

БОЙЛЫҚ ЖӘНЕ БОЙЛЫҚ-КӨЛДЕНЕҢ ИІЛУ

1 Сығылған сырықтардың орнықтылығы

Өмірде кейбір машина бөлшектерінің құрылыс конструкцияларының ұзындық өлшемі қима ауданының өлшемдерінен әлдеқайда жоғары, ұзын болады. Мысалы, біліктер, ұзын винттер, колонна ж. т. б. Осыларға күш әсер еткен жағдайда, олардың толқып орнықтылық қалпын жоғалтып алуы ықтимал. Ол әрине түскен күштің шамасы мен конструкция элементінің өлшемдеріне байланысты болады.

Осыған орай, ұзын конструкция элементтеріне сығу күші әсер еткен кезде оларды орнықтылыққа есептеу қажет. Орнықтылыққа есептеу әр конструкция элементінің немесе бөлшектің өзіне тән толқуының пайда болуына әсер ететін кризистік күшті анықтаумен басталады.

Сығылған элементте (сырықта) күш кризистік мәніне ($F_{кр}$) жеткенше тепе-теңдіктің түзу сызықты формасы орнықты болады. Орнықтылығынан айрылған сырық иілу мен сығылу бірлескен әсерінде жұмыс істейді.

Сығылған күш кризистік күш мәнінен асып кетсе, онда сығылған сырықтың иілуін **бойлық иілу** деп атайды.

Бойлық иілу қауіпті болғандықтан, оны болдырмау қажет:

$$F \leq [F], \quad [F] = \frac{F_{кр}}{n_0} \quad (1)$$

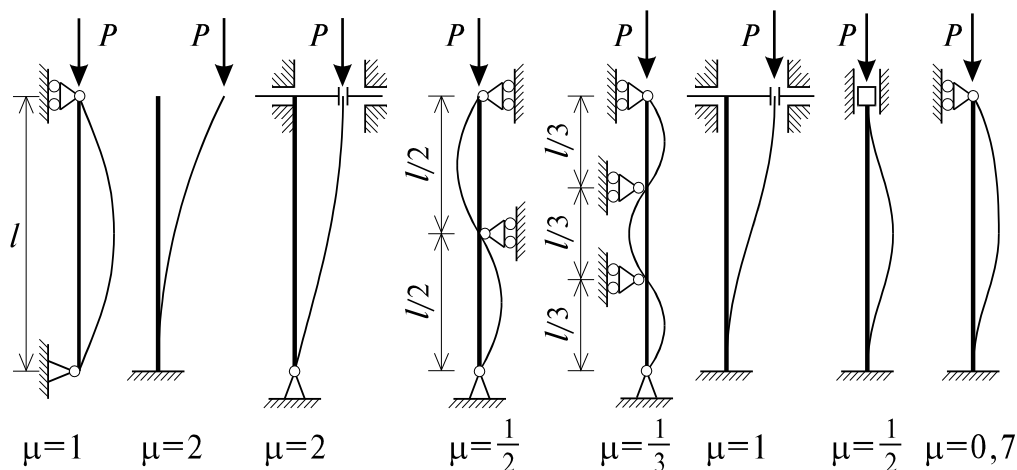
мұндағы n_0 – орнықтылығының қор коэффициенті, ол материалға, сырықтың міндетіне байланысты болады.

2 Кризистік күш. Эйлер және Ясинский формулалары

Сырықтың серпімді сатыдағы орнықтылығынан айырлу кезіндегі кризистік күш Эйлер формуласы бойынша анықталады

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 EJ_{\min}}{(\ell_{к.Ұ.})^2} \quad (2)$$

Сығылған ұзын конструкция элементтерін толқытатын қауіпті күштің шамасы олардың қатандығына (EJ_{\min}) тура, ал ұзындығының квадратына кері пропорционал болады. Мұндағы $\ell_{к.Ұ.} = \mu \cdot \ell$ - келтірілген ұзындық; μ - конструкция элементі мен бөлшектердің ұштарының бекітілу жағдайына байланысты қабылданатын пропорционалдық коэффициенті (1-сурет); J_{\min} - қима ауданының өстік инерция моментінің ең кіші шамасы; E — материалдардың серпімділік модулі.



1-сурет

Сығылған күштің кризистік мәні кезінде сырықтың көлденең қимасында болатын тік кернеу *кризистік* деп аталады.

$$\sigma_{кр} = \frac{\pi^2 EJ_{min}}{A(\mu l)^2} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{\mu l}{i}\right)^2} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}, \quad (3)$$

мұндағы $i_{min} = \sqrt{\frac{J_{min}}{A}}$ - радиус инерциясының ең кішісі, $\lambda = \frac{\mu l}{i_{min}}$ - сырықтың иілгіштігі деп аталатын өлшем бірліксіз шама.

