

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 4 (2024)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/FYZZ1289>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алкасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Омарова А. Р.	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

<https://doi.org/10.48081/ENJV5053>***А. Т. Кишубаева¹, Н. М. Ахметжан², С. Б. Назымбек³**^{1,2,3}Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1125-8696>²ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4164-7590>³ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5039-2305>*e-mail: Altynai_999@mail.ru

БЕЛГІСІЗДІК ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ БОЛЖАМДЫ БАСҚАРУ МОДЕЛЬДЕРІН ТАЛДАУ

Мақалада белгісіздік жағдайында болжамды басқару модельдері зерттеледі. Зерттеу өндірістік процестердің тиімділігін арттыруға және кездейсоқтықтың әсерін азайтуға бағытталған. Зерттеудің негізгі мәселесі – кездейсоқ факторлардың және орта параметрлерінің өзгеруі жайында басқару жүйелерінің тиімділігін қамтамасыз ету. Зерттеу сыртқы әсер факторларының өзгерісін ескере отырып, басқару стратегияларын оңтайландыру жолдарын іздеуге бағытталған. Зерттеу барысында тиімділікті арттыру үшін математикалық модельдер мен алгоритмдер қолданылып, белгісіздік жағдайындағы басқару жүйесі тиімділігі қарастырылды. Зерттеу нәтижелері басқару жүйелерінің параметрлеріне, өзгерістеріне қалай жауап беретінін көрсетеді. Бұл нәтижелер өндірістік және инженерлік жүйелерде басқару процестерін оңтайландыруға мүмкіндік береді. Зерттеу жұмысымыз басқару жүйелерінде белгісіздік жағдайларында болжамды басқарудың жаңа тәсілдерін ұсынды. Бұл өндірістік және техникалық процестерді басқарудың тиімділігін арттыруға бағытталған жаңа нәтижелерге әкелді. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, белгісіздік жағдайында басқару жүйелерінің бейімділігі мен икемділігін арттыру маңызды болып табылады. Осы арқылы басқару жүйелерінің сыртқы өзгерістерге жылдам әрі тиімді жауап беру қабілеті жоғарылайды. Мұндай зерттеулердің өндірістік процестердің тұрақтылығы мен тиімділігін арттыруда маңызы зор, себебі олар нақты уақытта стратегиялық шешім қабылдауға мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: болжамды басқару, стохастикалық жүйелер, робастикалық жүйелер, белгісіздік жағдайы, жұмсақ шектеулер, қатты шектеулер.

Кіріспе

Болжамды басқару – бұл жүйенің алдағы қасиеттерін болжауға негізделген басқару әдісі. Ағымдағы қателіктерге жауап берудің орнына, болжамды басқару болашақ оқиғаларды белсенді түрде болжайды және белгілі бір сапа критерийін оңтайландыру үшін басқару әсерлерін жоспарлайды[1]. Өндірісте болжамды басқару жабдықтың істен шығуын болжау, өндірістік процестерді оңтайландыру және тауарлы-материалдық құндылықтарды басқару үшін қолданылады. Бұл тоқтап қалуды азайтуға және өндіріс тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Шектеулердің әсері кейбір нақты жүйелерде физикалық шектеулер болады(мысалы жылдамдық шектеуі, температура, т.б). Модельдік болжамды басқару оны басқару сигнал кезінде анықтауға мүмкіндік береді.

Модельді болжамды басқару басты параметрі болып басқару мүмкіндігі(көкжиегі) болып табылады. Ол біздің математикалық модельдің қаншалықты ұзаққа болжам жасалатыны, қаншалықты басқару әрекеті сақталатыны жайлы ақпарат береді.

