

УДК 629.5.051.5+681.513.3

МОДИФІКАЦІЯ МЕТОДИКИ СИНТЕЗУ АДАПТИВНОГО АВТОСТЕРНОВОГО З ЗАДАНОЮ ДИНАМІЧНОЮ ПОХИБКОЮ

С.В. Іванов

Кандидат технічних наук, завідувач відділу*

Контактний тел.: (044) 454-94-48

E-mail: marinex@inbox.ru

В.М. Теут

Аспірант

Кафедра технічних систем та процесів управління в судноводінні

Київська державна академія водного транспорту
ім. Гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного
вул. Фрунзе, 9, Київ, Україна, 04071

Контактний тел.: 067-446-02-07; (044) 574-58-79

E-mail: vm.teut@yandex.ua

П.Б. Олійник

Кандидат технічних наук, науковий співробітник*

Контактний тел.: (044) 454-94-48

E-mail: poleinik@ukr.net

*Науково-дослідний інститут телекомунікаційних систем
Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут»
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

В роботі наведено варіанти модифікації раніше запропонованої авторами методики синтезу автостернового з заданою динамічною похибкою: створення автостернового зі змінною структурою, винос частоти зрізу за власну частоту моделі судна, безпосередню компенсацію впливу сталої часу моделі судна. За результатами проведених досліджень найбільш раціональним є третій варіант

Ключові слова: автостерновий, синтез автостернового, динамічна похибка, якість системи керування

В работе приведены варианты модификации предложенной ранее авторами методики синтеза авторулевого с заданной динамической погрешностью: создание авторулевого с переменной структурой, вынос частоты среза за собственную частоту модели судна, непосредственная компенсация влияния постоянной времени модели судна. По результатам проведенных исследований, наиболее рациональным является третий вариант

Ключевые слова: авторулевой, синтез авторулевого, динамическая погрешность, качество системы управления

1. Вступ

Адаптивні автостернові на даному етапі знаходяться в основному в стадії теоретичних досліджень та дослідної експлуатації. Це підтверджує, зокрема, огляд Робертса [1] «Trends in marine control systems». В Україні дослідження в області створення адаптивних автостернових ведуться в ОНМА (А.С. Мальцев, В.Є. Львов [2] та ін.), в Академії військово-морських сил імені П.С. Нахімова (С.А. Подпорін [4]) та іншими дослідниками. Однак через те, що багато питань, які виникають в процесі керування судном і досі не вирішено, а існуючі рішення не дозволяють вирішити проблему в повному обсязі, створення адаптивного автостернового, який міг би автоматично переналаштуватись під поточні умови плавання, є вельми актуальним.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Для того, щоб реалізувати адаптивний автостерновий, дослідники застосовують, зокрема, методи штучного інтелекту – нейромережі і нечіткої логіки [3,4]. Крім цих методів, ряд авторів пропонують переналаштувати ПІД-регулятор автостернового в залежності

від умов плавання [2], або ж застосовувати комбінацію ПІД-регулятора та регулятора на основі штучного інтелекту [5]. Запропоновані авторами [1-5] методики, однак, не дозволяють вирішити проблему керування судном у різних умовах плавання в повному обсязі, зокрема, не гарантують отримання максимального значення динамічної похибки стабілізації на курсі при дії зовнішніх збурень не більше заданих.

Автори даної публікації в роботах [6-8] запропонували методику синтезу адаптивного автостернового, що забезпечує величину динамічної похибки виходу судна на заданий курс не вище заданої. Запропонована методика синтезу орієнтована на створення адаптивного автостернового, що враховує зміни параметрів моделі судна та збурюючого моменту, що діє на судно в процесі плавання. Основним недоліком цієї методики є значна інерційність системи керування та складність регулятора, що дозволяє отримати автостерновий з прийнятною для практичного використання інерційністю.

3. Мета дослідження

Метою даної роботи є модифікація розробленої авторами методики з метою спрощення структури регу-

лятора при отриманні як заданої величини динамічної похибки, так і прийнятних параметрів перехідного процесу.

4. Короткий опис методики синтезу автостернового

Запропонована в [1-3] авторами методика синтезу орієнтована на створення адаптивного автостернового, що враховує зміни параметрів моделі судна та збурюючого моменту, що діє на судно в процесі плавання. Синтез такого автостернового складається з двох етапів:

1. Ідентифікація параметрів моделі судна – коефіцієнту передачі, сталих часу та збурюючого моменту. Запропонована в [6] методика дозволяє на основі аналізу керованого руху судна визначити параметри моделі з точністю до 5% (збурюючий момент – з точністю до 8%). Крім того, можна оцінити параметри моделі судна за методиками, описаними в [9], хоча ці оцінки і будуть приблизними.

