

Ж.Т. Джулаева<sup>1</sup>, В. Вуйцик<sup>2</sup>, Г.Б. Кашаганова<sup>3</sup>, К.О. Тогжанова<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Логистика және көлік академиясы, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>Люблин техникалық университеті, Люблин, Польша

<sup>3</sup>Туран университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>4</sup>Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: zhazj@mail.ru

## АВТОМАТТЫ РЕТТЕУ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ӨНЕРКӘСІПТІК РЕТТЕГІШТЕРІНІҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН ОҢТАЙЛЫ РЕТТЕУ ӘДІСІН ӘЗІРЛЕУ

**Аңдатпа.** Бұл мақалада алгоритмді әзірлеудің негізгі идеясы өтпелі процестің таңдалған түріне сәйкес тербеліс көрсеткішінің орнатылуында жатыр. Содан кейін, баптау параметрлерінің әртүрлі бекітілген мәндері үшін күрделі жазықтықта ашық цикл фазасының реакциясы сызылады. Әрбір АФЖС үшін оның күрделі жазықтықтағы орны талап етілетіннен қаншалықты ерекшеленетіні анықталады. Арнайы әдістермен қабылданған өнеркәсіптік реттеуіштердің оңтайлы баптау параметрлері анықталады. Өнеркәсіптік реттегіштердің реттеу сипаттамалары реттеу заңы бойынша идеалдан айтарлықтай ерекшеленеді (пропорционалды (П), интегралды (И), пропорционалды-интегралды (ПИ), пропорционалды-интегралды-дифференциалды (ПИД)). Осыған байланысты технологиялық қондырғылар мен құрылғыларды басқаруға арналған өнеркәсіптік реттегіштерді баптау параметрлерін анықтау, тіпті өнеркәсіптік басқару объектілерін автоматтандыру мамандарына да қиындықтар туғызады.

Мақалада өнеркәсіптік реттегіштердің нақтыланған параметрлерін анықтаудың сыналған әдісі ұсынылады (П, И, ПИ, ПИД). Ұсынылған әдістің мәні ашық жүйенің (АФЖС) амплитудалық - фазалық жиілік сипаттамаларын және тербеліс критерийін (М-критерий) пайдалану негізінде графоаналитикалық әдісті қолдану болып табылады. Реттеудің әртүрлі заңдарын (П, И, ПИ, ПД, ПИД) жүзеге асыратын өнеркәсіптік реттеуіштердің нақты (оңтайлы) параметрлерін анықтаудың ұсынылған әдісін қолдануға өтпелі процестің таңдалған түріне сәйкес келетін тербеліс көрсеткіші берілуі керек.

**Түйінді сөздер.** Өнеркәсіптік реттегіштер (П, И, ПИ, ПИД), баптау параметрлері, М-критерилері, АФЖС, автоматты реттеу жүйелері, Пад қатары, реттеуші заңдары, оңтайлы параметрлер, өтпелі процесстің алгоритмі.

### Кіріспе.

Әртүрлі реттеуші заңдары бар қазіргі заман талабына сай өнеркәсіптік реттегіштердің параметрлерін анықтау (П, И, ПИ, ПИД), олар идеалдан айтарлықтай ерекшеленеді (математикаланғандардан) технологиялық процестермен АРЖ орнату мен конфигурациялауда айтарлықтай қиындықтар туғызады.

Жұмыста жүйенің амплитудалық-фазалық жиілік сипаттамалары (АФЖС) және берілген М-критерий (тербеліс критерийі) негізінде графоаналитикалық әдіске негізделген әртүрлі реттеу заңдары бар өнеркәсіптік реттегіштердің оңтайлы параметрлерін анықтаудың қолданбалы сыналған әдісі ұсынылады.

### Материалдар мен тәсілдер.

Өнеркәсіпте әртүрлі технологиялардың, технологиялық қондырғылар мен қондырғылардың негізгі шығыс координаттары үшін көптеген автоматты басқару жүйелері (АБЖ) жұмыс істейді. Көптеген АБЖ реттеу процесінің сапасы көп нәрсені

қажет етеді. Соңғысы өнеркәсіптік бақылау объектілерін дұрыс анықтаумен және соның салдарынан өнеркәсіптік реттеушіні шамамен таңдаумен байланысты. Бүгінгі күні өнеркәсіптік реттеушітердің оңтайлы параметрлерін анықтау бойынша нақты ұсыныстар жоқ.

Бұл жұмыста өнеркәсіптік реттегіштердің параметрлерін анықтаудың бір мәнді алгоритмі ұсынылған. Ұсынылған алгоритмді қолдану, сөзсіз, автоматтандырылған өндірістердің техникалық-экономикалық көрсеткіштерін едәуір жақсартады, бұл сөзсіз үлкен өзектілікке ие.

Жүйенің АФЖС және  $M$ -критериясын қарастыру негізінде графикалық-аналитикалық әдісті қолдана отырып, өнеркәсіптік контроллерлердің баптау параметрлерін анықтаудың жаңа әдісі әзірленді.

