



УДК 621

RESEARCH ON THE AIR CONDITIONING CONTROL SYSTEM IN THE CAB OF ROAD VEHICLES

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ В КАБІНІ ДОРОЖНІХ МАШИН

Binkovska A.V./Біньковська А.В.*c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-9788-4321

Tokar Y.P./Токар Є.П.*master's student/ магістр***Dudnyk O.V./Дудник О.В.***graduate student /випускник**Kharkiv National Automobile and Highway University,**Kharkiv, Yaroslava Mudrogo, 25, 61002**Харківський Національний Автомобільно-Дорожній Університет,**м. Харків, Ярослава Мудрого, 25, 61002*

Анотація: У роботі розглядаються конструктивні та експлуатаційні принципи систем кондиціонування повітря та регулювання мікроклімату в кабінах дорожньо-будівельної техніки. Розроблено структурну схему. Особлива увага приділена синтезу системи управління кондиціонером за допомогою MATLAB + Simulink. Розроблена система забезпечує належне функціонування в режимах відстеження, як без збурень, так і з збуреннями в умовах стабілізації температури. Результати проведеного дослідження показали, що введення інтегральної складової в закон управління при збереженні коливального характеру процесу зменшує постійну похибку, а диференціальна складова пригнічує коливання і забезпечує аперіодичний перехідний процес.

Ключові слова: мікроклімат, кондиціонер, система керування, моделювання, стійкість, зворотний зв'язок, обурення, система стабілізація, слідкуюча система

Вступ.

Мікроклімат в салоні дорожньо-будівельних машин, таких як екскаватори, бульдозери, асфальтоукладальники і грейдери, також відіграє важливу роль в забезпеченні комфорту і ефективності роботи операторів як і в легкових автомобілях і автобусах. Ці машини часто експлуатуються в складних умовах, що пред'являє особливі вимоги до мікроклімату.

Мікроклімат в салоні дорожньо-будівельних машин значно впливає на продуктивність і безпеку операторів. Ефективні системи керування температурою, вологістю і вентиляцією, а також фільтрація повітря і зниження рівня шуму грають ключову роль в створенні комфортного робочого середовища. Майбутні технології можуть зосередитися на інтеграції більше просунутих систем моніторингу і керування, які враховують індивідуальні



переваги операторів і умови, що змінюються, на будівельних майданчиках [1].

Мікроклімат в кабіні дорожньо-будівельних машин - це багатогранна проблема, яка вимагає комплексного підходу до рішення. Впровадження інноваційних технологій, увага до психологічних аспектів, стандартизація умов праці і турбота про екологію створюють основу для безпечнішого і комфортнішого робочого середовища. Майбутнє в цій області обіцяє багато цікавих і корисних рішень, сприяючих не лише підвищенню ефективності роботи, але і поліпшенню якості життя операторів на будівельних майданчиках.

Мікроклімат в кабіні дорожньо-будівельних машин є комплексним явищем, від якого залежить не лише комфорт, але і продуктивність і безпека операторів. Сучасні технології і підходи до керування мікрокліматом можуть значно поліпшити умови праці на будівельних майданчиках. Приділення уваги усім аспектам мікроклімату - від температури і вологості до шуму і забруднення - є необхідним кроком до створення ефективного і безпечного робочого середовища, сприяючої максимальної продуктивності і благополуччя співробітників.

Клімат-контроль і системи кондиціонування повітря в дорожньо-будівельних машинах відіграють важливу роль в забезпеченні комфорту і безпеки операторів. Оператори частенько працюють в екстремальних умовах - при високих або низьких температурах, високій запиленій або вологості. Непідходящий мікроклімат в кабіні може привести до зниження концентрації, втоми і, як наслідок, підвищення ризику аварійних ситуацій.

Основний текст.

Під керуванням кондиціонером мають на увазі підтримку кліматичного режиму постійним або таким, що міняється за певними законами, що задаються сигналами керування. Окремий випадок керування, коли регульовані параметри підтримуються незмінними, називається стабілізацією; при цьому система керування працює в режимі стабілізації.

