

Шакиев Б.Б., академик Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды мемлекеттік университеті, математика және ақпараттық технологиялар факультеті, ММех-51 тобы, магистрант
(*Ғылыми жетекшісі – техника және технология магистры, аға оқытушы Нурланова Б.М.*)

АРҚАЛЫҚТЫҚ КОНСТРУКЦИЯЛАРДЫ АВТОМАТТАНДЫРУ

Арқалықтық конструкцияларды автоматтандырмас бұрын, келесі дайындықты жасауымыз керек:

- 1) Арқалықтың есептеу схемасын таңдау;
- 2) Арқалықты ақырлы элементтерге бөліп және нөмірлеу (түйіндер мен элементтерді);
- 3) Түйіндік жылжулардың бағыттарын тіреулі бекітулерді ескеріп таңдау және оларды нөмірлеу (сызықтық жылжулар – жоғарыдан төмен қарай; бұрыштық жылжулар – сағат тілі бойынша).

Сол кезде келесіні ескерген жөн:

- a) Қысылу түйінде жылжулар болмайды.
- б) Тірелген түйінде бұрыштық жылжу болады.
- в) Топсалы түйінде сызықтық және бұрыштық жылжулар пайда болады (сол және оң жақтан элементтің түйінінен).

- 4) Таңдалған түйіндік жылжулар негізінде өлшемсіз координаталарда бастапқы массивтерді толтыру.

- 5) Шығыр параметрлері үшін келесілерді қабылдау: L – ұзындық; $E_0 J_0$ – қатандық; P_0 - шоғырланған күш; C_0 - серпімді тіреудің коэффициенті.

Өлшемсізден өлшемді параметрлерге өтуді келесі формулалармен жүзеге асырамыз:

$$W = \alpha \frac{P_0 L^3}{E_0 J_0} \text{ (иілу); } \varphi = \beta \frac{P_0 L^2}{E_0 J_0} \text{ (бұрылу бұрышы);}$$

$$Q = g P_0 \text{ (көлденең күш); } M = \gamma P_0 L \text{ (иілу моменті);} \quad (1)$$

$$P_{kp} = \delta \frac{E_0 J_0}{L^2} \text{ (күдікті күш); } \omega^2 = f \frac{E_0 J_0}{m L^4} \text{ (айналу жиілігі);}$$

мұндағы $\alpha, \beta, g, \gamma, \delta, f$ – компьютермен берілетін өлшемсіз параметрлер.

Бір-бірімен топсалар арқылы байланысқан элементтерден тұратын арқалық жүйесінің есебі «PROGRAMMA» программасының көмегімен автоматтандырылған. Берілген программа 1989 жылы «FORTRAN-IV» алгоритмдік тілде құрылған. Сыртқы күштер, аралық топсалардың орналасуы және серпімді тіреулер еркін беріледі. Инерция моментінің және элементтің көлденең қимасының ауданының бойымен өзгеруі квадраттық параболаның заңымен беріледі [1].

Программа арқалықтық конструкцияларды есептеудің статикалық және динамикалық әсері үшін арналған.

Қысыла-иілген және тербелген элементтің қатандық матрицасының құрылуы «SAP16» программасымен жүзеге асады. Оның шақырылуы былай болады:

$$\text{CALL SAP16 (B, RU, C, D, X1, Y1, Z1, BM)} \quad (2)$$

мұнда

B(4,4) – қатандық матрицасы;

AЭ; RU – элементтің ұзындығы;

C, D – элементтің осьтік инерция моментінің мәні;

X1, Y1, Z1 – есептің параметрлері (X1=1 – иілу, Y1=1 – орнықтылық, Z1 – еркін тербеліс);

BM - көлденең сырғу параметрі.

Арқалықтық конструкцияның жалпы қатандық матрицасының құрылуы «SAP19» программасымен жүзеге асады. Оның шақырылуы келесі түрде жүзеге асады.

CALL SAP19 (A, B, IM, R, RV, IX, IB, N, Y, Z, BM, R1)

(3)

Енген айнымалылар мен массивтер (1) – (3) формулаларымен анықталады.

Негізгі теңдеудің шешілуі, күштік және деформацияланған параметрлердің есептелуі «SAP18» нәтижесінің шығуы. Ол келесі түрде шақырылады:

CALL SAP18(A, C, B, IM, R, RV, RF, F2, F4, RM, RZ, RW, IX, IZ, N, S, MX, R1, RG, BM) (4)

Мұнда айнымалылар мен массивтер (1) - (4) формулаларымен анықталады.