Ұсынылған алгоритмді әзірлеудің негізгі идеясы өтпелі процестің таңдалған түріне сәйкес тербеліс индексінің орнатылуында жатыр. Содан кейін, баптау параметрлерінің әртүрлі бекітілген мәндері үшін күрделі жазықтықта ашық цикл фазасының реакциясы сызылады. Әрбір АФЖС үшін оның күрделі жазықтықтағы орны талап етілетіннен қаншалықты ерекшеленетіні анықталады. Арнайы әдістермен қабылданған өнеркәсіптік контроллердің оңтайлы орнату параметрлері анықталады.

Өнеркәсіптік реттегіштер негізінде автоматты реттеу жүйесін синтездеу тәртібі мыналарды қамтиды:

- нақтыланған әдістеме бойынша реттегіш параметрлерін таңдау;
- ашық және жабық жүйенің беріліс функциясын анықтау;
- өтпелі процестің қисығын құру және реттеу сапасының көрсеткіштерін талдау;
- жүйенің тұрақтылығын талдау. Автоматты реттеу жүйесін синтездеудің көрсетілген қадамдарын толығырақ қарастырайық.

Өндірістік реттегіштерді түзетуді қатаң анықтау – жүйенің амплитуда – фазалық жиіліктік сипаттамасы (АФЖС) және  $M$  – критеріі (тербеліс критеріі) негізінде графоаналитикалық тәсілмен орындалуы мүмкін.  $M$  – шамасын 1,1 – ден 2,4 – ке дейін таңдайды. Мысалы, 20% – ті асқын реттелу өтпелі процесс типі үшін  $M = 1,3$ , ал минималды квадратты интегралды көрсеткіші бар өтпелі процесс үшін  $M = 2,1$  [1,2].

Реттегіштердің оптималды түзетуін есептеуді  $M$  тербеліс көрсеткішімен бастайды және кешенді жазықтықта түзетудің әртүрлі жазып алынған параметрлері үшін бірнеше АФЖС – ны ажыратылған жүйеде құрайды. Содан соң әр АФЖС үшін оның орналасуы талап етілгеннен қанша есе ерекшеленетінін анықтайды. Арнайы жолдар көмегімен (формула, графикалық тұрғызу) реттегіштерді түзету параметрлерін анықтайды, ол кезде ажыратылған жүйенің АФЖС – ы кешенді жазықтықта талап етілген орынды алады, сәйкесінше, өтпелі процестің талап етілген тербеліс көрсеткіші алынады.

Графикалық тұрғызу ерекшелігі, берілген әдісті пайдалану кезінде, АФЖС (объект – реттегіш) қосымша шеңберді жанасу керектігінде (1 сурет), оның орталығы (центрі) кері жарты өсьте жарты және  $r$  радиус тербеліс көрсеткішімен мына қатынаспен байланысқан

$$r = \frac{M^2}{M^2 - 1}. \quad (1)$$

Реттегіштердің оңтайлы параметрлерін анықтау әдісі келесідей:

а)  $\Pi$  – реттегіштердің  $k_p$  түзетуін табу үшін ажыратылған жүйенің АФЖС – ын құрады (1,  $a$ -сурет),  $k_p = 1$  деп қабылдайды.

Бұл жағдайда жүйенің АФЖС – сы басқару объектінің АФЖС – на сәйкес келеді. Одан соң, координат басынан  $\beta = \arcsin 1/M$  бұрышпен кері жарты өсьте орналасқан

центрден циркульмен АФЖС – ны және жүргізілген сызықты бір уақытта кесіп өтетін  $r$  радиуста, шеңбер жүргізеді. Реттегіштердің қажетті беріліс коэффициенті шеңбердің алынған  $r$  радиус шамасымен анықталады [3].

$$k_p = \frac{M^2}{M^2 - 1} \cdot \frac{1}{r}. \quad (2)$$

Мысалы,  $M=1,62$ , үшін  $\Delta x_I/\Delta x \approx 34\%$ ;  $k_p = 1/r$ ;  $\beta = 38^\circ$ ;

б) ПИ реттегіштердің  $T_n$  және  $k_p$  түзетуін табу үшін  $k_p = 1$  кезіндегі жүйенің және  $T_n$  бірнеше мәндер кезіндегі АФЖС –н құрайды.  $k_p = 1$  кезінде ажыратылған жүйенің әр АФЖС векторына және  $T_n$  мәндердің біреуіне модулі бар вектор жалғайды. Ол сағат тілі бойынша  $90^\circ$ -қа бұрылған (1, б-сурет).

$$\Delta A = \frac{A_0}{\omega \Delta T_n}.$$

Содан соң,  $\beta = \arcsin 1/M$  бұрышпен кері жарты оське жүргізеді және кері жартылай оське сызықтыда,  $T_n$  таңдалған мәндер кезіндегі жүйенің АФЖС-н да кесіп өтетін шеңбер сызады.  $k_p$  күшейту коэффициенттерін формула бойынша есептейді. Алынған  $k_p$  және  $T_n$  жұптары үшін график тұрғызылады (1,в-сурет). Бұл график  $M$  берілген тербеліс көрсеткішіне сәйкес шекараны тұрғызады. Координат басынан жанаманы  $M$  тербеліс мәндеріне тең құрылған желілілерге өткізе  $A$  нүктесін аламыз, мұнда  $k_p / T_E$  оптималды қатынасы қамтамасыз етеді

$$\int_0^{\infty} \Delta x^2(t) dt \rightarrow \min .$$

в) ПИД- регуляторды пайдалану кезінде түзету әдістемесі ұқсас. Бұл жағдайда ажыратылған жүйенің АФЖС –ы алдын ала таңдалған  $T_n$  изодром уақытпен  $T_n$ -ескерту уақытқа қатынасы үшін құралады. Жалпы, бұл қатынас нақты реттегіштердің мүмкіндігіне тәуелді.  $0,25 - 0,5$  –ке тең етіп таңдалады. Белгілі оптималды  $T_n$  мәнімен  $T_n/T_n$  қабылданған қатынас бойынша ескеру уақытының мәнін анықтайды.

