

Під біфуркаційною множиною, де розташований графік поворотності (див. рис. 4), можливі три стаціонарних режими рухів. Фазовий портрет (рис. 5) побудовано для випадку руху  $\{v=11 \text{ м/с}; \psi=0,0779 \text{ рад}\}$ . Для цього випадку знайдено три режими, що характеризується величинами кутової та бічної швидкості центру мас автомобіля:  $\{u_1 = -3,338, \psi_1 = 0,675\}$ ;  $\{u_2 = 12,928, \psi_2 = -0,709\}$ ;  $\{u_3 = -0,574, \psi_3 = 0,440\}$ .

Аналізуючи рис. 5 робимо висновок, що третій режим  $\{u_3, \psi_3\}$  являє собою стійкий вузол, що означає стійкий режим — збурення, що можуть виникнути при русі автомобіля не призведуть до втрати стійкості. Перший та другий режими  $\{u_1, \psi_1\}$ ,  $\{u_2, \psi_2\}$  являють собою нестійкі сідла — збурення, що можуть виникнути при русі автомобіля призводять до втрати стійкості, тобто переходу до іншого режиму.

**Висновки.** Сумісне застосування для аналізу курсової стійкості руху графіка поворотності та біфуркаційної множини дозволяє розширити можливості дослідження КСР та уточнити її параметри.

### Література

1. Костенко А.В. Прогнозування показників курсової стійкості легкового автомобіля з урахуванням розкиду жорсткісних характеристик шин: Автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.22.02 / Національний. трансп. ун-т. — Київ, 2007. — 20 с.
2. Вербицкий В.Г. До питання визначення та аналізу показників курсової стійкості руху легкового автомобіля / В.Г. Вербицкий, В.А. Макаров, А.В. Костенко // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту. — 2009. — № 2. — С. 21 — 25.
3. Макаров В.А. К вопросу об оценке курсовой устойчивости движения легкового автомобиля при помощи фазовых портретов / В.А. Макаров, А.В. Костенко, А.В. Петров // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля — 2009. — № 11 (141) — С. 152-155.
4. Heibing B. Fahrwerkhdbuch: Grundlagen, Fahrdynamik, Komponenten, Systeme, Mechatronik, Perspektiven. / Bernd Heibing, Metin Ersoy (Hrsg). — Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag: GWV Fachverlage GmbH, 2007. — 591 S.
5. К вопросу анализа управляемости нелинейной модели автомобиля [Електронний ресурс] / А.П. Кравченко, В.Г. Вербицкий, М.И. Загороднов [та ін.] // Електронний Вісник Дніпровського університету. — 2010. — №1. — Режим доступу до журн.: — [www.nbu.gov.ua/e-journals/Nvdu](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nvdu)
6. Лобас Л.Г. Качественные и аналитические методы в динамике колесных машин / Л.Г. Лобас, В.Г. Вербицкий. — Киев: Наукова думка, 1990. — 232 с.

УДК 627.13:519.711.3

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ РІЧОК, ЯК НЕОДНОРІДНИХ ПОТОКІВ, НА ДІЛЯНКАХ МОСТОВИХ ПЕРЕХОДІВ

Доктор технічних наук Славінська О.С.

*В статті представлені якісно новий метод прогнозування деформацій в руслах та на заплавах у зоні впливу мостових переходів, ґрунтуючись на теорії неоднорідних потоків, яка дозволяє враховувати особливості гідродинамічних процесів, що відбуваються в зависинесному середовищі.*

*The qualitatively new method for prediction of deformation in river beds and in flood plains within the zone of influence exerted by highway-stream crossing based on the theory of heterogeneous flows, which allows taking into account special features of hydrodynamic processes in the suspension-carrying environment, is presented in this article.*

**Постановка проблеми.** Сформована мережа автомобільних доріг загального користування за такими параметрами як: протяжність (169,4 тис. км), щільність на 1000 км<sup>2</sup> території (281 км) та конфігурація, значною мірою відповідає національним потребам і здатна забезпечити на найближчі роки умови для економічного зростання держави і соціального розвитку населення України, за умови відповідного транспортно-експлуатаційного стану автомобільних доріг.

