



- © В.П. Сахно, докт. техн. наук, професор,
- © В.М. Поляков, канд. техн. наук, професор,
- © О.М. Тімков, канд. техн. наук, доцент,
- © М.І. Файчук, канд. техн. наук,
- © П.Б. Прогній, інженер (НТУ)

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОПОЇЗДА З ПЕРЕКОСОМ МОСТІВ НАПІВПРИЧЕПА

Анотація. Результати експериментальних досліджень підтвердили адекватність розроблених математичних моделей для дослідження стійкості руху автопоїзда у тяговому та гальмівному режимах із перекосом мостів напівпричепа. Розбіжність результатів не перевищує 5,8...8,4 % у всіх режимах руху. Однією із основних причин зазначеної розбіжності є бічне відведення коліс осей автопоїзда, математичний опис якого надзвичайно складний.

Ключові слова: переко́с моста, автопоїзд, стійкість, експеримент, обладнання, програма, методика, розбіжність.

Аннотация. Результаты экспериментальных исследований подтвердили адекватность разработанных математических моделей для исследования устойчивости движения автопоезда в тяговом и тормозном режимах с перекосом мостов полуприцепа. Расхождение результатов не превышает 5,8...8,4 % во всех режимах движения. Одной из основных причин отмеченного расхождения есть боковой увод колес осей автопоезда, математическое описание которого чрезвычайно сложно.

Ключевые слова: переко́с моста, автопоезд, устойчивость, эксперимент, оборудование, программа, методика, расхождение.

Annotation. The results of experimental researches confirmed adequacy of the developed mathematical models for research of stability of motion of lorry convoy in the hauling and brake modes with the defect of bridges of semitrailer. Divergence of results does not exceed 5,8...8,4 % in all of the modes of motion. One of principal reasons of the noted divergence is a lateral withdrawal of wheels of axes of lorry convoy mathematical description of which extraordinarily difficultly.

Keywords: defect of bridge, lorry convoy, stability, experiment, equipment, program, method, divergence.

Вступ

У попередніх публікаціях (див. "Автошляховик України", № 6 за 2014 р. і №1-2, 4 за 2015 р.) показано, що конструктивно параметри маневреності та стійкості руху автопоїзда тісно пов'язані з властивостями ходової частини. Так, при розробці конструкції ходової частини видаються не тільки кінематичними та жорсткісними характеристиками підвіски, але і силовою взаємодією колеса з поверхнею кочення, розподілом тисків в області контакту, величиною деформації тощо. Однак експлуатація автопоїздів нерозривно пов'язана зі змінною характеристик їх структурних елементів, що не може не відбиватися на кінематичних та жорсткісних властивостях ходової частини автомобіля-тягача і напівпричепа, і зміні характеру розподілу реакцій в області контакту шин автомобіля з дорогою внаслідок перекоосу мостів зокрема. У цьому випадку виникає питання щодо стійкості руху і, як наслідок, безпеки руху автопоїзда з різним технічним станом ходової частини автомобіля-тягача і напівпричепа.

Результатом теоретичних досліджень стала комплексна методика вибору параметрів автопоїзда, що базується на математичних моделях прямолінійного та керованого руху з урахуванням кутів встановлення мостів автомобіля-тягача і напівпричепа. За розробленою методикою визначена критична швидкість прямолінійного руху автопоїзда у складі сидельного тягача DAF XF 95.430 та напівпричепа KRONE – SDP 2, яка за відсутності перекоосу мостів автомобіля-тягача

і напівпричепа склала 32,4 м/с (116,6 км/год). У разі перекоосу другої осі автомобіля-тягача критична швидкість прямолінійного руху зменшується до 30,2 м/с.

Збільшенням перекоосу будь-якого мосту напівпричепа і другого мосту автомобіля-тягача у той чи той бік зменшує критичну швидкість автопоїзда. Найбільш суттєво впливає перекоос заднього моста напівпричепа. Так, перекоос цього моста на 1^о знижує критичну швидкість автопоїзда на 15,1 %, другого моста автомобіля-тягача – на 12,2 %, другого та першого мостів напівпричепа – на 6,2 та 5,1 % відповідно. Подальший зріст перекоосу понад 3^о призводить до коливальної нестійкості автопоїзда.

Перекоос мостів напівпричепа суттєво впливає і на показники гальмівної динамічності. Так, за початкової швидкості гальмування 40 км/год автопоїзд без перекоосу мостів напівпричепа залишається в межах нормованої смуги руху. За перекоосу будь-якого моста напівпричепа за цих же умов автопоїзд виходить за межі нормованої смуги руху.

