұмыс камерасының төменгі жағындағы түтінді құбыр *6* арқылы циклонға өтеді, ол жерден тазартылып, түтін сорғыш *8* арқылы атмосфераға лақтырылады.

Шашыратқылы кептіргіштердің негізгі ерекшелігі бір мезгілде кептірумен қатар, шикізат түйіршігін алу мүмкіндігі болып табылады. Шашыраған тамшылардың тез кебуі (бірнеше секунд), алынған түйіршіктердің шар тәрізді домалақ пішінде болу нәтижесінде, олардан бұйымдарды қалыптау кезінде престеу процесінің жақсы жүргізілуі нәтижесінде, өндірістің өнімділігі жоғары болады.

Керамика өндірістерінде сұйық шликер массасынан престеу ұнтағын алу үшін әртүрлі шашыратқылы кептіргіштердің конструкциясын қолданады.

НИИстройкерамика (Құрылыстық керамика ғылыми-зерттеу институты) мекемесімен жобаланған шашыратқылы кептіргіштің схемасы 6.9 суретте келтірілген.

Кептіргіштің цилиндрлі қаңқасы 1 минералды мақта толтырылған металлды панелдерден жасайды. Ішкі беті ыстыққа төзімді болат темірмен қапталады. Жұмыс камерасының конусты бөлігінен *3* кептірілген түйіршікті шикізат жиналып, құбыр *6* арқылы сыртқа шығарылады, сосын конвейермен *7* қажетті жерге тасымалданады. Шликер мембраналы насоспен 1,2÷1,4 *МПа* қысыммен шеңберлі құбырға *9* айдалады, ол жерден механикалық бүріккіштер *10* арқылы жұмыс камерасының жоғарғы жағына қарай шашыратылады. Жұмыс камерасынының жоғарғы бөлігінде айналдыра бірнеше газды жанарғылар *2* орнатылған. Газды отынның жану өнімдері 1600÷1700$^oC$ температурасы аралығында шликер тамшыларымен жылу алмасып, оларды майда түйіршіктерге айналдырады.



6.9 сурет. НИИстройкерамика мекемесімен жобаланған шашыратқылы кептіргіштің схемасы

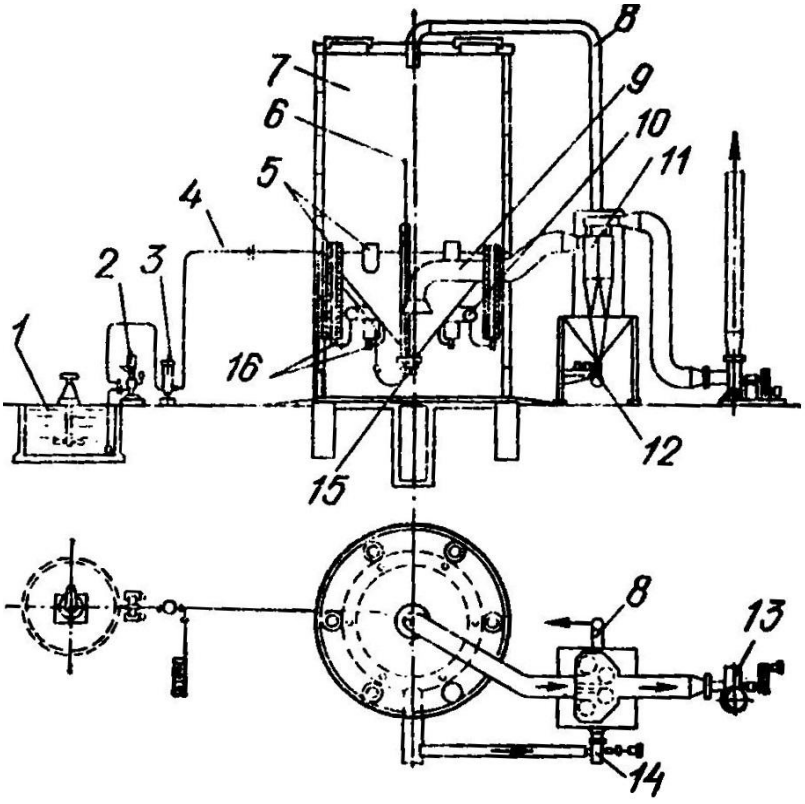
Жылулық өңдеуден өткен түтінді газдар түтінді құбыр *8* арқылы сорылып, циклонға *4* өтеді, ол жерден түтінсорғыш *5* арқылы атмосфераға лақтырылады. Кептіргіш қаңқасының диаметрі 4,5 *м*, цилиндрлі бөлігінің биіктігі 5 *м*, конусы бөлігінің биіктігі 3*м*. Кептіргіштің жалпы көлемі 94 $м^3$. Өнімділігі – 3,5*т/сағат*, меншікті жылу шығыны 3200 *кДж/кг ылғал*. НИИстройкерамика мекемесімен жобаланған басқа шашыратқылы кептіргіштердің престеу түйіршігін алу бойынша өнімділіктері 0,36÷36 *т/сағат* аралығында.

КБ МКСМ (Минск құрылыс материалдар комбинатының конструкциялық бөлімі) мекемесімен жобаланған шашыратқылы кептіргіштің схемасы 6.10 суретте келтірілген.

Шығын бассейннен *1* сұйық шликер насос *2* арқылы сорылып, ресивер *3* құрылғысы арқылы шликер өткізу құбырымен *4* өтіп, механикалық бүріккіш *6* арқылы жұмыс камерасына *7* шашыратылады. Кептіргіш жанарғы құрылғылары *16* орнатылған алты цилиндрлі тік оттықтармен жабдықталған.

Жанарғылардан шыққан жану өнімдері жоғары көтеріліп, шашраған тамшыларды кептіреді. Пайда болған түйіршіктер төмен қарай жылжып, конусты бөліктегі қабылдағыш түтік *15* арқылы сыртқа шығарылады.

Өңдеуден өткен түтінді газдар төменгі жағындағы құбыр *9* арқылы сорылып, батереялық циклонға *11* өтеді, ол жерден түтінсорғыш *13* арқылы атмосфераға лақтырылады. Отынның жануына қажетті ауа құбырмен *10* беріледі. Циклонда ұсталған шаңды түйіршіктер қабылдағыш *12* құрылғысынан шығып, үрлегіш желдеткішпен *14* жоғарғы құбыр *8* арқылы жұмыс камерасының жоғарғы бөлігінен ішке беріледі. Төмен қарай түскен шаңды түйіршіктер толық кептірілмеген түйіршіктерге жабысып, іріленген түйіршіктер алуға мүмкіндік береді. Кептіргіш қаңқасының диаметрі 8 *м*, жалпы биіктігі 16*м*, цилиндрлі бөлігінің биіктігі 8 *м*.




6.10 сурет. КБ МКСМ мекемесімен жобаланған шашыратқылы кептіргіштің схемасы

Кептіргіштің жалпы көлемі 710 $м^3$, жұмыс камерасының көлемі 510 $м^3$. Шликер механикалық бүріккішпен 2,6÷2,9 *МПа* қысыммен беріледі. Жұмыс камерасындағы газды ағындардың температурасы 150÷180 $^oC$, кететін түтінді газдардың температурасы 75÷80 $^oC$. Шликердің ылғалдылығы 40÷45%, түйіршік ылғалдылығы 6,5÷7%. Кептіргіш өнімділігі – 4,5*т/сағат*, меншікті жылу шығыны 3350 *кДж/кг ылғал*.

***Камералы кептіргіш.*** Камералы кептіргіштерді құрылыс керамика өндірістерінде қалыптанған бұйымдары (кірпіш) кептіру үшін қолданады.

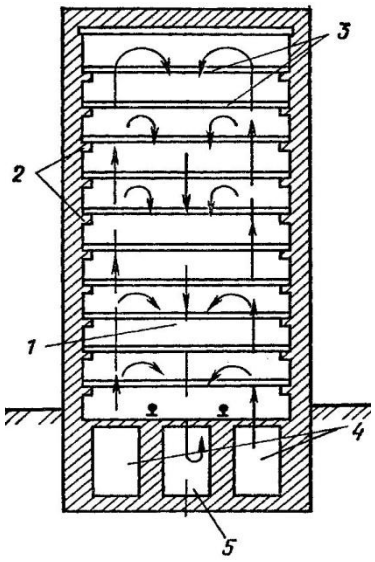
Камералы кептіргіште жылутасымалдағыш ретінде түтінді газдарды және қыздырылған ауаны қолданады, жұмыс істеуі үздікті режимде, конвективті кептіру тәсілімен, газды ағынның қозғалу бағыты бойынша газды айналымды ағында жүргізіледі. Кептіргіштің жұмыс камерасы тік бұрышты кеңістіктен тұрады. Камераның биіктігі 2,5÷3,5*м*, ені 1,2÷1,5*м*, ұзындығы 8÷13,5*м*.

6.11 суретте жеке камераның схемасы келтірілген. Кептіргіштің жұмыс камерасында *1* биіктігі бойынша бірнеше қатармен бұйымдар орнықтырылған жақтаулар *3* болады. Бұл жақтаулар камера қабырғасының ішкі бетіндегі жақтаушаларға *2* қойылады. Камера еденінің астында ағаштан жасалған тормен жабылған жылутасымалдағыш берілетін екі канал 4 болады. Бұл каналдар

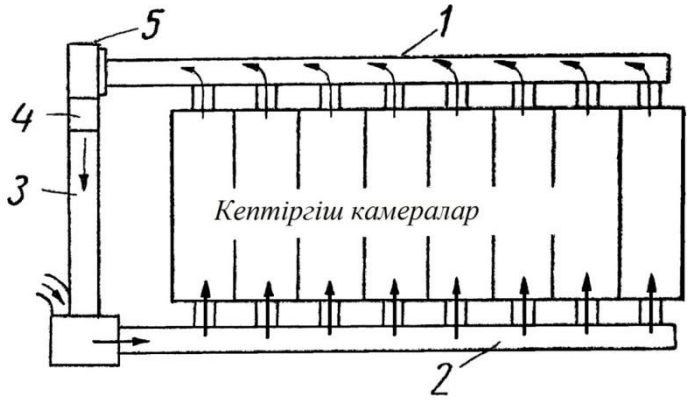
арқылы берілген газды ағын бұйымдар арасынан жоғары көтеріліп, олармен жанасу арқылы жылуалмасады. Жылулық өңдеуден өткен газды ағындар камера еденінің астындағы канал *5* арқылы сыртқа шығарылады. Осылай бір-біріне қарама-қарсы қозғалған газды ағындар кептіргіштің жұмыс камерасында газды айналым тудырып, биіктік бойынша температураның біркелкі болуын қамтамасыз етеді. Бір камерадағы кірпіштер саны 3000÷3600 *дана*. Бір циклдағы кептіру мерзімі 2÷3 *тәулік*, кептіргіштегі меншікті жылу шығыны 4200÷6300 *кДж/кг ылғал*.

Камералы кептіргіштер өндірістің өнімділігіне сәйкес бірнеше камералардан (20÷30 *дана*) құралған қондырғы ретінде тұрғызылады. Мұндай қондырғыда барлық камера бойынша газды айналым тудырып, температураның біркелкілігін қамтамасыз етеді.

6.12 суретте Газды айналым жүйесімен жабдықталған бірнеше қатарласқан камералардан тұратын кептіргіш блогының схемасы келтірілген. Кептіргішке берілетін ыстық жылутасымалдағыш жалпы канал *2* арқылы әр камераға жіберіледі. Жылулық өңдеуден өткен газды ағындар әр камерадан шығып, жалпы каналмен *1* желдеткіш арқылы сорылып шығарылады. Сорылған түтінді газдың бір бөлігі жанама құбыр *4* арқылы атмосфераға лақтырылады, ал қалған бөлігі қайтадан жылутасымалдағышпен бірге камераларға жіберіледі. Газды ағындардың осылай үздіксіз қозғалысы нәтижесінде, камералардың биіктігі бойынша температураның ауытқуы болмайды. Камераларға кіретін жылутасымалдағыштың температурасы 90÷150 $^oC$, кететін түтінді газдардың температурасы циклдың басында 25÷30 $^oC$, циклдың соңында 50÷55 $^oC$. Камерадағы газды ағынның сиреген қысымы 10 *Па*, қозғалу жылдамдығы 2,5÷3,5 *м/секунд*. Кептіргіш өнімділігі – 1 $м^3$ жұмыс ауданынан 1 айда алынатын кірпіштер саны 1200÷3000 *дана*. Меншікті жылу шығыны 6500÷7000 *кДж/кг ылғал*.




6.11 сурет. Камералы кептіргіштің схемасы




6.12 сурет. Газды айналым жүйесімен жабдықталған бірнеше қатарласқан камералардан тұратын кептіргіш блогының схемасы

Камералы кептіргіштердің негізгі кемшіліктері, олардың үздікті режимде жұмыс істеуіне байланысты меншікті өнімділігі төмен, отын шығыны жоғары,

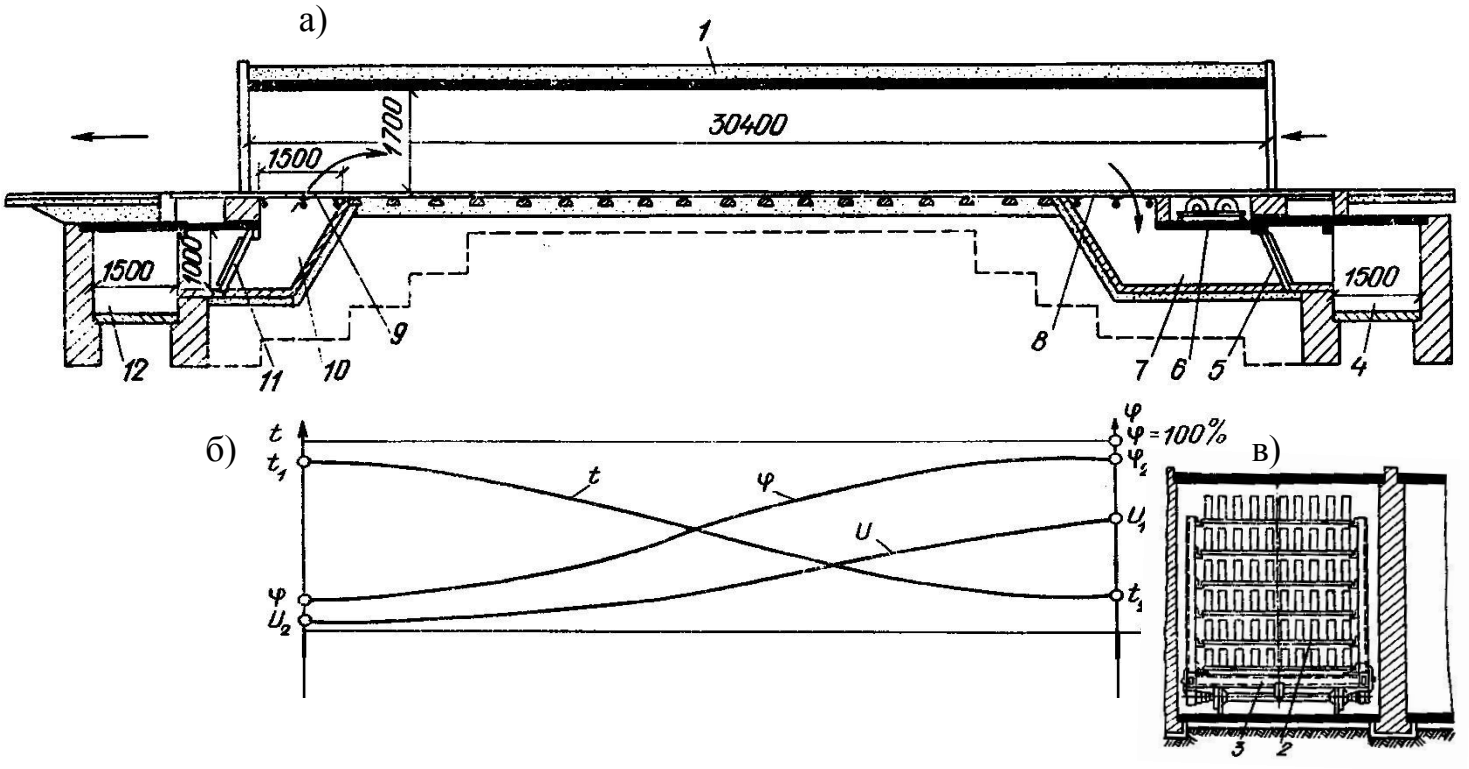
температураның біркелкіліксіздігі, бұйымдар сапасының нашарлығы, кептіру мерзімінің ұзақтығы және т.б. болып табылады. Осығын байланысты, оларды кептіргіштердің басқа түрлері өндірістерден ығыстырып шығарған.

Бірақ, қазіргі кездегі заманауи камералы кептіргіштердің конструкциялары басқа кептіргіштерге қарағанда отын шығынының аз болуымен қатар, жоғары сапалы бұйымдарды алуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, камералы кептіргіштерді қолдану нәтижесінде аз өнімділікті өндірістерде толық тәуліктік режимде емес, бір-екі ауысымды режимде жұмыс істеуге мүмкіндік береді. Сондықтан, камералы кептіргіштердің конструкцияларын және жұмыс істеу принципін жақсарту, оларды қолдану мүмкіндігін арттырады.

***Туннельді кептіргіш.*** Туннельді кептіргіштерді керамика өндірістерінде қалыптанған бұйымдарды (кірпіш, шатырқыш, ағын су құбырлары және т.б.) кептіру үшін қолданады.

Туннельді кептіргіште жылутасымалдағыш ретінде түтінді газдарды және қыздырылған ауаны қолданады, жұмыс істеуі үздіксіз режимде, конвективті кептіру тәсілімен, газды ағынның қозғалу бағыты бойынша кері ағында жүргізіледі. Кептіргіштің жұмыс камерасы туннель тәріздес тік бұрышты кеңістіктен тұрады. Камераның биіктігі 1,5÷1,7*м*, ені 1,2÷1,3*м*, ұзындығы 24÷36*м*. Туннельді кептіргіштердің басқа кептіргіштерге қарағанда ерекшелігі үздіксіз режимде жұмыс істегендіктен, камераның барлық ұзындығы бойынша қалыптасқан жылулық режим болады.

Керамикалық құрылыс кірпішін кептіруге арналған туннельді кептіргіштің схемасы 6.13 суретте келтірілген.




6.13 сурет. Керамикалық кірпіш кептіруге арналған кері ағынды туннельді кептіргіш. а) – тіке кескіні, б) – температуралар графигі: t – газды ағын температурасы, φ – газды ағынның салыстырмалы ылғалдылығы, U – материалдың ылғал мөлшері, в) – қима кескіні.

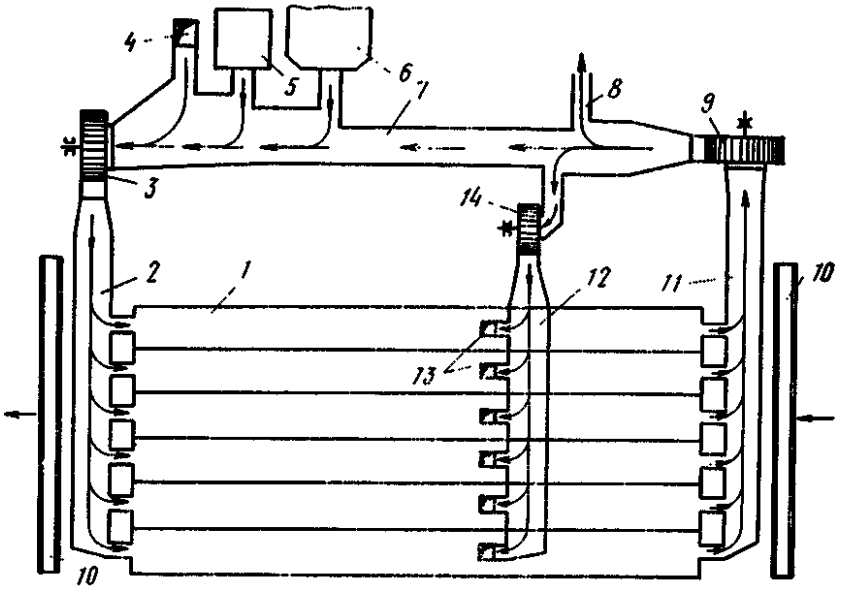
Туннельді кептіргіштің жұмыс камерасына *1* бұйымдар жақтауларға *2* қойылып, вагонеткалар *3* арқылы камера еденіндегі рельсі жолмен кіргізіледі. Вагонеткалар итергіш механизм 6 көмегімен жылжытылады. Бұйымдар толтырылған бір вагонетка ішке кірген кезде жұмыс камерасындағы барлық вагонеткалар ілгері жылжып, кептірілген бұйымдармен бір вагонетка сыртқа шығады. Вагонеткалардың ішкі кіргізілу уақыты кептіру уақытына және вагонеткалар санына байланысты болады. Мысалы, ұзындығы 36 *м* кептіргіште ұзындықтары 1,5 *м* болатын 24 вагонетка болады, егер бұйымдардың кептірілу уақыты 24 сағат болса, онда әр 1 сағат сайын бір вагонетка кіргізіледі. Осылайша, қажетті кептіру режимін сақтауға болады. Туннельді кептіргіш газдардың қозғалу бағыты бойынша кері ағында жұмыс істегендіктен, жылутасымалдағыш вагонеткалар кіргізілетін жерден қарама-қарсы жерде болатын жер асты каналынан *12* туннельді кептіргіштің жұмыс камерасын жалғастыратын канал *10* арқылы туннель еденінде орнатылған тесікпен *9* беріледі. Берілетін жылутасымалдағыштың мөлшері клапан *11* арқылы реттеледі. Газды ағын бұйымдарға қарама-қарсы бағытта қозғалып, жылуалмасу нәтижесінде оларды кептіреді. Жылулық өңдеуден өткен газды ағын туннель еденінде орнатылған тесікпен *8* канал *7* арқылы клапаннан *5* өтіп, жер асты каналына *4* тартылады. Кептіргіш кері ағында жұмыс істегендіктен, жаңадан кіргізілген бұйымдар бастапқыда жылулық энергиясы азайған газды ағынмен жанасады, ары қарай біртіндеп ыстық газдармен қыздырылады. Мұндай жылуалмасу бұйымдардың жарылмай біркелкі кептірілуіне мүмкіндік береді.

Өнімділігі жоғары өндірістерде туннельді кептіргіштер бірнеше камерадан құралған (10÷15 туннель) блокты қондырғыдан тұрады (6.14 сурет).

Бұйымдар орнықтырылған вагонеткалар әр жұмыс камерасына кезекпен кіргізілу және кептірілген бұйымдар шыққан вагонеткаларды әр камерадан кезекпен шығару үшін туннельді екі жағына перпендикуляр бағытта темір жол *10* төселеді. Кептіргіштердің жұмыс камераларына *1* жылутасымалдағыш желдеткішпен *3* тартылып, жер асты каналы арқылы *2* беріледі. Жылутасымалдағыш ретінде берілетін жану өнімдері оттық камерасынан *5*, жылулық өңдеуден өткен түтінді газ күйдіру пештерінен *6* және газды ағынға қосылатын суық ауа шахтадан *4* беріледі. Кептіргіштен шыққан газды ағын жер асты каналына *11* өтіп, түтінсорғыш *9* арқылы құбырмен *8* атмосфераға лақтырылады.

Туннельді кептіргіштің жұмыс камерасының биіктігі бойынша температураның біркелкілігін қамтамасыз ету үшін газды айналымды қолданады. Ол үшін, жылулық өңдеуден шыққан газды ағынның бір бөлігі түтінді канал *7* арқылы жылутасымалдағышқа жіберіледі.

Газды айналым кезінде газды ағын кептіргіштің ортаңғыбөлігіне де берілуі мүмкін. Ол үшін, жылулық өңдеуден өткен жылутасымалдағыштың бір бөлігі желдеткішпен *14* сорылып, жұмыс камерасының үстіңгі бөлігіне орнатылған канал *12* арқылы тесіктермен *13* ішке жіберіледі. Жоғарғы канал кептіргіштің бұйымдар кіргізілетін бөлігінен кептіргіш ұзындығының 1/3 бөлігіндей аралықта болады.




6.14 сурет. Керамикалық кірпіш кептіруге туннельді камералардан құралған блокты кептіргіш схемасы.

Туннельді кептіргіштерде кірпіштерді кептіруде газды ағынның бастапқы температурасы 90÷120 $^{o}C$, кететін түтінді газдардың температурасы 30÷35 $^{o}C$ аралығында болады. Меншікті жылу шығыны 4600÷5500 *кДж/кг ылғал*.

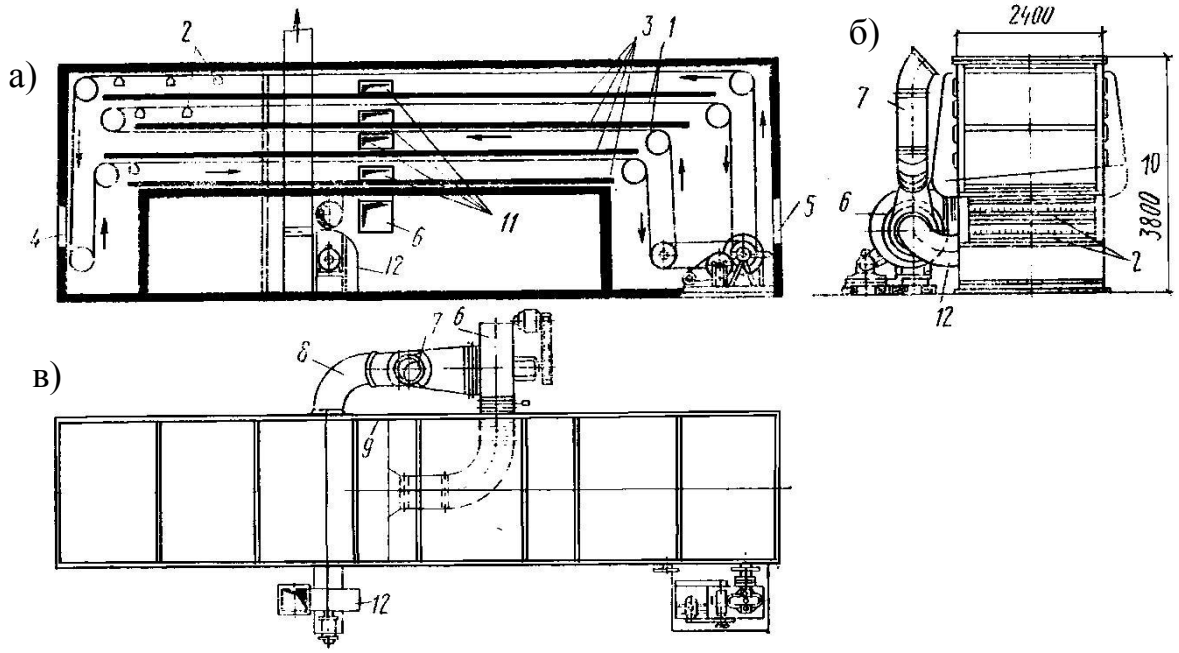
***Конвейерлі кептіргіш.*** Конвейерлі кептіргіштерді керамика өндірістерінде қалыптанған кіші пішінді бұйымдарды (әр түрлі керамикалық ыдыстар, электр оқшаулағыштар) кептіру үшін қолданады.

Конвейерлі кептіргіштерде жылутасымалдағыш ретінде түтінді газдарды, қыздырылған ауаны, электр энергиясының сәулелік жылулығын қолданады, жұмыс істеуі үздіксіз режимде, конвективті және радиациялық кептіру тәсілімен жүргізіледі. Конвейерлі кептіргіштің туннельді кептіргіштен айырмашылығы кептірілетін бұйымдар үздіксіз қозғалыста болады.

НИИСтройкерамика мекемесімен жобаланған полкалы шынжырлы конвейерлі кептіргіштің схемасы 6.15 суретте келтірілген.

Шынжырлы конвейерге *1* бұйымдар қойылатын полкалар *2* орнатылған. Шынжырлы конвейердің екі ұшы бір бірімен тұйықталып, тік және көлденеңді бағытта үздіксіз жылжыйды. Газды ағын жұмыс камерасында біркелкі таралу үшін камера ұзындығы бойынша төрт көлденеңді жақтаулар қойылған. Бұйымдарды полкаларға отырғызу тесікті терезе *4*, ал шығару келесі тесікті терезе *5* арқылы жүргізіледі. Шынжырлы конвейердің қозғалу бағыты бұйымдарды бірінші температурасы төмен аймақпен алып өтіп, сосын біртіндеп температурасы жоғары аймақтан өткізуге негізделген. Осындай бағыттың нәтижесінде бұйымдар біртіндеп қыздырылады. Қоршаған ортадағы ауа желдеткішпен *6* сорылып, құбыр *7* арқылы калориферге *8* өтіп қыздырылады. Сосын тік каналдармен *10* жылжып, кептіргіштің екі жақ қабырғасындағы орналасқан тесіктер *11* арқылы кептіргіштің әр биіктіктегі аймағына жіберіледі. Жылулық өңдеуден өткен газды ағын астыңғы жағынан желдеткішпен *12* сорылып шығарылады. Санитарлы-құрылыстық керамикалық бұйымдарды кептіруге арналған шынжырлы конвейерлі кептіргіштің

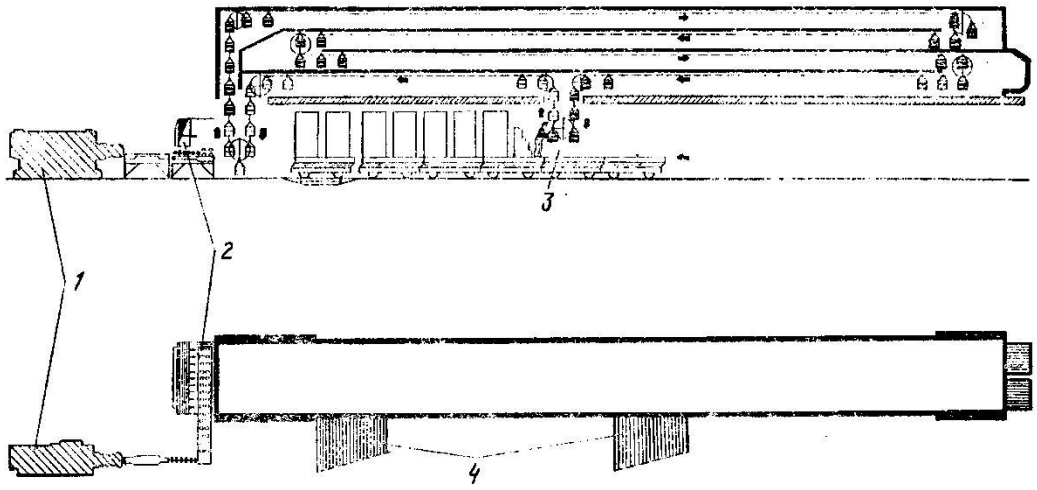
техникалық сипаттамалары келесідей: жылдық өнімділігі 260000 *бұйым*, кептіру уақыты 20 *сағат*, шынжырдың жылжу жылдамдығы 1,2 *м/минут*, полкалар аралығы 1,12 *м*, полкалар саны 176 *дана*, бір полкадағы қолжуғыштың саны 6 *дана*, кептіргіш ұзындығы 36,4 *м*, ені 2,05 *м*, биіктігі 4,61*м*.




6.15 сурет. Шынжырлы полкалы конвейерлі кептіргіш схемасы. а) – тіке кескіні, б) – қима кескіні, в) жоспарлы көрінісі.

Ірі қуысты керамикалық бұйымдарды кептіруге арналған конвейерлі полкалы кептіргіштің схемасы 6.16 суретте келтірілген.

Кептіргіш бұйымдарды қалыптау пресінің *1* қасында орналасады. Престе қалыптанған бұйымдар автоматты құрылғы 2 арқылы полкаларға қойылады. Кептірілген бұйымдар жұмыс камерасынан шығырылып, автоматты құрылғылармен *3* кептіргіштің астында орналасқан пеш вагонеткаларына орнықтырылады. Бұйымдар орнықтырылған вагонеткалар темір жол арқылы қажетті жерге тасымалданады.

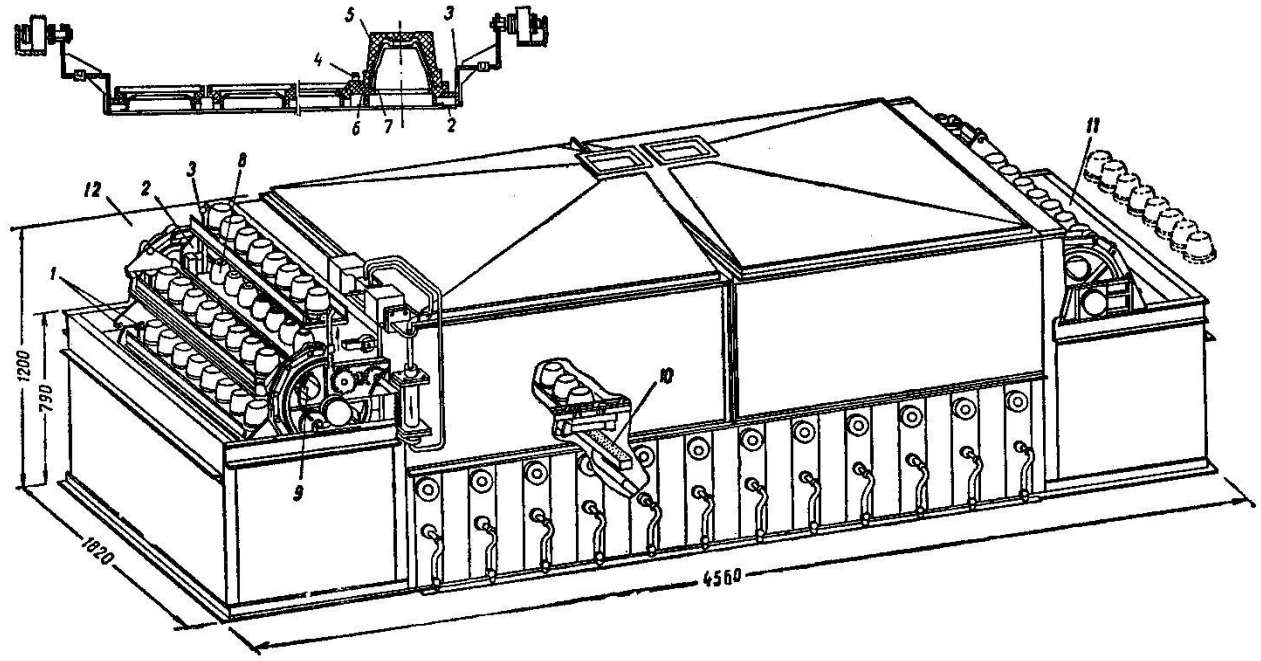


6.16 сурет. Ірі қуысты керамикалық бұйымдарды кептіруге арналған конвейерлі полкалы кептіргіштің схемасы

Фарфорлы ыдыс бұйымдарын кептіруге арналған газды отынмен жұмыс істейтін конвейерлі радиациялық кептіргіштің схемасы 6.17 суретте келтірілген.

Бұл кептіргіште гипсті қалып және қалыптың ішінде құйылған фарфорлы ыдыс бір мезгілде кептіріледі. Жылжымалы конвейерге орнықтырылған әр полкаларға *1* қатарынан сегіз бұйым қойылады. Полка екі қатардан тұрады: астыңғы *2* және бекіткішпен *3* қатырылған үстіңгі *2* полка. Кәуекті шыныдан жасалған жылуоқшаулықты сақиналарға *6* бұйымдар құйылған қалып *5* төмен қаратып қойылады. Астыңғы полкаға *2* орнықтырылған металлды конусты сақиналар *7* гипсті қалыптан ажыраған ыдыстардың қойылуы үшін қажет. Полкалардың жылжуы жұлдызшалы механизмді барабанның *9* көмегімен жүргізіледі. Гипсті қалып кептіргіштің бір жағынан *11* кіргізіліп, екінші жағынан *12* шығарылады. Кептіру кезінде гипсті қалыптағы бұйымдар керамикалық жалынсыз жанарғылармен *10* берілетін сәулелік ағынның жылулығы әсерінен қыздырылып, белгілі бір уақыттан кейін көлемі бойынша шөгу нәтижесінде төмен қаратып қойылған гипсті қалыптан ажырап, астыңғы полкаға орнығады. Ары қарай, гипсті қалып және қалыптанған ыдыс астыңғы және үстінгі полкаларда өз алдарына бөлек тұрып, кептіргіштен кететін газды ағындардың жылулығымен соңына дейін кептіріледі. Сәулелік жылу ағынының температурасын 500÷900 $^{o}C$ аралығында өзгертуге болады.

Кептіргіштің өлшемдері: ұзындығы 4,5 *м*, ені 1,82 *м*, биіктігі 1,2 *м*. Өнімділігі 480 ыдыс бір сағатта.




6.17 сурет. Фарфорлы ыдыс бұйымдарын кептіруге арналған газды отынмен жұмыс істейтін конвейерлі радиациялық кептіргіш

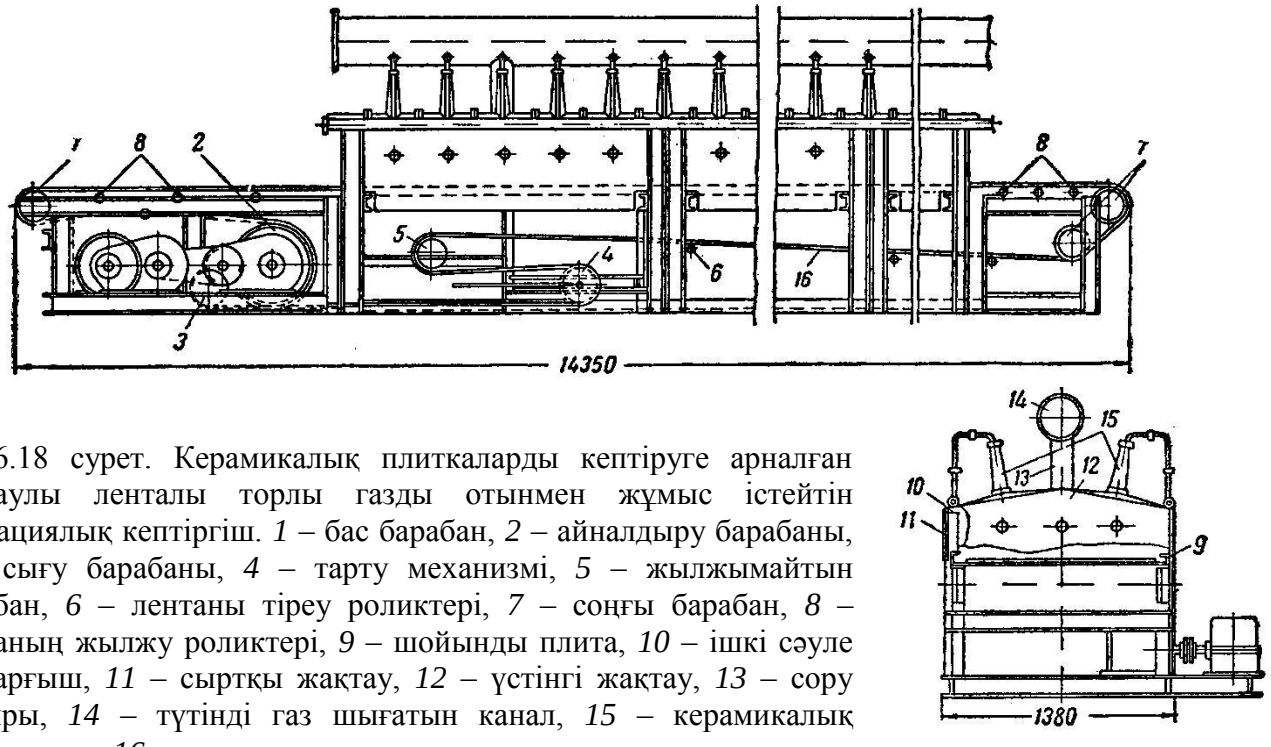
Жазық бетті жұқа керамикалық бұйымдарды кептіру үшін саңлаулы (жұмыс камерасының биіктігі төмен) радиациялық конвейерлі кептіргіштер қолданылады. Бұйымдарды тасымалдағыш құрылғылар ретінде ленталы тор

және роликті конвейерлер пайдалынады. Радиациялық тәсілде кептіруде сәулелік жылу ағынының көзі болып табылатын қыздырғыштардың температурасы 600÷800 $^{o}C$ аралығында болады, яғни кептіру жылдымдығы конвективті тәсілге қарағанда 30÷70 есе жылдам болады, нәтижесінде кептіру уақыты 10÷12 есе қысқарады. Сәулелік жылу ағыны тек бір жақты берілетін болғандықтан, кептірілетін бұйымдар биіктігі бойынша бір қатар қойылады.

Керамикалық плиткаларды кептіруге арналған саңлаулы ленталы торлы газды отынмен жұмыс істейтін радиациялық кептіргіштің схемасы 6.18 суретте келтірілген.

Кептіргіштің ұзындығы 14,35 *м*, ені 1,38 *м*. Кептіргіш әрқайсысының ұзындығы 2,25 *м* болатын бес секциядан тұрады. Кептіргіштің жұмыс камерасында ені 1,1 *м*, кептірілетін бұйымдар қойылатын жылжымалы тор *16* орнатылған. Тор жұмыс камераның ішінде шойынды плиталардың *9* үстімен, ал камераның сыртында роликтердің *8* үстімен жылжыйды. Ленталы тордың жылжу жылдамдығы ~0,028 *м/секунд*. Тордың ені бойынша алты қатар плиткалар қойылады. Ұзындығы бойынша плиткалардың аралығы 28 *мм*. Кептіргіштің үстіңгі бөлігінде 12 екі қатармен керамикалық сәуле шашу тетігімен 15 жабдықталған газды отын жанарғылары орнатылған. Жанарғылар мен тордың аралығы 250 *мм*. Жанарғының керамикалық тетігінің бетіндегі температура ~800 $^{o}C$. Жылулық өңдеуден өткен газды ағын үстіңгі құбырлар *13* арқылы жалпы құбырға *14* өтіп, атмосфераға лақтырылады. Кептіргіштен шығу кезінде плиткалар суық ауа ағынымен 3 *минут* аралығында 140÷150 $^{o}C$ температурадан 40÷50 $^{o}C$ температураға дейін суытылады.

Кептіргіш өнімділігі өлшемі 150х150*мм* плиткалар үшін 3000 *дана/сағат*. Кептіру уақыты 6,7 *минут*. Табиғи газ шығыны 14÷18 $м^3$*/сағат*. Кептіргіштегі меншікті жылу шығыны 8400÷8800 *кДж/кг ылғал*.