Ажыратылған жүйенің АФЖС-н есептеу (2 сурет) келтірілген алгоритм бойынша жүргізу ыңғайлы. Ол үшін объектінің беріліс функциясында  $e^{-\tau_3 p}$  таза кешігу үзбесін Пад қатарына жазылған түрде берілу керек. Бастапқы берілгендер:

- объектінің өлшемсіз беріліс функциясының динамикалық коэффициенттері  $T_3, T_2, T_1, T, T_0$  және оның  $R_0$  беріліс коэффициенті  $i$ ;

-  $e^{-\tau_3 p}$  тарату коэффициенті;

- реттегіштер жүйесінде қолданылатын түзбе: РГ-1 (П-реттегіші); РГ-2 (И-реттегіші), РГ-3 (ПИ-реттегіші); РГ-4 (ПИД –реттегіші);

- реттегіштердің беріліс функциясының коэффициенттері;  $k_p, T_n, T_n$ ;

-  $N$  жиілік саны жиілік арасындағы  $H$  интервал.

Есептеу мысалын қарастырайық. Дифференциалды теңдеу негізінде,  $e^{-5p}$  үшін таза кешігу үзбесін таратқан соң Пад қатарына екі мүшені қалдырып, объектінің беріліс функциясын мына түрде аламыз

$$W_0(p) = \frac{0,15(3,12p^2 - 2,5p + 1)}{(295p^3 + 97p^2 + 15,3p + 1) * (3,12p^2 + 2,5p + 1)}. \quad (3)$$

1 кестеде келтірілген ПИ-реттегішті түзету комбинациясы үшін АФЖС-ын анықтаймыз. Үшінші квадрантта АФЖС-ын құру үшін 0,025-0,90 рад/с диапазонында 12 жиілігі үшін векторлардың координат ұштарын есептейміз. Есептеуді түзетудің бірінші комбинациясы үшін бастаймыз.

1 кесте - ПИ-реттегішті түзету комбинациясы

Бастапқы берілгендер		Есептеу нәтижесі	
$k_p$	$T_{и}$	$r_i$	$k_p$
1	3	1,045	0,95
1	4	0,728	1,37
1	5	0,575	1,73
1	6	0,47	2,12

1. кестенің деректеріне сәйкес. екінші бағдарламаларды есептеу үшін тиісті ауыстырулар жасаймыз. Есептеу нәтижелері 3, а суретте, АФЖС графиктері түрінде келтірілген.

Тербеліс мәнін бере отырып  $M = 1,62$ , сәуленің көлбеу бұрышын анықтаймыз  $\beta = \arcsin 1/1,62 = 38^\circ$ . 1, а-суретте келтірілген АФЖС ның әрқайсысы үшін сәуле мен АФЖС на бір мезгілде қатысты заттай сипаттамада центрі бар шеңберлерді таңдаймыз. (2) формула бойынша есептеу нәтижелерін анықтаймыз 1-кестеде келтірілген. олар 3, б суретте график құрып, оңтайлы параметрлерді анықтайды:

$$k_{p_0} = 1,62, \quad T_{и_0} = 4,65 \text{ с.}$$

2. Қарастырылып отырған басқару жүйесінде өтпелі процестің қисығын алу үшін реттегіштің оңтайлы параметрлерінде ашық және тұйықталған басқару жүйесінің беріліс функциясын анықтау қажет.

$W_0(p)$  и  $W_p(p)$  беріліс функцияларын көбейткеннен кейін алымы мен бөлгіш мүшелерінің  $p$  дәрежесіне қатысты топтастыруын былай жазуға болады:

$$W(p) = \frac{A_6 p^6 + A_5 p^5 + A_4 p^4 + A_3 p^3 + A_2 p^2 + A_1 p + A_0}{B_7 p^7 + B_6 p^6 + B_5 p^5 + B_4 p^4 + B_3 p^3 + B_2 p^2 + B_1 p + B_0}. \quad (4)$$

(4) өрнек коэффициенттерін 2-кестеде берілген формулалар арқылы есептеуге болады. Формулалар қарастырылатын объектілердің және типтік реттегіштердің кез-келгенін қамтитын жүйелер үшін жарамды.