На автомобільних дорогах налічується близько 16,1 тис. мостів та шляхопроводів загальною протяжністю понад 379 км. Значна кількість мостів (близько 63%) побудована за застарілими технічними норма-

ми минулих років. Кількість мостів, стан яких не відповідає безпечним умовам експлуатації і які потребують капітального ремонту чи реконструкції, з кожним роком збільшується і на сьогодні нараховує понад 500 шт.

При 5% середньорічному зростанні автотранспортних засобів в Україні, інтенсивність дорожнього руху на основних магістральних дорогах останніми роками зростає до 20 % щорічно. Інтенсивність же руху на мостових переходах автомобільних доріг може в 3...5 разів перевищувати інтенсивність руху на прилеглих до нього перегонах. Споруди мостового переходу повинні бути запроектовані та побудовані таким чином, щоб залишатися стійкими та виконувати свої функції за будь-яких умов, що можуть виникати за їх тривалий строк служби. Тобто споруди повинні стійко протистояти руйнуючій дії водного середовища та русловим деформаціям, які передбачені в прогнозах. Таким чином проблема розвитку дорожньо-транспортного комплексу є нагальною і актуальною для нашої держави.

Найважливіша задача проектування мостових переходів полягає в обґрунтуванні їх генеральних розмірів. Провідною із проектних характеристик мостів є ширина отвору, яка і визначає довжину мосту та безпосередньо залежить від величини стиснення річкового потоку підходами. В свою чергу річковий потік являє собою відкриту дисипативну і саморегулюючу систему. Як для всіх турбулентних потоків йому притаманний складний анізотропний стан, пов'язаний з морфометричними і гідрологічними параметрами русла та заплави, тобто з особливою мікроструктурою, фізична сутність якої повністю не з'ясована ще й досі. При стисненні потоку мостовими переходами на річках відбувається перерозподіл швидкісної структури і, відповідно, спостерігаються такі складні явища, як кінематичний ефект, при взаємодії руслового і заплавного потоків під час повені, розвиток значних вихрових структур, переформування руслових та заплавних форм, що призводить до розвитку загальних та місцевих розмивів.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Дослідження руслових потоків, як двофазних, з врахуванням донної структури, мають переважно експериментальний характер, представлені в роботах [1-6]. Автором роботи [6] І.К. Нікітіним було введено нове поняття — придонний шар, який поєднує різні за своїм характером течії в гладкому й шорсткуватому руслах та дозволяє знайти загальні для них закономірності. Фізична модель потоку заплави з елементами рослинності обґрунтована експериментальними та натурними дослідженнями в роботах [7, 8].

Після перекриття частини ширини заплави незатоплюваними насипами підходів, вода притікатиме до мосту, через стислий перетин річки прохідтимуть збільшені витрати води. Збільшення витрат води супроводжується зростанням швидкостей течії, що приводить до посиленого виносу частинок ґрунту, тобто до розмиву при наймі на одній з ділянок отвору мосту у руслі або на заплаві, а у ряді випадків і на обох ділянках. Для розв'язування цієї задачі у вітчизняній і закордонній літературі запропонований цілий ряд методів, які розрізняються методологічним підходом до вирішення проблеми і повнотою обліку різних факторів, що визначають інтенсивність руслових деформацій. Методи гідромеханічного напрямку, які представлені в багатьох роботах, зокрема [9, 10] ґрунтуються на розгляді механізму взаємодії товщі водного потоку з руслом і зводяться до спільного розв'язання системи рівнянь переносу, нерозривності і балансу наносів. Для замикання цієї системи використовуються певні співвідношення для розрахунку витрати наносів, нерозривних швидкостей потоку та пульсаційних характеристик, що дає можливість більш об'єктивно оцінити ступінь впливу на процес розмиву багатьох факторів. Але методи гідромеханічного напрямку переважно пристосовані для визначення динамічних характеристик несного середовища (товщі руслового потоку), як однорідного, без врахування анізотропних властивостей його турбулентної структури; ґрунтуються на теоріях, які не враховують різниці між змішуванням рідин і рідини із зависю та не дозволяють описати прилежові шари, де відбувається основний процес транспорту наносів.