В якості регулюючих параметрів для керування кондиціонером використовуються відхилення параметрів середовища в кабіні автомобіля



(температури, вологості, змісту пилу) від заданих значень. Для керування кондиціонером застосовуються замкнуті системи керування, що забезпечують необхідну точність регулювання.

Структурні особливості системи керування визначаються її законом керування. Під законом керування мається на увазі залежність вихідного сигналу виконавчого механізму від сигналу, що управляє, який формується в пристрої, що управляє, і складається з сигналів, що поступають від чутливих елементів, зворотних зв'язків і датчиків режимів роботи кондиціонера. У реальних системах із-за динамічних погрішностей їх елементів зв'язок між вихідним сигналом і сигналом керування відрізняється від необхідного закону керування. Надалі вважатимемо, що необхідний закон керування реалізується в системі з належною точністю.

Головним завданням теорії автоматичного керування є вибір структури сигналу, що управляє, забезпечує технічну реалізацію необхідного закону керування, а також вибір передатних чисел пристрою, що управляє, що забезпечують отримання заданої якості перехідного процесу. При цьому початковими даними є динамічні властивості кондиціонера як регульованого об'єкту, вимоги до якості перехідного процесу і вимоги простоти системи керування.

Основний метод рішення цієї задачі - дослідження схеми замкнутої системи кондиціонування і вибір оптимальних параметрів пристрою, що управляє, що забезпечують отримання необхідної якості перехідного процесу.

Для дослідження системи керування скористаємося замкнутою системою керування кондиціонером, в яку входять, окрім самого кондиціонера, датчики і пристрій, що управляє. Диференціальні рівняння пристрою, що управляє, якщо не враховувати динамічних погрішностей його елементів, співпадають із співвідношенням, що виражає закон керування.

Якщо під сигналом мати на увазі суму усіх сигналів, що утворюються в елементах до виконавчого механізму, що управляє, то для ідеальної(що не має динамічних погрішностей) системи керування можна написати:



$$T=F(U) \quad (1)$$

де T - вихідна координата кондиціонера(температура);

$F(U)$ - відома функція сигналу U , що управляє.

Сигнал U , що управляє, зазвичай включає сигнали, пропорційні регульованим величинам і їх похідним, сигнали від зворотних зв'язків, програмних механізмів, задатчиков і т. д.

У окремих випадках функція $F(U)$ може бути як лінійною, так і нелінійною. Якщо функція $F(U)$ лінійна, то система керування називається лінійною; при нелінійній функції $F(U)$ система керування буде нелінійною.

Вираження (1) характеризує закон керування ідеальної системи керування. Точна технічна реалізація цього виразу ускладнена тим, що в реальних системах керування елементи мають динамічні погрішності.

Сигнал U , що управляє, для керування температурою кондиціонера можна представити в загальному вигляді:

$$U = k_T(T - T_3) + k_T \dot{T} + k \int_0^t (T - T_3) dt, \quad (2)$$

де k_T , k_T і k - передатні числа;

T - температура в кабіні;

T_3 - задане значення температури;

\dot{T} - швидкість зміни температури.

Кожна із складових сигналу керування виконує певні функції в законі керування. Складова $k_T(T - T_3)$ забезпечує створення моменту, пропорційного розузгодженню $(T - T_3)$ під дією якого температура в кабіні змінюватиметься у бік зменшення величини розузгодження $(T - T_3)$.