Эйлер формуласының қолдану шегін анықтау үшін мына формуланы қарастырамыз:

$$\sigma_{кр} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \leq \sigma_{II} \quad \Rightarrow \quad \lambda \geq \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{II}}}. \quad (4)$$

Бұдан Эйлер формуласының қолдану шарты:

$$\lambda_{шек} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{II}}}. \quad (5)$$

Демек, (4)-ті ескере, (5) формуланың қолдану шартын келесі түрде жазуға болады

$$\lambda \geq \lambda_{шек}, \quad (6)$$

сонымен, бұл формула ұзын және жіңішке сырықтар үшін қолданылады.

Тік кернеулері пропорционалдық шектерінен үлкен, сығылған сырықтар үшін кризистік күшті анықтау – күрделі мәселелердің бірі. Сондықтан

эксперименттік зерттеулер жүргізіліп, тәжірибелік мәліметтер негізінде сүйеніп Ф.С. Ясинский иілгіштік шамасы кіші ($\lambda < \lambda_{шек}$) сырықтардың кризистік кернеулерін анықтауға келесі формуланы ұсынған

$$\sigma_{кр} = a_0 - b_0 \lambda. \quad (7)$$

Шойын үшін квадраттық тәуелділік қолданылады

$$\sigma_{кр} = a_0 - b_0 \lambda + c_0 \lambda^2. \quad (8)$$

мұндағы a, b, c – материалдарға байланысты қабылданатын коэффициенттер. Кризистік күш бұл жағдайда келесі түрде анықталады

$$F_{кр} = \sigma_{кр} A. \quad (9)$$

Басқа сырықтар үшін мынадай шарт орындалуы қажет

$$\sigma_{кр} = \frac{a_0 - \sigma_A}{b_0} \leq \sigma_A$$

немесе

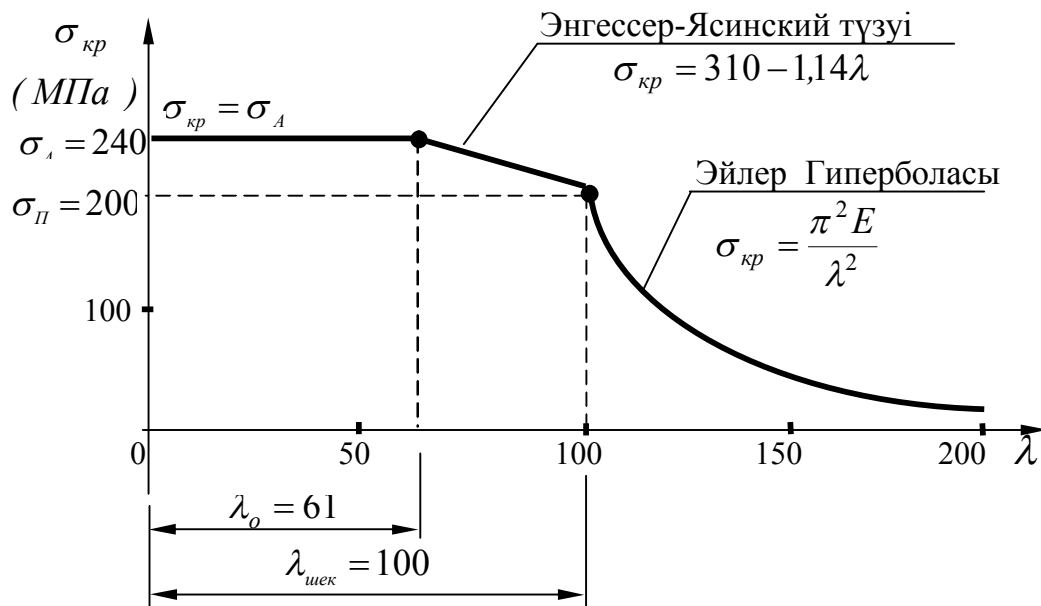
$$\lambda \geq \frac{a_0 - \sigma_A}{b_0} = \lambda_0, \quad (10)$$

мұндағы λ_0 – кризистік кернеу ағу шегіне тең болатын сырықтардың иілгіштігі; $\sigma_{a.ш.}$ – ағу шегі.

Сырықтарды орнықтылыққа есептегенде иілгіштікке тәуелді екенін көруге болады. Сондықтан иілгіштікке байланысты үш топқа бөлуге болады: $0 \leq \lambda \leq \lambda_0$ - кіші иілгіштік (орнықты); $\lambda_0 < \lambda < \lambda_{шек}$ - орташа иілгіштік; $\lambda \geq \lambda_{шек}$ - үлкен иілгіштік.