Відповідно, **ціль** даної статті: представити результати дослідження гідродинамічного стану річкового потоку, на основі положень механіки неоднорідних середовищ, та прогнозування загальних розмивів на ділянках впливу мостового переходу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** На підставі аналізу існуючих лабораторних і натурних експериментів, методологічних засад розрахунку транспорту наносів і прогнозу деформацій в руслах та на заплавних ділянках мостових переходів автором обґрунтовано напрямок методології досліджень на основі теорії неоднорідних потоків. В роботах [11-15] проведено аналіз складових сил, що впливають на частки наносів, зокрема, сил міжфазової взаємодії, інерційних сил, сили внаслідок кольматації придонного ґрунту, сили взаємодії часток наносів з дном потоку; сили опору рослинності.

На основі вихідної системи рівнянь руху неоднорідного потоку та за дискретним методом усереднювання, для опису складної динаміки транспорту наносів з урахуванням структури течії в річкових потоках

розроблено [13-14, 16-17] математичну модель для основної товщі зависеного руслового потоку з дотриманням узгодженості з полем тиску та пристосуванням відповідної замикаючої моделі турбулентності. У роботах [12-15] представлено математичну модель двофазного руслового потоку для придонної області з врахуванням інерційних особливостей та впливу на стан цієї зони потоку при формулюванні замикаючих рівнянь, а також математичні моделі зависеного заплавного потоку з трав'яною рослинністю для основної товщі та придонної області з наступним пристосуванням до цих умов замикаючих моделей для оцінки впливу заплавного потоку на споруди мостового переходу.

На основі методів реалізації запропонованих автором математичних моделей процесу транспорту наносів в неоднорідних потоках в комплексі з початковими та граничними умовами проведено розрахунок загальних розмивів в зоні впливу мостових переходів. При розрахунку загальних розмивів враховують всі найбільш несприятливі положення русла, можливі на даному мостовому переході. Як правило, на рівнинних річках, що несуть значну кількість наносів, глибини у руслі після розмиву визначаються по рівнянню балансу приносу — виносу наносів, а на заплавної ділянці отвору моста за нерозмивною швидкості для ґрунтів, що складають цю ділянку.

За відомими ходом повені та закономірністю руслової витрати вздовж потоку при певному горизонті води було проведено розрахунок загального розмиву підмостового русла на р. Ірпінь на автомобільній дорозі Київ — Ірпінь між с. Новосілки та с. Княжичі. Ріка Ірпінь є правою притокою р. Дніпро. За режимними умовами р. Ірпінь відноситься до рік рівнинного типу. У районі проєктованого мостового переходу заплава одностороння, лівобережна. Русло ріки звивисте, нестійке. Переважна ширина русла 15 м, глибина в руслі 1,2 м, швидкість течії в межах 0,3 м/с. Середній діаметр часток донних наносів складає  $D=0,59$  мм. Ріка має змішане живлення. Найбільші паводки спостерігаються від весняного сніготанення. Підйом рівня починається на початку березня. Період повені триває до 50 днів.

При збільшенні швидкості течії у руслі, при стисканні потоку підходами до мосту, транспортування наносів посилюється. Приток наносів зверху за течією не може задовольнити збільшену транспортуючу здатність; внаслідок цього збільшення виносу тягнених наносів з даного елемента довжини руслового потоку відбувається за рахунок захоплення частинок ґрунту потоком з дна, тобто за рахунок розмиву. Згідно з розрахунками проведеними за методом у вигляді програмного комплексу «Virtual model river 2» [13,15, 17] загальний розмив русла становитиме  $H=6,2$  м, загальний розмив на лівій заплавної частині становитиме  $H=1,04$  м, загальний розмив на правій заплавної частині становитиме  $H=1,54$  м (рис. 1).