Для поліпшення процесу керування необхідно збільшити демпфуючий момент. Для цього в сигнал керування вводиться відповідний сигнал $k_T \dot{T}$ пропорційний швидкості зміни температури, який зменшує коливальну перехідного процесу. Для підвищення точності керування, тобто зменшення статичної помилки, в сигнал керування може бути введена що становить,



пропорційна інтегралу від отриманого розузгодження $k \int_0^t (T - T_3) dt$. В цьому випадку сигнал керування набирає вигляду:

$$U = k_T(T - T_3) + k_{\dot{T}}\dot{T} + k \int_0^t (T - T_3) dt \quad (3)$$

На підставі вищевикладеного рівняння для системи автоматичного керування кондиціонером може бути записане таким чином:

$$T = k_T(T - T_3) + k_{\dot{T}}\dot{T} + k \int_0^t (T - T_3) dt \quad (4)$$

де k_T , $k_{\dot{T}}$, k - передатні числа, які необхідно визначити при синтезі системи.

На підставі принципу роботи кондиціонера і рівняння для системи автоматичного керування кондиціонером (4) можна скласти структурну схему системи керування роботою кондиціонера, яка показана на рисунку 1.

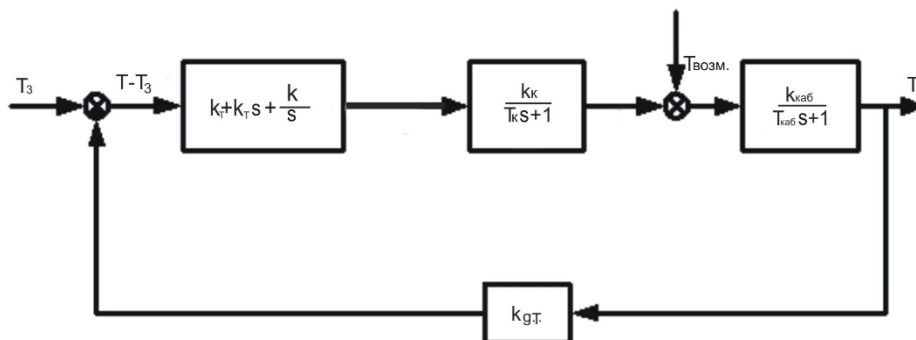


Рисунок 1 - Структурна схема системи керування кондиціонером

Моделювання роботи кондиціонера.

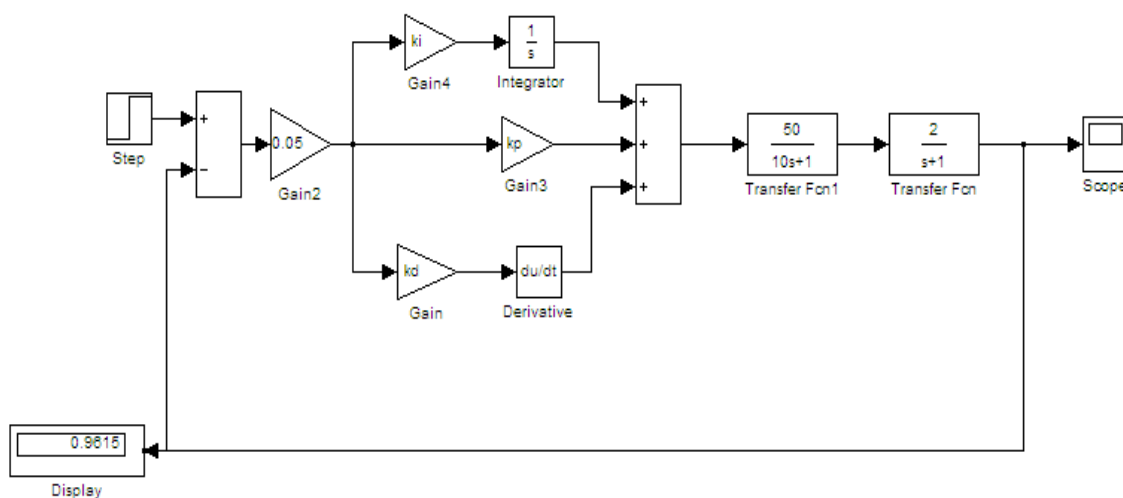
Для дослідження системи керування кондиціонером скористаємося пакетом MATLAB + Simulink. На підставі структурної схеми, приведеної на рисунку 1, складаємо машинну систему моделювання (рисунок 2), в якій набудемо наступних числових значень: $T_k=0,15$ с; $T_{каб}=0,02$ с; $k_{гТ}=0,25$ В с.

