



АҚПАРАТТЫҚ-КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

АВТОМАТИКА. ЕСЕПТЕУ ТЕХНИКАСЫ
АВТОМАТИКА. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
AUTOMATION. COMPUTER TECHNOLOGY

DOI 10.51885/1561-4212_2024_4_139
MFTAA 50.03.03

Г.Н. Казбекова¹, А.А. Умаров², А.Б. Абен¹, Н.М. Жунисов¹, Ж.С. Исмагулова³

¹Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті,
Түркістан қ., Қазақстан

E-mail: gulnur.kazbekova@ayu.edu.kz*

E-mail: arypzhhan.aben@ayu.edu.kz

E-mail: nurseit.zhumissova@ayu.edu.kz

²Рудный индустриялық университет РИУ, Қостанай облысы, Рудный қ., Қазақстан

E-mail: uaa_77@mail.ru

³М.Тынышбаев атындағы АЛТ университеті, Алматы қ., Қазақстан

E-mail: zhu.ismagulova@alt.edu.kz

ҰЙЫТҚУЫ БАР ОРНЫҚСЫЗ ЖҮЙЕНІҢ ДИНАМИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ТАЛДАУ

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕУСТОЙЧИВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ВОЗМУЩЕНИЕМ

ANALYSIS OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF AN UNSTABLE CONTROL SYSTEM WITH DISTURBANCE

Аңдатпа. Бұл зерттеу динамикалық реттеу жүйелерінің орнықтылығы мен тиімділігін бағалау және олардың өтпелі процестерін талдау мәселелерін қарастырады. Зерттеу барысында басқару жүйелерінің динамикалық сипаттамалары, жүйенің орнықтылығы мен сезімталдығы, сондай-ақ өтпелі процестердің ұзақтығы мен амплитудасы сияқты факторлар терең талданды. Зерттеу нәтижелері кері байланыс механизмдерінің жүйенің орнықтылығын қамтамасыз ету үшін маңызды рөл атқаратынын көрсетіп, басқару параметрлерінің дұрыс таңдалуының тиімділігін атап өтті. Сонымен қатар, динамикалық жүйелердің өтпелі процестерін зерттеу және басқару жүйелерін оңтайландыру үшін қолданыстағы теориялық әдістердің маңыздылығы дәлелденді. Зерттеу нәтижелері түрлі өнеркәсіп салаларында, көлік, энергетика және медицина сияқты салаларда басқару жүйелерін жобалау мен оңтайландыру үшін тиімді әдістерді қолдануға мүмкіндік береді. Алынған деректер жүйенің динамикалық ерекшеліктерін толық түсіну мен жетілдіру үшін қосымша зерттеулер жүргізудің қажеттілігін көрсетеді. Қорытындылай келе, зерттеу нәтижелері басқару жүйелерін жобалаудағы жаңа теориялық әдістер мен құралдардың маңыздылығын және олардың нақты өндірістік жағдайларда қолданылуын зерттеуге мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: басқару нысаны (БН), орнықтылық, автоматты реттеу жүйесі (АРЖ), графоаналитикалық әдіс.

Аннотация. Данное исследование рассматривает вопросы оценки устойчивости и эффективности динамических регулирующих систем, а также анализа их переходных процессов. В ходе исследования были глубоко проанализированы динамические характеристики управляющих систем, устойчивость и чувствительность системы, а также такие факторы, как продолжительность и амплитуда переходных процессов. Результаты исследования показали, что механизмы обратной связи играют важную роль в обеспечении устойчивости системы, подчеркнув эффективность правильного выбора управляющих параметров. Кроме того, было доказано значение существующих теоретических методов для исследования

переходных процессов динамических систем и оптимизации управляющих систем. Результаты исследования позволяют применить эффективные методы проектирования и оптимизации управляющих систем в различных отраслях, таких как транспорт, энергетика и медицина. Полученные данные указывают на необходимость проведения дополнительных исследований для более глубокого понимания и улучшения динамических характеристик системы. В заключение, результаты исследования открывают возможности для изучения новых теоретических методов и инструментов проектирования управляющих систем и их применения в реальных производственных условиях.

Ключевые слова: объект управления, устойчивость, система автоматического регулирования (САР), графоаналитический метод

Abstract. This research addresses the issues of evaluating the stability and effectiveness of dynamic control systems and analyzing their transient processes. The study thoroughly analyzes the dynamic characteristics of control systems, system stability and sensitivity, as well as factors such as the duration and amplitude of transient processes. The findings of the study indicate that feedback mechanisms play a crucial role in ensuring system stability, highlighting the effectiveness of correctly selecting control parameters. Moreover, the significance of existing theoretical methods for studying transient processes in dynamic systems and optimizing control systems has been proven. The results allow for the application of effective methods for designing and optimizing control systems in various industries, such as transportation, energy, and healthcare. The obtained data point to the need for further research to fully understand and improve the dynamic features of the system. In conclusion, the findings of the study provide opportunities for exploring new theoretical methods and tools for designing control systems and applying them in real-world industrial settings.

Keywords: control object (CO), stability, automatic control system (ACS), graphoanalytic method.

Kipicne. Динамикалық реттеу жүйелерінің орнықтылығы мен тиімділігі қазіргі заманғы инженерлік және ғылыми зерттеулердің маңызды бағыттарының бірі болып табылады. Бұл жүйелер әртүрлі өнеркәсіптік салаларда, көлік, энергетика, медицина сияқты салаларда кеңінен қолданылады. Қазіргі уақытта басқару жүйелерінің тиімділігін арттыру және олардың өтпелі процестерін оңтайландыру мәселелері маңызды ғылыми және инженерлік міндеттер ретінде тұр. Осыған орай, динамикалық жүйелердің орнықтылығы мен өтпелі процестерін талдау, сондай-ақ оларды басқару үшін тиімді әдістерді қолдану қажет.