«SAP18» програмасының жұмысының ретін қарастырайық:

1) «SAP19» негізінде келесі шешуші теңдіктің A және C матрицалары қалыптасады

$$(A - K \cdot C) \vec{V} = \vec{P}.$$

2) «SAOBR» программасының көмегімен A^{-1} кері матрицасы табылады

(CALL SAOBR(A, IX)).

3) Матрицалардың көбейтіндісі есептеледі ($B=A^{-1} \cdot C$).

4) «SAZCO» программасының көмегімен орнықтылық ($\gamma = 0$) және еркін тербеліс ($\gamma = 1$) есептерінің шешілуі кезінде K -ның меншікті ішкі мәні анықталады.

5) $\vec{V} = A^{-1} \cdot \vec{P}$ формуласымен түйіндік жылжу векторы есептеледі, мұнда \vec{P} - иілу ($\gamma = 2$) есебінің шешілуі кезіндегі сыртқы түйіндік күш векторы.

6) Бастапқы берілгендердің қорытылуы жүзеге асады: LU, RM, R, RV, RF, RG, R1, IM.

7) Элемент бойынша түйіндік жылжу мен күштердің қорытылуы жүзеге асады.

8) MX параметрі бойынша элементтің әсер етуші факторлар сызығының құрылуы үшін түйіндік жылжулар мен күштер шығарылады.

«PROGRAMMA» бас программасында: DIMENSION операторымен массивтің өлшемдері беріледі; DATA операторымен берілгендер енгізіледі; «SAP18» программасының шақырылуы жүзеге асады; «RTKA4» файлында есептеудің нәтижесі қалыптасады.

Құрама арқалықты қарастырайық (1, а-сур.). Арқалықтың ұзындығы $L = 20m$. Арқалыққа келесі шамалар әсер етеді:

- шоғырланған күш P ;
- шоғырланған момент M ;
- q қарқындылықты жайылған күш.

Бөліктерде: AB және EM инерция моменттері екі дәрежелі параболамен өзгереді; BE - тұрақты қиманың инерция моменті.

Құрама арқалықтың тіреуі келесі нүктелерде: A – қатаң; C – қатаң тіреуі; D – серпімді тіреуі; M – тік бағытталғандағы қатаң тіреу және бұрылудағы серпімді тіреу. B және E нүктелерде аралық топсалар орналасқан.

$L = 6 * l$ деп алып, сыртқы факторларды келесі түрде жазайық:

$$P = \alpha ql; M = \beta ql^2;$$

мұндағы α, β - сандық коэффициенттер.

Жайылған күштерді түйіндік күштерге келтірейік

$$P_E = .5ql; P_K = ql; P_M = .5ql;$$

$\alpha = \beta = l = 1$ деп санап, арқалықты 1, б-сур. сияқты алайық. Қатаң тіреулер жылжулар болмайтынын және аралық топса жылжуды бір бірлікке үлкейтетінін ескеріп, түйіндік жылжулардың (1, в-сур.) бағыттарын таңдап алайық [2].

Құрама арқалықтың есептелуін келесі тізбекпен орындаймыз:

- 1) Есептеу схемасын (1, а-сур.) таңдайық.
- 2) Шығыр параметрлерін ($l = 1$; $q = 1$) деп белгілейік.
- 3) Арқалықты N ақырлы элементке ($N = 6$) бөлеміз және түйіндік жылжулардың (1, б-сур.) бағытын таңдаймыз.
- 4) 1-сурет бойынша параметрлердің мәндерін табамыз: $N = 6$; $IZ = 7$; $IX = 12$; $MX = 2$; (есептеу элементтерінде $MX = 2$ деп таңдаймыз);
- 5) Массивтердің мәндерін жазамыз:

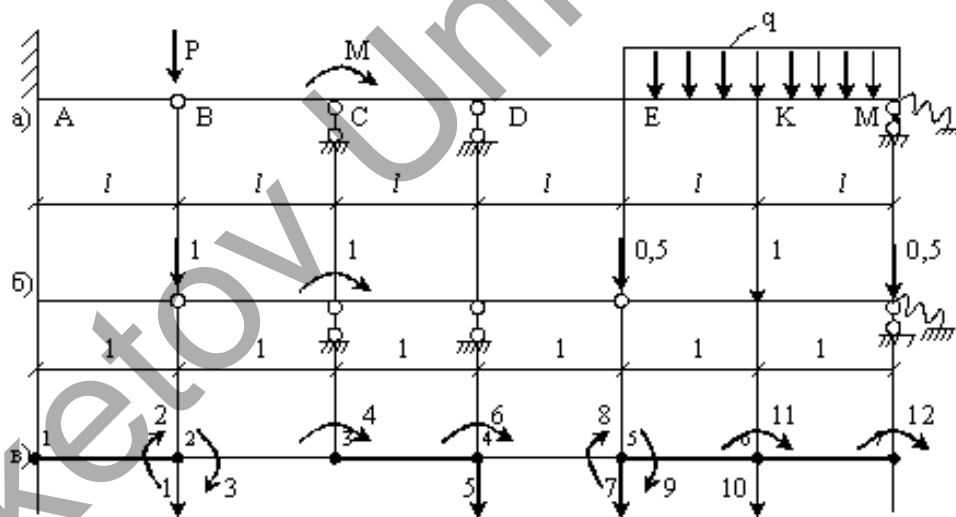
R/1.,1.,1.,1.,1.,1./; RV/1.,1.,1.,1.,1.,1./

RF/1.,0.,0.,1.,0.,0.,.5,0.,0.,1.,0.,0./; RG/0.,0.,0.,0.,3.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,3./

R1/1.,1.5,2., 2.,2.,2., 2.,2.,2., 2.,2.,2., 2.,1.75,1.5,1.5,1.25,1./

IM/0,0,1,2,0,2,1/; RM/1.,0.,0.,.0001,2.,6.,0./; LU/6,7,12,2/

- 6) «PROGRAMMA» программасында массивтердің өлшемдерін түзейміз.
A(12,12); C(12,12); B(4,4); IM(7); R(6); RF(12); RV(6); F2(12); F3(12); F4(12); RM(7); RZ(4); RW(4); LU(4); RG(12); R1(3,6).
- 7) DATA операторымен 5 - пункт негізінде массивтер мәндерін жазамыз.
- 8) «PROGRAMMA» программасын жүргізу арқылы «RTKA4» файлында иілү есебінің ($\gamma = 2$) нәтижесін аламыз.



1-сурет. Құрама арқалық

Бастапқы берілгендер

6 12 7 2 1.0000 .0000 .0000 .0001 2.0000 6.0000 .0000

| | | | | | |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.5000 | 2.0000 |
| 2 | 1.0000 | 1.0000 | 2.0000 | 2.0000 | 2.0000 |
| 3 | 1.0000 | 1.0000 | 2.0000 | 2.0000 | 2.0000 |
| 4 | 1.0000 | 1.0000 | 2.0000 | 2.0000 | 2.0000 |
| 5 | 1.0000 | 1.0000 | 2.0000 | 1.7500 | 1.5000 |
| 6 | 1.0000 | 1.0000 | 1.5000 | 1.2500 | 1.0000 |
| 7 | 0 | .0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| 8 | 0 | 1.0000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| 9 | 1 | .0000 | 1.0000 | .0000 | .0000 |
| 10 | 2 | .0000 | .0000 | 3.0000 | .0000 |
| 11 | 0 | .5000 | .0000 | .0000 | .0000 |
| 12 | 2 | 1.0000 | .0000 | .0000 | .0000 |

7 1 .0000 .0000 .0000 3.0000

Негізгі параметрлер

.000000 .000000

ЭЛЕМЕНТ ҰЗЫНДЫҚ ЖЫЛЖУ КҮШТЕР

| | | | | | | | | | |
|---|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| 1 | 1.00 | .0000 | .0000 | -.0583 | -.0833 | .2165 | .2165 | -.2165 | .0000 |
| 2 | 1.00 | -.0583 | -.0431 | .0000 | .2611 | 1.2165 | .0000 | -1.2165 | 1.2165 |
| 3 | 1.00 | .0000 | .2611 | .3499 | .4735 | .4166 | -.2165 | -.4166 | .6331 |
| 4 | 1.00 | .3499 | .4735 | .9289 | .6317 | -.6331 | -.6331 | .6331 | .0000 |
| 5 | 1.00 | .9289 | -.4714 | .4447 | -.5115 | -.1331 | .0000 | .1331 | -.1331 |
| 6 | 1.00 | .4447 | -.5115 | .0000 | -.2446 | .8669 | .1331 | -.8669 | .7338 |