У машинній схемі моделювання використані наступні переобозначення для коефіцієнтів передачі закону керування $k_T = k_p$; $k_{\dot{T}} = k_d$ і $k = k_i$.

Моделювання проводилося у декілька етапів. На першому етапі визначалася



можлива структура закону керування, що забезпечує необхідну якість керування, і коефіцієнти передачі k_p , k_d , k_i і k_i для регулятора, використовуючи машинну схему, приведену на рисунку 2.



Рисунк 2 - Машинна схема моделювання кондиціонера при типовій дії

Дослідження поведінки кондиціонера проводилося при наступних законах керування :

- пропорційному (П - регулятор) :

$$U = k_T(T - T_3); \tag{5}$$

- пропорційно-інтегральному (ПІ - регулятор) :

$$U = k_T(T - T_3) + k \int_0^t (T - T_3) dt; \tag{6}$$

- пропорційно-інтегрально-диференціальному (ПІД - регулятор) :

$$U = k_T(T - T_3) + k_T \dot{T} + k \int_0^t (T - T_3) dt. \tag{7}$$

Отримані результати дослідження показані у вигляді перехідних процесів на рисунках 3 - 5 і приведені в таблиці 1.

Для характеристики перехідних процесів в таблиці 1 використані позначення:

- t_{min} - тривалість перехідного процесу;
- σ - перерегулювання;



- Δ - статична помилка.

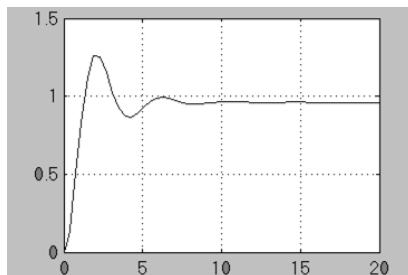


Рисунок 3 - Графік перехідного процесу роботи кондиціонера для П - регулятора

Таблиця 1 - Порівняльна таблиця характеристик перехідних процесів

Позначення	П-регулятор $k_p=5$	Пі-регулятор $k_i=0,15$	ПД-регулятор $k_d=5,324$
$\sigma \%$	25	25	0
$\Delta\%$	3,85	1,51	0,4
$t_{ш}, c$	15	17	6,5

Авторська розробка

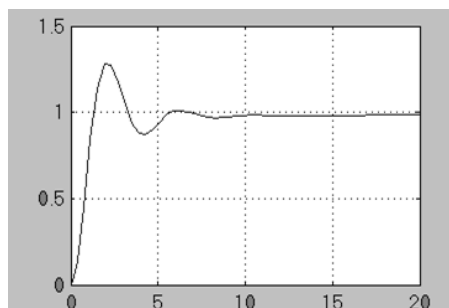


Рисунок 4 - Графік перехідного процесу роботи кондиціонера для ПД - регулятора

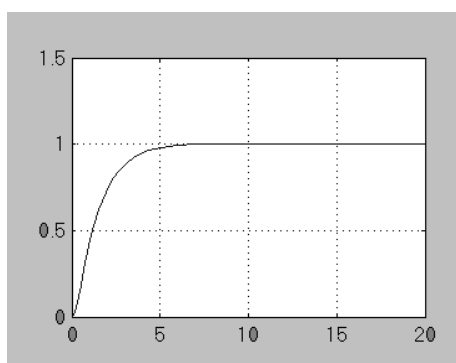


Рисунок 5 - Графік перехідного процесу роботи кондиціонера для ПД - регулятора



регулятора

Проведені дослідження показали, що введення в закон керування інтегральної складової, зберігаючи коливальний характер процесу, призводить до зменшення статичної помилки з 3,85% до 1,51% (рисунок 3 і 4). Диференціальна складова в законі керування гасить коливання, спостережувані на рисунках 3 і 4, і забезпечує аперіодичний перехідний процес (рисунок 5), що відповідає усім вимогам технічного завдання.