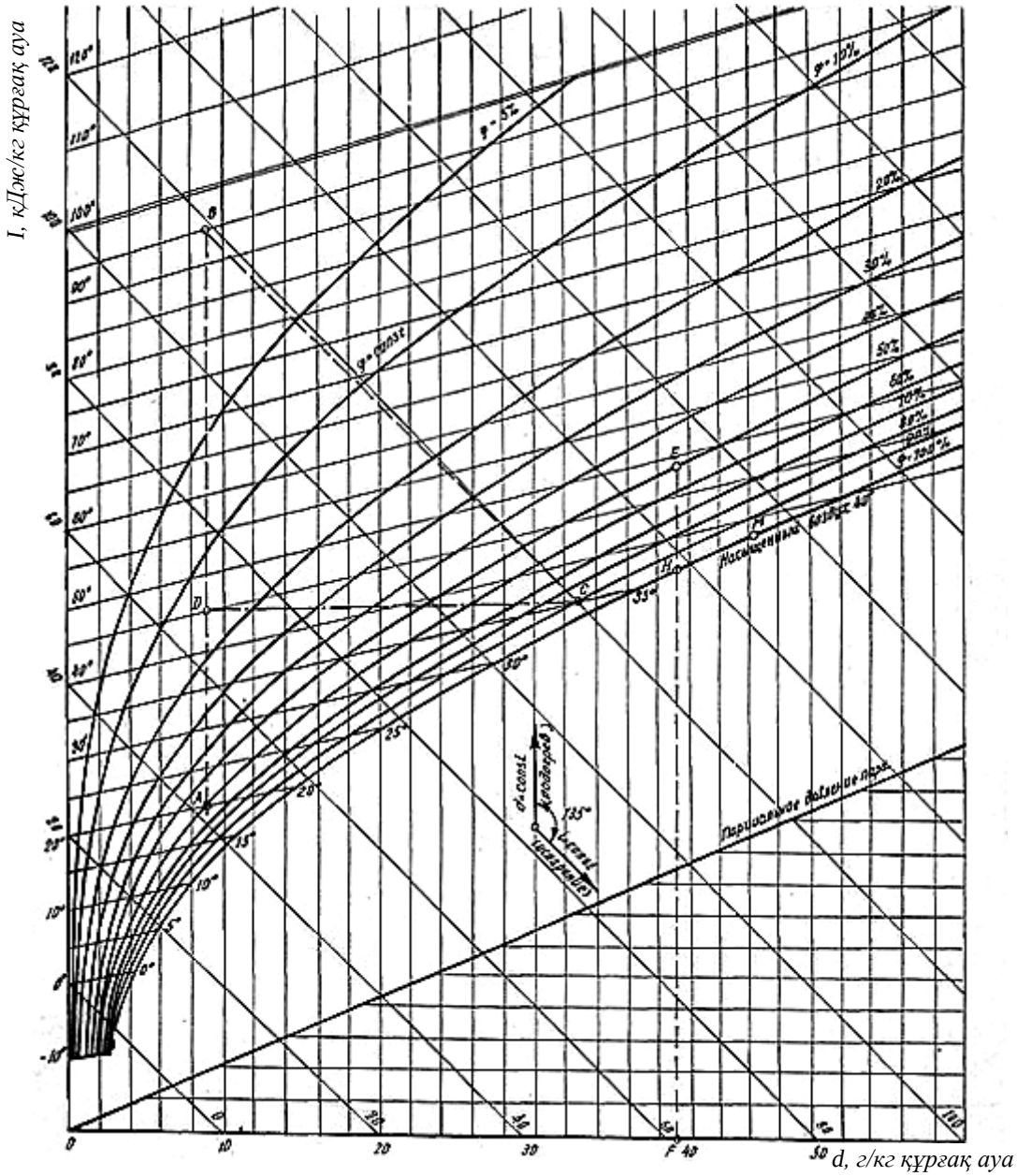



6.18 сурет. Керамикалық плиткаларды кептіруге арналған саңлаулы ленталы торлы газды отынмен жұмыс істейтін радиациялық кептіргіш. *1* – бас барабан, *2* – айналдыру барабаны, *3* – сығу барабаны, *4* – тарту механизмі, *5* – жылжымайтын барабан, *6* – лентаны тіреу роликтері, *7* – соңғы барабан, *8* – лентаның жылжу роликтері, *9* – шойынды плита, *10* – ішкі сәуле қайтарғыш, *11* – сыртқы жақтау, *12* – үстінгі жақтау, *13* – сору құбыры, *14* – түтінді газ шығатын канал, *15* – керамикалық жанарғылар, *16* – ленталы металлды тор

## 6.3. Есепті орындау әдістемесі

Кептіргіш қондырғыларында жылутасымалдағыш ретінде түтінді газдарды немесе қыздырылған ыстық ауаны қолданады. Кептіргіштердің тиімділігі кептірілген өнімнің өлшем бірлігіне кететін отын және жылудың меншікті шығын көрсеткіштерімен анықталады. Бұл көрсеткіштерді анықтау үшін кептіру процесінің жылулық есептеулерін жүргізеді. Кептіру процесінің жылулық есептеулерін жеңілдету мақсатымен, тек қана белгілі бір масштабта сызылған және сандық белгілер түсіріліп, масштабтың негізгі координаталары көрсетілген I-d диаграммасын қолдануға болады (6.19 сурет).

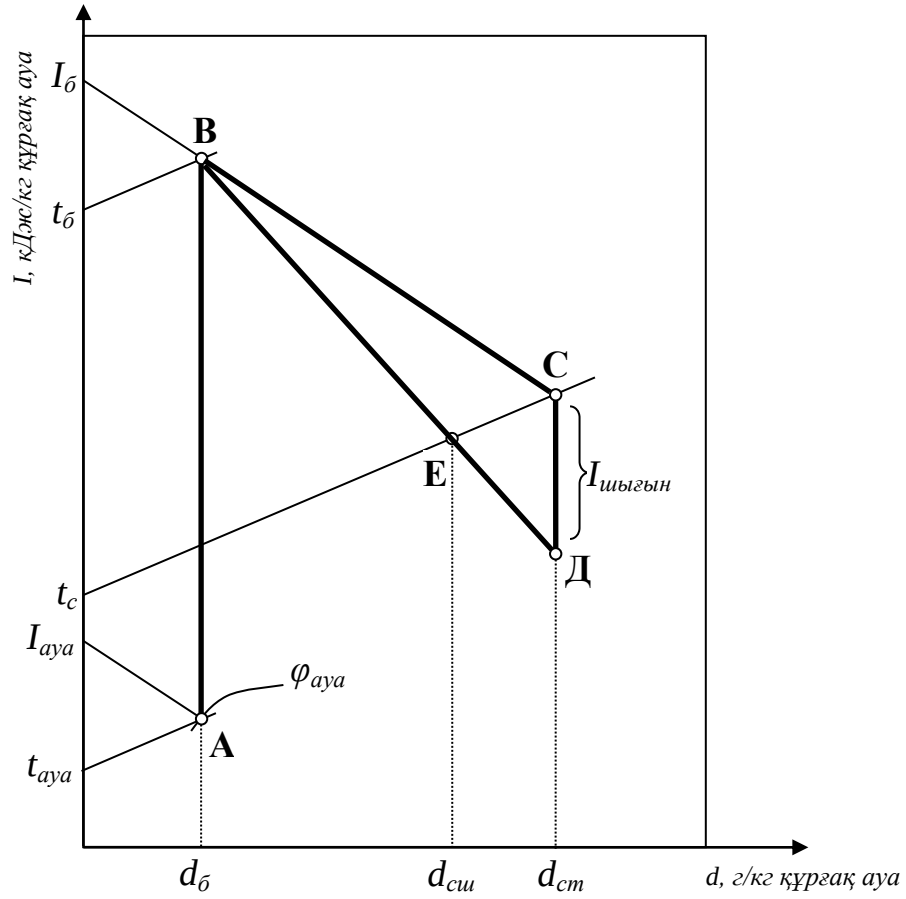
Қыздырылған ыстық ауа және түтінді газдармен кептіру процесстерін I-d диаграммасында тұрғызуда кейбір айырмашылықтар болады. Осыған байланысты, ыстық ауа және түтінді газдармен кептіру процесстерінің диаграмамалары екі түрлі әдіспен шығарылады.




6.19 сурет. I-d диаграммасының көрінісі

### 6.3.1. Ыстық ауамен кептіру процесін I-d диаграммасында тұрғызу

Атмосфералық ауаның бастапқы көрсеткіштеріне күнтізбелік жылдың мезгіліне және жергілікті жерге байланысты болатын температурасы $t_{ауа}$ және салыстырмалы ылғалдылығы $\varphi_{ауа}$ жатады. Атмосфералық ауаның қабылданған көрсеткіштері $t_{ауа}$ және $\varphi_{ауа}$ бойынша диаграммадан «А» нүктесін табамыз (6.20 сурет). Диаграммадағы бұл «А» нүктесі үшін атмосфералық ауаның бастапқы ылғал мөлшері $d_б$ ($d_б = d_{ауа}$), ал жылу мөлшері $I_{ауа}$ сәйкес болады.




6.20 сурет. Ыстық ауамен кептіру процесін I-d диаграммасында тұрғызу схемасы

Ауаның қыздырылу кезінде оның ылғал мөлшерінің $d_б$ мәні өзгермейді деп қабылдаймыз. Сондықтан, I-d диаграммасында атмосфералық ауаның температурасының $t_{ауа}$ мәні кептіргішке берілетін қыздырылған ауаның бастапқы температурасы $t_б$ мәніне дейін жоғарылауы «АВ» кесіндісімен түзу сызық түрінде түсіріледі. Белгіленген «В» нүктесінде, кептіргішке берілетін қыздырылған ауаның бастапқы көрсеткіштерін белгілейміз: $t_б$, $d_б$, $\varphi_б$, $I_б$.

Егер, кептіру процесі кезінде жылутасымалдағыш тек қана материалдағы ылғалды буландыруға шығындалады десек, онда кептірудің теоретикалық процесін табамыз (қоршаған ортаға кететін және кептірілетін материалдар мен тасымалдау құрылғыларына кететін жылу шығындарын есептемегенде).

Ол үшін «В» нүктесінен төмен қарай көлбеу сызықпен «ВС» сәулесін түсіріп, «С» нүктесін табамыз. «С» нүктесі материалдарды кептірудің

теоретикалық процесінің аяқталуына сәйкес, сондықтан, ол нүкте кептірудің технологиялық режимі бойынша таңдап алынған, суыған ауаның кептіргіштен шығатын соңғы технологиялық көрсеткіштеріне (температурасы) $t_c$ (немесе ылғалдылығы $\varphi_c$) тән болатын сызықтар қиылысынан табылады.

«С» нүктесі кептіргіштен шығатын суыған ауаның ылғал мөлшеріне сәйкес болады, сондықтан «С» нүктесінен абцисса осіне қарай түзу сызық жүргізіліп, ауаның соңғы теоретикалық мөлшері анықталады және $d_{ст}$ деп белгіленеді (соңғы теоретикалық).

Теоретикалық кептіру процесі үшін, белгілі бір n *кг* мөлшердегі ылғалды буландыруға кететін қыздырылған ауаның мөлшері мына формула бойынша есептеледі:

$$G_{теор} = \frac{1000 \cdot n}{d_{ст} - d_{б}}, \quad кг\ құрғақ\ ауа/сағат \tag{6.1}$$

мұнда: $n$ – кептірілетін материалдағы буланатын ылғалдың массасы, *кг/сағат*

$$n = 0{,}01 \cdot G \cdot (W_{б} - W_{C})$$

$G$ – абсолютті құрғақ масса бойынша кептіргіштің өнімділігі, *кг/сағат*

$W_{б}$ – массаның бастапқы ылғалдылығы, *%*

$W_{C}$ – массаның соңғы ылғалдылығы, *%*

Шын мәніндегі кептіру процесі қыздырылған ауаның жылу мөлшерінің төмендеуімен бірге жүреді, яғни диаграммада «ВД» кесіндісімен.

Диаграммадан «ВД» сәулесінің бағытын анықтайтын «Д» нүктесін табу үшін, кептіру процесінің соңғы жағындағы қыздырылған ауаның жылу мөлшерінің төмендеу көрсеткішінің $I_{шығын}$ мәнін табу қажет. «Д» нүктесін кептірудің шын мәніндегі процесін тұрғызу үшін қолданады. «Д» нүктесін табу үшін, кептіру процесі кезіндегі қоршаған ортаға кететін жылу шығынын, кептірілетін материалдарды және тасымалдау құрылғыларын қыздыруға кететін жылу шығындарын есептеу қажет.

1. Кептіргіштің қоршау материалдары арқылы қоршаған ортаға кететін жылу шығынын есептеу.

Қоршаған ортаға кететін жылу шығыны кептіргіш қондырғысының қабырғасынан, жоғарғы және төменгі бөліктерінен кететін жылу шығындарының қосындысынан құралады.

$$Q_{қорш.орт} = Q_{қаб} + Q_{үст} + Q_{төм}, \quad кДж/сағат \tag{6.2}$$

мұнда: $Q_{қаб}$ – кептіргіш қабырғасы арқылы кететін жылу шығыны, *кДж/сағат*

$Q_{үст}$ – кептіргіштің үстіңгі бөлігі арқылы кететін жылу, *кДж/сағат*

$Q_{төм}$ – кептіргіш төменгі бөлігі арқылы кететін жылу, *кДж/сағат*

*Кептіргіш қабырғасы арқылы кететін жылу шығынын есептеу:*

$$Q_{қаб} = 3{,}6 \cdot K \cdot (t_{ж.орт} - t_{ауа}) \cdot F_{қаб}\ ,\ кДж/сағат \qquad (6.3)$$

мұнда: $K$ – жылутасымалдағыштан қабырға арқылы қоршаған ортадағы ауаға жылуөту коэффициенті, $Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$

$$K = \frac{1}{r_1 + r_2 + r_3},\ Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$$

$r_1$ – жылутасымалдағыштан қабырғаның ішкі бетіне жылуберудегі жылу кедергісі, $(м^2 \cdot {}^oC)/Вт$

$$r_1 = \frac{1}{\alpha_1},\ (м^2 \cdot {}^oC)/Вт$$

$\alpha_1$ – жылутасымалдағыштан қабырғаның ішкі бетіне жылуберу коэффициенті, $Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$

$r_2$ – қабырғаның жылу кедергісі, $(м^2 \cdot {}^oC)/Вт$

$$r_2 = \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}\ ,\ (м^2 \cdot {}^oC)/Вт$$

$\delta_i$ – қабырға қабаттарының қалыңдықтары, $м$

$\lambda_i$ – қабырға материалдарының жылуөткізгіштік коэфициенттерінің мәндері, $Вт/(м \cdot {}^oC)$

$r_3$ – қабырғаның сыртқы бетінен қоршаған ортаға жылуберудегі жылу кедергісі, $(м^2 \cdot {}^oC)/Вт$

$$r_3 = \frac{1}{\alpha_2},\ (м^2 \cdot {}^oC)/Вт$$

$\alpha_2$ – қабырғаның сыртқы бетінен қоршаған ортадағы ауаға жылуберу коэффициенті, $Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$

$$\alpha_2 = 2{,}552 \cdot (t_{с.бет} - t_{ауа})^{0{,}25} + \frac{4{,}64}{t_{с.бет} - t_{ауа}} \cdot \left[ \left( \frac{273 + t_{с.бет}}{100} \right)^4 - \left( \frac{273 + t_{ауа}}{100} \right)^4 \right]$$

$t_{с.бет}$ – қабырғаның сыртқы бетінің температурасы, ${}^oC$

$t_{ж.орт}$ – жылутасымалдағыштың орташа температурасы, ${}^oC$

$$t_{ж.орт} = \frac{t_{қыз.ауа} + t_{ауа}}{2}\ ,\ {}^oC$$

$t_{қыз.ауа}$ – кептіргішке кіретін қыздырылған ауаның температурасы, ${}^oC$

$t_{ауа}$ – қоршаған ортадағы ауаның температурасы, ${}^oC$

$F_{қаб}$ – қабырға бетінің ауданы, $м^2$

$$F_{қаб} = 2 \cdot H_{қаб} \cdot L_{қаб}, м^2$$

$L_{қаб}$ – кептіргіш қабырғасының ұзындығы, *м*

$H_{қаб}$ – кептіргіш қабырғасының биіктігі, *м*

*Кептіргіштің үстіңгі бөлігі арқылы кететін жылу шығыны.*

$$Q_{уст} = 3{,}6 \cdot K \cdot (1{,}1 \cdot t_{ж.орт} - t_{ауа}) \cdot F_{уст}, \ кДж/сағат \qquad (6.4)$$

мұнда: $K$ – жылутасымалдағыштан кептіргіштің үстіңгі бөлігі арқылы қоршаған ортадағы ауаға жылуөту коэффициенті, $Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$

$$K = \frac{1}{r_1 + r_2 + r_3}, \ Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$$

$r_1$ – жылутасымалдағыштан үстіңгі бөліктің ішкі бетіне жылуберудегі жылу кедергісі, $(м^2 \cdot {}^oC)/Вт$

$$r_1 = \frac{1}{\alpha_1}, \ (м^2 \cdot {}^oC)/Вт$$

$\alpha_1$ – жылутасымалдағыштан үстіңгі бөліктің ішкі бетіне жылуберу коэффициенті, $Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$

$r_2$ – үстіңгі бөлік қабырғасының жылу кедергісі, $(м^2 \cdot {}^oC)/Вт$

$$r_2 = \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \ (м^2 \cdot {}^oC)/Вт$$

$\delta_i$ – үстіңгі бөлік қабырғасы қабаттарының қалыңдығы, *м*

$\lambda_i$ – үстіңгі бөлік қабырғасы материалдарының жылуөткізгіштік коэфициенттерінің мәндері, $Вт/(м \cdot {}^oC)$

$r_3$ – үстіңгі бөлік қабырғасының сыртқы бетінен қоршаған ортаға жылуберудегі жылу кедергісі, $(м^2 \cdot {}^oC)/Вт$

$$r_3 = \frac{1}{\alpha_2}, \ (м^2 \cdot {}^oC)/Вт$$

$\alpha_2$ – үстіңгі бөлік қабырғасының сыртқы бетінен қоршаған ортадағы ауаға жылуберу коэффициенті, $Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$

$$\alpha_2 = 2{,}552 \cdot (t_{с.бет} - t_{ауа})^{0{,}25} + \frac{4{,}64}{t_{с.бет} - t_{ауа}} \cdot \left[ \left( \frac{273 + t_{с.бет}}{100} \right)^4 - \left( \frac{273 + t_{ауа}}{100} \right)^4 \right]$$

$t_{с.бет}$ – үстіңгі бөлік қабырғасының сыртқы бетінің температурасы, ${}^oC$

$t_{ж.орт}$ – жылутасымалдағыштың орташа температурасы, ${}^oC$

$$t_{ж.орт} = \frac{t_{қыз.ауа} + t_{ауа}}{2}, \ {}^oC$$

$t_{қыз.ауа}$ – кептіргішке кіретін қыздырылған ауаның температурасы, $^oC$

$t_{ауа}$ – қоршаған ортадағы ауаның температурасы, $^oC$

$F_{қаб}$ – кептіргіштің үстіңгі бөлігінің қабырға бетінің ауданы, $м^2$

$$F_{үст} = L_{үст} \cdot B_{үст}, м^2$$

$L_{үст}$ – кептіргіштің үстіңгі бөлігінің ұзындығы, *м*

$B_{үст}$ – кептіргіштің үстіңгі бөлігінің ені, *м*

*Кептіргіштің төменгі бөлігі арқылы кететін жылу шығыны.*

$$Q_{төм} = 0{,}5 \cdot Q_{үст}, \ кДж/сағат \qquad (6.5)$$

2. Кептірілетін материалды қыздыруға кететін жылу шығынын есептеу.

$$Q_м = P_м \cdot C_м \cdot (t_{см} - t_{бм}), \ кДж/сағат \qquad (6.6)$$

мұнда: $P_м$ – кептірілген материал бойынша кептіргіштің өнімділігі, *кг/сағат*

$C_м$ – кептірілген материалдың жылусыйымдылығы, $кДж/(кг \cdot ^oC)$

$$C_м = \left[ \frac{C_к \cdot (100 - W_{см})}{100} + \left( \frac{4{,}187 \cdot W_{см}}{100} \right) \right]$$

$t_{см}$ – кептіргіштен шығу кезіндегі материалдың соңғы температурасы, $^oC$

$t_{бм}$ – кептіргішке кіру кезіндегі материалдың бастапқы температурасы, $^oC$

$W_{см}$ – кептіргіштен шығу кезіндегі материалдың соңғы ылғалдылығы, *%*

3. Тасымалдау құрылғыларына кететін жылу шығынын есептеу (конвейер, вагонетка және тағы басқа).

$$Q_{тқ} = G_{тқ} \cdot C_{тқ} \cdot (t_{сқ} - t_{бқ}), \ кДж/сағат \qquad (6.7)$$

мұнда: $G_{тқ}$ – тасымалдау құрылғыларының массасы, *кг*

$G_{тқ}$ – тасымалдау құрылғыларының жылусыйымдылығы, $кДж/(кг \cdot ^oC)$

$t_{сқ}$ – тасымалдау құрылғыларының кептіргіштен шығу кезіндегі соңғы температурасы, $^oC$

$t_{бқ}$ – тасымалдау құрылғыларының кептіргішке кіру кезіндегі бастапқы температурасы, $^oC$

4. Кептіргіш қабырғасындағы саңлаулардан болатын жылу шығынын есептеу.

$$Q_{саң} = (1{,}05 \div 1{,}1) \cdot (Q_{қорш.орт} + Q_м + Q_{тқ}), \ кДж/сағат \qquad (6.8)$$

Кептіру процесі кезіндегі жалпы жылу шығынын есептеу.

$$Q_{шығын} = Q_{қорш.орт} + Q_{м} + Q_{тқ} + Q_{сан},\ кДж/сағат \quad (6.9)$$

Кептіру процесі кезіндегі жалпы жылу шығынын есептегеннен кейін, теоретикалық кептіру процесі аяқталу кезіндегі, қыздырылған ауаның жылу мөлшерінің жылу шығындары әсерінен төмендеу көрсеткіші диаграммаға түсіріледі (яғни, «С» нүктесінен).

$$I_{шығын} = \frac{Q_{шығын}}{G_{теор}},\ кДж/кг\ құрғақ\ ауадағы \quad (6.10)$$

Жылу мөлшерінің төмендеу $I_{шығын}$ көрсеткішінің өлшем бірлігі, I-d диаграммасы координатасындағы жылу мөлшерінің өлшем бірлігіне сәйкес көрсетілген. Сондықтан $I_{шығын}$ көрсеткішін диаграмма масштабы бойынша «С» нүктесінен төмен түсіріп, «Д» нүктесі белгіленеді.

«ВД» кескіні жылу шығындарын қоса есептегенде, шын мәніндегі кептіру процесінің бағытын көрсетеді. Кептіру процесінің аяқталу кезіндегі суыған ауаның кептіргіштен шығатын соңғы технологиялық көрсеткіштеріне (температурасы) $t_c$ (немесе ылғалдылығы) $\varphi_c$ тән болатын сызықтар қиылысынан «Е» нүктесін табамыз. Шын мәніндегі кептіру процесі «ВЕ» сызығымен көрсетіледі.

Сосын I-d диаграммасы бойынша «Е» нүктесінен абцисса осіне қарай түзу сызық жүргізіліп, суыған ауаның шын мәніндегі ылғал мөлшерінің көрсеткішін табамыз $d_{сш}$ (соңғы шын мәніндегі).

Шын мәніндегі кептіру процесі кезіндегі белгілі бір n *кг* мөлшердегі ылғалды буландыруға кететін қыздырылған ауаның мөлшері мына формула бойынша есептеледі:

$$G_{шын} = \frac{1000 \cdot n}{d_{сш} - d_{б}},\quad кг\ құрғақ\ ауа/сағат \quad (6.11)$$

Атмосфералық ауаны қыздыруға шығындалатын отынның мөлшері мына формула бойынша есептеледі:

$$B = \frac{G_{шын} \cdot I_{б}}{Q_{төм}^{жм} \cdot \eta_{ауа.қыз}},\ кг/сағат\ \text{немесе}\ м^3/сағат \quad (6.12)$$

мұнда: $Q_{төм}^{жм}$ – отынның жұмыс массасы бойынша төменгі жылушығару мүмкіндігі, *кДж/кг* немесе *кДж/м*$^3$

$\eta_{ауа.қыз}$ – атмосфералық ауаны қыздырғыш қондырғысының пайдалы әсер коэффициенті, (0,8÷0,85)

Атмосфералық ауаны қыздыруға шығындалатын шартты отынның мөлшері:

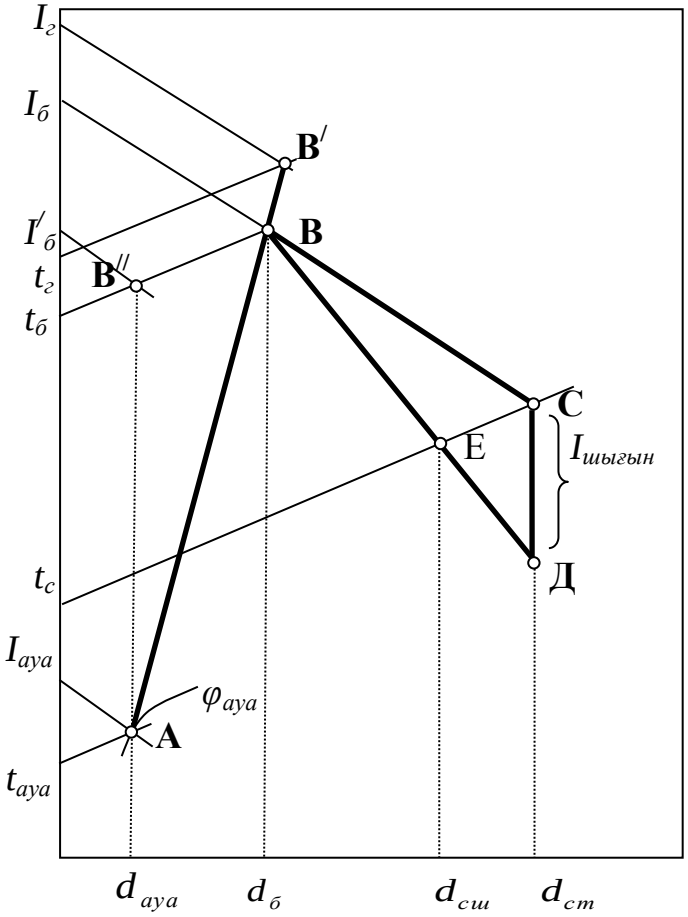
$$B_ш = \frac{B \cdot Q_{төм}^{жм}}{29300} \text{ , кг шартты отын/сағ немесе } м^3 \text{ шартты отын/сағ} \quad (6.13)$$

Кептіру процесі кезіндегі белгілі бір n *кг* ылғалды буландыруға кететін меншікті жылу шығыны:

$$q = \frac{B \cdot Q_{төм}^{жм}}{n} \text{ , кДж/кг ылғал} \quad (6.14)$$

### 6.3.2. Түтінді газдар және ауа қоспасымен кептіру процесін I-d диаграммасында тұрғызу

Түтінді газдар және ауа қоспасымен теоретикалық және шын мәніндегі кептіру процесінің I-d диаграммасы 6.21 суретте келтірілген. Түтінді газдармен кептіру процесінің, ыстық ауамен кептіру процесінен айырмашылығы, жылутасымалдағыш ретінде қыздырылған ыстық ауаның орнына, белгілі бір қажетті температурада $t_б$ болатын ыстық түтінді газдар мен атмосфералық суық ауаның қоспасы қарастырылады.




6.21 сурет. Түтінді газдар және ауа қоспасымен кептіру процесін I-d диаграммасында тұрғызу схемасы

Түтінді газдар мен суық ауа қоспасынан тұратын жылутасымалдағыш белгілі бір бастапқы көрсеткіштерімен $t_б$ , $d_б$ , $I_б$ белгіленген теоретикалық кептіру процесі «В» нүктесінен басталады.

«В» нүктесін табу үшін, атмосфералық ауаның көрсеткіштеріне сәйкес «А» нүктесі және оттық құрылғысынан шығатын түтінді газдың көрсеткіштеріне сәйкес «В/» нүктесі диаграммаға белгіленеді. «В» нүктесі, «АВ/» кесіндісінің бойында және қоспаның бастапқы температурасына $t_б$ сәйкес сызық қиылысында жатады.

Түтінді газдар және ауа қоспасымен теоретикалық кептіру процесін есептеу, ыстық ауамен кептіру процесін есептеген жолмен жүргізіледі.

Яғни, теоретикалық кептіру процесі кезіндегі кептірілетін материалдағы белгілі бір n *кг* мөлшердегі ылғалды буландыруға кететін қоспаның шығын мөлшері $G_{теор}$ (6.1 формула), кептіру процесі кезіндегі жылу шығыны $Q_{шығын}$ (6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9 формулалар), жылу мөлшерінің төмендеу көрсеткіші $I_{шығын}$ (6.10 формула), шын мәніндегі кептіру процесі кезіндегі кептірілетін материалдағы белгілі бір n *кг* мөлшердегі ылғалды буландыруға кететін қоспаның мөлшері $G_{шын}$ (6.11 формула) есептеледі.

«В» нүктесі түтінді газдардағы су буының жылу мөлшерін ескергендегі қоспасының бастапқы жылу мөлшеріне $I_б$ сәйкес. Температуралары бірдей болғанымен, атмосфералық ауаның («В//» нүктесі) және қоспаның жылу мөлшерлері әр түрлі болады, яғни $I_б > I_б^{/}$.

Кептіруге шығындалатын меншікті жылу шығынын есептеу кезінде, су буының жылу мөлшерін ескергендегі қоспасының бастапқы жылу мөлшері $I_б$ көрсеткіші мен су буының жылу мөлшерін ескермегендегі қоспасының бастапқы жылу мөлшері $I_б^{/}$ көрсеткішін бір-бірінен ажырата білу керек. Отынның меншікті шығынын есептеу кезінде, бірінші жағдайда отынның жоғарғы жылу шығару мүмкіндігін $Q_{жоғ}^{жм}$ , ал екінші жағдайда отынның төменгі жылу шығару мүмкіндігін $Q_{төм}^{жм}$ қолдану қажет.

Әдетте, есептеуде отынның төменгі жылу шығару мүмкіндігі қолданады, яғни, кептіру процесі кезінде жылутасымалдағышты алуға шығындалатын отынның мөлшері мына формула бойынша есептеледі:

$$B = \frac{G_{шын} \cdot (I_б^{/} - I_{ауа}) - 4{,}2 \cdot n \cdot t_м}{Q_{төм}^{жм} \cdot \eta_o} \text{ , } кг/сағат \text{ немесе } м^3/сағат \qquad (6.15)$$

мұнда: $t_м$ – кептірілетін материал температурасы, $^oC$

$\eta_o$ – оттық құрылғысының пайдалы әсер коэффициенті, (0,7÷0,75)

Шартты отынның мөлшері және белгілі бір n *кг* ылғалды буландыруға кететін меншікті жылу шығыны (6.13, 6.14) формулалар бойынша есептеледі.

## 6.4 Есептеуді орындау үшін алдын-ала берілгендер

1 Ыстық ауамен кептіру процесін есептеу үшін алдын-ала берілгендер

| Вариант | Ауаның бастапқы температурасы, $t_{ауа}$, $^oC$ | Ауаның бастапқы ылғал мөлшері, $d_б$, *г/кг құрғақ ауа* | Ыстық ауаның бастапқы температурасы $t_б$, $^oC$ | Ыстық ауаның соңғы температурасы, $t_c$, $^oC$ | Кептіргіштің абсолютті құрғақ масса бойынша өнімділігі, *G т/сағат* | Материалдың бастапқы ылғалдылығы, $W_б$, % | Материалдың соңғы ылғалдылығы, $W_c$, % | Кептіргіш қабырғасының көрсеткіштері | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | Қабырға ұзындығы, $L_{қаб}$, *м* | Қабырға биіктігі, $H_{қаб}$, *м* | Қабырғаның ішкі бетіне газдан жылу беру коэффициенті, $\alpha_1$ $(Вт/м^2 \cdot ^oC)$ | Бірінші қабат қалындығы $\delta_1$, *м* | Екінші қабат қалындығы $\delta_2$, *м* | Бірінші қабаттың жылуөткізгіштік коэффициенті, $\lambda_1$, $(Вт/м \cdot ^oC)$ | Екінші қабаттың жылуөткізгіштік коэффициенті, $\lambda_2$, $(Вт/м \cdot ^oC)$ | Қабырғаның сыртқы бетінің температурасы, $t_{с.бет}$, $^oC$ |
| 1 | 22 | 10 | 120 | 35 | 9,5 | 20 | 5 | 27 | 1,8 | 17,5 | 0,3 | 0,12 | 0,850 | 0,421 | 35,5 |
| 2 | 25 | 9,5 | 135 | 35 | 11 | 23 | 6 | 30 | 1,85 | 17,8 | 0,3 | 0,13 | 0,354 | 0,202 | 30,0 |
| 3 | 28 | 11 | 135 | 45 | 12,5 | 18 | 4 | 36 | 1,65 | 20,0 | 0,2 | 0,13 | 0,580 | 0,602 | 38,5 |
| 4 | 33 | 10,5 | 115 | 20 | 13,7 | 22 | 5 | 34 | 1,58 | 16,0 | 0,3 | 0,13 | 0,156 | 0,324 | 40,0 |
| 5 | 20 | 11,5 | 110 | 30 | 10 | 24 | 6 | 31 | 1,95 | 15,5 | 0,3 | 0,15 | 0,756 | 0,320 | 28,0 |
| 6 | 22 | 9,5 | 115 | 30 | 14,5 | 20 | 3 | 33 | 1,9 | 19,0 | 0,3 | 0,12 | 0,440 | 0,107 | 30,5 |
| 7 | 30 | 11,3 | 142 | 37 | 10,5 | 19 | 4 | 28 | 1,76 | 20,5 | 0,3 | 0,1 | 0,700 | 0,127 | 38,0 |
| 8 | 20 | 8,5 | 122 | 33 | 12 | 25 | 6 | 29 | 1,87 | 21,0 | 0,4 | 0,13 | 0,421 | 0,402 | 37,0 |
| 9 | 25 | 10,8 | 145 | 45 | 15 | 21 | 5 | 32 | 1,56 | 21,5 | 0,3 | 0,21 | 0,625 | 0,255 | 34,0 |
| 10 | 25 | 10 | 150 | 55 | 15,3 | 18 | 3 | 36 | 1,82 | 22,0 | 0,3 | 0,25 | 0,201 | 0,122 | 36,0 |
| 11 | 22 | 10 | 136 | 24 | 14 | 22 | 5 | 30 | 1,93 | 17,3 | 0,2 | 0,13 | 0,108 | 0,309 | 34,5 |
| 12 | 20 | 12 | 127 | 27 | 10,8 | 17 | 3 | 34 | 1,91 | 16,5 | 0,3 | 0,13 | 0,215 | 0,470 | 24,0 |
| 13 | 20 | 11 | 118 | 28 | 13,7 | 23 | 4 | 35 | 1,85 | 15,5 | 0,2 | 0,12 | 0,986 | 0,810 | 31,0 |
| 14 | 25 | 10 | 150 | 50 | 11,5 | 21 | 4 | 28 | 1,77 | 19,5 | 0,3 | 0,18 | 0,756 | 0,665 | 35,0 |
| 15 | 35 | 11 | 135 | 30 | 10 | 20 | 6 | 36 | 1,75 | 16,5 | 0,4 | 0,13 | 0,557 | 0,750 | 40,0 |
| 16 | 25 | 10 | 95 | 30 | 10,2 | 22 | 5 | 26 | 1,65 | 18,9 | 0,3 | 0,15 | 0,765 | 0,730 | 30,0 |
| 17 | 20 | 8,9 | 117 | 33 | 11,3 | 21 | 4 | 30 | 1,7 | 19,3 | 0,2 | 0,10 | 0,843 | 0,203 | 40,0 |
| 18 | 18 | 10,8 | 124 | 30 | 12,5 | 20 | 3 | 31 | 1,85 | 18,3 | 0,2 | 0,15 | 0,745 | 0,204 | 25,0 |
| 19 | 20 | 9,5 | 122 | 30 | 18,5 | 19 | 3 | 29 | 1,7 | 20,5 | 0,2 | 0,16 | 0,803 | 0,405 | 20,0 |
| 20 | 25 | 10 | 120 | 25 | 9,8 | 23 | 5 | 28 | 1,75 | 21,2 | 0,2 | 0,12 | 0,304 | 0,283 | 28,0 |
| 21 | 21 | 8,8 | 121 | 36 | 10,8 | 21 | 6 | 29 | 1,69 | 17,4 | 0,2 | 0,12 | 0,444 | 0,117 | 30,5 |
| 22 | 24 | 9,1 | 136 | 36 | 10,4 | 24 | 7 | 30 | 1,65 | 17,7 | 0,3 | 0,13 | 0,752 | 0,327 | 32,0 |
| 23 | 27 | 10,2 | 136 | 46 | 11,2 | 19 | 5 | 31 | 1,58 | 20,1 | 0,2 | 0,12 | 0,423 | 0,502 | 37,0 |
| 24 | 32 | 10,8 | 116 | 21 | 12,8 | 21 | 6 | 30 | 1,85 | 16,2 | 0,3 | 0,13 | 0,725 | 0,265 | 33,0 |
| 25 | 21 | 11,0 | 111 | 31 | 14,0 | 25 | 7 | 28 | 1,75 | 15,6 | 0,2 | 0,12 | 0,211 | 0,142 | 36,0 |
| 26 | 23 | 11,9 | 116 | 31 | 13,1 | 21 | 4 | 25 | 1,95 | 19,1 | 0,3 | 0,13 | 0,178 | 0,329 | 34,5 |
| 27 | 31 | 12,0 | 143 | 38 | 12,9 | 20 | 5 | 26 | 1,67 | 21,0 | 0,2 | 0,12 | 0,214 | 0,471 | 24,0 |
| 28 | 21 | 11,3 | 123 | 34 | 10,7 | 26 | 7 | 28 | 1,78 | 21,1 | 0,3 | 0,13 | 0,975 | 0,811 | 31,0 |
| 29 | 24 | 10,7 | 146 | 46 | 10,4 | 22 | 6 | 29 | 1,77 | 21,2 | 0,2 | 0,12 | 0,856 | 0,663 | 35,0 |
| 30 | 26 | 8,9 | 151 | 56 | 8,6 | 19 | 4 | 31 | 1,69 | 22,1 | 0,3 | 0,13 | 0,657 | 0,752 | 40,0 |
| 31 | 23 | 9,0 | 137 | 25 | 8,9 | 23 | 6 | 32 | 1,78 | 17,5 | 0,2 | 0,12 | 0,365 | 0,734 | 31,0 |
| 32 | 21 | 10,6 | 128 | 28 | 7,9 | 18 | 4 | 34 | 1,98 | 16,8 | 0,3 | 0,13 | 0,243 | 0,213 | 30,0 |
| 33 | 21 | 10,7 | 119 | 29 | 9,8 | 24 | 5 | 30 | 1,52 | 15,6 | 0,2 | 0,12 | 0,345 | 0,214 | 35,0 |
| 34 | 26 | 12,1 | 151 | 51 | 9,7 | 22 | 5 | 28 | 1,67 | 19,1 | 0,3 | 0,13 | 0,203 | 0,425 | 25,0 |
| 35 | 36 | 10,7 | 136 | 31 | 10,6 | 21 | 7 | 27 | 1,75 | 16,9 | 0,2 | 0,12 | 0,504 | 0,383 | 22,0 |

Ыстық ауамен кептіру процесін есептеу үшін алдын-ала берілгендер (жалғасы)

| Вари-Ант | Ылғал материал көрсеткіштері | | | | Кептіргіштің үстіңгі бөлігінің көрсеткіштері | | | | | | | Тасымалдау құрылғыларының көрсеткіштері | | | | Отынның төменгі жылу шығару мүмкіндігі, $Q_{төм}$, *кДж/кг* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Кептірілген материал бойынша өнімділігі, $P_к$ *т/сағат* | Материалдың жылусыйымдылығы, *См, кДж/(кг·°С)* | Материалдың бастапқы температурасы, $t_{бм}$, °*С* | Материалдың соңғы температурасы, $t_{см}$, °*С* | Үстіңгі бөлігінің ұзындығы, $L_{үст}$, *м* | Үстіңгі бөлігінің ені, $B_{үст}$, *м* | Бірінші қабат қалыңдығы $\delta_1$, *м* | Екінші қабат қалыңдығы $\delta_2$, *м* | Бірінші қабаттың жылуөткізгіштік коэффициенті, $\lambda_1$, *(Вт/м·°С)* | Екінші қабаттың жылуөткізгіштік коэффициенті, $\lambda_2$, *(Вт/м·°С)* | Үстіңгі бөлігінің сыртқы бетінің температурасы, $t_{с.бет}$, °*С* | Тасымалдау құрылғыларының массасы, $G_{тқ}$, *тонна* | Тасымалдау құрылғыларының жылусыйымдылығы, $C_{тқ}$, *кДж/(кг·°С)* | Тасымалдау құрылғыларының бастапқы температурасы, $t_{бқ}$, °*С* | Тасымалдау құрылғыларының соңғы температурасы, $t_{сқ}$, °*С* | |
| 1 | 11,0 | 0,926 | 20,0 | 31 | 27 | 2,6 | 0,28 | 0,15 | 0,728 | 0,345 | 37,5 | 123 | 0,486 | 22,0 | 37,0 | 35564,36 |
| 2 | 12,3 | 0,856 | 21,5 | 33 | 30 | 2,65 | 0,27 | 0,11 | 0,85 | 0,546 | 32,0 | 132 | 0,563 | 23,0 | 36,0 | 38670,43 |
| 3 | 13,4 | 0,901 | 23,0 | 36 | 36 | 2,31 | 0,32 | 0,12 | 0,625 | 0,530 | 37,0 | 125 | 0,494 | 25,5 | 38,0 | 33457,03 |
| 4 | 14,2 | 0,965 | 19,0 | 31 | 34 | 2,23 | 0,26 | 0,13 | 0,461 | 0,252 | 43,0 | 124 | 0,481 | 21,0 | 35,5 | 36031,65 |
| 5 | 11,5 | 0,931 | 22,0 | 32 | 31 | 2,72 | 0,31 | 0,16 | 0,844 | 0,352 | 27,5 | 124 | 0,511 | 21,0 | 37,5 | 31465,03 |
| 6 | 16,2 | 0,922 | 20,5 | 31 | 33 | 2,71 | 0,26 | 0,16 | 0,625 | 0,425 | 29,0 | 122 | 0,554 | 22,0 | 38,0 | 35457,76 |
| 7 | 11,8 | 0,921 | 21,0 | 34 | 28 | 2,55 | 0,28 | 0,14 | 0,678 | 0,484 | 39,5 | 125 | 0,533 | 24,0 | 39,0 | 37043,65 |
| 8 | 13,5 | 0,995 | 20,0 | 33 | 29 | 2,62 | 0,34 | 0,12 | 0,927 | 0,213 | 36,0 | 120 | 0,566 | 21,5 | 36,0 | 34557,41 |
| 9 | 16,8 | 0,996 | 19,0 | 33 | 32 | 2,55 | 0,26 | 0,14 | 0,918 | 0,221 | 35,5 | 118 | 0,585 | 22,0 | 38,5 | 29756,32 |
| 10 | 17,1 | 0,932 | 21,0 | 32 | 36 | 2,67 | 0,25 | 0,15 | 0,897 | 0,105 | 38,0 | 119 | 0,531 | 23,0 | 39,0 | 30550,45 |
| 11 | 15,2 | 0,937 | 26,0 | 37 | 30 | 2,64 | 0,27 | 0,13 | 0,765 | 0,198 | 33,0 | 120 | 0,477 | 24,0 | 37,0 | 30065,99 |
| 12 | 11,7 | 0,942 | 24,0 | 36 | 34 | 2,73 | 0,31 | 0,15 | 0,955 | 0,510 | 22,5 | 126 | 0,468 | 22,5 | 36,5 | 33043,67 |
| 13 | 14,1 | 0,983 | 19,5 | 31 | 35 | 2,61 | 0,28 | 0,20 | 0,885 | 0,349 | 32,0 | 123 | 0,484 | 21,0 | 38,0 | 36066,52 |
| 14 | 13,3 | 0,961 | 22,0 | 34 | 28 | 2,64 | 0,25 | 0,13 | 0,753 | 0,126 | 37,5 | 121 | 0,463 | 23,0 | 39,5 | 38342,58 |
| 15 | 11,4 | 0,955 | 27,0 | 38 | 36 | 2,65 | 0,32 | 0,15 | 0,556 | 0,133 | 42,5 | 124 | 0,425 | 22,0 | 36,0 | 34900,61 |
| 16 | 12,5 | 0,923 | 22,0 | 32 | 26 | 2,67 | 0,25 | 0,16 | 0,388 | 0,418 | 33,0 | 126 | 0,513 | 22,0 | 38,3 | 36973,81 |
| 17 | 13,8 | 0,913 | 23,0 | 33 | 30 | 2,55 | 0,27 | 0,15 | 0,675 | 0,317 | 42,0 | 128 | 0,489 | 23,0 | 39,5 | 35467,88 |
| 18 | 11,3 | 0,218 | 24,0 | 32 | 31 | 2,58 | 0,18 | 0,10 | 0,677 | 0,218 | 28,0 | 131 | 0,477 | 24,0 | 42,3 | 30563,22 |
| 19 | 14,3 | 0,567 | 20,0 | 34 | 29 | 2,62 | 0,15 | 0,18 | 0,938 | 0,119 | 27,0 | 129 | 0,335 | 22,0 | 35,6 | 29365,55 |
| 20 | 15,8 | 0,897 | 19,0 | 33 | 28 | 2,61 | 0,22 | 0,14 | 0,567 | 0,222 | 31,0 | 126 | 0,418 | 21,5 | 37,9 | 28878,48 |
| 21 | 12,5 | 0,855 | 21,0 | 32 | 29 | 2,72 | 0,23 | 0,16 | 0,625 | 0,465 | 32,5 | 125 | 0,554 | 22,1 | 38,1 | 25457,71 |
| 22 | 11,7 | 0,903 | 22,5 | 31 | 30 | 2,55 | 0,25 | 0,14 | 0,678 | 0,484 | 33,0 | 122 | 0,531 | 24,2 | 39,2 | 27043,62 |
| 23 | 10,8 | 0,964 | 21,0 | 34 | 31 | 2,63 | 0,33 | 0,12 | 0,937 | 0,263 | 38,0 | 121 | 0,562 | 21,5 | 36,2 | 24557,48 |
| 24 | 10,2 | 0,932 | 20,0 | 33 | 30 | 2,55 | 0,28 | 0,14 | 0,918 | 0,221 | 34,0 | 112 | 0,583 | 22,3 | 38,0 | 28756,36 |
| 25 | 12,1 | 0,925 | 22,1 | 30 | 28 | 2,67 | 0,26 | 0,15 | 0,857 | 0,125 | 37,5 | 111 | 0,532 | 23,4 | 39,9 | 25550,41 |
| 26 | 13,2 | 0,921 | 20,5 | 32 | 25 | 2,62 | 0,32 | 0,13 | 0,765 | 0,198 | 35,9 | 121 | 0,477 | 24,1 | 37,2 | 22065,91 |
| 27 | 13,5 | 0,996 | 21,3 | 32 | 26 | 2,73 | 0,33 | 0,15 | 0,945 | 0,513 | 25,7 | 129 | 0,464 | 22,3 | 36,1 | 28043,64 |
| 28 | 11,3 | 0,999 | 20,2 | 35 | 28 | 2,61 | 0,28 | 0,20 | 0,885 | 0,349 | 33,2 | 122 | 0,484 | 21,1 | 38,0 | 26066,56 |
| 29 | 10,5 | 0,932 | 19,0 | 33 | 29 | 2,65 | 0,26 | 0,13 | 0,753 | 0,426 | 36,7 | 127 | 0,461 | 23,2 | 39,5 | 28342,54 |
| 30 | 10,7 | 0,932 | 21,5 | 31 | 31 | 2,65 | 0,33 | 0,15 | 0,536 | 0,133 | 41,5 | 128 | 0,425 | 22,8 | 36,2 | 24900,69 |
| 31 | 11,9 | 0,941 | 26,6 | 30 | 32 | 2,57 | 0,25 | 0,16 | 0,388 | 0,428 | 32,1 | 122 | 0,518 | 22,2 | 38,0 | 26973,82 |
| 32 | 12,8 | 0,983 | 24,0 | 36 | 34 | 2,55 | 0,28 | 0,15 | 0,655 | 0,317 | 31,4 | 122 | 0,481 | 23,1 | 39,0 | 25467,81 |
| 33 | 12,5 | 0,962 | 19,4 | 30 | 30 | 2,59 | 0,28 | 0,13 | 0,677 | 0,215 | 38,9 | 132 | 0,472 | 24,8 | 42,8 | 31563,29 |
| 34 | 14,8 | 0,563 | 22,1 | 32 | 28 | 2,42 | 0,19 | 0,19 | 0,932 | 0,112 | 26,3 | 121 | 0,331 | 22,1 | 35,7 | 25365,57 |
| 35 | 15,6 | 0,894 | 27,2 | 33 | 27 | 2,51 | 0,21 | 0,18 | 0,667 | 0,221 | 24,2 | 122 | 0,413 | 21,1 | 37,1 | 24878,44 |