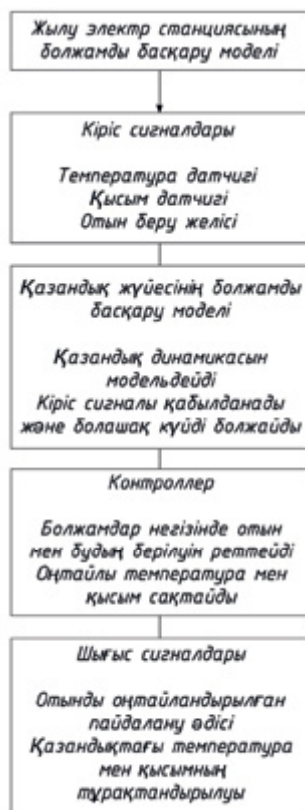
Болжамды басқару процессі:

Ағымдағы жүйенің күйі туралы ақпарат алу.

Басқару әсерінің шектеуін, сипаттамасын болжау үшін жүйе моделін пайдалану.

Жүйеге оңтайлы басқару әсерінің бірінші мәнін қолдану.

Цикл қайталанады, өйткені жаңа өлшемдер келіп, болжам жаңартылады.



Сурет 1 – Жылу электр станциясындағы болжамды басқару

Мәліметтердегі шу мен дәлсіздіктер жүйені басқарудың дәлдігіне айтарлықтай әсер ететін маңызды факторлар болып табылады. Бұл құбылыстар датчиктермен олардан келетін сигнал қателіктерімен немесе кездейсоқ ауытқулармен немесе жүйеге әсер ететін күтпеген сыртқы әсерлерге тәуелді.

Болжамды басқару шектеулер мен белгісіздіктерді ескере отырып, күрделі жүйелерді тиімді басқару қабілетіне байланысты әртүрлі салаларда кеңінен қолданылады. Мысалы, көлікті жолақта ұстау жүйелерінде болжамды басқару моделі көліктің траекториясын болжауға және қауіпсіз қозғалысты қамтамасыз ете отырып, менгерікті(руль) басқаруды уақытымен реттеуге мүмкіндік береді. Сондай-ақ, болжамды басқару моделі автономды көліктерде кеңінен қолданылады, мұнда жүйе көптеген датчиктердің (лидар,

камералар және т.б.) деректеріне негізделген қозғалысты басқарады және динамикалық жағдайларға бейімделуге және төтенше жағдайлардан аулақ болуға көмектесетін жол жағдайындағы ықтимал өзгерістерге реакцияларды болжайды.

Стохастикалық белгісіздік жүйенің мәндері немесе сыртқы факторлар кездейсоқ өзгерген жағдайларда пайда болады. Бұл өзгерістерді ықтималдық теориясы мен статистика арқылы анықтауға мүмкіндік бар. Мысалы: ауа-райының күтпеген өзгеруі, шикізат сапасының өзгеруі, шикізат тасу барысындағы ауытқу. Стохастикалық модельдеу экономикалық және қаржылық модельдерде жиі қолданылады, өйткені олар нарықтық жағдайдың өзгеруі, саяси тәуекелдер және дәл болжау мүмкін емес басқа факторлар сияқты кездейсоқ факторларға байланысты жағдайдың дамуының әртүрлі нұсқаларын болжай алады.

Детерминирленген белгісіздік - бұл басқару процестеріне айтарлықтай әсер етуі мүмкін жүйедегі немесе ортадағы өзгерістер параметрлері белгілі жағдай. Бұл өзгерістер кездейсоқ емес, олар жоспар бойынша немесе белгілі бір заңдылықтарға байланысты болады[1].

Қоршаған орта параметрлерінің(температура, ылғалдылық, атмосфералық қысым, т.б.) басқару жүйелеріне тікелей әсер етіп, басқару жүйесінің тұрақтылығы мен тиімділігіне ықпал етеді. Автоматтандырылған жүйелердің жұмысы күрделі табиғи және техногендік факторларға тәуелді, сол үшін қоршаған орта параметрлерінің өзгерістерін ескерген өте маңызды. Қоршаған ортаның ластануы шаң түтін, химиялық заттар сияқты ластаушы элементтер де басқару жұмысына кері әсерін тигізеді.