Процес руху автопоїзда залежить від багатьох факторів. Для того, щоб найбільш повно експериментально вивчити процеси, що відбуваються при русі автопоїзда з перекосом мостів, необхідно здійснити велику кількість спостережень і вимірів. Розроблені моделі автопоїзда для визначення показників маневреності та стійкості руху як у тяговому, так і гальмівному режимі дали змогу замінити об'єкт дослідження, але при цьому одержувати про нього інформацію. Деякі



необхідні для аналітичних досліджень вихідні дані були задані з припущеннями, зокрема про характер залежності кута бічного відведення від бічної сили, про величину моментів інерції модулів автопоїзда тощо. Будь-яка математична модель вимагає перевірки її адекватності на реальному фізичному об'єкті. Зробити таку перевірку можна шляхом порівняння результатів отриманих за допомогою математичної моделі та при проведенні експериментальних досліджень.

Метою статті є перевірка адекватності розроблених математичних моделей автопоїзда з урахуванням кутів встановлення мостів автомобіля-тягача та напівпричепи і вихідних положень, покладених в основу розрахунку параметрів маневреності та стійкості руху.

Основна частина

Для досягнення мети в програму експериментальних досліджень було покладено:

- оцінити вплив перекосу мостів автопоїзда на показники маневреності та стійкості при круговому русі, повороті на 90°, русі з “переставкою” і прямолінійному русі;
- оцінити вплив перекосу мостів автопоїзда на показники динамічності гальмування автопоїзда з урахуванням кутів встановлення мостів (перекосом мостів);

Об'єктом експериментального дослідження був обраний автопоїзд категорії N3+O4 у складі сидельного тягача DAF XF 95.430 та напівпричепи KRONE – SDP 24 (рис. 1). Автомобіль виконує постійні міжміські та міжнародні перевезення вантажів, на момент випробувань пробіг склав 350 тис. км.



Рис. 1. Експериментальний автопоїзд

Автопоїзд було обладнано необхідною контрольно-вимірювальною і реєструючою апаратурою. Реєструюча апаратура та місце оператора, який контролював роботу вимірювально-реєструючого комплексу, було організовано в кабіні сидельного тягача (рис. 2-а). Використовувалась як стандартна, так і універсальна апаратура, розроблена кафедрою “Автомобілі” НТУ [1].

Універсальне вимірювальне обладнання було створено на базі ПЕОМ (рис. 2-б) та електронного осцилографа USB Oscilloscope (рис. 3-а) з використанням

стандартних датчиків різних типів. Вимірювання відображалося на моніторі ноутбука в реальному часі за допомогою спеціальної програми та зберігались у вигляді файлу з даними для проведення подальшої обробки та аналізу. Для виміру кута повороту керування коліс застосовувався потенціометричний датчик ПТП-1, що має високу надійність і достатню для вирішення поставлених завдань точність. Для визначення поздовжнього і бокового прискорення та прискорення автомобіля навколо своєї вертикальної осі були використані датчики прискорення МП-95.

Стандартна апаратура використовувалась при визначенні кутів перекосу мостів напівпричепи (JOSAM AM), лінійної поздовжньої та бічної швидкості, прискорення та пройденого шляху автопоїзда (CORRSYS DATRON) (рис. 3-б).

У кабіні водія також розташовувались додаткова акумуляторна батарея для живлення приладів, щоб виключити вплив на вимірювальну апаратуру коливань напруги.

Безконтактний оптичний датчик CORREVIT® L400 для реєстрації швидкості руху та пройденого шляху автопоїзда використовувався з обладнанням фірми Corrsys Datron, рис. 4. Принцип дії датчика ґрунтується на перевірених часом технології оптичної кореляції.

Ця технологія використовує джерело освітлення високої інтенсивності, яке опромінює випробувальну поверхню, яка зазвичай, відбивається датчиком на дифракційній решітці оптичної системи. Датчики цього типу швидко встановлюються, прості, універсальні, мають високу надійність і безконтактні.

Датчик швидкості має розширений діапазон роботи, завдяки чому він може використовуватися на вантажних автомобілях, автобусах та позашляхових автомобілях. Широкий діапазон робочих швидкостей, висока точність вимірювання, висока надійність і наявність аналогових та цифрових виходів роблять цей датчик дуже конкурентоспроможним.

Всі описані датчики перед початком випробувань були таровані в лабораторних умовах.

До початку виконання програми досліджень за допомогою лазерної вимірювальної системи контролю кутів установки коліс та положення осей JOSAM AM [2] було перевірено технічний стан ходової системи автопоїзда та кути встановлення мостів автомобіля-тягача і напівпричепи.

Для вимірювання кутів розвалу, сходження, поздовжнього та поперечного кутів нахилу шворня на диск колеса встановлювався прилад AM301 (рис. 5), що має поворотний лімба та регульований рівень. Прилад встановлюється на вісь колісного адаптера, після цього поворотом лімба досягається горизонтальне положення по верхньому рівню, за допомогою нижньої рукоятки. Обертанням вимірювального лімба виставляється горизонт за нижнім рівнем. Кут розвалу зчитується за зовнішнім рядом шкали лімбу. Для вимірювання кута розвалу необхідно зняти прилад та встановити його з протилежної сторони.