2 Түтінді газдар және ауа қоспасымен кептіру процесін есептеу үшін алдын-ала берілгендер

| Вари-ант | Ауаның бастапқы температурасы, $t_{ауа}$, $^oC$ | Ауаның бастапқы ылғал мөлшері, $d_{ауа}$, *г/кг құрғақ ауа* | Түтінді газдың температурасы, $t_г$, $^oC$ | Түтінді газ және ауа қоспасының бастапқы ылғал мөлшері, $d_б$, *г/кг қоспа* | Түтінді газ және ауа қоспасының бастапқы температурасы, $t_б$, $^oC$ | Түтінді газ және ауа қоспасының соңғы температурасы, $t_c$, $^oC$ | Кептіргіштің абсолютті құрғақ масса бойынша өнімділігі, *G т/сағат* | Материалдың бастапқы ылғалдылығы, $W_б$, % | Материалдың соңғы ылғалдылығы, $W_c$, % | Ылғал материал көрсеткіштері | | | | Отынның төменгі жылу шығару мүмкіндігі, $Q_{төм}$, *кДж/кг* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | Кептірілген материал бойынша өнімділігі, *Рк т/сағат* | Материалдың жылусыйымдылығы, *См, кДж/(кг·°С)* | Материалдың бастапқы температурасы, $t_{бм}$, $^oC$ | Материалдың соңғы температурасы, $t_{см}$, $^oC$ | |
| 1 | 18 | 8,8 | 170,2 | 10,5 | 125 | 40 | 12,5 | 20 | 5 | 11,2 | 0,926 | 24,0 | 32 | 25564,41 |
| 2 | 20 | 9,5 | 185,0 | 11,2 | 130 | 35 | 18,5 | 22 | 6 | 16,1 | 0,856 | 20,0 | 34 | 28670,58 |
| 3 | 21 | 10,0 | 190,4 | 12,4 | 125 | 30 | 9,8 | 18 | 4 | 8,4 | 0,901 | 19,0 | 33 | 23457,15 |
| 4 | 19 | 8,9 | 175,5 | 11,8 | 115 | 25 | 10,8 | 21 | 5 | 8,2 | 0,965 | 21,0 | 32 | 26031,22 |
| 5 | 20 | 10,0 | 172,8 | 13,4 | 110 | 24 | 10,4 | 20 | 6 | 8,5 | 0,931 | 22,5 | 31 | 21465,31 |
| 6 | 21 | 9,2 | 160,9 | 12,7 | 120 | 30 | 11,2 | 22 | 4 | 9,2 | 0,922 | 21,0 | 34 | 25457,42 |
| 7 | 22 | 9,5 | 172,5 | 12,7 | 127 | 35 | 12,8 | 18 | 5 | 11,2 | 0,921 | 20,0 | 33 | 27043,23 |
| 8 | 24 | 10,8 | 180,0 | 12,4 | 130 | 40 | 14,0 | 21 | 6 | 13,1 | 0,995 | 22,1 | 30 | 24557,28 |
| 9 | 20 | 10,4 | 190,0 | 12,7 | 124 | 45 | 13,1 | 20 | 4 | 11,8 | 0,996 | 20,5 | 32 | 25756,15 |
| 10 | 18 | 10,6 | 185,7 | 12,9 | 115 | 44 | 12,9 | 22 | 5 | 11,3 | 0,932 | 21,3 | 32 | 22550,22 |
| 11 | 15 | 9,9 | 195,8 | 11,8 | 110 | 37 | 10,7 | 18 | 6 | 9,2 | 0,937 | 20,2 | 35 | 21065,12 |
| 12 | 19 | 9,5 | 200,0 | 11,9 | 130 | 38 | 10,4 | 21 | 4 | 9,7 | 0,942 | 19,0 | 33 | 27043,11 |
| 13 | 20 | 8,7 | 175,0 | 10,8 | 100 | 30 | 8,6 | 20 | 5 | 8,1 | 0,983 | 21,5 | 31 | 26066,10 |
| 14 | 20 | 8,8 | 165,0 | 10,7 | 115 | 42 | 8,9 | 22 | 6 | 8,3 | 0,961 | 26,6 | 30 | 28342,68 |
| 15 | 19 | 10,1 | 185,0 | 14,0 | 120 | 37 | 7,9 | 18 | 4 | 7,2 | 0,955 | 24,0 | 36 | 24900,75 |
| 16 | 18 | 10,2 | 178,4 | 14,1 | 124 | 38 | 9,8 | 21 | 5 | 8,5 | 0,923 | 19,4 | 30 | 26973,53 |
| 17 | 17 | 11,7 | 198,5 | 13,7 | 127 | 41 | 10,6 | 20 | 6 | 8,8 | 0,913 | 22,1 | 32 | 25467,22 |
| 18 | 15 | 11,2 | 188,0 | 13,7 | 130 | 50 | 9,5 | 22 | 4 | 8,3 | 0,218 | 27,2 | 33 | 20563,35 |
| 19 | 20 | 10,1 | 185,8 | 13,1 | 134 | 35 | 11 | 18 | 5 | 10,3 | 0,567 | 20,0 | 31 | 19365,89 |
| 20 | 21 | 10,7 | 170,0 | 12,7 | 130 | 34 | 12,5 | 21 | 6 | 10,8 | 0,897 | 21,5 | 33 | 18878,64 |
| 21 | 22 | 10,6 | 175,0 | 12,8 | 115 | 26 | 13,7 | 20 | 4 | 11,5 | 0,855 | 23,0 | 36 | 23457,58 |
| 22 | 23 | 9,7 | 189,0 | 14,0 | 120 | 28 | 10 | 22 | 5 | 8,7 | 0,903 | 19,0 | 31 | 19043,34 |
| 23 | 25 | 9,8 | 174,5 | 13,4 | 125 | 41 | 14,5 | 18 | 6 | 12,8 | 0,964 | 22,0 | 32 | 17557,56 |
| 24 | 20 | 8,4 | 198,2 | 10,8 | 118 | 35 | 10,5 | 21 | 4 | 9,2 | 0,932 | 20,5 | 31 | 22756,78 |
| 25 | 18 | 8,9 | 190,4 | 10,7 | 115 | 35 | 12 | 20 | 5 | 11,1 | 0,925 | 21,0 | 34 | 21550,27 |
| 26 | 19 | 9,5 | 190,0 | 11,0 | 124 | 37 | 15 | 22 | 6 | 14,2 | 0,921 | 20,0 | 33 | 17065,36 |
| 27 | 20 | 10,4 | 180,4 | 13,7 | 126 | 28 | 15,3 | 18 | 4 | 14,5 | 0,996 | 19,0 | 33 | 25043,69 |
| 28 | 15 | 10,7 | 180,0 | 13,9 | 130 | 29 | 14 | 21 | 5 | 13,3 | 0,999 | 21,0 | 32 | 21066,54 |
| 29 | 18 | 10,6 | 178,0 | 13,7 | 117 | 29 | 10,8 | 20 | 6 | 9,5 | 0,932 | 26,0 | 37 | 21342,67 |
| 30 | 19 | 8,9 | 167,0 | 10,9 | 118 | 30 | 13,7 | 22 | 4 | 11,7 | 0,932 | 24,0 | 36 | 27900,22 |
| 31 | 20 | 8,8 | 175,8 | 10,8 | 122 | 37 | 11,5 | 18 | 5 | 10,3 | 0,941 | 19,5 | 31 | 20973,27 |
| 32 | 21 | 9,4 | 198,7 | 11,5 | 124 | 40 | 10 | 21 | 6 | 8,8 | 0,983 | 22,0 | 34 | 20467,37 |
| 33 | 18 | 9,7 | 194,2 | 11,6 | 134 | 41 | 10,2 | 20 | 4 | 9,2 | 0,962 | 27,0 | 38 | 22563,98 |
| 34 | 19 | 10,4 | 193,4 | 11,7 | 110 | 45 | 11,3 | 22 | 5 | 10,8 | 0,563 | 22,0 | 32 | 21365,88 |
| 35 | 20 | 10,5 | 184,0 | 11,9 | 105 | 50 | 9,7 | 18 | 6 | 8,6 | 0,894 | 23,0 | 33 | 16878,32 |

## 6.5 Студенттің өзіндік дайындалуға арналған бақылау сұрақтары

### 1. Жазбаша (ауызша) сұрақтар

1. Кептіру процесінің теориялық негіздері.
2. Құрылыс материалдары, бұйымдары және конструкциялары өнеркәсіптеріндегі кептіру процесінде жылу көзі ретінде нені қолданады?
3. Кептіру процесі сатыларының графиктік көрсетілуі?
4. Құрылыс материалдары, бұйымдары және конструкциялары өндірістерінде қандай кептіру тәсілдерін қолданады?
5. Кептіргіштердің жіктелуін атаңыз?
6. Барабанды кептіргіштердің конструкциялық ерекшеліктері, жұмыс істеу принципі, техника-экономикалық көрсеткіштері қандай?
7. Құбырлы кептіргіштердің конструкциялық ерекшеліктері, жұмыс істеу принципі, техника-экономикалық көрсеткіштері қандай?
8. Қайнау кептіргіштердің конструкциялық ерекшеліктері, жұмыс істеу принципі, техника-экономикалық көрсеткіштері қандай?
9. Пневматкиалық кептіргіштердің конструкциялық ерекшеліктері, жұмыс істеу принципі, техника-экономикалық көрсеткіштері қандай?
10. Шашыратқылы кептіргіштердің конструкциялық ерекшеліктері, жұмыс істеу принципі, техника-экономикалық көрсеткіштері қандай?
11. Камералы кептіргіштердің конструкциялық ерекшеліктері, жұмыс істеу принципі, техника-экономикалық көрсеткіштері қандай?
12. Туннельді кептіргіштердің конструкциялық ерекшеліктері, жұмыс істеу принципі, техника-экономикалық көрсеткіштері қандай?
13. Конвейерлі кептіргіштердің конструкциялық ерекшеліктері, жұмыс істеу принципі, техника-экономикалық көрсеткіштері қандай?
14. Ыстық ауа ағынымен кептіру процесін I-d диаграммасында тұрғызудың ерекшеліктері қандай?
15. Түтінді газдармен кептіру процесін I-d диаграммасында тұрғызудың ерекшеліктері қандай?

### 2. Тест сұрақтары

**1.** Камералы кептіргішке бұйымдар қалай кіргізіледі?
А) Роликпен
Б) Рольгангамен
В) Вагонеткамен
Г) Жақтаумен
Д) Ленталы тасымалдағышпен
**2.** Туннельді кептіргішке бұйымдар қалай кіргізіледі?
А) Ленталы тасымалдағышпен
Б) Рольгангамен
В) Рамкамен
Г) Роликпен

Д) Вагонеткамен
**3.** Құрылыс кірпішін күйдіруге арналған ең тиімді кептіргіш?
А) Конвейерлі
Б) Камералы
В) Барабанды
Г) Туннельді
Д) Шашыратқыш
**4.** Туннельді кептіргіш ұзындығы?
А) L=5÷10*м*
Б) L=24÷36*м*
В) L=10÷15*м*
Г) L=150÷200*м*
Д) L=140÷500*м*
**5.** Кептіру деп қандай процесті айтады?
А) Материалдағы ылғалды сүзу арқылы кетіру
Б) t=1000÷1500$^{o}$C температурасы кезінде жүретін физико-химиялық процестер
В) Материалдағы ылғалды тұндыру арқылы кетіру
Г) Материалдағы ылғалды престеу арқылы кетіру
Д) Материалдағы ылғалды буландыру арқылы кетіру
**6.** Кептіру кезінде ең бірінші қандай байланыс бұзылады?
А) Осмотикалық
Б) Адсорбциялық
В) Физика-механикалық
Г) Химиялық
Д) Физика-химиялық
**7.** Кептірілген материалда қандай байланыс бұзылмайды?
А) Химиялық
Б) Физика-механикалық
В) Химика-биологиялық
Г) Физика-химиялық
Д) Капиллярлы
**8.** Құрылыс керамикалық кірпішін кептіруде ең тиімді кептіру тәсілі?
А) Жоғары жиілікті тоқпен
Б) Конвективті
В) Сәуле шашу
Г) Электрліжанасу
Д) Құрама
**9.** Жұқа жазық бетті керамикалық бұйымдарды кептірудің ең тиімді тәсілі?
А) Электрліжанасу
Б) Конвективті
В) Жоғары жиілікті тоқпен
Г) Құрама
Д) Радиациялық
**10.**Жылутасымалдағыш туннельді кептіргішке қандай температурады беріледі?

А) t=90÷120 $^oC$
Б) t=50÷70 $^oC$
В) t=70÷100 $^oC$
Г) t=420÷450 $^oC$
Д) t=1500÷2000 $^oC$
**11.**Барабанды кептіргіштің еңкею бұрышы қандай?
А) $0\text{-}1^0$
Б) $10\text{-}20^0$
В) $30\text{-}40^0$
Г) $3\text{-}6^0$
Д) $1\text{-}2^0$
**12.**Кептіргіш барабанда қандай материалдар кептіріледі?
А) шликер;
Б) суспензия;
В) түйіршікті;
Г) қалыптанған бұйым;
Д) иілгіштік масса;
**13.**Жұмыс істеу режимі бойынша барабанды кептіргіштер қандай қондырғыларға жатады:
А) Үздікті жұмыс істейтін
Б) Үздіксіз жұмыс істейтін
В) Циклды жұмыс істейтін
Г) Импульсты жұмыс істейтін
Д) Инерциялы жұмыс істейтін
**14.**Кептіру процесінің графигі нені білдіреді?
А) Материал ылғалдылығының уақытқа байланысты өзгеруі
Б) Материал температурасының уақытқа байланысты өзгеруі
В) Газды ағын қысымының уақытқа байланысты өзгеруі
Г) Газды ағын температурасының уақытқа байланысты өзгеруі
Д) Қондырғы өлшемінің уақытқа байланысты өзгеруі
**15.**Материалдарды түтінді газдармен кептіруде қандай жылуалмасу түрі болады?
А) сәуле шашу
Б) жылуөткізгіштік
В) конвективті
Г) инерциялы
Д) кондуктивті
**16.**Кептіргіш барабанда бандаждар саны:
А) 4
Б) 3
В) 1
Г) 2
Д) 5
**17.**Барабанды кептіргіштердегі жылуалмастырғыш құрылғыларының қызметі:

А) Кептіру процесінде материалдың ылғалдануын жақсарту
Б) Кептіру процесінде материалдың ұнтақталуын жақсарту
В) Кептіру процесінде материалдың араласуын жақсарту
Г) Материал және жылуалмастырғыш арасында жылуалмасуды жақсарту
Д) Кептіру процесінде материалдың қалыптануын жақсарту
**18.**Конвейерлі кептіргіштерде қандай өндірісте қолданады?
А) Керамзит
Б) Керамикалық кірпіш
В) Клинкер
Г) Керамикалық плитка
Д) Бетон
**19.**Шашыратқылы кептіргіштерде қандай материалдар кептіріледі?
А) Шликер
Б) Қатты отын
В) Қалыптанған бұйымдар
Г) Керамзит
Д) Құм
**20.**Кептіргіш қондырғысының өнімділігі қалай бағаланады?
А) 1 кг ылғалды буландыруға кететін жылу шығыны
Б) 5 кг ылғалды буландыруға кететін жылу шығыны
В) 0,5 кг ылғалды буландыруға кететін жылу шығыны
Г) 10 кг ылғалды буландыруға кететін жылу шығыны
Д) 100 кг ылғалды буландыруға кететін жылу шығыны
**21.**Кептіргіштердегі 1 *кг* ылғалды буландыруға кететін жылу шығыны қандай?
А) 10000-15000 *кДж/кг*
Б) 1000-1200 *кДж/кг*
В) 3500-5000 *кДж/кг*
Г) 200-300 *кДж/кг*
Д) 35-50 *кДж/кг*
**22.**Кептіргіш қондырғыларында қолданылатын жылутасымалдағыштар:
А) Су буы, табиғи газ
Б) Су буы, ыстық су
В) Түтінді газдар, ыстық ауа
Г) Азот, оттек
Д) Кокстық газ, доменды газ
**23.**Құрылыс материалдарын жылулық өңдеудегі кептірудің сатыларын атаңыз:
А) Қыздыру сатысы, кептіру жылдамдығының тұрақты сатысы, кептіру жылдамдығының төмендеу сатысы
Б) Қыздыру сатысы, изотермиялық ұстап тұру сатысы, кептіру жылдамдығының төмендеу сатысы
В) Қыздыру сатысы, кептіру жылдамдығының тұрақты сатысы, суыту сатысы
Г) Қыздыру сатысы, кептіру жылдамдығының тұрақты сатысы, пісу сатысы
Д) Қыздыру сатысы, кептіру жылдамдығының тұрақты сатысы, қатаю сатысы;

# 7. ӘКТАС КҮЙДІРУГЕ АРНАЛҒАН ШАХТАЛЫ ПЕШІН ЖЫЛУТЕХНИКАЛЫҚ ЕСЕПТЕУ

## 7.1. Сабақ жоспары

1. Шахталы пешінің жұмыс камерасындағы отынның жану процесін есептеу;
2. Жұмыс камерасының негізгі өлшемдерін есептеу;
3. Шахталы пешінің материалдық және жылулық баланстарын есептеу;
4. Шикізат материалы түйіршіктері қабатының гидравликалық кедергісін есептеу.

## 7.2. Теориялық бөлім

***Шахталы пеш*** – қима ауданы дөңгелек, оваль немесе төртбұрыш пішінде болатын тігінен орналасқан камерадан тұрады. Пеш барлық биіктігі бойынша керамикалық құрылыс кірпішінен қаланып, қажетті механикалық беріктік беру үшін сыртқы беті сақиналы темір құрсаулармен бекітіледі. Пештің ішкі беті отқатөзімді шамотты кірпіштермен қаланған.

Отын жағу тәсілі бойынша әктас күйдіретін шахталы пештер мына түрде жіктеледі:

- газды пештер, бұл пештерге газды отын жұмыс камерасының ішіне беріліп, пешке түсетін әктас түйіршіктерінің қабатында тікелей жанады.

- жартылай газды пештер, бұл пештерде ұзын жалынды қатты отындар ауаның аз мөлшері кезінде бөлек оттықта жанып, пайда болған жану өнімдері пештің жұмыс камерасында қосымша берілген ауаның әсерінен толық жанады.

- төгілмелі пештер, бұл пештерде қысқа жалынды қатты отындар кесектелген түйіршіктер түрінде шикізатпен алдын-ала араластырылып немесе шикізаттың белгілі-бір қабатынан кейін кезекпен жұмыс камерасына беріледі, сосын пештің жұмыс камерасында шикізат түйіршіктері арасында толық жанады.

Әктасты күйдіру үшін, тиімділігіне байланысты көбінесе төгілмелі шахталы пештерді қолданады.

Төгілмелі шахталы пештерде шикізат және отын механикалық құрылғылар көмегімен жұмыс камерасының жоғарғы жағынан беріледі және өз салмақтары әсерінен жоғарыдан төмен қарай жылжиды.

Шахта кеңістігі бойынша материалдардың төмен қарай жылжу жылдамдығы күйдіру режиміне және пештің дайын өнім бойынша өнімділігіне байланысты болады.

Әк өндірісінде шикізат материалдары ретінде кальций көмірқышқылын $CaCO_3$ және магний көмірқышқылын $MgCO_3$ құрайтын карбонатты тау жыныстары (әктас, әккұрайтын тас, бор және т.б.) қолданылады. Отын ретінде қоңыр және тас көмірлер, антрацит, сланец және т.б. қолданылады.

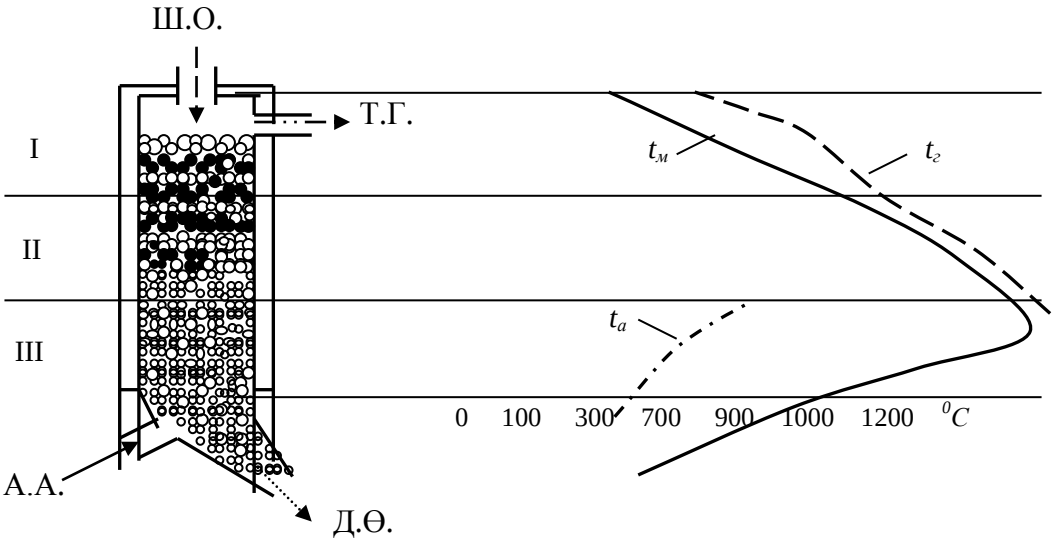
$CaCO_3$ және $MgCO_3$ карбонаттарының диссоциациялану процесі төмендегі эндотермиялық реакциялар бойынша жүреді:

$CaCO_3 \leftrightarrow CaO + CO_2\uparrow$ $MgCO_3 \leftrightarrow MgO + CO_2\uparrow$

1 кг $CaCO_3$ ыдырауына шығындалатын жылу мөлшері 1583,82 *кДж/кг*, ал $MgCO_3$ – 1315,66 *кДж/кг* құрайды.

Үздіксіз режимде жұмыс істейтін төгілмелі шахталы пешінің схемасы 7.1 суретте келтірілген.

Пештің жұмыс камерасы шарты түрде үш бөлімге бөлінген: қыздыру бөлімі (I) – шамамен жұмыс камерасы биіктігінің 40÷45 % құрайды, күйдіру бөлімі (II) – шамамен 25% құрайды және суыту бөлімі (III) – 30÷35 % құрайды.



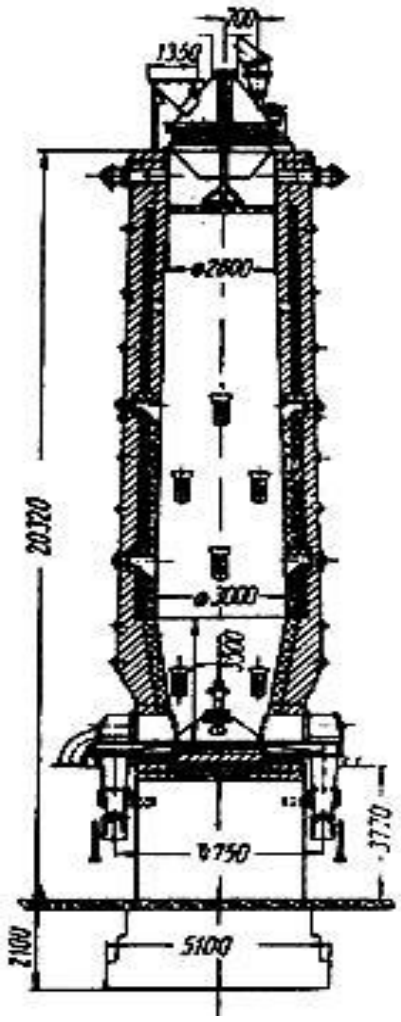

7.1 сурет. Төгілмелі шахталы пештің схемасы. Ш.О. – шикізат (әк тас) және қатты отын, Т.Г. – кететін түтінді газдар, А.А. – атмосфералық ауа, Д.Ө. – дайын өнім (әк), $t_г$ – кететін түтінді газ температурасы, $t_м$ – күйдірілетін материал температурасы, $t_a$ – атмосфералық ауаның температурасы.

Шахталы пештер газды ағындар қозғалысы бойынша кері ағында жұмыс істейді, яғни пештің жұмыс камерасындағы газды ағындар (атмосфералық ауа, жану өнімдері және кететін түтінді газдар) материалдарға қарама-қарсы бағытта қозғалады. Күйдірілген материал пештен шығар кезінде суыту бөліміне үрлеу желдеткіші арқылы 250÷650 *Па* қысыммен берілетін атмосфералық ауаның әсерінен 100 $^oC$ дейін суытылады. Атмосфералық ауа суыту бөлімінде 300÷500 $^oC$ дейін қыздырылады, сосын күйдіру бөліміне өтіп отынның жануына қатысады. Күйдіру бөлімінің төменгі бөлігінде отынның толық жануы аяқталып, температурасы күйдірілетін материалдардан жоғары жану өнімдері (1200÷1300 $^oC$) материал түйіршіктері арасынан жоғары көтеріліп, оларды максимальды күйдіру температурасына (1100÷1200 $^oC$) дейін қыздырады. Отынның жану өнімдері және шикізаттан бөлінген газды ағындар (көмірқышқыл газы және су буы) қоспасы түйіршіктер арасынан ары қарай қыздыру бөліміне өтіп, оларды 900 $^oC$ дейін қыздыру арқылы 200÷400 $^oC$ дейін суытылып, пештен қоршаған ортаға шығады. Өңдеуден өткен түтінді газдарды пештің жұмыс камерасынан шығару үшін 150-200 *Па* қысыммен жұмыс істейтін түтінсорғыштарды қолданады.

Пештің қыздыру және суыту бөлімдерінде жылутасымалдағыш және күйдірілетін материал арасында конвективті жылуалмасу басымырақ болады. Ал, күйдіру бөлімінде негізінен сәуле шашу жылуалмасуы болады.

Пештің жұмыс камерасының өлшемі оның өнімділігіне байланысты болады. Қазіргі кезде, өнімділігі 2,0÷17,0 *тонна/сағат* аралығында болатын әр түрлі өлшемді төгілмелі шахталы пштері кездеседі. Пештің жалпы биіктігі 27÷45 *м* аралығында, жұмыс камерасының өлшемі 18÷24 *м*. Пештің күйдіру бөліміндегі жұмыс камерасының ішкі диаметрі 2,5÷6,2 *м* аралығында болады.

Заманауи шахталы пештеріндегі меншікті беттік және көлемдік өнімділіктер сәйкесінше мына аралықта болады: $Ө_F$=10÷11 *тонна/(м$^2$·тәулік)* және $Ө_V$=0,6÷0,85 *тонна/(м$^3$·тәулік)*. 1 тонна дайын өнімге шаққандағы шартты отынның меншікті шығыны $X^o$=170÷190 *кг* аралығында болады.



7.2 сурет. Типтік төгілмелі шахталы пешінің суреті.

Типтік төгілмелі шахталы пеші 7.2 суретте келтірілген.

Төгілмелі шахталы пештердің ерекшелігі: конструкциясы қарапайым, жұмыс істету салыстырмалы оңай, отын шығыны төмен және өнімділігі жоғары.

Төгілмелі шахталы пештердің кемшілігі: материалдың күлмен былғануы. Егер, күлі оңай балқитын отындардың күлінің құрамында зиянды қоспалар болса, онда әк тас күйдіру үшін төгілмелі шахталы пештерді қолдануға болмайды.

Төгілмелі шахталы пештерде ұшқыш компоненттері аз болатын отындарды қолдану қажет. Өйткені, ұзын жалынды отындарда бөлінетін ұшқыш компоненттер пештің жұмыс камерасының жоғарғы бөлігінде болуы мүмкін, нәтижесінде олар жану процесіне қатыспай түтінді газдармен бірге пештен шығып кетеді. Бұл өз кезегінде отынның меншікті шығынының артуына әкеледі.

Төгілмелі шахталы пештерде отын ретінде көбінесе тас көмір және антрацит отынының қолданады.

Шахталы пешінің жылутехникалық көрсеткіштерін анықтау келесі есептеулерден тұрады:

- отынның жану процесін есептеу;
- пештің материалдық және жылулық баланстарын есептеу;
- пештің негізгі өлшемдерін есептеу;
- материал түйіршіктері қабатының гидравликалық кедергісін есептеу.

## 7.3. Есепті орындау әдістемесі

### 7.3.1 Отынның жану процесін есептеу

1. Алдын-ала келесі берілгендер қабылданады:

- отынның жану массасы бойынша құрамы: көміртек *($C^{жн}$)*, сутек *($H^{жн}$)*, оттек *($O^{жн}$)*, азот *($N^{жн}$)*, күкірт *($S^{жн}$), %*;
- құрғақ масса бойынша күлдің мөлшері *($A^{к}$), %*;
- отындағы жұмыс массасы бойынша ылғал мөлшері *($W^{жм}$), %*;
- ауаның шығын коэффициенті α;
- пешке берілетін отын температурасы *($t_o$), $^oC$*;
- пешке берілетін отын жылусыйымдылығы *($C_o$), кДж/(кг·$^oC$)*;
- отын жануына қатысатын ауа температурасы *($t_a$), $^oC$*;
- отын жануына қатысатын ауа жылусыйымдылығы *($C_a$), кДж/($м^3 \cdot ^oC$)*;
- оттықтың пирометриялық коэффициенті $\eta_o$.

2. Қатты отынның жануын есептеу жұмыс массасы бойынша жүргізіледі. Ол үшін отынның жану массасын жұмыс массасына қайта есептейді:

күл: $$A^{жм} = \frac{A^{к} \cdot \left(100 - W^{жм}\right)}{100}, \%$$

көміртек: $$C^{жм} = \frac{C^{жн} \cdot \left(100 - A^{к} - W^{жм}\right)}{100}, \%$$

сутек: $$H^{жм} = \frac{H^{жн} \cdot \left(100 - A^{к} - W^{жм}\right)}{100}, \%$$

оттек: $$O^{жм} = \frac{O^{жн} \cdot \left(100 - A^{к} - W^{жм}\right)}{100}, \% \qquad (7.1)$$

азот: $$N^{жм} = \frac{N^{жн} \cdot \left(100 - A^{к} - W^{жм}\right)}{100}, \%$$

күкірт: $$S^{жм} = \frac{S^{жн} \cdot \left(100 - A^{к} - W^{жм}\right)}{100}, \%$$

3. Отынның төменгі жылушығару мүмкіндігін есептеу:

$$Q_{төм}^{жм} = (339 \cdot C^{жм} + 1030 \cdot H^{жм} - 108{,}9 \cdot (O^{жм} - S^{жм}) - 25 \cdot W^{жм}), \text{ кДж/кг} \qquad (7.2)$$

4. Отынның жануына кететін ауаның шығын мөлшерін есептеу.
Құрғақ отынның теоретикалық қажетті мөлшері:

$$L_o = (0{,}0889 \cdot C^{жм} + 0{,}265 \cdot H^{жм} - 0{,}0333 \cdot (O^{жм} - S^{жм})), \text{ } м^3/кг \qquad (7.3)$$

Ылғал отынның теоретикалық қажетті мөлшері:

$$L_o^{/} = 1{,}016 \cdot L_o,\ м^3/кг \tag{7.4}$$

Құрғақ ауаның шын мәніндегі мөлшері:

$$L_\alpha = \alpha \cdot L_o,\ м^3/кг \tag{7.5}$$

Ылғал ауаның шын мәніндегі мөлшері:

$$L_\alpha^{/} = \alpha \cdot L_o^{/},\ м^3/кг \tag{7.6}$$

5. Отынның жану кезінде бөлінетін жану өнімдерінің мөлшерін есептеу.
Көміртек қос тотығының көлемі:

$$V_{CO_2} = 0{,}01855 \cdot C^{жм},\ м^3/кг \tag{7.7}$$

Су буының көлемі:

$$V_{H_2O} = 0{,}112 \cdot H^{жм} + 0{,}0124 \cdot W^{жм} + 0{,}016 \cdot L_\alpha,\ \ м^3/кг \tag{7.8}$$

Күкірт қос тотығының көлемі:

$$V_{SO_2} = 0{,}007 \cdot S^{жм},\ м^3/кг \tag{7.9}$$

Азоттың көлемі:

$$V_{N_2} = 0{,}79 \cdot L_\alpha + 0{,}008 \cdot N^{жм},\ \ м^3/кг \tag{7.10}$$

Оттектің көлемі:

$$V_{O_2} = 0{,}21 \cdot (\alpha - 1) \cdot L_o,\ \ м^3/кг \tag{7.11}$$

Жану өнімдерінің жалпы көлемі:

$$V_\alpha = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{SO_2} + V_{N_2} + V_{O_2},\ \ м^3/кг \tag{7.12}$$

6. Жану өнімдерінің пайыздық мөлшерін есептеу.

Көміртек қос тотығының мөлшері:

$$P_{CO_2} = \frac{100 \cdot V_{CO_2}}{V_\alpha}, \% \quad (7.13)$$

Су буының мөлшері:

$$P_{H_2O} = \frac{100 \cdot V_{H_2O}}{V_\alpha}, \% \quad (7.14)$$

Көміртек қос тотығының мөлшері:

$$P_{SO_2} = \frac{100 \cdot V_{SO_2}}{V_\alpha}, \ \% \quad (7.15)$$

Азоттың мөлшері:

$$P_{N_2} = \frac{100 \cdot V_{N_2}}{V_\alpha}, \% \quad (7.16)$$

Оттектің мөлшері:

$$P_{O_2} = \frac{100 \cdot V_{O_2}}{V_\alpha}, \% \quad (7.17)$$

Жану өнімдерінің пайыздық мөлшерлерінің қосындысы 100 тең болу керек.

$$\sum P = P_{CO_2} + P_{H_2O} + P_{SO_2} + P_{N_2} + P_{O_2} = 100\% \quad (7.18)$$

7. Жану процесінің материалдық балансы 100 *кг* отынға есептеледі.
Материалдық баланстың кіріс бөлімі:

Отынның массасы: $M_o = 100$, *кг* (7.19)

Оттектің массасы: $M_{O_2} = 30{,}009 \cdot L_\alpha$, *кг* (7.20)

Азоттың массасы: $M_{N_2} = 98{,}829 \cdot L_\alpha$, *кг* (7.21)

Су буының массасы: $M_{H_2O} = 1{,}287 \cdot L_\alpha$, *кг* (7.22)

Материалдық баланстың кіріс бөлімінің жалпы мөлшері:

$$M_{кіріс} = M_o + M_{O_2} + M_{N_2} + M_{H_2O}, \ кг \quad (7.23)$$

Материалдық баланстың шығыс бөлімі:

Күлдің массасы: $M_к = A^{жм}$, *кг* (7.24)

Көміртек қостотығының массасы: $M_{CO_2} = 197,7 \cdot V_{CO_2}$, *кг* (7.25)

Су буының массасы: $M_{H_2O} = 80,4 \cdot V_{H_2O}$, *кг* (7.26)

Көміртек қос тотығының массасы: $M_{SO_2} = 285,2 \cdot V_{SO_2}$, *кг* (7.27)

Азоттың массасы: $M_{N_2} = 125,1 \cdot V_{N_2}$, *кг* (7.28)

Оттектің массасы: $M_{O_2} = 142,9 \cdot V_{O_2}$, *кг* (7.29)

Материалдық баланстың шығыс бөлімінің жалпы мөлшері:

$$M_{шығыс} = M_к + M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{SO_2} + M_{N_2} + M_{O_2}, \ кг \quad (7.30)$$

Материалдық баланстың күрмеуін есептеу:

$$M_{күр} = \frac{100 \cdot (M_{кіріс} - M_{шығыс})}{M_{кіріс}}, \% \quad (7.31)$$

Материалдық баланс күрмеуінің мәні 0,5% аспауы тиіс.

8. Отынның калориметриялық және шын мәніндегі жану температураларын есептеу.

Жану өнімдерінің жылу мөлшері:

$$I_{ж.ө.} = \frac{Q^{жм}_{төм} + C_o \cdot t_o + L_\alpha \cdot C_a \cdot t_a}{V_\alpha}, \quad кДж/м^3 \quad (7.32)$$

Отын жылусыйымдылығының $(C_o)$ мәні 7.1 кестеден қабылданады. Ауаның жылусыйымдылығының $(C_a)$ мәні 7.2 кестеден қабылданады.

7.1 кесте. Қатты отындардың жылусыйымдылығы, *кДж/(кг·°C)*

| Тас көмір | Қоңыр көмір | Сланец | Антрацит |
|---|---|---|---|
| 1,30 | 1,13 | 1,0 | 0,95 |

7.2 кесте. Ауаның жылусыйымдылығы, *кДж/(м³· °C)*

| $t_a$, °C | 0 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_a$ | 1,2971 | 1,3005 | 1,3076 | 1,3177 | 1,3294 | 1,3428 | 1,3570 | 1,3712 | 1,3846 | 1,3976 | 1,4098 |

Есептеуден алынған жану өнімдері жылу мөлшерінің ($I_{ж.ө.}$) мәні арқылы 7.3 кестеден калориметриялық температуралардың төменгі және жоғарғы аралығы анықталады ($t_{к_1}$ және $t_{к_2}$).

7.3 кесте. Газды өнімдердің жылу мөлшерлерінің мәндері, *кДж/м*$^3$

| t , $^oC$ | $CO_2$ | $H_2O$ | $SO_2$ | $N_2$ | $O_2$ | Жану өнімдері |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 100,0 | 170,0 | 150,7 | 181,3 | 129,8 | 131,9 | 136,5 |
| 200,0 | 357,6 | 304,4 | 377,7 | 260,0 | 267,1 | 275,5 |
| 300,0 | 558,9 | 462,7 | 586,6 | 391,9 | 407,0 | 417,4 |
| 400,0 | 772,1 | 626,4 | 807,2 | 526,7 | 551,0 | 564,0 |
| 500,0 | 994,4 | 795,1 | 1034,2 | 664,1 | 699,2 | 713,5 |
| 600,0 | 1224,7 | 968,9 | 1268,7 | 804,3 | 850,0 | 866,3 |
| 700,0 | 1462,1 | 1148,9 | 1506,5 | 947,5 | 1004,0 | 1025,0 |
| 800,0 | 1704,9 | 1334,4 | 1745,1 | 1093,6 | 1159,8 | 1185,3 |
| 900,0 | 1952,4 | 1526,2 | 1993,4 | 1241,9 | 1318,1 | 1341,5 |
| 1000,0 | 2203,6 | 1722,9 | 2235,9 | 1391,7 | 1477,6 | 1516,9 |
| 1100,0 | 2458,6 | 1925,2 | 2487,1 | 1543,7 | 1638,4 | 1684,4 |
| 1200,0 | 2716,5 | 2132,4 | 2733,3 | 1697,4 | 1800,8 | 1855,3 |
| 1300,0 | 2976,9 | 2343,9 | 3033,3 | 1852,7 | 1963,7 | 2029,4 |
| 1400,0 | 3239,1 | 2559,1 | 3333,3 | 2008,9 | 2128,2 | 2200,7 |
| 1500,0 | 3503,3 | 2779,3 | 3633,3 | 2166,3 | 2294,5 | 2380,3 |
| 1600,0 | 3769,1 | 3002,1 | 3933,3 | 2324,6 | 2460,7 | 2560,8 |
| 1700,0 | 4036,7 | 3229,4 | 4230,3 | 2484,1 | 2628,6 | 2736,2 |
| 1800,0 | 4305,1 | 3458,5 | 4530,0 | 2643,7 | 2797,7 | 2916,7 |
| 1900,0 | 4574,3 | 3690,4 | 4800,0 | 2804,4 | 2967,3 | 3096,7 |
| 2000,0 | 4844,4 | 3925,7 | 5100,0 | 2965,2 | 3138,6 | 3285,5 |
| 2100,0 | 5115,7 | 4163,5 | 5400,0 | 3127,7 | 3309,4 | 3468,4 |
| 2200,0 | 5387,0 | 4402,2 | 5700,0 | 3289,3 | 3482,7 | 3651,3 |
| 2300,0 | 5658,7 | 4643,8 | 6000,0 | 3452,6 | 3656,5 | 3834,2 |
| 2400,0 | 5930,9 | 4887,9 | 6300,0 | 3615,5 | 3831,5 | 4017,1 |
| 2500,0 | 6203,0 | 5132,4 | 6600,0 | 3778,8 | 4007,0 | 4200,0 |

Қабылданған калориметриялық температураларға сәйкес 7.3 кестеден алынған жану өнімдерінің мәндері бойынша $(I_{CO_2}, I_{H_2O}, I_{SO_2}, I_{N_2}, I_{O_2})$ , $(I'_{CO_2}, I'_{H_2O}, I'_{SO_2}, I'_{N_2}, I'_{O_2})$ жану өнімдерінің жалпы мөлшерлері ($I_{к_1}$ және $I_{к_2}$) қайта есептеледі.