Перевіримо роботу отриманого ПД - регулятора в системі стабілізації при 20°C. Машинна схема системи стабілізації температури показана на рисунку 6.

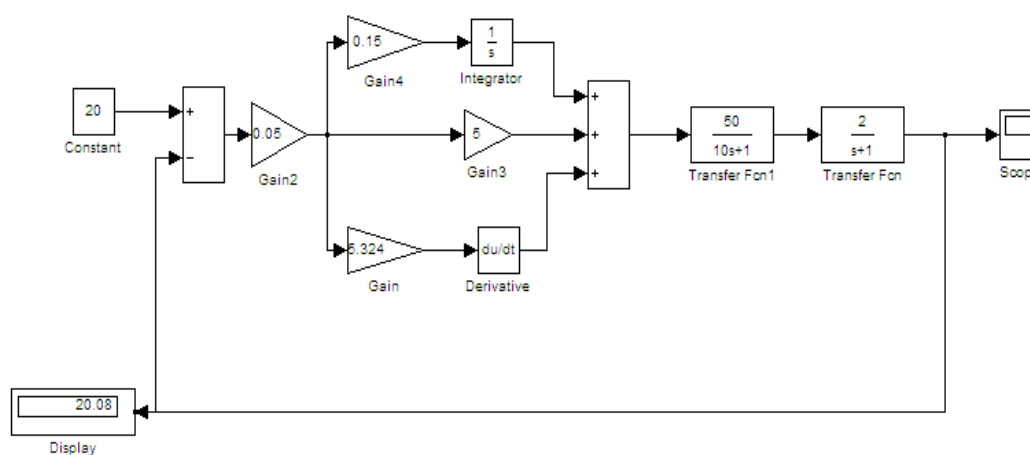


Рисунок 6 - Машинна схема системи стабілізації температури

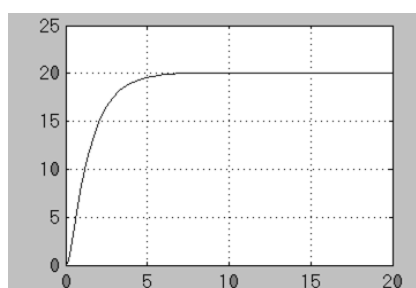


Рисунок 7 - Графік перехідного процесу роботи кондиціонера при стабілізації температури в кабіні 20°C

Дослідження, роботи кондиціонера в режимі стабілізації температури в кабіні 20°C (рисунок 7) показали, що перерегулювання відсутнє $\sigma=0\%$, статична помилка складає $\Delta=8\%$, в межах допустимих норм, а тривалість перехідного



процесу складає $t_{\text{пн}}=6,5\text{с}$, тобто наша система є стабільною.

Для перевірки роботи отриманого регулятора в стежачій системі подамо на вхід системи синусоїдальний сигнал (блок Sine Wave на рисунку 8).