Для вимірювання величини та напрямку перекосу мостів і геометрії рами на кожен міст по черзі встановлювався колісний адаптер з лазерним проектором

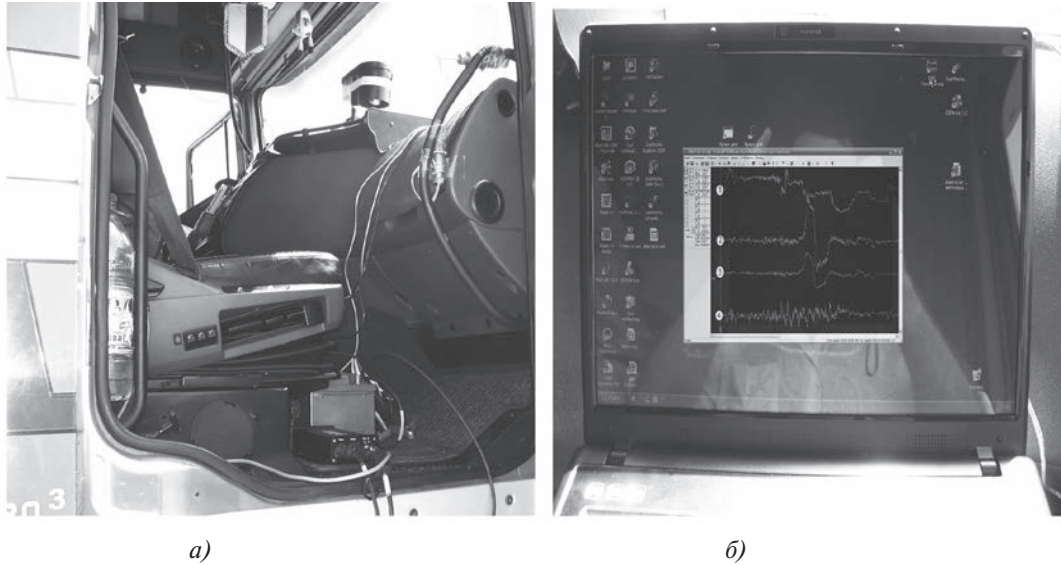


Рис. 2. Місце оператора в кабіні автомобіля-тягача (а) та реєструючий комплекс на базі ПЕОМ (б)

AM20–D1 (рис. 6). На лонжерони рами напівпричепа встановлювались підвісні подовжувачі з вимірювальними шкалами (рис. 7) перпендикулярно до лонжеронів рами.

Після чого, в лист звіт, записувалось значення положення точки лазера 1 з вимірювальної шкали, рис. 7. Вимірювання виконувалось з обох боків мосту. Різниця між значеннями показань за вимірювальними шкалам є дійсним кутом встановлення даного мосту.

Під час експериментальних досліджень, за допомогою обладнання фірми JOSAM, мости автопоїзда встановлювались із перекосом у межах $\pm 52,2$ мм/м ($\pm 3^\circ$) без пошкодження несучих елементів рами за рахунок використання регулювальних пластин і пальців.

Випробування проводилися на рівному сухому асфальтованому майданчику злітно-посадкової смуги аеродрому м. Житомир. Заїзди відбувалися на двох ділянках – прямій та полосі для розворотів, де викону-

вались маневри зі стійкості прямолінійного руху, повороту на 90° та виконання маневру “переставка”.

Радіуси кривизни вибиралися від 15 до 50 м. Необхідні траєкторії розмічалися крейдою на дорожньому покритті, за якими водій зобов’язаний був направляти рух автопоїзда. Для підвищення впевненості водія в правильному керуванні автопоїздом уздовж ліній, нанесених крейдою, були розставлені яскраво червоні фішки. Цими фішками користувався й оператор, визначаючи момент включення й виключення апаратури для реєстрації та гідровідмітчиків. Рух на ділянках виконувався зі встановленою швидкістю (від 5 до 70 км/год). Виконання випробувань передбачало три повторності у кожному з режимів, згідно з вимогами ДСТУ 3310–96 [3]. За результат вимірювань приймалося середнє значення за всіма повторностями. Протягом одного заїзду швидкість руху підтримувалася за можливості постійною. Повороти рульового колеса

