

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Ш. Есенов атындағы Каспий мемлекеттік технологиялар және инжиниринг университеті

Теңіз технологиялары институты

«Теңіз техникасы және технологиялары» кафедрасы

**СҰЛТАНОВ Т.Т., ТЛЕПИЕВА Г.М.**

**ӘДІСТЕМЕЛІК НҰСҚАУ**

5B071500- «Теңіз техникасы және технологиялары»  
мамандығы студенттеріне  
«Кемнің іштен жанатын қозғалтқыштары»  
пәні бойынша тәжірибе сабақтарын орындауға арналған

**Ақтау 2010**

УДК 629.12

Құрастырушылар: т.ғ.к., доцент Сұлтанов Т.Т., т.ғ.к., аға оқытушы Тлепиева Г.М. 5В071500 - «Теңіз техникасы және технологиялары» мамандығы студенттеріне арналған «Кемнің іштен жанатын қозғалтқыштары» пәні бойынша тәжірибе сабақтарын орындауына әдістемелік нұсқау. – Ақтау, Ш. Есенов атындағы КМТЖИУ, 2010. 43 бет.

Рецензент: т.ғ.к., доцент Табылов А.У.

Әдістемелік нұсқау «Теңіз техникасы және технологиялары» кафедрасында жасалған. Онда кемнің әртүрлі маркалы іштен жанатын қозғалтқыштарының үрлеумен, үрлеусіз есептеу әдісі көрсетілген. Және де кемедегі дизель қондырғысының дизель жанармайынан ауыр жанармайға ауыстырудың лайықтылығы экономикалық тұрғыдан дәлелденген.

Баспаға Ш.Есенов атындағы Каспий мемлекеттік технологиялар және инжиниринг университетінің оқу-әдістемелік кеңесінің шешімімен ұсынылған.

© Ш.Есенов атындағы Каспий мемлекеттік технологиялар және инжиниринг университеті, 2010.

## МАЗМҮНДАМА

Кіріспе	4
§1. Дизельдер үшін жанармай туралы мәліметтер	5
§2. Кеме дизелінің енгізу параметрлерін есептеу	10
§3. Сығу, жану және ұлғау процестерінің параметрлері	13
ЖҰМЫС ЦИКЛДЕРІНІҢ ЕСЕП ҮЛГІСІ	15
§4. Төрттактлы ақырын жүретін дизель циклінің есебі	15
§5. Төрттактлы ақырын жүретін газтурбиналық үрлеумен дизель циклінің есебі	19
§6. Төрттактлы модернизацияланған дизельдің жұмыс циклінің есебі	22
§7. Механикалық үрмелі төрттактылы тез жүретін дизель циклінің есебі	28
§8. Үрлеусіз екітактлы дизель циклінің есебі	31
§9. Газтурбиналық үрлеумен екітактлы дизель циклінің есебі	35
§10. Дизельдердегі жоғарыкүкіртті мазутты қолдануының тиімділігі	40
Қолданылған әдебиеттер	42

## КІРІСПЕ

Іштен жанатын қозғалтқыштар, басқа жылу қозғалтқыштары сияқты жанармай жануы кезінде бөлінетін жылу энергиясын механикалық жұмысқа ауысу үшін қажет.

Іштен жанатын қозғалтқыштың жұмыс циклін есептеу қысым, температура мен басқа параметрлерді, тиімділіктің көрсеткіштерін, жұмыс цилиндрінің басты өлшемдерін анықтау және индикаторлық диаграмманы тұрғызу болып табылады. Нәтижесінде осы немесе басқа қозғалтқыштағы жылу қолданудың шектігін анықтауға, әртүрлі циклдердің өзара тиімділігін салыстыруға, және жылу қозғалтқыштарының әрі қарай толық жетілдіруінің жолдарын табуға мүмкіндік береді.

## §1. ДИЗЕЛЬДЕР ҮШІН ЖАНАРМАЙ ТУРАЛЫ МІЛІМЕТТЕР

Теңіз флотында дизельдерде қолданылатын жанармайлар 3 топқа бөлінеді:

1. Дизельді деп аталатын дистиллятты, аз тұтқырлықты жанармай (айналым саны 1000 *айн/мин* асатын дизельдерге арналған) және соляр майы ( $n=600\div 1000$  *айн/мин* дизельдерге арналған)

2. Мазут немесе керосинді газойлы қоспасы бар мұнай крекинг түріндегі мотор жанармайы. ДТ-1 маркалы жанармай айналым саны 600 *айн/мин* дейінгі дизельдерге қыздырусыз қолданылады, ДТ-2 жанармайы – айналым саны 300–ге дейінгі дизельдерге және ДТ-3 – айналым саны 200-ге дейінгі дизельдерге қолданылады.

ДТ-2 және ДТ-3 жанармайлары қыздыруды қажет етеді. Осы жанармайлармен жұмыс жасайтын дизельдердің іске қосу және тоқтауы іске қосу жанармайы арқылы өндіріледі (дизельді, солярлы немесе ДТ-1)

3. Қалдық жанармайлар, яғни мазуттар. 150 *айн/мин* дейінгі аз айналымды кеме дизельдерде Ф-12 және Ф-20 маркалы флоттық мазуттары (тіке айдалатын мазут, соляр мен мазут крекингі қоспасы) және 20, 40, 60 маркалы мазуттары қолданылады.

1 кесте

Дистиллятты дизельді жанармайлардың негізгі мінездемелері

Мінездемелер	МЕСТ 4749-49				МЕСТ 305-58			ВТУ 586-56	Солярлы май МЕСТ 1666-51
	ДА	ДЗ	ДЛ	ДС	З	Л	С	ДЗ	
Цетандық сан	40	40	45	50	43	45	50	40	-
Бөлікшелік құрамы:									
а) 10%-ы айдау температурасы, °С, кем емес	200	200	-	-	170	200	-	140	-
б) 50%-ы айдау температурасы, °С, жоғары емес	255	275	290	280	275	295	280	250	-
в) 90%-ы айдау температурасы, °С, жоғары емес	300	335	350	-	-	-	-	300	-
г) 96%-ы айдау температурасы, °С, жоғары емес	330	-	-	340	350	360	340	-	-
20°С кезіндегі тұтқырлығы:									
а) кинематикалық, сст	2,5-4,0	3,5-6	3,5-8	-	1,8-3	3-8	4,5-8	1,7	-
б) оған сәйкес шартты тұтқырлығы, °ВУ	1,15-1,28	1,24-1,48	1,24-1,67	-	-	-	-	-	-
50°С кезіндегі тұтқырлығы:									
а) кинематикалық, сст	-	-	-	2,5-4	-	-	-	-	5,0-9,0
б) оған сәйкес шартты тұтқырлығы, °ВУ	-	-	-	1,15-1,2	-	-	-	-	1,39-1,76

Кокстенгіштік, %, артық емес	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10% қалдықтың кокстенгіштігі, %, артық емес	-	0,5	0,5	0,5	0,3	0,4	0,4	0,45	-	-
Қышқылдығы, мг КОН/100 мл жанармайға шаққанда, артық емес	5	5	5	5	5	5	5	5	-	-
Күлділік, %, артық емес	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,025
Күкірт, %, артық емес	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	1,0	1,0	0,6	0,2	0,2
Мыс пластинкаларында тәжірибе	көтереді				көтереді					
Жарық температурасы (жабық тиглда анықталады), °С, төмен емес	35	50	60	90	40	65	90	35	-	-
Ашық тиглда анықталатын жарық температурасы, °С, төмен емес	-	-	-	-	-	-	-	-	125	-
Суу температурасы, °С, жоғары емес	-60	-45	-10	-15	-35	-10	-15	-35	-20	-
Суда еритін қышқылдар және сілті сал	болмайды			болмайды			іздер			
Механикалық қоспалар	болмайды			болмайды						
Су, %, артық емес	болмайды			болмайды						
Физикалық шайырлар (смола), мг/100 мл, артық емес				70 100 100						
Түсі, мм, кем емес				15 15 анық талмайды						

2 Кесте

## Моторлы жанармайлардың негізгі мінездемелері

Мінездемелер	жай жүретін дизельдерге арналған жанармай, моторлы МЕСТ 1667-51			күкіртті мұнайлардан жасалған моторлы жанармай, ВТУ 510-55
	ДТ-1	ДТ-2	ДТ-3	
Бөлікшелік құрам, 250°С дейін айдалады, %, артық емес	15	15	15	20
50°С-тан аспайтын тұтқырлық:	36	55	66,6	

а) кинематикалық, сст				
б) соған сәйкес шартты тұтқырлық, °ВУ	5,0	7,5	9,0	3
Кокстенгіштік, %, артық емес	3,0	3,0	4,0	5,2
Күлділік, %, артық емес	0,04	0,08	0,08	0,05
Күкірт, %, артық емес	0,5	0,5	0,5	1,5
Күкіртсутек	болмайды			болмайды
Жарық температурасы (жабық тиглда анықталады), °С, төмен емес	65	65	65	65
Суу температурасы, °С, жоғары емес	-5	-5	5	-5
Суда еритін қышқылдар және сілті сал	болмайды		болмайды	
Механикалық қоспалар, %, артық емес	0,1	0,1	0,1	0,05
Су, %, артық емес	1,0	1,0	1,0	1,0

Күкіртті және жоғары күкіртті мазуттар цилиндрлік-поршеньдік топ бойынша моторесурстарын жоғарлату мақсатында, арнайы әзірленген (тазарту, жылыту, қоспаларды енгізу), арнайы жанармай аппаратуралары мен арнайы цилиндрлік майлары болған жағдайда қолданылады.

Дизельдерге арналған жанармайдың құрамына: көміртегі, сутегі, оттегі және аз мөлшерде күл мен су кіреді. Есептеу кезінде ұсақ құрамдық бөлшектер ескерілмейді, сондықтан аталған топтағы жанармайдың орташа құрамын *С, Н, О* бойынша және күкіртті мен жоғары күкіртті мазуттардың – күкірттің мөлшері бойынша қабылдау керек.

### 3 Кесте

#### Мазуттардың негізгі мінездемелері

Мінездемелер	Флоттық, МЕСТ 1626-53		Мазут, ГОСТ 15001-57		
	Мазут 12	Мазут 20	Маркалар		
			20	40	60
Шартты тұтқырлық, °ВУ:					
а) 50°С кезінде					
б) 75°С кезінде	6,0-12,0	2,0-6,0			
в) 80°С кезінде			2,5-5,0	5,0-8,0	8,0-11,0
Күлділік, %, артық емес	0,15	0,15	0,30	0,30	0,30
Күкірт, %:					
а) аз күкірттілікте, артық емес	0,80	0,80	0,50	0,50	0,50
б) күкірттілікте, артық емес			1,00	1,00	1,00
в) жоғары күкірттілік, артық емес			3,50	3,50	3,50
суда еритін қышқылдар және сілті сал			болмайды		
Механикалық қоспалар, % артық емес	0,25	0,25	-	-	-
Шайырлы заттар, %, артық емес	50,0	60,0	-	-	-

Су, %, артық емес	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0
Суу температурасы, °C, жоғары емес	-8	-5	5	10	15
Жарық температурасы а) жабық тиглда анықталатын, °C, төмен емес	90	90			
б) ашық тиглда анықталатын, °C төмен емес	-	-	80	10	110
Төменгі жану жылуы, құрғақ жанармайға ауысқанда, ккал/г, кем емес	9870	9870			
а) аз күкіртті жанармайдың		-	9870	9750	9700
б) күкіртті жанармайдың	-	-	9870	9750	9700
в) жоғары күкіртті жанармайдың	-	-	9680	9610	9560

Күкірт құрамына қарай жанармай: аз күкіртті (0,15%-ға дейін), күкіртті (0,15%-дан 1-ға дейін) және жоғары күкіртті (1%-дан жоғары) болып бөлінеді.

4 Кесте

Сұйық жанармайлардың орташа құрамы

Құрамы, %	Дизельді жанармай және соляр майы	Моторда қолданылатын жанармай	Аз күкіртті мазут		Жоғары күкіртті мазут	
			20, 40	60	20, 40	60
C	87,0	87,0	87,3	88,0	85,6	86,0
H	12,6	12,5	11,5	10,8	11,3	10,6
O	0,4	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6
S	-	-	0,6	0,5	2,6	2,8

5 Кесте

Жану жылуы, калориялық эквивалент, жанармайдың үлесімді салмағы

Жанармайдың түрі	Төменгі жану жылуы $Q_H$ , ккал/кг	Калориялық эквивалент	$\gamma_4^{20}$
1. Дизельді	10100-10300	$Q_H=10150$ болғанда 1,45	0,83-0,88
2. Солярлы май	10000-10100	1,4	0,86-0,92
3. Моторлы	9800-10000	$Q_H=10000$ болғанда 1,43	0,87-0,94
4. Мазут	9600-9900	$Q_H=9800$ болғанда	0,99 дейін

Есептеу барысында, дизельді жанармай үшін  $Q_H=10100$  ккал/кг; солярлы май мен мотор жанармайы үшін  $Q_H=10000$  ккал/кг; мазут үшін  $Q_H=9600-9800$  ккал/кг мәндері ұсынылады.

Жанармайдың төменгі жану жылуын химиялық құрамы бойынша Д.И. Менделеев формуласымен анықтауға болады

$$Q_H = 8100C + 30000H - 2600(O - S) - 600(9H + W) \text{ ккал/кг.}$$

мұндағы  $C$ ,  $H$ ,  $O$ ,  $S$  – жанармайдағы көміртегі, сутегі, өттегі мен күкірттің салмақ бірлігіндегі құрамы (мысалы, егер  $C=85\%$ , онда формулаға 0,85 деп енгізу керек);  $W$  – жанармайдағы ылғалдылықтық құрамы, кг.



Жанармай мен майдың шығындық нормасы.

Нәтижелі ПӘК  $\eta_e$

Барлық нормалық тәжірибелік мәліметтер номиналды қуат үшін алынған. Қозғалтқыштың кейбір маркаларының параметрлері кестедегі мәндерден ауытқуы мүмкін.

6 Кесте

Қозғалтқыштың түрлері	Жанармайдың нәтижелі салыстырмалы шығыны $g_e$ , кг/э.л.с.·сағ.	$\eta_e$	Майдың салыстырмалы шығыны $g_m$ , г/э.л.с.·сағ.
Аз айналым	0,165÷0,145	0,38÷0,45	0,3÷1,5
Орташа айналым	0,180÷0,160	0,36÷0,39	3,5÷60,
Жоғары айналым	0,185÷0,170	0,34÷0,37	5,0÷1,0
Аз қуат	0,210÷0,180	0,30÷0,35	6,0÷12,0

Кейбір шетелдік аз айналымды дизельдер үшін майдың салыстырмалы шығын нормасы 7 кестеде көрсетілген.

7 Кесте

Дизель маркалары	$N_e$ , э.л.с.	$n$ , айн/мин	$g_m$ , г/э.л.с.·сағ.
МАН К6-Z-57/80 С	3990	225	1,0
МАН К7-Z-70/120 С	6130	130	0,8
«Зульцер» 6TD-56	2400	155	1,2
«Зульцер» 6-RSAD-76	7800	119	1,0
«Зульцер» 9-RD-90	18000	119	0,8
«Фиат» С-758-S	8000	125	0,7
«Бурмейстер мен Вайн» 5-50-VTBF-160	2900	170	0,4
«Бурмейстер мен Вайн» 74-VTBF-160	7500	115	0,65
«Сторк» HOTL 0-75/160	9400	115	0,65

Қазіргі заманғы аз айналымды қуатты дизельдер үшін орташа есеппен ауыр жанармайдың  $g_e = 160$  кг/э.л.с.·сағ.,  $g_m = 0,8 \div 1,0$  г/э.л.с.·сағ. Күкіртті ауыр сортты жанармайда жұмыс істегенде  $3 \div 5$  г/э.л.с.·сағ. (2÷3%) дейін көтеріледі.

8 Кесте

Жанармайдың салыстырмалы индикаторлық шығыны және индикаторлық ПӘК-і

	$g_i$ , кг/э.л.с.·сағ.	$\eta_i$
Төрттактлы кеме дизельдерінде	0,145-0,125	0,43-0,50
Екітактлы кеме дизельдерінде	0,160-0,130	0,40-0,48

9 Кесте

Кеме дизеліндегі механикалық ПӘК

Төрттактлы		Қарапайым әрекетті екітактлы	
үрлеусіз	газтурбиналық үрлеумен	үрлеусіз	газтурбиналық үрлеумен
0,75÷0,85	0,85÷0,97	0,70÷0,85	0,80÷0,92

Аз айналымды қуатты дизельдерде механикалық ПӘК-і жоғары мәнге ие.

«Бурмейстер мен Вайн» және БМЗ-Б мен В (Брянск машина құрастыру зауытының дизель маркалары) дизель жиынтықтарының механикалық ПӘК-і  $\eta_m = 0,80 - 0,905$  тең.