Басқару объектісіне зиянды әсер ету кезінде тұйықталған жүйенің беріліс функциясы

$$W_{3.0}(p) = \frac{W_0(p)}{1+W(p)}. \quad (5)$$

(5) мәнінің орнына  $W_0(p)$  және  $W(p)$ , түрлендірулер мен мүшелерді дәрежелерге қатысты топтастырғаннан кейін  $p$  аламыз:

$$W_{3.0}(p) = \frac{C_5 p^5 + C_4 p^4 + C_3 p^3 + C_2 p^2 + C_1 p + C_0}{D_7 p^7 + D_6 p^6 + D_5 p^5 + D_4 p^4 + D_3 p^3 + D_2 p^2 + D_1 p + D_0 + 1}. \quad (6)$$

Егер қоздырушы реттеушіге қолданылса ( $x_3$  тапсырмасының өзгеруі), онда тұйықталған жүйенің беріліс функциясы:

$$W_{3.pez}(p) = \frac{W_0(p)}{1+W(p)}, \quad (7)$$

ал (7)  $W(p)$  ауыстырып, түрлендірулерден кейін аламыз

$$W_{3.pez}(p) = \frac{C_5 p^5 + C_4 p^4 + C_3 p^3 + C_2 p^2 + C_1 p + C_0}{D_7 p^7 + D_6 p^6 + D_5 p^5 + D_4 p^4 + D_3 p^3 + D_2 p^2 + D_1 p + D_0 + 1}. \quad (8)$$

Коэффициенттерді есептеу формулалары (6), (8) 3-кестеде келтірілген. (4), (6) және (8) беріліс функцияларын есептеу үшін бастапқы деректер (4), (6) және (8) ашық жүйенің АФЖС есептеуінің бастапқы деректерінің 1 - 4-тармақтарына қосымша қоздырушы әсердің қолдану коды болып табылады:  $V=1$ , егер әсер объектіге қолданылса, және  $V=2$ , егер әсер реттеушіге қолданылады.

4 суретте келтірілген алгоритм бойынша компьютерде есептеу нәтижесінде ашық және тұйықталған автоматты басқару жүйесінің беріліс функциялары алынды:

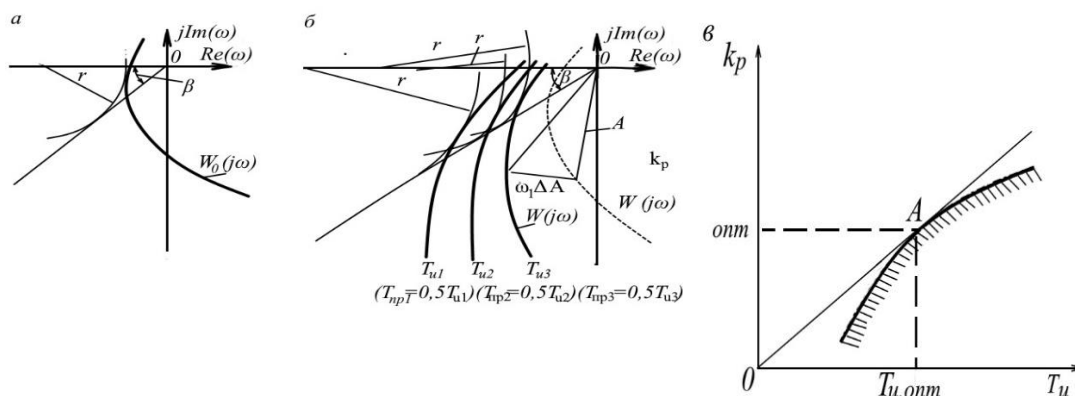
$$W_{1p}(p) = \frac{-2,97 p^4 + 2,89 p^3 - 2,06 p^2 + 0,52 p + 0,24}{3567 p^7 + 5459 p^6 + 5024 p^5 + 2734 p^4 + 643 p^3 + 82,8 p^2 + 4,65 p};$$

$$W_{13}(p) = \frac{-2,97 p^4 + 2,89 p^3 - 2,06 p^2 + 0,52 p + 0,24}{3567 p^7 + 5459 p^6 + 5024 p^5 + 2734 p^4 + 643 p^3 + 82,8 p^2 + 4,65 p}. \quad (9)$$

3. Автоматты реттеу теориясынан формулаға сәйкес тұйықталған жүйенің нақты жиілік реакциясы бойынша өтпелі функцияларды есептеудің қарапайым әдісі белгілі:

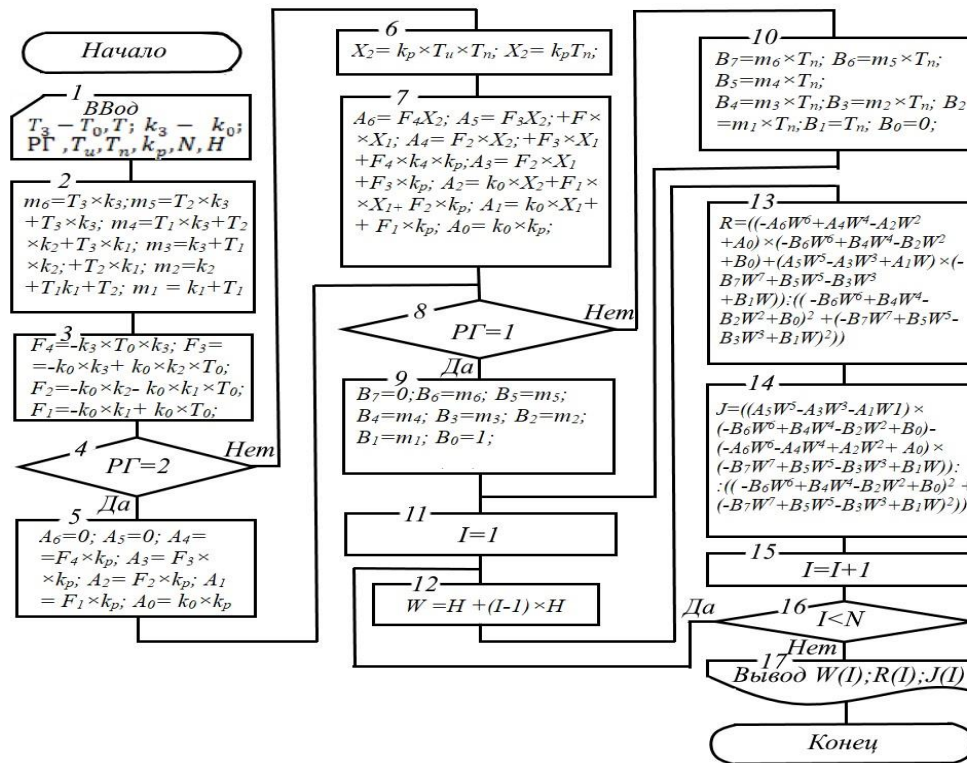
$$x(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\text{Re}_3(\omega)}{\omega} \sin \omega t dt, \quad (10)$$

мұндағы  $\text{Re}_3(\omega)$  - тұйықталған жүйенің (НЖС) нақты жиілік реакциясы.  $\text{Re}_3(\omega)$  өрнек негізінде есептелуі мүмкін (6), ол үшін  $p$  операторын  $j\omega$  ауыстыру қажет, алымы мен бөлімін бөлгіштің жалғауына көбейтіп, нақты және жорамал бөлшектерді ажырату керек.

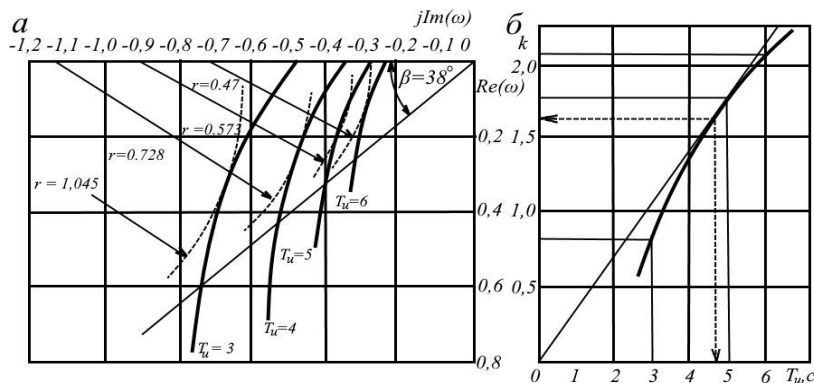


1 сурет - Объектінің амплитудалық-фазалық сипаттамасы бойынша реттегіштердің берілу коэффициентін графикалық анықтау: а, б – П, ПИ-реттегіштер үшін; в-оңтайлы дамуды анықтау





2 сурет - ЭЕМ ашық жүйенің АФЖС есептеу алгоритмі



3 сурет - ПИ реттегішінің оңтайлы параметрлерін анықтау

5-суретте  $Re_z(\omega)$  есептеуді жүзеге асыратын алгоритм берілген. Мұндай есептеу үшін бастапқы деректер:

- беріліс функциясының коэффициенттері (6), (8)  $C_6 - C_0$  және  $D_7 - D_0$ ;
- жиілік саны  $N$ , ол үшін НЖС есептеу керек;
- жиіліктің сандық мәндерінің  $W/N$  массиві. Жиілік диапазоны біркелкі емес таңдалуы керек, сондықтан төмен жиілікті аймаққа сәйкес келетін жиіліктер саны НЖС барлық ерекшеліктерін анықтау үшін жеткілікті болады.

$W_{13}(p)$  беріліс функциясы үшін ФЖС анықтаймыз (9). Есептеу 0,04 - 1,1 рад/с диапазонындағы 18 жиілік мәні үшін орындалады.

Есептеу нәтижелері 6, а. - суретте НЖС графигі түрінде ұсынылған, интегралды (10) есептеуді Симпсон әдісі бойынша жүргізуге болады, ол үшін (10) теңдеуіндегі интеграцияның төменгі нөлдік шегі  $0,1 \cdot 10^{-8}$  кіші санмен, ал жоғарғы шегі жүйе жүзеге асырылатын максималды жиілікпен ауыстырылады (НЖС дан анықталады).

Өтпелі процесті есептеу алгоритмі 7-суретте келтірілген. Есептеу машинасына енгізу үшін бастапқы деректер:

- беріліс функциясының коэффициенттері  $C_6 - C_0$  және  $D_7 - D_0$ ;
- WK жүйесі жауап беретін максималды жиілік;
- реттеу объектісінің кешігу шамасы  $Z$ ;
- бастапқы  $T_H$ , соңғы  $T_K$  уақыт (с) өтпелі процесс және қадам  $D$  (с), онымен өтпелі процесті есептеу қажет.