Температураның ауытқуы автоматтандырылған жүйелердің жұмыс тиімділігіне едәуір әсер етеді. Зауыт ішіндегі датчиктермен басқару элементтері белгілі температуралық шектерде жұмыс жасауға арналған, егер ол ауытқып кетсе жұмыс өнімділігі төмендеп, тіпті істен шығуы мүмкін.

Ылғалдылықтың әсері әсіресе жоғары ылғалдылық сыртта орналасқан құрылғыларға конденсацияның пайда болуына алып келеді, ол өз жағдайында сымдардың қысқа тұйықталуына немесе коррозияға ұшырайды.

Құрылғы бөлшектерінің тозуы, электрлік құрылғылардың істен шығуы немесе бағдарламалық қателер күтпеген жағдайда орын алуы. Мұндай факторларды толық болжау мүмкін емес, жүйе ішіндегі ақауларды анықтау және қалпына келтіру механизмдері болу керек. Өндірістік желілерде конвейер таспасының моторы кенеттен бұзылып қалуы мүмкін, бұл бүкіл өндіріс процесін тоқтатады. Бұл жағдайларда жүйенің қосымша моторлары немесе диагностикалық болжау құрылғылар болуы қажет.

Материалдар мен әдістері

Болжамды басқару жүйелердің басқарылуының тиімділігін арттыру мақсатында болашақтағы оқиғаларды алдын-ала болжауға негізделеді. Мұндай басқару стратегияларының дәстүрлі модельдері күрделі жүйелердің динамикасын математикалық тұрғыда кескіндеп, болашақтағы процестерді болжауға мүмкіндік береді.

Динамикалық модельдер – жүйенің маусым бойы өзгеруін сипаттайтын модельдер. Бұл модельдер жүйенің ағымдағы күйіне сүйене отырып, оның келешектегі өзгерістерін болжайды[2]. Жүйенің динамикасы әрбір мерзім аралығында нақтылы функциялармен сипатталады. Дәл осындай модельдер, әдетте, келесі жағдайларда қолданылады: физикалық процестерді болжауда (мәселен, температураның өзгеруі, химиялық реакциялардың жүруі.) Өндірістік процестерді басқаруда, өнім шығару жылдамдығын, ресурстарды тұтынуды не энергия шығынын есептеуде. Динамикалық модельдер жүйедегі өзгерістерді нақтылап қана қоймай, алдағы ауытқуларды алдын-ала есептеуге мүмкіндік береді[2]. Артықшылығы болашақ өзгерістерді нақты болжауға қабілетті. Уақыттық динамиканы есепке ала отырып, процестерді оңтайландыру мүмкіндігі бар. Мысалы қазандықта берілетін газ мөлшерін немесе су айналымын динамикалық модельдер арқылы оңтайландыру жүйенің күйіне сәйкес автоматты түрде реттеліп отырады.

Өзгеретін ортада жүйенің параметрлері уақыт өте келе өзгеріп, жүйені басқаруды қиындатады. Өзгерістерді болжау үшін және икемделу үшін ақпараттарды үнемі өңдеп отыратын адаптивті модельдер қолданылады. Адаптивті модельдер жүйенің жұмыс параметрлерін үздіксіз бақылап, өзгерістерге икемделе алады[3][4][5]. Үнемі өзгеріп отыратындықтан статикалық модельдерге бейімделе алмайды. Динамикалық модельге де икемсіз келеді параметрлер өзгерсе икемділігі төмендейді.

Жүйенің математикалық моделі жүйенің динамикасын сипаттайтын күй теңдеулері ретінде көрсетіледі. Математикалық модель басқару әсеріне жауап ретінде жүйенің шығысының алдын алуға мүмкіндік береді.