Жанармайдың рейстік қорын анықтау үшін порттар арасындағы ара-қашықтықтың мәліметтерін білу керек.

10 Кесте

Порттар арасындағы ара-қашықтық

Шығу порты	Қабылдау порты	Ара-қашықтық, миль
Архангельск	Диксон	1121
	Дудинка	1450
	Игарка	1570
	Ленинград	2706
	Мурманск	437
	Лондон	2063
	Тикси	2075
Мурманск	Дудинка	1357
	Ленинград	2261
	Лондон	1701
Ленинград	Калининград	587
	Киль	776
	Клайпеда	501
	Копенгаген	918
	Лондон	1219
	Осло	1072
	Порты Кубы	5100
	Рига	473
	Стокгольм	380
	Щицин	711
Одесса	Гавана	6420
	Владивосток	9230
	Новороссийск	362
	Керчь	327
	Жданов	443

## §2. КЕМЕ ДИЗЕЛІНІҢ ЕНГІЗУ ПАРАМЕТРЛЕРІН ЕСЕПТЕУ.

Тәжірибелі мәліметтер бойынша төрттақтылы дизельдер үшін толу процесінің соңында қысым:

үрлеусіз

$$p_a = (0,85 - 0,90) p_o; \quad (1)$$

үрлеумен

$$p_a = (0,90 - 0,96) p_s; \quad (2)$$

мұндағы  $p_o$  – қоршаған ортаның қысымы;

$p_s$  – төрттақтылы дизельдердің кіру клапандарының алдындағы қысым.

Басты белгілердің тізімінде көрсетілгендей,  $p_s$  арқылы екітақты қозғалтқыштың ресивердегі үрлеумен немесе үрлеусіз ауа қысымын өрнектейміз. Есептердегі қысым абсолюттік атмосфераларда қабылданады.

1 мен 2 формулалардағы  $p_a$ -ның төменгі мәндері жылдам жүретін қозғалтқыштарға арналады.

Суытқыштың қосымша кедергісінің жоқ болуын ескерсек (ауа айдаушыдан кейін), ауаның аралық сууы болмағанда  $p_s=p_k$  деп қабылдауға болады ( $p_k$  - ауа айдаушыдан кейінгі қысым).

Жұмыс істейтін қозғалтқыштар мәліметтерін пайдаланамыз  $p_k$  шамасын таңдаймыз. Ауа суытқыш болған жағдайда төрттактлы және екітактлы дизельдер үшін

$$p_s = p_k - \Delta p \quad (3)$$

мұндағы  $\Delta p = 0,03-0,05 \text{ кг/см}^2$  - суытқыштың кедергісінің әсерінен қысым шығыны.

Жұмыс цилиндріне кіргізу кезінде ауа жылдамдығының орташа мәндері  $30 \div 70 \text{ м/сек}$  құрайды.

Контурлы үрлеумен және шығу терезелері үрлеу терезелерінен кейін жабылатын екітактлы дизельдер үшін

$$p_a = \frac{p_s - p_T}{2}, \quad (4)$$

Мұндағы  $p_T=1,03 \div 1,10 \text{ кг/см}^2$  - шығу коллектордағы қысым. Газтурбиналы үрлеуі бар дизельдерде  $p_T=1,1 \div 1,3 \text{ кг/см}^2$ .

Үрлеу ресиверіндегі үрленетін ауа қысымы  $p_s, \text{ кг/см}^2$  мынаны құрайды

Жай жүретін дизельдерде ..... 1,1-1,15  
жүрдектігі жоғары » » ..... 1,2-1,35  
жылдам жүретін » » ..... 1,3-1,6

Шығу терезелері кіру терезелерінен ерте жабылатын (басқарылатын шығу) дизельдерде

$$p_a = (0,9 - 1,0) p_s. \quad (5)$$

Төрттактлы дизельдерде бірқалыпты ( $p_k=1,3 \div 1,5 \text{ кг/см}^2$ ) және жоғарылаған  $p_k=1,5 \div 2,5 \text{ кг/см}^2$  үрлеу қолданылады.



11 кесте

Кейбір дизельдердегі  $p_k$  мәні

Үрлеумен төрттактлы дизель маркасы	$p_k, \text{ кг/см}^2$	Үрлеу дережесі, $\lambda_n$
5Д50 (6ЧН 31,8/33)	1,54	-
9Д (8ЧРН 30/32)	1,54	1,37
6ЧН 25/34	-	1,34
6ЧСПН 18/22	1,41	1,5
3Д6Н (6ЧСПН 15/18)	1,41	1,5
R8DV 136A	1,3	-

Механикалық үрлеуде  $p_k \leq 1,5 \div 1,6 \text{ кг/см}^2$  тең, өткені жоғары қысымдарда ауа айдаушыға индикаторлық қуаттың 10%-дан артығы жұмсалады.

Екітактлы аз айналымды қуатты дизельдерде кіру терезелерінің алдында ресивердегі үрленетін ауа қысымы  $p_s=1,3 \div 1,8 \text{ кг/см}^2$ . Үрлеу дережесі  $\lambda_n=1,24 \div 1,44$ .

12 кесте

Кейбір дизельдер үшін  $p_k$  мәні

Екітактлы дизельдің маркасы	Ресивердегі қысым, $p_s, \text{ кг/см}^2$	Ресивердегі ауа температурасы, °C
«Бурмейстер мен Вайн» 50-VTBF-110 (ДҚРН 50/110)	1,42	30÷35
«Бурмейстер мен Вайн» 74-VTBF-160 (ДҚРН 74/160)	1,35	30÷35
«Бурмейстер мен Вайн» 84-VTBF-180 (ДҚРН 84/180)	1,75	30÷35
МАНК6Z-57/80С (6ДҚРН 57/80)	$p_{s1}=1,5; p_{s2}=1,6$	$t_{I}=35 \div 45; t_2=50 \div 60$

«Зульцер» 5-SAD-72 (5ДКРН 72/125)	$P_{s1}=1,47; P_{s2}=1,7$	$t_1=36; t_2=40$
-----------------------------------	---------------------------	------------------

12 кестеде белгіленген  $P_{s1}$  және  $P_{s2}$ ,  $t_1$  және  $t_2$  - ресивердің бірінші және екінші сатысындағы қысым және температура (ексісатылы үрлеу).

Есепті орындауда қоршаған ортаның температурасымен жүзу аумағы мен ауа толу тәсіліне (палубадан немесе машина бөлімшесінен) байланысты алынады. Бірінші жағдайда ауа температурасы 30 пен  $+40^{\circ}C$  - аралығында, ал  $T_o=243\div 313^{\circ}K$ , екінші жағдайда  $+5$  пен  $+30^{\circ}C$  аралығында, ал  $T_o=278\div 303^{\circ}K$ . Орташа  $T_o=290^{\circ}K$  деп қабылдайды.

Толық дәлдікпен  $p_o=1 \text{ кг/см}^2$  деп қабылдауға болады. Кірудің соңында температура келесі мәндерге ие:

Төрттақты дизельде . . . . .  $T_a=300\div 350^{\circ}K$   
 Екітақты » » . . . . .  $T_a=320\div 380^{\circ}K$

Кіру кезіндегі цилиндрдің ыстық қабырғаларының ауа жылыту дәрежесі келесі мәндерді қабылдауы мүмкін:

Төрттақты үрлеусіз дизельдерде . . . . .  $\Delta T=10\div 20^{\circ}$   
 » » үрлеумен дизельдерде . . . . .  $\Delta T=5\div 10^{\circ}$   
 Екітақтыда . . . . .  $\Delta T=5\div 10^{\circ}$

Салқындатқыштағы жаңа зарядтың салқындату дәрежесі үрлеу кезінде  $\Delta T_{охл}=20\div 60^{\circ}$  тең.

Салқындатылған ауаның температурасы жіберу терезелерінің алдындағы екі тақтылы және төрт тақтылы дизельдерде

$$T_s = T_e - \Delta T_{i\ddot{o}e}, \quad (6)$$

мұндағы  $T_k$  – қабылданған  $p_k$  мағынасына байланысты алынған айдауыштан кейінгі ауаның температурасы.

Салқындатқыштың бірыңғай өлшемдерін қабылдау мақсатында  $T_s \geq 310^{\circ}K$  болғаны дұрыс. Егер  $T_k$ -нің мәні  $310^{\circ}K$ -ге жақын болса, онда салқындатқышты орнату қолайсыз.

Егер салқындатқыш жоқ болса  $T_s=T_k$ .  $T_k$  анықтау үшін, айдауыштағы сығу политропының көрсеткішінің мәнін таңдау қажет.

Поршеньді айдауыштар үшін . . . . .  $n=1,4\div 1,6$   
 ротативті » » » . . . . .  $n=1,55\div 1,75$   
 салқындатылмайтын  
 корпусы бар орталықтан тепкіш айдауыштар үшін . . . . .  $n=1,8\div 2$   
 салқындатылатын  
 корпусы бар орталықтан тепкіш » » » . . . . .  $n=1,4\div 1,8$

Қоршаған ортаның параметрлері  $p_o$  және  $T_o$  арқылы табылған толу коэффициентінің мәндері 13 кестеде көрсетілген.

13 кесте

Кейбір дизельдер үшін  $p_k$  мәні

Дизель типі	Толу коэффициенті, $\eta_n$
Төрттақты	
жай жүретіндер.....	0,80÷0,90 және жоғары
жылдам жүретіндер.....	0,75÷0,85
Екітақты	
Пішінді үрлеумен .....	0,70÷0,85
Тік дәлдікті үрлеумен .....	0,97÷1,05
Кривошипті-камералық үрлеумен .....	0,50÷0,70

Сығылған ауаның  $p_s$  және  $T_s$  параметрлерімен есептегенде толу коэффициентінің мәні аз болады, өйткені отынның салыстырмалы индикаторлы шығыны  $\eta_n$ -ге байланысты алынады, және де соңғысы кіру терезелері алдындағы сығылған ауаның параметрлерімен

анықталған болса, онда  $g_i$  формуласына (циклді есептеу үлгілерін қараңыз)  $p_s$  және  $T_s$  қою қажет.

Қалдық газдардың қысымы эмпирикалық тәуелділіктермен анықталады:

$$\text{Жай жүретін төрттактлы дизельдерде} \dots\dots\dots p_r=(1,03\div 1,10)p_o \quad (7)$$

$$\text{жылдам жүретін} \gg \gg \gg \dots\dots\dots p_r=(1,05\div 1,15)p_o \quad (8)$$

$$\text{екітактлы} \gg \gg \dots\dots\dots p_r=(0,8\div 0,9)p_s \quad (9)$$

$$\text{газ турбиналық үрлеумен} \\ \text{төрттактлы және екітактлы} \gg \gg \dots\dots\dots p_r=(0,75\div 1,0)p_s \quad (10)$$

Қалдық газдардың температурасы дизельдің типіне байланысты алынады:

$$\text{Төрттактлы үрлеусіз дизельдерде} \dots\dots\dots T_r=700\div 800^\circ K$$

$$\text{төрттактлы үрлеумен} \gg \gg \dots\dots\dots T_r=700\div 1000^\circ K$$

$$\text{екітактлы} \gg \gg \dots\dots\dots T_r=700\div 800^\circ K$$

Төменгі мәндер ақырын жүретін дизельдерге қатысты. Төрттактылы дизельдер үшін Д.Б. Танатар кітабында  $T_r=750\div 800^\circ K$  орташа мәндері ұсынылады.

Қалдық газдар коэффициентінің  $\gamma_r$  мәні беріледі немесе төрттактлы қозғалтқыштар үшін талдау әдісімен (есеп циклінің үлгілерін қараңыз) анықталады. Екітактлы қозғалтқыштар үшін  $\gamma_r$  мен  $\eta_n$  арасындағы тәуелділікті орнату мүмкіншілігі ұсынылмайды, сондықтан  $\gamma_r$  анықтау үшін формула жоқ.

Тәжірибе бойынша дизельдер үшін:

$$\text{Төрттактлы: үрлеусіз} \dots\dots\dots \gamma_r=0,06\div 0,04$$

$$\gg \gg \gg \text{үрлеумен} \dots\dots\dots \gamma_r=0,04\div 0,00$$

Екітактлы:

$$\gg \gg \text{пішінді үрлеумен} \dots\dots\dots \gamma_r=0,07\div 0,15$$

$$\gg \gg \text{тік дәлдікті} \gg \gg \dots\dots\dots \gamma_r=0,02\div 0,07$$

$$\gg \gg \text{үрлеу насоссыз кривошипті-} \\ \text{камералық} \gg \gg \dots\dots\dots \gamma_r=0,20\div 0,30$$

### §3. СЫҒУ, ЖАНУ ЖӘНЕ ҰЛҒАУ ПРОЦЕСТЕРІНІҢ ПАРАМЕТРЛЕРІ

Сығу дәрежесінің  $\varepsilon$  мәнін таңдауда келесі мәселелерге ден қою керек. Қозғалтқыштың жұмысы, оны салқын күйінде қосу мен екпінділігі кезінде жанармайдың сенімді өздігінен жануын қамтамасыз ететіндей сығу дәрежесінің мәні қажетті болу керек. Қозғалтқыш қосылған кезінде жұмыс цилиндріндегі қысылған ауаның температурасы жанармайдың өздігінен жану температурасынан кемінде  $200^\circ$ -ке асу керек. Ауа қысымы  $30 \text{ ата}$  болғанда, дизельдер үшін жанармайдың өздігінен жану температурасы  $475\div 525^\circ K$  құрайды.

$\varepsilon$  артқан сайын циклдың термиялық ПӘК-і және азғана өлшемде  $\eta_n$  жоғарлайды. Бірақ  $\varepsilon \geq 13\div 15$  жағдайда термиялық ПӘК-і азғана өзгеріп, ал кривошип-шатунды механизмге түсетін күш біршама артып, соның салдарынан қозғалтқыштың механикалық ПӘК-і мен моторесурсы жоғарлайды.  $\varepsilon$ -тің жоғары мәндерінде бөлшектердің пішінді өлшемдері үлкеетіндіктен, өте сапалы материалдар қажет, оларды шығару технологиясы қиындайды. Нәтижесінде қозғалтқыштың салмағы, өлшемдері мен құру бағасы жоғарлайды.

Ендеше сығу дәрежесінің  $18\div 20$  –дан асуы қажетсіз. Аз литражды дизельдерде сығу камерасы бетінің үлкендігінен  $\varepsilon$  20 және одан жоғары мәндерге ие болады. Кейбір конструкцияларда қыздыру, қосу және жылу күші төмендігінен аз айналымда ұзақ жұмысы кезінде, арнайы клапанмен өшетін қосымша сығу камерасы қарастырылған. Бұндай жағдайда  $\varepsilon=20\div 24$ . Қосымша камера негізгі камерамен қосылғанда  $15\div 17$  дейін төмендейді.

Егер жобалау дизелінде қоспа араласу бөлу камерасында (күйынкамерасы және басқа) қарастырылған болса, онда  $\varepsilon$  үлкен мәндері алынады, өйткені тұзу өлшемдері артқан қозғалтқыштардан салқын ортаға жылу беру қиынырақ, сондықтан қажетті қысу температурасын қалпында сақтауға әкеледі.

Үрлеумен дизельдерде жұмыс цилиндріне қысылған ауа айдаушыдан түседі, сондықтан қажетті қысу температурасына  $\varepsilon$  –нің төменгі мәндерінде жетеді. Үрлеумен дизельдер үшін  $\varepsilon$  таңдау кезінде циклдің максималды қысымы  $p_z$  шектеулі екенін ескеру қажет.

Екітактлы дизельдер үшін поршеньнің пайдалы жүру жолына жатқызылған нақты сығу дәрежесі анықталады.

Сығу соңындағы температура мен қысымды анықтау үшін ауаның цилиндр қабырғаларымен жылу алмасуының күшеуіне тәуелді сығу политропының ( $n_l$ ) орташа көрсеткішінің мәнін таңдау керек. Сығу кезінде жылу беру қаншалықты төмен болса,  $n_l$  соншалықты жоғары.

Осыдан мынадай тұжырымға келуге болады: сығу дәрежесі мен сығу политропының орташа көрсеткішін таңдау қозғалтқыштың түріне, оның конструктивтік ерекшеліктеріне, поршень мен басқа бөлшектердің материалына, жылдам жүруіне, қоспаның пайда болу әдісіне, үрлеудің бар немесе жоқтығына және т.б. байланысты.

Сығу процесінің параметрлері 14 кестеде көрсетілген.