2. Вибір структури та розрахунок параметрів регулятора автостернового на основі ідентифікованих параметрів моделі судна.

Основною задачею синтезу поставлено забезпечення динамічної похибки виходу судна на заданий курс і його утримання в умовах дії збурюючого моменту із заданою максимальною амплітудою. Схему судна з синтезованим автостерновим показано на рис. 1.

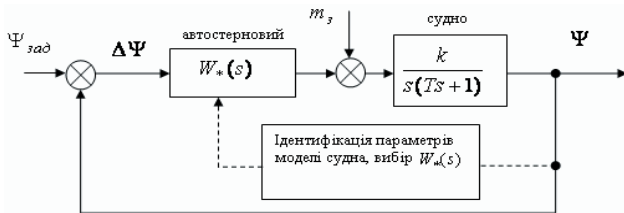


Рис. 1. Схема судна з адаптивним автостерновим

На рис. 1 $\Psi_{зад}$ – заданий курс судна, Ψ – дійсний курс судна, $m_z = \frac{m_d T}{k}$ – збурюючий момент, що діє на судно, $\Delta\Psi$ – похибка регулювання. Привод стерна включено в автостерновий і на схемі не показано. На систему керування накладено обмеження за максимально допустимою динамічною похибкою: при заданому збурюючому моменті $\Delta\Psi < \Delta\Psi_{доп}$ (допустимої величини динамічної похибки). Блок ідентифікації параметрів служить для визначення параметрів моделі судна і налаштування автостернового та використовується періодично з метою адаптації системи «автостерновий - судно» до конкретних умов плавання.

Щоб забезпечити нульове відхилення судна від заданого курсу, систему керування проектують як астатичну другого порядку за вхідною дією і першого порядку за збуренням. Передаточна функція регулятора синтезованої системи керування взята у виді $W_*(s) = \frac{K_{e1}(T_{11}s+1)(T_{12}s+1)(T_2s+1)}{s \cdot k \cdot (T_{21}s+1)(T_3s+1)^2}$, де T_i – стали часу ланок регулятора, K_{e1} – його коефіцієнт передачі.

Основною ідеєю другого етапу синтезу автостернового є приведення динаміки моделі «автостерновий

- судно» до динаміки еталонної астатичної системи керування з заданими якістю керування і динамічною похибкою. Коефіцієнти, що визначають параметри еталонної системи, наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Коефіцієнти для еталонної системи

Коефіцієнт	Показник коливності М			
	1,1	1,3	1,5	1,7
ρ	0,765	0,845	0,875	0,9
q	3,32	2,08	1,73	1,56
λ	2,540	1,758	1,515	1,403

Для забезпечення динамічної похибки не більше допустимої, в [7] наведено таку методику синтезу:

1. Задатись показником коливності системи М і вибрати з табл. 1 коефіцієнти ρ , q і λ . Рекомендовано брати $M \leq 1,3$.

2. Розрахувати частоту зрізу $\omega_{зр} = \lambda \sqrt{\frac{km_z}{\Delta\Psi_{доп} T}}$, та базову частоту $\omega_0 = \omega_{зр} / q$. При значеннях збурюючого моменту m_z , близьких до 0, задати значення m_z , характерне для хвилювання моря 3 бали, або прийняти $\omega_{зр} = \frac{\lambda q}{\rho} \sqrt{\frac{1,1}{T^2}}$.

3. Обчислити значення T_2 , T_3 та коефіцієнт передачі K_e за формулами:

$$T_2 = \frac{1}{\omega_0} \sqrt{\frac{M}{M-1}}, \quad T_3 = \frac{1}{\omega_0} \frac{\sqrt{M(M-1)}}{2(M+1)},$$

$$K_e = \omega_0^2 \left(\omega_0 = \frac{\omega_{зр}}{q} \right).$$

4. Якщо $\Delta\Psi_{max} = \frac{km_z q^2}{\omega_{зр}} \Delta\Psi_{доп}$, завершити синтез регулятора, взявши $T_{11} = T_{12} = T_{21} = 0$, $K_{e1} = K_e$. Інакше розрахувати $K_{e1} = \frac{\omega_{зр}^3 T}{\lambda^2}$, а також, взявши коефіцієнт $\gamma = 10$, $T_{11} = \gamma T_2$ і $T_{21} = T_{11} T_{12} \frac{\omega_{зр}}{\rho^2}$.