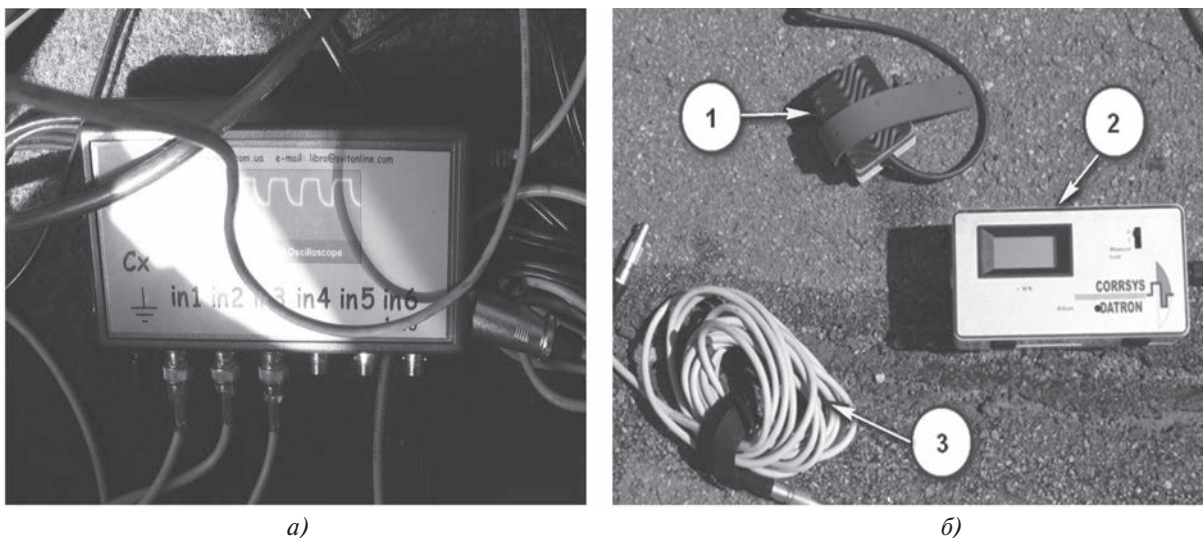


Рис. 3. Аналого-цифровий перетворювач USB Oscilloscope (а) блок керування DATRON (б): 1 – датчик зусилля на педалі; 2 – блок обробки та зберігання інформації; 3 – з’єднувальні дроти

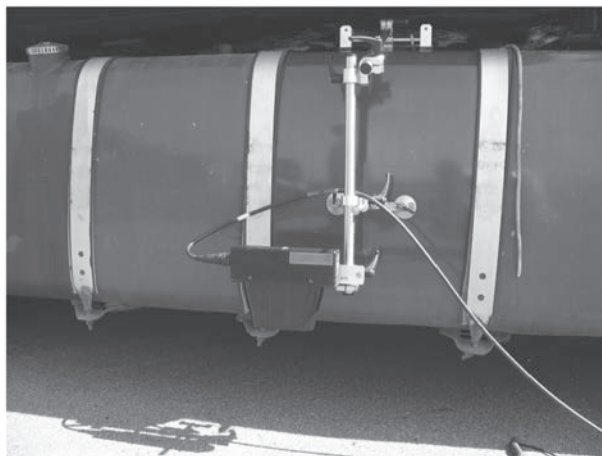


Рис. 4. Безконтактний датчик швидкості CORREVIT® L400



Рис. 5. Визначення кутів встановлення керованих коліс



Рис. 6. Визначення величини та напрямку перекосу мостів

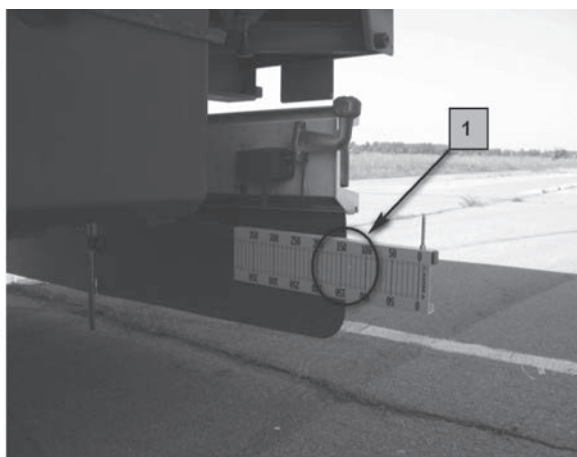


Рис. 7. Вимірювальна шкала підвісного подовжувача

виконувалися плавно, без затримок та ривків, в зворотному напрямку не допускалися.

Круговий рух автомобіля починався з положення, коли керовані колеса вже повернені на максимальний кут. Надалі рух автомобіля-тягача здійснювався при незмінному положенні керованих коліс, за кожне повне коло визначалися величини дійсних габаритних радіусів автопоїзда тощо.

Для виключення впливу випадкових збурень випробування проводились на сухому горизонтальному асфальтованому майданчику з високим коефіцієнтом зчеплення при температурі повітря $+20...+24$ °С. Реєстрація траєкторій ланок автопоїзда проводилась за допомогою системи гідровідмітчиків.