14 кесте

Қозғалтқыш түрі	Сығу дәрежесі, $\varepsilon$	Сығу соңындағы қысым $p_c$ , $\text{кГ/см}^2$
Жай жүретін	12÷14	28÷35
Орташа жылдамдықты	14÷15	30÷36
Жылдам жүретін	15÷18	35÷45
Жай жүретін үрлеумен	11÷12,5	36÷44

Тәжірибе бойынша сығу политропының орташа көрсеткіші келесі мәндерге ие:

Поршеньдері (шойын) салқындатылатын

үлкен және орташа қуатты жай жүретін дизельдер .....  $n_l=1,32\div 1,39$

Поршеньдері салқындатылмайтын жылдам

жүретін дизельдер .....  $n_l=1,38\div 1,42$

Поршеньдері алюминийден жасалған .....  $n_l=1,33\div 1,38$

Салқын қозғалтқышты қосу кезінде .....  $n_l=1,2\div 1,25$

Көрсетілген мәліметтер бойынша, жылдам жүретін қозғалтқыштарда  $n_l$  үлкен, өйткені жылу алмасу уақыты азаяды. Алюминий мен салқындатылатын шойын поршеньдерде жылу алмасу артуы әсерінен  $n_l$  көрсеткіші азаяды.

Дизельдер үшін сығу температурасы  $T_c=740\div 900^\circ\text{K}$  және одан да жоғары.

#### Жану процесіне қатысты параметрлер

Жұмыс циклін есептеу кезінде таңдалған артық ауа коэффициентінің  $\alpha$  мәнін дұрыс бағалау қажет. Тәжірибе бойынша қоспаараластыру сапасына байланысты коэффициенттің орташа мәндері 15 кестеде көрсетілген (жоғарыда айтылғандай, параметрлер номиналды жүктеме үшін қабылданады).

15 кесте

Қозғалтқыш типі	Артық ауа коэффициенті $\alpha$
Үрлеусіз	
жай жүретіндер . . . . .	1,8÷2,1
жылдам жүретіндер . . . . .	1,3÷1,7
Үрлеумен	
жай жүретіндер . . . . .	2,0÷2,3
жылдам жүретіндер . . . . .	1,5÷1,9

Жанғыш камерасы бөлек қозғалтқыш үшін, жақсы қоспаараласу ретінде, артық ауа коэффициентінің аз мәні қабылданады, сөйтіп цилиндрдің көлемі толық қолданылады, литрлік күші көбейеді. Егер есепте циклдің орташа температурасы жоғары болса ( $T_c$ ,  $T_z$  және  $T_b$  температуралардың жоғары мәндері), оны артық ауа коэффициентін үлкейту арқылы төмендету мүмкіншілігі бар, және де аралық салқындатуды енгізу мен сығу дәрежесін төмендету арқылы жүзеге асады.

## ЖҰМЫС ЦИКЛДЕРІНІҢ ЕСЕП ҮЛГІСІ

Бұл тарауда әртүрлі типті қозғалтқыштардың жылулық есебінің үлгілері, және бір қатар техника-экономикалық есептер берілген.

Есептегі өлшемдерді анықтаудағы дәлдік дәрежесіне міндетті түрде көңіл аудару керек (барлық бөлімдердегі үлгілерге қатысты). Мысалы, қысымды атмосфераның жүздік үлесі дейінгі дәлдікпен анықтайды, ал температуралардың өлшемі бүтін мәнге дейін өрнектеледі.

### §4. ТӨРТТАКТЛЫ АҚЫРЫН ЖҮРЕТІН ДИЗЕЛЬ ЦИКЛІНІҢ ЕСЕБІ

#### 6ЧР 25/34 прототипті дизелі

**Тапсырма.** Басты төрттақтлы үрлеусіз кеме дизелінің жұмыс циклін есептеу.  $n=500$  айн/мин кезіндегі тиімді күш  $N_e=300$  э.л.с., цилиндр саны  $i=6$ . Дизельді отын ГОСТ 4749-49. Отынның салмақты орташа құрамы  $C=0,87$ ;  $H=0,126$ ;  $O=0,004$ . Төменгі жану жылуы  $Q_n = 10100$  ккал/кг.

#### Есептің берілгені

Сығу дәрежесі .....	$\varepsilon=14$
Циклдің ең үлкен қысымы .....	$p_z=57$ кг/см <sup>2</sup>
Қоршаған ортаның қысымы .....	$p_o=1$ кг/см <sup>2</sup>
Қоршаған ортаның температурасы .....	$T_o=290^\circ K$
Артық ауа коэффициенті .....	$\alpha=1,9$
Қалдық газдардың температурасы .....	$T_r=750^\circ K$
Жанудың соңындағы жылуды қолдану коэффициенті .....	$\xi=0,84$
Сығу политропының орташа көрсеткіші .....	$n_1=1,37$
Ұлғаю политропының орташа көрсеткіші .....	$n_2=1,28$
Қозғалтқыштың механикалық ПӘК-і .....	$\eta_m=0,81$

#### Есеп

1 кг отынның жануы үшін қажетті ауаның теориялық мольдік мөлшерін анықтаймыз

$$L_o = \frac{1}{0,21} \left( \frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1}{0,21} \left( \frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{4} - \frac{0,004}{32} \right) = 0,495 \text{ кмоль/кг.}$$

1 кг отынның толық жануы үшін қажетті ауаның нақты мөлшері:

$$L = \alpha \cdot L_o = 1,9 \cdot 0,495 = 0,94 \text{ кмоль/кг.}$$

#### Жұмыс цилиндрінің толу параметрлері

Цилиндрге келіп түсетін ыстық бөлшектермен жылытылған ауа температурасы (жылу цилиндр қабырғаларынан алынса  $\Delta T = 20^\circ$ ),

$$T'_o = T_o + \Delta T = 290 + 20 = 310^\circ K.$$

Сығудың бастапқы кезеңіндегі қысым

$$p_a = 0,9 p_o = 0,9 \cdot 1 = 0,9 \text{ кГ/см}^2 \text{ (1 формула).}$$

7 формулаға сәйкес қалдық газдардың қысымы

$$p_r = 1,1 p_o = 1,1 \text{ кГ/см}^2$$

Қалдық газдардың коэффициенті

$$\gamma_r = \frac{T'_o}{T_r} \cdot \frac{p_r}{\varepsilon p_a - p_r} = \frac{310}{750} \cdot \frac{1,1}{14 \cdot 0,9 - 1,1} = 0,04.$$

Сығудың бастапқы кезеңіндегі жаңа зарядтың қалдық газдармен қоспасының температурасы

$$T_a = \frac{T'_o + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{310 + 0,04 \cdot 750}{1 + 0,04} = 327^\circ K.$$

Жұмыс цилиндрінің толу коэффициенті

$$\eta_n = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{p_a T'_o}{p_o T_a} \cdot \frac{1}{1 + \gamma_r} = \frac{14}{13} \cdot \frac{0,9 \cdot 290}{1 \cdot 327} \cdot \frac{1}{1,04} = 0,826.$$

Сығу процесінің параметрлері

Сығу соңындағы температура

$$T_c = T_a \varepsilon^{n-1} = 327 \cdot 14^{1,37-1} = 870^\circ K,$$

бұл мән жанармайдың өздігінен жануына жеткілікті. Дизельдер үшін  $T_c = 740 - 900^\circ K$  және одан да жоғары.

Сығу соңындағы қысым

$$p_c = p_a \varepsilon^{n_1} = 0,9 \cdot 14^{1,37} = 0,9 \cdot 37,1 = 33,4 \text{ кГ/см}^2.$$

Жану процесінің параметрлері

1 кг отынға қажетті жану өнімдерінің мольдік мөлшері

$$M = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + L_o(\alpha - 0,21) = \frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{2} + 0,495(1,9 - 0,21) = 0,972 \text{ кмоль/кг}.$$

Молекулалық өзгерістің теориялық (химиялық) коэффициенті

$$\beta_o = \frac{M}{L} = \frac{0,972}{0,94} = 1,033.$$

Молекулалық өзгерістің нақты есептік коэффициенті

$$\beta = \frac{\beta_o + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1,033 + 0,04}{1 + 0,04} = 1,032.$$

Қысымның жоғарылау дәрежесі

$$\lambda = \frac{p_z}{p_c} = \frac{57}{33,4} = 1,7.$$

Қысу соңындағы құрғақ ауаның изохоралық мольдік жылу сыйымдылығы

$$c'_v = 4,6 + 0,0006 \cdot T_c = 4,6 + 0,0006 \cdot 870 = 5,12 \text{ ккал/кмоль} \cdot ^\circ K.$$

Жану өнімдерінің мольдік изохоралық және изобаралық жылу сыйымдылықтарын циклдың максималды температурасы арқылы өрнектейміз

$$\begin{aligned} c''_v &= -\frac{4,89 + (\alpha - 1) \cdot 4,6}{\alpha} + \frac{86 + (\alpha - 1) \cdot 60}{\alpha \cdot 10^5} \cdot T_z = \\ &= \frac{4,89 + (1,9 - 1) \cdot 4,6}{1,9} + \frac{86 + (1,9 - 1) \cdot 60}{1,9 \cdot 10^5} \cdot T_z = 4,9 + 0,00073 \cdot T_z. \\ c''_p &= c''_v + 1,986 = 4,9 + 0,00073 \cdot T_z + 1,986 = 6,886 + 0,00073 \cdot T_z; \end{aligned}$$



Жану теңдеуінің ықшамдалған түрін пайдалана отырып, өйткені  $\gamma_r < 0,05$ , циклдың максималды температурасын  $T_z$  анықтаймыз

$$\frac{\xi \cdot Q_H}{L(1 + \gamma_r)} + (c'_v + 1,986\lambda)T_c = \beta c''_p T_z,$$

$$\frac{0,84 \cdot 10100}{0,94 \cdot 1,04} + (5,12 + 1,986 \cdot 1,7) \cdot 870 = 1,032(6,886 + 0,00073 \cdot T_z)T_z;$$

$$15790 = 7,1T_z + 0,000754T_z^2;$$

$$0,000754T_z^2 + 7,1T_z - 15790 = 0.$$

алынған квадраттық теңдеуді шеше отырып,  $T_z$  табамыз:

$$T_z = \frac{-7,1 + \sqrt{7,1^2 + 4 \cdot 0,000754 \cdot 15790}}{2 \cdot 0,000754} = 1890^\circ K$$

жай жүретін дизельдер үшін  $T_z = 1700-1900^\circ K$ .

Кеңею процесінің параметрлері

Алдын ала кеңеюдің дәрежесі

$$\rho = \frac{\beta \cdot T_z}{\lambda \cdot T_c} = \frac{1,032 \cdot 1890}{1,7 \cdot 870} = 1,33.$$

Кеңеюдің келесі кезеңінің дәрежесі

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{14}{1,33} = 10,5.$$

Кеңейтудің соңындағы газдардың температурасы

$$T_b = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}} = \frac{1890}{10,5^{0,28}} = 980^\circ K.$$

Кеңейтудің соңындағы газдар қысымы

$$p_b = \frac{p_z}{\delta^{n_2}} = \frac{57}{10,5^{1,28}} = 2,8 \hat{e}\tilde{A} / \tilde{n}\hat{i}^2.$$

Циклдың негізгі индикаторлық және тиімді көрсеткіштері және оның үнемділігі

Циклдың теориялық орташа индикаторлық қысымы

$$\begin{aligned} p'_i &= \frac{p_c}{\varepsilon - 1} \left[ \lambda(\rho - 1) + \frac{\lambda\rho}{n_2 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\delta^{n_2-1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}} \right) \right] = \\ &= \frac{33,4}{13} \left[ 1,7(1,33 - 1) + \frac{1,7 \cdot 1,33}{0,28} \left( 1 - \frac{1}{10,5^{0,28}} \right) - \frac{1}{0,37} \left( 1 - \frac{1}{14^{0,97}} \right) \right] = \\ &= 7,01 \hat{e}\tilde{A} / \tilde{n}\hat{i}^2. \end{aligned}$$

Циклдың орташа индикаторлық қысымы (диаграмма толықтығының коэффициенті  $\varphi = 0,95$  қабылданған)

$$p_i = \varphi \cdot p'_i = 0,95 \cdot 7,01 = 6,73 \text{ кГ/см}^2.$$

Орташа тиімді қысым

$$p_e = \eta_m \cdot p_i = 0,81 \cdot 6,73 = 5,45 \text{ кГ/см}^2.$$

Дизель жұмысының күтілетін экономикалық көрсеткіштерін анықтаймыз. Отынның индикаторлық салыстырмалы шығыны

$$g_i = 318,4 \cdot \frac{\eta_n P_o}{p_i L T_o} = 318,4 \cdot \frac{0,826 \cdot 1}{6,73 \cdot 0,94 \cdot 290} = 0,143 \text{ кг/у.л.с.} \cdot \text{сағ.}$$

Отынның тиімді салыстырмалы шығыны

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{0,143}{0,81} = 0,176 \text{ кг/э.л.с.} \cdot \text{сағ.}$$

Циклдың индикаторлық ПӘК-і

$$\eta_i = \frac{632,3}{g_i Q_n} = \frac{632,3}{0,143 \cdot 10000} = 0,438.$$

Қозғалтқыштың тиімді ПӘК-і

$$\eta_e = \eta_i \eta_m = 0,438 \cdot 0,81 = 0,35.$$

Есепте алынған индикаторлық, тиімді және экономикалық көрсеткіштер  $p_i$ ,  $p_e$ ,  $g_i$ ,  $g_e$ ,  $\eta_i$ ,  $\eta_e$  берілген типті қозғалтқыш үшін жаңа деңгейде жатыр (ақырын жүретін төрттактлы аз қуатты дизель)

Жұмыс цилиндрінің негізгі өлшемдері  
Поршеньнің жүру өлшемін анықтаймыз.

Поршеньнің орташа жылдамдығын  $c_m = 5,67 \text{ м/сек}$  деп аламыз.

$$S = \frac{30c_m}{n} = \frac{30 \cdot 5,7}{500} = 0,34 \text{ м.}$$

Жұмыс цилиндрінің диаметрін табамыз

$$D = 1,07 \sqrt{\frac{N_e}{p_e S n i}} = 1,07 \sqrt{\frac{300}{5,45 \cdot 0,34 \cdot 500 \cdot 6}} = 0,2492 \text{ м.}$$

МЕСТ 4393-48 сәйкес  $D = 250 \text{ мм}$  деп қабылдаймыз.

Күштің берілген мәннен аутқуын тексереміз.

Есептегі қуат

$$N_e = \frac{p_e F S n i}{900} = \frac{5,45 \cdot 490,6 \cdot 0,34 \cdot 500 \cdot 6}{900} \approx 301 \text{ ў.э.н.},$$

мұндағы  $F$  - поршеньнің ауданы,  $\text{см}^2$ ;

$S$  – поршеньнің жүру өлшемі,  $\text{м}$ ;

$N_e = 300 \text{ э.л.с.}$  – берілген қуат.

Мәннің ауытқуы:

$$\frac{301 - 300}{300} \cdot 100 = \frac{1}{3} \%,$$

бұл әбден мүмкін.

$S/D$  қатынасын тексереміз:

$$\frac{S}{D} = \frac{0,34}{0,25} = 1,36.$$

Дизельдің кернеулігіне (форсировка) баға беру үшін цилиндрдегі поршеньдік салыстырмалы қуатын анықтаймыз.

$$N_i = \frac{N_e \delta}{F} \text{ ў.э.н./} \ddot{\text{а}} \ddot{\text{и}}^2,$$

мұндағы  $N_{e \text{ и}} = 50 \text{ э.л.с.}$  - - цилиндрдегі қуат;

$F$  – поршеньнің ауданы,  $\text{дм}^2$ ;

$$F = \frac{3,14 \cdot 2,5^2}{4} = 4,906 \ddot{\text{а}} \ddot{\text{и}}^2.$$

$$N_i = \frac{50}{4,906} = 10,1 \text{ э.л.с./дм}^2,$$

бұл орташа айналымды төрттактлы дизельдердің форсировкасына сай 27, 29 кестелер.

жұмыс цилиндрінің алынған негізгі өлшемдері 6ЧР 25/34 дизель өлшемдеріне сәйкес келеді, ал циклдың басты есептік параметрлері нақты параметрлерге тең немесе мардымсыз ауытқуы мүмкін, бұл есептегі берілген мәліметтері дұрыс алынғанын дәлелдейді.

## §5. ТӨРТТАКТЛЫ АҚЫРЫН ЖҰРЕТІН ГАЗТУРБИНАЛЫҚ ҮРЛЕУМЕН ДИЗЕЛЬ ЦИКЛІНІҢ ЕСЕБІ

### 6ЧР 25/34 прототипті дизелі

**Тапсырма.** Төрттактлы дизель-генератордың жұмыс циклін есептеу.  $n=500$  айн/мин кезіндегі тиімді қуат  $N_e=400$  э.л.с., цилиндр саны  $i=6$ . Ауа айдаушының корпусы салқындатылады. Дизельді отын МЕСТ 4749-49. Отынның орташа салмақты құрамы  $C=0,87$ ;  $H=0,126$ ;  $O=0,004$ . Төменгі жану жылуы  $Q_H=10100$  ккал/кг.