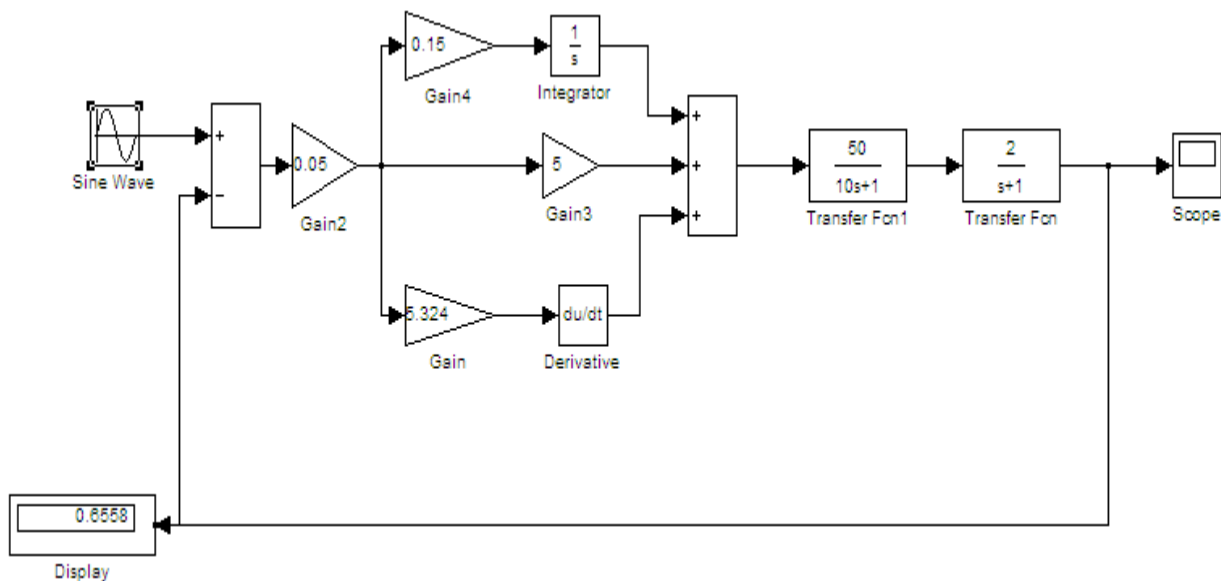


Рисунок 8 - Машинна схема системи при синусоїдальному вхідному сигналі

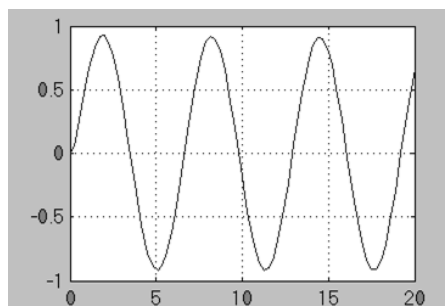


Рисунок 9 - Графік перехідного процесу роботи кондиціонера в стежачій системі

Як показує графік перехідного процесу (рисунок 9), замкнута система керування кондиціонером повністю відстежує усі зміни вхідного сигналу. Для спрощення оцінки статичної помилки була встановлена одинична амплітуда синусоїдального сигналу; при цьому статична помилка склала $\Delta=7,34\%$.

Дослідження впливу обурень на кондиціонер (відкривання дверей кабіни) проводитимемо на моделі системи керування кондиціонером із законом



керування (4.7). Машинна схема цієї системи представлена на рисунку 10.

Дослідження показали, що коефіцієнти закону керування, отримані при синтезі системи без обурення, забезпечують роботу кондиціонера при дії обурення із заданими показниками якості (рисунок 11).