Експериментальний автопоїзд мав змогу встановлення його мостів із перекосом. Дослідження проводились для перекосу першого моста напівпричепи X1, перекосу другого (середнього) моста напівпричепи X2, перекосу третього моста напівпричепи X3, **рис. 8.**

Для оцінки характеристики руху автопоїзда прийняте середнє значення відхилення Δ траєкторії причіпної ланки від траєкторії автомобіля-тягача на мірних

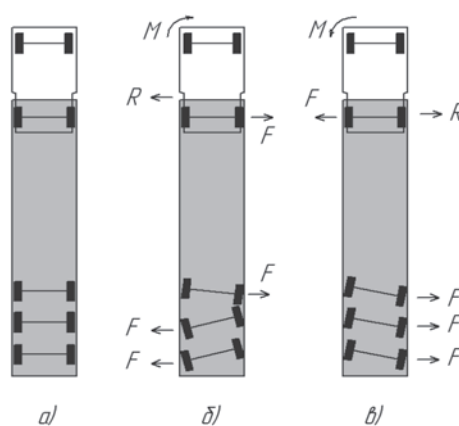
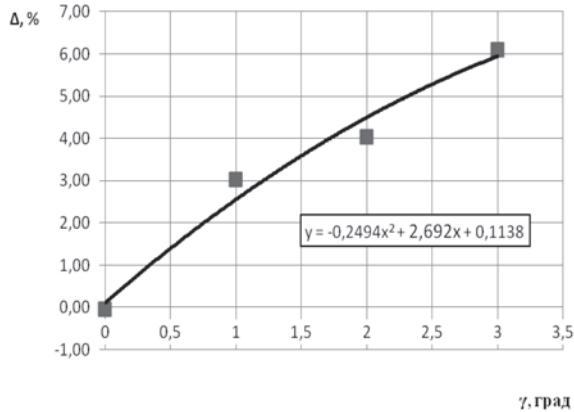
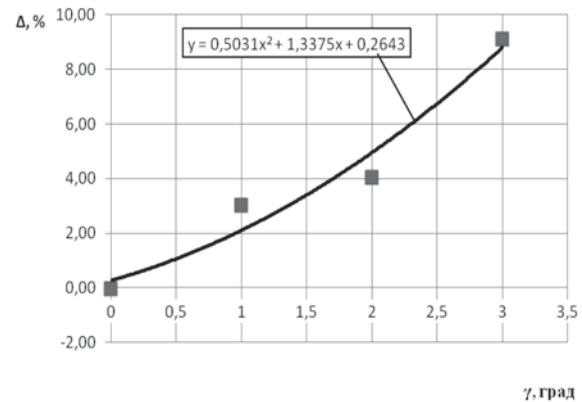


Рис. 8. Схеми перекосу мостів напівпричепи, що досліджувались

ділянках. Відхилення траєкторії причіпної ланки визначалося за трьома контрольними точками на мірних ділянках. Перед початком випробувань виконувалися заїзди для калібрування, що визначали можливе відхилення траєкторії руху на мірних ділянках при



a)



б)

Рис. 9. Зміна габаритної смуги руху напівпричепа при прямолінійному русі при різнобічному перекосі за схемою 8б (а) і однобічному перекосі за схемою 8в (б)

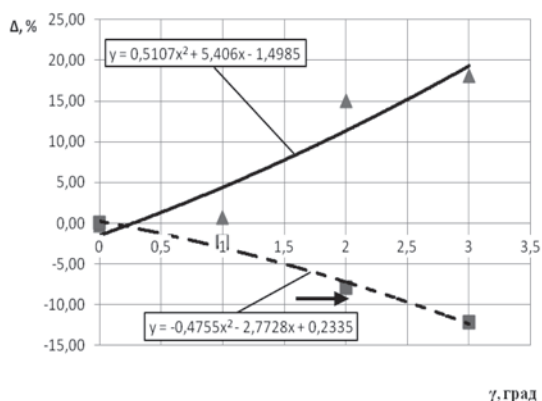
технічно справному стані автопоїзда. Перед контрольними заїздами водій виконував кілька пробних заїздів.

Методика випробувань передбачала проведення калібрування та визначення відхилень траєкторії напівпричепа з перекосом мостів за допомогою гідровідмітчиків з одночасним записом осцилограм із вимірюваними величинами. Відхилення траєкторії причіпної ланки визначалися за допомогою мірної лінійки та рулетки, базування яких здійснювалося за слідом гідровідмітчиків. При цьому, вимір проводився посередині слідів траєкторії тягача й напівпричепа в місці найбільшої розбіжності траєкторій. Похибка вимірів з урахуванням висихання сліду становила $\Delta_c = 1\text{ мм}$, що підтверджено серією послідовних вимірів, виконаних у контрольних точках траєкторії руху автопоїзда. У якості результату приймалось середнє значення на підставі трьох заїздів. На підставі отриманих даних побудовані відповідні графічні залежності відхилення траєкторії руху від різних факторів. Моделюючи різні порушення технічного стану причіпної ланки та тиску повітря в шинах автопоїзда (для визначення впливу коефіцієнта