Отримана в результаті застосування методики система є стійкою, але занадто інерційна; ця її особливість пов'язана з тим, що базову методику було зроблено для керування малоінерційними об'єктами з коефіцієнтом передачі порядку одиниць. Судно ж як об'єкт керування є достатньо інерційним, і навіть для малоінерційних суден коефіцієнт передачі складає не більше 0,5-0,6. Для того, щоб виріши проблему інерційності системи керування, автори пропонують три варіанти, які дозволяють розширити згадану методику на інерційні об'єкти керування.

5. Варіанти модифікації методики синтезу

Перший варіант. Цей варіант було запропоновано в [8], тому докладно зупинятися на ньому тут не будемо. Суть його полягає в тому, що з метою зменшення інерційності системи керування при збереженні низької динамічної похибки можна створювати систему як комбінацію з двох пристроїв

– з низькою ($W_{\gamma=0.5}$, $\gamma=0,5$) та високою ($W_{\gamma=10}$, $\gamma=10$) інерційністю. Регулятор з великим часом перехідного процесу ($\gamma=10$) приєднано паралельно до регулятора з малою інерційністю ($\gamma=0,5$). За замовчанням керування судном виконує інерційний регулятор, оскільки він більш ефективно придушує хитавицю.

Перемикання сигналу, що йде на привод стерна, на малоінерційний регулятор відбувається з моменту, коли після зміни заданого курсу після першого піка перехідного процесу курс піде на спад, і триває до моменту завершення перехідного процесу в системі з малоінерційним регулятором (патент UA 749645, [10]).

Як приклад, у [8] було розраховано і змодельовано автостерновий для судна зі сталою часу $T=12$ с, коефіцієнта передачі $k=0,08$ с⁻¹ при дії приведенного збурюючого моменту $m_d=5 \cdot 10^{-5}$ с⁻¹ ($M=1,3$). Хоча час перехідного процесу в системі керування, створеній за першим варіантом, становить не більше 200-250 с, а перерегулювання – не більше 30%, при запасах стійкості 14,7 дБ та 49°, схема регулятора є достатньо складною.

Другий варіант зменшення інерційності системи «автостерновий-судно» – підвищення її частоти зрізу таким чином, щоб виконувалось співвідношення $1/T < 1/T_2$, або ж $T > \frac{1}{\omega_0} \sqrt{\frac{M}{M-1}}$. Для забезпечення виконання цієї нерівності слід розрахувати частоту зрізу за формулою $\omega_{зр} = \lambda \sqrt{\frac{km_3 n}{\Delta\Psi_{доп} T}}$, де n – коефіцієнт, що рівнозначно збільшенню збурюючого моменту в n раз. Для того, щоб $T_2 < T$, можна прийняти $n = 1,1 \frac{\Delta\Psi_{доп}}{T km_3} \left(\frac{q}{\rho}\right)^2$, тоді $\omega_{зр} = \frac{\lambda q}{\rho} \sqrt{\frac{1,1}{T^2}}$. Внаслідок лінійності системи при збільшенні збурюючого моменту в n раз, значення $\Delta\Psi$ на виході системи при дії заданого збурюючого моменту m_7 зменшиться в n раз. Крім того, такий розрахунок гарантує працездатність системи, навіть якщо $m_3 = 0$.

Методика синтезу регулятора в цьому випадку виглядає так:

1. Задатись показником коливності системи M і вибрати з табл. 1 коефіцієнти ρ , q і λ . Рекомендовано брати $M \leq 1,3$.

2. Розрахувати $\omega_{зр} = \lambda \sqrt{\frac{km_3 n}{\Delta\Psi_{доп} T}}$, де $n=1$ та $\omega_0 = \omega_{зр} / q$.

Якщо $T \leq \frac{1}{\omega_0} \sqrt{\frac{M}{M-1}}$, розрахувати $\omega_{зр} = \frac{\lambda q}{\rho} \sqrt{\frac{1,1}{T^2}}$ та $\omega_0 = \omega_{зр} / q$.

3. За формулами (9) обчислити значення T_2 , T_3 та K_c .

4. Розрахувати $K_{e1} = \frac{\omega_{зр}^3 T}{\lambda^2}$, а також, взявши $\gamma=10$, $T_{11} = T_{12} = \gamma T_2$ і $T_{21} = T_{11} T_{12} \frac{\omega_{зр}}{\rho^2}$.