### Есептің берілгені

Сығу дәрежесі .....	$\varepsilon=12$
Циклдың ең үлкен қысымы .....	$p_z=65 \text{ кг/см}^2$
Қоршаған ортаның қысымы .....	$p_o=1 \text{ кг/см}^2$
Қоршаған ортаның температурасы .....	$T_o=290^\circ K$
Артық ауа коэффициенті .....	$\alpha=2$
Қалдық газдардың температурасы .....	$T_r=800^\circ K$
Ауа айдаушыдан кейінгі қысым .....	$p_k=1,5 \text{ кг/см}^2$
Жанудың соңындағы жылуды қолдану коэффициенті .....	$\xi=0,80$
Сығу политропының орташа көрсеткіші .....	$n_1=1,37$
Ұлғаю политропының орташа көрсеткіші .....	$n_2=1,28$
Қозғалтқыштың механикалық ПӘК-і .....	$\eta_m=0,81$

### Есеп

1 кг отынның жану үшін қажетті ауаның теориялық мольдік мөлшерін табамыз

$$L_o = \frac{1}{0,21} \left( \frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1}{0,21} \left( \frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{4} - \frac{0,004}{32} \right) = 0,495 \text{ кмоль/кг.}$$

1 кг отынның жануы үшін қажетті ауаның нақты мөлшері

$$L = \alpha \cdot L_o = 2 \cdot 0,495 = 0,99 \text{ кмоль/кг.}$$

### Жұмыс цилиндрінің толу параметрлері

Айдауыштан кейінгі ауаның температурасы (айдауыштың корпусы салқындатылған; сығу политропының орташа көрсеткіші  $n=1,48$ )

$$T_k = T_o \left( \frac{p_k}{p_o} \right)^{\frac{n-1}{n}} = 290 \cdot 1,5^{\frac{1,48-1}{1,48}} = 328,2^\circ K.$$

Мұндай температурада ауа салқындатқышы қарастырылмайды. Соған орай, температура мен қысым кіргізу клапандарының алдында

$$T_s = T_k; p_s = p_k.$$

Кіргізу алдында цилиндр қабырғаларымен жылытылған ауаның температурасы (жылыту дәрежесін  $\Delta T=5^\circ$  қабылдаймыз)

$$T'_s = T_s + \Delta T = 328,2 + 5 \approx 333^\circ K.$$

Сығудың бастапқы кезеңіндегі қысым

$$p_a = 0,95 p_s = 0,95 \cdot 1,35 = 1,28 \text{ кг/см}^2 \text{ (формула 2).}$$

Қалдық газдардың қысымы

$$p_r = 0,85 p_s = 0,85 \cdot 1,35 = 1,15 \text{ кг/см}^2 \text{ (формула 10).}$$

Қалдық газдардың коэффициенті

$$\gamma_r = \frac{T'_s}{T_r} \cdot \frac{p_r}{\varepsilon p_a - p_r} = \frac{333}{800} \cdot \frac{1,15}{12 \cdot 1,28 - 1,15} = 0,036.$$

Кіргізудің соңындағы температура

$$T_a = \frac{T'_s + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{333 + 0,036 \cdot 800}{1 + 0,036} = 349^\circ K.$$

Толу коэффициенті

$$\eta_H = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{p_a T'_s}{p_s T_a} \cdot \frac{1}{1 + \gamma_r} = \frac{12}{11} \cdot \frac{1,28 \cdot 328,2}{1,35 \cdot 349} \cdot \frac{1}{1,036} = 0,94.$$

Сығу процесінің параметрлері

Сығу соңындағы температура

$$T_c = T_a \varepsilon^{n_1 - 1} = 349 \cdot 12^{0,37} = 876^\circ K.$$

Сығу соңындағы қысым

$$p_c = p_a \varepsilon^{n_1} = 1,28 \cdot 12^{1,37} = 38,5 \text{ кг/см}^2.$$

Жану процесінің параметрлері

1 кг отынға шаққанда жану өнімдерінің мольдік мөлшері

$$M = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + L_o(\alpha - 0,21) = \frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{2} + 0,495(2 - 0,21) = 1,0215 \text{ кмоль/кг}.$$

Молекулалық өзгерістің теориялық коэффициенті

$$\beta_o = \frac{M}{L} = \frac{1,0215}{0,99} = 1,032.$$

Молекулалық өзгерістің нақты коэффициенті

$$\beta = \frac{\beta_o + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1,032 + 0,036}{1 + 0,036} \approx 1,03.$$

Қысымның жоғарылау дәрежесі

$$\lambda = \frac{p_z}{p_c} = \frac{65}{38,5} = 1,69.$$

Қысу соңындағы құрғақ ауаның изохоралық мольдік жылу сыйымдылығы

$$c'_v = 4,6 + 0,0006 \cdot T_c = 4,6 + 0,0006 \cdot 876 = 5,125 \text{ ккал/кмоль} \cdot ^\circ K.$$

Жану өнімдерінің мольдік жылу сыйымдылығын  $T_z$  температура арқылы өрнектейміз

$$c''_v = -\frac{4,89 + (\alpha - 1) \cdot 4,6}{\alpha} + \frac{86 + (\alpha - 1) \cdot 60}{\alpha \cdot 10^5} \cdot T_z =$$

$$= \frac{4,89 + (2 - 1) \cdot 4,6}{2} + \frac{86 + (2 - 1) \cdot 60}{2 \cdot 10^5} \cdot T_z = 4,745 + 0,00073 \cdot T_z.$$

$$c''_p = c''_v + 1,986 = 4,745 + 0,00073 \cdot T_z + 1,986 = 6,731 + 0,00073 \cdot T_z;$$

Жану теңдеуінен  $T_z$  температураны анықтаймыз

$$\frac{0,80 \cdot 10100}{0,99 \cdot 1,036} + (5,125 + 1,986 \cdot 1,69) \cdot 876 = 1,03(6,731 + 0,00073 \cdot T_z) T_z,$$

$$15630 = 6,94T_z + 0,000752T_z^2;$$

$$0,000752T_z^2 + 6,94T_z - 15630 = 0,$$

мұндағы

$$T_z = \frac{-6,94 + \sqrt{6,94^2 + 4 \cdot 0,000752 \cdot 15630}}{2 \cdot 0,000752} = 1850^\circ \text{K}.$$

Кеңею процесінің параметрлері

Алдын-ала кеңеюдің дәрежесі

$$\rho = \frac{\beta \cdot T_z}{\lambda \cdot T_c} = \frac{1,03 \cdot 1850}{1,69 \cdot 876} = 1,29.$$

Кеңеюдің келесі кезеңінің дәрежесі

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{12}{1,29} = 9,3.$$

Кеңейтудің соңындағы газдардың температурасы

$$T_b = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}} = \frac{1850}{9,3^{0,28}} = 998^\circ \text{K}.$$

Кеңейтудің соңындағы газдар қысымы

$$p_b = \frac{p_z}{\delta^{n_2}} = \frac{65}{9,3^{1,28}} = 3,78 \text{ еА} / \tilde{n}^2.$$

Циклдың негізгі индикаторлық және тиімді көрсеткіштері және оның үнемділігі

Циклдың теориялық орташа индикаторлық қысымы

$$p'_i = \frac{p_c}{\varepsilon - 1} \left[ \lambda(\rho - 1) + \frac{\lambda\rho}{n_2 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\delta^{n_2-1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}} \right) \right] =$$

$$= \frac{38,5}{11} \left[ 1,69(129 - 1) + \frac{1,69 \cdot 1,29}{0,28} \left( 1 - \frac{1}{9,3^{0,28}} \right) - \frac{1}{0,37} \left( 1 - \frac{1}{12^{0,37}} \right) \right] =$$

$$= 8,65 \text{ еА} / \tilde{n}^2.$$

Орташа индикаторлық қысым ( $\varphi=0,97$ )

$$p_i = \varphi \cdot p'_i = 0,97 \cdot 8,65 = 8,43 \text{ кг/см}^2.$$

Орташа тиімді қысым

$$p_e = \eta_m \cdot p_i = 0,86 \cdot 8,4 = 7,21 \text{ кг/см}^2.$$

Экономикалық көрсеткіштерді табамыз. Отынның индикаторлық салыстырмалы шығыны

$$g_i = 318,4 \cdot \frac{\eta_H p_s}{p_i L T_s} = 318,4 \cdot \frac{0,94 \cdot 1,35}{8,4 \cdot 0,99 \cdot 328,2} = 0,147 \text{ кг/у.л.с.} \cdot \text{сағ}.$$

Отынның тиімді салыстырмалы шығыны

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{0,147}{0,86} = 0,171 \text{ кг/э.л.с.} \cdot \text{сағ}.$$

Индикаторлық ПӘК-і

$$\eta_i = \frac{632,3}{g_i Q_H} = \frac{632,3}{0,147 \cdot 10100} = 0,427.$$

Тиімді ПӘК-і

$$\eta_e = \eta_i \eta_m = 0,427 \cdot 0,86 = 0,367.$$

Экономикалық көрсеткіштер прототипті қозғалтқыштың көрсеткіштерімен сәйкес келеді және осы кластағы дизельдер үшін нормалар деңгейінде жатыр.

Жұмыс цилиндрінің негізгі өлшемдері  $c_m=5,67$  м/сек деп қабылдап, поршеньнің жүру өлшемін анықтаймыз:

$$S = \frac{30c_m}{n} = \frac{30 \cdot 5,7}{500} = 0,34 \text{ м.}$$

Цилиндрдің диаметрі

$$D = 1,07 \sqrt{\frac{N_e}{p_e S n i}} = 1,07 \sqrt{\frac{400}{7,21 \cdot 0,34 \cdot 500 \cdot 6}} = 0,250 \text{ м.}$$

МЕСТ 4393-48 сәйкес  $D = 250$  мм деп қабылдаймыз. Есептелген және қабылданған цилиндрдің диаметрі тең болғандықтан, берілген күштен ауытқуы жоқ.  $S/D$  қатынасын тексереміз:

$$\frac{S}{D} = \frac{0,34}{0,25} = 1,36.$$

Дизельдің поршеньдік қуаты

$$N_i = \frac{N_e \delta}{F} \text{ ý.ä.ñ. / äì }^2,$$

мұндағы поршеннің ауданы

$$F = \frac{3,14 \cdot 2,5^2}{4} = 4,906 \text{ äì }^2.$$

$$N_i = \frac{400}{6 \cdot 4,906} = 13,6 \text{ э.л.с. / дм}^2.$$

Алынған параметрлер БЧН 25/34 прототипті дизельне сәйкес келеді.

## §6. ТӨРТТАКТЫЛЫ МОДЕРНИЗАЦИЯЛАНҒАН ДИЗЕЛЬДІҢ ЖҰМЫС ЦИКЛІНІҢ ЕСЕБІ

(жұмыс процесін үрлеусізден үрлеуге ауыстыру)

**Тапсырма.** Өзен мен теңізде жүзуі шектелген буксирлерде қолданылатын, кеменің 18Д (6ЧР 30/38) басты дизельнің агрегаттық күшін арттыру мақсатымен жұмыс процесін үрлеусізден үрлеуге аудару ұсынылады.

Тапсырманың мақсаты: үрлеумен дизельдің жұмыс циклінің басты индикаторлық және тиімді көрсеткіштерін анықтау және оларды модернизацияланған қозғалтқыштың техника-экономикалық көрсеткіштерімен салыстыру.

Қозғалтқыш бөлшектерінің жылулық және механикалық қызып кетуін шектеу мақсатында үрлеу дәрежесін  $\gamma_H=1,3 \div 1,32$  деп қабылдаймыз, бұл тиімді күшке  $N_e=520 \div 530$  э.л.с. сәйкес келеуі керек.

### 18Д (6ЧР 30/38) дизельнің құрылымдық және қолдану көрсеткіштері.

Көрсеткіштердің атауы	
Тиімді қуат, э.л.с. ....	400
Цилиндрлік қуат, э.л.с. ....	67
Минутына айналым саны .....	400
Цилиндр саны .....	6
Цилиндр диаметрі, мм .....	300
Поршеньнің жүру өлшемі, мм .....	380
$S/D$ қатынасы .....	1,27

Поршеньнің орташа жылдамдығы, $m/сек$ .....	5,1
Орташа тиімді қысым, $кГ/см^2$ .....	5,6
Поршеньдік қуат, $э.л.с./дм^2$ .....	9,5
Сығу дәрежесі, $\varepsilon$ .....	14,5
Жану қысымы $p_z$ , $кГ/см^2$ .....	47÷52
Жанармай сорты	Солярлық май немесе дизельдік жанармай МЕСТ 305-508
Жанармайдың салыстырмалы шығыны $кГ/э.л.с.·сағ.$ .....	0,180
Жалпы салмағы, $T$ .....	8,5
Салыстырмалы салмағы, $T$ .....	21,2
Механикалық ПӘК-і .....	0,82

**Үрлеумен цикл есебінің берілген мәліметтері  
(ақырын жүретін қозғалтқыш)**

Цилиндр диаметрі .....	$D=300$ мм
Поршеньнің жүру өлшемі .....	$S=380$ мм
Цилиндр саны .....	$i=6$
Минутына айналым саны .....	$n=400$ айн/мин
Поршеньнің орташа жылдамдығы .....	$c_m=5,1$ м/сек
Сығу дәрежесі .....	$\varepsilon=12,5$
Циклдың ең үлкен қысымы .....	$p_z=60$ $кГ/см^2$
Қоршаған ортаның қысымы .....	$p_o=1$ $кГ/см^2$
Қоршаған ортаның температурасы .....	$T_o=290^{\circ}K$
Ауа айдаушыдан кейінгі қысым .....	$p_k=1,45$ $кГ/см^2$
Артық ауа коэффициенті .....	$\alpha=2$
Жылуды қолдану коэффициенті .....	$\xi=0,8$
Сығу политропының орташа көрсеткіші .....	$n_1=1,38$
Ұлғаю политропының орташа көрсеткіші .....	$n_2=1,28$
Қалдық газдардың температурасы .....	$T_r=850^{\circ}K$
Механикалық ПӘК-і .....	0,87
Дизельдік жанармай	$(C=0,87; H=0,126; O=0,004;$ $Q_n = 10100$ ккал/кГ) ГОСТ 305-508.
Поршень шойыннан жасалған, салқындатылмайды.	
Ауа айдаушы газтурбиналық (ГТА).	

Газтурбиналық үрлеу келесі мақсаттар үшін таңдалады: ГТА қолдану қалдық газдарды пайдалануға, механикалық ПӘК-ің артуына, дизель ептілігінің жоғарылауына әкеледі, күш өзгерген кезде цилиндрге түсетін ауаның мөлшерін өздігінен басқаруын қамтамасыз ететінін түсіндіреді. Бұл сүйреткіш теплоходқа маңызды дизельдің жүк тиеу қабілетін жоғарылауға жағдай жасайды.

Газтурбиналық агрегаттардың лайықты салмақтық, пішіндік және үнемдік көрсеткіштерге ие. Олардың салмағы орташа қуатты төрттактылы қозғалтқыштың салмағынан 5-6% аспайды. Модернизацияланған дизельдің ( $400^{\circ}C$ ) қалдық газдар температурасының жоғары мәні оң фактор болып табылады. 18Д дизельде ( $n=300$  айн/мин кезінде  $N_e=300$  э.л.с. болғанда) қалдық газдар температурасы  $350^{\circ}C$  тең.