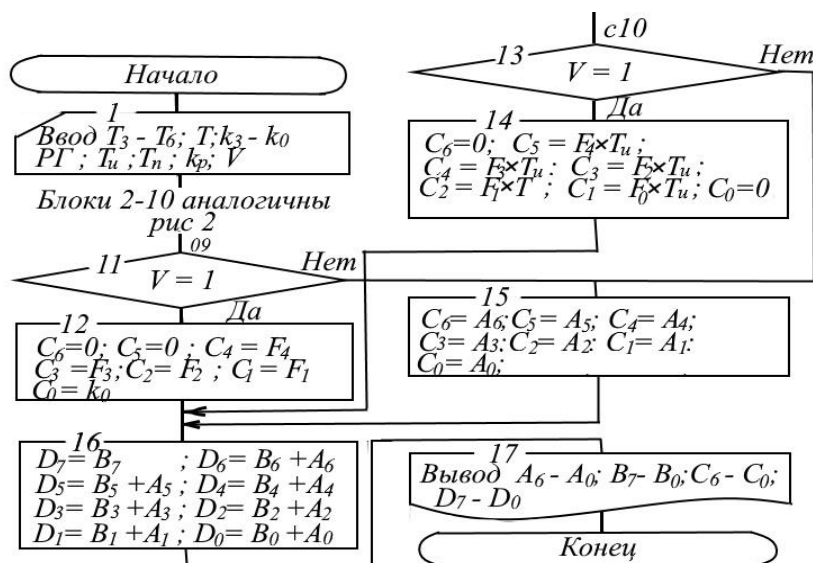
Қарастырылып отырған жүйеде өтпелі процесті сыртқы әсерді қолдану сәтінен бастап әрбір 1 с арқылы 40 с аяқталғанға дейін есептейміз,  $\omega_{\max}=0,2$  рад/с.

ЭЕМ есептеулердің нәтижелері 6, б-суретте көрсетілген.

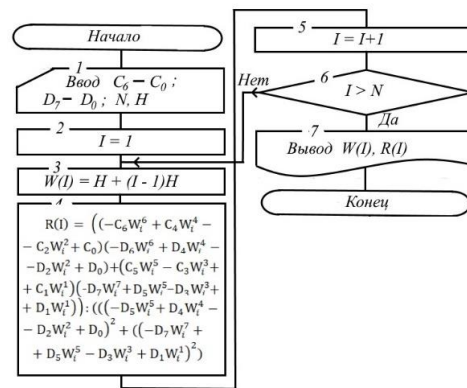
Жоғарыда келтірілген әдіс бойынша реттегіштің оңтайлы параметрлерін таңдау жүйенің тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Модуль мен фаза бойынша тұрақтылық қорын анықтау қажет болған жағдайда реттегіштің оңтайлы параметрлерімен 5-суретте келтірілген алгоритм бойынша ашық жүйенің АФЖС есептеледі.

2 кесте - Коэффициенттерді есептеу формулалары (4)

$A_i$	Реттегіштердің барлық түрлері үшін	$B_i$	Реттегіштердің түрлері	
			II	ПИ, И, ПИД
-	-	$B_7$	0	$T_3 k_3 T_H$
$A_6$	$-k_0 k_p k_3 T_0 T_H T_{II}$	$B_6$	$T_3 k_3$	$(T_2 k_3 + T_3 k_2) T_H$
$A_5$	$k_0 k_p [T_H T_{II} (-k_3 + k_2 T_0) - k_3 T_0 T_H]$	$B_5$	$T_2 k_3 + T_3 k_2$	$(T_1 k_3 + T_2 k_2 + T_3 k_1) T_H$
$A_4$	$k_0 k_p [T_H T_{II} (k_2 + k_1 T_0) - T_H (k_2 T_0 - k_3) - k_3 T_0]$	$B_4$	$T_1 k_3 + T_2 k_2 + T_3 k_1$	$(T k_3 + T_1 k_2 + T_2 k_1 + T_3) T_H$
$A_3$	$k_0 k_p [T_H T_{II} (T_0 - k_1) + T_H (k_2 - k_1 T_0) + (k_2 T_0 - k_3)]$	$B_3$	$k_3 + T_1 k_2 + T_2 k_1 + T_3$	$(T k_2 + T_1 k_1 + T_2) T_H$
$A_2$	$k_0 k_p [T_H T_{II} + T_H (T_0 - k_1) + (k_2 - k_1 T_0)]$	$B_2$	$k_2 + T_1 k_1 + T_2$	$(T k_1 + T_1) T_H$
$A_1$	$k_0 k_p (T_H - k_1 + T_0)$	$B_1$	$k_1 + T_1$	$T T_H$
$A_0$	$k_0 k_p$	$B_0$		