Для того ж судна з параметрами моделі $k=0,08$, $T=12$ с було розраховано регулятор для $M=1,3$ за наведеною вище методикою. З аналізу ЛАХ і ЛФЧХ визначено, що замкнута система стійка, і запас

стійкості за амплітудою складає 8,86 дБ, а за фазою – 40,1°.

На рис. 2 та 3 показано перехідний процес у системі, а також її реакцію на статичний збурюючий момент $m_d = 5 \cdot 10^{-5}$.

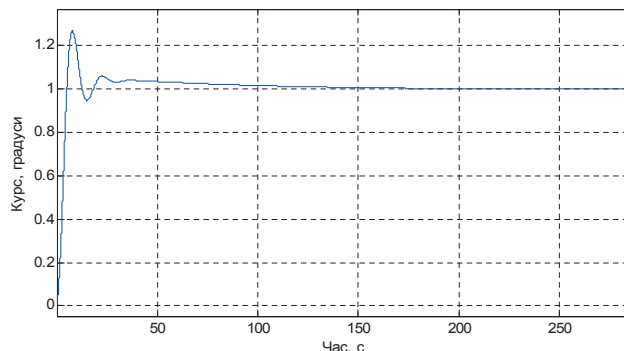


Рис. 2. Перехідний процес у системі «автостерновий-судно»

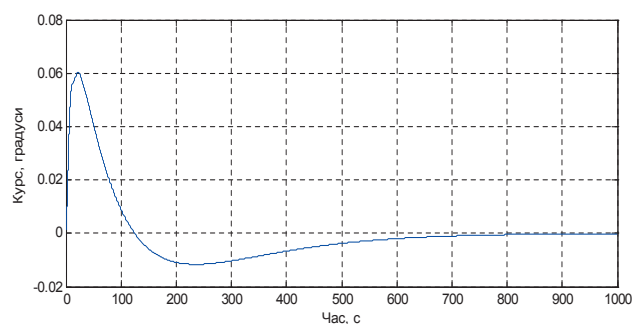


Рис. 3. Реакція системи на статичний збурюючий момент

Як видно з рис. 2, процес носить коливний характер, перерегулювання складає 25%, час перехідного процесу – 100 с.

З рис. 3 слід відмітити, що хоча динамічна похибка складає всього 0,06°, час перехідного процесу від збурюючого моменту є достатньо великим (до 500-600 с).

Основним недоліком автостернового з таким регулятором, фактично розрахованим на завищений збурюючий момент, є те, що оскільки частота зрізу вище, ніж $1/T$, система більш інтенсивно реагує на збурення (хитавицю).

Третій варіант – безпосередня компенсація впливу сталої часу судна, тобто жорстко задана стала часу $T_{12} = T$. В цьому випадку частота зрізу системи рівна розрахованій для першого варіанту, а методика має вид:

1. Задатись показником коливності системи M і вибрати з табл. 1 коефіцієнти ρ , q і λ . Рекомендовано брати $M \leq 1,3$.

2. Розрахувати $\omega_{зр} = \lambda \sqrt{\frac{km_3}{\Delta\Psi_{доп} T}}$, та $\omega_0 = \omega_{зр} / q$. При

значеннях m_7 , близьких до 0, задати значення m_3 , характерне для хвилювання моря 3 бали, або прийняти

$$\omega_{зр} = \frac{\lambda q}{\rho} \sqrt{\frac{1,1}{T^2}}$$

3. За формулами (9) обчислити значення T_2 , T_3 та K_e .

4. Якщо $\Delta\Psi_{\max} = \frac{km_s q^2}{\omega_{\text{сп}}} \Delta\Psi_{\text{доп}}$, завершити синтез регулятора, взявши $T_{11} = T_{21} = 0$, $T_{12} = T$, $K_{e1} = K_e$. Інакше розрахувати $K_{e1} = \frac{\omega_{\text{сп}}^3 T}{\lambda^2}$, а також, взявши $\gamma = 10$, $T_{11} = \gamma T_2$ і $T_{21} = T_{11} T_{12} \frac{\omega_{\text{сп}}}{\rho^2}$.

За результатами проведеного розрахунку автостернового для того ж судна при показнику коливності $M = 1,3$ перерегулювання в системі досягає 36%, а при врахуванні інерційності рульової машини може досягнути 48-50%. Тому регулятор за третім варіантом було розраховано для показника $M = 1,1$. Запас системи за амплітудою складає 12,7 дБ, за фазою – 50,5°.