Егер $\lambda \geq \lambda_{шек}$ болса, онда Эйлер формуласын қолданады. Егер $\lambda_0 < \lambda < \lambda_{шек}$ болса, сырық материалы серпімді деформация шегінен асып жұмыс істейді, сондықтан $\sigma_{кр}$ мен λ арасындағы тәуелділікті Ясинский формуласы арқылы жазады. Егер $0 \leq \lambda \leq \lambda_0$ болса, сырықтар орнықты деп қарастырып, тек беріктікке есептейді. Бұл жағдайда кризистік кернеу ағу шегіне теңеседі $\sigma_{кр} = \sigma_A$.

Центрлік сығылған болаттан (БЗ) жасалған сырықтың жуандығына байланысты бойлық иілуін немесе орнықтылығын және $\sigma_{кр} = \sigma_{кр}(\lambda)$ функциясының физикалық мәнділігін түсіну үшін 2-суретте график көрсетілген.



2-сурет

Сығылған сырықтар беріктік қасиетін немесе орнықтылығын жоғалтып, жүк көтергіштік қабілетінен ажырайды. Иілгіштік шамасы үлкен сырықтар үшін қауіпті – кризистік кернеу, ал иілгіштік шамасы кіші сырықтар үшін қауіпті – серпімділік немесе беріктік шегі (материалдың қасиетіне байланысты). Иілгіштік шамасы үлкен сырықтардың қауіпті кризистік күші серпімділік немесе беріктік шегінен айтарлықтай кіші болуы мүмкін. Сондықтан, сығылған сырықтар беріктікке есептелумен қатар, міндетті түрде орнықтылыққа да тексеріледі.

3 Сығылған сырықтардың орнықтылыққа есептеу

Орнықтылық шарты келесі түрде жазылады

$$\sigma_{кр} \leq [\sigma]_o, \quad (11)$$

мұндағы $[\sigma]_o$ – орнықтылық мүмкіндік кернеуі, оны мынандай формуламен анықтауға болады

$$[\sigma]_o = \frac{\sigma_{кр}}{n_o}, \quad (12)$$

мұндағы n_o – орнықтылық қоры коэффициенті және ол беріктік қоры коэффициентінен бір шама үлкен болады ($n_o > n_\sigma$), мәндері, мысалы: болат құрылмалар үшін, кронштейндерге және т.б. – 1,8-3,0; болат құрылмалар (мысалы бұрандылар) үшін – 3,5-5,0; шойын құймалардан алынған құрылмалар үшін – 5,0-6,5; алюминий қорытпадан алынған құрылмалар үшін – 2,5-3,5; ағаш тіректер үшін – 3,0-5,0.

Негізгі мүмкіндік кернеудің коэффициентін φ арқылы белгілеп, орнықтылыққа есептегенде орнықтылық мүмкіндік кернеудің $[\sigma]_b$ орнына сығушы мүмкіндік кернеуді $[\sigma^-]$ қолдануға болады, яғни

$$[\sigma]_b = \varphi \cdot [\sigma^-], \quad (13)$$

мұндағы φ – негізгі мүмкіндік кернеуді кемітуші (немесе бойлық иілу) коэффициенті, сырықтың иілгіштігі мен материалының түріне тәуелді (кесте 1).

Кесте 1 – φ коэффициенті

Иілгіштік λ	φ бойлық иілу коэффициенті					
	Болат маркалары			Алюминий қорытпалары		
	Б.3 Б.4 Б.25	Б.5 Б.35	14Г2 10Г2С	Д16Т	АМГ-М	АВ-Т1
0	1,00	1,00	1,00	1,000	1,000	1,000
10	0,99	0,98	0,97	0,999	0,973	0,998
20	0,97	0,96	0,95	0,998	0,945	0,996
30	0,95	0,93	0,92	0,835	0,917	0,900
40	0,92	0,90	0,89	0,700	0,870	0,780
50	0,89	0,85	0,84	0,568	0,770	0,660
60	0,86	0,80	0,78	0,455	0,685	0,557
70	0,81	0,74	0,71	0,353	0,603	0,463
80	0,75	0,67	0,63	0,269	0,530	0,387
90	0,69	0,59	0,54	0,212	0,465	0,332
100	0,60	0,50	0,46	0,172	0,415	0,285
110	0,52	0,43	0,39	0,142	0,365	0,236
120	0,45	0,37	0,33	0,119	0,327	0,200
130	0,40	0,32	0,29	0,101	0,296	0,171
140	0,36	0,28	0,25	0,087	0,265	0,147
150	0,32	0,25	0,23	0,076	0,235	0,128
160	0,29	0,23	0,21	-	-	-
170	0,26	0,21	0,19	-	-	-
180	0,23	0,19	0,17	-	-	-
190	0,21	0,17	0,15	-	-	-
200	0,19	0,15	0,13	-	-	-
210	0,17	0,14	0,12	-	-	-
220	0,16	0,13	0,11	-	-	-