Бұл зерттеудің негізгі мақсаты – динамикалық басқару жүйелерінің тұрақтылығын арттыруға бағытталған тиімді бақылау механизмдерін анықтау және бақылау параметрлерін дәл таңдау арқылы жүйенің сенімділігін қамтамасыз ету. Зерттеу әртүрлі сыртқы әсерлерге бейімделу қабілеті жоғары, басқару жүйелерінің тұрақтылық және тиімділік талаптарына сай келетін бақылау әдістерін талдауға бағытталған.

Зерттеудің артықшылығы – жүйелердегі кері байланыс механизмінің тиімділігін нақтылау арқылы басқару процестерінің сапасын арттыру. Жүйе параметрлерін өзгерту кезінде кері байланыстың жылдам бейімделуге және тұрақтылықты сақтауға қосатын үлесін дәлелдеу, түрлі салаларда – мысалы, денсаулық сақтау, энергетика және көлік жүйелерінде – инновациялық басқару технологияларын енгізуге жол ашады. Сонымен қатар, зерттеу нәтижелері сыртқы әсерлерге жоғары төзімділікті талап ететін күрделі жүйелерге арналған озық бақылау әдістерін дамытуға негіз бола алады.

Осы зерттеудің нәтижелері әртүрлі басқару жүйелерінің тұрақтылық деңгейін арттыруға көмектесе отырып, оларды нақты өндірістік жағдайларда тиімді қолдануға мүмкіндік береді. Мұндай нәтижелер, әсіресе, автоматтандырылған басқару жүйелерін қолданатын өндірістік, энергетикалық және құрылыс секторларында ерекше маңызды болып табылады. Қорыта айтқанда, бұл зерттеу динамикалық басқару жүйелерін жетілдіруге, олардың сенімділігін және тиімділігін арттыруға бағытталған алғышарттарды анықтай отырып, ғылыми-техникалық салаларда жаңашылдыққа жол ашады.

Автоматты реттеу жүйелерінің (АРЖ) динамикалық сипаттамаларын талдау және зерттеу басқару теориясының маңызды мәселесі болып табылады. Динамикалық процестерді зерттеу (талдау) кезінде берілген кіріс әсері және басқару нысанның (БН) құрамы бойынша оның шығысын (реакциясын) табу қажет. Динамикалық сипаттамалар

АРЖ-н қтпелі жұмыс кезеңін сипаттайды (Плотников et al., 2021; Умарова et al., 2024; Мельникова, 2018; Умарова & Умаров, 2023).

АРЖ модельдері техникалық саладан басқа, медицина, экономика, байланыс, психология, т.б. көптеген салаларда да қолданылады (Астафьев & Лапшин, 2018; Prokhorov & Konik, 2019).

АРЖ зерттеу мәселелеріне келесі мәселелер (есеп) жатады:

- осы жұмыста қарастырылып отырған шығыс процестерді талдау міндеті;
- жүйенің орнықтылығын бағалау;
- сезімталдықты зерттеу;
- басқарылу мүмкіндігін талдау;
- бақылау мүмкіндігін талдау (Teichert, 2019).

Жүйенің орнықтылығын зерттеу медицина және психология сияқты салаларда аса маңызды рөл атқарады. Мысалы, психологияда тұлғаның стресс жағдайын тиімді реттеу оның өмірлік қиындықтарға төтеп беруіне және денсаулығын сақтауына ықпал етеді (Ashraf et al., 2022).

АРЖ зерттеудің артықшылығы – олардың пайдалану ыңғайлылығы және нәтижелердің көрнекі түрде интерпретациялану мүмкіндігі, бұл зерттеу үдерісінде маңызды рөл атқарады (Shafiq et al., 2021).

Материалдар және зерттеу әдістері. Басқару нысанның беріліс функциясы берілсін:

$$W(s) = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}, \quad (1)$$

мұндағы a_m, b_n – беріліс функция полиномының коэффициенттері, $s = \frac{d}{dt}$ – дифференциалдау амалын өрнектейтін символ, s^m пен s^n – сәйкесінше m, n -ретті туындылар (Alibekkyzy et al., 2021; Алексеев et al., 2017).

Жүйе кірісіне қосу әсері (басқару сигналы) беріледі:

$$u(t) = 1(t - \tau) = \begin{cases} 1, & t > \tau \\ 0, & t \leq \tau \end{cases}, \quad (2)$$

мұндағы t – уақыт, τ – уақыт моменті.

(1) беріліс функциясы буынның $x(t)$ шығыс сигналының $X(s)$ бейнесі мен кіріс $u(t)$ сигналының $U(s)$ бейнесін байланыстырады: (Цыкунов, 2007; Корнев et al., 2020).

$$X(s) = W(s) U(s), \quad (3)$$

Берілген беріліс функциясы жүйенің кез келген белгілі кіріс сигналы $u(t)$ негізінде шығыс $x(t)$ мәнін анықтауға мүмкіндік береді. Осы беріліс функцияны пайдаланып, жүйенің өтпелі процестерінің келесі жағдайлардағы графиктерін салу қажет:

а) ұйытқулардың әсері жоқ жағдайда;

б) ұйытқулардың әсері бар жағдайда.

әсері бар жағдайда (Балабуха et al., 2022; Cirianni et al., 2018).

Екі түрлі ұйытқу аламыз (шектеулі 0,5 амплитудасы бар).

1-ші ұйытқу – периодты буын, оның беріліс функциясы:

$$W(s) = 0.5 / (s^2 + s + 1) \quad (4)$$

1-ші ұйытқудың графигі 1-суретте көрсетілген.