На рис. 4 та 5 показано перехідний процес у системі, а також реакцію на статичний збурюючий момент $m_d = 5 \times 10^{-5}$.

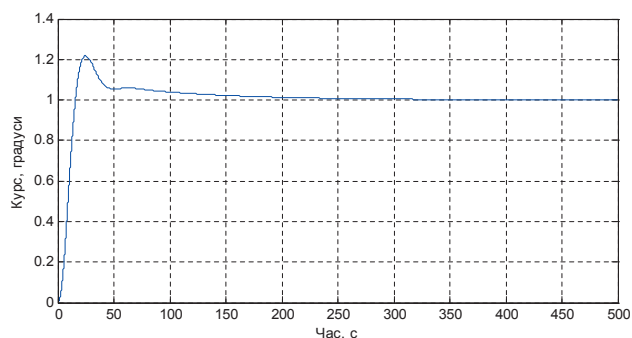


Рис. 4. Перехідний процес у системі «автостерновий-судно»

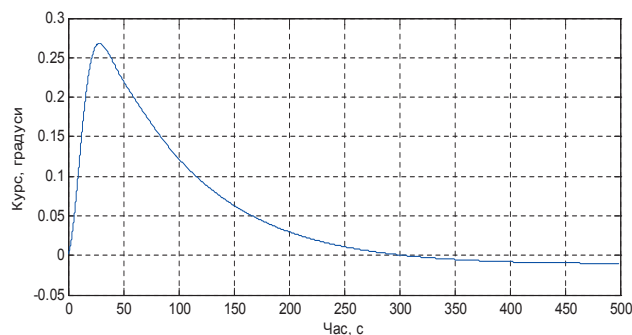


Рис. 5. Реакція системи на статичний збурюючий момент

Як видно з рис. 4, процес носить коливний характер, перерегулювання складає 22%, час перехідного процесу – 120 с. З рис. 5 видно, що динамічна похибка складає 0,27°, а час перехідного процесу від збурюючого моменту – 250 с.

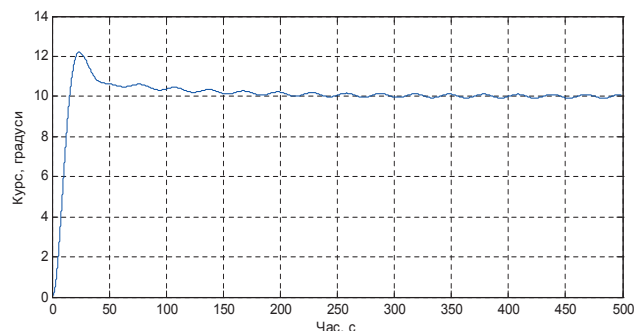


Рис. 6. Реакція системи на синусоїдальний збурюючий момент при повороті на заданий курс

Реакція системи на хитавицю з амплітудою приведенного збурюючого моменту $m_d = 5 \times 10^{-5}$ і періодом 20 с показана на рис. 6. Заданий курс – 10°, поворот починається з курсу 0°. Час перехідного процесу – 150 с, перерегулювання – 22%.

Зі сказаного випливає, що з точки зору спрощення структури автостернового та мінімізації перерегулювання та часу перехідного процесу в системі «автостерновий-судно» найбільш доцільним є використання автостернового, розрахованого за третім варіантом модифікації методики – з безпосередньою компенсацією впливу сталої часу судна.

5. Висновки

Як видно з даного дослідження, найбільш доцільним є застосування створеного за запропонованим авторами третім варіантом модифікації викладеної в [7, 8] методики.

Такий автостерновий є стійким, має малий час перехідного процесу і низьке перерегулювання. Подальші дослідження будуть присвячені дослідженню робастності автостернового при зміні параметрів судна умовах плавання та визначенню умов, за яких доцільно проводити повторний синтез регулятора.