**Есеп**

1 кг отынның жануға қажетті ауаның теориялық мольдік мөлшерін табамыз

$$L_o = \frac{1}{0,21} \left( \frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1}{0,21} \left( \frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{4} - \frac{0,004}{32} \right) = 0,495 \text{ кмоль/кг.}$$

1 кг отынның жануы үшін қажетті ауаның нақты мөлшері

$$L = \alpha \cdot L_o = 2 \cdot 0,495 = 0,99 \text{ кмоль/кг.}$$

Жұмыс цилиндрінің толу параметрлері

Ортадан тепкіш айдауыштан кейінгі ауаның температурасы (айдауыштың корпусы салқындатылмаған; сығу политропының орташа көрсеткіші  $n=1,8$ )

$$T_k = T_o \left( \frac{p_k}{p_o} \right)^{\frac{n-1}{n}} = 290 \cdot 1,45^{\frac{1,8-1}{1,8}} = 340^\circ \text{ K.}$$

Ауа тоңазытқышын орнатуды ойластырып, салқындату дәрежесін  $\Delta T_{охл}=30^\circ$  қабылдаймыз

Кіргізу клапандарының алдындағы температура

$$T_s = T_k - \Delta T_{i\ddot{o}e} = 340 - 30 = 310^\circ \text{ K.}$$

Цилиндр қабырғаларымен жылытуды ескере отырып, жұмыс цилиндрдегі ауаның температурасы ( $\Delta T=10^\circ$  қабылдаймыз)

$$T'_s = T_s + \Delta T = 310 + 10 = 320^\circ \text{ K.}$$

Тоңазытқыштан кейінгі қысым (тоңазытқыштағы қысымның жоғалуы  $\Delta p=0,05$  кг/см<sup>2</sup>)

$$p_s = p_k - \Delta p = 1,45 - 0,05 = 1,4 \text{ кг/см}^2.$$

Кіргізу соңындағы қысым

$$p_a = 0,95 \cdot p_s = 0,95 \cdot 1,4 = 1,33 \text{ кг/см}^2 \text{ (формула 2).}$$

Қалдық газдардың қысымы

$$p_r = 0,85 \cdot p_s = 0,85 \cdot 1,4 = 1,19 \text{ кг/см}^2 \text{ (формула 10).}$$

Қалдық газдардың коэффициенті

$$\gamma_r = \frac{T_s}{T_r} \cdot \frac{p_r}{\rho p_a - p_r} = \frac{320}{850} \cdot \frac{1,19}{12,5 \cdot 1,33 - 1,19} = 0,0291.$$

Кіргізу соңындағы температура

$$T_a = \frac{T'_s + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{320 + 0,0291 \cdot 850}{1,0291} = 336^\circ \text{ K.}$$

Толу коэффициенті

$$\eta_H = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{p_a T_s}{p_s T_a} \cdot \frac{1}{1 + \gamma_r} = \frac{12,5}{11,5} \cdot \frac{1,33 \cdot 310}{1,4 \cdot 336} \cdot \frac{1}{1,0291} = 0,923.$$

Сығу процесінің параметрлері

Сығу соңындағы температура

$$T_c = T_a \varepsilon^{n_1-1} = 336 \cdot 12,5^{0,38} = 885^\circ \text{ K.}$$

Сығу соңындағы қысым

$$p_c = p_a \varepsilon^{n_1} = 1,33 \cdot 12,5^{1,38} = 43,1 \text{ кг/см}^2.$$

Жану процесінің параметрлері

Жану өнімдерінің мольдік мөлшері

$$M = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + L_o(\alpha - 0,21) = \frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{2} + 0,495(2 - 0,21) = 1,0215 \text{ кмоль/кг.}$$

Молекулалық өзгерістің теориялық коэффициенті



$$\beta_o = \frac{M}{L} = \frac{1,0215}{0,99} = 1,032.$$

Молекулалық өзгерістің нақты коэффициенті

$$\beta = \frac{\beta_o + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1,032 + 0,0291}{1,0291} \approx 1,03.$$

Қысымның жоғарылау дәрежесі

$$\lambda = \frac{p_z}{p_c} = \frac{60}{43,1} = 1,39.$$

Қысу соңындағы құрғақ ауаның изохоралық мольдік жылу сыйымдылығы

$$c'_v = 4,6 + 0,0006 \cdot T_c = 4,6 + 0,0006 \cdot 885 = 5,13 \text{ ккал/кмоль} \cdot ^\circ K$$

Жану өнімдерінің мольдік жылу сыйымдылығын  $T_z$  температура арқылы өрнектейміз

$$\begin{aligned} c''_v &= \frac{4,89 + (\alpha - 1)4,6}{\alpha} + \frac{86 + (\alpha - 1)60}{\alpha \cdot 10^5} \cdot T_z = \\ &= \frac{4,89 + (2 - 1)4,6}{2} + \frac{86 + (2 - 1)60}{2 \cdot 10^5} \cdot T_z = 4,745 + 0,00073 \cdot T_z; \end{aligned}$$

$$c''_p = c''_v + 1,986 = 4,745 + 0,00073 \cdot T_z + 1,986 = 6,731 + 0,00073 \cdot T_z.$$

Жану  $T_z$  температурасын анықтаймыз

$$\frac{\xi \cdot Q_H}{L(1 + \gamma_r)} + (c'_v + 1,986\lambda)T_c = \beta c''_p T_z;$$

$$\frac{0,8 \cdot 10100}{0,99 \cdot 1,0291} + (5,13 + 1,986 \cdot 1,39) \cdot 885 = 1,03(6,731 + 0,00073 T_z) \cdot T_z,$$

квадраттық теңдеу табамыз

$$0,000752 \cdot T_z^2 + 6,94 \cdot T_z - 14925 = 0.$$

одан

$$T_z = \frac{-6,94 + \sqrt{6,94^2 + 4 \cdot 0,000752 \cdot 14925}}{2 \cdot 0,000752} = 1790^\circ K.$$

Кеңею процесінің параметрлері

Алдын-ала кеңеюдің дәрежесі

$$\rho = \frac{\beta \cdot T_z}{\lambda \cdot T_c} = \frac{1,03 \cdot 1790}{1,39 \cdot 885} = 1,5.$$

Кеңеюдің келесі кезеңінің дәрежесі

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{12,5}{1,5} = 8,34.$$

Кеңейтудің соңындағы газдардың температурасы

$$T_b = \frac{T_z}{\delta^{n_2 - 1}} = \frac{1790}{8,34^{0,28}} = 984^\circ K.$$

Кеңейтудің соңындағы газдар қысымы

$$p_b = \frac{p_z}{\delta^{n_2}} = \frac{60}{8,34^{1,28}} = 4,57 \text{ еА} / \tilde{n} \cdot \tilde{i}^2.$$

Циклдың негізгі индикаторлық және тиімді көрсеткіштері және оның үнемділігі

Циклдың теориялық орташа индикаторлық қысымы

$$p'_i = \frac{p_c}{\varepsilon - 1} \left[ \lambda(\rho - 1) + \frac{\lambda\rho}{n_2 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right] =$$

$$= \frac{43,1}{11,5} \left[ 1,39(1,5 - 1) + \frac{1,39 \cdot 1,5}{0,28} \left( 1 - \frac{1}{8,34^{0,28}} \right) - \frac{1}{0,38} \left( 1 - \frac{1}{12,5^{0,38}} \right) \right] = 8,78 \text{ } \hat{e} \tilde{A} / \tilde{n} \hat{i}^2.$$

Орташа индикаторлық қысым ( $\varphi=0,97$  қабылдаймыз)

$$p_i = \varphi \cdot p'_i = 0,97 \cdot 8,78 = 8,5 \text{ кГ/см}^2.$$

Үрлеу кезіндегі орташа тиімді қысым

$$p_e = \eta_m \cdot p_i = 0,87 \cdot 8,5 = 7,38 \text{ кГ/см}^2.$$

Үрлеумен дизель жұмысының тиімді көрсеткіштерін анықтаймыз.

Жанармайдың индикаторлық салыстырмалы шығыны

$$g_i = 318,4 \cdot \frac{\eta_h p_s}{p_i L T_s} = 318,4 \cdot \frac{0,923 \cdot 1,4}{8,5 \cdot 0,99 \cdot 310} = 0,157 \text{ кГ/э.л.с.} \cdot \text{ч.}$$

Жанармайдың тиімді салыстырмалы шығыны

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{0,157}{0,87} = 0,180 \text{ кГ/см}^2.$$

Жұмыс циклының индикаторлық ПӘК-і

$$\eta_i = \frac{632,3}{g_i Q_H} = \frac{632,3}{0,157 \cdot 10100} \approx 0,40.$$

Қозғалтқыштың тиімді ПӘК-і

$$\eta_e = \frac{632,3}{g_e Q_H} = \frac{632,3}{0,180 \cdot 10100} \approx 0,35.$$

Қозғалтқыштың үрлеу дәрежесі

$$\lambda_H = \frac{p_{eH}}{p_e} = \frac{7,38}{5,6} = 1,317.$$

Мұндағы  $p_{eH}$  – үрлеу кезіндегі орташа тиімді қысым,  $7,38 \text{ кГ/см}^2$  тең.

$p_e = 5,6 \text{ кГ/см}^2$  үрлеусіз кезіндегі орташа тиімді қысым.

Үрлеу кезіндегі тиімді қуат

$$N_{eH} = \lambda_H N_e = 1,317 \cdot 400 = 526,8 \text{ э.л.с.},$$

бұл берілген қуатқа сай келеді.

Біржолата жобалық қуатты қабылдаймыз

$$N_e = 525 \text{ э.л.с.}$$

Модернизацияланатын дизельдің маркасы – 6ЧРН 30/38.

Поршеньдік қуаттың мәні бойынша дизельдің форсункасын бағалаймыз

$$N_i = \frac{N_{e\ddot{o}}}{F} = \frac{87,5}{7,065} = 12,4 \text{ э.л.с./дм}^2,$$

мұндағы цилиндрлік қуат

$$N_{e\ddot{o}} = \frac{525}{6} = 87,5 \text{ э.л.с.};$$

$F$  – поршень ауданы  $\text{дм}^2$ .

$$F = \frac{3,14 \cdot 3^2}{4} = 7,065 \text{ дм}^2.$$

6ЧРН 30/38 дизельдің негізгі пайдалану көрсеткіштері

$$N_e = 525 \text{ э.л.с.}$$

$$\begin{aligned}
N_{e\bar{o}} &= 87,5 \text{ э.л.с.} \\
N_i &= 12,4 \text{ э.л.с./дм}^2 \\
p_i &= 8,5 \text{ кг/см}^2 \\
p_e &= 7,38 \text{ кг/см}^2 \\
\varepsilon &= 12,5 \\
p_z &= 60 \text{ кг/см}^2 \\
p_k &= 1,45 \text{ кг/см}^2 \\
g_e &= 0,180 \text{ кг/э.л.с.·с.аг.} \\
\eta_e &= 0,35 \\
T_c &= 885^\circ K \\
p_c &= 43,1 \text{ кг/см}^2 \\
T_z &= 1790^\circ K \\
T_b &= 984^\circ K \\
p_b &= 4,57 \text{ кг/см}^2 \\
\lambda_n &= 1,317
\end{aligned}$$

Отын: соляр майы немесе дизель отыны МЕСТ 305-58.

Қозғалтқыштың жалпы салмағын шамамен  $G = 9,1 \div 9,2 \text{ т}$  құрайды (ГТА, ауа салқындатқышы және құбырлар орнатқаннан кейін салмақтың 6% үлкейді деп қабылдаймыз).

Қозғалтқыштың салыстырмалы салмағы

$$G_e = \frac{9200}{525} = 17,5 \text{ э.л.с./г.э.л.}$$

6ЧР 30/38 және 6ЧРН 30/38 дизельдерді салыстырғанда үрлеуді енгізу маңызды артықшылықтардың бір қатарын бергенін көрсетеді:

- 1)  $p_e$  5,6-дан 7,38 кг/см<sup>2</sup> дейін көтерілгендіктен, тиімді қуат 125 э.л.с.-ке (31%) артты;
- 2) 9,5-тен 12,4 э.л.с./дм<sup>2</sup> -ге дейін дизельдің жылдамдатуы өседі, бірақ бұл жаңа дизельдердің жылдамдатуымен (29, 30 кестелерді қара) салыстырғанда әлі жеткіліксіз;
- 3) дизельдің құрылымдық құнының азаяды, өйткені оның салыстырмалы салмағы 21,2-17,5=3,9 кг/э.л.с.-ге төмендейді;
- 4) дизельдің маневрлік сапаларының жоғарылатуы күтіледі;
- 5) салыстырмалы механикалық шығындар азаяды (механикалық ПӘК-тің өсуі);
- 6)  $T_z$  және  $T_b$  температуралардың есептік мәндері жұмыс цилиндрінің бөлшектерінің қызуы шектен тыс аспайтынын көрсетеді, яғни шығу клапандары мен поршень бастарының өртенуіне және поршеньдік сақиналардың күйеуіне әкелмейді.

Қысудың  $T_a$  бастапқы температурасы (ауа салқындатқышын орнату) төмендеуінің нәтижесінде және артық ауа коэффициент мәнін арттырғандықтан қысу дәрежесі төмендеуінің нәтижесінде  $T_z$  температурасының төмендеді.

Болмаған жағдайда  $T_z$  пен  $T_b$  температуралары және циклдың орташа температурасы жоғары болар еді.

7) циклдың ( $g_e$  мен  $\eta_e$ ) үнемді көрсеткіштері өзгеріссіз қалды. Алайда қуатты дизельдерде жанармайдың салыстырмалы тиімді шығыны үрлеу кезінде  $3 \div 5 \text{ г/э.л.с.·с.аг.}$  –ға төмендейді, соған байланысты тиімді ПӘК-і 2-3% артады. Бұндай жағдайда үнемді көрсеткіштер жағынан 18Д дизельдің модернизациясына қарсылық жоқ;

8)  $885^\circ K$  –ге тең қысу температурасы жүру кезеңіндегі де дизельдің жұмысы кезінде цилиндрдегі жанармайдың сенімді өздігінен жануына жеткілікті: шектелген мәні  $T = 740^\circ - 900^\circ K$ .

Жану қысымы  $p_z=60 \text{ кГ/см}^2$  18Д дизельдегі жану қысымынан  $8 \text{ кГ/см}^2$  –ға жоғары. Дизель бөлшектерінің механикалық қызуының артуы күтілуде. Тәжірибе бойынша, орташа үрлеу кезіндегі әсіресе ескі құрылыс дизельдердегі беріктік қорының жоғары болуы жұмыс втулканың және басқа басты бөлшектердің беріктігін қамтамасыз етеді. Буынды білікке түсетін күш максималды айналу моментіне байланысты, сондықтан оның беріктігі цилиндрге жанармайдың түсу уақытын ұлғайту және озу бұрышын азайту нәтижесінде болған жану процесін ұлғаю жолына ығысумен қамтамасыз етіледі. Пайда болған орташа айналу моменті аумағында максималды моменттің мәні оның өзгерісі кезінде азаяды.

Дизельді үрлеумен жұмыс процесіне ауыстырғанда оның бөлшектерін беріктікке және тозуға шыдамдылыққа тексеру есебін жүргізу қажет.

Агрегаттық қуаттың артуы және кемеңің тарту күшінің үлкеуі модернизацияланған дизельдің өте маңызды артықшылықтары болып табылады. Аз ғана қаражат шығынмен осындай типті үрлеумен дизельдерді сериялы шығару сүйреткіш кемелердің энергетикалық қондырғыларының жалпы қуатын біршама артуына әкеледі.

## §7. МЕХАНИКАЛЫҚ ҮРМЕЛІ ТӨРТТАҚТЫЛЫ ТЕЗ ЖҮРЕТІН ДИЗЕЛЬ ЦИКЛІНІҢ ЕСЕБІ

### М-50 12ЧНСП 18/20 прототипті дизель

**Тапсырма.** Дизельдің еңбек циклын есептеу.

$n=1700 \text{ айн/мин}$  кезіндегі тиімді қуат  $N_e=1000 \text{ э.л.с.}$ , цилиндр саны  $i=12$ , цилиндрдің орналасуы V-тәріздес. Жану камерасы бөлінбеген, поршень алюминий балқуынан, ауа айдаушы орталықтан тепкіш.

Дизельді отын МЕСТ 4749-49. Отынның салмақты орташа құрамы:  $C=0,126$ ,  $H=0,126$ ;  $O=0,004$ . Төменгі жану жылуы  $Q_H=10100 \text{ ккал/кГ}$ .