Запропоновані автором методи дозволяють дослідити швидкісну структуру водного середовища та рух твердої фази, як на руслових так і на заплавних ділянках, відповідно, з урахуванням пасмової структури дна та наявності ділянок з рослинністю, а також турбулентні характеристики річкового потоку. Значення деяких характеристик представлені після розрахунку 485-ої розрахункової сходинки гідрографа весняної повені. На рис. 2 наведені епюри швидкостей поздовжньої  $V_1$  (рис. 1, а, в) та вертикальної  $V_3$  (рис. 1, б, г) в основній товщі русла і в придонній області, вони відповідають зонам максимального розмиву (рис. 1) під мостовим переходом. Найбільші значення кінетичної енергії турбулентності  $\overline{\rho_{LS} k_{tSL}}$  ( $\rho_{SL}$  — густина річкового потоку) і швидкості її дисипації  $\varepsilon_{it}$  (рис. 3) розподілені також у русловій частині потоку. В придонній області спостерігається відносно рівномірний розподіл мутності  $\bar{s}$  (рис. 3, в) на відміну від розподілу в основній товщі потоку (рис. 3, а), де спостерігається збільшення в зоні над межами ями розмиву в руслі.

**Висновки з даного дослідження.** Відповідно розроблений автором метод, який ґрунтується на моделях неоднорідних потоків, дозволяє при проєктуванні мостових переходів через рівнинні річки та передгірські ділянки річок вирішувати наступні задачі: розрахунок розвитку за часом загальних руслових деформацій, побудову вільної поверхні річкового потоку, розрахунок руслових деформацій на значних відстанях вверх та вниз по потоку від осі мостового переходу; враховувати наявність існуючих інших типів гідротехнічних споруд. Від раніше відомих методів запропонований відрізняється значно більш повним врахуванням факторів, які визначають процес руслових деформацій та кінцеву їх величину, зокрема врахуванням неповноти втягування інерційних часток пульсаціями рідкого середовища, тобто пульсаційного і осередненого скочування фаз, та анізотропний стан поля турбулентності річкового потоку, зменшеною кількістю припущень, які приймаються при рішенні диференціальних рівнянь та можливість рішення широкого кола інженерних питань. Проводити розрахунки за зазначеними методом, можливо не тільки для спостережень в паводок, але також і в межень. Метод дозволяє дослідити швидкісну структуру водного середовища та рух твердої фази, як на руслових так і на заплавних ділянках, відповідно з урахуванням пасмової структури дна та наявності ділянок з рослинністю, турбулентні характеристики річкового потоку.

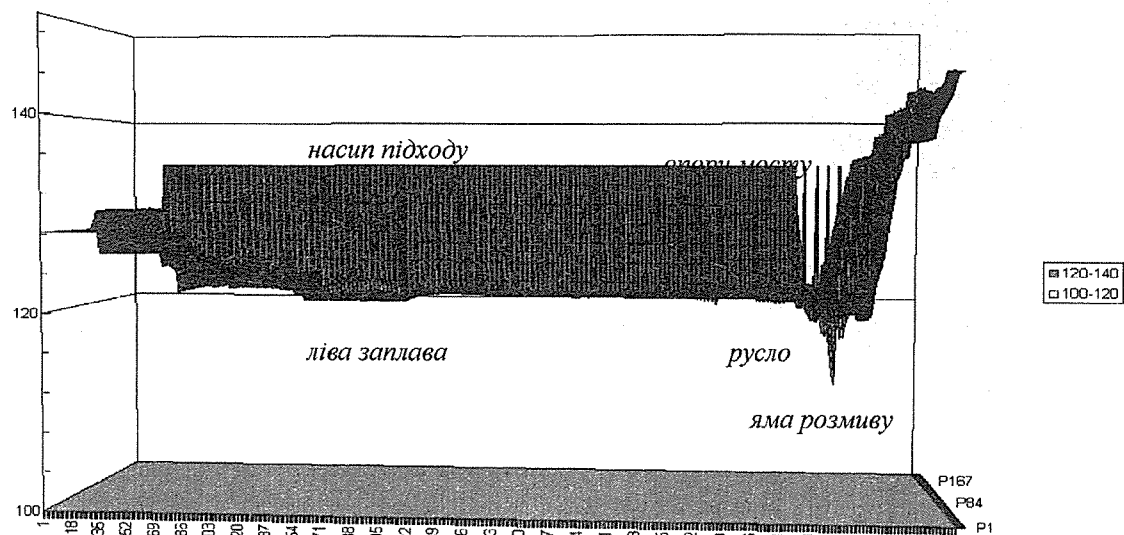


Рис. 1. Розрахунок загального розмиву підмостового русла р. Ірпінь після 485-ї розрахункової сходинки гідрографа весняної повені