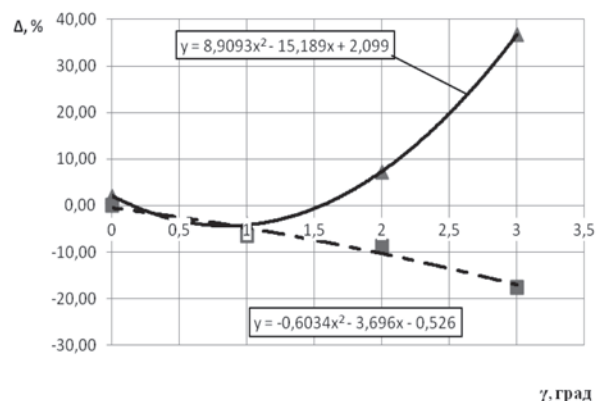
опору бічному відведенню на параметри руху автопоїзда), були отримані дані про вплив цих параметрів на стійкість і маневреність автопоїзда.

Перекося мостів варіювалися в межах від 0° до 3° за годинниковою і проти годинникової стрілки на різних мостах причіпної ланки. Тиск повітря в шинах причіпної ланки змінювався в межах 50 та 70 % від норми по правому та лівому борту.

У результаті експериментальних досліджень руху автопоїзда були отримані осцилограми із записами кутів повороту керованих коліс сідельного тягача, дані про прискорення центрів мас ланок і кута складання автопоїзда за різних значень перекося мостів автопоїзда. Дані від вимірювального комплексу DATRON за параметрами – швидкість, прискорення та пройдений шлях автомобілем-тягачем отримані у вигляді текстового файлу. Обробка експериментальних даних дозволила отримати параметри, що характеризують стійкість руху автопоїзда, а саме швидкість, прискорення та пройдений шлях, кутові й лінійні відхилення траєкторії напівпричепа щодо траєкторії тягача. Значення

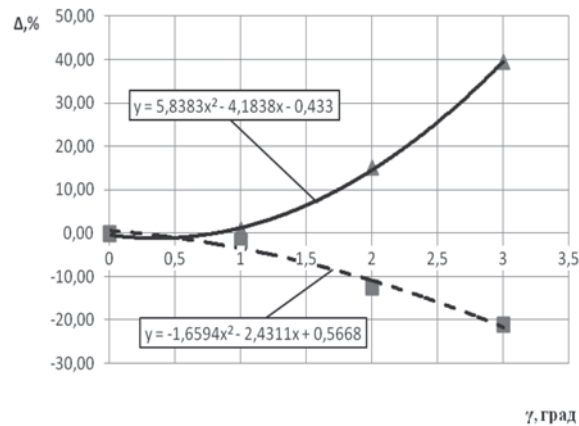
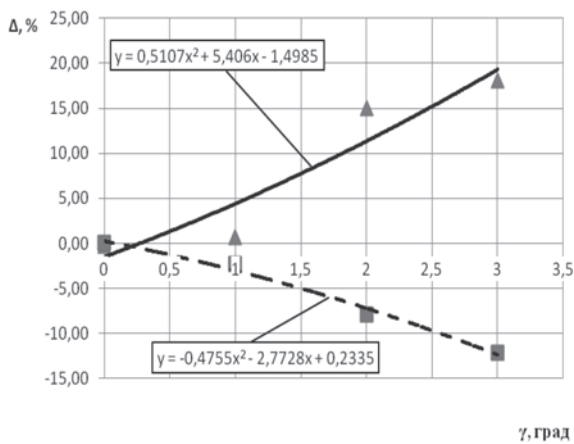


a)



б)

Рис. 10. Зміна траєкторії напівпричепа при виконанні маневру “переставка” при різнобічному перекосі за схемою 8б і однобічному перекосі за схемою 8в: — напрямок перекося збігається з напрямком повороту; - - - напрямок перекося протилежний напрямку повороту



а)

б)

Рис. 11. Зміна траєкторії напівпричепи при гальмуванні автопоїзда при різнобічному перекосі за схемою 8б і однобічному перекосі за схемою 8в:

- напрямок перекоосу збігається з напрямком повороту;
- - - напрямок перекоосу протилежний напрямку повороту

усіх параметрів визначалися за величинами відхилень ліній на осцилограмі від відповідних базових ліній з урахуванням масштабних коефіцієнтів, отриманих за тарувальними графіками датчиків відповідних параметрів. Для зручності досліджень осцилограми були дискретизовані та зведені до табличного формату даних, на основі яких були побудовані відповідні графіки.

