

ПРОБЛЕМА ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОСТІ ВАНТАЖНИХ ПОЇЗДІВ

У статті розглянуто проблему підвищення швидкості руху вантажних поїздів.

В статье рассмотрена проблема повышения скорости движения грузовых поездов.

In the paper a problem of increasing the traffic speed of freight trains is considered.

Вантажний вагонний парк Укрзалізниці, маючи значну ступінь зносу, продовжує виконувати досить напружений вантажообіг – за минулий рік 262,8 млрд ткм, що склало майже 90 % від загального показника по Мінтрансу.

Інтенсивність вантажообігу (що приходиться на один кілометр магістральної колії) склала 12 млн ткм/км, що значно перевищує відповідний показник розвинених країн (у США – 5,1; ФРН – 2,2, Франції – 1,5).

Це забезпечується, у першу чергу, за рахунок високої маси поїзда (5 тис. т – завантаженого по УЗ проти 850 т – на залізницях Європи), яка обмежена міцністю ударно-тягових приладів та несучих конструкцій вагонів.

Разом з тим, експлуатаційна швидкість поїздів не відповідає європейському рівню. Фактична швидкість завантаженого поїзда обмежується до 85 км/год., а з порожніми вагонами – 70 км/год. Це майже у півтора рази нижче від конструктивної, закладеної у технічних характеристиках вагонів – 120 км/год. В результаті не використовується на 10...15 % продуктивність вагона. З причини обмежених швидкостей ми змушені утримувати надлишковий парк вагонів та локомотивів, щоб виконувати необхідний об'єм перевезень.

Спроби збільшити швидкість вантажних поїздів, сформованих із старотипних вагонів, робились неодноразово [1]. Однак, без усунення обмежуючих причин усі такі спроби закінчувались поверненням до традиційних швидкостей після кількох аварійних сходів з рейок.

Сьогодні проблема підвищення швидкості стає ще актуальнішою у зв'язку з нормативами міжнародних організацій залізничників та наступному входженню частини наших магістралей у міжнародні транспортні коридори. Кодексом європейських союзів залізничників ОСЗ/МСЗ ХХХ/V (ст. 22.3) та пам'ятками ОСЗ № 516 і МСЗ № 430/4 (ст. 1.5) приписано, що максимальна швидкість вагонів в експлуатації, незалежно від зносів ходових частин, повинна складати 120 км/год. (відповідна стаття позначена зірочкою, тобто є обов'язковою до виконання).

Математична теорія стійкості руху О. М. Ляпунова [2] здобула розвиток стосовно до залізничного рухомого складу у працях В. А. Лазаряна і його наукової школи – М. Л. Коротенка, Ю. В. Дьоміна та інших [3, 4]. Вони встановили, що рух вагона (чи іншого залізничного екіпажу) втрачає стійкість за Ляпуновим, якщо його швидкість перевищила деяку величину, яку називають **критичною швидкістю** руху вагона.

Починаючи з 90-х років минулого століття, галузевими лабораторіями ДІТУ проводяться дослідження критичної швидкості вантажних вагонів у залежності від зносів ходових частин та інших факторів. Одержані на цей час результати приведені на рис. 1. Перші три стовпці діаграми характеризують критичну швидкість $v_{кр}$ нового вагона (або з переточеними колісними парами) при експлуатаційному пробігу від нуля до приблизно 30 тис. км. У вказаний період критична швидкість перевищує 120 км/год. незалежно від інших факторів. Саме ця обставина дозволила встановити нормативну **конструктивну швидкість**. Показані на діаграмі інші значення $v_{кр}$ відповідають стану після пробігу вагонів на візках моделі 18-100 більше 30 тис. км. Потрійними стовпцями позначена критична швидкість у залежності від трьох основних факторів:

- зліва – при русі **порожнього вагона по прямолінійній колії** – вона становить приблизно 70 км/год;
- середні стовпці – для **завантаженого вагона у прямолінійній колії** – критична швидкість дещо перевищує 80 км/год.;
- справа – рух **в кривих**, коли відцентрові сили сприяють стабілізації і втрата стійкості трапляється при більш високій швидкості.