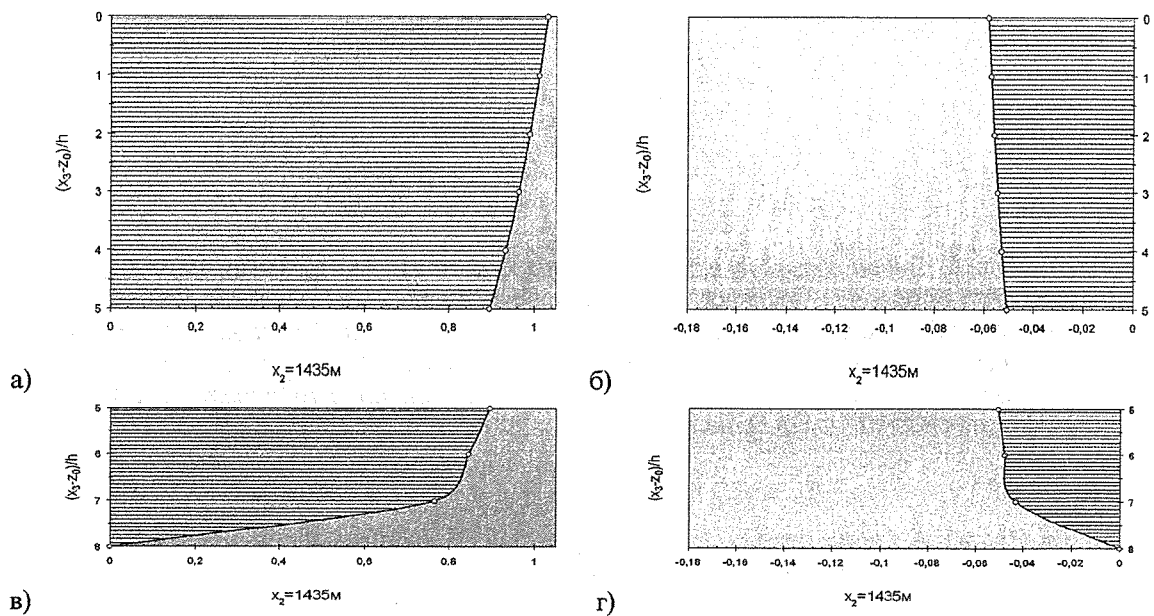


Рис. 2. Епюри розподілу швидкостей в руслі р. Ірпінь після 485-ї сходинки гідрографа весняної повені: поздовжньої швидкості  $\tilde{v}_1$  (м/с): а) в основній товщі потоку; в) у придонній області на глибині від 0 до 10D; вертикальної швидкості (м/с); б) в основній товщі потоку; г) у придонній області на глибині від 0 до 10D