Төменгі калориметриялық температураға ( $t_{к_1}$ ) сәйкес, жану өнімдерінің мөлшері:

$$I_{к_1} = 0{,}01 \cdot (I_{CO_2} \cdot P_{CO_2} + I_{H_2O} \cdot P_{H_2O} + I_{SO_2} \cdot P_{SO_2} + I_{N_2} \cdot P_{N_2} + I_{O_2} \cdot P_{O_2}) \text{,кДж/м}^3 \quad (7.33)$$

Жоғарғы калориметриялық температураға ( $t_{к_2}$ ) сәйкес жану өнімдерінің мөлшері:

$$I_{к_2} = 0{,}01 \cdot (I'_{CO_2} \cdot P_{CO_2} + I'_{H_2O} \cdot P_{H_2O} + I'_{SO_2} \cdot P_{SO_2} + I'_{N_2} \cdot P_{N_2} + I'_{O_2} \cdot P_{O_2}), кДж/м^3 \quad (7.34)$$

Анықталған жылу мөлшерлерінің мәндерін қолданып, отынның жану кезіндегі калориметриялық температурасы есептеледі:

$$t_к = t_{к_1} + \frac{100 \cdot (I_{ж.ө.} - I_{к_1})}{I_{к_2} - I_{к_1}}, \ ^oC \quad (7.35)$$

Шын мәніндегі жану температурасына сәйкес жану өнімдерінің жылу мөлшері есептеледі.

$$I_{ш.м.} = I_{ж.ө.} \cdot \eta_o, \ кДж/м^3 \quad (7.36)$$

Шахталы пештер үшін оттықтың пирометриялық келесі аралықта қабылданады $\eta_o$=0,52÷0,62.

Отынның шын мәніндегі жану температурасының мәнін ($t_ш$) анықтау, калориметриялық жану температурасын анықтаған жолмен жүргізіледі.

Яғни, есептеуден алынған жану өнімдерінің жылу мөлшерінің ($I_{ш.м.}$) мәні арқылы 7.3 кестеден шын мәніндегі жану температураларының төменгі және жоғарғы аралығы анықталады ($t_{ш_1}$ және $t_{ш_2}$).

Қабылданған шын мәніндегі температураларға сәйкес 7.3 кестеден алынған жану өнімдерінің мәндері $(I_{CO_2}, I_{H_2O}, I_{SO_2}, I_{N_2}, I_{O_2})$ , $(I'_{CO_2}, I'_{H_2O}, I'_{SO_2}, I'_{N_2}, I'_{O_2})$ бойынша жану өнімдерінің жалпы мөлшерлері ( $I_{ш_1}$ және $I_{ш_2}$ ) қайта есептеледі.

Төменгі шын мәніндегі температураға ( $t_{ш_1}$ ) сәйкес, жану өнімдерінің мөлшері:

$$I_{ш_1} = 0{,}01 \cdot (I_{CO_2} \cdot P_{CO_2} + I_{H_2O} \cdot P_{H_2O} + I_{SO_2} \cdot P_{SO_2} + I_{N_2} \cdot P_{N_2} + I_{O_2} \cdot P_{O_2}), кДж/м^3 \quad (7.37)$$

Жоғарғы шын мәніндегі температураға ( $t_{ш_2}$ ) сәйкес, жану өнімдерінің мөлшері:

$$I_{ш_2} = 0{,}01 \cdot (I'_{CO_2} \cdot P_{CO_2} + I'_{H_2O} \cdot P_{H_2O} + I'_{SO_2} \cdot P_{SO_2} + I'_{N_2} \cdot P_{N_2} + I'_{O_2} \cdot P_{O_2}), кДж/м^3 \quad (7.38)$$

Анықталған жылу мөлшерлерінің мәндерін қолданып, отынның жану кезіндегі шын мәніндегі температурасы есептеледі:

$$t_ш = t_{ш_1} + \frac{100 \cdot (I_{ш.м.} - I_{ш_1})}{I_{ш_2} - I_{ш_1}}, \ ^oC \quad (7.39)$$

Отынның шын мәніндегі жану температурасының мәні, әк тасты күйдіруге қажетті жану өнімдері температурасының мәнін қамтамасыз етуі қажет, яғни оған тең немесе жоғары болуы тиіс ( $t_ш \geq t_қ$ ). Егер, шын мәніндегі жану температурасы әк тасты күйдіруге қажетті температураны қамтамасыз ете алмаса, яғни мәні төмен болған ( $t_ш < t_қ$ ) жағдайда, отынның жану температурасын реттеу үшін, жануға қажетті ауаның шығын коэффициентінің мәнін басқаша қабылдау қажет.

9. Ауаның шығын коэффициентінің мәнін қайта есептеу.

Жану өнімдерінің қажетті температурасының мәні әк тасты күйдіру температурасынан 200÷250 $^oC$ аралығында жоғары қабылданады.

$$t_қ = (200 \div 250) + t_{күй}\ ,\ ^oC \qquad (7.40)$$

Қажетті жану температурасына сәйкес, отынның жану өнімдерінің жылу мөлшері:

$$I_{қаж} = 0{,}01 \cdot (I_{CO_2} \cdot P_{CO_2} + I_{H_2O} \cdot P_{H_2O} + I_{SO_2} \cdot P_{SO_2} + I_{N_2} \cdot P_{N_2} + I_{O_2} \cdot P_{O_2})\ ,\ кДж/м^3 \qquad (7.41)$$

Қажетті жану температурасына сәйкес, отынның жануына қатысатын ауаның жылу мөлшері:

$$I_a = \frac{0{,}016 \cdot I_{H_2O} + 0{,}79 \cdot I_{N_2} + 0{,}21 \cdot I_{O_2}}{1{,}016}\ ,\ кДж/м^3 \qquad (7.42)$$

Отынның жану өнімдерімен араластыруға қажетті ауаның мөлшері:

$$V_a = \frac{I_{ж.ө.} \cdot V_\alpha \cdot \eta_o - I_{қаж} \cdot V_\alpha + L'_\alpha \cdot C_a \cdot t_a}{I_a - C_a \cdot t_a}\ ,\ м^3/кг \qquad (7.43)$$

Ауаның қайта есептелген қажетті шығын коэффициентінің мәні:

$$\alpha_{қаж} = \frac{L'_\alpha + V_a}{L'_o} \qquad (7.44)$$

### 7.3.2. Пештің материалдық және жылулық балансын есептеу

7.3.2.1 Материалдық балансты есептеу.

Пештің материалдық балансы 1*кг* әк тасқа есептеледі. Материалдық баланс теңдеуі кіріс және шығыс бөлімдерден тұрады.

$$G_{кіріс} = G_{шығыс} \tag{7.45}$$

Материалдық баланстың шығыс бөлігі.

1. Отынның меншікті шығыны:

$$G_o = X^o \text{, } кг/кг\ әктас \tag{7.46}$$

мұнда: $X^o$ – белгісіз шама, жылулық баланс теңдеуін шешу нәтижесінде анықталады, *кг*

2. Шикізаттың меншікті шығыны:

$$G_ш = \frac{100}{100 - \left[(CaCO_3 - n)\cdot 0{,}44 + MgCO_3 \cdot 0{,}522 + W_ш\right]} \text{, } кг/кг\ әктас \tag{7.47}$$

мұнда: $n$ – 1 *кг* әк тастағы ыдырамаған $CaCO_3$ пайыздық мөлшері, *%*

$$n = \frac{\left(56\cdot CaCO_3 + 47{,}8\cdot MgCO_3\right)\cdot\left(1 - 0{,}01\cdot a\right) - a\cdot\left(R_2O_3 + SiO_2\right)}{0{,}44\cdot a + 56}, \ \%$$

$a$ – әк тастың белсенділігі, *%*

$CaCO_3$ – шикізат материалындағы кальций карбонатының мөлшері, *%*

$MgCO_3$ – шикізат материалындағы магний карбонатының мөлшері, *%*

$SiO_2$ – шикізат материалындағы кремний тотығының мөлшері, *%*

$R_2O_3$ – шикізат материалындағы сілтілік металлдар мөлшері, *%*

$W_ш$ – әк тастағы ылғал мөлшері, *%*

3. Отынның жануына қажетті атмосфералық ауаның мөлшері:

$$G_a = 1{,}293\cdot L_\alpha \cdot X^o \text{, } кг/кг\ әктас \tag{7.48}$$

Материалдық баланстың шығыс бөлігінің жалпы мөлшері:

$$G_{шығыс} = G_o + G_ш + G_a \text{, } кг/кг\ әктас \tag{7.49}$$

Материалдық баланстық кіріс бөлігі.

1. Күйдірілген әктің мөлшері:

$$G_{әк} = 1,\ кг/кг\ әктас \tag{7.50}$$

2. Әк тастан бөлінетін технологиялық көмір қышқылының мөлшері:

$$G_{CO_2} = 0,01 \cdot \left[G_ш \cdot ((CaCO_3 - n) \cdot 0,44 + MgCO_3 \cdot 0,522)\right],\ кг/кг\ әктас \tag{7.51}$$

3. Әк тастан бөлінетін физикалық ылғал мөлшері:

$$G_w = 0,01 \cdot G_ш \cdot W_ш\ ,\ кг/кг\ әктас \tag{7.52}$$

4. Отынның жануы кезінде бөлінетін түтінді газдар мөлшері:

$$G_г = 1,33 \cdot V_\alpha \cdot X^o\ ,\ кг/кг\ әктас \tag{7.53}$$

Материалдық баланстың кіріс бөлігінің жалпы мөлшері:

$$G_{кіріс} = G_{әк} + G_{CO_2} + G_w + G_г,\ кг/кг\ әктас \tag{7.54}$$

7.3.2.2. Жылулық балансты есептеу.

Пештің жылулық балансы жұмыс камерасының барлық көлемі бойынша 1*кг* әк тасқа есептеледі. Жылулық баланс теңдеуі кіріс және шығыс бөлімдерден тұрады.

$$Q_{кіріс} = Q_{шығыс} \tag{7.55}$$

Жылулық баланстың шығыс бөлігі.

1. Әк тастағы $CaCO_3$ және $MgCO_3$ ыдырауына кететін жылу шығыны:

$$Q_{ыд} = 0,01 \cdot G_ш \cdot \left[(CaCO_3 - n) \cdot 1583,82 + MgCO_3 \cdot 1315,66\right],\ кДж/кг \tag{7.56}$$

мұнда: 1583,82 – 1*кг* $CaCO_3$ ыдыратуға кететін жылу шығыны, *кДж/кг*
1315,66 – 1*кг* $MgCO_3$ ыдыратуға кететін жылу шығыны, *кДж/кг*

2. Әк тастағы физикалық ылғалды буландыруға кететін жылу шығыны:

$$Q_{бу} = 0,01 \cdot 595 \cdot 4,187 \cdot G_ш \cdot W_ш,\ кДж/кг \tag{7.57}$$

3. Отынның жану өнімдері – түтінді газдармен кететін жылу шығыны:

$$Q_{т.г.} = (V_{CO_2} \cdot C_{CO_2} + V_{H_2O} \cdot C_{H_2O} + V_{SO_2} \cdot C_{SO_2} + V_{N_2} \cdot C_{N_2} + V_{O_2} \cdot C_{O_2} +) \cdot X^o \cdot t_г \text{, кДж/кг} \quad (7.58)$$

мұнда: $C_{CO_2}, C_{H_2O}, C_{SO_2}, C_{N_2}, C_{O_2}$ – $t_г$ температурасы кезіндегі отынның жану өнімдерінің жылусыйымдылықтары, *кДж/(м³ · °C)*

$t_г$ – пештен кететін түтінді газдардың температурасы, $^oC$

Отынның жану өнімдері жылусыйымдылықтарының мәндері 4 кестеден қабылданады.

7.4 кесте. Газды өнімдердің орташа жылусыйымдылықтары, *кДж/м³ · °C*

| $t, ^oC$ | $CO_2$ | $H_2O$ | $SO_2$ | $N_2$ | $O_2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0,0 | 1,5998 | 1,4943 | 1,5073 | 1,2946 | 1,3059 |
| 100,0 | 1,7003 | 1,5052 | 1,5324 | 1,2959 | 1,3176 |
| 200,0 | 1,7874 | 1,5224 | 1,5617 | 1,2996 | 1,3352 |
| 300,0 | 1,8628 | 1,5425 | 1,5952 | 1,3068 | 1,3562 |
| 400,0 | 1,9298 | 1,5665 | 1,6329 | 1,3164 | 1,3775 |
| 500,0 | 1,9888 | 1,5898 | 1,6706 | 1,3277 | 1,3980 |
| 600,0 | 2,0412 | 1,6149 | 1,7083 | 1,3402 | 1,4168 |
| 700,0 | 2,0885 | 1,6413 | 1,7460 | 1,3537 | 1,4345 |
| 800,0 | 2,1312 | 1,6681 | 1,7837 | 1,3670 | 1,4500 |
| 900,0 | 2,1693 | 1,6957 | 1,8172 | 1,3796 | 1,4646 |
| 1000,0 | 2,2036 | 1,7230 | 1,8507 | 1,3918 | 1,4776 |

4. Шикізат материалын қыздыру кезінде бөлінетін газды өнімдермен кететін жылу шығыны:

$$Q_{ш.ө.} = \left[ \left( \frac{G_{CO_2} \cdot C_{CO_2}}{1{,}977} \right) + \left( \frac{G_w \cdot C_{H_2O}}{0{,}804} \right) \right] \cdot t_г \text{ , кДж/кг} \quad (7.59)$$

5. Пештен шығатын дайын өнім – әктің жылулығы:

$$Q_{әк} = G_{әк} \cdot C_{әк} \cdot t_{әк} \text{, кДж/кг} \quad (7.60)$$

мұнда: $C_{әк}$ – $t_{әк}$ температурасына сәйкес әк жылусыйымдылығы, *кДж/(кг·°C)*

$t_{әк}$ – пештің жұмыс камерасынан шығу кезіндегі әк температурасы, $^oC$

6. Отынның химиялық және механикалық толық жанбауынан болатын жылу шығыны:

$$Q_{т.ж.} = \varepsilon \cdot Q_{төм}^{жм} \cdot X^{o}, \text{ кДж/кг} \quad (7.61)$$

мұнда: ε – отынның толық жанбауын ескеретін коэффициент, ε = 0,16÷0,18

$Q_{төм}^{жм}$ – отынның төменгі жылушығару мүмкіндігі, *кДж/кг*

7. Отын күлімен кететін жылу шығыны:

$$Q_{күл} = 0{,}01 \cdot A^{жм} \cdot C_{күл} \cdot t_{күл} \cdot X^{o}, \text{ кДж/кг} \quad (7.62)$$

мұнда: $A^{жм}$ – күлдің жұмыс массасы бойынша мөлшері, %

$C_к - t_к$ температурасына сәйкес күлдің жылусыйымдылығы, *кДж/(кг·°С)*

$t_к$ – пештен шығу кезіндегі күлдің температурасы, $^{o}C$

8. Қоршаған ортаға кететін жылу шығыны:

$$Q_{қ.о.} = 200, \text{ кДж/кг} \quad (7.63)$$

Жылулық баланстың шығыс бөлігінің жалпы мөлшері:

$$Q_{шығыс} = Q_{ыд} + Q_{бу} + Q_{т.г.} + Q_{ш.ө.} + Q_{әк} + Q_{т.ж.} + Q_{күл} + Q_{қ.о.}, \text{ кДж/кг} \quad (7.64)$$

<u>Жылулық баланстың кіріс бөлігі.</u>

1. Отынның жану жылулығы:

$$Q_{ж} = Q_{төм}^{жм} \cdot X^{o}, \text{ кДж/кг} \quad (7.65)$$

2. Пешке берілетін отынның физикалық жылулығы:

$$Q_{о.ф.} = X^{o} \cdot C_{o} \cdot t_{o}, \text{ кДж/кг} \quad (7.66)$$

мұнда: $t_o$ – пешке берілетін отынның температурасы, $^{o}C$

$C_o$ – пешке берілетін отынның жылусыйымдылығы, *кДж/кг·°С*;

3. Пешке берілетін ауаның физикалық жылулығы:

$$Q_{а.ф.} = G_{а} \cdot C_{а} \cdot t_{а}, \text{ кДж/кг} \quad (7.67)$$

мұнда: $t_а$ – пешке берілетін ауаның температурасы, $^{o}C$

$C_а$ – пешке берілетін ауаның жылусыйымдылығы, *кДж/(м$^{3}$·°С)*

4. Пешке берілетін шикізаттың физикалық жылулығы:

$$Q_{ш.ф.} = G_ш \cdot C_ш \cdot t_ш \ , кДж/кг \qquad (7.68)$$

мұнда: $t_ш$ – пешке берілетін шикізаттың температурасы, $^oC$

$C_ш$ – пешке берілетін шикізаттың жылусыйымдылығы, *кДж/(кг·°С)*

5. Шикізат материалындағы ылғалдың физикалық жылулығы:

$$Q_w = G_w \cdot C_{H_2O} \cdot t_ш \ , кДж/кг \qquad (7.69)$$

Жылулық баланстың кіріс бөлігінің жалпы мөлшері:

$$Q_{кіріс} = Q_ж + Q_{о.ф.} + Q_{а.ф.} + Q_{ш.ф.} + Q_w \ , кДж/кг \qquad (7.70)$$

Жылулық баланс теңдеуін $Q_{кіріс} = Q_{шығыс}$ шешу нәтижесінде дайын өнімнің өлшем бірлігіне (1*кг* әк) кететін отынның меншікті шығын мөлшері ( $X^o$ ) анықталады.

Есептеудің дұрыстығын тексеру үшін материалдық және жылулық баланстар теңдеулерін теңестіреді. Егер, анықталған отынның меншікті шығын мөлшері ( $X^o$ ) формулаларға қою нәтижесінде баланстың кіріс және шығыс бөліктері бір-біріне тең болса, онда есептеу дұрыс жүргізілген.

Материалдық және жылулық баланстардың кіріс және шығыс бөліктеріндегі мәндер жинақталған кестеге толтырылып жазылады (7.5 және 7.6 кестелер).

7.5 кесте. Пештің жинақталған материалдық балансы

| Шығыс бөлігі | Белгіленуі | Мәндері | | Кіріс бөлігі | Белгіленуі | Мәндері | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *кг* | *%* | | | *Кг* | *%* |
| 1. Отынның меншікті шығыны | $G_o$ | | | 1. Күйдірілген әктің мөлшері | $G_{әк}$ | | |
| 2. Шикізаттың меншікті шығыны | $G_ш$ | | | 2. Технологиялық көмір қышқылы мөлшері | $G_{CO_2}$ | | |
| 3. Отынның жануына қажетті атмосфералық ауаның мөлшері | $G_a$ | | | 3. Физикалық ылғал мөлшері | $G_w$ | | |
| | | | | 4. Түтінді газдар мөлшері | $G_г$ | | |
| Барлығы | $G_{шығыс}$ | | 100 | Барлығы | $G_{кіріс}$ | | 100 |

Материалдық баланс теңдеуінің күрмеуі: $N_м = \dfrac{100 \cdot (G_{кіріс} - G_{шығыс})}{G_{кіріс}}$, % (7.71)

Баланс күрмеуінің мәні 0,5 % аспауы тиіс.

7.6 кесте. Пештің жинақталған жылулық балансы

| Шығыс бөлігі | Белгіленуі | Мәндері | | Кіріс бөлігі | Белгіленуі | Мәндері | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *кДж* | *%* | | | *кДж* | *%* |
| 1.Карбонаттардың ыдырауына кететін жылу шығыны | $Q_{ыд}$ | | | 1.Отынның жану жылулығы | $Q_{ж}$ | | |
| 2.Физикалық ылғалды буландыруға кететін жылу шығыны | $Q_{бу}$ | | | 2.Отынның физикалық жылулығы | $Q_{о.ф.}$ | | |
| 3.Түтінді газдармен кететін жылу шығыны | $Q_{т.г.}$ | | | 3.Ауаның физикалық жылулығы | $Q_{а.ф.}$ | | |
| 4.Шикізаттағы газды өнімдермен кететін жылу шығыны | $Q_{ш.ө.}$ | | | 4.Шикізаттың физикалық жылулығы | $Q_{ш.ф.}$ | | |
| 5.Пештен шығатын әктің жылулығы | $Q_{әк}$ | | | 5.Шикізат материалындағы ылғалдың физикалық жылулығы | $Q_{w}$ | | |
| 6.Отынның толық жанбауынан болатын жылу шығыны | $Q_{т.ж.}$ | | | | | | |
| 7.Отын күлімен кететін жылу шығыны | $Q_{күл}$ | | | | | | |
| 8.Қоршаған ортаға кететін жылу шығыны | $Q_{қ.о.}$ | | | | | | |
| Барлығы | $Q_{шығыс}$ | | 100 | Барлығы | $Q_{кіріс}$ | | 100 |

Жылулық баланс теңдеуінің күрмеуі: $N_{ж} = \frac{100 \cdot (Q_{кіріс} - Q_{шығыс})}{Q_{кіріс}}$, *%* (7.72)

Баланс күрмеуінің мәні 0,5 % аспауы тиіс.

### 7.3.3 Пештің негізгі өлшемдерін есептеу

1. Күйдірілетін шикізат материалдары түйіршіктерінің анықталатын өлшемі:

$$d_{м} = 0{,}9 \cdot d_{мах}, \text{ м} \qquad (7.73)$$

мұнда: $d_{мах}$ – пайыздық үлесі басым фракциядағы шикізат түйіршігінің орташа өлшемі, *м*

2. Отын түйіршіктерінің анықталатын гранулометриялық құрамы және өлшемі:

| | | |
|---|---|---|
| фракция 20-40*мм* | 40% | 40 : 0,92 = 43,4 |
| 40-60*мм* | 52% | 52 : 0,92 = 56,6 |
| | 92 % | 100 |

Отынның гранулометриялық құрамының жалпы мөлшері 100 тең деп қабылданып, үлесі басым фракция үшін пайызда көрсетіліп жазылады, сонда:

$$d_{o} = \frac{100}{\frac{a_1}{d_1} + \frac{a_2}{d_2}}, \text{ м} \qquad (7.74)$$

мұнда: $a_1$, $a_2$ – анықталатын фракциядағы отын түйіршіктерінің пайыздық мөлшері, *%*

$d_1$, $d_2$ – анықталатын фракциядағы отын түйіршіктерінің орташа диаметрі, *м*

3. Себу тығыздығы 1500 *кг/м*$^3$ әк тастың 1*кг* әк алуға кететін шығын мөлшері:

$$V_{м} = \frac{G_{ш}}{1500}, \quad м^3 \qquad (7.75)$$

мұнда: $G_{ш}$ – әк тастың меншікті шығыны, *кг/кг әктас*

4. Себу тығыздығы 1000 *кг/м*$^3$ отынның 1*кг* әк алуға кететін шығын мөлшері:

$$V_{o} = \frac{Q}{Q_{төм}^{жм} \cdot 1000}, \ м^3 \qquad (7.76)$$

мұнда: $Q$ – 1*кг* әк тасты күйдіруге кететін меншікті жылу шығыны, *кДж/кг*

5. Материал көлемінің отын көлеміне қатынасы:

$$m = \frac{V_{м} + V_{o}}{V_{o}} \qquad (7.77)$$

6. Пештің беттік меншікті өнімділігі:

$$g_F = \frac{q_v \cdot d_m \cdot m}{5 \cdot Q}, \quad кг/(м^2 \cdot сағат) \tag{7.78}$$

мұнда: $q_v$ – қалыпты күйдіру режимі кезінде пештің жұмыс камерасының отын жанатын бөліміндегі жылу бөлінудің арту жиілігі, (~$880 \cdot 10^3$ $кДж/м^3 \cdot сағат$)

7. Пеш биіктігі бойынша қима кесіндісінің ішкі бет ауданы:

$$F = \frac{G_n}{g_F}, м^2 \tag{7.79}$$

мұнда: $G_n$ – пеш өнімділігі, *кг/сағат*

8. Пештің ішкі диаметрі:

$$D = \sqrt{\frac{F}{0{,}785}}, \ м \tag{7.80}$$

9. Қыздыру бөлімінің биіктігі:

$$H_{қыз} = 1{,}2 \cdot 3{,}5 \cdot g_F \cdot d_м^2 \cdot K_1 \ , м \tag{7.81}$$

мұнда: $K_1$ – коэффициент, $K_1 = \left[ \frac{1}{(g_F \cdot d_м)^{0,67}} + 0{,}8 \right]$

10. Күйдіру бөлімінің биіктігі:

$$H_{күй} = 1{,}5 \cdot 5{,}5 \cdot d_o \cdot m \cdot K_2 \ , м \tag{7.82}$$

мұнда: $K_2$ – коэффициент, $K_2 = (g_F \cdot d_м)^{0,17}$

11. Суыту бөлімінің биіктігі:

$$H_{суыт} = 1{,}2 \cdot 9 \cdot g_F \cdot d_м^2 \cdot K_1 \ , м \tag{7.83}$$

12. Пештің жалпы биіктігі:

$$H = H_{қыз} + H_{күй} + H_{суыт}, \ м \tag{7.84}$$

### 7.3.1 Материал түйіршіктері қабатының гидравликалық кедергісін есептеу

1. Күйдірілетін шикізат түйіршігінің орташа өлшемі:

$$d_м = \frac{100}{\frac{a_1}{d_1} + \frac{a_2}{d_2} + \frac{a_3}{d_3} + \frac{a_4}{d_4} + \frac{a_5}{d_5}} \quad , м \tag{7.85}$$

мұнда: $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ – шикізат фракциясының пайыздық өлшемі, %
$d_1, d_2, d_3, d_4, d_5$ – әр фракциядағы түйіршіктердің орташа өлшемі, *м*

2. Қыздыру бөлімінің гидравликалық кедергісі:

$$h_{қыз} = 0{,}00036 \cdot \frac{\beta \cdot g_F^2}{d_м} \cdot H_{қыз}, \text{ Па} \tag{7.86}$$

мұнда: $\beta$ – материал қабатының гидравликалық кедергі коэффициенті.
Рейнольдс ($\mathrm{Re} = 581 \cdot g_F \cdot d_м$) ұқсастық санына сәйкес графиктен қиылысу сызығы арқылы анықталады (7.3 сурет).

3. Күйдіру бөлімінің гидравликалық кедергісі:

$$h_{күй} = 0{,}0006 \cdot \frac{\beta \cdot g_F^2}{d_м} \cdot H_{күй}, \text{ Па} \tag{7.87}$$

мұнда: $\beta$ – материал қабатының гидравликалық кедергі коэффициенті.
Рейнольдс ($\mathrm{Re} = 412 \cdot g_F \cdot d_м$) ұқсастық санына сәйкес графиктен қиылысу сызығы арқылы анықталады (7.3 сурет).

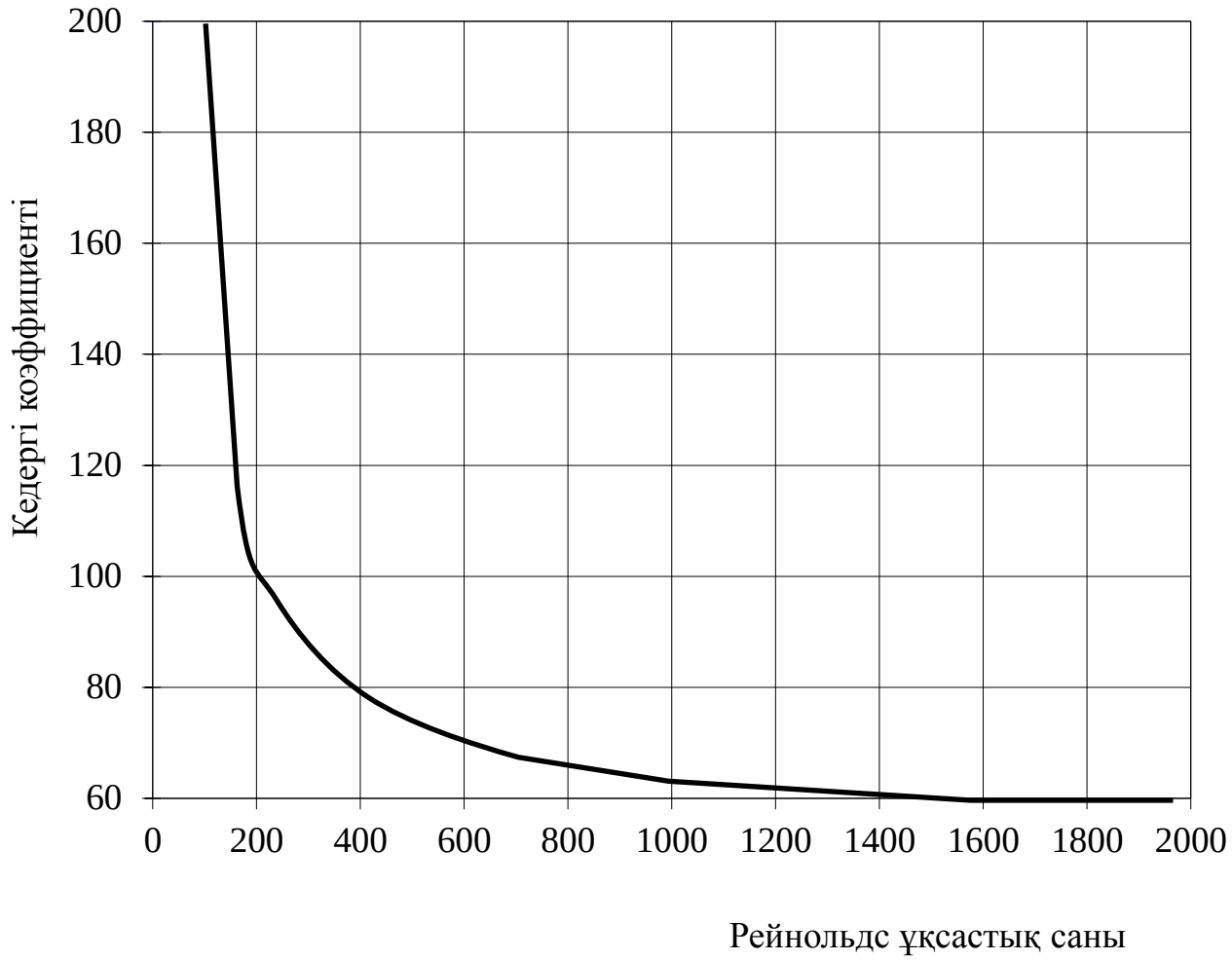
4. Суыту бөлімінің гидравликалық кедергісі:

$$h_{суыт} = 0{,}0002 \cdot \frac{\beta \cdot g_F^2}{d_м} \cdot H_{суыт}, \text{ Па} \tag{7.88}$$

мұнда: $\beta$ – материал қабатының гидравликалық кедергі коэффициенті.
Рейнольдс ($\mathrm{Re} = 370 \cdot g_F \cdot d_м$) ұқсастық санына сәйкес графиктен қиылысу сызығы арқылы анықталады (7.3 сурет).

Пештің жалпы гидравликалық кедергісі:

$$h_{пеш} = H_{қыз} + H_{күй} + H_{суыт}, \text{ Па} \tag{7.89}$$




7.3 сурет. Материалдың гидравликалық кедергі коэффициентінің ( $\beta$ ) Рейнольдс (Re) ұқсастық санына байланыстылық графигі

## 7.4. Есептеуді орындау үшін алдын-ала берілгендер

| № р/н | | Нұсқалар | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | Пеш өнімділігі, *т/тәулік* | 150 | 155 | 160 | 165 | 170 | 175 | 180 | 185 | 190 | 195 |
| 2 | Әк тас құрамы, %: $CaCO_3$ | 90 | 90 | 91 | 92 | 92 | 93 | 93 | 93 | 93 | 94 |
| | $MgCO_3$ | 4 | 3 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 |
| | $R_2O_3 + SiO_2$ | 3 | 4 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 |
| | $W_ш$ | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| 3 | Отынның құрамын анықтамадан алу қажет | Шұбаркөл кеңінің көмірі | | Екібастұз кеңінің көмірі | | Қарағанды кеңінің көмірі | | Ленгер кеңінің көмірі | | Ташқұмыр кеңінің көмірі | |
| 4 | Ауаның шығын коэффициентінің мәні: $\alpha$ | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,5 | 1,2 | 1,1 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,7 |
| 5 | Әк тас белсенділігі $a=CaO+MgO$ | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 85 | 84 | 85 |
| 6. | $CaCO_3$ ыдыраудағы жылу эффектісі, *кДж/кг* | 1583,82 | | 1583,82 | | 1583,82 | | 1583,82 | | 1583,82 | |
| 7 | $MgCO_3$ ыдыраудағы жылу эффектісі, *кДж/кг* | 1315,66 | | 1315,66 | | 1315,66 | | 1315,66 | | 1315,66 | |
| 8 | Отынның ұшқыш компоненттер шығынын қоса ескергендегі химиялық толық жанбауынан болатын жылу шығыны, % | 11 | 12 | 12 | 13 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 | 13 |
| 9 | Отынның механикалық толық жанбауынан болатын жылу шығыны, % | 5 | 5 | 6 | 5 | 5 | 5 | 6 | 4 | 5 | 5 |
| 10 | Қоршаған ортаға кететін жылу шығыны, *кДж/кг* | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| 11 | Пешке берілетін әк тастың, отынның, ауаның температурасы, $t_ш$, $t_o$, $t_a$ $^oC$ | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 12 | Пештен кететін түтінді газдар температурасы, $t_г$ $^oC$ | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| 13 | Пештен шығатын әк температурасы, $t_{әк}$ $^oC$ | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 14 | Әк тас түйіршіктерінің гранулометриялық құрамы, % фракция: 0-20 мм | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 |
| | 20-50 мм | 3 | 3 | 3 | 2 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | 50-100 мм | 40 | 38 | 40 | 36 | 38 | 42 | 35 | 40 | 41 | 40 |
| | 100-150 мм | 50 | 52 | 51 | 50 | 49 | 45 | 50 | 49 | 48 | 50 |
| | 150-180 мм | 5 | 7 | 7 | 7 | 6 | 6 | 8 | 5 | 6 | 5 |
| 15 | Отынның гранулометриялық құрамы, % фракция: 0-20 мм | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 4 | 4 | 4 | 3 |
| | 20-40 мм | 40 | 38 | 38 | 38 | 40 | 40 | 42 | 40 | 40 | 40 |
| | 40-60 мм | 52 | 54 | 53 | 52 | 52 | 50 | 48 | 49 | 50 | 52 |
| | 60 мм жоғары | 5 | 5 | 6 | 7 | 6 | 8 | 6 | 7 | 6 | 5 |
| 16 | Қалыпты күйдіру режимі кезінде пештің жұмыс камерасының отын жанатын бөліміндегі жылу бөлінудің арту жиілігі, $q_v$ *кДж/м$^3$·сағат* | $880 \cdot 10^3$ | $880 \cdot 10^3$ | $880 \cdot 10^3$ | $880 \cdot 10^3$ | $880 \cdot 10^3$ | $880 \cdot 10^3$ | $880 \cdot 10^3$ | $880 \cdot 10^3$ | $880 \cdot 10^3$ | $880 \cdot 10^3$ |

## 7.5. Студенттің өзіндік дайындалуға арналған бақылау сұрақтары

### 1. Жазбаша (ауызша) сұрақтар

1. Шахталы пештерді қандай өндірістерде қолданады?
2. Шахталы пешінің жұмыс камерасы қанша технологиялық бөлімнен тұрады?
3. Шахталы пешінің негізгі технологиялық бөлімдерін атаңыз?
4. Шахталы пешінің қабырғасы қандай материалдардан қаланады?
5. Әк тас өндірісінде қолданылатын шахталы пештер қалай жіктеледі?
6. Әк тас өндірісінде дайын өнім алу үшін қандай тау жыныстарын қолданады?
7. Төгілмелі шахталы пешінің конструкциялық ерекшеліктері қандай?
8. Төгілмелі шахталы пешінің жұмыс істеу принципін атап өтіңіз?
9. Төгілмелі шахталы пешінің ерекшеліктерін атаңыз?
10. Шахталы пештерінің өнімділігі қандай аралықта болады?
11. Шахталы пештердің жұмыс камерасының өлшемі қандай аралықта болады?
12. Төгілмелі шахталы пештерінде көбінесе қандай отын түрлерін қолданады?
13. Төгілмелі шахталы пештерінде 1 *тонна* дайын өнімге шаққандағы шартты отынның меншікті шығыны қандай аралықта болады?
14. Шахталы пештерде не үшін ұзын жалынды және ұшқыш компоненттері көп болатын отындарды қолдануға болмайды?
15. Шахталы пешінің жұмыс касерасында күйдірілетін материал және жану өнімдері арасында жылу алмасудың қайсы түрі болады?
16. Пештің жұмыс камерасындағы карбонатты тау жыныстарының диссоциациялану процесі қандай реакциялар арқылы өтеді?
17. Пештегі 1*кг* $CaCO_3$ ыдырауына шығындалатын жылу мөлшері қандай?
18. Пештегі 1*кг* $MgCO_3$ ыдырауына шығындалатын жылу мөлшері қандай?
19. Пештің жұмыс камерасына суық ауа қандай қысыммен беріледі?
20. Шахталы пештердегі әк тасты қыздыру қандай температураға дейін жүргізіледі?
21. Күйдірілген материалдар пештен қандай температурада шығырылады?

### 2. Тест сұрақтары

**1.** Шахталы пештерде қандай материалдар күйдіріледі?
А) Асбестоцемент
Б) Кірпіш
В) Бетон
Г) Шыны
Д) Әк тас
**2.** Шахталы пешінде қанша технологиялық бөлім бар?
А) 1
Б) 7
В) 5
Г) 3
Д) 10

**3.** Шахталы пештерде түтінді газдар қай бағытта қозғалады?
А) Тіке ағында
Б) Кері ағында
В) Газды айналымда
Г) Қозғалмайды
Д) Құрама түрде
**4.** Шахталы пештерде пирометриялық оттық коэффиценті қандай аралықта?
А) η=0,62÷0,72
Б) η=0,45÷0,47
В) η=0,47÷0,52
Г) η=0,52÷0,62
Д) η=0,72÷0,75
**5.** Әк тас күйдіруге арналған шахталы пешінің биіктігі қандай?
А) Н=30÷40м
Б) Н=3÷5м
В) Н=18÷24м
Г) Н=5÷10м
Д) Н=40÷50м
**6.** Әк тас күйдіруге арналған шахталы пешінің диаметрі қандай?
А) 2,5-6,2м
Б) 1-2м
В) 5-6м
Г) 5-25м
Д) 1,2-6м
**7.** Әк тасты күйдіруде қандай реакция жүреді?
А) Экзотермиялық
Б) Нейтралдану
В) Гидратация
Г) Эндотермиялық
Д) Сульфаттану
**8.** Әк тас күйдіруде қандай жылутасымалдағышты қолданады?
А) Қыздырылған бу
Б) Су буы
В) Отынның жану өнімдері
Г) Ыстық ауа
Д) Ыстық су
**9.** $CaCO_3$ диссоциациялану процесі қандай эндотермиялық реакция бойынша жүреді:
А) $CaCO_3 \leftrightarrow CaCO + O_2\uparrow$
Б) $CaCO_3 \leftrightarrow CaO + CO_2\uparrow$
В) $CaCO_3 \leftrightarrow CaO_2 + CO\uparrow$
Г) $CaCO_3 \leftrightarrow Ca + CO_3\uparrow$
Д) $CaCO_3 \leftrightarrow CaO_3 + C\uparrow$

**10.** $MgCO_3$ диссоциациялану процесі қандай эндотермиялық реакция бойынша жүреді:
А) $MgCO_3 \leftrightarrow MgO_3 + C\uparrow$
Б) $MgCO_3 \leftrightarrow MgCO + O_2\uparrow$
В) $MgCO_3 \leftrightarrow MgO_2 + CO\uparrow$
Г) $MgCO_3 \leftrightarrow Mg + CO_3\uparrow$
Д) $MgCO_3 \leftrightarrow MgO + CO_2\uparrow$
**11.** Шахталы пештерде 1 кг $CaCO_3$ ыдырауына шығындалатын жылу мөлшері қандай?
А) 1583,82 *кДж/кг*
Б) 1225,65 *кДж/кг*
В) 1165,26 *кДж/кг*
Г) 1987,35 *кДж/кг*
Д) 1697,43 *кДж/кг*
**12.** Шахталы пештерде 1 кг $MgCO_3$ ыдырауына шығындалатын жылу мөлшері қандай?
А) 1165,26 *кДж/кг*
Б) 1225,65 *кДж/кг*
В) 1315,66 *кДж/кг*
Г) 1987,35 *кДж/кг*
Д) 1697,43 *кДж/кг*
**13.** Заманауи шахталы пештеріндегі меншікті беттік өнімділік қандай аралықта болады?
А) 1÷2 *тонна/(м$^2$·тәулік)*
Б) 5÷10 *тонна/(м$^2$·тәулік)*
В) 10÷11 *тонна/(м$^2$·тәулік)*
Г) 15÷19 *тонна/(м$^2$·тәулік)*
Д) 20÷25 *тонна/(м$^2$·тәулік)*
**14.** Заманауи шахталы пештеріндегі меншікті көлемдік өнімділік қандай аралықта болады?
А) 0,6÷0,85 *тонна/(м$^3$·тәулік)*
Б) 0,3÷0,65 *тонна/(м$^3$·тәулік)*
В) 0,1÷0,25 *тонна/(м$^3$·тәулік)*
Г) 0,9÷1,65 *тонна/(м$^3$·тәулік)*
Д) 1,5÷2,25 *тонна/(м$^3$·тәулік)*
**15.** Заманауи шахталы пештеріндегі 1 *тонна* дайын өнімге шаққандағы шартты отынның меншікті шығыны қандай аралықта болады?
А) 370÷490 *кг*
Б) 270÷290 *кг*
В) 70÷90 *кг*
Г) 170÷190 *кг*
Д) 570÷890 *кг*

# 8. ЖЫЛУЫЛҒАЛДЫЛЫҚ ӨҢДЕУГЕ АРНАЛҒАН ҚОНДЫРҒЫЛАРДЫҢ НЕГІЗГІ ӨЛШЕМДЕРІН ЕСЕПТЕУ

## 8.1. Сабақ жоспары:

1. Жылуылғалдылық өңдеу режимін таңдау.
2. Қондырғының жұмыс камерасының негізгі өлшемдерін есептеу.
3. Жылуылғалдылық өңдеу қондырғысының қажетті санын және бір жылдағы жұмыс істеу циклын есептеу.

## 8.2. Теориялық бөлім

***Жылуылғалдылық өңдеу*** деп – бұйымдарды бір мезгілде жылулық ($t=60\div200\ ^oC$) және ылғал ортада ($\varphi=100\ \%$) қыздыру жүргізілетін процессті айтады. Құрылыс материалдары және бұйымдары өндірістерінде негізгі технологиялық саты ретінде жылуылғалдылық өңдеуден бетон және темірбетон бұйымдары, силикат кірпіші, күйдірусіз алынатын отқатөзімділердің кейбір түрлері, полистирол және поливинилхлорид негізіндегі композициялар және т.б. бұйымдар өткізіледі. Минералды байланыстырғыштар негізіндегі бұйымдарды ылғал ортада жылуылғалдылық өңдеу, гидратациялық реакциялар әсерінен олардың құрылымдық қатаю процесінің жылдамдылығын арттыруға, ал полимерлік материалдарда құрамындағы композициялардың ісінуіне мүмкіндік береді, нәтижесінде бұйымдар қажетті физика-механикалық және техникалық қасиеттерге тез ие болады.

Жылуылғалдылық өңдеу кезінде жылутасымалдағыш ретінде қаныққан су буын, ыстық суды және жоғары салыстырмалы ылғалдылықты қыздырылған ауаны қолданады. Жылуылғалдылық өңдеу атмосфералық қысым кезінде булау камераларында, қыздыру қондырғыларында және жоғары атмосфералық қысым кезінде автоклавтарда жүргізіледі.

Жылуылғалдылық өңдеу кезінде бұйымдарды қажетті беріктік қасиетіне иеленуіне, яғни дайын өнімнің сапасына жылулық өңдеу режимі ерекше әсер етеді.

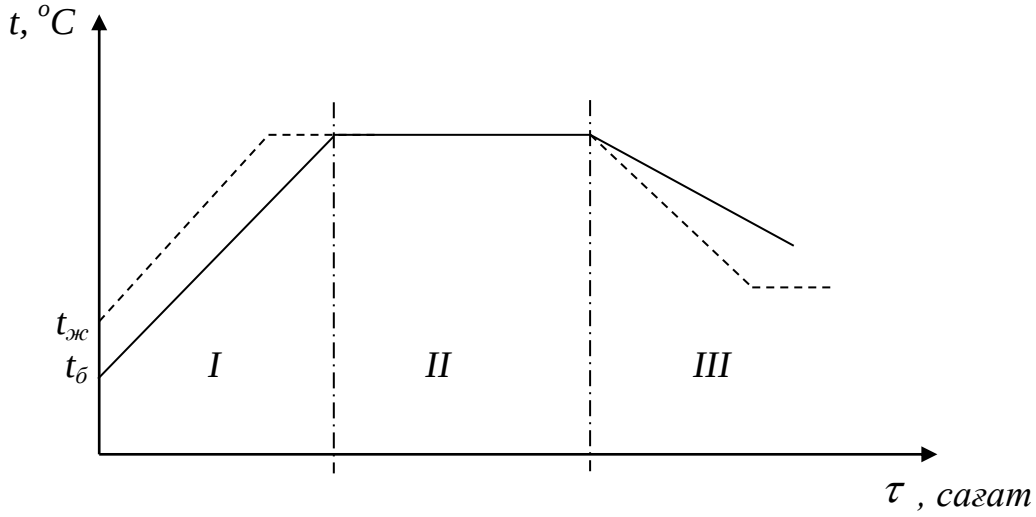
***Жылулық өңдеу режимі*** деп – бетон және темірбетон бұйымдарын жылуылғалдылық өңдеудің оңтайлы жағдайын қамтамасыз ететін жылутехникалық параметрлердің (жылутасымалдағыш температурасы, жылуылғалдылық өңдеу уақытының ұзақтығы, бұйымның қыздырылу температурасы және уақыты, т.б.) жиынтығын айтады.