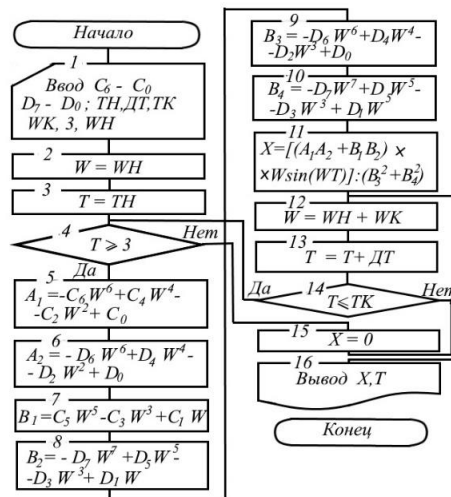
4 сурет - Ашық және тұйықталған АБЖ беріліс функцияларын ЭЕМ есептеу алгоритмі



5 сурет - Нақты жиілік сипаттамасының ЭЕМ есептеу алгоритмі

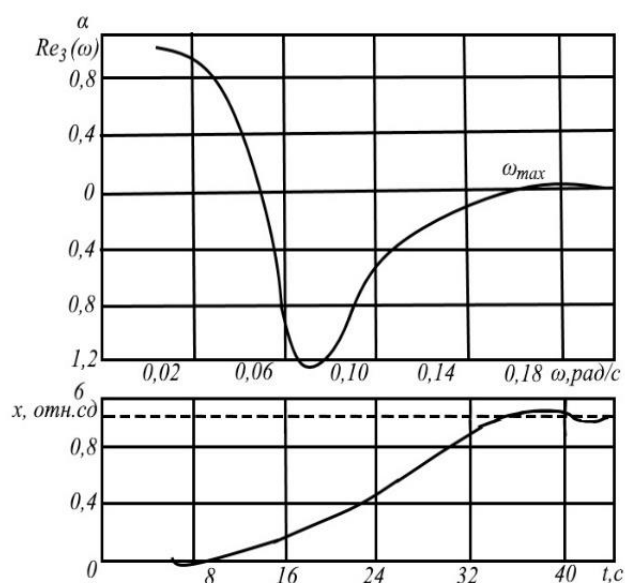
3 кесте - Коэффициенттерді есептеу формулалары (8)

$D_i$	Кез келген жердегі қоздыру қосымшаары және реттегіштің кез	$C_i$	Кез келген реттегіш түріне қоздыру қолданбасы	Объектіге қолданылатын қоздырушы	
				Реттегіш түрі	
				П	ПИД, И, ПИ
$D_7$	$B_7$	$\square$	$\square$	$\square$	$\square$
$D_6$	$B_6+A_6$	$C_6$	$A_6$	0	0
$D_5$	$B_5+A_5$	$C_5$	$A_5$	0	$-k_0k_3T_0T_H$
$D_4$	$B_4+A_4$	$C_4$	$A_4$	$-k_0k_3T_0$	$(-k_3- k_2T_0)k_0T_H$
$D_3$	$B_3+A_3$	$C_3$	$A_3$	$(k_2T_0- k_3)k_0$	$(+k_2- k_1T_0)k_0T_H$
$D_2$	$B_2+A_2$	$C_2$	$A_2$	$(k_2- k_1T_0)k_0$	$(T_0- k_1)k_0T_H$
$D_1$	$B_1+A_1$	$C_1$	$A_1$	$(k_0- k_1)k_0$	$k_0T_H$
$D_0$	$B_0+A_0$	$C_0$	$A_0$	$k_0$	0



6 сурет - Реттеу жүйесіндегі нақты жиіліктік сипаттама (а) және өтпелі процесс (б)





7 сурет - Өтпелі процестердің ЭЕМ есептеу алгоритмі

#### Нәтижелер мен талқылау.

Әртүрлі реттеу заңдары бар өнеркәсіптік реттегіштерді орнатудың оңтайлы параметрлерін анықтау әдісі жасалды. Әдіс қарастырылып отырған жүйенің амплитудалық - фазалық-жиілік сипаттамаларын және берілген М-критерийін құра отырып, графоаналитикалық шешімге негізделген. Оңтайлы баптау параметрлері бар жүйенің синтезі зерттелетін технологияның басқарылатын параметрін Автоматты реттеу жүйелері үшін біртұтас болып табылады, бұл ашық және тұйық күйдегі автоматты реттеу жүйесінің кез келген жиілік сипаттамаларын құруды, өтпелі процесті құруды, реттеу сапасының тікелей көрсеткіштерін бағалауды жеңілдетеді

#### Қорытынды.

Технологиялық процестерді автоматты басқару жүйелерінің техникалық-экономикалық көрсеткіштерін арттыру үшін мыналар ұсынылады:

- әртүрлі реттеу заңдары бар өнеркәсіптік реттегіштердің оңтайлы параметрлерін анықтаудың жаңа әдісі (П, И, ПИ, ПИД);
- автоматты басқару жүйелерінің кез келген жиілік сипаттамаларын есептеуді, оның өтпелі процесін құруды жеңілдетуге мүмкіндік беретін автоматты тұрақтандыру жүйелерінің синтезін біріктіру алгоритмі берілген.

#### ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Васильев Д.В., Чуич В.Г. Системы автоматического управления (примеры расчета). – М.: Высшая школа, 1967.
- [2] Адамбаев М.Д. Определение динамической структуры и параметров промышленных объектов управления. – Алматы, комплекс 2010.
- [3] Адамбаев М.Д. Теория и практика технического эксперимента (учебник рекомендованный МОН РК). – Алматы: КазНТУ им К.И. Сатпаева, 2013.
- [4] Льюнг Л. Идентификация систем (теории для пользователя). – М.: Высшая школа, 1991.
- [5] Адамбаев М.Д. Автоматтандырылған реттеу мен реттегіштер. Оқу құралы. – Астана: Фолиант, 2018 – 216 б.