Белгісіздік ортасындағы басқару жүйесін қарастырайық. Белгісіздік ортасының әсері жүйеге шектеулер орнатады. Қоршаған ортаның күйін бағалау үшін бақылау жүргізу барысы жүйенің күйі мен кіріс мәндеріне және өлшеу қателіктеріне тәуелді болады[2]. Бұндай бақылау жүргізу әдісі стохастикалық талдауға негізделеді.

Автоматты басқару жүйесі орнатылған көлік күйінің теңдеуі

$$x(t+1) = x(t) + v(t) * \Delta t + \frac{1}{2} a(t) * \Delta t^2$$

$$x_0 = x(t)$$

, мұндағы $x(t)$ уақыт t кезіндегі автомобильдің күйі; $v(t)$ уақыт t кезіндегі автомобильдің жылдамдығы; $a(t)$ уақыт t кезіндегі көлік үдеуі (басқарылатын шама); Δt уақыт мәнінің өзгеру қадамы.

$$v(t) = v_0(x(t))$$

$t+1$ болған кезде көліктің күйі

$$x_0 = x(t+1)$$

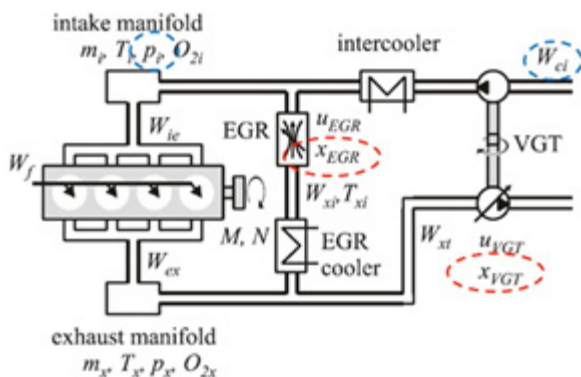
Жолда пайда болуы мүмкін жаяу жүргіншілер, басқа көліктер немесе тағы да басқа объектілер кездейсоқ кедергілер болып табылады. Кедергінің пайда болу ықтималдығын сирек оқиғалардың таралу заңы – Пуассон заңымен сипатталады:

$$P(k) = \lambda e^{-\lambda}; \lambda = \frac{0.05}{\text{метр}}$$

, мұндағы кедергіні анықтау заңы; кездейсоқ шаманың математикалық күтімі (белгіленген қашықтық аралығындағы оқиғалардың орташа саны); натурал логарифмнің негізі.

Яғни қоршаған орта немесе басқада күйі өзгеріске ұшырайтын объектілерге негізделген теңдеу құрылады.

Дизельді қозғалтқыштың ауа жүйесін басқару кезінде робастикалық әдісті қолдану.



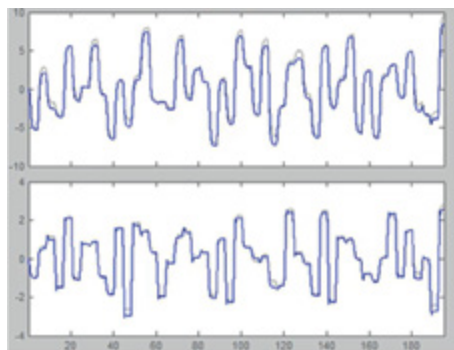
Сурет 2 – Дизельді қозғалтқыштың ауа жүйесін басқару сұлбасы.