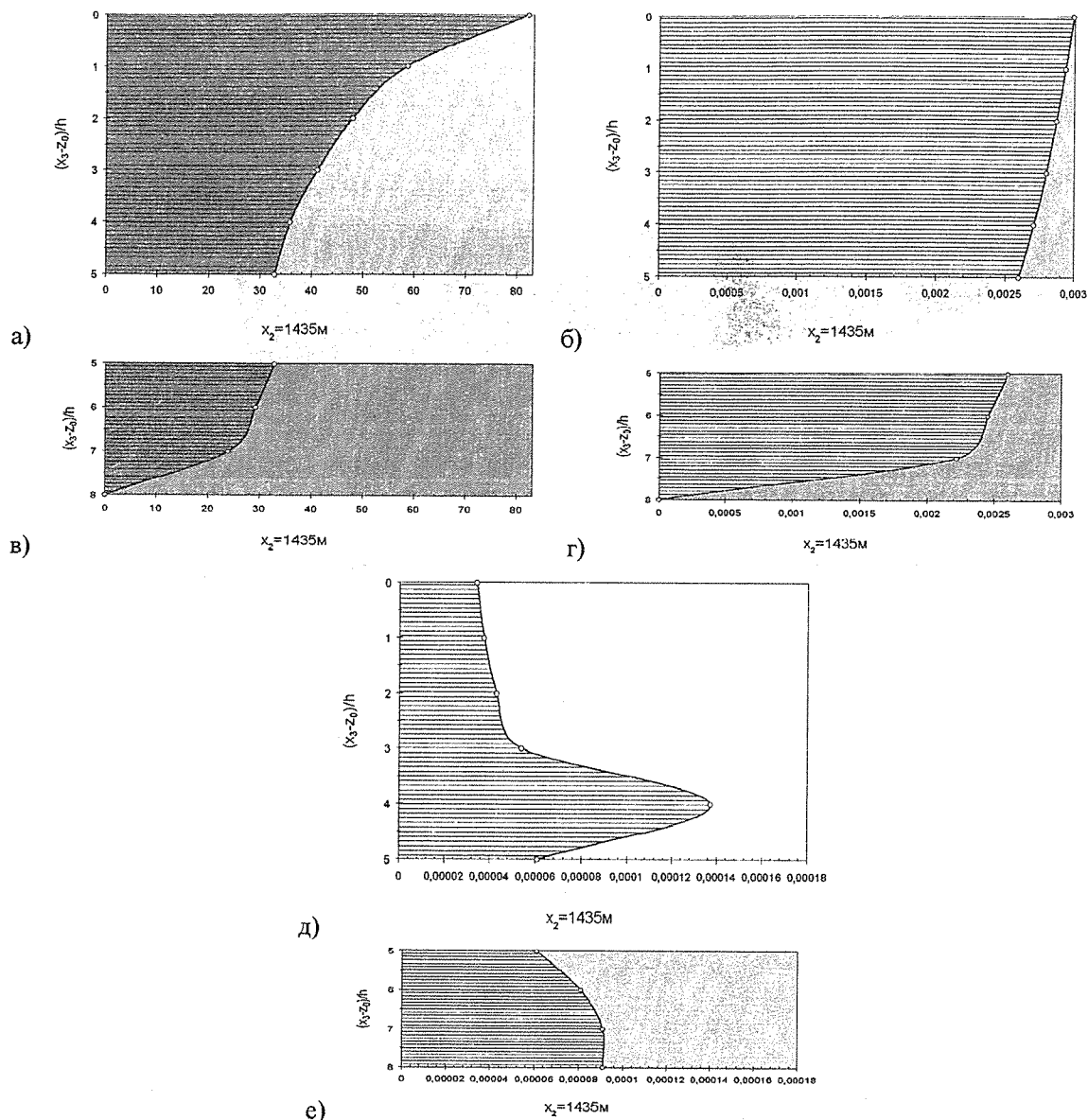


Рис. 3. Епюри розподілу гідродинамічних характеристик р. Ірпінь після 485-ої сходинки гідрографа весняної повені: кінетичної енергії турбулентності ( $\text{кг}/\text{м}^3 \cdot \text{м}^2/\text{с}^2$ ): а) в основній товщі потоку; в) у придонній області на глибині від 0 до  $10D$ ; швидкості дисипації кінетичної енергії турбулентних пульсацій ( $\text{м}^2/\text{с}^3$ ); б) в основній товщі потоку; г) у придонній області на глибині від 0 до  $10D$ ; придонної мутності ( $\text{м}^3/\text{м}^3$ ); д) в основній товщі потоку; е) у придонній області на глибині від 0 до  $10D$

### Література

1. Михайлова Н.А. Перенос твердых частиц турбулентными потоками. — Л.: Гидрометеиздат, 1966. — 235 с.
2. Знаменская Н.С. Донные наносы и русловые процессы. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 191 с.
3. Романовский В.В. Исследование скорости перемещения влекомых наносов // Тр. ГГИ. — 1977. — № 242. — с. 71-81.
4. Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Снисченко Б.Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса. — Л.: Гидрометеиздат, 1982. — 272 с.
5. Гришин Н.Н. Механика придонных наносов. — М.: Наука, 1982. — 160 с.
6. Никитин И.К. Турбулентный русловой поток и процессы в придонной области. — К.: Изд-во АН УССР, 1963. — 142 с.
7. Менжулин Г.В. Об аэродинамических параметрах растительного покрова. — Тр. ГГО. 1972. — Вып. 282. — С. 133-143.
8. Мирцхулава Ц. Е. Размыв русел и методика оценки их устойчивости. — М.: Колос, 1967. — 179 с.