Бетон және темірбетон бұйымдарының қыздырылу температурасы тұтастырғыш материалдар түріне, қыздыру тәсіліне, бұйымның құрамына, қондырғы конструкциясына және т.б. байланысты болады.

Жылулық өңдеу режимі қондырғылардың жұмыс істеу режиміне сәйкес бірнеше сатылардан тұрады: жылутасымалдағыштың максималды температурасына дейін бұйымдарды ***қыздыру***, осы температурада ***ұстап тұру*** және ***суыту***. Бірінші сатының аяқталу мерзімі, яғни қыздыру сатысының соңы ретінде бұйымдардың беткі қабатының жылутасымалдағыштың

температурасына теңескен уақытты қабылдайды. Екінші сатыны шартты түрде изотермиялық ұстап тұру сатысы деп атайды. Бұл сатының аяқталу мерзімі ретінде бұйымдардың ортаңғы қабаты температурасының беткі қабат температурасына теңескен уақытты қабылдайды. Суыту сатысында бұйымдар қыздырылмайды, яғни қондырғыға немесе оның суыту бөліміне жылутасымалдағыш берілмейді.

Қыздыру сатысы кезінде жылутасымалдағыш және бұйым арасындағы жылуалмасу әсерінен бұйымның температурасы біртіндеп көтеріледі. Қыздыру сатысының соңында олардың температуралары теңесіп, изотермиялық ұстап тұру сатысынан кейін біртіндеп төмендейді. Жылуылғылдылық өңдеу режимінің графикалық көрінісі 8.1 суретте келтірілген.




8.1 сурет. Жылуылғалдылық өңдеу сатылардың өту мерзіміне сәйкес бұйым және жылутасымалдағыш температураларының өзгеру графигі. *I* – қыздыру сатысы, *II* – изотермиялық ұстап тұру сатысы, *III* – суыту сатысы, $t_ж$ – жылутасымалдағыш температурасы, $t_б$ – бұйымның температурасы.

Полимерлік материалдарды ыстық суда қыздыру кезінде жылуылғалдылық өңдеудің соңы материалдардың ісіну процесінің аяқталуына сәйкес болады.

Әр сатының ұзақтығы бетон қоспасының жылуөткізгіштігіне, тығыздығына және тиімді толтырылуына, толтырғыш түріне, дайын өнімнің қажетті беріктігіне және бұйымның қалыңдығына байланысты болады.

Егер бетон қоспасын дайындауда тұтастырғыш материал ретінде М400 маркалы портландцемент немесе пуццоланды шлакпортландцемент және басқада төмен маркалы цементтерді қолданса, онда изотермиялық ұстап тұру температурасын ашық қалыптағы бұйымдар үшін 90÷100 $^oC$, ал жабық қалыптағы бұйымдар үшін 100÷110 $^oC$ аралығында қабылданады. Егер бетон қоспасын дайындауда тұтастырғыш материал ретінде М400 жоғары маркалы портландцемент қолданса, онда изотермиялық ұстап тұру температурасын 80÷90 $^oC$ аралығында қабылданады.

Пластифицирленген және гидрофобты цементтер негізіндегі бұйымдарды жылулық өңдеу кезінде, алдын-ала ұзақ уақыт ұстап тұруды немесе

температураны төмен жылдамдықпен көтеруді қарастыратын арнайы режимді қолданады. Глиноземді цементтер негізіндегі бұйымдарды жылулық өңдеу жүргізілмейді. Оларды тек 40÷60 $^{o}$C аралығында қыздыруға болады.

Жылуылғалдылық өңдеу процесі кезінде бетонның құрылымдық беріктігінің қалыптасуына әсер ететін бірқатар физикалық, физика-химиялық және химиялық процесстер өтеді. Бастапқы сатыда, цементтің сумен әрекеттесу нәтижесінде жүретін гидратациялық реакцияның әсерінен пайда болатын гель түріндегі ерітінді бетонның құрамындағы цемент тасының бастапқы құрылымын қалыптастырады. Гидратациялық реакция нәтижесінде цемент түйіршіктерінің ішкі және сыртқы қабаттарындағы цемент гелінің өлшемі ұлғайып, цемент түйіршіктеріне қарағанда шамамен екі есе көлемге артады. Нәтижесінде гель кәуекті қуыстардағы толтырылған ауа және ылғалды ығыстыра бастайды, яғни ауа мен ылғалдың бетон құрылымы бойынша орын ауысуын және бетонның қоршаған ортамен жылу және масса алмасу процесстерінің өтуіне мүмкіндік тудырады. Қыздыру кезінде қондырғыға жылутасымалдағыш ретінде берілетін су буы бетонға жанасып, жылуберу арқылы бетонның беткі қабатында конденцацияланады. Бұл жағдайда бетондағы және жылутасымалдағыштағы температураның және ылғал мөлшерінің өзгеруі жүреді. Бұл процесстер ***сыртқы жылу- және масса алмасу процесстері*** деп аталады. Ал, ылғал және ауаның (масса) бетонның ішкі қабатында орын ауысуы және жылуалмасу әсерінен бұйым ішіндегі температураның өзгеруі ***ішкі жылу- және масса алмасу процесстері*** деп аталады.

Бетондағы ылғал және ауаның орын ауысуы және температуралық жазықтықтың өзгеру процесстері, бұйымның жылуылғалдылық өңдеу кезіндегі қалыптасатын құрылымына әсер етеді. Егер, қалыптасатын құрылымның беріктігі температуралық кернеу тудырумен бірге қозғалатын массаның ығыстыру күшіне қарсы тұра алмаса, онда бетон құрылымының бұзылуына әкелуі мүмкін. Қыздыру жылдамдығы артқан сайын жылу- және масса алмасу процесстерінің артатынын ескере отырып, жылулық өңдеудің оңтайлы режимін таңдау қажет.

Бетон құрылымының қалыптасу реакциясының жылдамдығы жылулық өңдеудің екінші сатысында артады. Бұйымның беткі және ортаңғы қабаттарындағы температура және ылғал мөлшерінің айырмашылығы біртіндеп төмендеу нәтижесінде, құрылымның қалыптасуына қолайлы жағдай тудырады. Сонымен қатар, бұл уақытта цемент гидратациясының реакциясының ары қарай жалғасуы болады. Гель қабатының сыртқы бетіндегі пайда болған ылғал ылғал мөлшерінің төмендеу себебінен цемент түйіршіктерінің ортаңғы қабатына қарай ығысып, жаңа кристалдық құрылымдардың пайда болуын тудырады, яғни бетонның барлық құрылымы бойынша қатаю процесіне негіз болады.

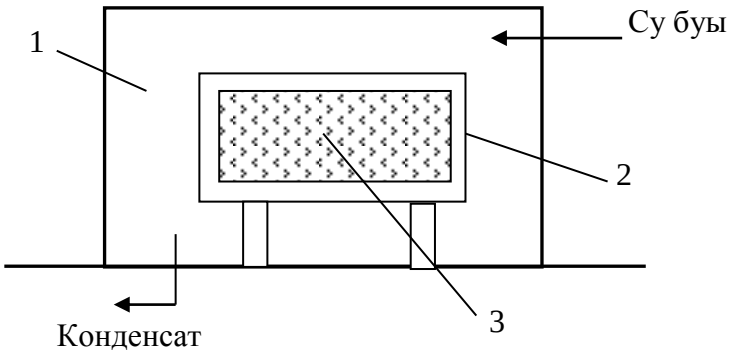
Суыту сатысында бетондағы ылғал мөлшері төмендеу нәтижесінде, кристалдық құрылымның қалыптасуы бірден артып, бұйымның толықтай қатаяды. Бірақ, бұл саты кезінде қайтадан бұйымның ортаңғы және беткі қабаттарындағы температураның және ылғал мөлшерінің айырмашылығы

туындау нәтижесінде ішкі масса алмасу процесстері артып, бетонның құрылымының қалыптасуына кері әсер етуі мүмкін.

Жоғарыда айтылғандарды ескеріп, жылуылғалдылық өңдеу режимі сатыларының оңтайлы уақытын әдебиет көздерінен, ғылыми-зерттеу және жобалау мекемелеріндегі тәжірибелер нәтижесінде анықталған шамаларға, бетон және темірбетон бұйымдарын өндіретін зауыттардағы қабылданған нақты мәндерге сәйкес қабылдайды.

***Жылуылғалдылық өңдеу тәсілдері.*** Бетон және темір бетон бұйымдары өндірістерінде жылуылғалдылық өңдеудің бірнеше тәсілдерін қолданады.

***Атмосфералық қысым кезінде қанықкан су буымен өңдеу тәсілі.*** Жылуылғалдылық өңдеудің бұл тәсілі бетон және темір бетон бұйымдары өндірістерінде негізінен кеңінен қолданылатын тәсіл болып табылады. Сондықтан бұл тәсілді көптеген бетон және темір бетон бұйымдарын өндіретін зауыттарда қолданады. Бұл тәсілде бетон бұйымдары қондырығының жұмыс камерасына ашық және жабық қалыптармен немесе қалыптан ажыраганнан кейін кіргізіледі. Жұмыс камерасына жылутасымалдағыш ретінде температурасы шамамен $t=100\ ^oC$ және салыстырмалы ылғалдылығы $\varphi=100\ \%$ болатын ылғал қанықкан су буын қолданады (8.2 сурет).



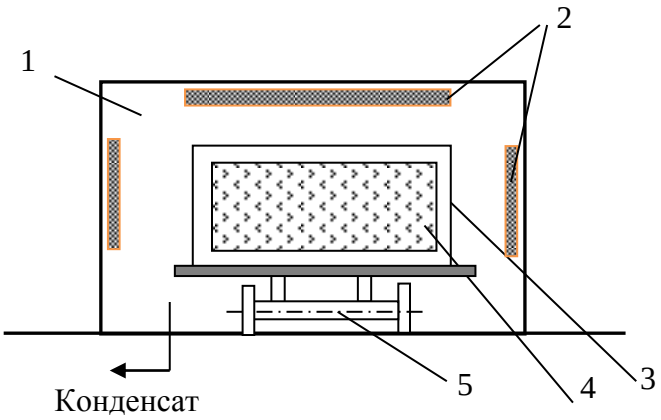

8.2 сурет. Қанықкан су буымен жылуылғалдылық өңдеу тәсілімен жұмыс істейтін қондырғының схемасы. *1* – жұмыс камерасы, *2* – металл қалып, *3* – қалыптанған бұйым.

***Құбырлы электрлі қыздырғыштармен (ҚЭҚ) қыздыру тәсілі.*** Бұл тәсіл үздіксіз режимде жұмыс істейтін саңлаулы туннельді булау камераларында кеңінен қолданылады. Қыздыру көзі ретінде айнымалы электр тоғы әсерінен сәулелік жылулық энергия шашатын құбырлы электр қыздырғыштарды қолданады. Құбырлы электрлі қыздырғыштар бұйымдар орнықтырылған вагонеткалардың қозғалысына кедергі келтірмейтіндей етіп, қондырғы қабырғасының ішкі бетіне және жұмыс камерасының қыздыру және изотермиялық ұстап тұру бөлімдеріне орнатылады.

Бұл тәсілдің қыныққан су буымен өңдеу тәсілінен айырмашылығы, жұмыс камерасына қанықкан су буы түрінде болатын жылутасымалдағыштың берілмеуі болып табылады. Ал, жұмыс камерасындағы ылғал ортаның сақталуы, сәулелік энергияның әсерінен қыздырылған бұйымдардағы ылғалдың бір бөлігінің булану нәтижесінде қамтамасыз етіледі. Бетондардағы ылғалдың

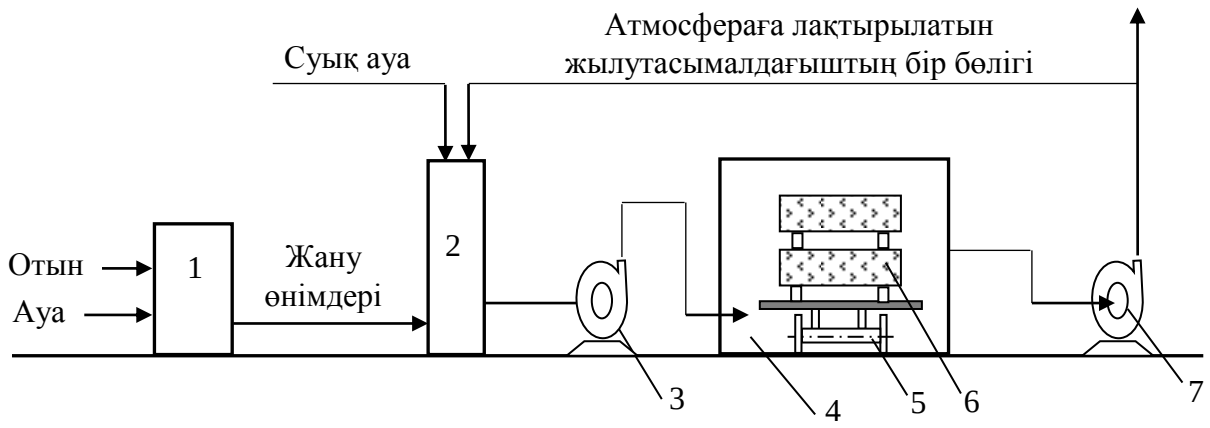
буланyы, қыздыру температурасы кезіндегі жұмыс камерасында қажетті ылғал орта пайда болғанша жүргізіледі.

Саңлаулы туннельді булау камераларында құбырлы электр қыздырғыштарды қолдану кезінде бұйымдардан буланатын ылғал мөлшері 1 $м^3$ бетонға 50÷60 *кг* суды құрайды. Құбырлы электрлі қыздырғыштармен өңдеу тәсілі кезінде электр тоғының кернеуін өзгерту нәтижесінде бұйымдардың қыздырылу температурасын реттеу мүмкіндігі жоғары болады. Бірақ, тәсілде қалыпсыз ашық бетті бұйымдарды жылулық өңдеу кезінде, ылғалдың бетондар бетінен тез булану нәтижесінде, бұйымдарда майда жарылыстардың пайда болуын тудырады (8.3 сурет).




8.3 сурет. Құбырлы электрлі қыздырғыштармен жұмыс істейтін қондырғының схемасы. *1* – жұмыс камерасы, *2* – құбырлы электрлі қыздырғыштар, *3* – металл қалып, 4 – қалыптанған бұйым, *5* – вагонетка.

***Газды жылутасымалдағыштармен өңдеу тәсілі.*** Бұл тәсілді, керамзит бетондарын өңдеу зауыттарында бұйымның соңғы ылғалдылығын төмендету мақсатымен қолданылады. Ол үшін, жұмыс камерасына жылутасымалдағыш ретінде отынның жану өнімдерін – түтінді газдарды береді. Жұмыс камерасындағы ортаның салыстырмалы ылғалдылығын қамтамасыз ету бетондағы ылғалдың бір бөлігінің булану әсерінен болады. Бұл тәсілде, жылулық қондырғысы оттық құрылғысы, араластыру камерасы және жылутасымалдағыш беру және шығару жүйелерімен бірге жұмыс істейді. Отын ретінде газды, сұйық және қатты отындарды қолданады. Отын жану нәтижесінде пайда болған жану өнімдері араластыру камерасына өтіп, ол жерде жылутасымалдағыштың қажетті бастапқы температурасын және салыстырмалы ылғалдылығын қамтамасыз ету суық ауа және өңдеуден өткен жылутасымалдағышпен араластырылады. Араластыру камерасында дайындалған жылутасымалдағышты (*t=120÷150* $^oC$) сору желдеткішімен жұмыс камерасына береді. Өңдеуден өткен жылутасымалдағыш желдеткішмен сорылып, атмосфераға лақтырылады және бір бөлігі араластыру камерасына жіберіледі. Бұл тәсілде, бұйымдарды қыздырылуы конвективті жылуалмасу әсерінен жылдам жүреді, бірақ статика заңына сәйкес, жұмыс камерасының барлық көлемі бойынша температураның біркелкілігін қамтамасыз етуде қиындық тудырады (8.4 сурет).




8.4 сурет. Газды жылутасымалдағыштармен жұмыс істейтін қондырғының схемасы. *1* – оттық құрылғысы, *2* – араластыру камерасы, *3, 7* – сору желдеткіші, 4 – жұмыс камерасы, *5* – вагонетка, *6* – қалыптанған бұйымдар.

***Жоғары жиілікті электр тоғымен өңдеу тәсілі.*** Бұл тәсілдің алдыңғы тәсілдерге қарағанда айырмашылығы жылуылғалдылық өңдеу кезінде бетонның барлық көлемі бойынша температура және ылғалдылықтың біркелкі болуын қамтамасыз етеді.

Бұйымдарды қыздыру кезінде, олардағы мөлшері бірдей оң және теріс зарядтар тұрақты тепе-теңдік күйде болады. Бұл зарядтар жоғары жиілікті электр өрісі әсерінен, бетонның құрылымы бойынша аз мөлшерде орын ауысып орнығады. Зарядтардың қозғалысы полярлану тоғын тудырады. Өз кезегінде полярлану тоғы мен өткізгіштік тоғы қыздырылатын бұйымға сіңірілетін энергияның мөлшерін анықтайды. Бұл энергия бұйымның барлық көлемі бойынша бөлінеді және оның барлық бетін біркелкі қыздырады. Егер, материал құрамы бойынша біркелкі болса, оның қыздырылуы да біркелкі болады. Ал, бетон бұйымдарының құрамы әртүрлі материалдардан болғандықтан, олардың қыздырылуы да біркелкісіз болады. Бірақ, энергияның сіңірілуі материалдардың жылуөткізгіштігіне байланысты болмағандықтан, жоғары жиілікті электр тоғымен өңдеу кезінде бұйымдарды 15÷20 минут аралығында $t=90$ $^{o}$C дейін барлық көлемі бойынша біркелкі қыздыруға болады. Қазіргі кезде, мұндай тәсілде жылуылғылдылық өңдеуге кететін шығынның мөлшері 2÷3 есе жоғары болғандықтан, экономикалық жағынан тиімсіз болып табылады.

***Атмосфералық қысымнан жоғары артық қысымда қаныққан су буымен өңдеу тәсілі.*** Жылуылғалдылық өңдеудің бұл тәсілін бетон және темір бетон бұйымдарын барлық жағы берік қоршалған қондырғыларда (автоклав) қыздыру кезінде қолданады. Мұндай жылулық қондырғылардың камерасында жұмыс қысымы $P$=0,1÷1,2 *МПа* аралығында (1÷12 *атм*.) болады. Артық қысым кезінде бетон құрылымының қатаюы және дайын өнімнің беріктігі жоғары болады. Сондықтан қазіргі кезде, артық қысымда өңдеу тәсілін тек силикат және жеңіл (жылуоқшаулықты) бетондарды ғана емес, сонымен қатар, ауыр бетондарды жылуылғалдылық өңдеу үшін қолданады.

**Жылуылғалдылық өңдеу қондырғыларының жіктелуі және конструкциялық ерекшеліктері.** Бетон және темірбетон бұйымдары өндірістерінде бұйымдарды жылуылғалдылық өңдеу үшін әртүрлі конструкциялы жылулық қондырғыларды қолданады. Жылуылғалдылық өңдеу қондырғыларының жіктелуі мына түрде жүргізіледі:

1) *жұмыс істеу режимі бойынша:* үздікті және үздіксіз режимде жұмыс істейтін;

2) *жылутасымалдағыштың түрі бойынша:* су буымен, буауа қоспасымен, ыстық сумен, газды жану өнімдерімен, электр энергиясымен және жоғары температуралық органикалық сұйықтықтармен жұмыс істейтін;

3) *жұмыс қысымы бойынша:* атмосфералық қысымда және артық қысымда жұмыс істейтін;

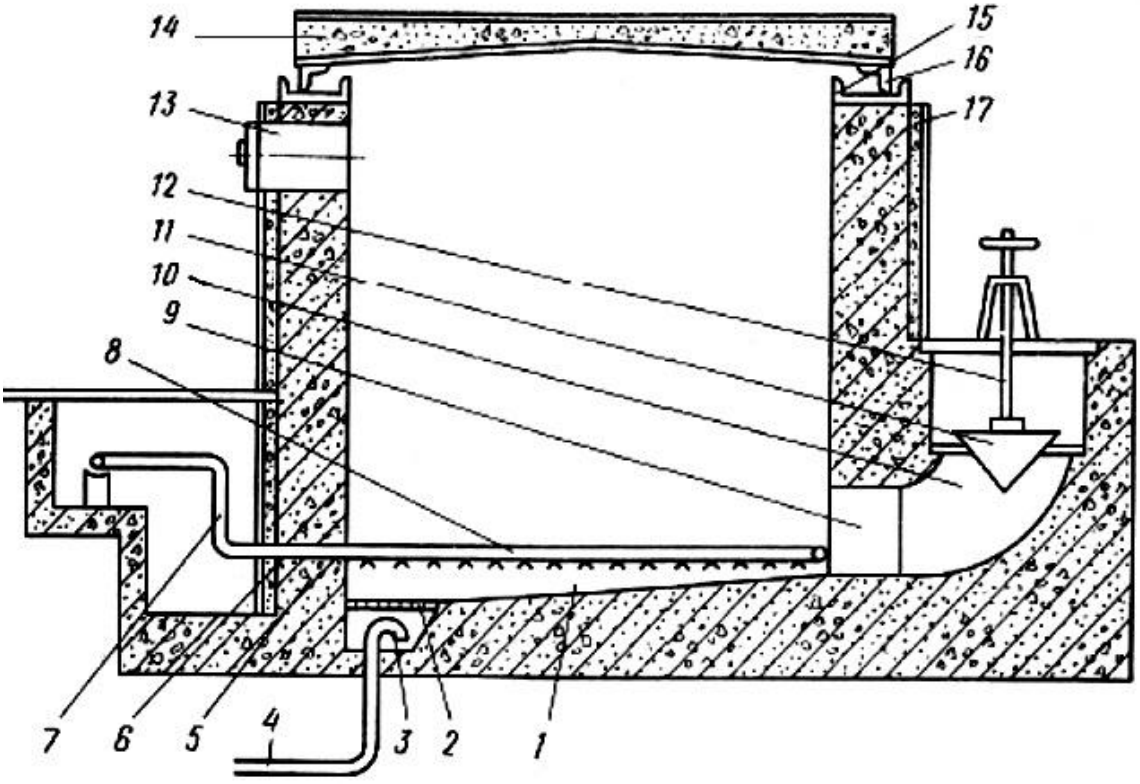
4) *жұмыс камерасының конструкциясы және жұмыс істеу принципі бойынша:* шұңқырлы камера, туннельді камера, туннельді саңлаулы және полигональды камера, туннельді көп қабатты камера, тік камера, кассетті қондырғы, пакеттеу қондырғысы, термоформа қондырғысы, автоклав қондырғысы, тербелмелі прокат қондырғысы.

***Шұңқырлы булау камерасы.*** Шұңқырлы булау камерасы конструкциясы бойынша ең қарапайым және бетон зауыттарында кеңінен қолданылатын, жұмыс істеу режимі бойынша үздікті және жылутасымалдағыш ретінде қанықкан су буымен жұмыс істейтін жылуылғалдылық өңдеу қондырғысы болып табылады. Жұмыс камерасына жылутасымалдағышты беру тәсілі бойынша шұңқырлы камера екі түрге бөлінеді: қысымды және қысымсыз.

***Қысымды шұңқырлы булау камерасы.*** Қондырғының жұмыс камерасы қолдану жағдайына және жер асты суларының деңгейіне байланысты жерге тереңдетіп қазылған тік бұрышты кеңістікті шұңқыр ретінде болады және жоғары жағы жұмыс істеуге ыңғайлы болуы үшін, цех еденінен 0,6÷0,7 *м* биіктікте немесе цех еденімен бірдей етіп орнатылады (8.5 сурет).

Қондырғының қабырғалары темірбетоннан жасалады және қоршаған ортаға кететін жылу шығыны азайту мақсатымен сыртқы беті жылуоқшаулықты материалмен *17* қапталады. Камера едені *1* конденсаттың бір жағына қарай ағу үшін еңкейтіліп жасалынады. Камера еденінің бір шетінде конденсат ағу торы *2* орнатылған. Тор астындағы шұңқырда орнатылған «Г» тәрізді конденсат ағу құбыры *3* конденсат ағу жүйесімен *4* жанасқан. Конденсат ағу құбырының қызметі жұмыс камерасындағы буды шығармай тек конденсат өткізу, бұл оның «Г» тәрізді болуымен жүзеге асырылады. Камера қабырғасының *5* бір шетінде болатын тесіктен *6* қанықкан бу беру жүйесімен жалғасқан бу беру құбыры *7* кіргізіледі. Бу беру құбыры өз кезегінде камера еденінің барлық периметрі бойынша орнатылған тесікті бу беру құбырымен *8* жалғасқан. Жылулық өңдеу кезінде тесікті бу беру құбыры арқылы жұмыс камерасына су буы беріледі. Камераның қарама-қарсы бетінде тағы бір тік бұрышты тесік *9* болады. Бұл тесік өз кезегінде суыту сатысы кезінде жылулық өңдеуден өткен буды сыртқа шығару каналымен *10* жанасқан. Қыздыру және изотермиялық ұстап тұру сатысы кезінде бұл каналдан будың сыртқа шығуын болдырмау үшін, конусты тығын *11* ортатылған. Конусты тығын жоғары-төмен көтерілу үшін, маховиктің

көмегімен жүргізілетін бұрандалы механизммен *12* жабдықталған. Конусты тығын жоғары көтерілгенде бу сыртқа шығарылады, ал төмен жылжығанда будың шығуы тоқтатылады. Тесікті тордың жоғарғы жағындағы қабырғада, яғни жылулық өңдеуден өткен бу шығатын тесікті каналға қарама-қарсы бетте, қоршаған ортадағы суық ауаның камераға берілуін қамтамасыз ететін суық ауа беру тесігі *13* орнатылған.




8.5 сурет. Қысымды шұңқырлы булау камерасы.

Жұмыс камерасына бұйымдар жоғарғы жағынан көтергіш кран көмегімен кіргізіледі. Ол үшін камераның жоғарғы бетіндегі қақпағы *14* ашылып, бұйымдар камераның қабырғасындағы кронштейді тіректерге орнатылады. Бұйымдарды орнықтыру камераның барлық көлемін барынша қолданатындай мүмкіндікте жүргізіледі және әрбір бұйым жылутасымалдағышпен жанасатындай етіп қойылады. Камера қақпағы металлды каркастан жасалынып, ортасы жылуоқшаулықты материалдармен толтырылады. Қақпақтың ішкі бетін камера едені сияқты конденсат ағуды қамтамасыз ету үшін 0,005÷0,01 бұрышта еңкейтіліп жасалынады. Камераның қоршаған ортамен жанасуын болдырмау үшін, камера қақпағының астында швеллерден *15* жасалған және қабырғаның барлық периметрі бойынша орнатылған су толтырылған кеңістік болады. Қақпақтың астынғы беті осы кеңістікпен жанасатындай етіп, барлық периметрі бойынша үшбұрыш темірмен *16* жабдықталады. Қақпақ жабылған кезде үшбұрыш темір су толтырылған швеллердің ішіне батып тұрады. Нәтижесінде, бұл сулы қабат камерадағы будың сыртқа шықпауын және қоршаған ортадағы ауаның ішке кірмеуін қамтамасыз етеді.

Жұмыс камерасының ұзындығы 7÷13 *м,* ені 1,5÷4 *м*, биіктігі 4 *м* дейін болады.

Қондырғының жұмыс істеу принципі мына түрде болады. Бұйымдарды кіргізу алдында камераның іші тазартылып, қондырғының барлық тетіктерінің (бу беру жүйесі, конусты тығын және т.б.) жұмыс істеуі тексерілгеннен кейін кран көмегімен бұйымдар кіргізіліп қақпақ жабылады. Камераның төменгі жағынан берілген бу жоғары көтеріліп, жұмыс камерасындағы ауамен араласып, буауа қоспасын түзеді. Жылулық өңдеу кезінде бұйымдарға, қабырғаға және қақпаққа жанасқан бу конденсацияланып, камера еденінен конденсат аға тесігіне қарай бағытталып, конденсат ағу құбыры арқылы сыртқа шығарылады.

Жылуылғалдылық өңдеу кезіндегі жұмыс камерасындағы буауа қоспасының қысымы атмосфералық қысымға тең болады және бу мен ауаның парциальды қысымдарының қосындысынан құралады, яғни $P_к = P_{бу} + P_{ауа}$**.** Камераға бу берілген сайын, бұйымдардың температурасы жоғарылап, қыздыру сатысының соңында максималды температураға жетеді. Бу камераға 0,105÷0,101 *МПа* қысымда беріледі.

Демек, жұмыс камерасындағы жылутасымалдағыштың максималды парциальды қысымының мәні, барлық кезде ауаның парциальды қысымына сәйкес төмен болады: $P_{бу} = P_к - P_{ауа} = 0{,}1МПа - P_{ауа}$. Нәтижесінде, жұмыс камерасындағы будың максималды температурасы барлық кезде 100 $^oC$ төмен болады.

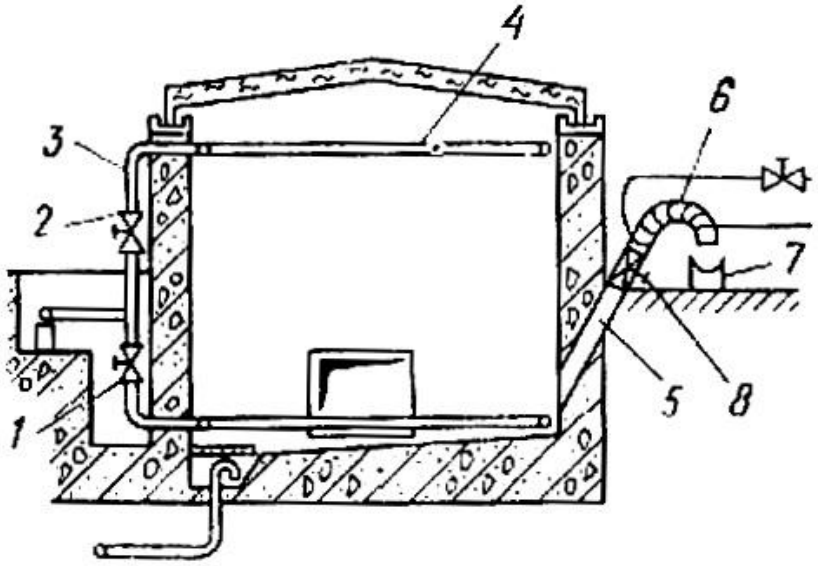
Ары қарай, изотермиялық ұстап тұру сатысы кезінде бұйымдарда химиялық реакциялар және құрылымдық қалыптасулар жүреді. Бұл сатыды камераға будың берілу мөлшері төмендетіледі. Изотермиялық ұстап тұру сатысы біткеннен кейін камераға будың берілуі тоқталылып, суыту сатысы басталады. Конусты тығын ашылып, буауа қоспасы сору жүйесі арқылы тесікті каналдан сорылып шығарылады. Суыту сатысы уақытының өту жылдамдығы буауа қоспасының шығарылу жылдамдығына сәйкес болады. Сонымен қатар, суыту процесін тездету суық ауа беру тесігін қолдануға болады.

Бұйымдарды кіргізіп шығару және жылулық өңдеу сатыларынан (қыздыру, изотермиялық ұстап тұру, суыту) құралатын шұңқырлы булау камерасының жалпы бір цикл уақыты 12÷15 *сағат* аралығында болады. 1 $м^3$ бетонға шығындалатын будың меншікті шығыны 200÷300 *кг* аралығында болады.

***Қысымсыз шұңқырлы булау камерасы.*** Қысымсыз шұңқырлы булау камерасының қысымды шұңқырлы булау камерасына қарағанда ерекшелігі бұйымдарды қыздырудың максималды температурасын 100 $^oC$ дейін жеткізуге болады. Бұл, профессор Л.А.Семеновтың шұңқырлы булау камерасының конструкциясын жетілдіру мақсатымен ендірген жаңалығы нәтижесінде іске асырылады. Л.А.Семеновтың шұңқырлы булау камерасының ерекшелігі, камераның жоғарғы жағына барлық периметрі бойынша қосымша тесікті бу беру құбыры орнатылған (8.6 сурет).

Камераға бұйымдарды кіргізіліп шығарылуы, бастапқы бу беру схемасы алдыңғы камерадағыдай болады. Бірақ, бұл кезде жоғарғы бу беру құбырының *3* вентилі *2* жабық болады. Қыздыру сатысы кезенде төменгі вентиль *1* ашылып,

камераға бу беріле бастайды және камерадағы буауа қоспасы максималды температураға жеткен кезде ($t=80\div85$ °С) төменгі вентиль жабылып, жоғарғы вентиль ашылады. Жоғарғы тесікті бу беру құбыры *4* арқылы берілген бу, камерадағы буауа қоспасынан жеңіл болғандықтан жұмыс камерасының жоғарғы бөлігін толтырып, біртіндеп буауа қоспасын төмен қарай ығыстыра бастайды. Төмен қарай ығысқан буауа қоспасы, жұмыс камерасы және қоршаған ортаны байланыстыратын кері құбыр *5* арқылы (Ø=100 *мм*) сыртқа кете бастайды. Кері құбырдың камераның сыртқы жағындағы бөлігі суық су ағатын иректелген құбырмен *6* жанасқандықтан буауа қоспасындағы бу конденцацияланып, құбырлы арық арқылы *7* ағып кетеді, ал ауа цех ішіне өтеді. Осы схема бойынша кері құбыр арқылы шығатын буауа қоспасы таусылып, жұмыс камерасы тек таза қаныққан су буымен толтырылады. Нәтижесінде, камерадағы жылутасымалдағыштың максималды температурасы $t=100$ °С болады. Бұл кезде кері құбырдың вентилі *8* жабылады.




8.6 сурет. Қысымсыз шұңқырлы булау камерасы.

Демек, жұмыс камерасындағы жылутасымалдағыштың максималды парциальды қысымының мәні, қаныққан будың парциальды қысымына тең болады: $P_{бу}=P_к=0,1МПа$. Нәтижесінде, жұмыс камерасындағы будың максималды температурасы $t$=100 $^oC$ тең болады.

Изотермиялық ұстап тұру сатысы осы температурада жүргізіледі. Суыту сатысы және бұйымдарды камерадан шығару алдыңғы камерадағыдай болып жүргізіледі. 1 $м^3$ бетонға шығындалатын будың меншікті шығыны қысымды шұңқырлы камерадағыдай 200÷300 *кг* аралығында болады.

## 8.3. Есепті орындау әдістемесі

### 8.3.1 Жылулық өңдеу режимін таңдау

Жылулық өңдеу сатылардың өтуі, яғни, қондырғының жұмыс істеуінің жалпы бір циклы ( $\tau_ц$ ) бұйымдарды камераға кіргізу тәсіліне, қондырғының жұмыс істеу принципінің ерекшелігіне байланысты қабылданады.

Шұңқырлы булау камерасының жылулық өңдеу режимі белгілі бір уақытта қайталанатын жұмыс істеу циклынан тұрады, яғни жұмыс камерасына бұйымдарды кіргізуге дайындаудан бастап, дайын өнімді сыртқа шығаруға дейінгі уақыт аралығын айтады.

Қондырғының толықтай өтетін бір цикл уақыты келесі сатылардан тұрады: бұйымдарды камераға кіргізу; жылулық өңдеу алдында ұстап тұру; бұйымдарды қажетті температураға дейін қыздыру; қажетті температура кезінде изотермиялық ұстап тұру; бұйымдарды суыту; дайын өнімді камерадан шығару.

$$\tau_ц = \tau_{кір} + \tau_{қыз} + \tau_{из} + \tau_{суыт} + \tau_{шыг}\ ,\ сағат \qquad (8.1)$$

мұнда: $\tau_{кір}$ – бұйымдарды камераға кіргізу уақыты, (1,0 ÷ 2,0) *сағат*

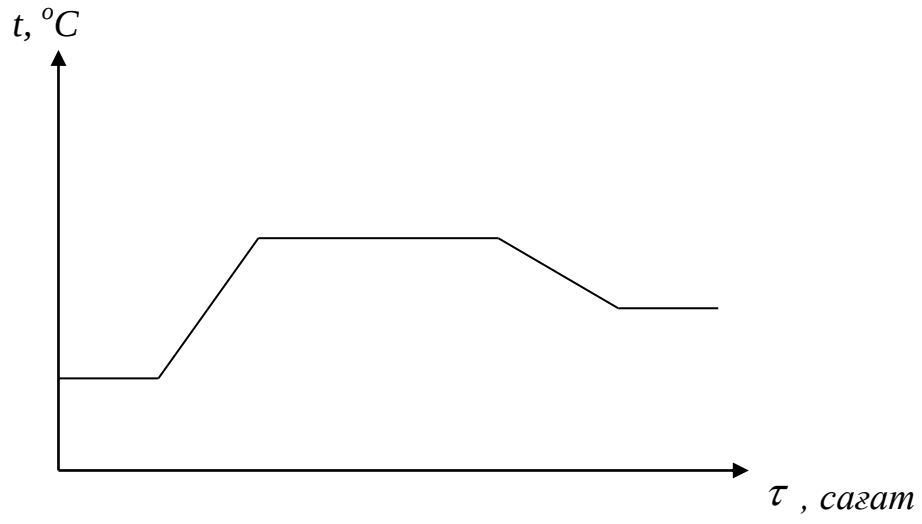
$\tau_{қыз}$ – қыздыру уақыты, *сағат*

$\tau_{из}$ – изотермиялық ұстап тұру уақыты, *сағат*

$\tau_{суыт}$ – суыту уақыты, *сағат*

$\tau_{шыг}$ – бұйымдарды камерадан шығару уақыты, (1,0 ÷ 2,0) *сағат*

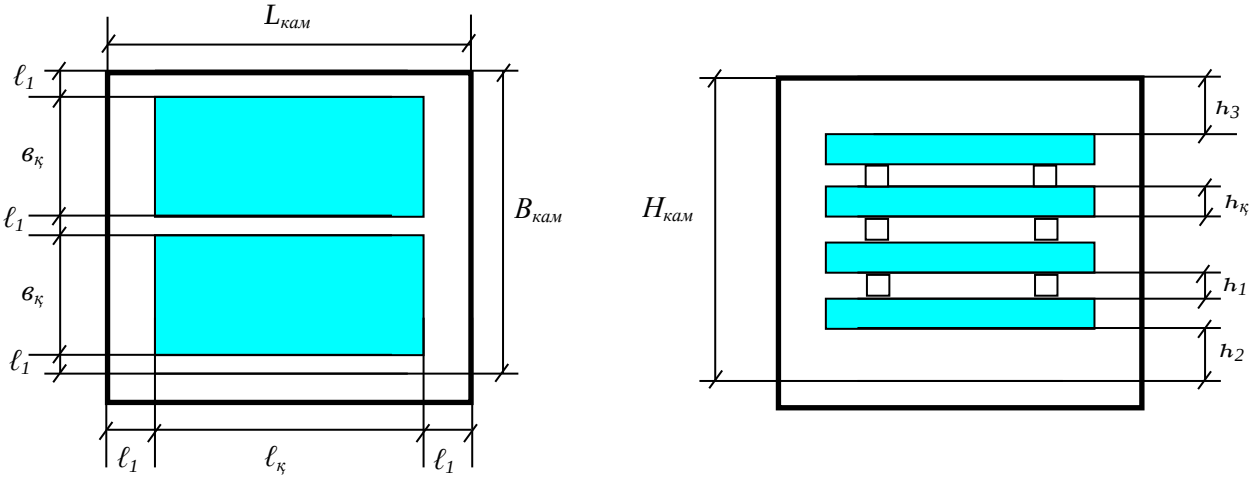
Қабылданған жылулық өңдеу режимі барлық сатылардың өту мерзімі белгіленіп график түрінде көрсетіледі (8.7 сурет).




8.7 сурет. Жылулық сатылардың өту мерзіміне сәйкес жылулық өңдеу режимінің графигі

### 8.3.2 Жұмыс камерасының негізгі өлшемдерін есептеу

Шұңқырлы булау камерасының негізгі өлшемдерін есептеу үшін алдын-ала камераға бұйымдарды тиімді орналастырудың нұсқасын анықтау қажет (8.8 сурет). Камераның өлшемі: қондырғының өнімділігіне, бұйымның номенклатурасына, қалып пішініне, бұйымдар арасындағы технологиялық саңлауларға (бұйымдар аралығы, оларды орнықтыру тіректерінің орны, камераға жоғарыдан түсіру-шығару механизмдерінің бұйымдар аралығынан өту кеңістігі және т.б.) байланысты болады.




8.8 сурет. Шұңқырлы булау камерасына бұйымдарды орнықтыру нұсқасы. $L_{кам}$ – жұмыс камерасының ұзындығы, *м*; $B_{кам}$ – жұмыс камерасының ені, *м*; $H_{кам}$ – жұмыс камерасының биіктігі, *м*; $в_қ$ – бұйымның пішініне сәйкес қалып ені, *м*; $\ell_қ$ – бұйымның пішініне сәйкес қалып ұзындығы, *м*; $\ell_1$ – өзара қалыптардың және қалыптар мен камера қабырғасының аралығы (0,1*м*); $h_қ$ – бұйымның пішініне сәйкес қалып биіктігі, *м*; $h_1$ – камера биіктігі бойынша бұйымдардың аралығы (0,03*м*); $h_2$ – камера еденімен бұйымдардың аралығы (0,15*м*); $h_3$ – камера қақпағымен бұйымдардың аралығы (0,05*м*).