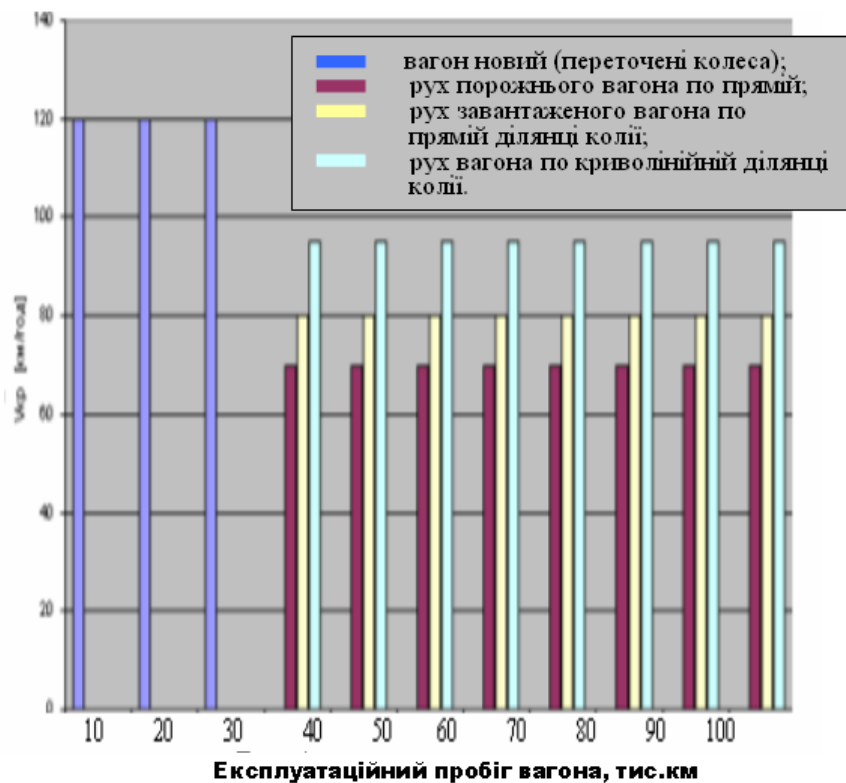


Рис. 1. Критична швидкість вагона на візках мод.18-100

Ознаками втрати стійкості руху є:

1) Збудження автоколивань виляння колісних пар у горизонтальній площині. Колісні пари безперервно коливаються у колійному зазорі, натикаючись то на ліву, то на праву рейку гребенями коліс. При цьому динамічні рамні

зусилля – основний чинник вповзання колеса на рейку – значно збільшуються. На рис 2 приведені графіки зміни рамних сил H_r залежно від швидкості руху порожнього вагона по прямолінійних ділянках колії.

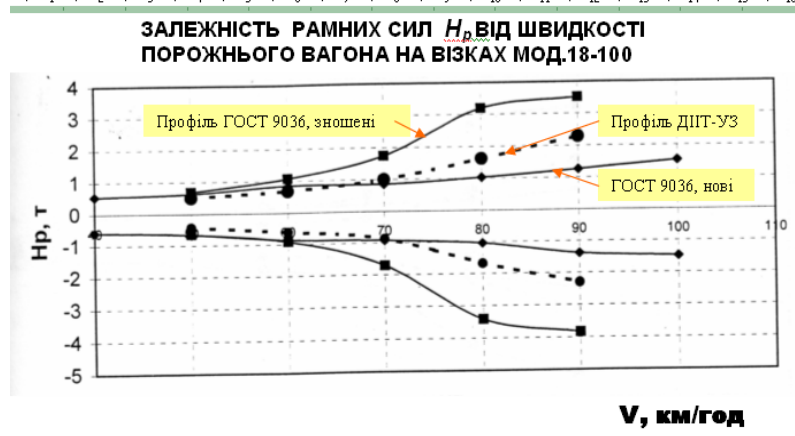


Рис. 2. Графіки залежності рамних сил від швидкості

Шкала швидкості відкладена на середній осі, а графіки побудовані за значеннями рамних зусиль в сторону лівої та правої рейок (відповідно верхня та нижня криві). **Внутрішні криві** – рамні сили вагона з **незношеними** профілями коліс ГОСТ-9036. При зростанні швидкості сили монотонно збільшуються. Рух вагона при цьому стійкий. **Середні лінії (пунктирні з жир-**