9. Андреев О.В. Проектирование мостовых переходов. — М.: Транспорт, 1980. 215с.
10. Савенко В.Я. Математические модели и методы расчета квазитрехмерных безнапорных потоков. — К.: Техніка, 1995. 184 с.
11. Славінська О.С. Моделювання гідродинамічних процесів у двофазному відкритому потоці для придонної області з пасмовим дном / Олена Славінська // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. К.: НТУ, 2006. — Вип. 73. — С. 293-300.
12. Славінська О.С. Гідродинамічний опис структури придонної області турбулентного потоку з урахуванням кореляцій руху часток наносів // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво. — Рівне НУВГП, 2006. Випуск 31. С. 278-286.
13. Славінська О.С. Моделі та методи прогнозування деформацій зависених руслових та заплавних потоків в зоні впливу мостових переходів // Гідраліка і гідротехніка: Науково-технічний збірник — К.: НТУ, 2008. — Вип. 62. — С. 39-61.
14. Славінська О.С. Методи прогнозування деформацій в зоні пливу мостових переходів на основі теорії неоднорідних потоків // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. — Рівне, 2009. — Ч.1. — Вип. 3(47). — С. 462-481.
15. Славінська О.С. Дослідження гідродинамічних процесів у придонній області руслових та заплавних потоків у зоні впливу мостових переходів // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. К.: НТУ, 2010. — Вип. 79. — С. 3-26.
16. Славінська О.С. Моделювання гідродинамічних процесів у відкритих зависених потоках // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. — Рівне, 2007. Частина 2. Випуск 4(40). С. 141-153.
17. Славінська О.С. Дослідження гідродинамічних процесів у відкритих зависених потоках у зоні впливу мостових переходів // 36. наук. праць. — Донецьк: ДонІЗТ, 2010. — Вип. 43 — С.84- 96.

УДК 621.43-543.3

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА В НЕСТАЛИХ РЕЖИМАХ

Сирота О.В.

*Пропонується загальна методика розрахунку паливної економічності бензинового двигуна в несталих режимах при різних методах регулювання потужності.*

*It is proposed the general method for calculation of fuel economy of petrol engine in the course of operating on unset modes at the different methods of power adjusting.*

**Постановка проблеми.** Одним з напрямів покращення паливної економічності бензинових двигунів в режимах малих навантажень і холостого ходу є перехід від традиційного методу дроселювання при роботі всіх циліндрів до комбінованого методу — відключення частини циліндрів і дроселювання, в значно меншій мірі, працюючих циліндрів. При такому методі регулювання потужності, за рахунок збільшення коефіцієнта наповнення, поліпшується робочий процес в працюючих циліндрах, зменшуються насосні втрати та покращується паливна економічність двигуна.

**Аналіз попередніх досліджень і публікацій.** На кафедрі «Двигуни і теплотехніка» Національного транспортного університету проводяться теоретичні та експериментальні дослідження комбінованого методу регулювання потужності, який реалізується шляхом припинення подачі палива в циліндри, що відключаються, і зменшенням дроселювання працюючих циліндрів [1]. Зміна кількості працюючих циліндрів двигуна відбувається без зміни системи їх газообміну [2].

За даними експериментальних швидкісних та навантажувальних характеристик двигуна були визначені закономірності зміни величини витрат палива в різних режимах роботи двигуна та при різних методах регулювання потужності [3]. За цими характеристиками визначено діапазон навантажень, в якому при роботі двигуна на частині циліндрів спостерігається зменшення годинної витрати палива в порівнянні з роботою двигуна з усіма працюючими циліндрами. Крім того, визначена величина зміни кута відкриття дросельної заслінки при зміні кількості працюючих циліндрів для отримання безступінчастої зміни крутного моменту двигуна при розгоні та уповільненні [4].