Література

1. G.N. Roberts Trends in marine control systems // Annual Reviews in Control, vol. 32, 2008 – pp. 263–269.
2. Львов В.Е., Мальцев А.С. Метод улучшения компенсационных свойств системы управления курсом судна // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА Вып.15. – О.: «ИздатИнформ», 2008. – с. 99-104.
3. Подпорин С.А. Нейронный управляющий контроллер в задаче автоматического управления судном на меняющемся курсе // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА. Вып. 19 – О.: «ИздатИнформ», 2010. – с. 157-166.
4. Gerasimos Rigatos, Spyros Tzafestas. Adaptive fuzzy control for the ship steering problem // Mechatronics, vol. 16, 2006 – pp. 479–489.
5. Ming-Chung Fang, Young-Zoung Zhuo, Zi-Yi Lee. The application of the self-tuning neural network PID controller on the ship roll reduction in random waves. // Ocean Engineering, vol. 37, 2010 – pp. 529–538.
6. С.В. Иванов, П.Б. Олійник, В.М. Теут. Автоматична ідентифікація параметрів судна // Системи управління, навігації та зв'язку, № 4(16), 2010 – с. 6-11.

7. Иванов С.В., Олійник П.Б., Теут В.М. Синтез автостернового з забезпеченням заданої динамічної похибки // Судноводіння: зб. наук. праць, ОНМА – Вип. 19 – Одеса, «Видав-інформ», 2010. – с. 128-137.
8. С.В. Иванов, В.М. Теут, П. Б. Олійник Методика синтезу автостернового для морських суден з забезпеченням заданої динамічної похибки / VII міжнародна науково-технічна конференція «Гіротехнології, навігація, керування рухом та конструювання авіаційно-космічної техніки». Київ, 2011, 21-22 квітня 2011 р – с. 10-21
9. Справочник по теории корабля. В 3-х т. Т. 3. Л.: Судостроение, 1985, 544 с.
10. Астатична система керування з заданою динамічною похибкою та скороченою тривалістю перехідного процесу: UA 74965, МПК(2006) G05B 11/01; G05D 1/02 / Иванов С. В., Олійник П.Б., Теут В.М. - u201209446; Заявл. 02.08.2012; Опубл. 12.11.2012, Бюл. № 21 – 8 с: іл.

Abstract

The article is dedicated to the problem of synthesis of gyropilot with given dynamic error based on the authors' methods. The basis of the above-mentioned methods of synthesis is the bringing of the gyropilot characteristics to a reference system that has the desired properties. In the article the mentioned method was modified to simplify the structure of the regulator when receiving a given value of dynamic error and acceptable parameters of the transition process. To achieve the goal three options were offered: the creation of gyropilot with variable structure, the removal of the cutoff frequency for the eigenfrequency of the ship model, the direct compensation of exposure of time constant of the ship model. According to the results of study for the implementation in real devices the third option (direct compensation of time constant) was recommended, since its application provides a simplified structure of gyropilot compared with auto steering with variable structure and minimized overshoot and time of the transition process in the "gyropilot-ship" system compared with other options

Keywords: gyropilot, gyropilot synthesis, dynamic error, control system quality

За допомогою програмного пакету Maple розроблена математична модель зміни рівня ґрунтових вод під впливом додаткової інфільтрації. Запропонована модель дозволяє прогнозувати зміну рівня ґрунтових вод на забудованих територіях

Ключові слова: додаткова інфільтрація, підтоплення міських територій, математична модель

С помощью программного пакета Maple разработана математическая модель изменения уровня грунтовых вод под воздействием дополнительной инфильтрации. Предложенная модель позволяет прогнозировать изменение уровня грунтовых вод на застроенных территориях

Ключевые слова: дополнительная инфильтрация, подтопление городских территорий, математическая модель

УДК 504.43

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ИНФИЛЬТРАЦИИ

Е. Н. Серикова

Аспирантка

Кафедра инженерной экологии городов
Харьковская национальная академия городского хозяйства
ул. Революции, 12, г. Харьков, Украина, 61002
Контактный тел.: 067-783-03-32
E-mail: elena.kharkov@mail.ru

1. Введение

Одним из наиболее значимых факторов повышения уровня грунтовых вод (УГВ) городских территорий и возникновения подтопления вследствие этого, является дополнительная инфильтрация в грунтовые воды. В Украине подтоплено более 530 населенных пунктов [1,3]. Дополнительная инфильтрация в пределах больших городов Украины превышает природную

инфильтрацию в несколько раз. Утечки из водонесущих коммуникаций; фильтрация в грунтовые воды из поверхностного стока в результате отставания развития дождевой канализации от селитебного и промышленного освоения территории, из-за перегрузки и замусоривания коллекторов дождевой канализации; засыпка природных дрен; экранирование транспирации асфальтовыми покрытиями; создание различных барражей, препятствующих оттоку подземных вод;