Мұндағы EGR (Exhaust Gas Recirculation) - пайдаланылған газды қайта өңдеу жүйесі; uEGR – EGR жүйесін басқару сигналы, xEGR - EGR жүйесінің күйі; VGT (Variable-geometry turbocharger) – айнымалы геометриялы турбокомпрессор; uVGT – VGT компрессорын басқару сигналы, xVGT - VGT компрессорының күйі, Wf – жанармай шығыны, Wci – компрессор кірісіндегі ауа шығыны, Wie – қозғалтқыш кірісіндегі ауа шығыны, Wex – пайдаланылған газдар шығыны, Wxi – қайта өңдеуден өткен пайдаланылған газдар шығыны, Txi – қайта өңдеуден өткен пайдаланылған газдар температурасы, Wxt – турбинадан өтетін ауа шығыны; m_i , T_i , p_i , O_{2i} – кіріс коллекторына келетін масса, температура, қысым және оттегі мөлшері; m_x , T_x , p_x , O_{2x} – шығыс коллекторына келетін масса, температура, қысым және оттегі мөлшері; M – қозғалтқыш моменті, N – қозғалтқыштың айналу жылдамдығы.

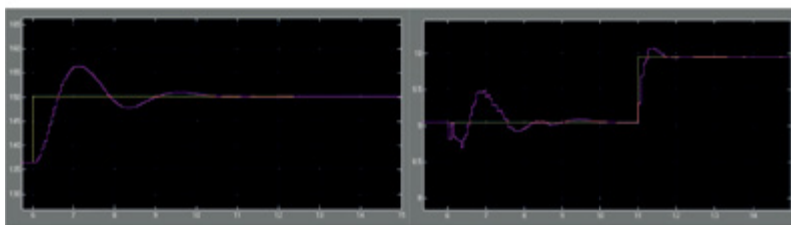
Дизельді қозғалтқыштың ауа жүйесін басқару кезінде оптималды қысым көрсеткіші(p_i) мен VGT компрессорының ауа шығыны көрсеткішін(W_{ci}) алу мақсаты қойылады. Бұл мақсатта басқарылатын айнымалылардың мәнін орнату жүзеге асырылады. Ол үшін қозғалтқыштың моменті M мен қозғалтқыштың айналу жылдамдығы N мәндерін беру орындалады. Яғни M мен N басқару мәндері, ал p_i мен W_{ci} шығыс мәндері болады.

Нәтижелер және талқылау

$M=160\text{Нм}$ және $N=2025\text{айн/мин}$ болатын қозғалтқыштың жұмыс режимін қарастырайық. Басқару жүйесі керекті мәндерге орнатылу уақытын зерттеу үшін 10 % - ға дейін секіріс(скачок) жасайтын бір сатылы сигнал беріледі.



Сурет 3 – Шығыс мәндерінің жауап беру уақытын салыстыру.



Сурет 4 – Қысымның және VGT компрессорындағы ауа шығынының бір сатылы сигнал берілген кездегі өтпелі функциясы.

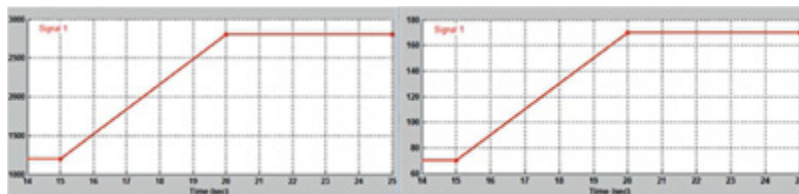
Бұл өтпелі функциялардан қысым көрсеткіші 6,5 секунд аралығында, ал ауа шығыны көрсеткішінің 2,5 секунд аралығында орнатылатыны бақыланады.

Дизельді қозғалтқыштың ауа жүйесі үшін тоғыз жұмыс режимдері анықталған.

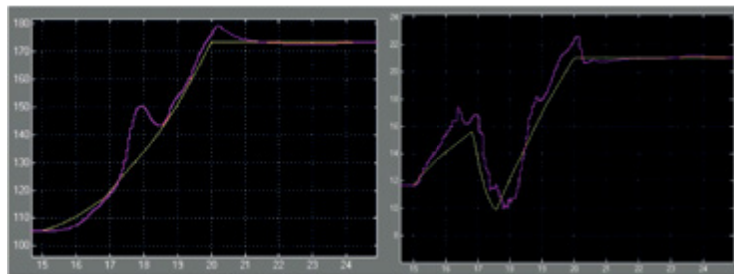
Кестел – Дизельді қозғалтқыштың ауа жүйесінің жұмыс режимдері.