СЫЗЫҚТЫҚ ӘСЕРІНДЕГІ ЖЫЛЖУЛАР МЕН КҮШТЕР

| | | | | | | | | | |
|---|------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 2 | 1.00 | .1859 | -.2117 | .0000 | -.1344 | .3094 | .0000 | -.3094 | .3094 |
| 2 | 1.00 | .2656 | -.3025 | .0000 | -.1920 | .4420 | .0000 | -.4420 | .4420 |
| 2 | 1.00 | -.2117 | .3962 | .0000 | .0928 | .7864 | 1.0000 | -.7864 | -.2136 |
| 2 | 1.00 | -.1344 | .0928 | .0000 | .2175 | .4991 | .0000 | -.4991 | .4991 |
| 2 | 1.00 | -.0799 | .0552 | .0000 | .1294 | .2968 | .0000 | -.2968 | .2968 |
| 2 | 1.00 | -.0483 | .0334 | .0000 | .0782 | .1794 | .0000 | -.1794 | .1794 |
| 2 | 1.00 | -.1224 | .0845 | .0000 | .1982 | .4546 | .0000 | -.4546 | .4546 |
| 2 | 1.00 | -.0396 | .0273 | .0000 | .0641 | .1471 | .0000 | -.1471 | .1471 |
| 2 | 1.00 | .0771 | -.0532 | .0000 | -.1248 | -.2863 | .0000 | .2863 | -.2863 |
| 2 | 1.00 | -.0487 | .0336 | .0000 | .0788 | .1808 | .0000 | -.1808 | .1808 |
| 2 | 1.00 | .0666 | -.0460 | .0000 | -.1078 | -.2472 | .0000 | .2472 | -.2472 |
| 2 | 1.00 | .0232 | -.0160 | .0000 | -.0376 | -.0863 | .0000 | .0863 | -.0863 |

Нәтижелерді өңдеу

Құрама арқалық (2, а-сур.) үшін алынған нәтижелермен түйіндік жылжулардың бағыттарын (2, б-сур.) колданып, эпюралар саламыз: Q – көлденең күштер; M – иілу моменті; W – иілу; W_1 -екінші түйіндегі иілудің сызықтық әсері.

«Элемент ұзындық жылжу күш» бөрігінің астындағы нәтижелердің негізінен келесіні құрамыз:

1) Q эпюрасы 7 - бағана бойынша (2, в-сур.) оның көбейткіші ql .

2) M эпюрасы 8 - бағана бойынша (2, г-сур.) оның көбейткіші ql^2 .

3) Иілу эпюрасы 3 - бағана бойынша (2, е-сур.) оның көбейткіші ql^4 / EJ .

Әрі қарай «сызықтық әсеріндегі жылжулар мен күштер» бөрігінің астындағы нәтижелердің негізінен 3 - бағана бойынша 3 - түйіндегі сызықтық әсеріндегі жылжуды саламыз (2, д-сур.). Оның көбейткіші - l^3 / EJ .

Екінші түйіндегі арқалықтың иілуін осы фактордың сызықтық әсерін қолдану арқылы анықтайық (2, д-сур.). Оның берілген жүкпен жүктелгенінен (2, а-сур.) келесіні аламыз:

$$W_2 = 1 \cdot 0.1859 - 0.5 \cdot 0.1224 - 1 \cdot 0.0487 - 1 \cdot 0.1344 = -0.0584;$$

мұнда соңғы нәтиже момент пен φ_4 жылжуынан болған иілу мәнінің көбейтіндісін көрсетеді.

Өлшемді координаталарда ішкі күштердің максималды мәндерін есептейміз:

$$Q_{\max} = Q_2 = -1.2165 \quad ql = -1.2165 \quad qL/6;$$

$$M_{\max} = M_3 = 1.2165 \quad ql^2 = 1.2165 \quad qL^2/36;$$

мұндағы

L – арқалықтың жалпы ұзындығы ($L = 6l$),

q – жайылған күштің қарқындылығы.