ними крапками) – зареєстровані зусилля вагона з незношеними профілями коліс ДІТ-УЗ. В діапазоні швидкостей 70...90 км/год. рамні зусилля зростають більш інтенсивно (на 25...50 %), але втрати стійкості не зафіксовано. **Зовнішні лінії** – колісні пари **зношені**. Тут збільшення рамних зусиль розпочинається уже при 60 км/год., а при 80 км/год. зафіксовані си-

ли втричі більші (порівняно з показниками внутрішніх ліній), далі вони дещо стабілізуються. Спостерігаються ознаки **втрати стійкості руху** вагона, починаючи зі швидкості 70 км/год.

2) Характерно, що після втрати стійкості поперечні переміщення колісних пар візка відбуваються протифазно одна відносно іншої. Це приводить до збурення **автоколивань виляння рам візків** у горизонтальній площині. Тому у технічній літературі втрату стійкості часто визначають як «интенсивное извилистое движение тележек». Оскільки критична швидкість вагонів поїзда може бути різною (див. рис. 1), то можливо спостерігати у минаючого поїзда **нестійкий хід окремих вагонів**. Їх візки іноді називають «шальные тележки» (термін зустрічається, зокрема, у монографії одного з наукових працівників ВНИИЖТа [5]). У зв'язку з цим доцільно зазначити, що під вказаний термін підходять **усі візки моделі 18-100 після експлуатаційного пробігу більше 30 тис. км**. У літературі європейських дослідників втрата стійкості називається «шиммі» (shimmy – вібрація, коливання (колів), один з негритянських танців). Зокрема, у лекціях спеціалістів французького дослідницького центру рухомого складу підкреслюється, що саме «шиммі» було найскладнішою проблемою при створенні суперекспресів TGV.

3) **Кузов вагона** після втрати стійкості руху **теж починає коліватись у горизонтальній площині**, оскільки виляння обох візків збурюються переважно у протифазі. Автоколивання виляння кузова відбуваються з амплітудою близько 70 мм (на ширину головки рейки) і частотою ~ 1,5 Гц. Спостерігаючи за коливаннями кузовів минаючого вантажного поїзда, можна візуально виявити вагони, що втратили стійкість руху.

Способи підвищення критичної швидкості вагона.

Аналіз конструкцій високошвидкісних вагонів, зокрема поїздів-експресів, що забезпечують стійкість руху (при нормованих зносах ходових частин) до 250...350 км/год., показав, що для підвищення критичної швидкості можна використати **демпфери поздовжніх горизонтальних коливань**, встановлені між рамою візка та кузовом вагона. Зокрема, рами візків високошвидкісного поїзда TGV (Франція) з обох сторін з'єднані з кузовами спеціальними **гідролічними демпферами**. Вони потужніші від гідролічних гасників вертикальних і поперечних коливань, а у верхній частині мають лійку для регулярного контролю рівня та поповнення ро-

бочої рідини, витік якої може привести до тяжких наслідків.

Поширені також **демпфери фрикційного типу**. Кожний такий демпфер утворюється парою притиснутих один до іншого ковзунів: надресорної балки візка і відповідних їм – на шкворневій балці кузова. Для ефективності роботи такого демпфера слід виконувати дві умови:

- поверхні тертя повинні працювати стабільно без мікросхоплень, для чого використовують пари «чавун – сталь», «вуглепластик – сталь» та ін.;

- автоколивання виляння рами візка, що збурюються після досягнення вагоном критичної швидкості, повинні передаватись на надресорну балку, інакше демпфери не будуть ефективно підвищувати критичну швидкість вагона.

У пасажирських вагонів (з практично стабільною масою) притискання ковзунів демпфера забезпечується тим, що кузов повністю опирається на ковзуни надресорних балок візків. Передаючі пристрої відомі двох типів – трьохважільні (на візках MD-530 IC-експресу ФРН, «ГОША») та повідкові (на візках KB3-ЦНИИ, мод. 68-4075 та ін.).