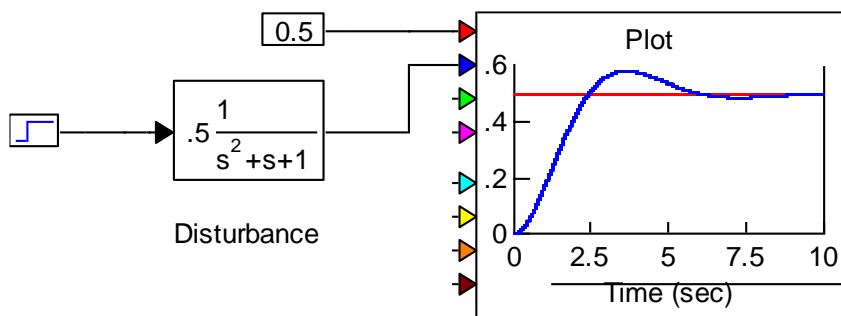
2-ші ұйытқу – дифференциалды буын, оның беріліс функциясы:

$$W(s) = 0.5 s / (s + 1) \quad (5)$$

2-ші ұйытқудың графигі 2-суретте көрсетілген.

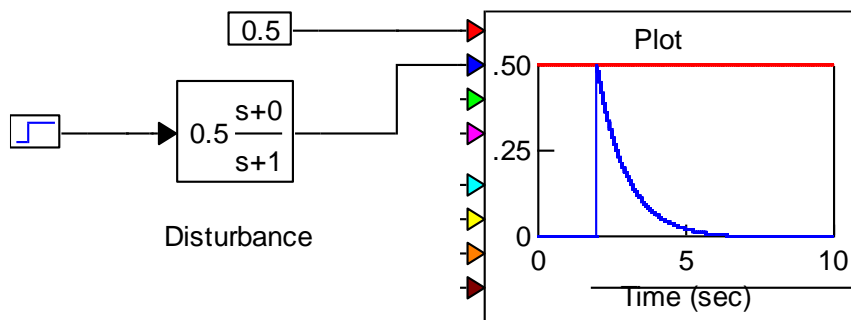
БН-ң төмендегі динамикалық сипаттамаларын анықтау қажет:

- $x_{\infty} = \lim_{t \rightarrow +\infty} x(t)$ статикалық ауытқуды,
- $x_{\max} = \max(x(t))$ максималды ауытқуды,
- $|x(t) - x_{\infty}| < \Delta$ шарты орындалғандағы T_p өтпелі процесс уақытын,
- $\sigma = \left(\frac{x_{\max} - x_{\infty}}{x_{\infty}} \cdot 100\% \right)$ шамадан тыс реттеуді.



1-сурет. 1-ші ұйытқу – периодты буын

Ескерту – автормен құрастырылған



2-сурет. 2-ші ұйытқу – дифференциалды буын

Ескерту – автормен құрастырылған

Басқару нысанның беріліс функциясы берілсін:

$$W(s) = W(s) = 5 * 1 / (0,1s^3 + 0,1s^2 + 0,2s + 1) \tag{6}$$

Берілген нысан 3-ретті тербелмелі буынға жатады. Оның параметрлері: $k = 5$ (күшейту коэффициенті); $T = 0,1$ (уақыт тұрақтысы); $\delta = 1$ (сөну декременті).

Төмендегі қажетті шарттардың орындалуын тексеріп, БН-ды орнықтылыққа зерттейміз. Шарт бойынша беріліс функция бөлімінің сипаттамалық полиномның барлық нақты (Real) түбірлері теріс болу қажетті:

$$a_n \lambda^n + a_{n-1} \lambda^{n-1} + \dots + a_0 = 0; \text{Re}(\lambda_i) < 0; i = 1, \dots, n, \tag{7}$$

мұндағы λ_i – сипаттамалық полиномның түбірлері.

Қарастырылған басқару нысаны – орнықсыз болып табылады, өйткені (5) шарт орындалмайды: $\lambda_1 = (-2.18; 0)$; $\lambda_2 = (0.59; -2.057)$; $\lambda_3 = (0.59; 2.057)$. Мұнда $\text{Re}(\lambda_1) < 0$; $\text{Re}(\lambda_2) > 0$; $\text{Re}(\lambda_3) > 0$.

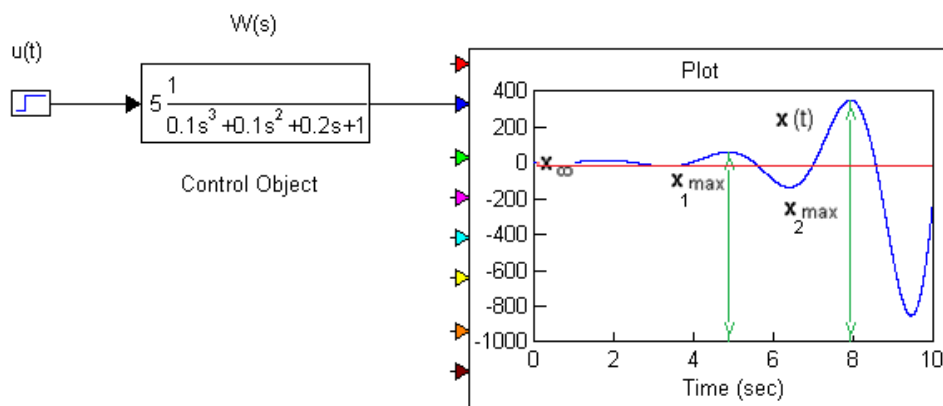
Басқару нысанының орнықтылығын келесі тәсілдер бойынша зерттейміз: бастапқы шарттар, яғни, нөлдік емес бастапқы берілгендер негізінде (3-сурет); кіріс әсерлерін, яғни, ұйытқулардың ықпалын ескере отырып (4-сурет).

Зерттеу жұмысының мақсаты - динамикалық реттеу жүйелерінің орнықтылығын және тиімділігін бағалау, олардың өтпелі процестерін талдау және басқару жүйелерін оңтайландыру үшін қолданылатын теориялық әдістердің маңыздылығын көрсету. Сонымен қатар, кері байланыс механизмдерінің жүйенің орнықтылығын қамтамасыз етудегі рөлі мен басқару параметрлерінің дұрыс таңдалуының маңызы ерекше атап өтіледі. Бұл зерттеу басқару жүйелерінің жобалау мен оңтайландыру үшін жаңа теоретикалық әдістер мен құралдарды дамытуға бағытталған.