#### Есептің берілгені

Сығу дәрежесі .....	$\varepsilon=13,5$
Циклдың ең үлкен қысымы .....	$p_z=85 \text{ кГ/см}^2$
Қоршаған ортаның қысымы .....	$p_o=1 \text{ кГ/см}^2$
Қоршаған ортаның температурасы .....	$T_o=290^\circ \text{К}$
Ауа айдаушыдан кейінгі қысым .....	$p_k=1,5 \text{ кГ/см}^2$
Артық ауа коэффициенті .....	$\alpha=1,75$
Жылдам жүретін үрлеумен қозғалтқыш үшін жану соңындағы жылуды қолдану коэффициенті .....	$\xi=0,80$
Сығу политропының орташа көрсеткіші .....	$n_1=1,36$
Ұлғаю политропының орташа көрсеткіші .....	$n_2=1,24$
Ауа айдаушыны ескере отырып, қозғалтқыштың механикалық ПӘК-і .....	$\eta_M=0,81$
газ турбинасы болмағандықтан, клапандарды жабу кезіндегі үрлеу мен шығардағы кедергінің азаюы .....	$\gamma_r=0$

#### Есеп

1 кг отынның жану үшін қажетті ауаның теориялық мөлшерін табамыз

$$L_o = \frac{1}{0,21} \left( \frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1}{0,21} \left( \frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{4} - \frac{0,004}{32} \right) = 0,495 \text{ кмоль/кг.}$$

1 кг отынның толық жануы үшін қажетті ауаның нақты мөлшері

$$L = \alpha \cdot L_o = 1,75 \cdot 0,495 = 0,867 \text{ кмоль/кг.}$$

Жұмыс цилиндрінің толу параметрлері

Айдауыштан кейінгі ауаның температурасы (ортадан тепкіш салқындатылмайтын айдауыштағы сығу политропының көрсеткіші  $n=1,8$ )

$$T_s = T_{\dot{\epsilon}} = T_o \left( \frac{p_{\dot{\epsilon}}}{p_o} \right)^{\frac{n-1}{n}} = 290 \cdot 1,5^{\frac{1,8-1}{1,8}} = 350^\circ \text{K} \text{ (ауа салқындатқышы қарастырылмаған).}$$

Кіргізу соңында ауаның температурасы (жылу цилиндр қабырғаларынан  $\Delta T=5^\circ$ ).

$$T_a = T_s + \Delta T = 350 + 5 = 355^\circ \text{K}, \text{ так как } \gamma_r = 0.$$

Сығудың бастапқы кезеңіндегі қысым

$$p_a = 0,95 p_s = 0,95 \cdot 1,5 = 1,42 \text{ кг/см}^2 \text{ (2 формула), мұндағы } p_s \text{ тең } p_k.$$

Жұмыс цилиндрдың толу коэффициенті

$$\eta_H = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{p_a \cdot T_s}{p_s \cdot T_a} = \frac{13,5}{12,5} \cdot \frac{1,42 \cdot 350}{1,5 \cdot 355} = 1,012.$$

Сығу процесінің параметрлері

Сығу соңындағы температура

$$T_c = T_a \varepsilon^{n_1-1} = 355 \cdot 13,5^{1,36-1} = 900^\circ \text{K.}$$

Сығу соңындағы қысым

$$p_c = p_a \varepsilon^{n_1} = 1,42 \cdot 13,5^{1,36} = 48,8 \text{ кг/см}^2.$$

Жану процесінің параметрлері

1 кг отынға шаққанда жану өнімдерінің мольдік мөлшері

$$M = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + L_o(\alpha - 0,21) = \frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{2} + 0,495(1,75 - 0,21) = 0,899 \text{ кмоль/кг.}$$

Молекулалық өзгерістің нақты коэффициенті ( $\gamma_r=0$ )

$$\beta = \frac{M}{L} = \frac{0,899}{0,867} = 1,037.$$

Қысымның жоғарылау дәрежесі

$$\lambda = \frac{p_z}{p_c} = \frac{85}{48,8} = 1,74.$$

Қысу соңындағы құрғақ ауаның изохоралық орташа мольдік жылу сыйымдылығы

$$c'_v = 4,6 + 0,0006 \cdot T_c = 4,6 + 0,0006 \cdot 900 = 5,14 \text{ ккал/кмоль}^\circ\text{K.}$$

Жану өнімдерінің мольдік жылу сыйымдылықтарын өрнектейміз

$$c''_v = -\frac{4,89 + (\alpha - 1) \cdot 4,6}{\alpha} + \frac{86 + (\alpha - 1) \cdot 60}{\alpha \cdot 10^5} \cdot T_z;$$

$$c''_v = -\frac{4,89 + (1,75 - 1) \cdot 4,6}{1,75} + \frac{86 + (1,75 - 1) \cdot 60}{1,75 \cdot 10^5} \cdot T_z;$$

$$c''_p = c''_v + 1,986 = 4,76 + 0,000655 \cdot T_z + 1,986 = 6,746 + 0,000655 \cdot T_z;$$

Жану теңдеуін шешіп, циклдың максималды  $T_z$  температурасын анықтаймыз:

$$\frac{\xi \cdot Q_H}{L} + (c'_v + 1,986\lambda)T_c = \beta c''_p T_z;$$

$$\frac{0,75 \cdot 10100}{0,867} + (5,14 + 1,986 \cdot 1,74) \cdot 900 = 1,037(6,746 + 0,000655 \cdot T_z)T_z,$$

бұдан теңдеу аламыз

$$0,000679T_z^2 + 6,99T_z - 17250 = 0.$$

Теңдеуден табамыз:

$$T_z = \frac{-7 + \sqrt{7^2 + 4 \cdot 0,000679 \cdot 17250}}{2 \cdot 0,000679} \approx 2000^\circ K,$$

жылдам жүретін дизельге сай.

Кеңею процесінің параметрлері

Алдын-ала кеңеюдің дәрежесі

$$\rho = \frac{\beta \cdot T_z}{\lambda \cdot T_c} = \frac{1,037 \cdot 2000}{1,74 \cdot 900} = 1,326.$$

Кеңеюдің келесі кезеңінің дәрежесі

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{13,5}{1,326} = 10,2.$$

Кеңею соңындағы газдар температурасы

$$T_b = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}} = \frac{2000}{10,2^{1,28-1}} = 1100^\circ K.$$

Жоғары айналымды қозғалтқыштар үшін  $T_b = 1000-1200^\circ K$ .

Кеңейтудің соңындағы газдар қысымы

$$p_b = \frac{p_z}{\delta^{n_2}} = \frac{85}{10,2^{1,24}} = 3,9 \text{ } \hat{e}\tilde{A} / \tilde{n}\hat{i}^2.$$

Жоғары айналымды қозғалтқыштар үшін  $p_b = 3,5 \div 6 \text{ } \hat{e}\tilde{A} / \tilde{n}\hat{i}^2$ .

Циклдың негізгі индикаторлық және тиімді көрсеткіштері және оның үнемділігі

Циклдың теориялық орташа индикаторлық қысымы

$$\begin{aligned} p'_i &= \frac{p_c}{\varepsilon - 1} \left[ \lambda(\rho - 1) + \frac{\lambda\rho}{n_2 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\delta^{n_2-1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}} \right) \right] = \\ &= \frac{48,8}{12,5} \left[ 1,74(1,326 - 1) + \frac{1,74 \cdot 1,326}{1,24 - 1} \left( 1 - \frac{1}{10,2^{1,24-1}} \right) - \frac{1}{1,36 - 1} \left( 1 - \frac{1}{13,5^{1,36-1}} \right) \right] = \\ &= 12,2 \text{ } \hat{e}\tilde{A} / \tilde{n}\hat{i}^2. \end{aligned}$$

Орташа индикаторлық қысым (диаграмма толықтығының коэффициенті  $\varphi=0,97$ )

$$p_i = \varphi \cdot p'_i = 0,97 \cdot 12,2 = 11,8 \text{ } \kappa\Gamma/\text{см}^2.$$

Орташа тиімді қысым

$$p_e = \eta_m \cdot p_i = 0,75 \cdot 11,8 = 8,85 \text{ } \kappa\Gamma/\text{см}^2.$$

Отынның индикаторлық салыстырмалы шығыны

$$g_i = 318,4 \cdot \frac{\eta_m p_s}{p_i L T_s} = 318,4 \cdot \frac{1,012 \cdot 1,5}{11,8 \cdot 0,867 \cdot 350} = 0,136 \text{ } \kappa\Gamma/\text{у.л.с.} \cdot \text{сағ.}$$

Отынның тиімді салыстырмалы шығыны

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{0,136}{0,75} = 0,18 \text{ } \kappa\Gamma/\text{э.л.с.} \cdot \text{сағ.}$$

М-50 дизельдегі отынның шығыны  $g_e = 0,170 \div 0,190 \text{ } \kappa\Gamma/\text{э.л.с.} \cdot \text{сағ.}$  (әсер еткен күшке тәуелді).

Циклдың индикаторлық ПӘК-і

$$\eta_i = \frac{632,3}{g_i Q_H} = \frac{632,3}{0,136 \cdot 10100} = 0,46.$$

Қозғалтқыштың тиімді ПӘК-і

$$\eta_e = \eta_i \eta_m = 0,46 \cdot 0,75 = 0,345.$$

Алынған үнемді көрсеткіштер жоғары айналымды дизельдерге сәйкес.

Жұмыс цилиндрінің негізгі өлшемдері

Орташа жылдамдықты  $c_m = 11,3 \text{ м/сек}$  деп алып, поршеньнің жүру шамасын анықтаймыз

$$S = \frac{30c_m}{n} = \frac{30 \cdot 11,3}{1700} = 0,2 \text{ м} = 200 \text{ мм.}$$

Жұмыс цилиндрінің диаметрі

$$D = 1,07 \sqrt{\frac{N_e}{p_e S n i}} = 1,07 \sqrt{\frac{1000}{8,85 \cdot 0,2 \cdot 1700 \cdot 12}} = 0,1785 \text{ м.}$$

МЕСТ 4393-48 бойынша қабылдаймыз  $D = 0,18 \text{ м} = 180 \text{ мм.}$

$S/D$  қатынасы

$$\frac{S}{D} = \frac{0,2}{0,18} = 1,11.$$

Жоғарғы айналымды қозғалтқыштар үшін  $S/D = 1 \div 1,5$ .

Поршеньдегі қуат

$$N_i = \frac{N_e \ddot{o}}{F} = \frac{1000}{12 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,82^2}{4}} = 32,6 = 32,6 \text{ э.л.с./дм}^2,$$

қазіргі кездегі үрмелі жоғары айналымды қозғалтқыштарға сәйкес келеді.

## §8. ҮРЛЕУСІЗ ЕКІТАКТЛЫ ДИЗЕЛЬ ЦИКЛЫНЫҢ ЕСЕБІ

### БДР 30/50 прототипті дизель

**Тапсырма.** Кеменің көлденең үрмелі екітақтлы басты дизельдің жұмыс циклін есептеу.  $n=300 \text{ айн/мин}$  кезіндегі тиімді қуат  $N_e=600 \text{ э.л.с.}$ , цилиндр саны  $i=6$ . Үрмелі насос поршеньді. Отын: солярлық май МЕСТ 1666-51. Отынның салмақты орташа құрамы:  $C=0,87$ ;  $H=0,126$ ;  $O=0,004$ . Отынның төменгі жану жылуы:  $Q_H=10000 \text{ ккал/кг}$ .

### Есептің берілгені

Сығу дәрежесі .....	$\varepsilon=12,9$
Циклдың ең үлкен қысымы .....	$p_z=60 \text{ кг/см}^2$
Қоршаған ортаның қысымы .....	$p_o=1 \text{ кг/см}^2$
Қоршаған ортаның температурасы .....	$T_o=290^\circ \text{ К}$
Үрленетін ауа қысымы .....	$p_k=1,2 \text{ кг/см}^2$
Шығу коллектордегі газдар қысымы .....	$p_r=1,08 \text{ кг/см}^2$
Артық ауа коэффициенті .....	$\alpha=2$
Қалдық газдар коэффициенті .....	$\gamma_r=0,1$
Жану соңындағы жылуды қолдану коэффициенті .....	$\xi=0,80$
Сығу политропының орташа көрсеткіші .....	$n_1=1,36$
Ұлғаю политропының орташа көрсеткіші .....	$n_2=1,3$
Қозғалтқыштың механикалық ПӘК-і .....	$\eta_m=0,75$
Поршеньнің жоғалтқан жүрісінің үлесі (ең төменгі	$\psi=0,22$

нүктеден шығу терезелерінің жоғарғы жиегіне дейін) .....

### Есеп

1 кг отынның жануы үшін қажетті ауаның теориялық мөлшерін табамыз

$$L_o = \frac{1}{0,21} \left( \frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1}{0,21} \left( \frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{4} - \frac{0,004}{32} \right) = 0,495 \text{ кмоль/кг.}$$

1 кг отынның толық жануы үшін қажетті ауаның нақты мөлшері

$$L = \alpha \cdot L_o = 2 \cdot 0,495 = 0,99 \text{ кмоль/кг.}$$

### Жұмыс цилиндрінің толу параметрлері

Үрлеу насосынан кейінгі ауаның температурасын анықтаймыз; поршеньді насос үшін қысу политропының көрсеткіші  $n=1,45$  қабылдаймыз:

$$T_e = T_o \left( \frac{P_e}{P_o} \right)^{\frac{n-1}{n}} = 290 \cdot 1,2^{\frac{1,45-1}{1,45}} = 307^\circ \text{ K.}$$

$T_k$  мәні мардымсыз болғандықтан, ауа салқындатқышы қарастырылмайды. Сондықтан үрлейтін ауаның температурасы мен қысымы

$$T_s = T_e = 307^\circ \text{ K}, \quad p_s = p_e = 1,2 \text{ еА} / \tilde{n}^2.$$

$\Delta T=10^\circ$  қабылдай отырып, кіру кезіндегі ыстық бөлшектермен қыздырылған жұмыс цилиндріндегі ауаның температурасы

$$T'_s = T + \Delta T = 307 + 10 = 317^\circ \text{ K.}$$

Сығудың бастапқы кезеңінде жана зарядтың қалдық газдармен қоспасының температурасы

$$T_a = \frac{T'_s + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{317 + 0,1 \cdot 750}{1 + 0,1} = 356^\circ \text{ K.}$$

Сығудың бастапқы кезеңіндегі қысым (шығу терезелері үрлейтін терезелерден кейін жабылған екі қабатты қозғалтқыш үшін)

$$p_a = \frac{p_s + p_r}{2} = \frac{1,2 + 1,08}{2} = 1,14 \text{ еА} / \tilde{n}^2 \text{ (формула 4).}$$

Поршеньнің пайдалы жүру жолына жатқызылған жұмыс цилиндрінің толтыру коэффициенті

$$\eta'_n = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \cdot \frac{p_a T_s}{p_s T_a} \cdot \frac{1}{1 + \gamma_r} = \frac{12,9}{11,9} \cdot \frac{1,14 \cdot 307}{1,2 \cdot 356} \cdot \frac{1}{1,1} = 0,802.$$

Поршеньнің толық жүру жолына жатқызылған жұмыс цилиндрінің толтыру коэффициенті

$$\eta_n = \eta'_n (1 - \psi) = 0,802(1 - 0,22) = 0,625.$$

### Қысу процесінің параметрлері

Қысу соңындағы температура

$$T_c = T_a \varepsilon^{n_1-1} = 356 \cdot 12,9^{1,36-1} = 890^\circ \text{ K.}$$

Қысу соңындағы қысым

$$p_c = p_a \varepsilon^{n_1} = 1,14 \cdot 12,9^{1,36} = 37 \text{ кг/см}^2.$$

### Жану процесінің параметрлері

1 кг отынның жану өнімдерінің мольдік мөлшері

$$M = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + L_o(\alpha - 0,21) = \frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{2} + 0,495(2 - 0,21) = 1,0215 \text{ кмоль/кг.}$$



Молекулалық өзгерістің теориялық коэффициенті

$$\beta_o = \frac{M}{L} = \frac{1,0215}{0,99} = 1,032.$$

Молекулалық өзгерістің нақты коэффициенті

$$\beta = \frac{\beta + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1,032 + 0,1}{1 + 0,1} = 1,029.$$

Қысымның жоғарылау дәрежесі

$$\lambda = \frac{p_z}{p_c} = \frac{60}{37} = 1,62.$$

Қысу соңындағы құрғақ ауаның изохоралық орташа мольдік жылу сыйымдылығы

$$c'_v = 4,6 + 0,0006 \cdot T_c = 4,6 + 0,0006 \cdot 890 = 5,13 \text{ ккал/кмоль} \cdot ^\circ K.$$

Жану өнімдерінің мольдік жылу сыйымдылығын өрнектейміз

$$\begin{aligned} c''_v &= -\frac{4,89 + (\alpha - 1) \cdot 4,6}{\alpha} + \frac{86 + (\alpha - 1) \cdot 60}{\alpha \cdot 10^5} \cdot T_c = \\ &= \frac{4,89 + (2 - 1) \cdot 4,6}{2} + \frac{86 + (2 - 1) \cdot 60}{2 \cdot 10^5} \cdot T_c = 4,745 + 0,00073 \cdot T_c. \end{aligned}$$

Қысу соңындағы қалдық газдар үшін

$$c''_v = 4,745 + 0,00073 \cdot T_c = 4,745 + 0,00073 \cdot 890 = 5,395 \text{ ккал/кмоль} \cdot ^\circ K.$$

z нүктесіндегі жану өнімдері үшін

$$c''_v = 4,745 + 0,00073 \cdot T_z;$$

$$c''_p = c''_v + 1,986 = 6,731 + 0,00073 \cdot T_z.$$

Нақтыланған жану теңдеуін шешіп,  $T_z$  температурасын анықтаймыз ( $\gamma_r > 0,05$ ):

$$\begin{aligned} \frac{\xi \cdot Q_H}{L} + (c'_v + 1,986\lambda)T_c &= \gamma_r (c''_v + 1,986\lambda)T_c = \beta(1 + \gamma_r)c''_p T_z; \\ \frac{0,85 \cdot 10000}{0,99} + (5,13 + 1,986 \cdot 1,62) \cdot 890 + \\ &+ 0,1 \cdot (5,395 + 1,986 \cdot 1,62) \cdot 890 = \\ &= 1,029 \cdot 1,1 \cdot (6,731 + 0,00073 \cdot T_z) \cdot T_z. \end{aligned}$$

Осыдан квадраттық теңдеу аламыз

$$14820 = (6,731 + 0,00073 \cdot T_z) \cdot T_z.$$

Теңдеуден табамыз  $T_z = 1840^\circ K$ .

Баяу жүретін дизельдер үшін  $T_z = 1700 \div 1900^\circ K$ .

Кеңею процесінің параметрлері

Алдын-ала кеңею дәрежесі

$$\rho = \frac{\beta T_z}{\lambda T_c} = \frac{1,029 \cdot 1840}{1,62 \cdot 890} = 1,315.$$

Кейінгі кеңею дәрежесі

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{12,9}{1,315} = 9,8.$$

Кеңею соңындағы газдар температурасы

$$T_b = \frac{T_z}{\delta^{n_2 - 1}} = \frac{1840}{9,8^{1,3 - 1}} = 928^\circ K.$$

Кеңею соңындағы газдар қысымы

$$p_b = \frac{p_z}{\delta^{n_2}} = \frac{60}{9,8^{1,3}} = 3,08 \text{ кг/см}^2.$$

Циклдың негізгі индикаторлық және тиімді көрсеткіштері және оның үнемділігі

Поршеньнің пайдалы жүрісіне жатқызылған циклдің теориялық орташа индикаторлық қысымы

$$p'_i = \frac{p_c}{\varepsilon - 1} \left[ \lambda(\rho - 1) + \frac{\lambda\rho}{n_2 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right] =$$

$$= \frac{37}{11,9} \left[ 1,62(1,315 - 1) + \frac{1,62 \cdot 1,315}{1,3 - 1} \left( 1 - \frac{1}{9,8^{1,3 - 1}} \right) - \frac{1}{1,36 - 1} \left( 1 - \frac{1}{12,9^{1,36 - 1}} \right) \right] =$$

$$= 7,3 \hat{\varepsilon} \tilde{A} / \tilde{n} i^2.$$

Поршеньнің толық жүрісіне жатқызылған орташа индикаторлық қысым (индикаторлық диаграмманың толықтық коэффициентін  $\varphi=1$  қабылдаймыз – үрлейтін терезелері жабылғаннан кейін кіру терезелерінің ашылуымен болған контурлы үрлеу кезінде),

$$p_i = p'_i(1 - \psi)\varphi = 7,3(1 - 0,22) = 5,69 \text{ кг/см}^2.$$

Орташа тиімді қысым

$$p_e = \eta_m \cdot p_i = 0,75 \cdot 5,69 = 4,27 \text{ кг/см}^2.$$

Отынның индикаторлық салыстырмалы шығыны

$$g_i = 318,4 \cdot \frac{\eta_H p_s}{p_i L T_s} = 318,4 \cdot \frac{0,625 \cdot 1,2}{5,69 \cdot 0,99 \cdot 307} = 0,138 \text{ кг/э.л.с.·сағ.}$$

Отынның тиімді салыстырмалы шығыны

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{0,138}{0,75} = 0,184 \text{ кг/э.л.с.·сағ.}$$

Прототиптік дизель үшін  $g_e$  0,185 кг/э.л.с.·сағ. –дан артық болмау керек.

Қозғалтқыштың индикаторлық ПӘК-і

$$\eta_i = \frac{632,3}{g_i Q_H} = \frac{632,3}{0,138 \cdot 10000} = 0,458.$$

Қозғалтқыштың тиімді ПӘК-і

$$\eta_e = \frac{632,3}{g_e Q_H} = \frac{632,3}{0,184 \cdot 10000} = 0,343.$$

Жұмыс цилиндрінің негізгі өлшемдері

Орташа жылдамдықты  $c_m=5$  м/сек деп қабылдап, поршень жүру шамасын анықтаймыз:

$$S = \frac{30c_m}{n} = \frac{30 \cdot 5}{300} = 0,5 \text{ м} = 500 \text{ мм.}$$

Цилиндрлік тиімді қуаты

$$N_{e \dot{o}} = \frac{N_e}{i} = \frac{600}{6} = 100 \text{ э.л.с.}$$

Жұмыс цилиндрінің диаметрі

$$D = 0,76 \sqrt{\frac{N_{e \dot{o}}}{p_e S n}} = 0,76 \sqrt{\frac{100}{4,27 \cdot 0,5 \cdot 300}} = 0,299 \text{ м.}$$

МЕСТ 4393-48 бойынша диаметрді  $D=300$  мм деп қабылдаймыз.

Қабылданған диаметр бойынша цилиндрлік қуаты

$$N_e = \frac{p_e F S n i}{4500} = \frac{4,27 \cdot 706,5 \cdot 0,5 \cdot 300 \cdot 6}{4500} = 603 \text{ э.л.с.}$$

$$\text{мұндағы } F = \frac{3,14 \cdot 30^2}{4} = 706,5 \text{ см}^2 \text{ немесе } 7,065 \text{ дм}^2.$$

Берілген қуат  $N_e=600$  э.л.с.

Мәннің ауытқуы:  $\frac{603 - 600}{600} \cdot 100 = 0,5\%$  және бұл әбден мүмкін.

$S/D$  қатынасын тексереміз:

$$\frac{S}{D} = \frac{0,5}{0,3} = 1,67.$$

Қозғалтқыштың поршеньдік қуаты

$$N_{\gamma} = \frac{N_e \cdot \delta}{F} = \frac{100}{7,065} = 14,15 \text{ э.л.с./дм}^2.$$

Есеп барысында алынған өлшемдер прототипті дизель циклінің өлшемдеріне жақын немесе сәйкес келеді.

## §9. ГАЗТУРБИНАЛЫҚ ҮРЛЕУМЕН ЕКІТАКТЛЫ ДИЗЕЛЬ ЦИКЛІНІҢ ЕСЕБІ

### «Бурмейстер мен Вайн» прототипті дизелі 74-VTBF-160; БМЗ 7 ДКРН 74/160

**Тапсырма.** Кеменің тура нүктелік-клапандық үрлеумен басты дизелінің жұмыс циклін есептеу.  $n=115$  айн/мин кезіндегі тиімді қуат  $N_e = 8750$  э.л.с., цилиндрлер саны  $i=7$ . МЕСТ 1667-51 бойынша ДТ-1 мотор жанармайының орташа салмақты құрамы:  $C=0,87$ ;  $H=0,125$ ;  $O=0,005$ . Төменгі жану жылуы  $Q_n = 10000$  ккал/кг.

#### Есептің берілгені

Сығу дәрежесі .....	$\varepsilon=11,1$
Циклдың ең үлкен қысымы .....	$p_z=56 \text{ кг/см}^2$
Қоршаған ортаның қысымы .....	$p_o=1,0 \text{ кг/см}^2$
Қоршаған ортаның температурасы .....	$T_o=290^\circ K$
Ауа айдаушыдан кейінгі қысым .....	$p_k=1,43 \text{ кг/см}^2$
Қалдық газдардың температурасы .....	$T_r=700^\circ K$
Артық ауа коэффициенті .....	$\alpha=2$
Қалдық газдар коэффициенті .....	$\gamma_r=0,06$
Жанудың соңындағы жылуды қолдану коэффициенті .....	$\xi=0,84$
Сығу политропының орташа көрсеткіші .....	$n_1=1,38$
Ұлғаю политропының орташа көрсеткіші .....	$n_2=1,27$
Қозғалтқыштың механикалық ПӘК-і .....	$\eta_m=0,9$
Үрлейтін терезелер биіктігіне сай, поршеньнің жоғалтқан жүрісінің үлесі (тура нүктелі-клапандық үрлеуі бар дизель)	$\psi=0,11$

#### Есеп

1 кг отынның жану үшін қажетті ауаның теориялық мөлшерін анықтаймыз

$$L_o = \frac{1}{0,21} \left( \frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1}{0,21} \left( \frac{0,87}{12} + \frac{0,125}{4} + \frac{0,005}{32} \right) = 0,4933 \text{ кмоль /кг.}$$

1 кг отынның толық жануы үшін қажетті ауаның нақты мөлшері

$$L = \alpha \cdot L_o = 2 \cdot 0,4933 = 0,9866 \text{ кмоль /кг.}$$

Жұмыс цилиндрінің толу параметрлері

Үрлеу насосынан кейінгі ауаның температурасын анықтаймыз. Центрден тепкіш ауа айдауышы үшін қысу политропының көрсеткішін  $n=1,8$  қабылдаймыз

$$T_{\dot{\epsilon}} = T_o \left( \frac{p_{\kappa}}{p_o} \right)^{\frac{n-1}{n}} = 290 \cdot 1,43^{\frac{1,8-1}{1,8}} = 290 \cdot 1,43^{0,444} = 340^{\circ} K.$$

Циклдің орташа температурасын түсіру мен дизельдің жұмыс цилиндрінің толуын арттыру мақсатында  $T=340^{\circ} K$  жағдайында ауаны айдағыштан кейін салқындату қажет.

$\Delta T_{охл}=28^{\circ}$  деп қабылдап, үрлейтін ауаның температурасы анықтаймыз

$$T_s = T_{\kappa} - \Delta T_{\dot{\epsilon}} = 340 - 28 = 312^{\circ} K.$$

$\Delta T=10^{\circ}$  деп қабылдап, ыстық бөлшектермен қыздырылған цилиндрге келіп түсетін ауа температурасы,

$$T'_s = T_s + \Delta T = 312 + 10 = 322^{\circ} K.$$

Сығу басындағы жаңа зарядтың қалдық газдармен қоспасының температурасы

$$T_a = \frac{T'_s + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{322 + 0,06 \cdot 700}{1 + 0,06} = 343^{\circ} K.$$

Үрлейтін ауаның қысымы

$$p_s = p_{\kappa} - \Delta p = 1,43 - 0,03 = 1,4 \text{ кг/см}^2,$$

Салқындатқыштағы кедергі  $\Delta p=0,03 \text{ кг/см}^2$  деп қабылданған. Зарядқа дейінгі дизельдерге арналған сығу басындағы қысым

$$p_a = 0,96 \cdot 1,4 = 1,34 \text{ кг/см}^2 \text{ (формула 5).}$$

Поршеньнің пайдалы жүру жолына жатқызылған толтыру коэффициенті

$$\eta'_H = \frac{\epsilon}{\epsilon - 1} \cdot \frac{p_a T_s}{p_s T_a} \cdot \frac{1}{1 + \gamma_r} = \frac{11,1}{10,1} \cdot \frac{1,34 \cdot 312}{1,4 \cdot 343} \cdot \frac{1}{1,06} = 0,9.$$

Поршеньнің толық жүру жолына жатқызылған толтыру коэффициенті

$$\eta_H = \eta'_H (1 - \psi) = 0,9(1 - 0,11) = 0,8.$$

Қысу процесінің параметрлері

Қысу соңындағы температура

$$T_c = T_a \cdot \epsilon^{n_1 - 1} = 343 \cdot 11,1^{1,38 - 1} = 857^{\circ} K.$$

Қысу соңындағы қысым

$$p_c = p_a \cdot \epsilon^{n_1} = 1,34 \cdot 11,1^{1,38} = 37,2 \text{ кг/см}^2.$$

Жану процессінің параметрлері

1 кг отынның жану өнімдерінің мольдік мөлшері

$$M = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + L_o(\alpha - 0,21) = \frac{0,87}{12} + \frac{0,125}{2} + 0,4933(2 - 0,21) = 1,0215 \text{ кмоль/кг}.$$

Молекулалық өзгерістің теориялық коэффициенті

$$\beta_o = \frac{M}{L} = \frac{1,0215}{0,9866} = 1,034.$$

Молекулярлық өлшеудің нақты коэффициенті

$$\beta = \frac{\beta_o + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1,034 + 0,06}{1 + 0,06} = 1,03.$$

Қысымның жоғарылау дәрежесі

$$\lambda = \frac{p_z}{p_o} = \frac{56}{37,2} = 1,5.$$

Қысу соңындағы құрғақ ауаның изохоралық мольдік жылу сыйымдылығы

$$c'_v = 4,6 + 0,0006 \cdot T_c = 4,6 + 0,0006 \cdot 857 = 5,11 \text{ ккал/кмоль} \cdot ^{\circ} K.$$

Жану өнімдерінің орташа мольдік жылу сыйымдылықтарын өрнектейміз

$$c_v'' = -\frac{4,89 + (\alpha - 1) \cdot 4,6}{\alpha} + \frac{86 + (\alpha - 1) \cdot 60}{\alpha \cdot 10^5} \cdot T_z =$$

$$= \frac{4,89 + (2 - 1) \cdot 4,6}{2} + \frac{86 + (2 - 1) \cdot 60}{2 \cdot 10^5} \cdot T_z = 4,745 + 0,00073 \cdot T_z.$$

Қысу соңындағы қалдық газдар үшін

$$c_v'' = 4,745 + 0,00073 \cdot T_c = 4,745 + 0,00073 \cdot 857 = 5,37 \text{ ккал/кмоль} \cdot ^\circ K.$$

z нүктесіндегі жану өнімдері үшін

$$c_v'' = 4,745 + 0,00073 \cdot T_z;$$

$$c_p'' = c_v'' + 1,986 = 6,731 + 0,00073 \cdot T_z.$$

$T_z$  -ны анықтаймыз

$$\frac{\xi \cdot Q_H}{L} + (c_v' + 1,986\lambda)T_c = \gamma_r (c_v'' + 1,986\lambda)T_c = \beta(1 + \gamma_r)c_p''T_z;$$

$$\frac{0,85 \cdot 10000}{0,9866} + (5,11 + 1,986 \cdot 15) \cdot 857 + 0,06 \cdot (5,37 + 1,986 \cdot 15) \cdot 857 =$$

$$= 1,03 \cdot 1,06 \cdot (6,731 + 0,00073 \cdot T_z) \cdot T_z.$$

Осыдан квадраттық теңдеу аламыз:

$$14610 = (6,731 + 0,00073 \cdot T_z) \cdot T_z.$$

Шешімін табу үшін жүйелі жақындау әдісін қолданамыз:

$$T_z = \frac{14610}{6,731 + 0,00073 T_z}.$$

$T_z = 1800^\circ K$  қабылдап, бірінші жақындауды табамыз:

$$T_z = \frac{14610}{6,731 + 0,00073 \cdot 1800} = 1820^\circ K;$$

$T_z = 1815^\circ K$  қабылдап, екінші жақындауды табамыз:

$$T_z = \frac{14610}{6,731 + 0,00073 \cdot 1815} = 1815^\circ K;$$

$T_z = 1815^\circ K$ -ны қабылдаймыз.

Кеңею процесінің параметрлері

Алдын-ала кеңею дәрежесі

$$\rho = \frac{\beta \cdot T_z}{\lambda \cdot T_c} = \frac{1,03 \cdot 1815}{1,5 \cdot 857} = 1,46.$$

Кейінгі кеңею дәрежесі

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{11,1}{1,46} = 7,62.$$

Кеңею соңындағы газдар температурасы

$$T_b = \frac{T_z}{\delta^{n_2 - 1}} = \frac{1815}{7,62^{0,27}} \approx 1050^\circ K.$$

Кеңею соңындағы газдар қысымы

$$p_b = \frac{p_z}{\delta^{n_2}} = \frac{56}{7,48^{1,27}} = \frac{56}{13,2} = 4,26 \text{ кГ/см}^2.$$

Циклдың негізгі индикаторлық және тиімді көрсеткіштері және оның үнемділігі

Поршеньнің пайдалы жүрісіне жатқызылған теориялық орташа индикаторлық қысым

$$p'_i = \frac{p_c}{\varepsilon - 1} \left[ \lambda(\rho - 1) + \frac{\lambda\rho}{n_2 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) \right] =$$

$$= \frac{37,2}{10,1} \left[ 1,5(1,46 - 1) + \frac{1,5 \cdot 1,46}{0,27} \left( 1 - \frac{1}{7,62^{0,27}} \right) - \frac{1}{0,38} \left( 1 - \frac{1}{11,1^{0,38}} \right) \right] = 9,36 \text{ кГ/см}^2.$$

Поршеньнің толық жүрісіне жатқызылған орташа индикаторлық қысымы (басқарылатын шығу процесі кезінде  $\varphi=0,96$  қабылдаймыз),

$$p_i = p'_i(1 - \psi)\varphi = 9,36(1 - 0,11) \cdot 0,96 = 8,0 \text{ кГ/см}^2.$$

Орташа тиімді қысым

$$p_e = \eta_m p_i = 0,9 \cdot 8 \approx 7,2 \text{ кГ/см}^2.$$

Прототипті дизельде  $p_i = 7,9 \div 8 \text{ кГ/см}^2$ ;

$$p_c = 7,1 \div 7,12 \text{ кГ/см}^2.$$

Отынның индикаторлық салыстырмалы шығыны

$$g_i = 318,4 \frac{\eta_H p_s}{p_i L T_s} = 318,4 \frac{0,8 \cdot 1,4}{8,0 \cdot 0,9866 \cdot 312} = 0,144 \text{ кГ/э.л.с.} \cdot \text{сағ.}$$

Отынның тиімді салыстырмалы шығыны

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} = \frac{0,144}{0,9} = 0,160 \text{ кГ/ э.л.с.} \cdot \text{сағ.}$$

Отынның күтілетін шығыны  $0,160 \text{ кГ/э.л.с.} \cdot \text{сағ.}$  құрайды, бұл прототипті дизель үшін отын шығынының нормаларына сәйкес келеді  $158 \div 163 \text{ кГ/ э.л.с.} \cdot \text{сағ.}$

Дизельдің индикаторлық ПӘК-і

$$\eta_i = \frac{632,3}{g_i Q_H} = \frac{632,3}{0,144 \cdot 10000} = 0,44.$$

Дизельдің тиімді ПӘК-і

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m = 0,44 \cdot 0,9 \approx 0,4.$$

Жұмыс цилиндрінің негізгі өлшемдері

Орташа жылдамдықты  $c_m=6,15 \text{ м/сек}$  деп аламып, поршень жүру шамасын анықтаймыз

$$S = \frac{30c_m}{n} = \frac{30 \cdot 6,15}{115} = 1,6 \text{ м} = 1600 \text{ мм.}$$

Дизельдің цилиндрлік қуаты

$$N_{e \dot{o}} = \frac{N_e}{i} = \frac{8750}{6} = 1250 \text{ э.л.с.}$$

Жұмыс цилиндрінің диаметрі

$$D = 0,76 \sqrt{\frac{N_{e \dot{o}}}{p_e S n}} = 0,76 \sqrt{\frac{1250}{7,2 \cdot 1,6 \cdot 115}} \approx 0,74 \text{ м.}$$

«Бурмейстер мен Вайн» прототипті қозғалтқыш бойынша 74-VTBF-160 (БМЗ 7 ДКРН 74/160) марканы және диаметрді  $D=0,74 \text{ м}=740 \text{ мм}$  деп қабылдаймыз.

$S/D$  қатынасын тексереміз:

$$\frac{S}{D} = \frac{1,6}{0,74} = 2,16$$

Бұл  $S/D=1,4 \div 3$  тең аз айналымды дизельдерге сай.

Қозғалтқыштың поршеньдік қуаты

$$N_{\dot{r}} = \frac{N_{e \dot{o}}}{F} = \frac{1250}{43,1} = 29 \text{ э.л.с./дм}^2,$$

мүндөгі  $N_{eу} = 1250$  э.л.с.;  
 $F$ - поршень ауданы,  $дм^2$ ;

$$F = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 7,4^2}{4} = 43,1 \text{ дм}^2.$$

Қазіргі заманғы қуатты екітактлы дизельдер үшін  $N_{eу} \geq 5000$  э.л.с., поршеньдік қуаты  $23 \div 38$  э.л.с./ $дм^2$ , ендеше, 7ДКРН 74/60 дизель жылдамдатуы бойынша қазіргі заманғы деңгейде тұр.

ДКРН 74/160 мен ДКР 74/160 дизельдерінің негізгі параметрлері

Дизель параметрлері	ДКРН 74/160 74VTBF160	ДКР 74/160 74VTF160
Цилиндрлік қуаты, э.л.с.	1250	920
Минутына айналым саны	115	115
Цилиндр диаметрі, мм	740	740
Поршеньнің жүру жолы, мм	1600	1600
$S/D$ қатынсы	2,16	2,16
Поршеньнің орташа жылдамдығы, м/сек	6,15	6,15
Орташа индикаторлық қысым, $кГ/см^2$	7,9-8	6,5-7,0
Орташа тиімді қысым, $кГ/см^2$	7,1-7,12	5,6
Циклдің максималды қысымы $p_z$ , $кГ/см^2$	55-56	
Айдаушының қысымы $p_k$ , $кГ/см^2$	1,43	1,12
Үрлеу дәрежесі	1,27	-
Отынның салыстырмалы тиімді шығыны, $кг/э.л.с. \cdot сағ.$	0,158-0,163	0,160-0,165
Механикалық ПӘК-і	0,9-0,902	0,805
Поршеньдік қуат э.л.с./ $дм^2$	29	21,3

Есепте алынған индикаторлық және тиімді көрсеткіштер 7ДКРН 74/160 прототипті қозғалтқыштың көрсеткіштерімен сәйкес келеді немесе ауытқуы мардымсыз.

Цилиндр саны берілмеген жағдайында,  
 $D$  мен  $S$  мәндерін анықтау

Мұндай жағдайда цилиндр санын анықтау қажет. Алдыңғы мысалдың берілген мәндерін қолданайық.

$D$  мен  $S$  мәндерін анықтауға  $S/D$  қатынасы түрткі болады. Тура нүктелі-клапандық үрлеуі бар дизельдер үшін  $S/D=1,86 \div 2,2$  (30 кесте).

$D$  мен  $S$  –тің бірнеше мәндерін анықтаймыз. Ол үшін біріншіден цилиндр саны  $i=6$ , 7 мен 8-ге тең және поршеньнің орташа жылдамдықтары 5,5 –тен 6,5 м/сек дейін деп қабылдаймыз.

Келесі формуланы қолданамыз:

$$S = \frac{30c_m}{n}, \text{ м};$$

$$D = 0,76 \sqrt{\frac{N_e}{p_e S n i}},$$

мұндағы  $p_e$  тәжірибеге сүйеніп немесе есептеу барысында алынады. Біздің мысалда  $p_e=7,2$   $кГ/см^2$ .

Алынған мәндерді таблицаса енгіземіз.

$c_m$ , м/сек	$S$ , м	$i=6$		$i=7$		$i=8$	
		$D$ , м	$S/D$	$D$ , м	$S/D$	$D$ , м	$S/D$
5,5	1,435	0,838	1,72	0,780	1,84	0,662	2,17

6,0	1,565	0,802	1,95	0,747	2,09	0,635	2,46
6,5	1,695	0,772	2,19	0,718	2,36	0,610	2,78

Берілген дизель үшін  $S/D \approx 2$  сай.

Есептің екінші вариантын қабылдаған дұрыс:  $i=7$ , мұндағы  $S/D=2,09$ .

Табылған  $p_e$  мәнінен ауытқымау мақсатымен, МЕСТ 4363-48 бойынша  $D$  мен  $S$  мәндерін өрнектейміз.  $D = 0,74$  м және  $S = 1,5$  м тең деп қабылдаймыз.

Енді  $p_e$  мәнін тексереміз:

$$p_e = \frac{0,76^2 N_e}{D^2 S n i} = \frac{0,76^2 \cdot 8750}{0,74^2 \cdot 1,5 \cdot 115 \cdot 7} = 7,63 \text{ кг/см}^2,$$

Бұл әлде қайда есептегі мәннен үлкен.

$S$  -ті  $1,6$  м –ге дейін үлкейтеміз, сонда

$$p_e = \frac{0,76^2 \cdot 8750}{0,74^2 \cdot 1,6 \cdot 115 \cdot 7} = 7,1 \text{ кг/см}^2,$$

бұл есептік  $p_e = 7,2 \text{ кг/см}^2$  мәнге жақын.

$S/D$  қатынасын және  $c_m$  анықтаймыз:

$$\frac{S}{D} = \frac{1,6}{0,74} = 2,16; \quad c_m = \frac{S n}{30} = \frac{1,6 \cdot 115}{30} = 6,15 \text{ м/сек}.$$

Алынған мәндер прототипті дизельге сәйкес келеді. Дизельді 7-цилиндрлі деп, келесі параметрлерді қабылдаймыз

$$D = 740 \text{ мм}; \quad \frac{S}{D} = 2,16;$$

$$S = 1600 \text{ мм}; \quad c_m = 6,15 \text{ м/сек};$$

$$i=7; \quad p_e = 7,1 \text{ кг/см}^2.$$

Егер  $S/D$  қатынасы сәйкес келмесе, басқа мәндерді қабылдап, есептеуді қайталау керек. Осы сұрақ бойынша Д.Б. Танатардың «Судовые дизели. Теория рабочего процесса» оқулығын ұсынамыз.

## §10. ДИЗЕЛЬДЕРДЕГІ ЖОҒАРЫКҮКІРТТІ МАЗУТТЫ ҚОЛДАНУЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІ

Арзан ауыр күкіртті отындарды қолдану дизель қондырғыларын жетілдірудің ең маңызды мәселелердің бірі. Шетел флотының 1000 астам теплоходтары қазанды мазуттарды қолданады. МАН, «Зульцер», «Фиат», «Бурмейстер мен Вайн» сияқты фирмалар дизельдерінде күкірт мөлшері 4%-ға дейінгі мазутты қолданады. Дизельдерді ауыр отыннан көшуі себебі, әлем нарығындағы олардың бағалары дизель отынына қарағанда 30-40%-ға төмен.

цилиндр-поршеньдік топтың тозуының артуы, қыздыру мен тазартуды қолдану, арнайымайлар мен қоспаларды қолдану салдарынан ауыр отынды қолдану кезінде шығындардың артуына қарамастан, аз айналымды қуатты дизельдерді ауыр отында жұмыс істеуі тиімді.

Брянск машина жасау зауытының 9ДКРН 50/110 және 7ДКРН 74/160 дизелдері үшін негізгі отын ретінде күкірт мөлшері  $2,5 \div 3,5\%$  құрайтын 40 маркалы қазан мазуты ескеріледі.

Дизель қондырғыларында жағар-жанармай материалдарының құны қолдану шығындарының 40-50% құрайтыны белгілі. Төмен сапалы дефицит емес отындарды қолдану жоғары қуатты жай жүретін дизельдері бар теплоходтармен үздіксіз толтырылатын отандық флот үшін өзекті мәселелердің бірі. Бұл мәселенің халық шаруашылығына үлкен мәні бар. ауыр күкіртті отынды қолдануды артудың есебінен



дизель отынының тұтынуын азайту мұнай өнімдерінің өндірісі кезінде біршама үнемдеуді береді, химия өнеркәсібі үшін бағалы шикізатты босатады.

Ауыр отынның қолдануы экономикалық тұрғыдан дәлелденуі керек.

**Мысал.** Зульцер швейцария фирмасының мәліметтері бойынша кеме дизельді қондырғысын дизель отыннан ауыр отынға аударуының экономикалық тұрғыдан орнықтылығын есептеу келтірілген.

10-SD-72 дизелі бар қондырғы берілген, қуат 7000 *э.л.с.*  $n=125$  *айн/мин.* Жүріс уақыты жылына 5000 *сағ.* тең деп қабылданған.

Берілген мәліметтер:

- а) қаралатын қондырғы үшін жылу мен отынды тазарту жүйесінің құны 125 000 тенге;
- б) цилиндр втулкасының бағасы - 5062,5 тенге;
- в) поршеньнің бір сақинасының бағасы - 35 тенге;
- г) дизель отынның бағасы 62,5 тенге/тонна тең деп қабылданған;
- д) ауыр отынның бағасы дизель отын бағасынан 40%-ға төмен;
- е) дизель отынның салыстырмалы тиімді шығыны 0,16 *кГ/э.л.с.·сағ.* тең.

### Есеп

1. Отын бағаларындағы айырмашылығынан алынған жылдық үнемдеуді анықтаймыз. Осы мақсатта бастапқыда дизель отынының жылдық қажеттілігін анықтаймыз, ол  $7000 \cdot 5000 \cdot 0,16 = 5600$  *т* құрайды. Дизельдің ауыр отынға ауыстыруы кезінде отынның салыстырмалы шығыны 10%-ке артатынын есепке ала, отын бағаларындағы айырмасы 40% емес, 34% құрайды деп есептейміз.

Сонда үнемдеу:

$$0,34 \cdot 62,5 \cdot 5600 = 119\,000 \text{ тенге.}$$

2. амортизация мерзімі 10 жыл деп алып, отынның жылыту мен тазарту қондырғысына қосымша қаражат жұмсаудың жылдық амортизациялық төлемдері:

$$0,1 \cdot 125000 = 12500 \text{ тенге.}$$

3. цилиндр-поршень тобы бөлшектердің үлкен тозуынан пайда болған жылдық шығындар:

а) фирманың мағлұматтары бойынша рұқсат етілген цилиндрлік втулканың тозуы диаметрі бойынша - 5 *мм*, цилиндр диаметріне қатынасы:

$$\frac{5}{720} \cdot 100 \approx 0,7 \%;$$

б) дизель отынында жұмыс істегенде цилиндрлі втулканың ең үлкен тозуы дизельдің 1000 сағат жұмыс мерзіміне 0,12 *мм* құрайды.

Демек, втулкалардың қызмет мерзімі:

$$\frac{5}{\frac{5000}{1000} \cdot 0,12} \approx 8 \text{ жыл.}$$

Ауыр отында жұмыс істегенде цилиндрлі втулканың тозуын дизельдің 1000 сағат жұмыс мерзіміне 0,36 *мм* деп қабылдаймыз, яғни дизель отынында жұмыс істегенінен 3 есе артық.

8 жыл ішінде втулканы үш рет ауыстыру керек, яғни қосымша втулкалардың екі жинағы қажет. Оларды сатып алу шығынын есептейік:

$$5062,5 \cdot 2 \cdot 10 = 101\,250 \text{ тенге (10 – цилиндр саны).}$$

Втулкаларға кететін қосымша жылдық шығындар

$$\frac{101250}{8} = 12656 \text{ тенге;}$$

в) дизельде ауыр жанармай қолдану салдарынан, поршеньдік сақиналардың 2500 *сағ.* сенімді жұмысы кезінде, яғни жылына олардың екі жинағын ауыстырғанда,

сақиналардың жоғары тозуының шығындарын анықтайық. Ауыр жанармай қолданғанда, жылына сақиналардың алты немесе төртке артық жинағы қажет. Осыдан поршеньдік сақиналарға кететін шығын (егер жинақта 60 сақина болса):

$$60 \cdot 35 \cdot 4 = 8400 \text{ тенге.}$$

4. «Зульцер» фирмасының мәліметтері бойынша жанармайды жылыту мен тазарту қондырғысын күтуі мен қызмет көрсетуіне жымсалатын жылдық шығындар оның толық бағасының 5% құрайды:

$$0,05 \cdot 125000 = 6250 \text{ тенге.}$$

5. Бөлшектерді өте жиі ауыстырумен байланысты қосымша жұмыстарға жұмсалған жылдық шығындар осы бөлшектер бағасының 20% құрайды:

$$0,2(12656 + 8400) = 4211,2 \text{ тенге,}$$

мұндағы 12656 руб. и 8400 тенге, сәйкесінше втулкалар мен сақиналардың бағасы.

6. Қондырғыны қайта жабдықтауға жұмсалған толық жылдық шығындар, және қосымша пайдалану шығындары, және амортизациялық шығындар:  $12500 + 12656 + 8400 + 6250 + 4211,2 = 44017,2$  тенге. 2, 3, 4 және 5 пункттерді қара.

7. Ауыр жанармаймен жұмыс кезіндегі жылдық үнемдеу:  $119\,000 - 44017,2 = 74982,8$  тенге, пайыздық қатынасы:

$$\frac{74982,8}{119000} \cdot 100 = 63\%.$$

Келтірілген мысал, жанармайдың ауыр сортына ауысу үнемдеу жағынан пайдалы екенін көрсетті. Бұл ауысу жанармай бағаларының айырмасы 16%-дан аз болмаған жағдайда ақталатыны дәлелденді.

Мына мысалда қондырғының көрсетілген модернизациясы кезіндегі шығындардың түрлері мен қатынастары есептелінген.

#### ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР:

1. Ваншейдт В.А. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Л., Судпромгиз, 1962 г.
2. Дизели. Справочное пособие конструктора. Под ред. В.А. Ваншейдта. М.-Л., Машгиз, 1957 г.
3. Танатар Д.Б. Судовые дизели. Теория рабочего процесса. Л., «Морской транспорт», 1962 г.
4. Танатар Д.Б. Дизели. Компонировка и расчет. Л., «Морской транспорт», 1963 г.
5. Танатар Д.Б. Современные мощные судовые дизели. Л., «Морской транспорт», 1958 г.
6. Расчет рабочих процессов в двигателях внутреннего сгорания. Под ред. А.С. Орлина. М., Машгиз, 1958 г.
7. Двигатели внутреннего сгорания. Под ред. А.С. Орлина. Т.І., ІІ, ІІІ. М., Машгиз, 1962 г.
8. Орлин А.С., Круглов М.Г. Судовые двухтактные дизели большой мощности. М., Машгиз, 1958 г.
9. Петровский Н.В. Судовые двигатели внутреннего сгорания. М., «Морской транспорт», 1958 г.
10. Хандов З.А. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Л., «Речной транспорт», 1958 г.
11. Блинов И.С. Справочник технолога механосборочного цеха судоремонтного завода. М., «Морской транспорт», 1960 г.
12. Сомов В.А., Боткин П.П. Топливо для транспортных дизелей. Л., Судпромгиз, 1963 г.
13. Зильберштейн А.Б., Кончаев В.И. Главные двигатели морских теплоходов. М., «Морской транспорт», 1963 г.

14. Куприянов Д.Ф. Теория судовых двигателей внутреннего сгорания. Л., «Речной транспорт», 1962 г.
15. Чумаченко И.И. Судовые двигатели внутреннего сгорания. М., «Морской транспорт», 1960 г.
16. Материалы Брянской научно-технической конференции по малооборотным высокомоощным судовым дизелям. Л., «Морской транспорт», 1961 г.
17. Леонтьевский Е.С., Ренский Н.М. Справочник для механика и моториста теплохода. М., «Речной транспорт», 1961 г.
18. Русаков З.Г. Памятная книжка судового механика. М., «Морской транспорт», 1961 г.