Щодо **вантажних вагонів**, то збільшення їх критичної швидкості досягається шляхом використання:

- **Фрикційних демпферів**, функцію яких виконують пружні ковзуни надресорної балки візка, постійно притиснуті до відповідних ковзунів шкворневої балки кузова. Як тільки збурюються автоколивання виляння візка, відбувається їх гасіння за рахунок роботи сил тертя між ковзунами. В експлуатаційному вагонному парку УЗ уже п'ять років ведеться модернізація візків за технологією, запропонованою фірмою «А.СТАКІ» (США). При цьому типові жорсткі ковзуни замінюються пружно-катковими беззазорними ковзунами, які створюють демпфери з парними ковзунами шкворневих балок кузова. Взаємний стиск ковзунів-демпферів регулюється пружною поліуретановою вставкою. Надлишкові зусилля при перевалці кузова приймає на себе ролик і полегшує вписування вагона у криві.

- **Малозносних клинів гасника коливань з уретановими накладками** на похилих поверхнях. Важлива функція клина — не допускати виникнення між боковинами і надресорною балкою некомпенсованих зазорів, щоб автоколивання виляння з початку їх збурення передавались на надресорну балку і гасились ковзунами-демпферами.

Аналогічними деталями обладнані візки моделі 18-7020 розробки ВАТ «КВБЗ» Окрім пружно-каткових ковзунів та малозносних клинів з уретановими накладками, у цих візках встановлені ресорні комплекти з білінійною жорсткістю. Статичний прогин вагону у порожньому режимі збільшено вдвічі (порівняно з візками мод. 18-100). Це покращує плавність ходу і має дати переваги при експлуатації з підвищеними швидкостями.

Таким чином, у вагонному парку УЗ уже експлуатуються вагони, які можна використати для формування швидкісних вантажних поїздів. Однак, стримуючим фактором виявився негативний досвід минулих спроб підвищення експлуатаційної швидкості вантажних поїздів на залізницях зі стандартом колії 1520 мм. Тому було вирішено виконати ряд попередніх досліджень з обґрунтуванням безпечності кожного практичного кроку, пов'язаного зі збільшенням експлуатаційної швидкості.

Полігоном для започаткування швидкісного руху вибраний напрямок Кривий Ріг – Ужгород – Кошице, на якому уже близько 40 років проводяться експлуатаційні випробування нових конструкцій вагонів і їх частин. Тут обертаються постійні залізничні маршрути, проходячи складний за планом і профілем колії Карпатський перевал. Довжина одного рейсу – 2700 км. Коефіцієнт порожнього пробігу – 0,5.

За експертними оцінками, завантаженість вагонів маршрутів в 1,2...1,5 рази перевищує середню загальномережеву на колії 1520 мм.

У 2006 р. проведені **підготовчі дослідження** з метою визначення найбільших допустимих швидкостей руху маршруту по трасі за умови, що всі вагони будуть мати **критичну швидкість не менше 120 км/год. (як у завантаженому, так і в порожньому станах)**. Діагностичний рейс виконувався з існуючим маршрутом і з традиційними швидкостями руху. У маршрут була включена вагон-лабораторія для безперервної реєстрації в обох напрямках з прив'язкою до кілометражу траси таких величин:

- фактичної швидкості руху;
- вертикальних динамічних прискорень невідресорених частин візка (боковин) та шкворневих балок кузовів у чотирьох піввагонах маршруту;
- горизонтальних динамічних прискорень вказаних вище невідресорених та відресорених частин піввагонів.

Зареєстровані дані оброблялись за допомогою спеціально розроблених алгоритмів і програм. На виході будувались криві зареєстрованих і розрахованих параметрів, суть яких пояснимо на прикладі фрагменту, показаного на рис. 3.