Динамикалық жүйелердің өтпелі процестері мен орнықтылығын зерттеу мен басқару жүйелерін жобалау саласында жүргізілген жұмыс нәтижелері өнеркәсіптік процестердің тиімділігін арттыру үшін қолданылуы мүмкін. Сонымен қатар, бұл зерттеу басқа салалардағы зерттеулер үшін пайдалы боларлық нәтижелер мен ұсыныстар береді. Осыған байланысты, зерттеу жұмысы динамикалық реттеу жүйелерін зерттеудің маңызды қадамы ретінде қарастырылады және оның нәтижелері болашақтағы ғылыми зерттеулер мен өндірістік практикада кеңінен қолданылуы мүмкін.

Нәтижелері және оларды талқылау. Шығыс процестердің талдауын графоаналитикалық әдіс арқылы, яғни, өтпелі сипаттамаларды пайдалана отырып жүргіземіз. Бұл әдісті іске асыру үшін имитациялық модельдеу VisSIM ортасын қолданамыз. VisSIM – динамикалық жүйелердің блок схемаларын құрудың қуатты құралы және ыңғайлы түсінікті интерфейсі бар бағдарламалық жүйе (Астафьев & Лапшин, 2018).

БН-ң нөлдік бастапқы шарты бар өтпелі функция графигі төменде көрсетілген:



3-сурет. Нөлдік ($x_0 = 0$) бастапқы шарты бар (6) басқару нысаны

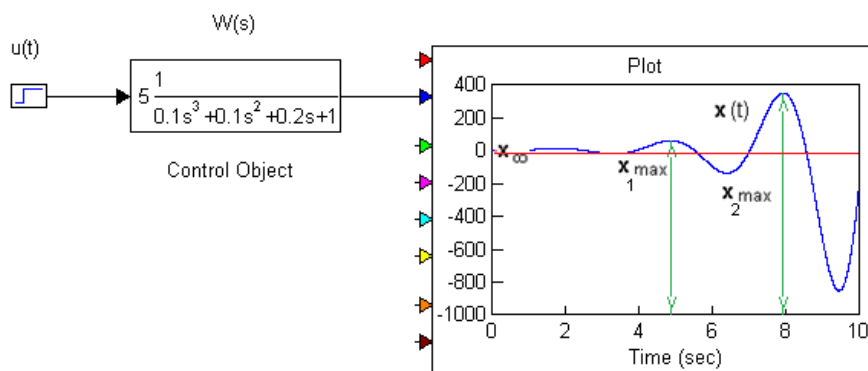
Ескерту – автормен құрастырылған

(6) БН-ң $t=0..10$; $\Delta=0.16$ тең болғандағы және ұйытқу әсер етпегендегі динамикалық сипаттамаларын есептейміз ($x_0 = 0$):

- статикалық ауытқу $x_\infty = 5$;
- максималды ауытқу $x_{\max 1} = 57$; $x_{\max 2} = 358$; ... $x_{\max 10} \approx \infty$;
- өтпелі процесс кезеңі $x(t) \rightarrow \infty$ ұмтылғандықтан, $T_p \rightarrow \infty$;
- шамадан тыс реттеу $\sigma_1 = ((57-5)/5) * 100 \% = 1040\%$; $\sigma_2 = ((358-5) / 5) * 100 \% = 7060 \%$;
- ... $\sigma_{10} \approx \infty$.

Уақыт $t \rightarrow \infty$ сайын жүйе реакциясы да $x(t) \rightarrow \infty$, яғни, өтпелі процесс те шексіздікке ұмтылып жатыр, сондықтан, x_{\max} , T_p , σ сипаттамалары да шексіздікке ұмтылатыны анық.

БН-ң нөлдік емес бастапқы шарты бар өтпелі функция графигі төменде көрсетілген:



4-сурет. Нөлдік емес ($x_0 = 0.5$) бастапқы шарты бар (6) басқару нысаны
Ескерту – автормен құрастырылған

(6) БН-ң $t=0..10$; $\Delta=0.16$ тең және $x_0=0.5$ болғандағы және ұйытқу әсер етпегендегі динамикалық сипаттамаларын есептейміз:

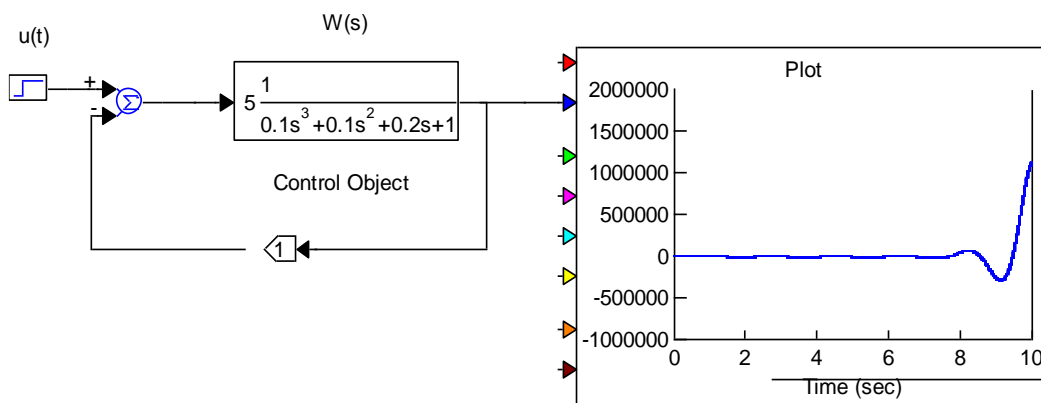
- статикалық ауытқу $x_\infty = 5$;
- максималды ауытқу $x_{max1} = 57$; $x_{max2} = 358$; ... $x_{max10} \approx \infty$;
- өтпелі процесс кезеңі $x(t) \rightarrow \infty$ ұмтылғандықтан, $T_p \rightarrow \infty$;
- шамадан тыс реттеу $\sigma_1 = ((57-5) / 5) * 100\% = 1040\%$; $\sigma_2 = ((358-5) / 5) * 100\% = 7060\%$;
- ... $\sigma_{10} \approx \infty$.

Алынған сипаттамалар $x_0=0$ сипаттамаларына сәйкес.

Қарастырылып отырған (6) жүйе орнықсыз болғандықтан, оның динамикалық сипаттамаларын ары қарай зерттеудің мәні жоқ. Алдымен, жүйені орнықты жүйеге түрлендіруіміз қажет. Ол үшін жүйеге теріс кері байланыс енгізу керек. Түрлендіру нәтижесінде (6) жүйе келесі жүйеге айналады:

$$W(s) = W(s) = 50 * 1 / (60s^3 + 2s^2 + 1s + 1), \tag{8}$$

(8) Басқару нысанының өтпелі кезеңінің сипаттамасын анықтаймыз:

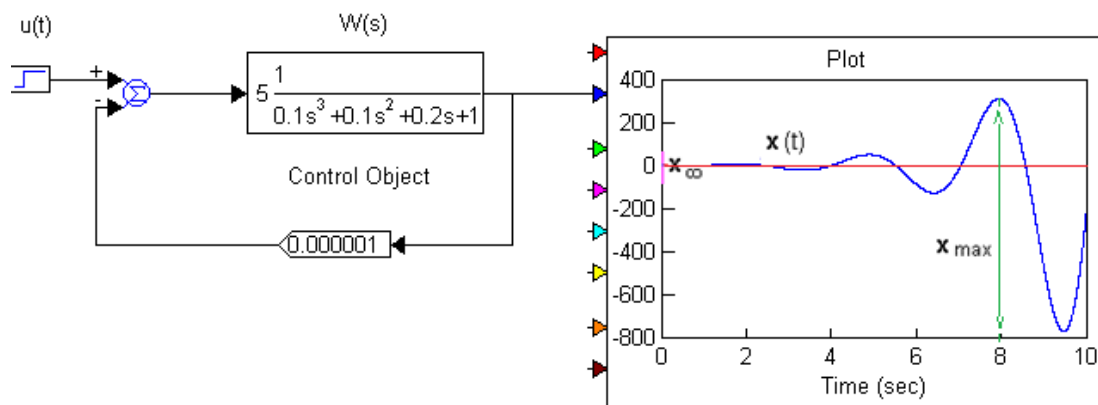


5-сурет. (8) жүйенің кері байланыс коэффициенті $k = 1$ жғдайдағы өтпелі сипаттамасы
Ескерту – автормен құрастырылған

Есептеу жүргезбесек те, 5-суреттегі жүйе шамадан тыс орнықсыз екені көрініп тұр, яғни, $t=0..10$ аралығының өзінде $x_{\max}=1000000$, сондықтан өтпелі процесс те шексіздікке ұмтылып жатыр, сондықтан, x_{\max} , T_p , σ сипаттамалары да шексіздікке ұмтылатыны анық.

Шамадан тыс орнықсыз жүйенің орнықтылық шегін азайтып көрейік. Ол үшін кері байланыс коэффициентін 0-ге ұмтылдырамыз, яғни, $k = 0.000001$ деп есептейміз.

(8) жүйенің кері байланыс коэффициентін 1000000 есе азайту нәтижесінде алынған өтпелі сипаттама:

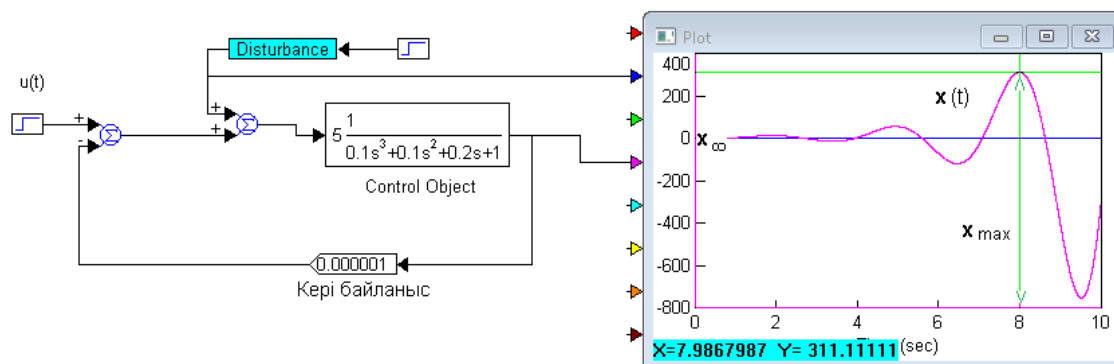


6-сурет. (5) жүйенің кері байланыс коэффициенті $k = 0,000001$ жағдайдағы өтпелі сипаттамасы

Ескерту – автормен құрастырылған

(8) БН-ң $t=0..10$; $\Delta=0.16$ тең және $x_0=0$ болғандағы және ұйытқу әсер бермеген жағдайдағы динамикалық сипаттамаларын есептейміз:

- статикалық ауытқу $x_{\infty} = 0,1$;
 - максималды ауытқу $x_{\max 1} = 53$; $x_{\max 2} = 320$; $x_{\max 10} \approx \infty$.
 - өтпелі процесс кезеңі $x(t) \rightarrow \infty$ ұмтылғандықтан, $T_p \rightarrow \infty$;
 - шамадан тыс реттеу $\sigma_1 = ((53-0,1) / 0,1) * 100\% = 53000$; $\sigma_2 = ((320-0) / 0) * 100\% = 320000$.
- (8) жүйесіне ұйытқу әсерін берсе жүйенің өтпелі процесі қалай өзгеретінін зерттейміз.



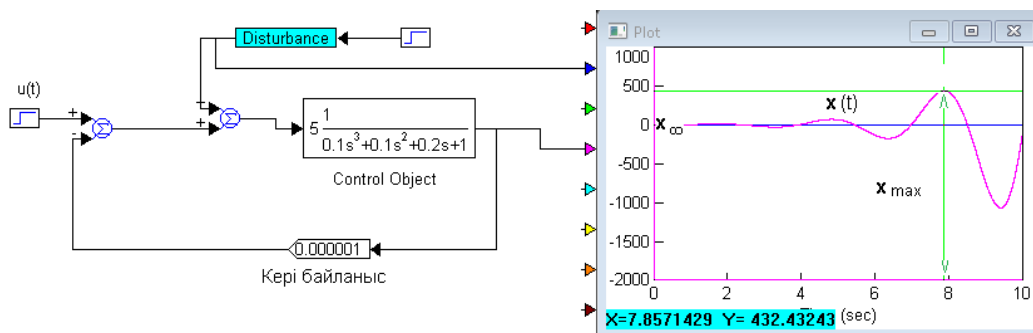
7-сурет. 1-ұйытқу берілгендегі БН-ң шығыс реакциясы

Ескерту – автормен құрастырылған

7-суретте 1-ұйытқу (8) берілгендегі БН-ң шығыс реакциясының графигі көрсетілген. Графикте БН шығыс реакциясы қанық қызылмен, ұйытқу көк сызықпен сызылған.

(8) БН-ң $t=0..10$; $\Delta=0.16$ тең және $x_0=0$ болғандағы және ұйытқу әсер етпегендегі динамикалық сипаттамаларын есептейміз:

- статикалық ауытқу $x_\infty = 0,1$;
- максималды ауытқу $x_{\max 1} = 57$; $x_{\max 2} = 311$; ... $x_{\max 10} \approx \infty$.
- өтпелі процесс кезеңі $x(t) \rightarrow \infty$ ұмтылғандықтан, $T_p \rightarrow \infty$;
- шамадан тыс реттеу $\sigma_1 = ((57-0,1) / 0,1) * 100\% = 57000$; $\sigma_2 = ((311-0)/0) * 100\% = 311000$.



8-сурет. 2-ұйытқу берілгендегі БН-ң шығыс реакциясы

Ескерту – автормен құрастырылған

8-суретте 2-ұйытқу берілгендегі БН-ң шығыс реакциясының графигі көрсетілген. Графикте БН шығыс реакциясы қанық қызылмен, ұйытқу көк сызықпен сызылған.

(8) БН-ң $t=0..10$; $\Delta=0.16$ тең және $x_0=0$ болғандағы және ұйытқу әсер етпегендегі динамикалық сипаттамаларын есептейміз:

- статикалық ауытқу $x_\infty = 0,1$;
- максималды ауытқу $x_{\max 1} = 75$; $x_{\max 2} = 432$; ... $x_{\max 10} = \infty$;
- өтпелі процесс кезеңі $x(t) \rightarrow \infty$ ұмтылғандықтан, $T_p \rightarrow \infty$;
- шамадан тыс реттеу $\sigma_1 = ((75-0,1) / 0,1) * 100\% = 75000$;
- $\sigma_2 = ((432-0,1) / 0,1) * 100\% = 432000$.

Сөйтіп, барлық нәтижелерді төмендегі кестеге қоямыз (1-кесте).

1-кесте. (6) және (8) БН-ң динамикалық сипаттамалары

Динамикалық сипаттамалар	(6) басқару нысаны	(8) басқару нысаны		
	0-дік және 0-дік емес бастапқы шарттарда	0-дік және 0-дік емес бастапқы шарттарда	1-ұйытқу әсері берілгенде	2-ұйытқу әсері берілгенде
Статикалық ауытқу x_∞	5	0,1	0,1	0,1
Максималды ауытқу x_{\max}	57; 358; $x_{\max} \rightarrow \infty$	53; 320; $x_{\max} \rightarrow \infty$	57; 311; $x_{\max} \rightarrow \infty$	75; 432; $x_{\max} \rightarrow \infty$
Өтпелі процесс кезеңі T_p	$T_p \rightarrow \infty$	$T_p \rightarrow \infty$	$T_p \rightarrow \infty$	$T_p \rightarrow \infty$
Шамадан тыс реттеу σ	1040; 7060; $\sigma \rightarrow \infty$	53000; 320000; $\sigma \rightarrow \infty$	57000; 311000; $\sigma \rightarrow \infty$	75000; 432000;

Ескерту – автормен құрастырылған

1-кестеден (6) басқару нысанына (БН) ұйытқу әсері берілмеген жағдайда оның статикалық ауытқуы 555-ке тең екені анықталады. Жүйе орныксыз болғандықтан, оның максималды ауытқуы, өтпелі процесс кезеңі және шамадан тыс реттеу мәндері шексіздікке ұмтылуда.

Егер (6) БН-ға теріс кері байланыс енгізіп, жүйені тұйық етіп түрлендірсек, оның динамикалық сипаттамаларының өзгеретін-өзгермейтінін тексердік. Алынған тұйық (8) жүйенің динамикалық сипаттамалары айтарлықтай өзгермеген. Яғни, ұйытқу берілмегенде, 1-ші ұйытқу әсері және 1-ші ұйытқу әсері берілгенде БН-ның статикалық ауытқуы 0,1-ге тең болып қала береді. Ал 1-ші максималды ауытқуы тиісінше 53, 57, және 75-ке өзгеріп, өтпелі процесс кезеңі $T_p \rightarrow \infty$, шамадан тыс реттеу мәндері 53000, 57000, және 75000-ға ұмтылып, $\sigma \rightarrow \infty$ жағдайына жетеді.

Зерттеу барысында қолданылған теориялық әдістердің жүйелердің өтпелі процестерін зерттеудегі тиімділігі дәлелденді. Қолданыстағы теориялық әдістердің қолданылуы басқару жүйелерін оңтайландыру мен олардың динамикалық сипаттамаларын толықтай бақылауға мүмкіндік берді.

Нәтижелердің практикалық маңызы зор. Олар көлік, энергетика, медицина және басқа да салалардағы басқару жүйелерін жобалау мен оңтайландыру процесінде қолдануға болады. Сонымен қатар, алынған мәліметтер динамикалық жүйелердің мінез-құлқына тереңірек түсінік қалыптастыру үшін қосымша зерттеулер жүргізудің қажеттілігін көрсетеді.

Нәтижелерді талқылау. Бұл зерттеудің нәтижелері кері байланыс механизмдерінің және динамикалық басқару жүйелерінде жүйе тұрақтылығын қамтамасыз етудегі басқару параметрін таңдаудың маңызды рөлін атап көрсетеді. Өтпелі процестерді, жүйе сезімталдығын және тұрақтылық факторларын терең талдау арқылы зерттеу басқару параметрлеріндегі дәл түзетулер жүйенің реакциясын айтарлықтай жақсартатынын көрсетті. Бұл әсіресе көлік, энергетика және денсаулық сақтау салаларында енгізілген өзгерістерге жылдам бейімделу қажет жүйелерде өте маңызды. Бұл түсініктер кері байланыс жүйені тұрақтандырып қана қоймайды, сонымен қатар шамадан тыс түсіруді азайтады және өтпелі уақытты азайтады, бұл басқару процесін тиімдірек етеді.

Зерттеу сонымен қатар кері байланыссыз динамикалық басқару жүйелеріндегі шектеулерді анықтайды, мұнда өтпелі процестер шамадан тыс асып кетуге, ұзақ орнату уақытына немесе тіпті тұрақсыздыққа әкелуі мүмкін. Мерзімді және дифференциалды ауытқуларды зерттеу динамикалық басқару жүйелерінің әртүрлі сыртқы әсерлерге қалай жауап беретінін көрсетеді. Нәтижелер кері байланысы бар жүйелер жүйені басқару бойынша бар теориялық негіздерге сәйкес келетін бұзылуларға көбірек төзімділік көрсететінін көрсетеді.

Бұл зерттеудің негізгі түйіні бірнеше домендерде оңтайландырылған динамикалық басқару әдістерін әлеуетті қолдану болып табылады. Денсаулық сақтау саласында, мысалы, адаптивті басқару жүйелері нақты, нақты уақыттағы жауаптарды қажет ететін медициналық құрылғылардағы жетістіктерге ықпал ете алады. Сол сияқты, энергетикалық жүйелерде оңтайландырылған басқару, әсіресе құбылмалы сұраныс жағдайында энергияны тарату желілеріндегі энергия тиімділігі мен тұрақтылығын арттыруы мүмкін.

Зерттеу сызықты емес және өте күрделі басқару орталарында жүйе тұрақтылығын арттыру бойынша болашақ зерттеулерге жол ашады. Осы зерттеуде пайдаланылған VisSIM сияқты кеңейтілген модельдеу және модельдеу құралдары басқару процестерін визуализациялау және нақтылау үшін практикалық тәсілді қамтамасыз етеді, әсіресе әртүрлі жағдайларда динамикалық жауаптарды бағалауда. Динамикалық жүйелерді талдаудың жетілдірілген теориялық әдістерін әзірлеу сенімді және бейімделгіш басқару тетіктеріне қатты сүйенетін секторларға пайда әкелетін басқару жүйесін жобалауда кеңірек

инновацияларға әкелуі мүмкін.

Бұл зерттеу, әсіресе тұрақтылық пен тиімділікті арттыру үшін сенімді кері байланыс тетіктерін жобалауда жан-жақты бақылау жүйесін талдаудың маңыздылығын атап көрсетеді. Зерттеу нәтижелері әртүрлі салаларда жүйені динамикалық оңтайландырудың алдыңғы қатарлы әдістері мен құралдарын әзірлеуге, нақты әлем қолданбаларында автоматтандырылған басқару жүйелерінің тұрақтылығын және бейімділігін арттыруға бағытталған болашақ жұмыс үшін негіз болады.

Қорытынды. Бұл ғылыми зерттеуде динамикалық реттеу жүйелерінің (АРЖ) тұрақтылығы мен тиімділігін бағалау, олардың өтпелі процестерін және орнықтылығын зерттеу мәселелері талданды. Жұмыс барысында жүйенің динамикалық сипаттамаларын есептеу және теориялық әдістерді қолдану арқылы басқару жүйесінің орнықтылығы мен сезімталдығын бағалау әдістемесі қарастырылды. Динамикалық жүйелердің қарастырылған модельдері мен олардың басқару процестерінің динамикасы арқылы зерттеу мақсаттары толық көлемде орындалды.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, жүйенің динамикалық сипаттамаларын бағалауда және өтпелі процестерді талдауда негізгі маңызды факторлардың бірі — жүйенің басқару параметрлерінің дұрыс таңдалуы. Жүйенің орнықтылығын қамтамасыз ету үшін кері байланыс механизмін енгізу қажеттілігі айқындалды. Әсіресе, өтпелі процестердің ұзақтығы мен амплитудасының шектеулі болуы және орнықтылықты жақсарту үшін кері байланыс коэффициенттерін реттеу маңыздылығын көрсетті.

Жұмыстың нәтижелері басқару жүйелерін жобалау мен оңтайландыру саласында кең қолдануға мүмкіндік береді. Атап айтқанда, динамикалық реттеу жүйелерін басқаруда алынған теориялық деректер мен практикалық нәтижелер, түрлі өнеркәсіп салаларында, әсіресе өндіріс, көлік, энергетика және медицина салаларында тиімді басқару әдістерін жетілдіруге ықпал ете алады. Сонымен қатар, орындылықты арттыру және жүйенің динамикалық ерекшеліктерін талдау жұмыстары одан әрі зерттеулер жүргізуді қажет етеді, себебі бұл әдістер мен нәтижелер нақты өндірістік жағдайларда қолдану үшін қосымша сынақтарды талап етеді.

Қорытындылай келе, зерттеу нәтижелері жүйенің динамикалық сипаттамаларын тереңірек зерттеу қажеттілігін және басқару жүйелерінің орнықтылығын жақсарту үшін жаңа теориялық әдістер мен құралдарды әзірлеудің маңыздылығын көрсетеді. Келешекте осы салада жасалатын зерттеулер осы әдістердің шынайы өндірістік және әлеуметтік контексте кеңінен қолданылуына мүмкіндік береді.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Әдебиеттер тізімі

- Плотников, С.А., Семенов, Д.М., & Фрадков, А.Л. (2021). Математическое моделирование систем управления. СПб: Университет ИТМО, 193 // Plotnikov, S.A., Semenov, D.M., & Fradkov, A.L. (2021). *Matematicheskoe modelirovanie sistem upravleniya*. SPb: Universitet ITMO, 193.
- Умарова, А.А., Абдикулова, З.К., & Умаров, А.А. (2024). Анализ динамических характеристик устойчивого объекта управления с возмущением. *Endless Light in Science*. – № 6(1). // Umarova, A. A., Abdikulova, Z.K., & Umarov, A.A. (2024). *Analiz dinamicheskikh kharakteristik ustoychivogo ob'ekta upravleniya s vozmushcheniem*. *Endless Light in Science*, №6(1).
- Мельникова, М. Л. (2018). Психология стресса: теория и практика: учебно-методическое пособие. Екатеринбург // Melnikova, M.L. (2018). *Psikhologiya stressa: teoriya i praktika: uchebno-metodicheskoe posobie*. Yekaterinburg.
- Умарова, А., & Умаров, А. (2023, Январь). State of psychological stress from the point of view of control theory. In II International Scientific Conference “The Modern Vector of the Development of Science”, Tokyo, Japan. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7560026> // Umarova, A., & Umarov, A. (2023, January). State of psychological stress from the point of view of control theory. In II International Scientific Conference «The Modern Vector of the Development of Science», Tokyo, Japan. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7560026>

- Астафьев, Л.И., & Лапшин, Э.В. (2018). Стабилизация системы автоматического регулирования с использованием комплекса VisSim. Труды международного симпозиума “Надежность и качество”, Вып. 1. // Astaf'ev, L.I., & Lapshin, E.V. (2018). Stabilizatsiya sistemy avtomaticheskogo regulirovaniya s ispol'zovaniem kompleksa VisSim. Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma
- Prokhorov, A., & Konik, L. (2019). Digital transformation: Analysis, trends, world experience. AlyansPrint. Datalab-NSU. (n.d.).
- Teichert, R. (2019). Digital transformation maturity: A systematic review of literature. *Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis*.
- Ashraf, M., Shiraz, M., Abbasi, A., & Albahli, S. (2022). Distributed application execution in fog computing: A taxonomy, challenges and future directions. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 34, 3887-3909. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2022.05.002>
- Shafiq, D. A., Jhanjhi, Z., & Abdullah, A. (2021). Load balancing techniques in cloud computing environment: A review. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 34(7), 3910-3933. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.02.007>
- Alibekkyzy, K., Wojcik, W., Vyacheslav, K., & Belginova, S. (2021, February 15). Robust data transfer paradigm based on VLC technologies. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 99(3).
- Алексеев, Д.М., Пливак, С.А., & Шумилин, А.С. (2017). Организация информационной безопасности в сетях предприятий на основе технологии VLC. *Международный студенческий научный вестник*, (4-4). Retrieved from <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=17412> // Alekseev, D.M., Plivak, S.A., & Shumilin, A.S. (2017). Organizatsiya informatsionnoy bezopasnosti v setyakh predpriyatiy na osnove tekhnologii VLC. *Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik*, (4-4). Retrieved from <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=17412>
- Цыкунов, А.М. (2007). Алгоритмы робастного управления с компенсацией ограниченных возмущений. *Автоматика и телемеханика*, (7), 103-115. // Tsykunov, A.M. (2007). Algoritmy robastnogo upravleniya s kompensatsiey ogranichennykh vozmushcheniy. *Avtomatika i telemekhanika*, (7), 103-115.
- Корнев, В. А., Сагидуллина, Г., & Кайсарулы, Т. (2020). Модели прогнозирования достоверности инструментальной клинической диагностики. *ТОО «ВКПК АРГО»*. // Kornev, V. A., Sagidullina, G., & Kaysaruly, T. (2020). Modeli prognozirovaniya dostovernosti instrumental'noy klinicheskoy diagnostiki. *ТОО «ВКПК АРГО»*.
- Балабуха, Н.П., Коняев, Д.А., & Шапкина, Н.Е. (2022). Математическое моделирование двухпозиционной ЭПР объектов на основе электромагнитного поля в ближней зоне. *Вестник Московского университета*, (3), 3-13. // Balabukha, N. P., Konyaev, D. A., & Shapkina, N. E. (2022). Matematicheskoe modelirovanie dvukhpozitsionnoy EPR ob"ektov na osnove elektromagnitnogo polya v blizhney zone. *Vestnik Moskovskogo universiteta*, (3), 3-13.
- Cirianni, F., Monterosso, C., Panuccio, P., & Rindone, C. (2018). A review methodology of sustainable urban mobility plans: Objectives and actions to promote cycling and pedestrian mobility. In Bisello, A., Vettorato, D., Laconte, P., & Costa, S. (Eds.), *Smart and sustainable planning for cities and regions (SSPCR 2017)*. Green Energy and Technology. Springer, Cham.

Information about authors

Kazbekova Gulnur – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, c. Turkestan, gulnur.kazbekova@ayu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-2756-7926>, 8(775)1333354

Umarov Amantur – PhD докторы, Doctor of PhD, Rudny Industrial University, c. Rudny, uaa_77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4034-9915>

Aben Arypzhан Baktiarovich – doctoral student, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, c. Turkestan arypzhan.aben@ayu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-8534-3288>

Zhunissoв Nurseit Mukhidinovich – PhD, Khoja Ahmed Yasawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan, nurseit.zhunissoв@ayu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-6531-9408>

Ismagulova Zhuldyz Saelkhanovna – Candidate of technical sciences, Associate professor. ALT university named after M. Tynysbayev, Almaty, Kazakhstan, zhu.ismagulova@alt.edu.kz, ORCID 0000-0002-0979-0243