При прямолінійному русі автопоїзда, величини відхилень напівпричепи без перекоосу мостів відповідають пружним деформаціям шин і не є вихлянням ланки. За наявності перекоосу мостів виникають вихляння напівпричепи. Так при різнобічному перекосі мостів, сили, що виникають у контакті коліс з дорогою, призводять до появи моменту, що прагне розвернути напівпричіп. Так, за схемою 8б математичне очікування кута складання автопоїзда склало $-0,7101$ град, тобто напівпричіп рухатиметься із значним навантаженням на шини. При однобічному перекосі мостів, схема 8в, математичне очікування кута складання автопоїзда збільшилося на $33,9\%$ і склало $-0,9512^\circ$. Такий рух викликає підвищений і нерівномірний знос шин, елементів підвіски, ускладнює управління таким автопоїздом та збільшує габаритну смугу руху.

При проведенні випробувань на основному рівні усіх факторів, тобто автопоїзда без перекоосу мостів при русі зі швидкістю 70 км/год, було встановлено зміщення траєкторії напівпричепи щодо траєкторії тягача на рівні 15 мм. У подальшому від цього рівня проводилася оцінка стійкості руху автопоїзда за різних значень перекоосу мостів напівпричепи, шляхом визначення зміни у відсотках величини габаритної смуги руху автопоїзда. У якості прикладу на рис. 9 показана зміна габаритної смуги руху автопоїзда від величини перекоосу мостів напівпричепи.

Як зрозуміло з наведених даних, рис. 9, перекоос мостів напівпричепи суттєво впливає на траєкторію прямолінійного руху. При перекоосах в один градус,

залежно від схеми перекоосу зміна траєкторії складає від $1,7$ до $2,5\%$, що наближається до максимально допустимого у 3% . При більших перекоосах, стійкість прямолінійного руху порушується.

При різнобічному перекосі двох мостів напівпричепи, максимальне відхилення становило $6,1\%$ та спостерігалось підвищення частоти коливань.

Найгіршим є випадок однобічного перекоосу мостів трьох мостів, при якому відхилення траєкторії може досягати $9,11\%$, суттєво збільшуючи габаритну смугу руху автопоїзда.

Будь яке сполучення перекоосу мостів викликає погіршення стійкості прямолінійного руху, обумовлене коливаннями причіпної ланки. В середньому кут складання збільшується на $33,9\%$.

На рис. 10 показана зміна максимального відхилення траєкторії напівпричепи при виконанні маневру "переставка" за різних схем перекоосу мостів напівпричепи. Як слідує з наведених даних, рис. 10, перекоос мостів напівпричепи суттєво впливає на траєкторію криволінійного руху. Так, при перекосі будь якого мосту в один градус, відхилення траєкторії напівпричепи складає від $1,61$ до $3,12\%$ (у порівнянні з напівпричепом за відсутності перекоосу мостів) при більших перекоосах відхилення різко збільшується досягаючи максимальних $32,2\%$. Напрямок перекоосу також має значення. При збігу за напрямком повороту, відхилення траєкторії збільшується в $1,91$ рази, при протилежному напрямку — в $1,42$ рази.

Найбільш небезпечним є перекоос третього (заднього) мосту напівпричепи. При прямолінійному русі середнє відхилення траєкторії напівпричепи при перекосі третього мосту збільшувалося в $3,67$ рази.

Результати дослідження відхилення траєкторії напівпричепи при гальмуванні зі швидкості 40 км/год від перекоосу мостів напівпричепи у порівнянні з автопоїздом без перекоосу мостів, у відсотках, наведено на рис. 11.

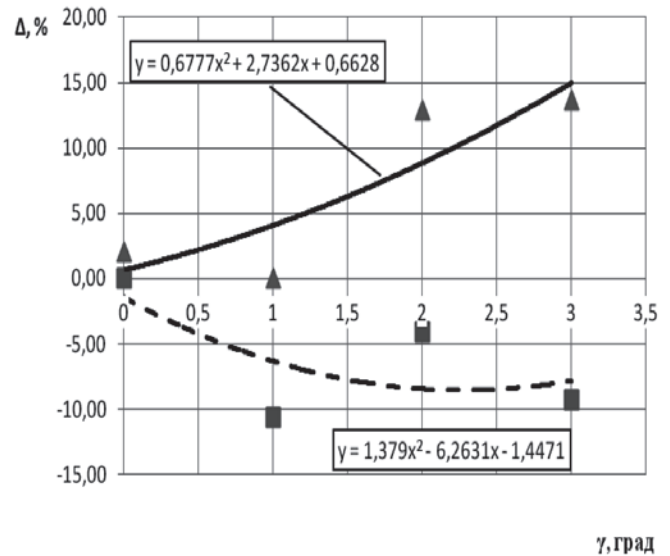
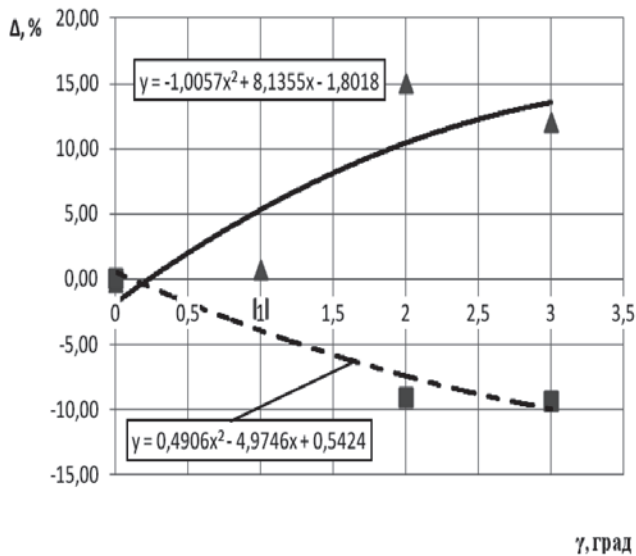


Рис. 12. Зміна траєкторії напівпричепа за нерівномірності гальмівних сил по бортах напівпричепа при однобічному перекосі мостів (а) і різнобічному (б):

- напрямок перекоосу збігається з напрямком повороту;
- - - напрямок перекоосу протилежний напрямку повороту

Як зрозуміло з наведених графіків, будь-який перекоос моста напівпричепа призводить до порушення стійкості руху автопоїзда при гальмуванні.

Другим етапом було проведення дослідження впливу нерівномірності гальмівних сил на колесах напівпричепа на відхилення його траєкторії руху за різного перекоосу мостів напівпричепа. На рис. 12 наведено зміщення траєкторії напівпричепа щодо траєкторії тягача за бортової нерівномірності гальмівних сил у 15 % і різному перекоосі мостів напівпричепа

Як зрозуміло з наведених графіків, нерівномірність гальмівних зусиль і перекоос мостів напівпричепа призводить до суттєвого зміщення траєкторії напівпричепа щодо траєкторії тягача і тим самим погіршення стійкості руху автопоїзда.

Висновки

Результати експериментальних досліджень підтвердили адекватність розроблених математичних моделей [4] для дослідження стійкості руху автопоїзда у тяговому та гальмівному режимах із перекоосом мостів напівпричепа. Будь-яке сполучення перекоосу мостів викликає погіршення стійкості прямолінійного руху, що обумовлено коливаннями причіпної ланки. В середньому кут складання збільшується на 33,9 %. Нерівномірність гальмівних зусиль і перекоос мостів напівпричепа призводить до суттєвого зміщення траєкторії напівпричепа щодо траєкторії тягача і тим самим погіршення стійкості руху автопоїзда.

Розбіжність результатів не перевищує 5,8...8,4 % у всіх режимах руху. Однією із основних причин зазначеної розбіжності є бічне відведення коліс осей автопоїзда, математичний опис якого надзвичайно складний.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сахно В.П. До аналізу конструкції підвіски АТЗ на кути встановлення мостів причіпної техніки /В.П. Сахно, В.М. Поляков, О.М. Тімков, М.І. Файчук // Автошляховик України – № 6, 2014. – С.8–11.
2. Сахно В.П. До аналізу методів вимірювання і корекції кутів встановлення мостів автотранспортних засобів /В.П. Сахно, В.М. Поляков, О.М. Тімков, М.І. Файчук, Г.О.Ковальчук // Автошляховик України – № 1-2, 2015. – С.12-17.
3. Сахно В.П. Вплив перекоосу мостів причіпних ланок на показники експлуатаційних властивостей автопоїзда /В.П. Сахно, В.М. Поляков, О.М. Тімков, М.І. Файчук, Г.О.Ковальчук // Автошляховик України – № 3, 2015. – С.5-9.
4. Сахно В.П. Вплив перекоосу мостів причіпних ланок на показники стійкості автопоїзда /В.П. Сахно, В.М. Поляков, О.М. Тімков, М.І. Файчук, Босенко В.М., Мойся Д.Л.// Автошляховик України – № 4, 2015. – С.16-20.
5. Сахно В.П. Експериментальні дослідження автопоїзда з керованим напівприцепом /В.П.Сахно, О.М.Тімков, Д.М.Мойся, М.І.Файчук, Р.М.Кузнецов, П.О.Гуменюк // Сучасні технології в машинобудуванні і транспорті. – Науковий журнал. – Луцьк: Луцький НТУ, 2014. – №2. – С.129-137.
6. JOSAM. [Електронний ресурс]/ Електронний ресурс: www.josam.se.
7. Засоби транспортні дорожні. Стійкість. Методи визначення основних параметрів випробуваннями : ДСТУ 3310–96. – [Чинний від 1997–01–01]. – К.: Держспоживстандарт України, 1997. – 31 с. – (Національний стандарт України).
8. Сахно В.П. Розробка комп'ютерної моделі автопоїзда /В.П.Сахно, П.Б.Прогній //Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – № 2-3. – 2014. – С.103-108.