Беріктілік шартын мына түрде жазайық:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} \leq R; \quad \tau_{\max} = \frac{3}{2} \frac{Q_{\max}}{F} \leq R_{cd};$$

мұндағы

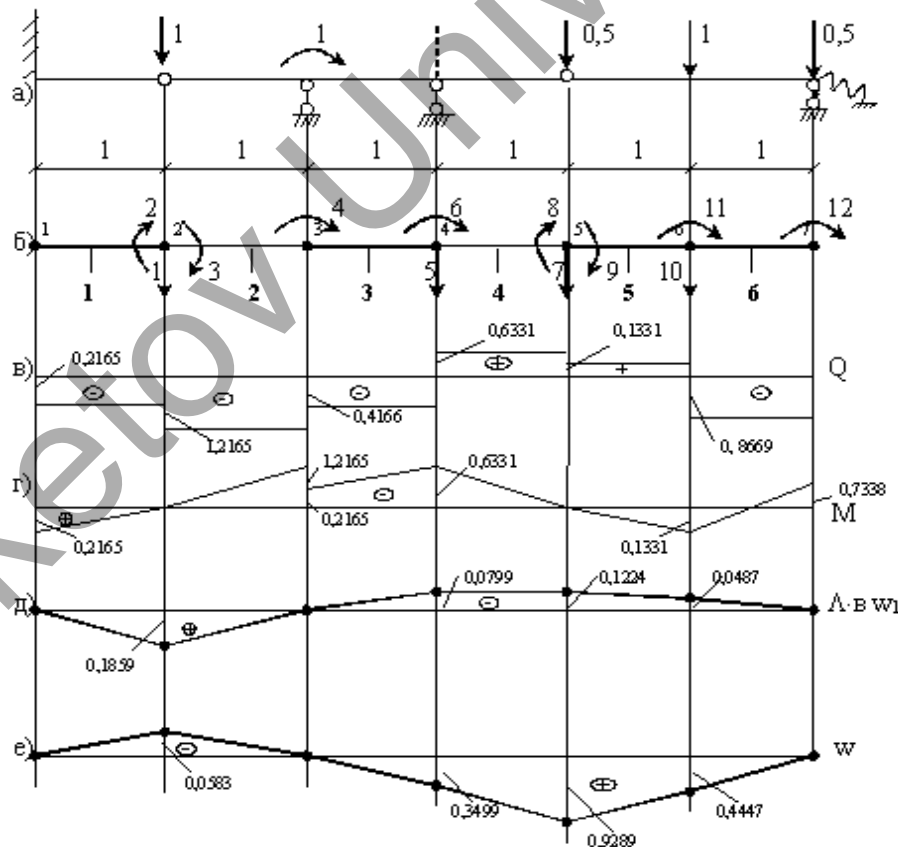
$\sigma_{\max}, \tau_{\max}$ – нормальдық және жанамалық кернеулер;

W, F – қиманың қарсыласу моменті және көлденең қиманың ауданы;

R, R_{cd} – иілу мен сырғу болғандағы материалдар қарсыласуының мәндері.

Жоғарыда қарастырылған иілу есебінің ($\gamma = 2$) нәтижелерінің өңделуі орнықтылық ($\gamma = 0$) және еркін тербеліс ($\gamma = 1$) есептерінің шешілуі кезінде қолданылады. Бұл есептер үшін RT параметрі бойынша күдікті күш немесе еркін тербелістің жиілігі есептеледі. Түйіндік жылжулардың мәндерімен орнықтылықтың ($\gamma = 0$) немесе еркін тербелістің ($\gamma = 1$) жоғалуының формасы құрылады [3].

Сол себептен «PROGRAMMA» программасының негізінде сыртқы жүктердің еркін орналасуы, аралық топсалардың және тіреуі бекітілген жағдайда арқалықтық конструкциялардың әртүрлі есептерінің шешімін алуға болады.



2-сурет. Ізделінген факторлардың эпюралары

Әдебиеттер:

1. Түсіпов А., Түсіпов Қ. Теориялық және қолданбалы механика. Оқулық. – Алматы, 2014. – 736 б.
2. Саргсян А.Е., Демченко А.Т., Дворянчиков Н.В., Джинчвелашвили Г.А. Строительная механика. Основы теории с примерами расчетов: Учебник / Под ред. А.Е.Саргсяна. - 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк. 2000. – 416 с.
3. Каримов И.Ш. Строительная механика. Теоретический курс с примерами типовых расчетов: Учебное пособие. – Уфа: ГУПРБ Изд-во «Белая река», 2008. - 280 с.: ил.