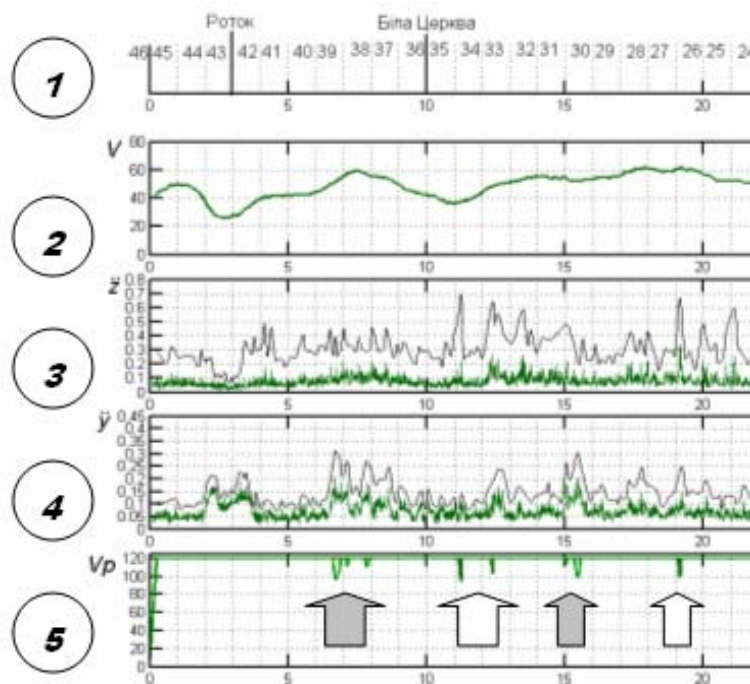


Рис. 3. Фрагмент результатів діагностичного рейсу маршруту

1 Позначений кілометраж маршруту та розміщення станцій – для прикладу показана ділянка з 45 км по 24 км в районі станції Біла Церква. На розміщених нижче графіках цій ділянці відповідають осі абсцис. Маршрут рухався завантаженим у напрямку Ужгорода.

2 Графік фактичної швидкості \tilde{v} під час діагностичної поїздки.

3 Графіки вертикальних динамічних прискорень: $\ddot{Z}_{\tilde{v}}$, зареєстрованих при проходженні ділянки (нижня лінія) і \ddot{Z}_{120} , розрахованих інтерполяційним методом (верхня лінія). Визначення вертикального прискорення \ddot{Z}_{120} (очікуваного при швидкості $v = 120$ км/год. за умови дотримання стійкості руху за Ляпуновим) проводилось за залежністю:

$$\ddot{Z}_{120} = \ddot{Z}_{\tilde{v}} + \hat{Z} \cdot (120 - \tilde{v}),$$

де $\ddot{Z}_{\tilde{v}}$ – прискорення, що заміряне при фіксованій швидкості руху \tilde{v} , меншій за 120 км/год.;

\hat{Z} – коефіцієнт (оператор) інтерполяції вертикальних прискорень, що знаходиться по цифровій таблиці, визначеній аналізом залежності прискорення від швидкості руху (40...120 км/год.) піввагона з незношеними ободами коліс (вказана залежність одержана при попередніх випробуваннях); оператор має межі 0,0026...0,0036.

4 Графіки горизонтальних (поперечних) динамічних прискорень $\ddot{Y}_{\tilde{v}}$ (нижній) та \ddot{Y}_{120} (вер-

хній), які одержані подібно до п. 3. Оператор інтерполяції горизонтальних прискорень \hat{Y} має межі 0,00100...0,00225.

5 Графік прогнозної максимальної швидкості маршруту, всі вагони якого мають критичну швидкість, не меншу 120 км/год. Принцип побудови цього графіку – аналізом кривої \ddot{Z}_{120} визначались ті місця, де рівень прискорення перевищує нормований для задовільного ходу вагона [6], потім розраховувались необхідні пониження швидкості і наносились на графік (на рис. 3 ці місця позначені світлими стрілками). Відповідні місця обмежень при аналізі \ddot{Y}_{120} позначені на графіку затемненими стрілками. У підсумку для швидкісного маршруту (завантаженого) на розглянутій ділянці траси визначена максимальна швидкість руху 100 км/год.

Результати діагностики наносились на карту залізничної колії. Ділянка колії, що розглянута вище, показана на рис. 4.

В районі ст. Біла Церква в прямому та зворотному напрямках смугами жовтого кольору позначена швидкість до 100 км/год. Східніше від ст. Сухоліси показана червона смуга – до 80 км/год., а західніше ст. Устинівка – чорна смуга позначає, що швидкість рекомендується залишити без змін (колишньою). У зворотному напрямку перед ст. Фастів рекомендована колишня швидкість, а східніше – до 100 км/год.

Встановлене діагностикою співвідношення швидкостей руху маршруту по всьому напрямку показане на рис. 5.