Камераның ұзындығы мына формула бойынша анықталады:

$$L_{кам} = \ell_қ \cdot n_1 + (n_1 + 1) \cdot \ell_1 \ , \ м \qquad (8.2)$$

мұнда: $\ell_қ$ – бұйымның пішініне сәйкес қалып ұзындығы, *м*

$\ell_қ = \ell_{бұй} + (0{,}2 \div 0{,}3)$, *м*

$\ell_{бұй}$ – бір бұйымның ұзындығы, *м*

$n_1$ – камераның ұзындығы бойынша қалыптар саны, типтік қондырғының жұмыс камерасының нормативті ұзындығын (7,0 ÷ 13*м*) ескеріп қабылданады, *дана*

Камераның ені мына формула бойынша анықталады:

$$B_{кам} = в_қ \cdot n_2 + (n_2 + 1) \cdot \ell_1 \ , \ м \qquad (8.3)$$

мұнда: $в_қ$ – бұйымның пішініне сәйкес қалып ені, $в_қ = в_{бұй} + (0{,}2 \div 0{,}3)$, *м*

$в_{бұй}$ – бір бұйымның ені, *м*

$n_2$ – камераның ені бойынша қалыптар саны, типтік қондырғының камерасының нормативті енін (1,5 ÷ 4*м*) ескеріп қабылдайды, *дана*

Камераның биіктігі мына формула бойынша анықталады:

$$H_{кам} = (h_қ + h_1) \cdot n_3 + h_2 + h_3 \ , \ м \qquad (8.4)$$

мұнда: $h_қ$ – бұйымның пішініне сәйкес қалып биіктігі, $h_қ = h_{бұй} + (0{,}2 \div 0{,}3)$, *м*

$h_{бұй}$ – бір бұйымның биіктігі, *м*

$n_3$ – камераның биіктігі бойынша қалыптар саны, типтік қондырғының камерасының нормативті биіктігін (≤4м) ескеріп қабылдайды, *дана*

Камераның көлемі мына формула бойынша анықталады:

$$V_{кам} = L_{кам} \cdot B_{кам} \cdot H_{кам} , \quad м^3 \qquad (8.5)$$

Шұңқырлы булау камерасындағы бұйымдар саны мына формула бойынша анықталады:

$$D_{кам} = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 , \quad дана \qquad (8.6)$$

### 8.3.3 Қондырғының қажетті санын есептеу

Үздікті режимде жұмыс істейтін жылулық қондырғылардың бір тәуліктегі жұмыс істеу циклдарының саны:

$$П_ц = \frac{24}{\tau_ц} \ , \ дана/тәулік \qquad (8.7)$$

мұнда: ($\tau_ц$) – қондырғының жұмыс істеуінің жалпы бір циклы, *сағат*

Өнімнің ($м^3$) бойынша қондырғының жобалық тәуліктік өнімділігі мына формула бойынша анықталады:

$$V_{тәу} = \frac{V_{жоба}}{365 - \tau_{жос} - \tau_{дем}} \ , \quad м^3/тәулік \qquad (8.8)$$

мұнда: $V_{жоба}$ – қондырғының жылдық жобалық өнімділігі, $м^3/жыл$

$\tau_{жос}$ – өндірістегі қондырғыны жоспарлы жөндеуге шығындалатын уақыт мерзімі, (7 ÷ 20) *тәулік* аралығында қабылданады

$\tau_{дем}$ – бір жылдағы демалыс және мейрам күндері, *тәулік*

Өнімнің (*дана*) бойынша қондырғының жобалық тәуліктік өнімділігі мына формула бойынша анықталады:

$$D_т = \frac{V_т}{V_б}, \quad дана/тәулік \tag{8.9}$$

мұнда: $V_{бұй}$ – бір бұйымның көлемі, $м^3$

Қондырғының бір циклдағы өнімділігі:

$$V = \frac{V_т}{П_ц}, \; м^3/цикл \tag{8.10}$$

$$D = \frac{D_т}{П_ц}, \; дана/цикл \tag{8.11}$$

Қондырғының қажетті санын есептеу мына формула бойынша жүргізіледі:

$$T_{қон} = \frac{D_{қон}}{D_{кам} \cdot \eta_{кам}}, \; дана \tag{8.12}$$

мұнда: ($\eta_{кам}$) – қондырғының қолдану коэффициенті – 0,87

Қондырғының толтырылу ($К_{тол}$) және бұйымдарды камераға орнықтыру ($К_{орн}$) коэффициенттері мына формулалар бойынша анықталады:

$$К_{тол} = \frac{V_{қал} \cdot D_{кам}}{V_{кам}}; \tag{8.13}$$

$$К_{орн} = \frac{V_{қон}}{V_{кам}} \tag{8.14}$$

мұнда: $V_{қал}$ – бір бұйымның қалыппен бірге көлемі, $м^3$

$V_{қал} = \ell_қ \cdot в_қ \cdot h_қ$, $м^3$

Қондырғының толтырылу ($К_{тол}$) және бұйымдарды камераға орнықтыру ($К_{орн}$) коэффициенттерінің дұрыстығы 8.1 кестеге сәйкес белгіленеді. Бұл мәндердің кестедегі мәндермен сәйкестігі алшақ болған жағдайда, бұйымдарды камераға толтыру және орнықтырудың оңтайлы тәсілін таңдайды.

8.1 кесте. Бұйымдарды камераға толтыру және орнықтыру коэффициенттері

| Бұйым түрі | $К_{тол}$ | $К_{орн}$ |
|---|---|---|
| Қуысты плиталар | 0,86 | 0,35 |
| Плиталар | 0,78 | 0,27 |
| Іргетас блоктары | 0,42 | 0,39 |

## 8.4 Есептеуді орындау үшін алдын-ала берілгендер

| Вари-ант | Бұйым түрі | Бұйым көлемі, $V_{бұй}$, $м^3$ | Бұйым ұзындығы, $\ell_{бұй}$, $м$ | Бұйым ені, $в_{бұй}$, $м$ | Бұйым биіктігі, $h_{бұй}$, $м$ | Қондырғы өнімділігі, $V_{жоба}$, $м^3/жыл$ | Жылулық өңдеу режимі, *сағат* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | $\tau_{қыз}$ | $\tau_{из}$ | $\tau_{суыт}$ |
| 1. | Іргетас плитасы | 0,78 | 2,0 | 1,18 | 0,5 | 10000 | 5,0 | 3,5 | 2,5 |
| 2. | Іргетас плитасы | 0,91 | 2,4 | 1,18 | 0,5 | 8500 | 3,8 | 4,5 | 5,5 |
| 3. | Іргетас плитасы | 1,13 | 2,8 | 1,18 | 0,5 | 9700 | 3,0 | 5,0 | 2,0 |
| 4. | Іргетас блогы | 0,815 | 2,38 | 0,6 | 0,58 | 8900 | 4,0 | 5,0 | 3,0 |
| 5. | Іргетас блогы | 0,331 | 1,18 | 0,6 | 0,58 | 11520 | 2,5 | 10,0 | 1,5 |
| 6. | Іргетас блогы | 0,398 | 1,18 | 0,6 | 0,58 | 9500 | 3,5 | 10,0 | 2,0 |
| 7. | Іргетас балкасы | 0,71 | 4,75 | 0,4 | 0,2 | 6840 | 3,0 | 6,0 | 2,0 |
| 8. | Іргетас балкасы | 0,6 | 5,05 | 0,4 | 0,2 | 7500 | 4,0 | 6,0 | 2,5 |
| 9. | Іргетас балкасы | 0,57 | 4,75 | 0,4 | 0,2 | 8600 | 2,5 | 8,0 | 1,5 |
| 10. | Тірек плитасы | 0,12 | 0,77 | 0,51 | 0,3 | 9600 | 3,5 | 8,0 | 2,0 |
| 11. | Тірек плитасы | 0,12 | 0,77 | 0,51 | 0,3 | 12000 | 3,0 | 8,0 | 2,0 |
| 12. | Тірек плитасы | 0,015 | 0,4 | 0,4 | 0,09 | 8800 | 4,5 | 8,0 | 2,5 |
| 13. | Қабырға панелі | 1,147 | 2,98 | 1,48 | 0,3 | 9560 | 3,5 | 3,0 | 3,5 |
| 14. | Қабырға панелі | 1,379 | 2,98 | 1,78 | 0,3 | 6985 | 4,5 | 3,0 | 3,5 |
| 15. | Қабырға панелі | 1,844 | 2,98 | 2,38 | 0,3 | 6780 | 3,0 | 4,0 | 2,0 |
| 16. | Текпішек алаңы | 0,438 | 2,8 | 1,14 | 0,35 | 8900 | 4,0 | 4,0 | 3,0 |
| 17. | Текпішек алаңы | 0,478 | 2,8 | 1,29 | 0,35 | 7650 | 3,5 | 4,0 | 2,5 |
| 18. | Қуысты плита | 0,6 | 4,18 | 1,19 | 0,22 | 8900 | 4,5 | 4,0 | 3,5 |
| 19. | Қуысты плита | 0,51 | 3,58 | 1,19 | 0,22 | 11500 | 3,5 | 5,0 | 2,5 |
| 20. | Қуысты плита | 0,43 | 2,98 | 1,19 | 0,22 | 7900 | 4,5 | 5,5 | 3,0 |
| 21. | Қуысты плита | 0,39 | 2,68 | 1,19 | 0,22 | 8800 | 4,0 | 2,0 | 4,5 |
| 22. | Қуысты плита | 0,35 | 2,38 | 1,19 | 0,22 | 9750 | 3,0 | 1,5 | 4,0 |
| 23. | Қуысты плита | 0,49 | 4,18 | 0,99 | 0,22 | 10500 | 2,8 | 3,4 | 3,4 |
| 24. | Қуысты плита | 0,42 | 3,58 | 0,99 | 0,22 | 10275 | 3,5 | 5,5 | 3,0 |
| 25. | Қуысты плита | 0,35 | 2,98 | 0,99 | 0,22 | 7850 | 4,6 | 2,0 | 2,8 |
| 26. | Жабын плита | 0,565 | 5,97 | 1,49 | 0,3 | 6850 | 5,5 | 2,0 | 2,9 |
| 27. | Жабын плита | 0,615 | 5,97 | 1,49 | 0,3 | 9800 | 5,0 | 3,0 | 4,5 |
| 28. | Жабын плита | 0,39 | 2,78 | 1,19 | 0,12 | 10000 | 2,7 | 3,0 | 5,0 |
| 29. | Жабын плита | 0,43 | 2,98 | 1,19 | 0,12 | 11500 | 2,9 | 2,5 | 6,0 |
| 30. | Жабын плита | 0,45 | 3,18 | 1,19 | 0,12 | 10750 | 3,0 | 2,5 | 2,5 |
| 31. | Карниздік плита | 0,89 | 5,98 | 0,75 | 0,24 | 9600 | 3,5 | 2,5 | 2,5 |
| 32. | Карниздік плита | 0,096 | 1,18 | 1,0 | 0,09 | 9500 | 4,0 | 3,8 | 3,0 |
| 33. | Карниздік плита | 0,072 | 1,18 | 0,75 | 0,09 | 8700 | 4,2 | 3,7 | 4,0 |
| 34. | Ригель | 0,45 | 2,56 | 0,565 | 0,45 | 9760 | 4,5 | 3,0 | 4,5 |
| 35. | Ригель | 0,42 | 2,56 | 0,482 | 0,45 | 10900 | 6,0 | 3,0 | 2,5 |
| 36. | Ригель | 0,34 | 2,56 | 0,382 | 0,45 | 10760 | 6,5 | 2,9 | 2,0 |
| 37. | Жабын плита | 1,01 | 7,18 | 1,19 | 0,22 | 8760 | 5,0 | 3,0 | 3,0 |
| 38. | Жабын плита | 1,34 | 7,18 | 1,49 | 0,22 | 9750 | 3,8 | 2,5 | 4,5 |
| 39. | Парапет плита | 0,048 | 1,49 | 0,4 | 0,1 | 6800 | 4,0 | 2,5 | 5,5 |
| 40. | Парапет плита | 0,072 | 1,49 | 0,6 | 0,1 | 7900 | 5,0 | 2,5 | 3,5 |
| 41. | Жабын плита | 0,35 | 2,99 | 1,16 | 0,1 | 10700 | 2,0 | 10,0 | 2,8 |
| 42. | Жабын плита | 0,44 | 2,99 | 1,48 | 0,1 | 10860 | 3,8 | 5,5 | 2,9 |
| 43. | Жабын плита | 0,66 | 2,99 | 1,84 | 0,12 | 9530 | 4,5 | 5,0 | 3,7 |
| 44. | Жабын плита | 0,66 | 2,99 | 1,84 | 0,12 | 8630 | 5,5 | 3,0 | 3,0 |

## 8.5. Студенттің өзіндік дайындалуға арналған бақылау сұрақтары

### 1. Жазбаша (ауызша) сұрақтар

1. Жылуылғалдылық өңдеу кезінде жылутасымалдағыштың температурасы және салыстырмалы ылғалдылығы қандай аралықта болады?
2. Жылуылғалдылық өңдеу режимі қандай сатылардан тұрады?
3. Жылуылғалдылық өңдеу кезінде сыртқы және ішкі жылу- және масса алмасу процестері қалай жүреді?
4. Бетон және темір бетон бұйымдары өндірістерінде жылуылғалдылық өңдеудің қандай тәсілдерін қолданады?
5. Атмосфералық қысым кезінде қанықкан су буымен өңдеу тәсілінің ерекшеліктері қандай?
6. Құбырлы электрлі қыздырғыштармен қыздыру тәсілі нің ерекшеліктері қандай?
7. Газды жылутасымалдағыштармен өңдеу тәсілінің ерекшеліктері қандай?
8. Жоғары жиілікті электр тоғымен өңдеу тәсілі нің ерекшеліктері қандай?
9. Атмосфералық қысымнан жоғары артық қысымда қанықкан су буымен өңдеу тәсілі нің ерекшеліктері қандай?
10. Жылуылғалдылық өңдеу қондырғылары қандай көрсеткіштер бойынша жіктеледі?
11. Қысымды шұңқырлы булау камерасының конструкциялық ерекшеліктері және жұмыс істеу принципі қандай?
12. Қысымсыз шұңқырлы булау камерасының конструкциялық ерекшеліктері және жұмыс істеу принципі қандай?
13. Шұңқырлы булау камераларында бұйымдарды камераға толтыру және орнықтыру коэффициенттері қандай аралықта болады?

### 2. Тест сұрақтары

**1.** Қандай құрылыс бұйымдары жылуылғалдылық өңдеу арқылы алынады?
А) шатырқыш
Б) керамзит
В) кірпіш
Г) плитка
Д) темірбетон
**2.** Қандай жылулық өңдеу түрі жылуылғалдылық деп аталады?
А) Салқын ортада өтетін процесс
Б) Құрғақ ортада өтетін процесс
В) Қайнау ортада өтетін процесс
Г) Ылғал ортада өтетін процес
Д) Вакуммды ортада өтетін процесс
**3.** Жылуылғалдылық өңдеу кезінде қанықкан будың ылғалдылығы қандай?
А) $\varphi=100\%$
Б) $\varphi=5\%$

В) φ=15%
Г) φ=25%
Д) φ=50%
**4.** Жылуылғалдылық өңдеу қандай сатылардан тұрады?
А) Қыздыру-суыту-вакуумдеу
Б) Қыздыру-суыту-күйдіру
В) Қыздыру-изотермиялық ұстап тұру-суыту
Г) Қыздыру-күйдіру-суыту
Д) Кептіру-күйдіру-суыту
**5.** Қалыптанған бетон бұйымдарының беріктігін арттыру үшін қолданады:
А) Булау
Б) Кептіру
В) Күйдіру
Г) Қайнату
Д) Балқыту
**6.** Қалыптанған бұйымдар шұңқырлы камераға қалай кіргізіледі?
А) Вагонеткамен
Б) Құбырмен
В) Барабанмен
Г) Форсунка
Д) Кранмен
**7.** Үздікті режимде жұмыс істейтін жылуылғалдылық қондырғыларды атаңыз:
А) Шұңқырлы камера, кассетті қондырғы, пакеттеу қондырғысы, автоклав
Б) Тік булау камерасы, кассетті қондырғы, пакеттеу қондырғысы, автоклав
В) Көлденеңді булау камера, кассетті қондырғы, пакеттеу қондырғысы, автоклав
Г) Саңлаулы булау камера, кассетті қондырғы, пакеттеу қондырғысы, автоклав
Д) Полигональды булау камера, кассетті қондырғы, пакеттеу қондырғысы, автоклав
**8.** Бетон бұйымдарын жылуылғалдылық өңдеуге арналған ең қарапайым жылулық қондырғы түрін атаңыз:
А) Тік булау камерасы
Б) Шұңқырлы булау камерасы
В) Термоформа
Г) Автоклав
Д) Полигональды булау камерасы
**9.** Профессор Семеновтың қысымсыз шұңқырлы булау камерасының ерекшелігін атаңыз?
А) Өнімділігі 3 есе жоғары
Б) Ірі пішінді бұйымдарды булауға болады
В) Силикатты кірпішті булауға болады
Г) Булау 100 $^0$С кезінде өтеді
Д) Бетон 3 есе тез қатаяды
**10.**Бетон бұйымдарын жылуылғалдылық өңдеу режимі деп нені айтады?
А) Булау камерасындағы булы орта температурасының уақыт бойынша өзгеруі

Б) Булау камерасындағы булы орта ылғалдылығының уақыт бойынша өзгеруі
В) Изотермиялық ұстап тұру процесі кезіндегі болатын максимальды температура мәні
Г) Изотермиялық ұстап тұру және қыздыру сатылары кезіндегі булы орта температурасының мәні
Д) Суыты сатысы кезіндегі булы орта температурасының мәні
**11.**Қысымсыз шұңқырлы булау камерасына бу қалай беріледі?
А) Бу конусты клапан арқылы беріледі
Б) Алдымен төменгі жағынан, содан кейін жоғарғы жағынан
В) Бу берілмейді
Г) Бу төменгі жағынан беріледі
Д) Бу жоғарғы жағынан беріледі
**12.**Шұңқырлы булау камераларында жылуылғалдылық өңдеу режимі қандай аралықта болады?
А) 15-20 сағат
Б) 12-15 сағат
В) 2-5 сағат
Г) 1-2 сағат
Д) 50-100 сағат
**13.**Шұңқырлы камерада 1 $м^3$ бетонға қанша бу шығындалады?
А) 500-700 $кг/м^3$
Б) 100-150 $кг/м^3$
В) 200-300 $кг/м^3$
Г) 120-180 $кг/м^3$
Д) 700-800 $кг/м^3$
**14.**Бетондарды шұңқырлы камерада жылуылғалдылық өңдеу қанша сатыдан тұрады?
А) 1
Б) 7
В) 5
Г) 3
Д) 10
**15.**Шұңқырлы булау камерасының биіктігі?
А) 10-20м
Б) 5-6м
В) 1-1,5м
Г) 5-10м
Д) 1,5-4м
**16.**Бетон бұйымдарын жылуылғалдылық өңдеу сатыларын өту реті бойынша орналастырыңыз:
А) Қыздыру>изотермиялық ұстап тұру>күйдіру
Б) Изотермиялық ұстап тұру>қыздыру>суыту
В) Суыту>изотермиялық ұстап тұру>қыздыру
Г) Ұсақтау>изотермиялық ұстап тұру>суыту
Д) Қыздыру>изотермиялық ұстап тұру>суыту

**17.**Шұңқырлы булау камерасында жылулық өңдеу процесі кезінде жылутасымалдағыштың қысымы қандай аралықта болады:
А) 0,1 МПа
Б) 0,001 МПа
В) 0,01 МПа
Г) 0,5 МПа
Д) 0,7 МПа
**18.**Жылулылғалдылық өңдеудің қыздыру сатысында материалдың температурасы қалай өзгереді:
А) балқу температурасына жақын болады
Б) ортаңғы бөлігіндегі температура > сыртқы бетіндегі температура
В) ортаңғы бөлігіндегі температура = сыртқы бетіндегі температура
Г) өзгермейді
Д) ортаңғы бөлігіндегі температура < сыртқы бетіндегі температура
**19.**Жылулылғалдылық өңдеудің изотермиялық ұстап тұру сатысында материалдың температурасы қалай өзгереді:
А) өзгермейді
Б) ортаңғы бөлігіндегі температура > сыртқы бетіндегі температура
В) ортаңғы бөлігіндегі температура < сыртқы бетіндегі температура
Г) ортаңғы бөлігіндегі температура = сыртқы бетіндегі температура
Д) балқу температурасына жақын болады
**20.**Жылулылғалдылық өңдеудің суыту сатысында материалдың температурасы қалай өзгереді:
А) ортаңғы бөлігіндегі температура > сыртқы бетіндегі температура
Б) ортаңғы бөлігіндегі температура = сыртқы бетіндегі температура
В) ортаңғы бөлігіндегі температура < сыртқы бетіндегі температура
Г) Өзгермейді
Д) Балқу температурасына жақын болады
**21.**Шұңқырлы қысымды булау камерасының изотермиялық ұстап тұру сатысындағы ортаның температурасы қандай?
А) 65-75$^0$С
Б) 90-100$^0$С
В) 150-160$^0$С
Г) 10-50$^0$С
Д) 30-40$^0$С
**22.**Шұңқырлы қысымсыз булау камерасының изотермиялық ұстап тұру сатысындағы ортаның температурасы қандай?
А) 95-100$^0$С
Б) 50-60$^0$С
В) 150-160$^0$С
Г) 10-50$^0$С
Д) 30-40$^0$С

# 9. ЖЫЛУЫЛҒАЛДЫЛЫҚ ӨҢДЕУГЕ АРНАЛҒАН ҚОНДЫРҒЫЛАРДЫҢ ЖЫЛУЛЫҚ БАЛАНСЫН ЕСЕПТЕУ

## 9.1. Сабақ жоспары:

1. Қыздыру сатысы кезіндегі жылуылғалдылық өңдеу қондырғысының жылулық балансын есептеу.
2. Изотермиялық ұстап тұру сатысы кезіндегі жылуылғалдылық өңдеу қондырғысының жылулық балансын есептеу.
3. Қондырғының бір циклдағы жұмыс істеу кезіндегі толық шығындалатын будың меншікті шығынын есептеу

## 9.2. Теориялық бөлім

Жылуылғалдылық өңдеуді – тұтастырғыш материалдар негізінде жасалатын кейбір құрылыс материалдары өндірісінде, мысалы силикат кірпішіне, бетон және темірбетон бұйымдарына беріктік, ұзақ мерзімде сақталу және т.б. қасиеттерін беру үшін қолданады. Жылуылғалдылық өңдеу кезінде бұйымдардың қыздырылуы салыстырмалы төмен температурасы кезінде ($t=60\div200\ ^oC$) ылғал ортада жүргізіледі. Бұйымдарды ылғал ортада булау, оларда болатын гидратациялық реакциялар жылдамдылығын арттыруға мүмкіндік береді, нәтижесінде бұйымдар қажетті физика-механикалық және техникалық қасиеттерге тез ие болады. Мысалы, силикат кірпішін дайындау үшін шикізат ретінде қолданатын кремнезем құмы мен әктің өзара әрекеттесуі ылғал және ыстық ортада келесі реакция нәтижесінде кальций гидросиликатының жылдам тез түзілуіне әкеліп, дайын өнімнің беріктігінің жоғарылауына мүмкіндік береді.

$$SiO_2 + Ca(OH)_2 = CaO\cdot SiO_2\cdot H_2O$$

Бұйымдарды жылуылғалдылық өңдеу кезінде жылу көзі ретінде көбінесе қаныққан су буын қолданады. Жылулық қондырғылардағы су буының қысымы $P$=0,1÷1,2 *МПа* аралығында (1÷12 *атм*.) болады. Силикат кірпішін жоғары қысымда өңдеу автоклав қондырғыларында жүреді.

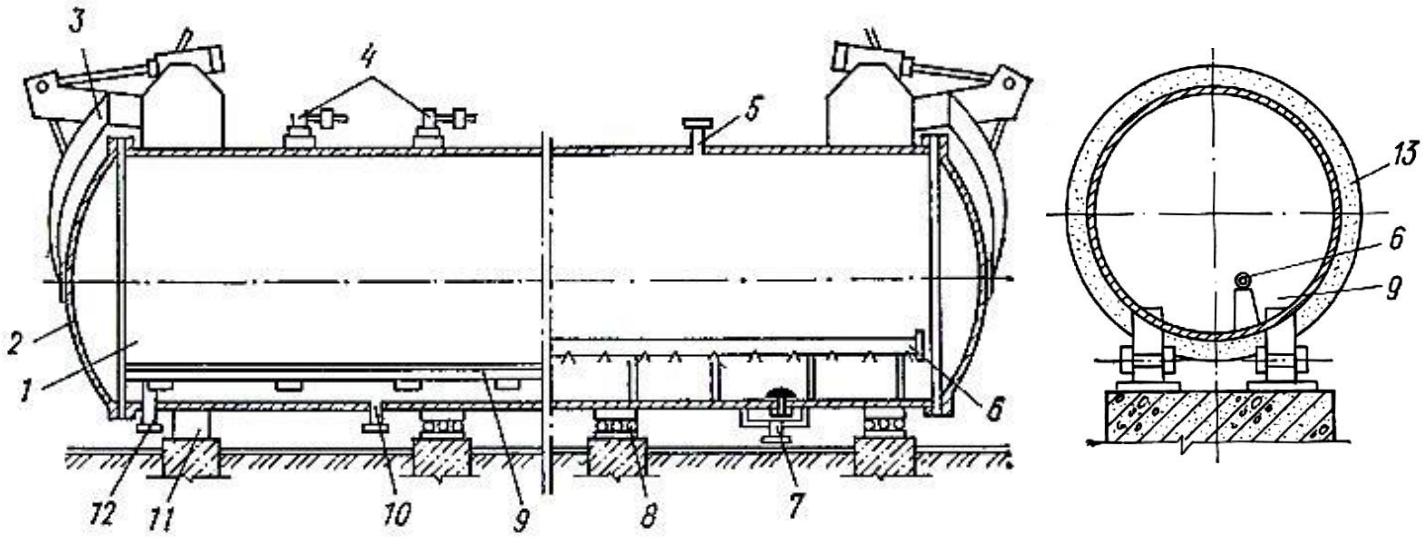
Автоклав – деп көлденеңінен орнатылған жұмыс камерасы цилиндр тәріздес кеңістіктен тұратын, үздікте режимде жұмыс істейтін жылуылғалдылық қондырғыны айтады. Автоклав қондырғысы жоғары қысымда (8÷12 *атм*.) жұмыс істегендіктен, бұйымдар кіргізіліп, шығарылатын есіктері мықты етіп бекітілуі тиіс. Қондырғының негізгі өлшемдері ретінде жұмыс камерасының диаметрі және ұзындығы болып саналады. Автоклав жұмыс камерасы диаметрінің өлшемі 2,0÷3,6 *м* аралығында, ұзындығының өлшемі 17,0÷21,0 *м* аралығында болады (9.1 кесте).

Автоклав қондырғысының цилиндрлі қаңқасы *1* мықты болат темірден жасалады (9.1 сурет). Цилиндрлі қаңқаның сыртқы беті жылуоқшаулықты материалмен *13* қапталады. Бұйымдардың жұмыс камерасына кіргізілуі цилиндрдің екі жағындағы есіктер *2* арқылы жүргізіледі.

9.1 кесте. Автоклавтың техникалық сипаттамалары

| Көрсеткіштері | Автоклавтар маркалары | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 118941 | СМ-1268 | СМ-1264 | СМ-1263 | СМ-1924 | СМ-1039 | АВ30/8а |
| Автоклав типтері | өтпелі | тұйық | өтпелі | өтпелі | өтпелі | тұйық | өтпелі |
| Ішкі диаметрі, *мм* | 2000 | 2000 | 2000 | 2600 | 3600 | 3600 | 3600 |
| Ұзындығы, *мм* | 17180 | 17000 | 19000 | 19300 | 21000 | 27000 | 21000 |
| Жұмыс қысымы, *МПа* | 0,9 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,2 | 1,3 |
| Рельстер аралығы, *мм* | 750 | 750 | 750 | 900 | 1524 | 1524 | 1524 |
| Габариттік өлшемдері, *мм* | | | | | | | |
| Ұзындығы | 18760 | 19205 | 20845 | 21460 | 23556 | 29420 | 23240 |
| Ені | 2735 | 2547 | 2547 | 5015 | 5379 | 4250 | 4800 |
| Биіктігі | 3700 | 3830 | 3830 | 3150 | 6197 | 5902 | 5000 |
| Салмағы, *кг* | 19000 | 17670 | 22000 | 50450 | 118700 | 113800 | 118500 |
| Белгіленген қуаты, *кВт* | - | - | - | 7,0 | 4,5 | 10,5 | 10,0 |

Есіктер ашып-жабу тетіктерімен *3* жабдықталған. Қондырғы қаңқасында екі сақтандырғыш клапан *4* және артық буды шығаратын құбыр *5* орналасқан. Қанықкан су буы камераға сыртқы құбыр арқылы *12* беріліп, тесікті бу беру құбыры *6* арқылы жұмыс камерасын толтырады. Бұйымдарды өңдеу кезінде пайда болатын сұйық конденсатты құбыр *7* арқылы сыртқа шығарады. Бұйымдар вагонеткамен кіргізіліп, есіктер жабылғаннан кейін жұмыс камерасындағы атмосфералық ауаны вакуумды жүйе *10* арқылы сорып шығарады. Автоклав қаңқасы бірнеше жылжымалы тіректерге *11* және бір жылжусыз тірекке *8* орнатылады. Бұйымдар жұмыс камерасына вагонеткалармен қондығының еденіне орнатылған релсьті жол *9* арқылы кіргізіледі. Бұйымдар жұмыс камерасына кіргізілгеннен кейін бу беру максималды температураға дейін жүргізіледі, сосын осы температурада изотермиялық ұстап тұру сатысы басталады. Изотермиялық ұстап тұру сатысы біткеннен кейін суыту сатысы басталып, автоклавқа будың берілуі тоқталыды.




9.1 сурет. Автоклав қондырғысының схемасы.

Жұмыс камерасындағы вагонеткалар саны автоклав ұзындығына және вагонеткалар өлшеміне сәйкес болады (9.2 кесте)

9.2 кесте. Автоклав вагонеткаларының техникалық сипаттамалары

| Көрсеткіштері | Вагонеткалардың типтері | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Л-687/02 | Л-341 | ТА-25 | ТА-40 | ТА-50 | ТА-80 |
| Жүк көтерімділігі, *тонна* | 6 | 10 | 25 | 40 | 50 | 80 |
| Вагонетка бетінің тиімді ауданы, *мм* | | | | | | |
| ұзындығы | 3600 | 6200 | 6300 | 6300 | 6700 | 6700 |
| ені | 1600 | 1600 | 2000 | 2000 | 2700 | 2700 |
| доңғалақтар аралығы | 750 | 750 | 900 | 900 | 1524 | 1524 |
| Осьтер саны, *дана* | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 |
| Доңғалақтар диаметрі, *мм* | - | - | 250 | 250 | 250 | 250 |
| Габариттік өлшемдері, мм | | | | | | |
| ұзындығы | 3690 | 6330 | 6400 | 6400 | 6800 | 6800 |
| ені | 1600 | 1600 | 2000 | 2000 | 2700 | 2700 |
| биіктігі | 250 | 250 | 320 | 320 | 320 | 320 |
| Салмағы, *кг* | 750 | 1260 | 1600 | 2000 | 3000 | 3600 |

Автоклав қондырғысының өнімділігі оның жұмыс істеу циклына және жұмыс камерасына кіргізілген бұйымдар санына байланысты болады. Сондықтан, жылутасымалдағыш пен бұйымдардың арасындағы тиімді жылуалмасуды ескеріп, вагонеткаларға бұйымдарды барынша көп орнықтыруға тырысады. Бұйымдардың жұмыс камерасына тиімді толтырылуы, барлық бұйымдар көлемінің автоклавтың жұмыс көлеміне қатынасымен көрсетілетін толтырылу коэффициентімен анықталады:

$$K_{тол} = \frac{V_{бұй}}{V_{авт}} = 0{,}3 \div 0{,}6 \qquad (9.1)$$

мұнда: $V_{бұй}$ – жұмыс камерасындағы барлық бұйымдар көлемі, $м^3$

$V_{авт}$ – жұмыс камерасының көлемі, $м^3$

Автоклавтың жұмыс істеу режимінің бір циклы 12÷18 *сағат* аралығында болады және келесі сатылардан құралады.

$$\tau_{ц} = \tau_{қыз} + \tau_{из} + \tau_{суыт} + \tau_{тех}, \ сағат \qquad (9.2)$$

мұнда: $\tau_{қыз}$ – қыздыру сатысы, *сағат*

$\tau_{из}$ – изотермиялық ұстап тұру сатысы, *сағат*

$\tau_{суыт}$ – суыту сатысы, *сағат*

$\tau_{тех}$ – техникалық қосымша уақыттар (қақпақты ашып-жабудан, бұйымдарды кіргізіп-шығарудан және қақпақты ашқаннан кейін камераның суытылу уақыттарынан құралады), 1,3÷1,4 *сағат*

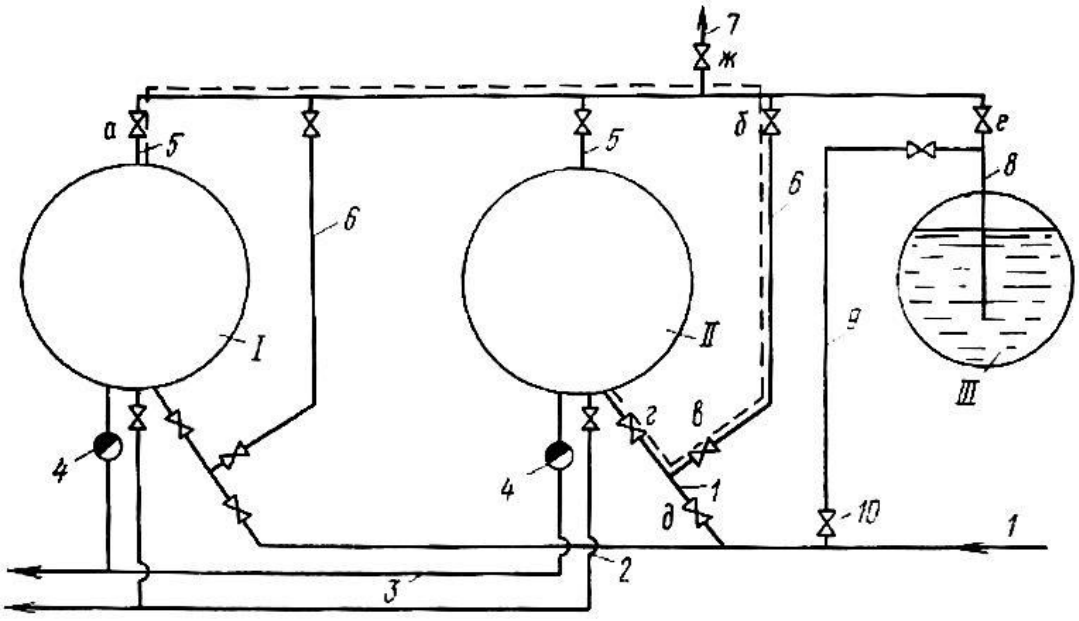
Әр сатының ұзақтығы қыздырылатын бұйымдардың жылуөткізгіштігіне, тығыздығына және жұмыс камерасының тиімді толтырылуына, дайын өнімнің қажетті беріктігіне және бұйымның қалыңдығына байланысты болады.

Автоклавтардағы 1 $м^3$ бұйымға шаққандағы будың меншікті шығыны 300÷400 $кг/м^3$ аралығында болады.

Силикат кірпішін өндіру зауыттарында бу шығынын үнемдеу мақсатымен бір автоклавтағы изотермиялық ұстап тұру сатысының соңында өңдеуден өткен буды қыздыру сатысы басталған екінші бір автоклавқа жібереді. Нәтижесінде, бу шығынының мөлшерін азайтуға мүмкіндік береді. Автоклавтар саны аз болатын зауыттарда мұндай тәсіл қиындық тудырғандықтан бу аккумулятор құрылғысын қолданады. Булы аккумулятор құрылғысы ретінде диаметрі кіші ескі автоклавты қолданады.

9.2 суретте булы аккумулятор көмегімен екі автоклав қондырғысын бумен қамтамасыз ету схемасы келтірілген.

Өндірістің жалпы бу беру жүйесі *1* арқылы су буы *I* және *II* автоклавтарға жеке түрде беріледі. Жылуылғалдылық өңдеу кезінде пайда болатын конденсатты шығару үшін, әрбір автоклав қондырғыны жалпы конденсат ағу жүйесімен *3* жалғастыратын конденсат жіберу құрылғысымен *4* жабдықталған. Сонымен қатар, әрбір автоклавқа вакуум-насос құрылғысы *2*, автоклавтағы жылулық өңдеуден өткен буды булы аккумуляторға *III* жіберу жүйесі *5* немесе атмосфераға лақтыру құбыры *7* және бір автоклавтан екінші бір автоклавқа буды жіберу жүйесі *6* орнатылған. Булы аккумуляторға бу беру немесе алу жұмыстары құбыр жүйесі *8* арқылы жүргізіледі. Аккумуляторды жаңа бумен қамтамасыз ету үшін бумен жабдықтау жүйесін *9* қолданады. Барлық жүйелер будың өтуін реттеу үшін вентильдермен *10* жабдықталған.




9.2 сурет. Булы аккумулятор көмегімен екі автоклав қондырғысын бумен қамтамасыз ету схемасы.

Жылуылғалдылық өңдеу қондырғыларының жылулық балансын есептеу, бұйымдарды жылулық өңдеу кезіндегі жұмсалатын жылулық энергияның мөлшерін анықтау үшін жүргізіледі.

Жылулық баланс энергияның сақталу заңына сәйкес, кіріс және шығыс бөлімдерінің тепе-теңдігін анықтау арқылы шығарылады. Жылулық баланс теңдеуі мына түрде жазылады:

$$Q_{кіріс} = Q_{шығыс} \qquad (9.3)$$

мұнда: $Q_{кіріс}$ – кіріс бөліміндегі жылулық энергиялардың жалпы қосындысы (автоклавқа берілетін), *кДж*

$Q_{шығыс}$ – шығыс бөліміндегі жылулық энергиялардың жалпы қосындысы (автоклавта шығындалатын), *кДж*

Жылулық баланс теңдеуін шешу нәтижесінде, дайын өнімнің өлшем бірлігіне ($м^3$) шығындалатын будың меншікті шығыны (*кг*) анықталады. Меншікті жылу шығынының мәні арқылы, дайын өнімді алуға қажетті жылу энергиясының мөлшері белгіленеді.

Автоклав қондырғыларының жылулық балансын есептеу әр сатыға (қыздыру және изотермиялық ұстап тұру сатылары) жеке есептеледі. Қондырғыдағы будың жалпы шығыны ретінде, әр сатыларда анықталған бу шығындарының қосындысын қабылдайды.

## 9.3. Есепті орындау әдістемесі

### 9.3.1 Қыздыру сатысының жылулық балансы

Кіріс бөлімі

*Автоклавқа кіргізілетін бұйымдардың құрғақ массасының жылулығы*

$$Q_{құр.бұй.қыз} = G_{құр.бұй} \cdot C_{бұй} \cdot t_{бұй}\ ,\ кДж/саты \qquad (9.4)$$

мұнда: $G_{құр.бұй}$ – құрғақ бұйымның массасы, *кг*

$$G_{құр.бұй} = G_{бұй} \cdot D_{кам}\ ,\ кг$$

$G_{бұй}$ – бір бұйымның салмағы, *кг*

$D_{кам}$ – автоклавтағы бұйымдар саны, *дана*

$C_{бұй}$ – бұйымның жылусыйымдылығы, *кДж/(кг·°С)*

$t_{бұй}$ – автоклавқа кіргізілетін бұйымдардың температурасы, $30 \div 40\ ^oC$

*Бұйымдарды қалыптаудағы араластырылған судың жылулығы*

$$Q_{су.бұй.қыз} = G_{су.бұй} \cdot C_{су} \cdot t_{бұй}\ ,\ кДж/саты \qquad (9.5)$$

мұнда: $G_{су.бұй}$ – араластырылған судың массасы, *кг*

$$G_{су.бұй} = G_{құр.бұй} \cdot (0{,}1 \div 0{,}15)\ ,\ кг$$

$C_{су}$ – судың жылусыйымдылығы, *кДж/(кг·°С)* (9.3 кесте)

9.3 кесте. Қанығу сызығындағы судың физикалық көрсеткіштері

| Су температурасы $t$, $^oC$ | Су тығыздығы $\rho_{су}$, *кг/м³* | Су жылусыйымдылығы $C_{су}$, *кДж/(кг·°С)* | Су жылуөткізгіштік коэффициенті $\lambda_{су}$, *Вт/(м·°С)* | Судың температура өткізгіштік коэффициенті $a_{су}$, *м²/сағат* |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 1001,7 | 4,221 | 0,551 | 0,000471 |
| 20 | 999,98 | 4,185 | 0,596 | 0,000515 |
| 40 | 994,06 | 4,182 | 0,626 | 0,000544 |
| 60 | 984,94 | 4,187 | 0,650 | 0,000559 |
| 80 | 973,57 | 4,200 | 0,666 | 0,000589 |
| 100 | 960,12 | 4,218 | 0,679 | 0,000605 |
| 120 | 944,75 | 4,253 | 0,683 | 0,000615 |

*Бұйымдар орнықтырылған вагонеткалардың жылулығы*

$$Q_{ваг.қыз} = G_{ваг} \cdot C_{ваг} \cdot t_{қор.орт}, \ кДж/саты \quad (9.6)$$

мұнда: $G_{ваг}$ – автоклавтағы вагонеткалардың жалпы массасы, *кг*

$G_{ваг} = m_{ваг} \cdot n_{ваг}, \ кг$

$m_{ваг}$ – автоклавтағы бір вагонетка массасы , *кг*

$n_{ваг}$ – автоклавтағы вагонеткалар саны , *дана*

$C_{ваг}$ – вагонетканың жылусыйымдылығы, *кДж/(кг·°С)*

$t_{орт}$ – қоршаған ортаның температурасы, $^oC$

*Қыздыру сатысында автоклавқа берілетін қаныққан бу жылулығы*

$$Q_{бу.қыз} = G_{бу.қыз} \cdot I_{бу}, \ кДж/саты \quad (9.7)$$

мұнда: $G_{бу.қыз}$ – қыздыру сатысы кезіндегі автолкавқа берілетін бу массасы, *кг* (белгісіз шама, жылулық баланс теңдеуін шешу нәтижесінде анықталады)

$I_{бу}$ – автоклавқа берілетін будың энтальпиясы, *кДж/кг*

$I_{бу} = 2680 + 120 \cdot \sqrt[4]{P_{ж.қ.}}$ , *кДж/кг* (немесе 9.4 кестеден қабылданады)

$P_{ж.қ.}$ – автоклавтағы будың жұмыс қысымы, *МПа*

Кіріс бөлімінің жалпы мөлшері

$$Q_{қыз.кір} = Q_{құр.бұй.қыз} + Q_{су.бұй.қыз} + Q_{ваг.қыз} + Q_{бу.қыз}, \quad кДж/саты \quad (9.8)$$

Шығыс бөлімі

*Қыздыру сатысының соңындағы бұйымдардың құрғақ массасының жылулығы*

$$Q^I_{құр.бұй.қыз} = G_{құр.бұй} \cdot C_{бұй} \cdot t^I_{из}, \ кДж/саты \quad (9.9)$$

мұнда: $t^I_{из}$ – қыздыру сатысының соңындағы бұйымдардың орташа температурасы, $t^I_{из} = (0{,}85 \div 0{,}95) \cdot t_{из}$ , $^oC$

$t_{из}$ – изотермиялық ұстап тұру температурасы, $^oC$

*Бұйымдарды қалыптаудағы араластырылған судың бір бөлігінің буланууына шығындалатын жылу мөлшері*

$$Q^I_{су.бу.қыз} = G_{су.бу} \cdot I_{бу}, \ кДж/саты \quad (9.10)$$

мұнда: $G_{су.бу}$ – бұйымдардан буланатын судың массасы, *кг*

$$G_{су.бу} = 0{,}08 \cdot G_{су.бұй}\ ,\ кг$$

$I_{бу} - t_{орт}$ температурасы кезіндегі камераға берілетін будың энтальпиясы, *кДж/кг* (9.4 кесте)

$t_{орт}$ – қыздыру сатысы кезіндегі будың орташа температурасы

$$t_{орт} = \frac{t_{ауа} + t_{из}}{2}\ ,\ ^oC$$

9.4 кесте. Қанығу күйіндегі судың және су буының термодинамикалық қасиеттері

| Су және су буының қысымы $P_{бу}$, МПа | Су және су буының температурасы $t$, $^oC$ | Су және су буының көлемі $V_{бу}$, $м^3/кг$ | Су және су буының тығыздығы $\rho_{бу}$, $кг/м^3$ | Су энтальпиясы $I_{су}$, *кДж/кг* | Су буының энтальпиясы $I_{бу}$, *кДж/кг* | Су буы пайда болудың энтальпиясы $I_{бу.п.б.}$, *кДж/кг* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,02 | 60,08 | 7,652 | 0,131 | 251,48 | 2609,02 | 2357,7 |
| 0,05 | 81,33 | 3,243 | 0,308 | 340,53 | 2645,2 | 2304,7 |
| 0,1 | 99,62 | 1,696 | 0,590 | 417,47 | 2674,9 | 2257,5 |
| 0,16 | 113,31 | 1,092 | 0,916 | 475,41 | 2696,3 | 2220,8 |
| 0,2 | 120,23 | 0,886 | 1,129 | 504,74 | 2706,8 | 2202,0 |
| 0,22 | 123,27 | 0,810 | 1,235 | 517,70 | 2711,0 | 2193,3 |
| 0,26 | 128,73 | 0,693 | 1,443 | 541,20 | 2718,9 | 2177,7 |
| 0,3 | 133,54 | 0,605 | 1,653 | 561,70 | 2725,5 | 2163,9 |
| 0,4 | 143,62 | 0,462 | 2,165 | 604,60 | 2738,7 | 2134,1 |
| 0,5 | 151,84 | 0,375 | 2,667 | 640,10 | 2748,8 | 2108,7 |
| 0,6 | 158,84 | 0,316 | 3,169 | 670,60 | 2756,9 | 2086,3 |
| 0,7 | 164,96 | 0,273 | 3,666 | 697,20 | 2763,7 | 2066,5 |
| 0,8 | 170,41 | 0,240 | 4,161 | 720,90 | 2769,0 | 2048,1 |
| 0,9 | 175,36 | 0,215 | 4,653 | 742,70 | 2773,7 | 2031,0 |
| 1,0 | 179,88 | 0,194 | 5,143 | 762,40 | 2777,8 | 2015,3 |
| 1,1 | 184,05 | 0,178 | 5,632 | 781,30 | 2781,2 | 1999,9 |
| 1,2 | 187,95 | 0,163 | 6,125 | 798,40 | 2784,6 | 1986,2 |
| 1,3 | 191,60 | 0,151 | 6,615 | 814,60 | 2787,4 | 1972,7 |
| 1,4 | 195,04 | 0,141 | 7,102 | 830,00 | 2789,7 | 1959,7 |
| 1,5 | 198,28 | 0,132 | 7,592 | 844,50 | 2791,8 | 1947,3 |
| 1,6 | 201,31 | 0,124 | 8,080 | 858,30 | 2793,5 | 1935,2 |
| 1,7 | 204,30 | 0,117 | 8,570 | 871,70 | 2795,3 | 1923,5 |
| 1,8 | 207,10 | 0,110 | 9,055 | 884,20 | 2796,5 | 1912,3 |
| 1,9 | 209,78 | 0,105 | 9,544 | 896,60 | 2797,9 | 1901,3 |
| 2,0 | 212,37 | 0,100 | 10,040 | 908,60 | 2799,2 | 1890,7 |
| 2,4 | 221,77 | 0,083 | 12,048 | 951,80 | 2801,8 | 1850,0 |
| 2,6 | 226,04 | 0,077 | 12,987 | 971,90 | 2802,6 | 1830,8 |
| 2,8 | 230,04 | 0,071 | 14,085 | 990,20 | 2803,1 | 1812,8 |
| 3,0 | 233,83 | 0,067 | 14,925 | 1008,40 | 2803,1 | 1794,7 |
| 5,0 | 263,91 | 0,039 | 25,381 | 1154,20 | 2793,9 | 1639,6 |