[6] Адамбаев М.Д., Джулаева Ж.Т., Калабаева А.Е. СЫЗЫҚТЫ АВТОМАТТЫ РЕТТЕУ ЖҮЙЕЛЕРІ (МАТЕМАТИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ). Оқу құралы. – Алматы: М. Тынышбаев атындағы ҚазККА, 2019 – 180 б.

**Zhazira Zhulaeva**, doctoral student, Academy of logistics and transport, Almaty, Kazakhstan, zhazj@mail.ru

**Waldemar Wojcik**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Politechnika Lubelska, Lubelska, Poland, waldemar.wojcik@pollub.pl

**Gulzhan Kashaganova**, PhD, Turan University, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, guljan\_k70@mail.ru

**Kulzhan Togzhanova**, PhD, docent, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, togzhanova\_kuljan@mail.ru

## DEVELOPMENT OF A METHOD FOR OPTIMAL ADJUSTMENT PARAMETERS OF THE INDUSTRIAL REGULATORS OF AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS

**Abstract.** This article is devoted to the optimization of the settings of industrial regulators on the principle of approximate equality of the reference and real transient process of a closed control system. To determine the initial coefficients of adjustment of the parameters of the regulators, the methods of amplitude-phase frequency characteristics (APFC), undamped oscillations, damped oscillations were considered. To optimize the parameters of the control system, a simulation of an automatic control system (ACS) with various control objects was carried out, according to the results of which it was possible to trace the dynamics of lowering the reference transient characteristic and establish for each object of study a corridor in which the lower limit of the correction range should be located. Regulation characteristics of industrial regulators differ significantly from the ideal of the same class according to the law of regulation (proportional (P), integral (I), proportional-integral (PI), proportional-integral-differential (PID)). In this regard, the determination of the settings of industrial regulators for the control of technological units and installations cause great difficulties even for specialists in the automation of industrial control facilities.

The paper proposes a proven method for determining the refined settings of industrial regulators (P, I, PI, PID). The essence of the proposed method is to use a graphoanalytic method based on the use of amplitude-phase-frequency characteristics of an open system (apfch) and the criterion of oscillation (M-criterion). To use the proposed method for determining the refined (optimal) parameters of industrial regulators implementing different laws of regulation (P, I, PI, PD, PID), it is necessary to give an index of oscillation corresponding to the selected type of transition process.

**Keywords.** Industrial regulators (P, I, PI, PID), settings, M-criteria, APFC, automatic control systems, a number of Padas, regulatory laws, optimal settings, transient algorithm.

**Жазира Джулаева**, докторант, Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан, zhazj@mail.ru

**Вальдемар Вуйчик**, т.ф.д., профессор, Люблинский политехнический университет, Люблин, Польша, waldemar.wojcik@pollub.pl

**Гулжан Кашаганова**, PhD, Университет Туран, Satbayev University, Алматы, Казахстан, guljan\_k70@mail.r

**Күлжан Тогжанова**, PhD, доцент, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, togzhanova\_kuljan@mail.ru

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

**Аннотация.** Данная статья посвящена вопросу оптимизации параметров настройки промышленных регуляторов по принципу приближенного равенства эталонного и реального переходного процесса замкнутой системы регулирования. Для определения первоначальных коэффициентов настройки параметров регуляторов рассматривались методы амплитудно-фазовых частотных характеристик (АФЧХ), незатухающих колебаний, затухающих колебаний. Для оптимизации параметров системы регулирования проведено моделирование системы автоматического регулирования (САР) с различными объектами регулирования, по результатам которого удалось проследить динамику понижения эталонной переходной характеристики и установить для каждого объекта исследования коридор, в котором должна находиться нижняя граница диапазона коррекции. Регулировочные характеристики промышленных регуляторов значительно отличаются от идеальных такого же класса по закону регулирования (пропорциональный (П), интегральный (И), пропорционально-интегральный (ПИ), пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД)). В связи с этим определение параметров настройки промышленных регуляторов для управления технологическими агрегатами и установками вызывают большие трудности даже для специалистов по автоматизации промышленных объектов управления.

В работе предлагается апробированный метод определения уточненных параметров настройки промышленных регуляторов (П, И, ПИ, ПИД). Сущность предлагаемого метода заключается в использовании графоаналитического способа на основе использования амплитудно - фазочастотных характеристик разомкнутой системы (АФЧХ) и критерия колебательности (М-критерия). Для использования предлагаемого метода определения уточненных (оптимальных) параметров промышленных регуляторов реализующие разные законы регулирования (П, И, ПИ, ПД, ПИД), необходимо даваться показателем колебательности, соответствующему выбранному типу переходного процесса.

**Ключевые слова.** Промышленные регуляторы (П, И, ПИ, ПИД), параметры настройки, М-критерии, АФЧХ, системы автоматического регулирования, ряд Пада, законы регулирования, оптимальные настройки, алгоритм переходных процессов.

\*\*\*\*\*