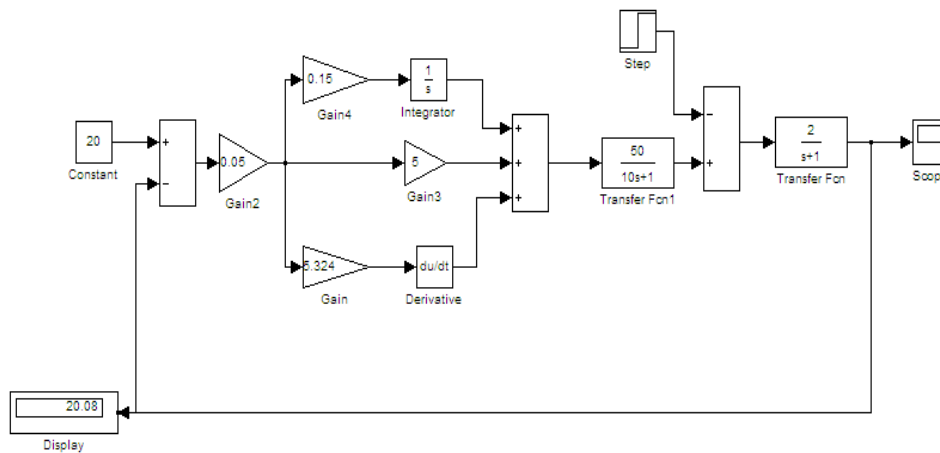


Рисунок 1 - Машинна схема моделювання кондиціонер при обуренні

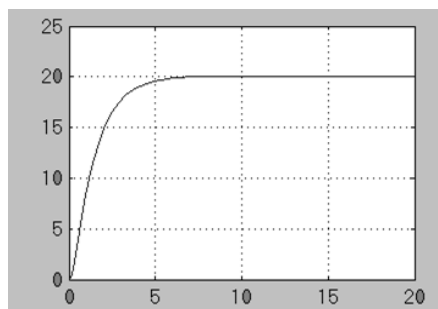


Рисунок 11 - Вид графіку перехідного процесу роботи кондиціонера при обуренні

Таким чином, в результаті дослідження системи керування роботою кондиціонера можна зробити висновок, що синтезований пристрій, що управляє, забезпечує нормальну роботу кондиціонера за відсутності обурень в режимах стабілізації і стеження і в режимі стабілізації з обуренням.

Висновки.

У виконаній роботі розглянуто систему кондиціонування і систему мікроклімату в кабіні дорожніх машин.

Розроблено структурну схему системи (рисунок 1) і засобами MATLAB+Simulink синтезовано облаштування керування роботою



кондиціонера, яке забезпечує нормальну його роботу в стежачих режимах:

- без урахування обурення:
 - 1) у режимі стабілізації;
 - 2) у режимі стеження;
- з урахуванням обурень в режимі стабілізації температури.

Проведені дослідження показали, що введення в закон керування інтегральної складової, зберігаючи коливальний характер процесу, призводить до зменшення статичної помилки з 3,85% до 1,51% (рисунки 3 і 4). Диференціальна складова в законі керування гасить коливання, спостережувані на рисунках 3 і 4, і забезпечує аперіодичний перехідний процес (рисунок 5), що відповідає усім вимогам технічного завдання.

Перевірили роботу отриманого ПД - регулятора в системі стабілізації при 20°C. Машинна схема системи стабілізації температури показана на рисунку 6. Дослідження, роботи кондиціонера в режимі стабілізації температури в кабіні 20°C (рисунок 7) показали, що перерегулювання відсутнє $\sigma=0\%$, статична помилка складає $\Delta=8\%$, в межах допустимих норм, а тривалість перехідного процесу складає $t_{\text{пп}}=6,5\text{с}$, тобто наша система є стабільною.

Для перевірки роботи отриманого регулятора в стежачій системі подамо на вхід системи синусоїдальний сигнал. Як показує графік перехідного процесу (рисунок 9), замкнута система керування кондиціонером повністю відстежує усі зміни вхідного сигналу. Для спрощення оцінки статичної помилки була встановлена одинична амплітуда синусоїдального сигналу; при цьому статична помилка склала $\Delta=7,34\%$.

Література:

1. Дудник О.В. Мікроклімат у салоні дорожньо-будівельних машин та його особливості // Комп'ютерно-інтегровані технології автоматизації технологічних процесів на транспорті та у виробництві : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. здобувачів вищ. освіти і молодих вчених, 20 листоп. 2024 р. / Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Харків, 2024. – С. 30–35. URL: <http://surl.li/vctkts>.