*Бұйымдардағы қалған суды қыздыру сатысының соңына дейін қыздыруға кететін жылу шығыны*

$$Q^{I}_{су.бұй.қыз} = G_{су.қал} \cdot C_{су} \cdot t^{I}_{из},\ кДж/саты \qquad (9.11)$$

мұнда: $G_{су.қал}$ – қыздыру сатысының соңында бұйымдардағы қалған судың массасы, $G_{су.қал} = G_{су.бұй} - G_{су.бу}$, *кг*

$C_{су}$ – $t^{I}_{из}$ температурасы кезіндегі бұйымдардағы қалған судың жылусыйымдылығы, *кДж/(кг·°С)* (9.3 кесте)

*Қыздыру сатысының соңындағы бұйымдар орнықтырылған вагонеткалардың жылулығы*

$$Q^{I}_{ваг.қыз} = G_{ваг} \cdot C_{ваг} \cdot t^{I}_{из},\ кДж/саты \qquad (9.12)$$

*Автоклавтың қоршау материалдарын (металл қабат, жылуоқшаулағыш қабат, қақпақтар) қыздыру сатысының соңына дейін қыздыруға кететін жылу шығыны*

$$Q^{I}_{қорш.қыз} = G_{м} \cdot C_{м} \cdot \left(t^{I}_{из} - t_{ав}\right) + G_{оқш} \cdot C_{оқш} \cdot \left(t_{ав} - t_{с.бет}\right),\ кДж/саты \qquad (9.13)$$

мұнда: $G_{м}$ – қоршау материалдарының металл қабатының массасы, *кг*

$$G_{м} = \rho_{ц.м.қаб} \cdot F_{ц.м.қаб} \cdot \delta_{ц.м.қаб} + \rho_{м.қақ} \cdot F_{м.қақ} \cdot \delta_{м.қақ}$$

$\rho_{ц.м.қаб}$ – цилиндрлі металл қабатының тығыздығы, *кг/м*$^3$ (9.5 кесте)

$F_{ц.м.қаб}$ – цилиндрлі металл қабаты қабырғасының жалпы ауданы, *м*$^2$

$$F_{ц.м.қаб} = \pi \cdot D_{авт} \cdot L_{авт},\ м^2$$

$\delta_{ц.м.қаб}$ – цилиндрлі металды қабат қабырғасының қалыңдығы, *м*

$$\delta_{ц.м.қаб} = \frac{P_{ж.қ.} \cdot D_{авт}}{(230 \cdot \sigma_{ш.к.} - P_{ж.қ.}) \cdot \varphi}$$

$\sigma_{ш.к.}$ – бу қысымы әсерінен созылу кезіндегі шекті кернеу, *МПа*

$$\sigma_{ш.к.} = \frac{\sigma_{б.ш.}}{\varepsilon_{ц.д.}},\ МПа$$

$\sigma_{б.ш.}$ – болат металдар үшін созылу кезіндегі беріктік шегі, (3,6÷4,5) *МПа* аралығында қабылданады

$\varepsilon_{ц.д.}$ – цилиндрлі денелерді дәнекерлеу коэффиценті, 4,0÷4,25 аралығында қабылданады

$\varphi$ – дәнекерленген сызықтардың беріктік коэффиценті, дәнекерлеу тәсіліне байланысты 0,7÷0,95 аралығында қабылданады

$\rho_{м.қақ}$ – металды қақпақтар тығыздығы, *кг/м*$^3$

$F_{м.қақ}$ – металды қақпақтардың жалпы ауданы, *м*$^2$

(екі қақпақ үшін) $F_{м.қақ} = 2 \cdot 0{,}4 \cdot \pi \cdot D^2_{авт}$ , *м*$^2$

$\delta_{м.қақ}$ – металды қақпақтардың қалыңдығы, $\delta_{м.қақ} = 1{,}15 \cdot \delta_{ц.м.қаб}$ , *м*

$C_м$ – металл қабатының жылусыйымдылығы, *кДж/кг·*$^oC$ (9.5 кесте)

$t_{ав}$ – автоклавтың металл қабатының қыздыру сатысы кезіндегі температурасы, $t_{ав} = (100 \div 110)$ , $^oC$

$G_{оқш}$ – жылуоқшаулағыш қабатының массасы, $G_{оқш} = \rho_{оқш} \cdot F_{оқш} \cdot \delta_{оқш}$ , *кг*

$\rho_{оқш}$ – жылуоқшаулағыш қабатының тығыздығы, *кг/м*$^3$ (9.5 кесте)

$F_{оқш}$ – жылуоқшаулағыш қабаты қабырғасының жалпы ауданы, *м*$^2$

$F_{оқш} = \pi \cdot (D_{авт} + 2 \cdot \delta_{оқш}) \cdot L_{авт}$ , *м*$^2$

$\delta_{оқш}$ – жылуоқшаулағыш қабаты қабырғасының қалыңдығы, (0,1÷0,15) *м*

$C_{оқш}$ – жылуоқшаулағыш қабатының жылусыйымдылығы, *кДж/(кг·*$^oC$*)*

$t_{с.бет}$ – автоклавтың қыздыру сатысы кезіндегі оқшаулағыш қабатының сыртқы бетінің температурасы, $t_{с.бет} = (35 \div 40)$ , $^oC$

9.5 кесте. Материалдардың жылуфизикалық сипаттамалары

| Материалдар түрі | Тығыздықтары $\rho$ , *кг/м*$^3$ | Жылуөткізгіштік коэффициенттері $\lambda$ , *Вт/(м·*$^oC$*)* | Жылу сыйымдылықтары, $C$ , *кДж/(кг·*$^oC$*)* | Температура өткізгіштік коэффициенттері $a$ , *м*$^2$*/сағат* |
|---|---|---|---|---|
| Бетон | 2400 | 1,45 | 0,84 | 0,002584 |
| Темірбетон | 2400 | 1,56 | 0,84 | 0,002795 |
| Ірі кәуекті бетон | 1900 | 0,99 | 0,84 | 0,00223 |
| Шлактыбетон | 1860 | 0,92 | 0,83 | 0,00192 |
| Күлді бетон | 1640 | 0,505 | 0,98 | 0,001134 |
| Керамзитбетон | 1700 | 0,41 | 0,56 | 0,00154 |
| Силикатбетон | 1850 | 0,63 | 0,84 | 0,00147 |
| Газдыбетон | 940 | 0,241 | 0,82 | 0,00112 |
| Көбіктібетон | 400 | 0,138 | 1,65 | 0,000764 |
| Ерітінді | 1800 | 0,93 | 0,84 | 0,00223 |
| Сазды кірпіш | 1700 | 0,755 | 0,88 | 0,00182 |
| Силикат кірпіш | 1900 | 0,815 | 0,84 | 0,00184 |
| Ағаш | 640 | 0,38 | 2,4 | - |
| Металл | 7800 | 5,6 | 0,46 | - |
| Кварц құмы | 1500 | 0,60 | 1,09 | 0,0013 |
| Түйіршікті шлак | 500 | 0,151 | 0,75 | 0,00144 |
| Минералды мақта | 300 | 0,063 | 0,75 | 0,001 |
| Минералды жүн | 250 | 0,076 | 0,76 | 0,00144 |
| Көбікті шыны | 500 | 0,163 | 0,84 | 0,0014 |
| Шыны мақта | 200 | 0,045 | 0,94 | 0,00097 |
| Шыны жүн | 50 | 0,044 | 0,89 | 0,00356 |
| Шлакты мақта | 100 | 0,046 | 0,74 | 0,00224 |
| Резина | 1200 | 0,163 | 1,38 | 0,00095 |

*Қыздыру сатысында автоклав қоршаулары арқылы қоршаған ортаға кететін жылу шығыны*

$$Q^{I}_{қор.орт.қыз} = 3{,}6 \cdot \alpha_c \cdot \tau_{қыз} \cdot \left(t_{с.бет} - t_{ауа}\right) \cdot F_{ж.қорш},\ кДж/сағ \qquad (9.14)$$

мұнда: $\alpha_c$ – автоклавтың сыртқы бетінен қоршаған ортаға жылуберу коэффиценті, $\alpha_{іш} = 9{,}4 + 0{,}052 \cdot \left(t_{с.бет} - t_{ауа}\right)$, $Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$
(немесе 9.6 кестеден қабылданады)

$F_{ж.қорш}$ – қоршау материалдарының жалпы бет ауданы, $м^2$

$$F_{ж.қорш} = F_{м.қақ} + F_{оқш},\ м^2$$

9.6 кесте. Автоклавтың сыртқы бетінің температурасына байланысты цилиндрлі қабырғалар үшін қоршаған ортаға жылуберу коэффициентінің мәні

| $t_{с.бет}$, $^oC$ | 10 | 25 | 40 |
|---|---|---|---|
| $\alpha_c$, $Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$ | 9,78 | 10,45 | 10,69 |

*Қыздыру сатысы кезіндегі су буының конденсатымен кететін жылу шығыны*

$$Q^{I}_{кон.қыз} = I_{конд} \cdot G_{конд} = I_{су} \cdot \left(G_{бу.қыз} - G_{бос}\right),\ кДж/сағ \qquad (9.15)$$

мұнда: $I_{су}$ – $t^{I}_{из}$, $^oC$ температурасы кезіндегі конденсат энтальпиясы, $кДж/кг$

$I_{су} = 762 \cdot \sqrt[4]{P_{ж.қ.}}$, $кДж/кг$ (немесе 7.4 кестеден қабылданады)

$G_{бос}$ – жұмыс камерасының бұйымдардан бос бөлігін толтыратын су буының массасы, $G_{бос} = \rho_{бу} \cdot (V_{кам} - V_{кам.бұй} - V_{кам.ваг})$, $кг$

$\rho_{бу}$ – $t^{I}_{из}$, $^oC$ температурасы кезіндегі бу тығыздығы, $кг/м^3$ (9.4 кесте)

$V_{кам}$ – жұмыс камерасының жалпы көлемі, $м^3$

$V_{кам.бұй}$ – жұмыс камерасындағы бұйымдардың көлемі,

$$V_{кам.бұй} = V_{бұй} \cdot D_{кам},\ м^3$$

$V_{кам.ваг}$ – жұмыс камерасындағы вагонеткалардың жалпы көлемі, $м^3$

$$V_{кам.ваг} = \frac{G_{ваг}}{\rho_{ваг}},\ м^3$$

*Қыздыру сатысы кезіндегі ескерілмеген жылу шығындары*

$$Q^{I}_{еск.қыз} = (0{,}05 \div 0{,}1) \cdot Q_{қыз.кір},\ кДж/сағ \qquad (9.16)$$

Шығыс бөлімінің жалпы мөлшері

$$Q_{қыз.шығ} = Q^I_{құр.бұй.қыз} + Q^I_{су.бу.қыз} + Q^I_{су.бұй.қыз} + Q^I_{ваг.қыз} + \\ + Q^I_{қорш.қыз} + Q^I_{қор.орт.қыз} + Q^I_{кон.қыз} + Q^I_{есқ.қыз} \quad , \text{ к}Дж/саты \quad (9.17)$$

Қыздыру сатысындағы автоклавқа берілетін және шығындалатын жылудың жалпы мөлшерін теңестіру арқылы будың шығын мөлшері $G_{бу.қыз}$ анықталады.

$$Q_{қыз.кір} = Q_{қыз.шығ} \quad (9.18)$$

Будың шығын мөлшерінің $G_{бу.қыз}$ мәні арқылы қыздыру сатысы кезіндегі $1м^3$ бетонға шығындалатын будың меншікті шығын мөлшері мына формула бойынша анықталады:

$$G_{қыз.мен} = \frac{G_{бу.қыз}}{V_{бұй} \cdot D_{кам}} \quad , \qquad кг/м^3 \quad (9.19)$$

### 9.3.2 Изотермиялық ұстап тұру сатысының жылулық балансы

Кіріс бөлімі

*Изотермиялық ұстап тұру сатысының кезіндегі бұйымдардың құрғақ массасының жылулығы (қыздыру сатысында анықталған)*

$$Q_{құр.бұй.из} = Q^I_{құр.бұй.қыз}, \ кДж/саты \quad (9.20)$$

*Бұйымдардағы қалған судың изотермиялық ұстап тұру сатысы кезіндегі жылулығы (қыздыру сатысында анықталған)*

$$Q_{су.бұй.из} = Q^I_{су.бұй.қыз}, \ кДж/саты \quad (9.21)$$

*Бұйымдар орнықтырылған вагонеткалардың изотермиялық ұстап тұру сатысы кезіндегі жылулығы (қыздыру сатысында анықталған)*

$$Q_{ваг.қыз} = Q^I_{ваг.қыз}, \ кДж/саты \quad (9.22)$$

*Автоклавтың қоршау материалдарының изотермиялық ұстап тұру сатысы кезіндегі жылулығы (қыздыру сатысында анықталған)*

$$Q_{қорш.қыз} = Q^{I}_{қорш.қыз},\ кДж/саты \qquad (9.23)$$

*Изотермиялық ұстап тұру сатысында автоклавқа берілетін қаныққан бу жылулығы*

$$Q_{бу.из} = G_{бу.из} \cdot I_{бу},\ кДж/саты \qquad (9.24)$$

мұнда: $G_{бу.из}$ – изотермиялық ұстап тұру сатысы кезіндегі камераға берілетін будың массасы, *кг* (белгісіз шама, жылулық баланс теңдеуін шешу нәтижесінде анықталады)

Кіріс бөлімінің жалпы мөлшері

$$Q_{из.кір} = Q_{құр.бұй.из} + Q_{су.бұй.из} + Q_{ваг.из} + Q_{қорш.из} + Q_{бу.из},\ кДж/саты \qquad (9.25)$$

Шығыс бөлімі

*Изотермиялық ұстап тұру сатысының соңындағы бұйымдардың құрғақ массасының жылулығы*

$$Q^{I}_{құр.бұй.из} = G_{құр.бұй} \cdot C_{бұй} \cdot t_{из},\ кДж/саты \qquad (9.26)$$

*Бұйымдардағы қалған суды изотермиялық ұстап тұру сатысының соңына дейін қыздыруға кететін жылу шығыны*

$$Q^{I}_{су.бұй.из} = G_{су.бұй} \cdot C_{су} \cdot t_{из},\ кДж/саты \qquad (9.27)$$

*Автоклавтың қоршау материалдарын изотермиялық ұстап тұру сатысының соңына дейін қыздыруға кететін жылу шығыны*

$$Q^{I}_{қорш.из} = G_{м} \cdot C_{м} \cdot \left(t_{из} - t_{ав}\right) + G_{оқш} \cdot C_{оқш} \cdot \left(t_{ав} - t_{с.бет}\right),\ кДж/саты \qquad (9.28)$$

*Изотермиялық ұстап тұру сатысында автоклав қоршаулары арқылы қоршаған ортаға кететін жылу шығыны*

$$Q^{I}_{қор.орт.қыз} = 3{,}6 \cdot \alpha_{с} \cdot \tau_{из} \cdot \left(t_{с.бет} - t_{ауа}\right) \cdot F_{ж.қорш},\ кДж/саты \qquad (9.29)$$

*Изотермиялық ұстап тұру сатысы кезіндегі су буының конденсатымен кететін жылу шығыны*

$$Q^{I}_{кон.из} = I_{конд} \cdot G_{конд} = I_{су} \cdot \left(G_{бу.из} - G_{бос}\right), \text{ к}Дж/саты \quad (9.30)$$

*Изотермиялық ұстап тұру сатысы кезіндегі ескерілмеген жылу шығындары*

$$Q^{I}_{еск.из} = (0{,}02 \div 0{,}05) \cdot Q_{из.кір}, \text{ к}Дж/саты \quad (9.31)$$

Шығыс бөлімінің жалпы мөлшері

$$Q_{из.шыг} = Q^{I}_{құр.бұй.из} + Q^{I}_{су.бұй.из} + Q^{I}_{қорш.из} + Q^{I}_{қор.орт.из} + \\ + Q^{I}_{кон.из} + Q^{I}_{еск.из}, \text{ к}Дж/саты \quad (9.32)$$

Изотермиялық ұстап тұру сатысындағы автоклавқа берілетін және шығындалатын жылудың жалпы мөлшерін теңестіру арқылы будың шығын мөлшері $G_{бу.из}$ анықталады.

$$Q_{из.кір} = Q_{из.шыг} \quad (9.33)$$

Будың шығын мөлшерінің $G_{бу.из}$ мәні арқылы изотермиялық ұстап тұру сатысы кезіндегі 1 $м^3$ бетонға шығындалатын будың меншікті шығын мөлшері мына формула бойынша анықталады:

$$G_{из.мен} = \frac{G_{бу.из}}{V_{бұй} \cdot D_{кам}}, \quad кг/м^3 \quad (9.34)$$

Автоклавтың бір циклдағы жұмыс істеу кезіндегі толық шығындалатын будың меншікті шығын мөлшері мына формула бойынша анықталады:

$$G_{ав.мен} = G_{қыз.мен} + G_{из.мен}, \; кг/м^3 \; бетонға \quad (9.35)$$

## 9.4. Есептеуді орындау үшін алдын-ала берілгендер

| № Р/н | Автоклав өнімділігі, *дана кірпіш жылына* | Жылулық өңдеу режимі, *Сағат* | | | Изотермиялық ұстап тұру температурасы, $^{o}C$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Қыздыру сатысы | Изотермиялық ұстап тұру сатысы | Суыту сатысы | |
| 1 | 5000000,0 | 5 | 6 | 3 | 175,0 |
| 2 | 4500000,0 | 4 | 5 | 4 | 180,0 |
| 3 | 4000000,0 | 4 | 4 | 4 | 165,0 |
| 4 | 5500000,0 | 5 | 5 | 6 | 185,0 |
| 5 | 6000000,0 | 6 | 3 | 5 | 190,0 |
| 6 | 4800000,0 | 3 | 5 | 3 | 200,0 |
| 7 | 5700000,0 | 4 | 5 | 5 | 195,0 |
| 8 | 6000000,0 | 3 | 3 | 6 | 170,0 |
| 9 | 6500000,0 | 6 | 2 | 5 | 172,0 |
| 10 | 3500000,0 | 4 | 4 | 4 | 171,0 |
| 11 | 4000000,0 | 3 | 5 | 6 | 185,0 |
| 12 | 4700000,0 | 5 | 5 | 2 | 183,0 |
| 13 | 3800000,0 | 6 | 2 | 5 | 192,0 |
| 14 | 9000000,0 | 4 | 5 | 6 | 165,0 |
| 15 | 9500000,0 | 5 | 4 | 3 | 160,0 |
| 16 | 5200000,0 | 3 | 7 | 3 | 177,0 |
| 17 | 4800000,0 | 5 | 4 | 3 | 185,0 |
| 18 | 4200000,0 | 3 | 7 | 2 | 161,0 |
| 19 | 5550000,0 | 5 | 3 | 6 | 182,0 |
| 20 | 6250000,0 | 4 | 3 | 5 | 193,0 |
| 21 | 4815000,0 | 4 | 6 | 4 | 205,0 |
| 22 | 5750000,0 | 4 | 5 | 3 | 191,0 |
| 23 | 5850000,0 | 4 | 3 | 6 | 178,0 |
| 24 | 6350000,0 | 4 | 3 | 5 | 175,0 |
| 25 | 3500000,0 | 4 | 4 | 4 | 173,0 |
| 26 | 4155000,0 | 5 | 5 | 6 | 185,5 |
| 27 | 5800000,0 | 5 | 5 | 2 | 183,8 |
| 28 | 3895000,0 | 6 | 4 | 5 | 192,5 |
| 29 | 9365000,0 | 4 | 5 | 3 | 164,3 |
| 30 | 9200000,0 | 5 | 4 | 5 | 160,5 |
| 31 | 3520000,0 | 5 | 4 | 3 | 176,2 |
| 32 | 4350000,0 | 4 | 5 | 5 | 182,5 |
| 33 | 4225000,0 | 3 | 5 | 6 | 181,0 |
| 34 | 3870000,0 | 4 | 2 | 5 | 177,0 |
| 35 | 9685000,0 | 5 | 5 | 6 | 166,3 |
| 36 | 8500500,0 | 6 | 4 | 4 | 163,4 |
| 37 | 5240000,0 | 4 | 7 | 3 | 175,8 |
| 38 | 4440500,0 | 5 | 4 | 4 | 183,0 |
| 39 | 4210000,0 | 4 | 7 | 2 | 169,5 |
| 40 | 5580000,0 | 5 | 3 | 5 | 181,2 |

## 9.5. Студенттің өзіндік дайындалуға арналған бақылау сұрақтары

### 1. Жазбаша (ауызша) сұрақтар

1. Жылуылғалдылық өңдеу түрінің басқа жылулық өңдеу түрлерінен ерекшелігі қандай?
2. Жылуылғалдылық өңдеу кезіндегі жылутасымалдағыштың негізгі параметрлерін атаңыз?
3. Автоклав қондырғылары жұмыс істеу режимі бойынша қандай қондырғыларға жатады?
4. Силикат кірпішін өндіру зауыттарында бу шығынын үнемдеу үшін қандай шараларды қолданады?
5. Автоклав қондырғысының негізгі өлшемдері қандай аралықта болады?
6. Автоклавтың жұмыс камерасының толтырылу коэффициенті қандай аралықта болады?
7. Автоклав қондырғысында жылуылғалдылық өңдеу режимі қандай сатылардан құралады?
8. Автоклавтың бір циклдағы жұмыс істеу уақыты қандай аралықта болады?
9. Автоклав қондырғыларында бұйымның өлшем бірлігіне шаққандағы будың меншікті шығыны қандай аралықта болады?
10. Жылуылғалдылық өңдеу қондырғыларының жылулық балансын есептеудің мақсаты неде?

### 2. Тест сұрақтары

**1.** Жылулық өңдеудің қайсы түрі жылуылғалдылық деп аталады?
А) Салыстырмалы төмен температура кезінде және ылғал ортада өтетін процесс
Б) Материалдағы ылғалдың кетуі жүретін процесс
В) Материалдағы ылғалдың кетуі және шикізаттың пісуі жүретін процесс
Г) Материалдың балқуы жүретін процесс
Д) Салыстырмалы жоғары температура кезінде және құрғақ ортада өтетін процесс
**2.** Қандай жылулық өңдеу түрі жылуылғалдылық деп аталады?
А) Салқын ортада өтетін процесс
Б) Құрғақ ортада өтетін процесс
В) Қайнау ортада өтетін процесс
Г) Ылғал ортада өтетін процес
Д) Вакуммды ортада өтетін процесс
**3.** Жылуылғалдылық өңдеу кезінде қаныққан будың ылғалдылығы қандай?
А) $\varphi$=50 %
Б) $\varphi$=5 %
В) $\varphi$=15 %
Г) $\varphi$=25 %
Д) $\varphi$=100 %

**4.** Силикат кірпішін жылуылғалдылық өңдеу кезіндегі ортаның температурсы
А) t=500÷600 ℃
Б) t=300÷400 ℃
В) t=100÷200 ℃
Г) t=700÷800 ℃
Д) t=900÷1000 ℃
**5.** Жылуылғалдылық өңдеу қандай сатылардан тұрады?
А) Қыздыру-күйдіру-суыту
Б) Қыздыру-суыту-күйдіру
В) Қыздыру-суыту-вакуумдеу
Г) Қыздыру-изотермиялық ұстап тұру-суыту
Д) Кептіру-күйдіру-суыту
**6.** Автоклавтардағы бу қысымы қандау аралықта?
А) 0,19-0,2 *МПа*
Б) 17-19 *МПа*
В) 1,3-1,5 *МПа*
Г) 0,8-1,3 *МПа*
Д) 15-17 *МПа*
**7.** Тұтастырғыш материалдар негізінде қалыптанған бұйымдарының беріктігін арттыру үшін жылулық өңдеудің қайсы түрін қолданады:
А) Кептіру
Б) Булау
В) Күйдіру
Г) Қайнату
Д) Балқыту
**8.** Автоклавтағы жылутасымалдағыштың параметрлері?
А) төменгі қысым және жоғарғы температура
Б) жоғарғы қысым және жоғарғы температура
В) жоғарғы қысым және төменгі температура
Г) жоғарғы қысым және тұрақты температура
Д) тұрақты қысым және жоғарғы температура
**9.** Автоклавтардың түрін атаңыз?
А) Тұйықталған, тіке өтпелі
Б) Айналмалы, айналусыз
В) Шұңқырлы, шұңқырсыз
Г) Саңлаулы, саңлаусыз
Д) Тіке, көлденеңді
**10.**Автоклавтардың пішіні қандай?
А) Конусты
Б) Саңлаулы
В) Трапециялы
Г) Цилиндрлі
Д) Шахталы
**11.**Автоклавтарда қандай жылутасымалдағыш қолданады?

А) Ыстық су
Б) Түтінді газ
В) Генераторлы газ
Г) Қаныққан су буы
Д) Табиғи газ

**12.** Автоклавтарда 1 $м^3$ бетонға кететін бу шығыны қандай?
А) 500-700 $кг/м^3$
Б) 100-150 $кг/м^3$
В) 300-400 $кг/м^3$
Г) 120-180 $кг/м^3$
Д) 700-800 $кг/м^3$

**13.** Автоклавта қандай бұйымдар жылулық өңдеуден өтеді?
А) Силикатбетон
Б) Гипсбетон
В) Цементбетон
Г) Керамзитбетон
Д) Полимербетон

**14.** Жылулық өңдеу түрін атаңыз?
А) Ұсақтау
Б) Сұрыптау
В) Жылуылғалдылық өңдеу
Г) Престеу
Д) Сүзу

**15.** Силикатты кірпішті қандай қондырғыда жылулық өңдейді?
А) Туннельді кептіргіште
Б) Айналмалы пеште
В) Автоклавта
Г) Шұңқырлы камерада
Д) Шахталы пеште

**16.** Темірбетон бұйымдары зауыттарында бу аккумуляторын не үшін қолданады?
А) Бу шығынын төмендету үшін
Б) Бу температурасын төмендету үшін
В) Конденсат шығыны төмендету үшін
Г) Бетонның қатаюын тездету үшін
Д) Бетонның маркасын жоғарылату үшін

# 10. ЖЫЛУЫЛҒАЛДЫЛЫҚ ӨҢДЕУГЕ АРНАЛҒАН ҚОНДЫРҒЫЛАРДЫҢ ГИДРАВЛИКАЛЫҚ БУ БЕРУ ЖҮЙЕСІН ЕСЕПТЕУ

## 10.1. Сабақ жоспары:

1. Қондырғының бу беру жүйесіндегі барлық элементтері, қондырғылардың есептелген қажетті саны және бөлімдерінің өлшемдері келтірілген схеманы алдын-ала дайындау.
2. Жалпы бу беру құбырын гидравликалық есептеу.
3. Жылулық қондырғыға бу беру құбырын гидравликалық есептеу.
4. Қондырғының жұмыс камерасындағы тесікті бу беру құбырын гидравликалық есептеу.
5. Бу беру жүйесінің бас жағындағы қажетті қысым мәні анықтау.
6. Бу өндіру қазандығының тиімді түрі таңдау.

## 10.2. Теориялық бөлім

Жылуылғалдылық өңдеу қондырғыларын гидравликалық есептеудің мақсаты – жылулық қондырғыларға әртүрлі жылутасымалдағыштарды беруге және конденсат шығаруға арналған құрал-жабдықтардың оңтайлы түрін таңдау, сондай-ақ бу беру жүйесінің бас жағындағы жылутасымалдағыштың қажетті қысымын анықтау болып табылады.

Бетон және темірбетон бұйымдарын жылуылғалдылық өңдеуге арналған қондырғыларда келесі жылутасымалдағыш түрлерін қолданады.

**Қаныққан су буымен тікелей қыздыру.** Бұл жылутасымалдағыш бетон және темірбетон бұйымдарын конвекциялық жылуалмасуы арқылы қыздыру үшін тікелей жұмыс камерасына орнатылған тесікті бу беру құбырларымен беріледі. Қаныққан су буы жұмыс камерасына бұйымдардың кіргізіліп-шығарылуына, қозғалысына кедергі келтірмейтіндей етіп орнатылған тесікті бу беру құбыры арқылы беріледі. Тесікті бу беру құбыры қондырғының жұмыс істеу және жылулық өңдеу режиміне, сондай-ақ жұмыс камерасының конструкциялық ерекшеліктеріне байланысты камераның ұзындығы және ені немесе биіктігі және ені арқылы барлық периметрі бойынша немесе камераның барлық ұзындығы бойынша орнатылады. Жұмыс камерасына тесікті бу беру құбыры арқылы берілетін су буының жұмыс қысымы $P_{кір} = 0{,}11 \div 1{,}2 МПа$ аралығында болады. Осы жұмыс қысымына сәйкес жылутасымалдағыштың температурасы анықталады.

**Қаныққан су буымен жанама қыздыру.** Бұл жылутасымалдағыш бетон және темірбетон бұйымдарын қыздыру үшін тікелей жұмыс камерасына орнатылған жылу шашу беті бар қыздырғыш құрылғыларға (регистрлер, калориферлер) $t = 140 \div 150\ ^oC$ температурасы аралығында беріледі. Осы температураға сәйкес жылутасымалдағыштың жұмыс қысымы анықталады. Қыздырғыш құрылғылары жұмыс камерасының барлық көлемі бойынша

температура айырмашылығын төмендету мақсатымен камера еденіне, қабырғалардың ішкі бетіне орнатылады.

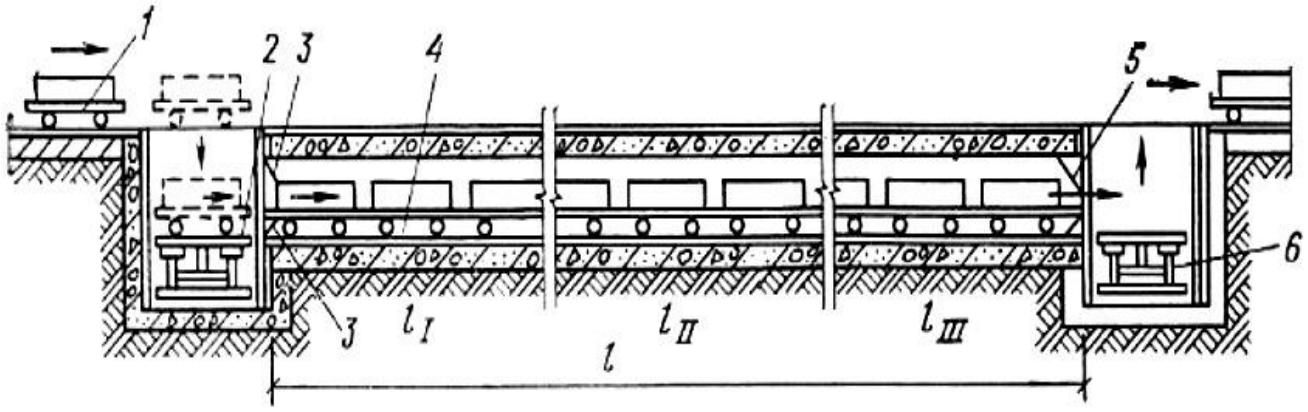
**Бу ауа қоспасы.** Бұл жылутасымалдағыш бетон және темірбетон бұйымдарын 100 $^{o}C$ төмен температурада қыздыру жағдайында қолданады. Ол үшін калорифер құрылғысында қажетті ылғалдылықта және температурада дайындалған бу ауа қоспасын үздіксіз жұмыс істейтін қондырғылардың жұмыс камерасының қима периметрі бойынша орнатылған тесікті перделер арқылы жұмыс камерасының бұйымдар кіргізілетін және шығарылатын бөлігіне, сондай-ақ қыздыру-изотерма және изотерма-суыту бөлімдер аралығына беріледі. Бұл бұйымдар кіргізілетін жерден ыстық буды сыртқа шығармауға және бұйымдар шығарылатын жерден суық ауаны ішке кіргізбеуге, сондай-ақ әр бөлімдегі жылутасымалдағыштың қажетті температурасын сақтауға және бу ауа қоспасының изотерма бөлімінен суыту және қыздыру бөлімдеріне өтуін болдырмауға мүмкіндік береді.

**Үздіксіз режимде жұмыс істейтін жылуылғалдылық қондырғылар.**

Бетон және темірбетон өндірістерінде үздіксіз режимде жұмыс істейтін қондырғылар ретінде туннельді саңлаулы булау камерасы, полигональды булау камерасы, бір және көп қабатты туннельді булау камералары, тік булау камералары қолданылады.

**Туннельді саңлаулы булау камерасы.** Туннельді саңлаулы булау қондырғысының жұмыс камерасы көлденеңінен орнатылған тік бұрышты кеңістіктен тұрады (10.1 сурет). Қондырғының жалпы ұзындығы $l$=100÷120 *м*, ені $b$=5÷7 *м*, биіктігі $h$=1÷1,17 *м* аралығында болады. Жұмыс камерасының барлық ұзындығы бойынша 17÷27 вагонетка болады.

Жылуылғалдылық өңдеу режимінің сатыларына сәйкес қондырғының жұмыс камерасы барлық ұзындығы бойынша шартты түрде үш бөлімге бөлінеді: қыздыру бөлімі – $l_I$, изотермиялық ұстап тұру бөлімі – $l_{II}$ және суыту бөлімі – $l_{III}$. Жылутасымалдағыш қыздыру және изотермиялық ұстап тұру бөлімдеріне беріледі, ал суыту бөліміне бұйымдарды суыту үшін суық ауа беріледі.




10.1 сурет. Туннельді саңлаулы булау камерасының схемасы

Бұйымдар орнықтырылған вагонетка *1* төмен түсіру механизмі *2* көмегімен рельсті жолдың *4* деңгейіне түсіріледі. Гидромеханизмді итергіш көмегімен вагонетка механикалық пердеден 3 (майысқыш резина) өтіп, жұмыс камерасындағы барлық вагонетканы ілгері жылжытады. Нәтижесінде, қарама-қарсы беттен жылулық өңдеуден өткен бұйымдары бар бір вагонетка механикалық тығынды перде арқылы сыртқа шығарылып, көтергіш домкрат құрылғысының *6* үстіне келіп тұрады. Өз кезегінде гидродомкрат вагонетканы цех деңгейіне дейін жоғары көтеріп, вагонетка бұйымдарды түсіру алаңына жіберіледі.

Қондырғыдағы бұйымдарды қыздыру үшін жылу көзі ретінде су буын немесе құбырлы электрлі қыздырғыштарды қолданады.

Су буын қолдану кезінде тесікті бу бері құбырлары қабырғаның екі жақ бетіне қойылады. Ең бірінші тесікті бу бері құбырлары бұйымдар кіргізілетін жерден 18÷20 *м* қашықтықтан кейін (қыздыру бөлімі) әрбір 3÷6 *м* аралығында, ал ең соңғысы бұйымдар шығарылатын жерден 35÷40 *м* қашықтықта қойылады. Камераға берілген су буы ауамен араласып, буауа қоспасын түзеді. Буауа қоспасы мен бұйымдар арасындағы жылуалмасу процесін жақсарту үшін газды айналым тәсілін қолданады. Ол үшін, суыту бөліміне бұйымдармен бірге ілесіп, өткен буауа қоспасын желдеткіш құрылғыларымен қыздыру бөліміне қайтадан жібереді. Сонымен қатар, әр бөлімде қажетті температуралық ортаны қамтамасыз ету үшін бөлімдер аралығына ауа ағыны перделерін немесе ыстыққа төзімді перделерді орнатады. Жылулық қондырғының жұмыс камерасындағы буауа қоспасының максималды температурасы $t = 80 \div 85\ ^oC$ аралығында болады. Будың меншікті шығыны 150÷200 $м^3$ аралығында болады.

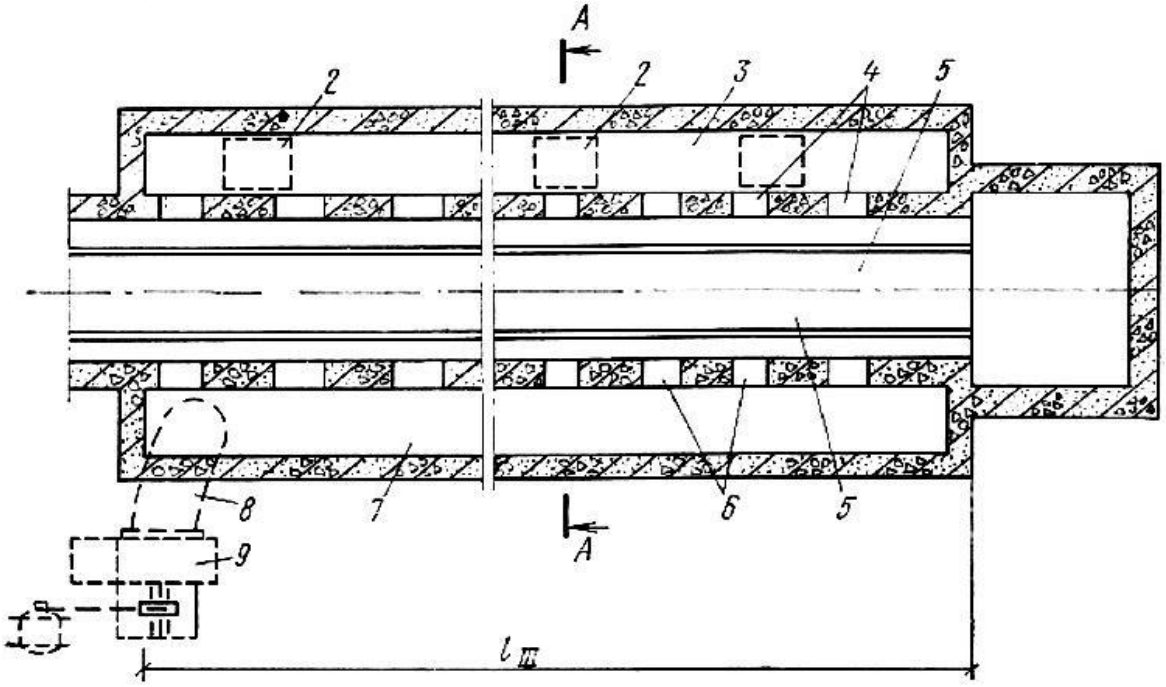
Бұйымдарды суыту үшін қоршаған ортадағы суық ауаны қолданады. Ол үшін, суыту бөлімінің екі жақ қабырғасының сыртына қосымша каналдар орнатылады. Суыту бөлімінің схемасы 10.2 суретте келтірілген.

Суық ауа сору каналының *3* жоғарғы жағындағы тор *1* астында орналасқан шахталар *2* арқылы суық ауа сорылып, суыту бөлімінің қабырғасындағы тесіктер *4* арқылы бұйымдарды *5* суытады. Өңдеуден өткен суық ауа тесіктер *6* арқылы ауаны шығару каналынан *7* сору түтікшесімен *8* сорылып, желдеткішпен *9* құбыр *10* арқылы атмосфераға лақтырылады.

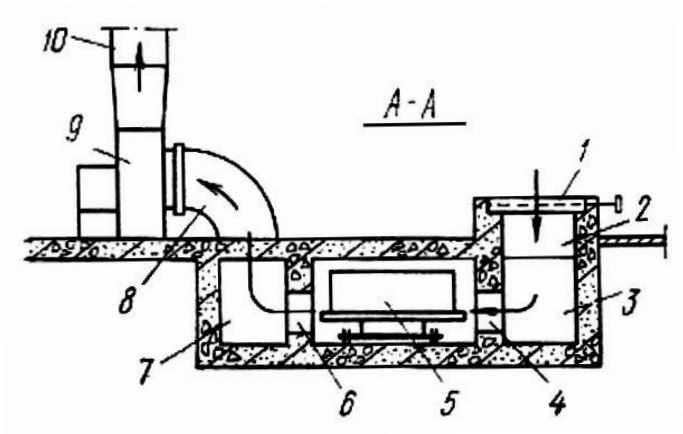
Құбырлы электрлі қыздырғыштарды қолдану кезінде, оларды блоктар түрінде бұйымдар кіргізілетін жерден 8÷10 *м* қашықтықтан кейін изотермиялық ұстап тұру бөлімінің соңына дейін қойылады. Құбырлы электрлі қыздырғыштарды қолдану нәтижесінде бұйымдарды қыздыру жылдамдығы артады, сондықтан қондырғының ұзындығы *l*=80÷90 *м* аралығында болады. Қыздыру жылдамдығын арттыру, сонымен қатар, жұмыс камерасындағы ортаның температурасын $t = 120 \div 130\ ^oC$ дейін жоғарылатуға әсерінен болады. Құбырлы электрлі қыздырғыштар көбінесе керамзитбетон бұйымдарын жылуылғалдылық өңдеу кезінде қолданады.

Мұндай қондырғыларда жылудың меншікті шығыны буға шаққанда 150÷200 $м^3$ аралығында болады.

*а)*

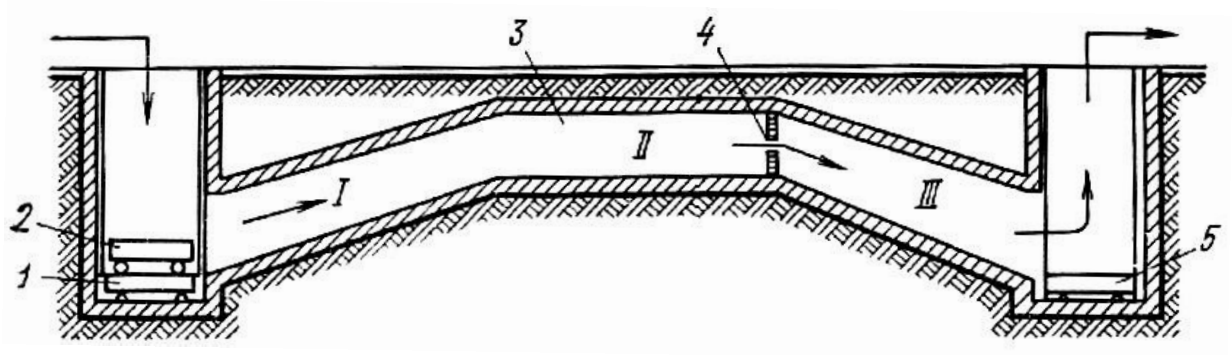



*б)*




10.2 сурет. Туннельді саңлаулы булау камерасының суыту бөлімінің схемасы. а) – жоспары, б) – кескіні.

**Полигональды саңлаулы булау камерасы.** Полигональды саңлаулы булау камерасының жұмыс камерасы туннельді булау камерасындағыдай барлық ұзындығы бойынша шартты түрде үш бөлімге бөлінеді: қыздыру бөлімі – *I*, изотермиялық ұстап тұру бөлімі – *II* және суыту бөлімі – *III*. Бірақ, олар әртүрлі деңгейде орналасады (10.3 сурет).