(11), (12), (13) тәуелділіктерден келесі формула туындайды

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma]_b = \varphi \cdot [\sigma^-] \quad (14)$$

немесе

$$\sigma = \frac{F}{\varphi \cdot A_{\text{орынтто}}} \leq [\sigma^-] \quad (15)$$

мұндағы $A_{брутто}$ - «таза» аудан.

Жүргізілетін есептеулердің екі түрі бар: **тексеру есебі және жобалау есебі**.

1. Тексері есебінде, өлшемдері мен пішіні белгілі қиманың ең кіші J_{min} инерция моменті, A ауданы, ең кіші i_{min} инерция радиусы және λ сырықтың иілгіштігі анықталады. Одан кейін сырық иілгіштігі λ бойынша кестеден φ коэффициенті алынып, орнықтылық мүмкіндік кернеуі анықталады да, сығылған сырықтың тік кернеуі σ орнықтылық мүмкіндік кернеуімен $[\sigma]_o$ салыстырылып орнықтылығы тексеріледі

$$\sigma \leq [\sigma]_o .$$

Келесі теңсіздікпен нақты қор коэффициентін анықтап, керектімен салыстырып, орнықтылыққа тексеруге болады

$$n_o = \frac{F_{кр}}{F} \geq [n_o] .$$

2. Жобалау есебінде, (8.15) шартынан қима ауданын анықтайды

$$A_{брутто} \geq \frac{F}{\varphi \cdot [\sigma^-]} . \quad (16)$$

Бұл теңсіздікте $A_{брутто}$ қиманың ауданы φ коэффициенті белгісіз. Сондықтан, қиманың жобалық өлшемдерін **біртіндеп жуықтау** әдісімен анықтайды. Ол үшін φ коэффициенттің алғашқы мәнін $\varphi_1 = 0,5 \div 0,6$ деп қабылдайды. Қиманың өлшемін таңдау үшін, (8.16) формуладан қабылданған φ_1 арқылы $A_{брутто}$ ауданы, J_{min} , i_{min} және λ анықталады. Кестеден λ -ға сәйкес φ_1 шамасы алынып табылған нақ φ_{1T} -мен салыстырылады. Егер φ_1 мен φ_{1T} -ның арасындағы айырым 4-5%-дан аспаса, есеп шешілген деп есептеледі. Егер асса φ_1 орнына $\varphi_2 = \frac{\varphi_1 + \varphi_{1T}}{2}$ қойылып, $A_{брутто}$, J_{min} , i_{min} , λ , φ_{2T} шамалары қайта анықталады. Анықталған бойлық иілу коэффициенттері қайта салыстырылады т. с. с.

Бақылау сұрақтары

1. Сығылған сырықтың орнықтылығын жоғалту нені білдіреді?
2. Кризистік күш және кризистік кернеу деген не?
3. Эйлер формуласын қорытқанда, қандай дифференциалдық теңдеу қолданылады?
4. Сырықтың иілгіштігі деген не?
5. Кризистік күшті анықтайтын Эйлер формуласының түрі қандай?

6. Эйлер формуласындағы инерция моментінің мәні қандай?
7. Ұзындықты келтіру коэффициенті неге байланысты?
8. Эйлер формуласын қолдану шегі қалай анықталады?
9. Шекті иілгіштік деген не?
10. Ясинский формуласының қолдану аралығы қалай анықталады?
11. Ясинский формуласы арқылы кризисті күш қалай анықталады?
12. Болат сырықтар үшін кризисті күштің иілгіштікке тәуелді графигінің түрі қандай?
13. $\lambda < \lambda_{\text{шек}}$ болған жағдайда Эйлер формуласын не себептен қолдануға болмайды?
14. Сығылған сырықтың орнықтылық шарты?
15. Орнықтылық шарттағы көлденең қиманың ауданы нені білдіреді?
16. φ коэффициенті нені білдіреді және қалай анықталады?
17. φ коэффициенті арқылы сығылған сырық орнықтылыққа қалай есептеледі?
18. Орнықтылыққа есептегенде көлденең қима қалай таңдалады?