Рис. 4. Ділянка траси з позначенням діагностичних швидкостей

При розробці реального графіку руху перших швидкісних поїздів, окрім цих рекомендацій, приймалися до уваги обмеження швидкості:

- для завантажених поїздів – при умові повного використання вантажопідйомності

вагонів – до 90 км/год., щоб не допустити зниження ресурсу колії;

- за конструктивною швидкістю більшості вантажних електровозів – до 100 км/год.

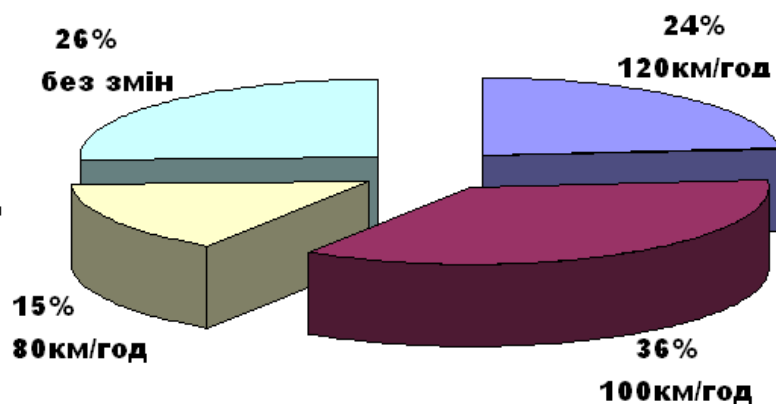


Рис. 5. Діаграма рекомендованих швидкостей маршруту

Для переведення у режим швидкісного руху був сформований маршрут № 2 виключно з піввагонів нового покоління на візках моделі 18-7020. Напередодні 2007 р. маршрут розпочав перевезення руди в існуючому (традиційному) режимі. Перші пробні швидкісні поїздки (до 90 км/год. у прямому та 100 км/год. у зворотному напрямках) за спеціально складеним розкладом відбулись у кінці квітня минулого року. На їх початок маршрут мав пробіг 27 тис. км, а після двох рейсів – 32,4 тис. км. Для вагонів на візках мод. 18-100 при такому пробігу уже б наступила втрата стійкості за Ляпуновим. Але на візках нового покоління цього не спостерігалось, пробні рейси пройшли без зауважень щодо безпеки руху.

Далі маршрут був переведений у традиційний режим експлуатації, оскільки технологія водіння швидкісних вантажних поїздів повинна бути підкріплена відповідними інструкціями для усіх причетних служб. Розробка таких інструкцій виконана.

На сьогодні експлуатаційний пробіг маршруту № 2 уже перевищив 100 тис. км. Заплановане проведення контрольних динамічних випробувань кількох вагонів для визначення критичної швидкості і коефіцієнтів стійкості від вповзання коліс на рейки при існуючих зносах ходових частин. За результатами буде прийняте рішення щодо відновлення швидкісного руху маршруту № 2. З накопиченням досвіду планується переведення усіх поїздів розглянутого рудного напрямку на нову технологію.

Згідно до розрахунків доцента кафедри економіки та менеджменту ДІТУ О. М. Гненного, перехід на швидкісний рух усіх рудних поїздів від Кривого Рогу до Ужгорода дозволить при існуючому об'ємі перевезень скоротити потребу у вагонах – на 690 одиниць, у локомотивах – на 11 одиниць. Загальний річний розрахунковий ефект – 275 млн грн.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Работа железнодорожного пути при обращении грузовых поездов со скоростями 90-100 км/ч // Тр. ВНИИЖТ, вып. 614. – М. Транспорт, 1979. – 81 с.
2. Ляпунов А. М. Собр. соч. – Т. 2. – М.-Л., 1956. – 263 с.
3. Лазарян В. А. Устойчивость движения рельсовых экипажей / В. А. Лазарян, Л. А. Длугач, М. Л. Коротенко. – К.: Наук. думка, 1972. – 200 с.
4. Демин Ю. В. Автоколебания и устойчивость движения рельсовых экипажей / Ю. В. Демин, Л. А. Длугач, М. Л. Коротенко, О. М. Маркова. – К.: Наук. думка, 1984. – 160 с.
5. Лысюк В. С. Причины и механизмы схода колеса с рельса. Проблема износа колес и рельсов. – М.: Транспорт, 1997. – 168 с.
6. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 317 с.

Надійшла до редколегії 23.05.2008.