2. Мікроклімат пасажирського приміщення кузова і естетичні вимоги. URL: <https://budtehnika.pp.ua/10006-mkroklmat-pasazhirskogo-primschennya-kuzova-estetichn-vimogi.html>.
3. Порівняльна характеристика праці машиністів локомотивів та водіїв вантажного транспорту. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/134708/18-Iena.pdf?sequence=1>.
4. Системи кондиціювання та терморегулювання в кабінах будівельних машин. URL: <https://www.eberspaecher-climate.com/ua/uk/sferi-zastosuvannja/budivelni-mashini>.
5. Що робити, коли запотіває лобове скло екскаватора? URL: <http://uk.gookma.com/news/what-to-do-when-the-excavator-windshield-fogs/>.
6. Система опалення та кондиціонування. Призначення, влаштування і принцип дії. URL: <https://green-way.com.ua/uk/dovidniki/pidruchnyk-povlashtuvannju-avtomobilja/rozdil52-systema-opalennja-ta-kondycionuvannja-pryznachennja-budova-i-pryncyp-dii>.
7. Конструкція та принцип роботи автокондиціонера. URL: <https://genstar.ua/uk/poleznye-stati/konstrukziya-ta-princzip-roboti-avtokondiczionera-2>.
8. Клімат-контроль в автомобілі: що це таке, принцип роботи та для чого він потрібен? URL: <https://skladshin.com/klimat-kontrol-v-avtomobili-sho-ce-take-princip-roboti-ta-dlya-chogo-vin-potriben/>.
9. Гурко О.Г., Єрмоменко І.Ф. Аналіз і синтез систем автоматичного керування в МАТЛАВ: Навчальний посібник, – Харків: ХНАДУ, 2012. – 300 с.

References.

1. Dudnyk O.V. Microclimate in the cabin of road construction machines and its features // Computer-integrated technologies for automation of technological processes in transport and production: materials of the All-Ukrainian scientific and practical conference of higher education applicants and young scientists, 20 November. 20 November 2024 / Kharkiv National Automobile and Highway University - Kharkiv., 2024. – С. 30–35. URL: <http://surl.li/vctkts>.
2. Passenger compartment microclimate and aesthetic requirements. URL: <https://budtehnika.pp.ua/10006-mkroklmat-pasazhirskogo-primschennya-kuzova-estetichn-vimogi.html>.
3. Comparative characteristics of the work of locomotive engineers and freight transport



drivers. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/134708/18-Iena.pdf?sequence=1>.

4. Air conditioning and temperature control systems in construction machinery cabs. URL: <https://www.eberspaecher-climate.com/ua/uk/sferi-zastosuvannja/budivelni-mashini>.

5. What to do when the excavator windscreen fogs up? URL: <http://uk.gookma.com/news/what-to-do-when-the-excavator-windshield-fogs/>.

6. Heating and air conditioning system. Purpose, design and principle of operation. URL: <https://green-way.com.ua/uk/dovidniki/pidruchnyk-po-vlashtuvannju-avtomobilja/rozdil52-systema-opalennja-ta-kondycionuvannja-pryznachennja-budova-i-pryncyp-dii>.

7. Design and operation of the air conditioner. URL: <https://genstar.ua/uk/poleznye-stati/konstrukziya-ta-princzip-roboti-avtokondicionera-2>.

8. Climate control in a car: what it is, how it works and why it is needed? URL: <https://skladshin.com/klimat-kontrol-v-avtomobili-sho-ce-take-princip-roboti-ta-dlya-chogovin-potriben/>.

9. O. H. Hurko, I. F. Yeromenko (Eds.). (2012). Analysis and synthesis of automatic control systems in MATLAB. Kharkiv: KhNADU.

Abstract. *This study examines the design and operational principles of air conditioning and microclimate control systems in the cabins of road construction machinery. A structural scheme has been developed. Special attention is paid to synthesis of the control system for the air conditioner has been MATLAB + Simulink. The developed system ensures proper functioning in tracking modes, both without disturbances and with disturbances under temperature stabilisation conditions. The findings demonstrate the conducted research demonstrated that introducing an integral component into the control law, while maintaining the oscillatory nature of the process, reduces the steady-state error from 3.85% to 1.51% (Figures 3 and 4). The differential component suppresses oscillations observed in Figures 3 and 4 and ensures an aperiodic transient process (Figure 5), meeting all technical requirements.*

Keywords: *Microclimate, Air Conditioner, Control System, Modelling, Stability, Feedback, Disturbance, Stabilisation System, Tracking System.*