Төмен (82 Нм)		Қозғалтқыш моменті		
		Орташа (160 Нм)	Жоғары (238 Нм)	
Қозғалтқыштың айналу жылдамдығы	Төмен (1290 айн/мин)	1	2	3
	Орташа (2025 айн/мин)	4	5	6
	Жоғары (2760 айн/мин)	7	8	9

Қозғалтқыштың айналу жылдамдығы 1200 айн/мин-тан 2800 айн/мин-қа дейін 5 секундта және қозғалтқыш моменті 70 Нм-ден 170 Нм-ге дейін 5 секундта өзгертін жағдай орнатылады.



Сурет 5 – Қозғалтқыштың айналу жылдамдығы мен моментінің жұмыс режимдеріне сай мәндерінің өсуі.



Сурет 6 – Қозғалтқыштың динамикалық режимде жұмысы кезіндегі қысым көрсеткішін және VGT компрессорынның ауа шығынының басқару графигі.

Қорытынды

Белгісіздік жағдайында оқиғалардың ықтималдығы анық емес болған кезде, стохастикалық модельдер тиімді құралға айналады[1][4]. Олар әртүрлі сценарийлерде туындауы мүмкін нәтижелерді бағалап, тәуекелдерді сандық түрде болжайды[4]. Белгісіздікті басқару үшін статистикалық және математикалық модельдер арқылы тәуекелдер мен ықтимал шығындарды нақтырақ бағалау мүмкіндігі артады. Осының нәтижесінде ұйымдар басқару стратегияларын тәуекел деңгейіне қарай икемдейді. Бірақ бұл әдістер болжау аймағының ауқымы, белгісіздіктерді есепке алу интервалы, материалдық шығын және т.б. шектеулер әсеріне тәуелділігін есепке алу тиімді емес жағдайлар орын алуы мүмкін.

Белгісіздік жағдайында болжамды басқару модельдерінің даму перспективалары деректерді терең талдау, жасанды интеллект пен автоматтандыру, сценарийлік жоспарлау[5] және икемділікке негізделген модельдерге байланысты болады. Ұйымдар жаңа технологиялар мен стратегиялық әдістерді қолдану арқылы болашақтағы өзгерістерге бейімделіп, тұрақтылықты қамтамасыз ете алады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Bonzanini, A. D. Mesbah, A. Di Cairano, S.** Perception-Aware Chance-Constrained Model Predictive Control for Uncertain Environments. – MITSUBISHI ELECTRIC RESEARCH LABORATORIES-2021, 8 p. <https://doi.org/10.23919/acc50511.2021.9483203> _

2 **Erkan, K. Joshua, P.** Robust Model Predictive Control of Systems by Modeling Mismatched Uncertain. – Science Direct IFAC-PapersOnLine 49-18 (2016) 265–269, 5 p. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.175>

3 **Rohan, S. James, H. Spencer, M. R. Marco, P.** Adaptive Robust Model Predictive Control via Uncertainty Cancellation. – LOGO GENERIC COLORIZED JOURNAL – 2017, 16 p. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2104.08261>

4 **Ahmed, A. John, L.** Adaptive learning-based model predictive control for uncertain interconnected systems: A set membership identification approach. – Science Direct Automatica Volume 171, January 2025, 111943, 9 p. <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2024.111943>

5 **Lorenzo, F. Georg, S. Marko, T. Manfred, M.** Scenario and Adaptive Model Predictive Control of Uncertain Systems. – Science Direct IFAC-PapersOnLine 48–23 (2015) 352–359, 8p. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.11.305>

6 **Philipp, B. Taouba, J. Torsten, L. Matthias, A. M.** Disturbance feedback-based model predictive control in uncertain dynamic environments. IFAC-PapersOnLine – Volume 58, Issue 18, 2024, P. 146–152. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.09.023>

7 **Юнусова, С. Т. Измайлова, Р. Н. Мамиров, У. Ф.** Алгоритм синтеза прогнозирующего управления электромеханическим объектом /. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2016. – № 3 (107). – С. 238-241. – <https://moluch.ru/archive/107/25623> (Дата обращения: 30.10.2024).