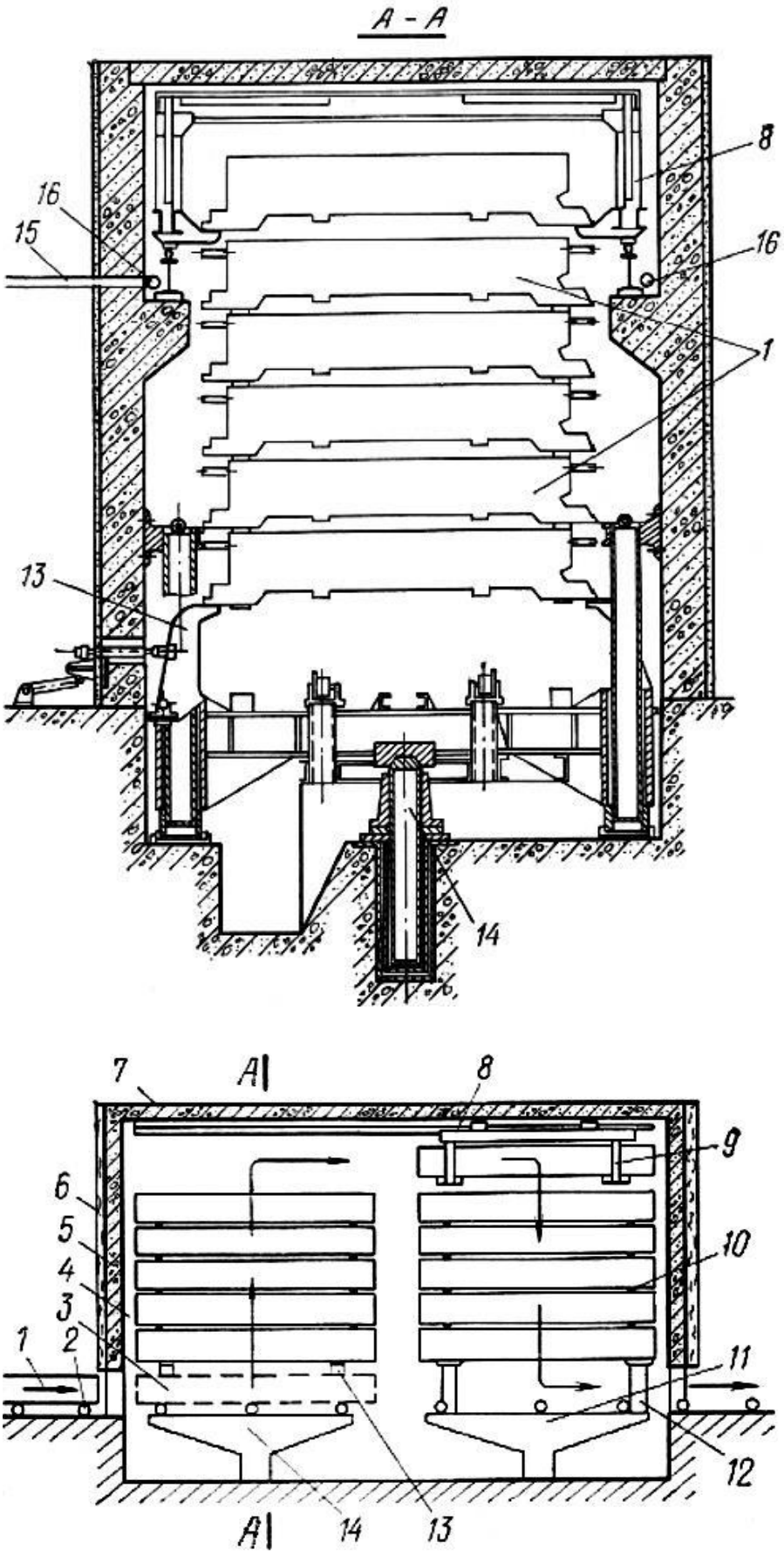

10.3 сурет. Полигональды булау камерасының схемасы

Бұйымдар орнықтырылған вагонетка *2* төмен түсіру домкраты *1* көмегімен рельсті жолдың деңгейіне түсіріледі. Ол жерден жоғары тарту механизмі арқылы вагонетка қыздыру бөліміне өтіп, жұмыс камерасындағы *3* барлық вагонетканы ілгері жылжытады. Нәтижесінде, қарама-қарсы беттен жылулық өңдеуден өткен бұйымдары бар бір вагонетка сыртқа шығарылып, көтергіш домкрат құрылғысының *5* үстіне келіп тұрады. Өз кезегінде гидродомкрат вагонетканы цех деңгейіне дейін жоғары көтеріп, вагонетка бұйымдарды түсіру алаңына жіберіледі. Қондырғыдағы бұйымдарды қыздыру үшін жылу көзі ретінде су буын немесе құбырлы электрлі қыздырғыштарды қолданады.

Су буын қолдану кезінде қабырғаның екі жақ бетіне қойылған тесікті бу бері құбырлары арқылы қыздыру және суыту бөлімдеріне су буы беріледі. Бастапқыда камераға берілген су буы ауамен араласып, буауа қоспасын түзеді. Белгілі бір уақыттан кейін изотермиялық ұстап тұру бөліміндегі бу буауа қоспасынан жеңіл болғандықтан, оны біртіндеп қыздыру бөліміне қарай ығыстыра бастайды. Жылутасымалдағыш изотермиялық бөлімінен суыту бөліміне қарай өтпес үшін, олардың аралығына ауа ағыны пердесі *4* қойылады. Нәтижесінде, изотермиялық ұстап тұру бөлімі ылғалдылығы 95÷97 % болатын таза қаныққан су буымен толтырылып, жылутасымалдағыштың температурасы 100 $^{o}C$ дейін көтеріледі. Мұндай қондырғыларда су буы мен бұйымдардың арасындағы жылуалмасу процесінің жақсаруына байланысты будың меншікті шығынын туннельді саңлаулы булау камерасына қарағанда 8÷10 % төмендетуге болады.

**Тік булау камерасы.** Тік булау камерасы жылу көзін тиімді қолдануға және цех алаңының азайтуға мүмкіндік береді. Қондырғының жұмыс камерасы тігінен орналасады және бұйымдар төменнен жоғары қарай көтеріліп, қайтадан төменге қарай жылжу арқылы жылулық өңдеуден өтеді. Осыған байланысты, қондырғының бұйымдар кіргізілетін төменгі жағы – қыздыру бөлімі, жоғарғы бөлігі – изотермиялық ұстап тұру бөлімі және бұйымдар шығарылатын төменгі бөлігі – суыту бөлімі деп аталады.Тік булау камерасының схемасы 10.4 суретте келтірілген.

Қалыптанған бұйымдар *1* жылжымалы рольганг *2* бойынша қажетті орынға *3* келіп орналасады. Қондырғының жұмыс камерасы *4* бетоннан жасалған қаңқадан *5* және жылуоқшаулықты қабаттан *6* тұрады.Бетон қаңқаның жоғарғы бөлігі қақапақпен *7* жабылады. Қондырғының барлық механизмдері бір-бірімен синхронды жалғасқан түрде автоматты жұмыс істейді. Жұмыс камерасына кіргізілген бұйым *3* рольгангты механизмнің электрлі тоғын ажыратқаннан кейін, көтергіш гидродомкрат *14* іске қосылады, яғни ол жоғары көтеріліп, кіргізілген бұйыммен бірге жылжиды. Бұл кезде, бұйым қалыбымен тіреуіш механизмдері *13* ішке қарай тартылады. Бұйымның астыңғы беті тіреуіштерден жоғары өткен кезде, тіреуіштер қайта орнына келіп, кіргізілген бұйыммен бірге барлық бұйымдарды тіреп қалады. Ал, гидродомкрат төмен қарай жылжып, өз орнына келгеннен соң электрлі тоғынан ажыратылып, камераның жоғарғы жағындағы жылжымалы арбаны *8* іске қосады. Жылжымалы арба қысқыш механизмдарымен *9* ең жоғарғы бұйымды алып, екінші камерадағы бұйымдардың үстіне алып келеді.




10.4 сурет. Тік булау камерасының схемасы

Жылжымалы арба бұйымды қойып, өз орнына қайта келген кезде, электрлі тоғынан ажырап, төмен түсіру гидродомкратын *11* іске қосады. Гидродомкрат жоғары көтеріліп, барлық бұйымды тіреуіш механизмнен *12* жоғары көтереді. Ең төменгі бұйымның астыңғы беті тіреуіштерден жоғары өткен кезде, олар тарту білігі арқылы ішке тартылып, гидродомкраттың төмен қарай жылжуына кедергі келтірмейді. Ең төменгі бұйымның жоғарғы беті тіреуіштерден төмен болған кезде, тіреуіштер қайтадан орнына келіп, екі аралыққа *10*, яғни ең төменгі бұйымнан басқа барлық бұйымдарды тіреу арқылы ұстап қалады. Содан соң, гидродомкрат ары қарай төмен жылжып, бұйымды жылжымалы роликті конвейердің деңгейінде қалдырып, өз орнына қарай төмен түседі. Бұл кезде, ол электрлі тоғынан ажыратылып, жылжымалы роликті конвейер іске қосылып, жылулық өңдеуден өткен бұйым қондырғыдан сыртқа шығарылады. Жылжымалы роликті конвейер өз орнына қайта келгенде, электрлі тоғынан ажыратылып, бұйымды ішке кіргізетін жылжымалы рольганг механизмі іске қосылады. Жоғарыда айтылған қондырғының жұмыс істеу принципі осы схема бойынша қайталану арқылы, бұйымдардың қондырғы үздіксіз кіргізілуін және шығарылуын қамтамасыз етеді.

Жұмыс камерасына жылутасымалдағыш ретінде берілетін су буы, қондырғыға бу беру құбырымен *15* беріліп, бу тесікті бу беру құбыры *16* арқылы камераның жоғары бөлігіне барлық периметрі бойынша жіберіледі.

Бастапқы кезде су буы ауамен араласып, буауа қоспасын түзеді, содан кейін келесі су буы буауа қоспасынан жеңіл болғандықтан оны төмен қарай ығыстырып, қондырғының жоғарғы жағында таза қаныққан су буымен толтырылып, жұмыс камерасының изотермиялық бөлімінде температура 100 $^{o}C$ дейін көтеріледі.

Демек, қондырғыға кіргізілген бұйымдар 10.4 суретке келтірілген сызық бағытымен төменнен жоғары қарай, көлденең бағытта және жоғарыдан төмен қарай жылжи отырып, біртіндеп қыздыру, изотермиялық ұстап тұру және суыту бөлімдерінен өтеді. Мұндай қондырғыда, жылулық режимнің жақсы өтуіне байланысты будың меншікті шығыны төмен болады. Тік булау камераларында будың меншікті шығыны 100÷150 $м^3$ аралығында болады, яғни шұңқырлы булау камераларына қарағанда 1,5÷2 есе төмен.

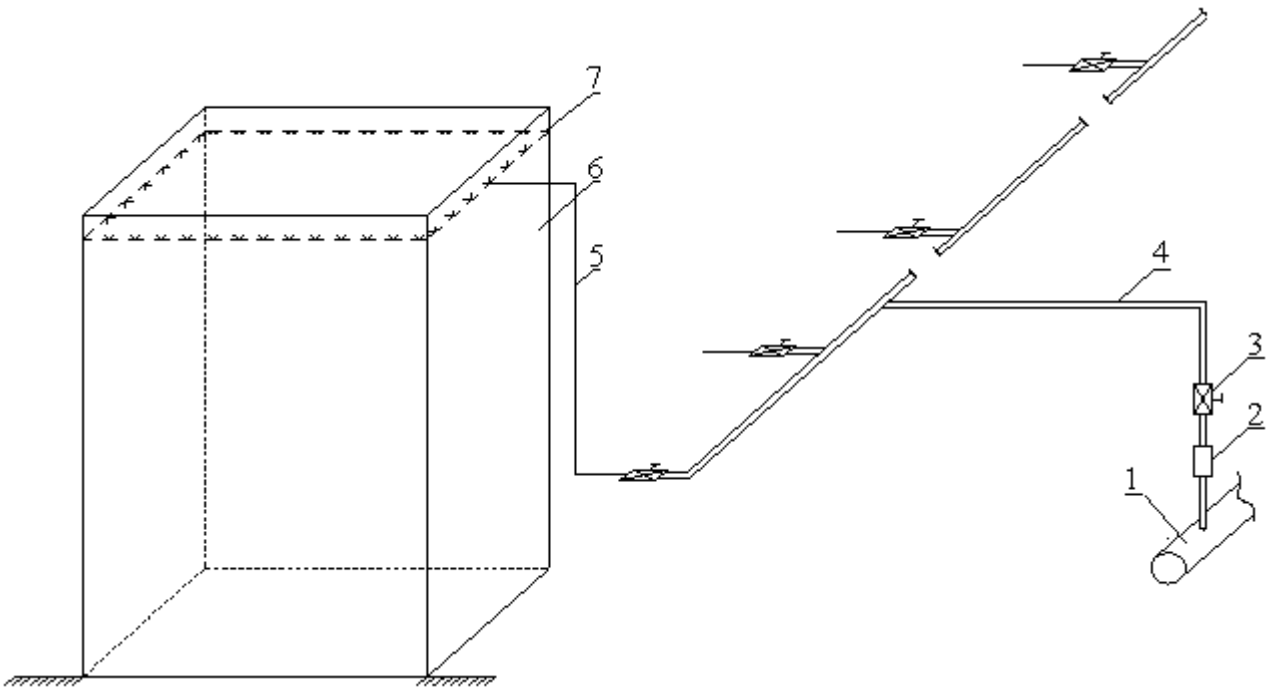
Бірақ, тік булау камераларында жұмыс істеу механизмдері күрделі болғандықтан, жұмысшылардың жоғары кәсіби біліктілікті болулары тиіс. Сонымен қатар, қондырғының конструкциялық тетіктері (жылжыту және көтеру-түсіру құрылғылары) ылғал ортада жұмыс істендіктен, жиірек істен шығуы мүмкін, яғни оларды мұқият қадағалауды қажет етеді. Сондықтан, бұл қондырғылар барлық зауыттарда қолданылмайды.

Тік булау камералары конструкциясы бойынша бір, екі немесе төрт штабельді болуы мүмкін, яғни бір мезгілде жұмыс істейтін гидродомкраттар саны штабельдер санына сәйкес болады.

## 10.3. Есепті орындау әдістемесі

Қондырғының гидравликалық бу беру жүйесін есептеу үшін, қондырғының бу беру жүйесіндегі барлық элементтері, қондырғылардың есептелген қажетті саны және бөлімдерінің өлшемдері келтірілген схеманы алдын-ала дайындау қажет.

Тік булау камерасының есептелген қажетті саны және бөлімдерінің өлшемдері келтірілген схемасы 10.5 суретте келтірілген.




10.5 сурет. Тік булау камерасына бу беру жүйесі. *1* – магистралды бу беру құбыры, *2* – дроссель, *3* – вентиль, *4* – жалпы бу беру құбыры, *5* – жылулық қондырғыға бу беру құбыры, *6* – жұмыс камерасы, *7* – тесікті бу беру құбыры.

### 10.3.1 Жалпы бу беру құбырын гидравликалық есептеу

*Жалпы бу беру құбырының диаметрі*

$$d_{ж.б.} = 3{,}5 \cdot \sqrt{\frac{G_{бу.мах}}{\omega_{бу} \cdot \rho_{бу}}}, \quad м \tag{10.1}$$

мұнда: $G_{бу.мах}$ – будың максимальды шығыны, *кг/секунд*

$$G_{бу.мах} = G_{бу} \cdot T_{қон} \cdot \mu, \quad кг/секунд$$

$G_{бу}$ – камераға берілетін будың массасы, *кг/секунд*

$T_{қон}$ – қондырғының қажетті саны, *дана*

$\mu$ – бу қазандығы өнімділігінің қосымша қор коэффициенті (1,15÷1,2)

$\omega_{бу}$ – құбырдағы будың қозғалу жылдамдығы, (20÷60)*м/секунд*

$\rho_{бу}$ – су буының тығыздығы, 0,5977 *кг/м*$^3$

*Жалпы бу беру құбырының сызықтық кедергісі*

$$h_{с.к.} = R_{с.к.} \cdot \ell_{ж.б.}, \quad Па \tag{10.2}$$

мұнда: $R_{с.к.}$ – бу жүретін құбырдың 1 погон метрге шаққандағы меншікті кедергісі, *Па*

$$R_{с.к.} = 0{,}29 \cdot K^{0{,}5} \frac{G^2_{бу.max}}{\rho_{бу} \cdot d^{5{,}25}_{ж.б.}}, \quad Па$$

$K$ – бу жүретін құбырдың ішкі бетінің кедір-бұдырлығын ескеретін коэффициент, 0,0002

$\ell_{ж.б.}$ – жалпы бу беру құбырының ұзындығы, *м* (зауыт жобасындағы қондырғыларды цехтарда орнықтыру бойынша шешімдерге сәйкес қабылданады), *м*

*Жалпы бу беру құбырының жергілікті кедергісі*

$$h_{ж.к.} = R_{с.к.} \cdot \ell_{ж.б.экв.}, \quad Па \tag{10.3}$$

мұнда: $\ell_{ж.б.экв}$ – жалпы бу беру құбырының эквивалентті ұзындығы, *м*

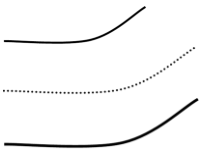
$$\ell_{ж.б.экв} = 76{,}4 \cdot d^{1{,}25}_{ж.б.} \cdot \sum \xi, \quad Па$$

$\sum \xi$ – жалпы бу беру құбырындағы жергілікті кедергі коэффициенттердің жалпы қосындысы (10.1 кестеден қабылданады)

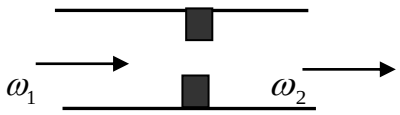
*Жалпы бу беру құбырындағы жалпы кедергі*

$$h_{ж.б.} = h_{с.к.} + h_{ж.к.}, \quad Па \tag{10.4}$$

10.1 кесте. Жергілікті кедергі коэффицентері

| **Тұрақты қима аудан кезіндегі иінді бұрылыс** | | | | |  | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Бұрыштық шама, $\alpha$ ° | 20 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | 120 | 180 |
| Кедергі коэффициенті, $\xi$ | 0,31 | 0,45 | 0,60 | 0,75 | 0,90 | 1,0 | 1,2 | 1,4 |

| **Стандартты вентиль, ажырату кеңістігінің бұрышы** $\alpha = 45^0$ | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Құбыр диаметрі, $d$ , мм | 13 | 20 | 40 | 80 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 |
| Кедергі коэффициенті, $\xi$ | 10,8 | 8,0 | 4,9 | 4,0 | 4,1 | 4,4 | 4,7 | 5,1 | 5,4 | 5,5 |

| **Дроссельге шығындалатын кедергі мәні** | Кедергі коэффициенті, $\xi$ |
|---|---|
|  | $\frac{\omega_2}{\omega_1} = 0{,}5$ |
| $\omega_1$ – дроссельге дейінгі ағын жылдамдығы, *м/секунд* | |
| $\omega_2$ – дроссельден кейінгі ағын жылдамдығы, *м/секунд* | 4,0 |
| **Тесікті бу беру құбырындағы ағынның еркін ағу жағдайындағы бір тесікке шығындалатын кедергі мәні** | 1,06 |

### 10.3.2 Жылулық қондырғыға бу беру құбырын гидравликалық есептеу

*Жылулық қондырғыға бу беру құбырының диаметрі*

$$d_{ж.қ.} = 3{,}5 \cdot \sqrt{\frac{G_{бу.қон}}{\omega_{бу} \cdot \rho_{бу}}}, \quad м \qquad (10.5)$$

мұнда: $G_{бу.қон}$ – жылулық қондырғыға берілетін будың шығыны, *кг/секунд*

$$G_{бу.} = \frac{G_{бу.max}}{T}, \quad кг/секунд$$

Жылулық қондырғыға бу беру құбырының жалпы кедергісін анықтау жалпы бу беру құбырын гидравликалық есептеген жолмен жүргізіледі.

*Жылулық қондырғыға бу беру құбырының сызықтық кедергісі*

$$h_{с.к.} = R_{с.к.} \cdot \ell_{ж.қ.}, \quad Па \tag{10.6}$$

мұнда: $R_{с.к.}$ – бу жүретін құбырдың 1 погон метрге шаққандағы меншікті кедергісі, *Па*

$$R_{с.к.} = 0{,}29 \cdot K^{0{,}5} \frac{G^2_{бу.қон}}{\rho_{бу} \cdot d^{5{,}25}_{ж.қ.}}, \quad Па$$

$\ell_{ж.қ.}$ – жылулық қондырғыға бу беру құбырының ұзындығы, *м*

*Жылулық қондырғыға бу беру құбырының жергілікті кедергісі*

$$h_{ж.к.} = R_{с.к.} \cdot \ell_{ж.қ.экв.}, \quad Па \tag{10.7}$$

мұнда: $\ell_{ж.қ.экв}$ – жылулық қондырғыға бу беру құбырының эквивалентті ұзындығы, *м*

$$\ell_{ж.қ.экв} = 76{,}4 \cdot d^{1{,}25}_{ж.қ.} \cdot \sum \xi, \quad Па$$

*Жылулық қондырғыға бу беру құбырындағы жалпы кедергі*

$$h_{ж.қ.} = h_{с.к.} + h_{ж.к.}, \quad Па \tag{10.8}$$

### 10.3.3 Қондырғының жұмыс камерасындағы тесікті бу беру құбырын гидравликалық есептеу

*Тесікті бу беру құбырындағы бу шығатын тесіктер саны*

$$n_{т.б.} = 1{,}273 \cdot \frac{\sum f}{d^2_{тес}}, \; дана \text{ (бүтін санға дейін ұлғайтылып алынады)} \tag{10.9}$$

мұнда: $\sum f$ – тесіктердің жалпы бет ауданы, $мм^2$

$$\sum f = \frac{3600 \cdot G_{бу.кон}}{g_{бу}}, \quad мм^2$$

$g_{бу}$ – 1 $мм^2$ тесіктен шығатын бу шығыны, 0,26 $кг/мм^2$

$d_{тес}$ – бу шығатын тесіктер диаметрі, (2÷4)*мм*

*Тесікті бу беру құбырындағы тесіктер аралығы*

$$S_{тес} = \frac{\ell_{т.б.}}{n_{т.б.}}, \quad мм \tag{10.10}$$

мұнда: $\ell_{т.б.}$ – тесікті бу беру құбырының ұзындығы,

$$\ell_{т.б.} = 2 \cdot (L_{кам} + B_{кам}), мм$$

Тесікті бу беру құбырындағы тесіктер аралығы $S_{тес} = (150 \div 200)$ *мм* аралығында болуы қажет. Мұндай болмаған жағдайда бу шығатын тесіктер диаметрін $d_{тес}$ қайтадан тиімді етіп қабылдау керек.

*Тесікті бу беру құбырынының диаметрі*

$$d_{т.б.} = \frac{1{,}13 \cdot \sqrt{2 \cdot \sum f}}{1000}, \quad м \tag{10.11}$$

Тесікті бу беру құбырының жалпы кедергісін анықтау жалпы бу беру құбырын гидравликалық есептеген жолмен жүргізіледі.

*Тесікті бу беру құбырының сызықтық кедергісі*

$$h_{с.к.} = R_{с.к.} \cdot \ell_{т.б.}, \quad Па \tag{10.12}$$

мұнда: $R_{с.к.}$ – бу жүретін құбырдың 1 погон метрге шаққандағы меншікті кедергісі, *Па*

$$R_{с.к.} = 0{,}29 \cdot K^{0,5} \frac{G^2_{т.б.}}{\rho_{бу} \cdot d^{5,25}_{т.б.}}, \quad Па$$

*Қыздыру бөліміндегі тесікті бу беру құбырының жергілікті кедергісі*

$$h_{ж.к.} = R_{с.к.} \cdot \ell_{т.б.экв.}, \quad Па \tag{10.13}$$

мұнда: $\ell_{т.б.экв}$ – тесікті бу беру құбырының эквивалентті ұзындығы, *м*

$$\ell_{т.б.экв} = 76{,}4 \cdot d^{1,25}_{т.б.} \cdot \sum \xi, \quad Па$$

*Тесікті бу беру құбырының жалпы кедергісі*

$$h_{т.б.} = h_{с.к.} + h_{ж.к.},\ \ Па \qquad (10.14)$$

*Бу беру жүйесінің бас жағындағы қажетті қысым мәні*

$$P_{қаж} = P_{кір} + 1{,}2 \cdot \left(h_{ж.б.} + T_{қон} \cdot (h_{ж.қ.} + h_{т.б.})\right) \cdot 10^{-6},\ \ МПа \qquad (10.15)$$

мұнда: $P_{кір}$ – тесікті бу беру құбырына берілетін бу қысымы,

$$P_{кір} = 0{,}12\, МПа$$

Жылулық қондырғының бу беру жүйесін гидравликалық есептеу нәтижесінде анықталған будың қажетті қысымы $(P\ \ )$ және будың максимальды шығыны $(G_{бу.мах})$ мәндерін пайдаланып, бу өндіру қазандығының тиімді түрі таңдалады (10.2 кесте).

10.2 кесте. Бу өндіру қазандығының негізгі жылутехникалық сипаттамалары

| Жылутехникалық сипаттамалары | Бу өндіру қазандығының және қолданылатын отынның түрі | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ДКВр 2,5-13 | | | ДКВр 4-13 | | | ДКВр 6,5-13 | | ДКВр 10-13 | |
| | Газ | Мазут | Көмір | Газ | Мазут | Көмір | Газ | Көмір | Газ | Көмір |
| Бу өнімділігі, *кг/секунд* | 0,695 | 1,11 | 0,695 | 1,11 | 1,66 | 1,11 | 1,8 | 1,8 | 2,78 | 2,78 |
| Бу қысымы, *МПа* | 1,28 | 1,28 | 1,28 | 1,28 | 1,28 | 1,28 | 2,26 | 2,28 | 3,83 | 3,83 |
| Оттықтағы ауаның шығын коэффициентінің мәні, | 1,15 | 1,0 | 1,4 | 1,15 | 1,15 | 1,15 | 1,15 | 1,14 | 1,15 | 1,40 |
| Отын шығыны, $м^3$/*секунд* немесе *(кг/секунд)* | 0,057 | 0,09 | 0,0885 | 0,095 | 0,133 | 0,149 | 0,125 | 0,239 | 0,233 | 0,364 |
| Оттықтан шығатын түтінгі газ температурасы, $^oC$ | 870 | 940 | 800 | 980 | 1030 | 880 | 1030 | 925 | 1040 | 915 |
| Оттық көлемі, $м^3$ | 12 | 11,8 | 10,4 | 15,6 | 15,6 | 13,7 | 24,6 | 13,7 | 43,0 | 37,4 |
| Керегөз тор бетінің ауданы, $м^2$ | - | - | 2,76 | - | - | 3,83 | - | 6,35 | - | 9,5 |

## 10.4. Есептеуді орындау үшін алдын-ала берілгендер

| Вариант | Камераға берілетін будың массасы, $G_{бу}$, *кг/секунд* | Қондырғының қажетті саны, $T_{қон}$, *дана* | Жалпы бу беру құбырының ұзындығы, $\ell_{ж.б.}$, *м* | Жылулық қондырғыға бу беру құбырының ұзындығы, $\ell_{ж.қ.}$, *м* | Жұмыс камерасының ұзындығы, $L_{кам}$, *м* | Жұмыс камерасының ені, $B_{кам}$, *м* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 0,15 | 2 | 100,0 | 25,5 | 10,5 | 4,5 |
| 2. | 0,16 | 3 | 110,0 | 30,4 | 8,0 | 4,6 |
| 3. | 0,17 | 4 | 120,0 | 27,8 | 7,5 | 5,5 |
| 4. | 0,09 | 5 | 100,0 | 30,0 | 6,5 | 4,0 |
| 5. | 0,11 | 1 | 105,0 | 25,6 | 5,5 | 5,0 |
| 6. | 0,12 | 2 | 150,0 | 29,0 | 10,0 | 3,8 |
| 7. | 0,17 | 4 | 145,0 | 35,4 | 12,1 | 4,0 |
| 8. | 0,18 | 3 | 160,0 | 40,5 | 10,5 | 4,1 |
| 9. | 0,10 | 1 | 110,0 | 50,0 | 5,0 | 3,8 |
| 10. | 0,2 | 3 | 125,0 | 20,0 | 6,0 | 3,9 |
| 11. | 0,21 | 2 | 122,0 | 30,0 | 7,0 | 7,6 |
| 12. | 0,22 | 4 | 100,0 | 15,0 | 8,0 | 8,5 |
| 13. | 0,24 | 3 | 110,0 | 10,0 | 9,0 | 3,5 |
| 14. | 0,15 | 2 | 95,0 | 12,0 | 5,5 | 2,0 |
| 15. | 0,17 | 1 | 90,5 | 15,0 | 6,5 | 5,0 |
| 16. | 0,18 | 5 | 85,0 | 10,5 | 7,5 | 6,0 |
| 17. | 0,11 | 6 | 70,0 | 12,8 | 8,5 | 2,9 |
| 18. | 0,12 | 4 | 120,0 | 25,7 | 9,5 | 3,7 |
| 19. | 0,13 | 3 | 110,0 | 22,6 | 5,2 | 3,7 |
| 20. | 0,15 | 2 | 100,0 | 18,7 | 6,2 | 4,6 |
| 21. | 0,24 | 5 | 105,0 | 19,5 | 7,3 | 6,5 |
| 22. | 0,27 | 4 | 120,0 | 20,4 | 8,3 | 5,2 |
| 23. | 0,26 | 3 | 110,0 | 22,6 | 9,2 | 5,3 |
| 24. | 0,22 | 4 | 105,0 | 20,4 | 6,0 | 6,4 |
| 25. | 0,23 | 6 | 100,0 | 18,6 | 7,0 | 4,6 |
| 26. | 0,26 | 2 | 130,0 | 20,4 | 5,0 | 5,5 |
| 27. | 0,18 | 4 | 125,0 | 27,0 | 5,5 | 5,0 |
| 28. | 0,11 | 3 | 125,0 | 20,5 | 6,5 | 2,9 |
| 29. | 0,10 | 1 | 130,0 | 15,6 | 8,5 | 3,5 |
| 30. | 0,15 | 3 | 132,0 | 22,4 | 9,5 | 3,4 |
| 31. | 0,17 | 4 | 145,0 | 30,0 | 10,5 | 5,5 |
| 32. | 0,21 | 5 | 140,6 | 25,0 | 5,5 | 4,5 |
| 33. | 0,25 | 2 | 137,5 | 20,0 | 6,5 | 4,4 |
| 34. | 0,22 | 4 | 130,4 | 10,0 | 7,5 | 3,4 |
| 35. | 0,23 | 5 | 145,6 | 12,0 | 5,5 | 3,7 |
| 36. | 0,18 | 3 | 125,3 | 30,3 | 6,5 | 4,6 |
| 37. | 0,19 | 6 | 126,4 | 40,5 | 5,5 | 4,5 |
| 38. | 0,17 | 2 | 128,5 | 22,8 | 5,0 | 4,2 |
| 39. | 0,15 | 4 | 130,4 | 20,9 | 6,0 | 4,0 |
| 40. | 0,27 | 5 | 133,5 | 16,7 | 4,8 | 3,8 |
| 41. | 0,28 | 1 | 110,0 | 22,5 | 4,9 | 3,9 |
| 42. | 0,19 | 3 | 100,0 | 24,6 | 5,6 | 4,1 |
| 43. | 0,23 | 4 | 95,0 | 25,0 | 5,0 | 4,2 |

## 10.5. Студенттің өзіндік дайындалуға арналған бақылау сұрақтары

### 1. Жазбаша (ауызша) сұрақтар

1. Жылуылғалдылық өңдеу қондырғыларын гидравликалық есептеу не үшін қажет?
2. Бетон және темірбетон өндірістерінде бұйымдарды қыздырудың қандай тәсілдерін қолданады?
3. Қанықкан су буымен тікелей қыздырудың ерекшелігі қандай?
4. Қанықкан су буымен жанама қыздырудың ерекшелігі қандай?
5. Бу ауа қоспасымен қыздырудың ерекшелігі қандай?
6. Бетон және темірбетон өндірістерінде үздіксіз режимде жұмыс істейтін қондырғылар ретінде қандай камераларды қолданады?
7. Туннельді саңлаулы булау камерасының констырукциялық ерекшеліктері және жұмыс істеу принципі қандай?
8. Полигональды саңлаулы булау камерасы ның констырукциялық ерекшеліктері және жұмыс істеу принципі қандай?
9. Тік булау камерасы ның констырукциялық ерекшеліктері және жұмыс істеу принципі қандай?
10. Жылуылғалдылық қондырғының гидравликалық бу беру жүйесін есептеу әдістемесі қандай?

### 2. Тест сұрақтары

**1.** Жұмыс істеу режимі бойынша туннельді саңлаулы камералар қандай қондырғыларға жатады:
А) Циклды жұмыс істейтін
Б) Үздікті жұмыс істейтін
В) Үздіксіз жұмыс істейтін
Г) Импульсты жұмыс істейтін
Д) Инерциялы жұмыс істейтін
**2.** Үздіксіз режимде жұмыс істейтін қондырғыларды атаңыз:
А) Автоклав, шұңқырлы булау камерасы
Б) Туннельді, саңлаулы, полигональды, тік булау камералары
В) Пакеттеу қондырғысы, автоклав
Г) Автоклав, саңлаулы булау камерасы
Д) Шұңқырлы булау камерасы, кассетті қондырғы, пакеттеу қондырғысы
**3.** Тік булау камераларының ерекшелігін атаңыз?
А) Бетон тез қатаяды
Б) Бу шығыны төмен
В) Бетон беріктігі жоғары
Г) Бу температурасы жоғары
Д) Ерекшелігі жоқ
**4.** Саңлаулы булау камерасының суыту бөлімінде бетон суытылады?
А) Оттекпен

Б) Ыстық сумен
В) Ыстық газбен
Г) Суытылмайды
Д) Суық ауамен

**5.** Тік булау камерасының кемшіліктерін атаңыз?
А) Бетон жәй қатаяды
Б) Бу шығыны жоғары
В) Жұмыс істеуі және құрылғылары күрделі
Г) Бетон беріктігі төмен
Д) Кемшілігі жоқ

**6.** Тік булау камерасында қалыптанған бұйымдарды не арқылы жоғары көтереді?
А) Рольганг арқылы
Б) Башенді кранмен
В) Көпірлі кранмен
Г) Гидродомкратпен
Д) Трос арқылы

**7.** Туннельді саңлаулы булау камерасына вагонеткадағы бұйымдар қалай кіргізіледі?
А) Башенді кранмен
Б) Трос арқылы
В) Ленталы тасымалдағыш арқылы
Г) Төмен түсіргіш стол және итергіш механизм арқылы
Д) Көпірлі кранмен

**8.** Тік булау камерасында будың меншікті шығыны қандай?
А) 300÷400 $кг/м^3$
Б) 100÷150 $кг/м^3$
В) 500÷700 $кг/м^3$
Г) 120÷180 $кг/м^3$
Д) 700÷800 $кг/м^3$

**9.** Туннельді саңлаулы булау камерасында будың меншікті шығыны қандай?
А) 150÷200 $кг/м^3$
Б) 100÷150 $кг/м^3$
В) 500÷700 $кг/м^3$
Г) 120÷180 $кг/м^3$
Д) 700÷800 $кг/м^3$

**10.**Туннельді саңлаулы булау камераларының ұзындығы және ені қандай аралықта болады?
А) $L$=10÷24 *м*, $B$=10÷12 *м*,
Б) $L$=200÷300 *м*, $B$=10÷12 *м*,
В) $L$=100÷120 *м*, $B$=5÷7 *м*,
Г) $L$=5÷15 *м*, $B$=1÷2 *м*,
Д) $L$=10÷20 *м*, $B$=3÷4 *м*,

**11.**Бетондарды туннельді саңлаулы камерада жылуылғалдылық өңдеу қанша сатыдан тұрады?

А) 10
Б) 7
В) 5
Г) 1
Д) 3

**12.**Бетондарды полигональды камерада жылуылғалдылық өңдеу қанша сатыдан тұрады?
А) 5
Б) 7
В) 3
Г) 1
Д) 10

**13.**Көлденеңді саңлаулы булау камерасында бірінші тесікті бу беру құбыры бұйым кіретін жерден қанша метерден кейін қойылады?
А) 2÷5 *м*
Б) 120÷125 *м*
В) 18÷20 *м*
Г) 150÷ 300 *м*
Д) 0,1÷1 *м*

**14.**Көлденеңді саңлаулы булау камерасында тесікті бу беру құбырлары қанша метр сайын қойылады?
А) 3÷6 *м*
Б) 120÷125 *м*
В) 40÷50 *м*
Г) 150÷300 *м*
Д) 100÷150 *м*

**15.**Көлденеңді саңлаулы булау камерасында ең соңғы тесікті бу беру құбыры бұйым шығатын жерден қанша метерден кейін қойылады?
А) 120÷125 *м*
Б) 35÷40 *м*
В) 2÷5 *м*
Г) 150÷300 *м*
Д) 0,1÷1 *м*

**16.**Полигональды булау камерасында көлденеңді саңлаулы булау камерасына қарағанда бу шығыны қандай мөлшерге төмен?
А) 40÷50 %
Б) 70÷80 %
В) 50÷60 %
Г) 8÷10 %
Д) 1÷5 %

**17.**Саңлаулы булау камерасында жылулық өңдеу процесі кезінде жылутасымалдағыштың қысымы қандай аралықта болады:
А) 0,4 *МПа*
Б) 0,2 *МПа*
В) 0,5 *МПа*

Г) 0,1 *МПа*
Д) 0,3 *МПа*
**18.**Полигональды булау камерасының изотермиялық ұстап тұру бөліміндегі ортаның ылғалдылығы және температурасы қандай?
А) 40÷50 %, 60 $^{o}C$
Б) 70÷80 %, 80 $^{o}C$
В) 50÷60 %, 70 $^{o}C$
Г) 95÷97 %, 100 $^{o}C$
Д) 30÷40 %, 50 $^{o}C$
**19.**Тік булау камерасының изотермиялық ұстап тұру бөліміндегі ортаның ылғалдылығы және температурасы қандай?
А) 50÷60 %, 70 $^{o}C$
Б) 70÷80 %, 80 $^{o}C$
В) 95÷100 %, 100 $^{o}C$
Г) 40÷50 %, 60 $^{o}C$
Д) 30÷40 %, 50 $^{o}C$
**20.**Туннельді саңлаулы булау камерасының изотермиялық ұстап тұру бөліміндегі ортаның ылғалдылығы және температурасы қандай?
А) 30÷40 %, 50 $^{o}C$
Б) 50÷60 %, 80 $^{o}C$
В) 150÷160 %, 70 $^{o}C$
Г) 140÷150 %, 60 $^{o}C$
Д) 80÷85 %, 100 $^{o}C$

## 11. ЖҰМЫС МӘТІНІН РӘСІМДЕУ ЖӘНЕ ҚОРҒАУ ТӘРТІБІ

1. Жұмыс мәтіні А4 (210х297*мм*) форматтағы қағаз бетіне қолмен немесе компьютерде теру арқылы (студенттің қалауы бойынша) әдістемелік нұсқауларда келтірілген ретпен рәсімделеді.
2. Мәтін титулды беттен кейін жазылады. Мәтінде жұмыстың тақырыбы, мақсаты, жұмыстың орындалу реті, тәжірибе нәтижелерін өңдеу бойынша шығырылған есеп және жұмысты орындау нәтижесінде алынған көрсеткіштер бойынша қорытынды келтіріледі.
3. Жұмыс мәтіні мемлекеттік стандарттары талаптары МСТ 2.105, МСТ 8.417 және СМЖ ОҚМУ ПР 7.03-2012 нормативтік құжатының талаптарын сақтай отырып қатесіз толтырылады
4. Парақтардың нөмірленуі бүкіл мәтін бойынша парақтың төменгі жағының ортаңғы бөлігіне орындалады. Титульды бет парақ санына ескеріледі, бірақ нөмір қойылмайды.
5. Рәсімдеуді компьютер көмегімен орындауда келесі шарттар орындалуы қажет. Шрифт – Times New Roman, қарапайым, 14 нұсқа, қатарлардың арасы 1 интервал. Парақтың сол жақ бетінде – 30*мм*, оң жақ бетінде – 10*мм*, жоғарғы және төменгі жағында – 20*мм*-ден кем емес орын қалдырылады. Абзац мәтіндегі 4 әріптен бастап жазылады (8мм).
6. Титулды беттің үлгісі А қосымшада келтірілген.

## 12. ҰСЫНЫЛАТЫН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ


1. Қабашев Р.А. және басқалар. Жылу техникасы. Алматы, Бастау, 2008. -425б.
2. Орымбетов Ә.М. Жылу техникасының негіздері. Шымкент, М.Әуезов атындағы ОҚМУ, 2005. -249 б.
3. Левченко П.В. Расчеты печей и сушил силикатной промышленности. –М.: Высшая школа, 2007. -340с.
4. Основы теории тепловых процессов и машин. Часть 2. Под. Ред. Прокопенко С.П. М.: Академия, 2006. –272с.
5. Прибытков И.А., Левицкий И.А. Теоретические основы теплотехники. -М.: Академа, 2004. -345 с.
6. Наназашвили И.Х. Строительные материалы, изделия и конструкции. Справочник. -М.: Высшая школа, 2004.
7. Гуржий А.А., Огородников П.И. Теплотехника. -Киев, изд. "Слово", 2003. 254 с.
8. Баженов Ю.М. Технология бетона. -М.: ИАСВ, 2002.
9. Хрулев В.М. Технология и свойства композиционных материалов для строительства. -Уфа. ТАУ, 2001. -168с.
10. Ицкович С.М., Чумаков Л.Л., Баженов Ю.М. Технология заполнителей бетона. -М.: Высшая школа, 1991.
11. Кокшаров В.Н., Кучеренко Н.А. Тепловые установки. -Киев: Высшая школа, 1990. -335 с.
12. Перегудов В.В., Роговой М.И. Тепловые процессы и установки в технологии строительных материалов и изделий. -М.: Стройиздат, 1983, -416с.
13. Перегудов В.В. Теплотехника и теплотехническое оборудование. -М.: Стройиздат, 1990. -336 с.
14. Васильков С.Г. и др. Искусственные пористые заполнители и легкие бетоны на их основе. Справочное пособие под ред. Ю.П. Горлова. -М.: Стройиздат, 1987.
15. Еремин Н.Ф. Процессы и аппараты в технологии строительных материалов. -М.: Высшая школа, 1986. -280 с.
16. Баженов Ю.М., Комар А.Г. Технология бетонных и железобетонных изделий. -М.: Стройиздат, 1984.
17. Хавкин Л.М. Технология силикатного кирпича. -М.: Стройиздат, 1982. -383с.
18. Роговой М.И., Кондакова М.Н., Сагановский М.Н. Расчеты и задачи по теплотехническому оборудованию предприятий ПСМ. -М.: Стройиздат, 1975. -320 с.
19. Никифоров М.Н. Основы проектирования тепловых установок при производстве строительных материалов. -М.: Высшая школа, 1974. -144 с.
20. Марьямов Н.Б. Тепловая обработка изделий на заводах сборного железобетона. -М.: Стройиздат, 1970.

**Қосымша А**

Титульды бет үлгісі

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
М.ӘУЕЗОВ атындағы ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН МЕМЛЕКЕТТІК УНИВЕРСИТЕТІ

«Силикаттар технологиялары және минералдар синтезі» кафедрасы

«Процесстер мен аппараттар – 2»
пәні бойынша орындалған

**ПРАКТИКАЛЫҚ ЖҰМЫС**

Тақырыбы:_____
_____
_____
_____
_____
_____

Орындаған _____
(студенттің аты-жөні, тобы)

Оқытушы _____
(оқытушының аты-жөні, ғылыми дәрежесі, атағы)

Шымкент 201_ж.

Айтөреев М.Ж.

«Процесстер мен аппараттар – 2» пәні бойынша
практикалық сабақтарға арналған әдістемелік нұсқаулық

Баспаға қол қойылды. «___» _____2013ж.
Қағаз форматы _____.
Типографиялық қағаз. Офсеттік баспа. Көлемі 13,2 б.п.
Тираж ___ дана. Тапсырыс №__.

© М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университетінің
баспасы

М. Әуезов атындағы ОҚМУ баспа орталығы, Шымкент қ., Тауке хан даңғылы,5