8 **Ugo, R. Xiaojing, Z. Francesco, B.** Data-Driven Predictive Control for Autonomous Systems. – Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems – Volume 1, – 2018, – 28 p. <https://doi.org/10.1146/annurev-control-060117-105215>

9 **Целигоров, Н. А. Целигорова, Е. Н. Мафура, Г. В.** Математические модели неопределённости систем управления и методы, используемые для их исследования. Научный журнал Инженерный вестник Дона Номер 4 (часть 2), 2012 г. – <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskie-modeli-neopredelyonnostey-sistem-upravleniya-i-metody-ispolzuemye-dlya-ih-issledovaniya>

10 **Abhishek, D.** Adaptive Model Predictive Control For Uncertain LTI System With State and Input Constraints. – Indian Institute of Technology Delhi September 2021, 138 p. – https://web.iitd.ac.in/~sbhasin/docs/thesis_abhishek.pdf

REFERENCES

1 **Bonzanini, A.D. Mesbah, A. Di Cairano, S.** Perception-Aware Chance-Constrained Model Predictive Control for Uncertain Environments. - MITSUBISHI

ELECTRIC RESEARCH LABORATORIES-2021, 8 p. <https://doi.org/10.23919/acc50511.2021.9483203>

2 **Erkan, K. Joshua, P.** Robust Model Predictive Control of Systems by Modeling Mismatched Uncertain. – Science Direct IFAC-PapersOnLine 49-18 (2016) 265–269, 5 P. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.175>

3 **Rohan, S. James, H. Spencer, M. R. Marco, P.** Adaptive Robust Model Predictive Control via Uncertainty Cancellation. – LOGO GENERIC COLORIZED JOURNAL – 2017, 16 P. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2104.08261>

4 **Ahmed, A. John, L.** Adaptive learning-based model predictive control for uncertain interconnected systems: A set membership identification approach. – Science Direct Automatica Volume 171, January 2025, 111943, 9 P. <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2024.111943>

5 **Lorenzo, F. Georg, S. Marko, T. Manfred, M.** Scenario and Adaptive Model Predictive Control of Uncertain Systems. – Science Direct IFAC-PapersOnLine 48-23 (2015) 352–359, 8 P. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.11.305>

6 **Philipp, B. Tauba, J. Torsten, L. Matthias, A. M.** Disturbance feedback-based model predictive control in uncertain dynamic environments. IFAC-PapersOnLine Volume 58, Issue 18, 2024, Pages 146-152. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.09.023>

7 **Yunusova, S. T. Izmailova, R. N. Mamirov, U. F.** Algoritm sinteza prognozirushego upravlenie electromechanicheskim obiekтом [Algorithm for synthesis of predictive control of an electromechanical object] — Molodoi uchenyi — 2016. — № 3 (107). — P. 238–241. <https://moluch.ru/archive/107/25623> (access date: 10/30/2024).

8 **Ugo, R. Xiaojing, Z. Francesco, B.** Data-Driven Predictive Control for Autonomous Systems. – Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems Volume 1, 2018, 28 p. <https://doi.org/10.1146/annurev-control-060117-105215>

9 **Tseligorov, N.A. Tseligorova, E.N. Mafura, G.V.** Matematicheskie modeli neopredelonnestei system upravlenie i metody, ispolzuemye dlia ih isledovania. [Mathematical models of control system uncertainties and methods used to study them.] Nauchnyi jurnal Injenernyi vestnik Dona Nomer 4 (chast 2) 2012 g.) <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskie-modeli-neopredelonyonnostey-sistem-upravleniya-i-metody-ispolzuemye-dlya-ih-issledovaniya>

10 **Abhishek, D.** Adaptive Model Predictive Control For Uncertain LTI System With State and Input Constraints. – Indian Institute of Technology Delhi September 2021, 138 p. https://web.iitd.ac.in/~sbhasin/docs/thesis_abhishek.pdf

25.09.24 ж. баспаға түсті.

01.11.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

*A. T. Kishubaeva¹, N. M. Ahmetzhan², S. B. Nazymbek³^{1,2,3}L. N. Gumilev Eurasian National University,

Republic of Kazakhstan, Astana.

Received 25.09.24

Received in revised form 01.11.24

Accepted for publication 04.12.24

ANALYSIS OF PREDICTIVE MANAGEMENT MODELS UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY

The article examines models of predictive management in conditions of uncertainty. The research is aimed at improving the efficiency of production processes and reducing the impact of randomness. The main problem of the study is to ensure the effectiveness of control systems in relation to changes in random factors and environmental parameters. The research is aimed at finding ways to optimize management strategies, taking into account changes in external factors of influence. In the course of the study, mathematical models and algorithms were used to increase efficiency, and the features of the control system in conditions of uncertainty were considered. The results of the study show how they react to parameters and changes in control systems. These results make it possible to optimize management processes in production and engineering systems. Our research work has introduced new approaches to predictive management in conditions of uncertainty in management systems. This has led to new results aimed at improving the efficiency of production and technical process management. The results of the study show that in conditions of uncertainty, it is important to increase the adaptability and flexibility of control systems. This increases the ability of control systems to respond quickly and effectively to external changes. Such research is of great importance for improving the sustainability and efficiency of production processes, as it allows you to make strategic decisions in real time.

Keywords: predictive control, stochastic system, robust system, uncertainty, soft constraints, hard constraints.

*А. Т. Кишубаева¹, Н. М. Ахметжан², С. Б. Назымбек³

^{1,2,3}Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева,

Республика Казахстан, г. Астана.

Поступило в редакцию 25.09.24

Поступило с исправлениями 01.11.24

Принято в печать 04.12.24

АНАЛИЗ ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

В статье исследуются модели прогнозного управления в условиях неопределенности. Исследование направлено на повышение эффективности производственных процессов и уменьшение влияния случайности. Основная проблема исследования-обеспечение эффективности систем управления в отношении изменения случайных факторов и параметров среды. Исследование направлено на поиск путей оптимизации стратегий управления с учетом изменения внешних факторов воздействия. В ходе исследования были использованы математические модели и алгоритмы для повышения эффективности, рассмотрены особенности системы управления в условиях неопределенности. Результаты исследования показывают, как реагируют на параметры, изменения систем управления. Эти результаты позволяют оптимизировать процессы управления в производственных и инженерных системах. Наша исследовательская работа представила новые подходы к прогнозному управлению в условиях неопределенности в системах управления. Это привело к новым результатам, направленным на повышение эффективности управления производственными и техническими процессами. Результаты исследования показывают, что в условиях неопределенности важно повысить адаптивность и гибкость систем управления. Благодаря этому повышается способность систем управления быстро и эффективно реагировать на внешние изменения. Такие исследования имеют большое значение для повышения устойчивости и эффективности производственных процессов, поскольку позволяют принимать стратегические решения в режиме реального времени.

Ключевые слова: предсказательное управление, стохастические системы, робастные системы, неопределенность, мягкие ограничения, жесткие ограничения.

Теруге 04.12.2024 ж. жіберілді. Басуға 30.12.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4317

Сдано в набор 04.12.2024 г. Подписано в печать 30.12.2024 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4317

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz