

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичних занять
з навчальної дисципліни

«БЕЗПЕКА РУХУ ТА ГАЛЬМІВНІ СИСТЕМИ»

*(для студентів 4 курсу денної та заочної форм навчання
напряму підготовки 6.050702 – Електромеханіка)*

Харків
ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
2016

Методичні вказівки до практичних занять з навчальної дисципліни «Безпека руху та гальмівні системи» (для студентів 4 курсу денної та заочної форм навчання напряму підготовки 6.050702 – Електромеханіка) / Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад. Н. І. Кульбашна. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 38 с.

Укладач Н. І. Кульбашна

Рецензент:

С. В. Очеретенко, кандидат технічних наук, доцент кафедри Транспортних систем Харківського національного автомобільного університету

Рекомендовано кафедрою електричного транспорту, протокол № 12 від 29.03.16 р.

ЗМІСТ

	стор
Вступ.....	4
Практичне заняття № 1. Оцінка надійності системи «Водій – транспортний засіб – дорожнє середовище».....	4
Практичне заняття № 2. Математичні методи в аналізі дорожньо-транспортних пригод.....	8
Практичне заняття № 3. Розрахунок необхідної швидкості руху й дистанції.....	14
Практичне заняття № 4. Використання схем дорожньо-транспортних ситуацій при проведенні експертизи.....	20
Практичне заняття № 5. Визначення гальмівного шляху аналітичним методом.....	26
Практичне заняття № 6. Визначення надійності гальмівної системи рухомого складу.....	30
Практичне заняття № 7. Розрахунок параметрів в механічних системах гальмування.....	34
Список літератури.....	38

ВСТУП

У даних методичних вказівках за кожною темою дисципліни «Безпека руху та гальмівні системи» наведений перелік практичних занять, загальним напрямком яких є вивчення і набуття практичних навичок з організації заходів щодо забезпечення безпеки рухомого складу, з основ експертизи та порядку її проведення. Завдяки практичним заняттям студент підкріплює знання і розуміння теоретичного матеріалу з дисципліни. Після закінчення її вивчення студент може визначати необхідні показники гальмівних властивостей транспортних засобів, розраховувати гальмівний шлях аналітичними методами, оцінювати початкову швидкість при гальмуванні за даними експертизи, встановлювати відстань взаємної видимості за схемами дорожньо-транспортних пригод.

Методичні вказівки розроблені достатньо повно, що дозволяє студенту ознайомлюватися із завданнями і вирішувати практичні приклади самостійно.

Практичне заняття №1

Оцінка надійності системи «Водій – транспортний засіб – дорожнє середовище»

Мета: надати уявлення щодо оцінки надійності системи «Водій – транспортний засіб – дорожнє середовище» при екстремому гальмуванні та впливу заходів з підвищення якості гальмування на надійність даної системи.

Надійність тієї чи іншої системи, що складена із заданого числа елементів, залежить від надійності кожного з них. У найпростішому випадку елемент може бути або працездатний (імовірність R), або непрацездатний (імовірність F), так що

$$R + F = 1. \quad (1)$$

При двох елементах можлива кількість станів дорівнює чотирьом. Маємо

$$(R_1 + F_1)(R_2 + F_2) = R_1R_2 + R_1F_2 + F_1R_2 + F_1F_2 = 1. \quad (2)$$

При n елементах система має 2^n станів.

Вишукування резервів подальшого підвищення безпеки руху створює необхідність окремого аналізу за різними показниками, в частковості підвищення надійності системи «Водій – транспортний засіб – дорожнє середовище» (ВАДС) у цілому, керуючих дій водія, зокрема.

Завдання, що пов'язані із забезпеченням надійності сукупності систем ВАДС, різноманітні. Розглянемо приклад: стиснуте гальмування, типове для транспортного потоку, що охоплює принаймні дві системи ВАДС.

Розглянемо надійність гальмування в транспортному потоці. Звичайно при вивченні, наприклад, гальмівних властивостей, а також при випробуванні гальмівних систем, гальмування розглядається стосовно до одиничного транспортного засобу на вільній дорозі.

У транспортному потоці завдання змінюється: особливий інтерес представляє режим стиснутого і в той же час аварійного гальмування, мета якого забезпечити, насамперед, мінімально можливий гальмівний шлях.

Типовим результатом несподіваного й різкого гальмування тролейбуса в щільному транспортному потоці є дорожньо-транспортна пригода (ДТП) – наїзд транспортного засобу (ТЗ), що йде позаду. Тобто, у щільному транспортному потоці рухаються два транспортних засоби – передній (ведучий, лідер) і задній (ведений). Таким чином, формування розрахункової схеми варто почати із двох підсистем: ВАД₁, що відповідає ведучому ТЗ, і ВАД₂ – веденому. Оскільки небезпечна ситуація викликається аварійним гальмуванням ведучого ТЗ, можна обмежитися розглядом підсистеми ВАД₁ у цілому, не розчленовуючи її на елементи.

При аналізі процесу гальмування будемо виходити з урахування властивості гальмової системи обох ТЗ, здатність забезпечувати високі значення сповільнення при гальмуванні. Результат гальмування залежить і від

водіїв: B_1 – задає інтенсивність гальмування лідера; B_2 – вибирає дистанцію до ТЗ₁, устигає швидше або повільніше (залежно від часу своєї реакції) почати гальмування.

Процес гальмування розглядають в імовірнісному аспекті; його результат – випадкова подія, а ДТП – результат несприятливого сполучення чотирьох параметрів (теж подій): ефективності гальм першого і другого транспортного засобу, дистанції між ними до початку гальмування, часу реакції водія ТЗ₂.

Таким чином, завдання зводиться до взаємодії двох підсистем: B_1A_1 – лідера; B_2A_2 – наступного за ним ТЗ.

Якщо на початку гальмування відстань між ТЗ S_d , а наприкінці S'_d , то наїзду не буде, якщо $S'_d > 0$; ДТП відбудеться, коли $S'_d < 0$.

У граничному випадку $S'_d = 0$, і тоді за час реакції t_p транспортний засіб ТЗ₂ пройде відстань S_{p2} , а шляхи, що проходять ТЗ₁ і ТЗ₂ за час дії гальмової сили, будуть S_{T1} , S_{T2} . Мінімально припустима дистанція між ТЗ буде складати

$$S_{d0} = S_{p2} + S_{T2} + S_{T1}. \quad (3)$$

Оскільки гальмування розглядають як випадкову подію, вона може мати безпечний результат з імовірністю R_T , або закінчитися ДТП із імовірністю F_T . Очевидно, маємо $R_T + F_T = 1$.

Той або інший результат гальмування залежить від елементарних подій, що сприяють гальмуванню або протилежних ним. Елементарні події визначаються станом системи або її елементів. Розглянемо прийняті чотири групи таких подій: випадкове гальмування системи B_1A_1 з імовірністю R_{T1} або аварійне її гальмування (імовірність F_{T1}); справні гальма транспортного засобу A_2 (імовірність R_{T2}) або несправні (імовірність F_{T2}), що не забезпечують мінімального S_{T2} ; правильний вибір дистанції $S_d \geq S_{d0}$ водієм 2 (імовірність R_{D2}) або небезпечне її зменшення (імовірність F_{D2}), швидка реакція водія B_2 (імовірність R_{P2}) чи ні (імовірність F_{P2}).

Повна група неспільних подій, що характеризують весь розглянутий процес

$$(R_{T1}+F_{T1})(R_{T2}+F_{T2})(R_{D2}+F_{D2})(R_{P2}+F_{P2})=1. \quad (4)$$

Звідси виходить, що можлива кількість стану елементів підсистеми дорівнює шістнадцяти.

Виходячи з того, що випадки наїзду веденого ТЗ при плавному гальмуванні ведучого ТЗ (подія з імовірністю R_{T1}) вважаються малоімовірними, відпадає вісім станів.

Вважається також успішний результат стану $F_{T1}R_{T2}R_{д2}R_{P2}$, оскільки при різкому гальмуванні лідера наїзду не відбудеться, якщо у веденого ТЗ гальма в гарному стані, водій підтримує необхідну дистанцію й досить уважний.

У такий спосіб маємо сім несприятливих станів розглянутої системи. Їхня сума й дає шукану ймовірність F_T виникнення ДТП:

$$F_T = F_{T1} (R_{T2}R_{д2}F_{P2} + R_{T2}F_{д2}R_{P2} + F_{T2}R_{д2}R_{P2} + R_{T2}F_{д2}F_{P2} + F_{T2}R_{д2}F_{P2} + F_{T2}F_{д2}R_{P2} + F_{T2}F_{д2}F_{P2}). \quad (5)$$

Виразення (5) дозволяє оцінювати не тільки ймовірність наїзду ТЗ при гальмуванні, але й ефект тих поліпшень, які можливі в конструкції гальмових систем. Якщо, наприклад, увести прилад, що вимірює й оцінює дистанцію до ТЗ, що їде попереду, то ймовірність виникнення ДТП зменшиться:

$$F'_T = F_{T1} (R_{T2}F_{P2} + F_{T2}R_{P2} + F_{T2}F_{P2}). \quad (6)$$

Однак більш реалістично вважається, що подібний прилад знизить імовірність небезпечного зменшення дистанції (з $F_{д}$ до $F'_{д}$) і зменшить час реакції водія B_2 , так що нове значення буде відповідати

$$F_T = F_{T1} (R_{T2}R'_{д2}F'_{P2} + R_{T2}F'_{д2}R'_{P2} + F_{T2}R'_{д2}R'_{P2} + R_{T2}F'_{д2}F'_{P2} + F_{T2}R'_{д2}F'_{P2} + F_{T2}F'_{д2}R'_{P2} + F_{T2}F'_{д2}F'_{P2}). \quad (7)$$

Приклад. Нехай при русі в транспортному потоці ймовірність аварійного гальмування ведучого ТЗ не перевищує 10 % загального числа гальмувань; стан гальмівної системи веденого ТЗ й дії його водія забезпечують екстрене гальмування з імовірністю 70%; думаючи, що водій веденого ТЗ зібраний і

готовий до негайних дій в 70 % випадків, а дистанція між ТЗ в транспортному потоці скорочується до небезпечних меж в 20% випадків, маємо $R_{T1} = 0,9$; $R_{T2} = 0,7$; $R_{P2} = 0,7$; $R_{д2} = 0,8$; $F_{T1} = 0,1$; $F_{T2} = 0,3$; $F_{P2} = 0,3$; $F_{д2} = 0,2$.

Користуючись формулою (5), знайдемо $F_T = 0,0646$, тобто ймовірність зіткнення становить близько 6,5 %, з яких понад 70 % повинне супроводжуватися дрібними наслідками, а число серйозних ДТП в 10 разів менше.

За формулами (6) і (7) знаходимо, що введення індикатора дистанції між ТЗ у потоці зменшує небезпеку наїзду до $F_T^1 = 0,044$, тобто на 32 %; якщо ж виходити з $F_T^1 = 0,0496$, то на 27 %. Однак важливим є те, що зменшиться число станів, пропорційних $F_{д2} F_{P2}$ і обов'язково ведучих до ДТП, у 3 рази.

Оскільки для безпечного результату процесу гальмування важливо, що час реакції водія може досягати $t_p = 2$ с, варто вказати на деякі можливості його зменшення:

1) використання даних профвідбору й профдіагностування. Як показують випробування, у відмінних водіїв $t_p < 1,15$ с. Це приблизно в 2 рази менше середнього значення;

2) скорочення найбільшої частини t_p — латентного періоду (за деякими даними вдвічі) при переведенні водія з режиму оперативного спокою в напружений режим;

3) скорочення моторного періоду t_p зміною керування гальмами.

Практичне заняття № 2

Математичні методи в аналізі дорожньо-транспортних пригод

Мета: отримання навичок в розрахунку очікуваного значення ДТП на основі згладжування багаторічних тенденцій аналітичними залежностями та ознайомлення з методом оцінки аварійності за допомогою коефіцієнта Юла.

Вивчення і зіставлення динаміки зміни показників аварійності є найбільш поширеним методом аналізу. Розглянемо метод встановлення динаміки зміни стану аварійності, доцільність якого підтверджена практикою аналізу аварійності.

Відповідно до методу аналізу динаміки по відношенню до «базового» року показники аварійності за декілька років перераховують у відсотках по відношенню до одного «базового» року. Одержані результати, для зручності, представляють у вигляді графіків і використовують для зіставлення показників, що мають стійку тенденцію.

Таким чином, можна припустити, що описаний метод вивчення багаторічних тенденцій порівнянням показника аварійності по відношенню до «базового» періоду часу дозволяє зробити правильні висновки тільки у тому випадку, коли тенденції зміни того або іншого показника стійкі.

Можливості згладжування багаторічних даних розглянемо на конкретному прикладі нижче. За фактичними даними можна припустити, що загальна тенденція полягає в практично в стійкому зниженні числа ДТП. Отже, в даному випадку моделлю зміни числа дорожньо-транспортних пригод у місті може з'явитися лінійна залежність числа ДТП від часу (рис. 1).

Формула для середніх темпів зміни показників у разі лінійної моделі і виглядає таким чином:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (\Pi_i - \Pi_{cp})(t_i - t_{cp})}{\sum_{i=1}^n (t_i - t_{cp})^2}, \quad (8)$$

де Π_i – значення показника, що аналізується, в моменти часу t_i ;

$\Pi_{cp} = \sum_{i=1}^n \frac{\Pi_i}{n}$ – середнє значення показника Π_i за аналізований період;

t_i – моменти часу, для яких є значення Π_i ;

$t_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}$ – середина періоду часу, що аналізується;

n – число моментів часу, для яких є значення Π_i .

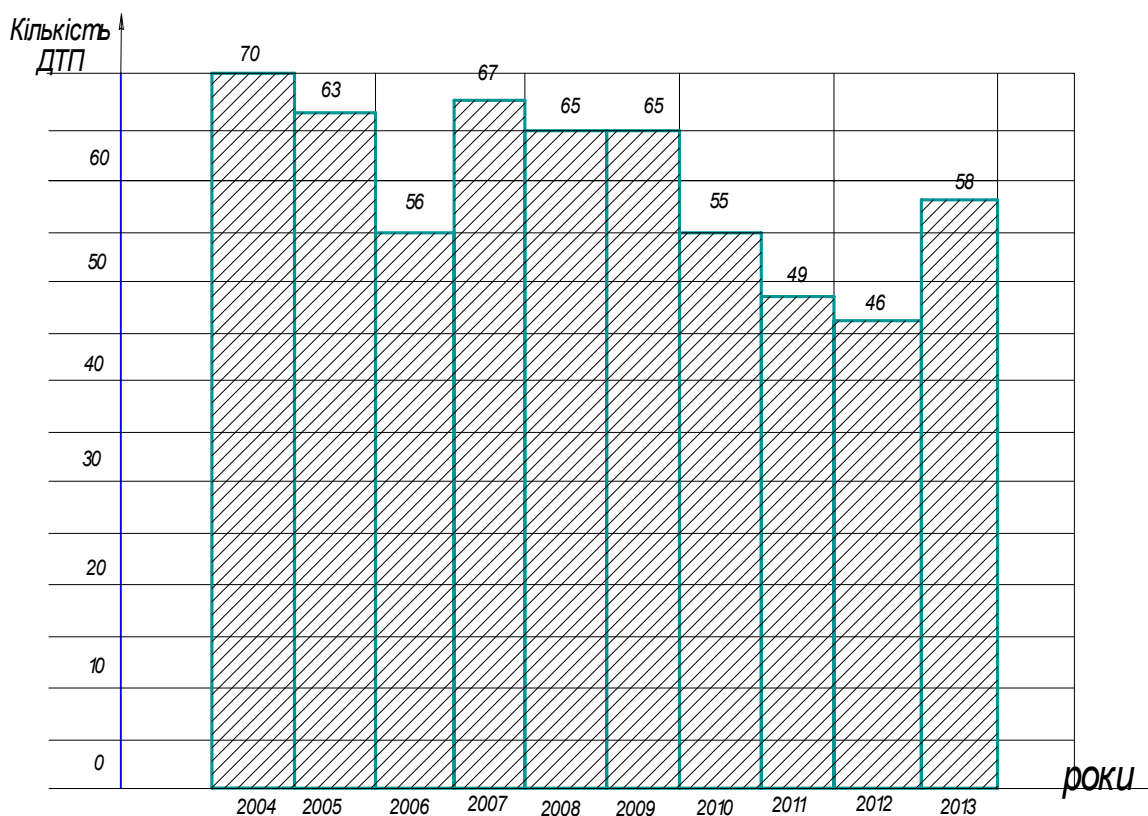


Рисунок 1 – Розподіл кількості ДТП за роками (трамвай, м. Київ)

Розглянемо приклад згладжування багаторічних даних і використання розрахованих значень. У таблиці 1 приводяться певні відомості про зміну числа ДТП на трамвайних маршрутах м. Києва за 2004 – 2013 роки.

Перша колонка містить певні відомості про аналізований період з 2004 до 2013 року. У колонці 2 представлено число дорожньо-транспортних пригод за ці самі роки. Колонки з 3 до 7 послугують для проведення проміжних розрахунків і містять відомості, необхідні для обчислення. У колонці 3 – різниця між P_i і P_{cp}

Для того, щоб не довелося перемножувати дуже великі цифри, введено «зміщений час»: 2004 рік став першим, 2005 рік – другим і т. д. Цей «зміщений час» позначений t_i і приведений в колонці 4. Колонка 5 аналогічна колонці 3, тільки тут фігурує не показник аварійності, а час. Зміст колонок 6 і 7 ясно з позначень. Підставивши наявні в колонці 5 значення у формулу (8) для розрахунку r , одержимо

$$r = \frac{-149}{82,5} = -1,81;$$

Таблиця 1 – Побудова лінійної моделі

Роки	ДТП	$\Pi_i - \Pi_{cp}$	$L_i = t_i$	$t_i - t_{cp}$	$(\Pi_i - \Pi_{cp})^* (t_i - t_{cp})$	$(t_i - t_{cp})^2$
1	2	3	4	5	6	7
2004	70	10,6	1	-4,5	-47,7	20,25
2005	63	3,6	2	-3,5	-12,6	12,25
2006	56	-3,4	3	-2,5	8,5	6,25
2007	67	7,6	4	-1,5	-11,4	2,25
2008	65	5,6	5	-0,5	-2,8	0,25
2009	65	5,6	6	0,5	2,8	0,25
2010	55	-4,4	7	1,5	-6,6	2,25
2011	49	-10,4	8	2,5	-26	6,25
2012	46	-13,4	9	3,5	-46,9	12,25
2013	58	-1,4	10	4,5	-6,3	20,25
Сума	594	-	55	-	-149,0	82,5
Середнє значення	59,4	-	5,5	-	-	-

Таким чином, обчислено дві числові характеристики процесу зміни числа дорожньо-транспортних пригод в місті за 10 років – середній рівень, рівний 59,4 ДТП в рік, і середні темпи зменшення – 1,81 ДТП в рік.

Ще однією привабливістю розрахованих показників є те, що вони дозволяють оцінити очікуване число дорожньо-транспортних пригод для будь-якого моменту часу за умови, що існуючі тенденції збережуться.

Очікуване число ДТП визначають за формулою:

$$\Pi(t_i) = \Pi_{cp} + r(t_i - t_{cp}). \quad (9)$$

Використовуючи дану формулу і на основі відомостей, представлених в таблиці 1, оцінимо очікуване число дорожньо-транспортних пригод у 2014 році.

Підставивши всі необхідні числові значення у формулу (9) одержимо:

$$P(2014) = 59,4 + (-1,81) \cdot (10 - 5,5) = 51,25.$$

Таким чином, у 2014 році очікується 51 ДТП.

Ще раз відзначимо, що такий прогноз заснований на тому, що існуюча тенденція буде збережена. Оскільки очікується зменшення числа ДТП, то завдання управління, очевидно, якраз в тому і полягає, щоб дана тенденція не збереглася, тобто відбулося збільшення числа ДТП.

Завдання працівника, що здійснює аналіз, полягає не тільки в обчисленні показників, що характеризують динаміку зміни показників аварійності, але і у виборі виду показника і методу його розрахунку.

Однакові порушення в різних дорожніх умовах можуть призвести до різних наслідків. Для виявлення зв'язку між видами порушень за Правилами дорожнього руху й видів ДТП для кожної пари можливих сполучень ознак визначають коефіцієнти згоди Юла Q .

Коефіцієнт Юла Q можна визначити в такий спосіб. Нехай досліджується зв'язок між видом порушень A і видом ДТП B . Позначимо:

n_{AB} – число порушень виду A , при яких відбулося ДТП виду B ;

$n_{A \setminus B}$ – число порушень виду A , при яких відбулися ДТП видів, відмінних від B ;

$n_{A \setminus B}$ – число порушень видів, відмінних від A , при яких відбулося ДТП виду B ;

$n_{A \setminus B}$ – число порушень видів, відмінних від A , при яких відбулися ДТП видів, відмінних від B .

Тоді коефіцієнт Юла визначають за рівністю

$$Q = \frac{n_{AB}n_{A \setminus B} - n_{AB \setminus A}n_{A \setminus B}}{n_{AB}n_{A \setminus B} + n_{AB \setminus A}n_{A \setminus B}}.$$

Використовуючи дані таблиці 2, визначимо зв'язок зіткнень транспортних засобів з недотриманням дистанції водіями

$$Q = \frac{8 \cdot 41 - 5 \cdot 52}{8 \cdot 41 + 5 \cdot 52} = 0,14.$$

Таблиця 2 – Ранги порушень за видами дорожньо-транспортних пригод

Види ДТП (B)	Види порушень (A)				
	Перевищення швидкості	Порушення маневру	Порушення проїзду перехрестя	Недотримання бічного інтервалу	Недотримання дистанції
Зіткнення	20	13	14	5	8
Наїзд на пішохода	5	2	7	–	1
Наїзд на транспортний засіб, що стояв	2	3	1	2	–
Наїзд на перешкоди	5	4	4	1	3
падіння пасажирів	–	3	2	–	1

Значення коефіцієнта Юла $Q = 0,14$ в даному випадку означає слабку ступінь кореляції. Але за цим значенням коефіцієнта Юла можна визначити, що виникнення зіткнення транспортних засобів у випадку недотримання дистанції незначне та складає приблизно 14 % від усіх випадків. Тому розробляючи заходи з забезпечення безпеки руху, необхідно також розглядати інші напрямки.

На практиці можна сказати, що ознаки A і B можуть мати й інші інтерпретації. Наприклад, ознака A означає вид ДТП, а ознака B – встановлення вини водія визначеного класу й т. д.

Практичне заняття № 3

Розрахунок необхідної швидкості руху й дистанції

Мета: здобуття практичних навичок у розрахунку параметрів дорожнього руху, що забезпечують безаварійність

При зіткненні тіл, на них діють сили протягом дуже короткого часу. Для об'єктів, що зберігають при зіткненні свою форму, імпульс сили дорівнює зміні кількості руху.

Кількість руху – це величина, що характеризує здатність транспортного засобу зберігати стан руху з незмінною швидкістю. Кількість руху залежить від маси й швидкості транспортного засобу.

Кількість руху легкового автомобіля масою 800 кг, що рухається зі швидкістю 12 м/с визначиться як: $R = 800 \cdot 12 = 9600 \text{ кг}\cdot\text{м/с}$.

Коли відбувається зіткнення транспортних засобів, то сили, що розвиваються при цьому, досить великі й звичайно викликають залишкову деформацію транспортних засобів. Витрачену енергію на деформацію звичайно неможливо визначити, тому не можна одержати достатніх відомостей для обчислення інших факторів, що характеризують наслідки зіткнення.

Однак деякі обчислення можуть бути проведені при дотриманні наступних чотирьох умов:

1) маса транспортних засобів, що зіштовхнулися, не змінюється, якщо від них не відокремлюються які-небудь частини;

2) сила удару вважається постійною, тобто зміна кількості руху не залежить від можливих варіацій величини сили в часі;

3) якщо немає ніяких зовнішніх імпульсів сили, то кількість руху залишається незмінною;

4) кількість руху розглядають як векторну величину, що має напрямок, який збігається з напрямком швидкості переміщення.

З урахуванням цих умов можна зробити висновок, що якщо два транспортні засоби зіштовхнулися й потім рухаються з'єднаними разом, то загальна кількість руху після зіткнення дорівнює сумі кількості руху кожного транспортного засобу, що були до їхнього зіткнення.

При зустрічному зіткненні кількості руху мають різні знаки, при попутному – однакові знаки.

При зустрічному зіткненні сумарна кількість руху дорівнює загальній масі, помноженій на кінцеву швидкість V_3 . Кількість руху першого транспортного засобу дорівнює m_1V_1 . Кількість руху другого транспортного засобу дорівнює m_2V_2 . Отже, $m_1V_1 - m_2V_2 = (m_1 + m_2)V_3$.

Підставляючи $m_3 = m_1 + m_2$, одержимо

$$m_1V_1 - m_2V_2 = m_3V_3. \quad (10)$$

Швидкість відразу ж після зустрічного зіткнення

$$V_3 = (m_1V_1 - m_2V_2) / m_3. \quad (11)$$

При попутному зіткненні вираження (10) записується як

$$m_1V_1 + m_2V_2 = m_3V_3. \quad (12)$$

Швидкість безпосередньо після попутного зіткнення

$$V_3 = (m_1V_1 + m_2V_2) / m_3. \quad (13)$$

Якщо транспортні засоби, що зіштовхнулися, відразу ж зупинилися, то без обліку витраченої енергії на деформацію їхніх кузовів можна зробити висновок про рівність кількості руху цих транспортних засобів, тобто

$$m_1V_1 = m_2V_2. \quad (14)$$

Таким чином, можна оцінити швидкість другого транспортного засобу за відомою величиною швидкості першого транспортного засобу.

Приклад 1. Транспортні засоби масою 1050 кг і 1500 кг створюють зустрічне зіткнення. Зневажаючи втратою енергії на деформацію кузова, визначити: а) для будь-якої даної швидкості більш легкого транспортного засобу константу, що дозволяє обчислити швидкість більш важкого

транспортного засобу при ударі, виходячи з умови миттєвої зупинки обох транспортних засобів після удару; б) при швидкості 10 м/с більш легкого транспортного засобу, швидкість, яку повинен мати більш важкий транспортний засіб, щоб після зіткнення негайно припинився рух обох транспортних засобів.

Розв'язання:

а) щоб визначити необхідну константу, припустімо, $V_1 = 1$ м/с.

З вираження (13) одержуємо $V_2 = m_1 V_1 / m_2$,

$V_2 = 1050 \cdot 1 : 1500 = 0,7$ м/с на 1 м/с більш легкого транспортного засобу, тобто розрахункова константа дорівнює 0,7.

б) 10 м/с $\cdot 0,7 = 7$ м/с.

Перший приклад служить для показу того, що в результаті зустрічного зіткнення важкі транспортні засоби, такі, як автобус, тролейбус чи вантажний автомобіль, що рухаються повільно, можуть у певних випадках змінити напрямок переміщення невеликого транспортного засобу, що рухається порівняно швидко.

Приклад 2. Відбувається зустрічне зіткнення тролейбуса загальною масою 20000 кг, що рухається зі швидкістю 10 км/год, і легкового автомобіля масою 1280 кг, що рухається зі швидкістю 80 км/год. Обчислити сумарну швидкість і визначити її напрямок руху після зіткнення.

Для розрахунку застосуємо формулу (11).

$$V_3 = (20000 \cdot 10 - 1280 \cdot 80) / (20000 + 1280) = 4,58 \text{ км/год.}$$

Швидкість V_3 позитивна й, отже, має той же напрямок, що й швидкість V_1 , тобто напрямок руху тролейбуса.

Приклад 3. Легковий автомобіль масою 750 кг, що рухається зі швидкістю 20 км/год, робить попутне зіткнення з легковим автомобілем масою 890 кг, що рухається зі швидкістю 5 км/год. Яка величина втрати швидкості заднім автомобілем внаслідок зіткнення?

Оскільки обидва транспортних засоби рухаються в одному напрямку, то використаємо формулу (13).

$$V_3 = (750 \cdot 20 + 890 \cdot 5) / (750 + 890) = 11,86 \text{ км/год.}$$

Втрата швидкості другим легковим автомобілем становить
 $20 - 11,8 = 8,2 \text{ км/год.}$

Для транспортних засобів, що попутно рухаються, необхідно для запобігання зіткнення дотримувати дистанцію з ТЗ, що йде попереду. Розглянемо одну з методик визначення дистанції на практичному прикладі.

Приклад 4. Визначити припустиму дистанцію для тролейбуса, що рухається зі швидкістю 30 км/год. Дорожні умови – сухо, асфальт. Зазор безпеки, що необхідний з умов безпеки, $\Delta = 1 \text{ м.}$

До фактичних даних в формули розрахунку гальмівного шляху вводять коефіцієнт поправки K_e – коефіцієнт ефективності гальмування. Приблизні значення його для сухого асфальто– і цементобетонного покриття ($\psi = 0,75$) наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 - Коефіцієнт ефективності гальмування K_e

Транспортні засоби	Без навантаження	З повним навантаженням
Легкові автомобілі	1,10 – 1,15	1,15 – 1,20
Вантажні автомобілі з максимальною вагою до 10т і автобуси довжиною до 7,5 м	1,10 – 1,30	1,50 – 1,60
Вантажні автомобілі з максимальною вагою більше 10т і автобуси, тролейбуси довжиною > 7,5 м	1,40 – 1,60	1,60 – 1,80

Для практичних розрахунків величину гальмівного шляху рекомендують визначати за спрощеною формулою

$$S = \frac{V_{II}^2 \cdot K_e}{254(\psi \pm i)}, \quad (15)$$

де V_{II} – швидкість початку гальмування, км/год;

K_e – коефіцієнт ефективності гальмування;

ψ – коефіцієнт зчеплення при сухому асфальті $\psi = 0,75$;

i – уклон, ‰.

Зупиночний шлях тролейбуса, так як він їде позаду іншого ТЗ, додатково має враховувати час реакції водія та може бути визначено за формулою

$$S_T = \frac{V_{II} \cdot t_p}{3,6} + \frac{V_{II}^2 \cdot K_e}{254(\psi \pm i)}, \quad (16)$$

де t_p – час реакції водія, с.

Дистанція виникає тоді, коли швидкості транспортних засобів однакові. Дистанція дорівнює різниці гальмівних шляхів автомобіля, що йде попереду, і тролейбуса плюс зазор безпеки. Гальмівний шлях автомобіля буде визначатися за формулою (15), тому що не має потреби враховувати час реакції водія автомобіля. Причому K_e для автомобіля приймають рівним 1, для тролейбуса – 1,4.

З обчисленням того, що дистанція дорівнює

$$D = S_T - S_A + \Delta. \quad (17)$$

Отримуємо формулу для розрахунку дистанції

$$D = \frac{V_{II} \cdot t_p}{3,6} + \frac{V_{II}^2 \cdot K_e}{254(\psi \pm i)} - \frac{V_{II}^2}{254(\psi \pm i)} + \Delta = \frac{V_T \cdot t_p}{3,6} + \frac{V_T^2 \cdot (K_e - 1)}{254(\psi \pm i)} + \Delta, \quad (18)$$

$$D = \frac{30 \cdot 1}{3,6} + \frac{30^2 \cdot (1,4 - 1)}{254(0,75)} + 1 = 11,22 \text{ м.}$$

Приклад 5. На якій відстані від зустрічного автомобіля тролейбус може виконати обгін тихохідного транспортного засобу з виїздом на зустрічну смугу руху. Швидкість руху відповідних транспортних засобів складає $V_m = 25$ км/год, $V_A = 40$ км/год, $V_{mix} = 15$ км/год.

Для виконання розрахунків скористуємося схемою (рис. 2.)

Час обгону тролейбуса можна виразити з таких виразів

$$t_T = \frac{S_{\text{обр}}}{V_T}, \quad t_T = \frac{(l_1 + l_2 + l_3 + l_4)}{V_T - V_{\text{mux}}}.$$

Таким чином, отримуємо наступну формулу

$$S_{\text{обр}} = \frac{(l_1 + l_2 + l_3 + l_4) \cdot V_T}{V_T - V_{\text{mux}}}.$$

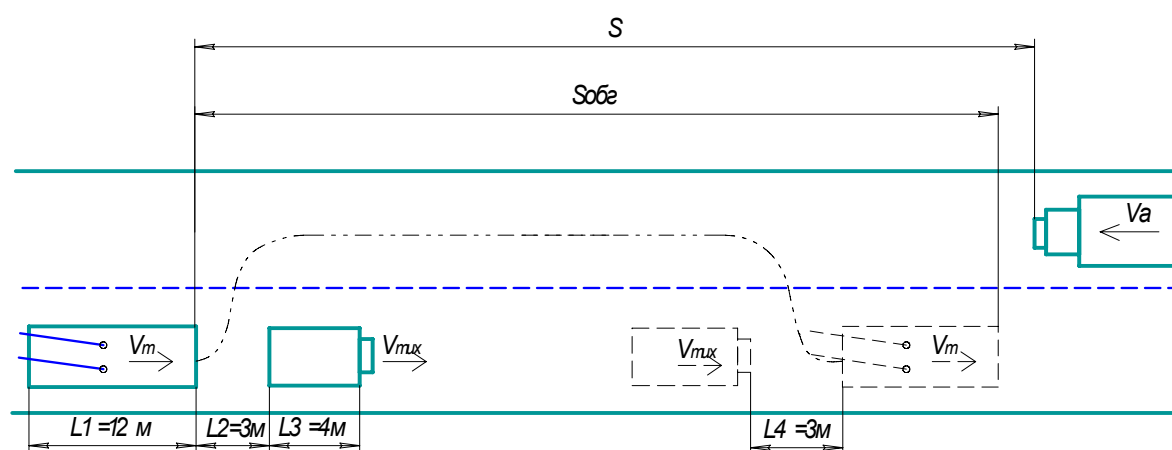


Рисунок 2 – Розрахункова схема транспортної ситуації при обгоні тролейбусом тихохідного транспортного засобу

Виходячи з міркування про те, що тролейбус має встигнути виконати обгін до моменту зустрічі з автомобілем, можна прийняти $t_T = t_A$. Тоді запишемо таке

співвідношення $\frac{S_{\text{обр}}}{V_T} = \frac{S}{V_T + V_A}$, звідси $S_{\text{обр}} = S \frac{V_T}{V_T + V_A}$.

Порівнюємо обидва вирази

$$\frac{(l_1 + l_2 + l_3 + l_4) \cdot V_T}{V_T - V_{\text{mux}}} = S \frac{V_T}{V_T + V_A}. \quad (19)$$

На основі отриманого рівняння отримуємо формулу для визначення безпечної відстані від тролейбуса до зустрічного автомобіля, на якій тролейбус може виконати обгін тихохідного транспортного засобу з виїздом на зустрічну смугу руху.

$$S = \frac{(l_1 + l_2 + l_3 + l_4) \cdot (V_T + V_A)}{V_T - V_{mix}}; \quad (20)$$

$$S = \frac{(12 + 3 + 4 + 3) \cdot (25 + 40)}{25 - 15} = 143 \text{ м.}$$

Практичне заняття № 4

Використання схем дорожньо-транспортних ситуацій при проведенні експертизи

Мета: здобуття практичних навичок в розрахунку значення гальмівного шляху при проведенні автотехнічної експертизи

Посадовим особам підприємства, які проводили розслідування на місці скоєння дорожньо-транспортної пригоди необхідно забезпечити: складання схеми ДТП (або одержання за згодою її копії у працівників ДАІ), проведення фотографування місця події, транспортних засобів, слідів гальмування та об'єктів, що могли обумовити ДТП. Приклад схеми ДТП зображений на рисунку 3.

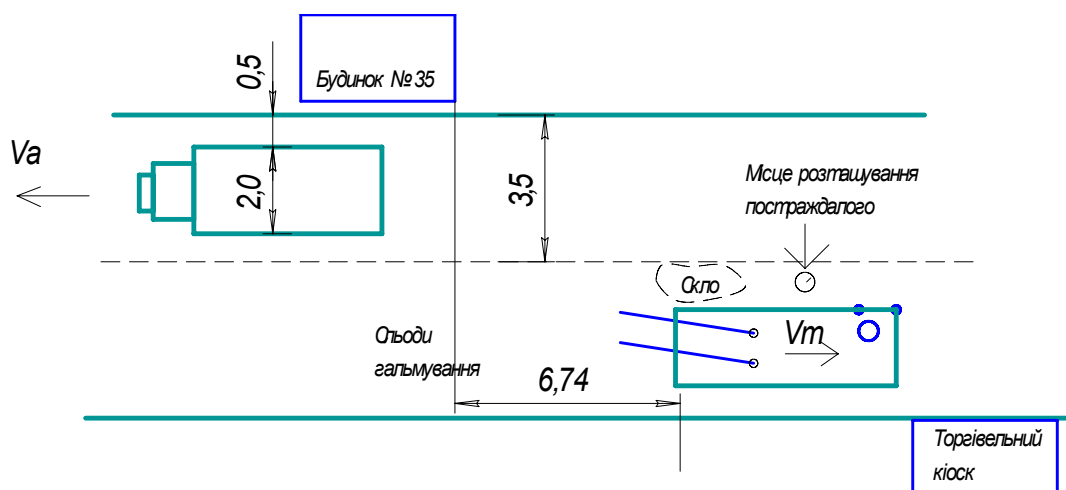


Рисунок 3 – Розташування учасників руху після скоєння ДТП

Приклад 1. З матеріалів ДТП встановлено: пішохід раптово з'явився із-за проїжджаючого фургона. Водій тролейбуса, що рухався зустрічною смугою, побачив його на відстані 1,5 м від брівки. Визначити відстань в момент відкриття видимості до точки можливого наїзду.

Для розрахунку враховують наступні дані:

- габаритна ширина фургона $C = 3$ м;
- відстань від голови водія до лівої бічної поверхні тролейбуса $a = 0,5$ м;
- відстань від голови водія до передньої поверхні тролейбуса $b = 0,75$ м;
- вік пішохода 25 – 30 років, темп його руху – швидкий крок;
- швидкість руху пішохода $V_{П} = 1,8$ м/с;
- швидкість руху автомобіля $V_{А} = 30$ км/год.

Міра вини того чи іншого учасника ДТП визначають на підставі вирішення основного питання – чи мав водій технічну можливість уникнути ДТП. Інакше кажучи, потрібно вирішити питання, чи мав водій в момент виникнення небезпеки (перешкоди) для руху технічну можливість шляхом гальмування зупинити транспортний засіб.

Зазначене питання вирішують шляхом порівняння відстані, на якій знаходився транспортний засіб від місця наїзду чи зіткнення в момент виникнення перешкоди і шляху, необхідного для його зупинки.

Підставою для такого висновку служать розрахунки, що проводяться за допомогою нової схеми моменту виникнення небезпеки (моменту відкриття взаємної видимості).

Визначення моменту виникнення небезпеки часто є вирішальним фактором для встановлення вини або невинності водія.

Тому на підставі схеми ДТП складають план-схему, де відтворюють розташування всіх учасників ДТП в момент виникнення небезпеки. Представимо схему ситуації, побудувавши трикутник видимості (рис. 4).

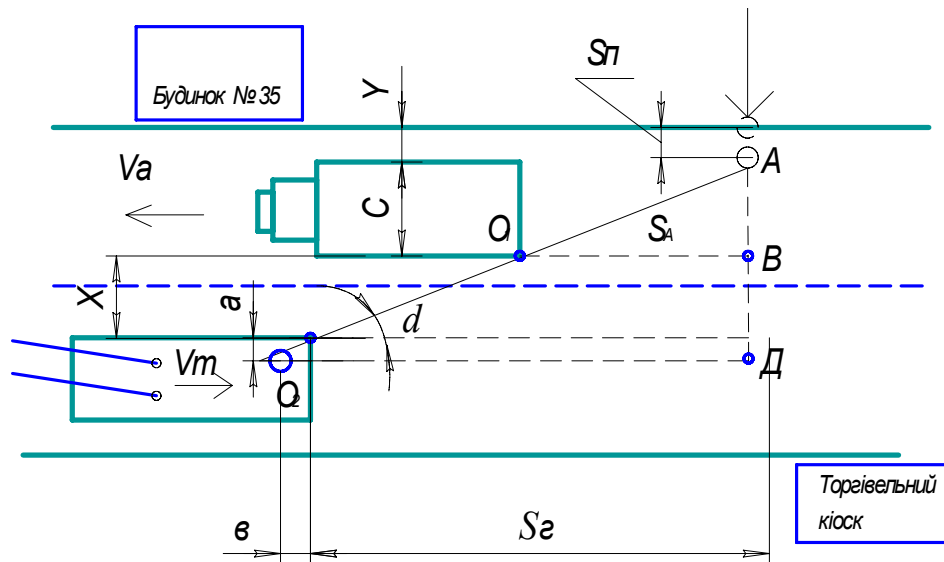


Рисунок 4 – Розташування учасників руху в момент виникнення небезпеки

Зазори між габаритами рухомих одиниць позначимо через X , а відстань до проїзної частини з правого боку Y . Якщо сумарна швидкість $V < 80$ км/ч, то $X, Y = 0,5$ м; якщо $V > 80$ км/ч, то $X, Y = 0,5 \dots 0,75$ м.

$$AB = Y + C - S_n.$$

За умови $t_{\text{удал.}A} = t_n$.

$$\frac{S_A}{V_A} = \frac{S_n}{V_n} \quad ; \quad S_A = \frac{V_A \cdot S_n}{3,6 \cdot V_n}. \quad (21)$$

Використовуючи схему на рисунку 4 складемо відповідні співвідношення, використовуючи трикутник ABO_1

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{AB}{S_A} = \frac{Y + C - S_n}{S_n \cdot \frac{V_A}{3,6 \cdot V_n}} = \frac{3,6 \cdot V_n}{V_A} \left(\frac{Y + C}{S_n} - 1 \right); \quad (22)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{3,6 \cdot 1,8}{30} \left(\frac{0,5 + 3}{1,5} - 1 \right) = 0,288.$$

Для визначення інших параметрів використовуємо трикутник ADO_2

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{Y + C + X + a - S_n}{S_1 + b} \Rightarrow S_2 = \frac{Y + C + X + a - S_n}{\operatorname{tg} \alpha} - b; \quad (23)$$

$$S_2 = \frac{0,5 + 3 + 0,5 + 0,5 - 1,5}{0,288} - 0,75 = 9,66 \text{ м.}$$

Далі розглянемо інші практичні приклади розслідувань ДТП.

Приклад 2. ДТП відбулося в денний час і полягало в тому, що на одну із двох жінок-пішоходів, що переходили дорогу зі швидкісним рухом, був зроблений наїзд транспортного засобу ліворуч. Супутниця, яка залишилася непошкодженою, була здатна виходячи з особливостей планування дороги, вказати точне місцезнаходження транспортного засобу, що наближався, у момент початку їхнього переходу через проїзну частину. Після того, як свідок закінчив перехід проїзної частини дороги, вона почула звук удару від наїзду транспортного засобу на людину (рис. 5).

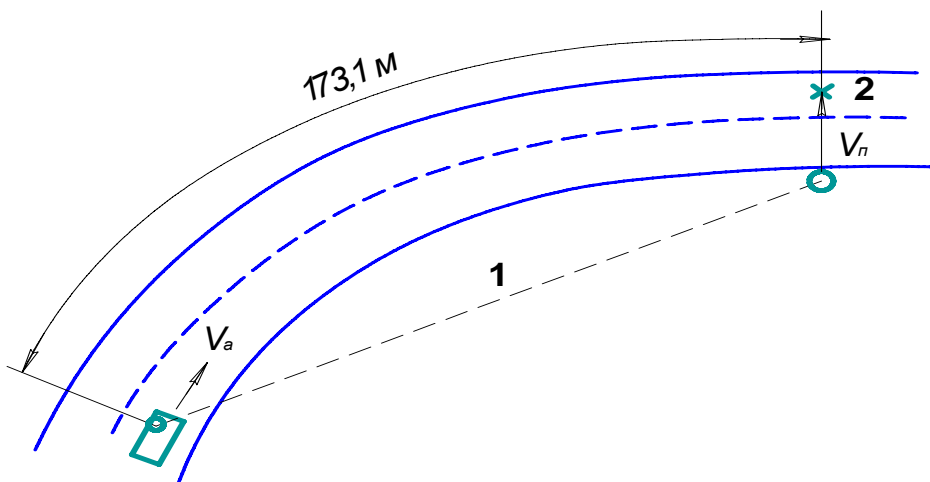


Рисунок 5 – Схема розташування учасників ДТП під час взаємної видимості:

1– лінія видимості пішоходом автомобіля, що наближався; 2 – точка наїзду

Проведемо аналіз. Середня швидкість постраждалої становила, як було з'ясовано, 5,5 км/год. Її надалі попросили пройти дану відстань у такому ж темпі, як і при ДТП.

Пройдена при експерименті відстань $S = 6$ м. Час ходьби $t = 3,9$ с.

Використано формулу $V = S / t$. $V = 6 : 3,9 = 1,54$ м/с. Проїжджа частина дороги мала ширину 7,3 м, час переходу обчислений за формулою $t = S / V = 7,3 : 1,54 = 4,7$ с.

Оскільки відстань, пройдена автомобілем, і час проїзду відомі, можна визначити й швидкість.

Відстань $S = 173,1$ м; $V = 173,1 : 4,7 = 36,83$ м/с = 132,6 км/год.

Середня швидкість транспортного засобу, що наближався, може служити корисним орієнтиром у розслідуванні ДТП, а під час відсутності інших доказів її роль ще більше зростає. Якщо з'явиться яке-небудь нове свідчення щодо швидкості транспортного засобу, то обчислення, подібне наведеному в даному прикладі, допоможе підтвердити правильність або переконатися в хибності цього свідчення. З іншого боку таке обчислення може показати, що пішоходи не проявили належної уваги при переході проїзної частини перед транспортним засобом, що наближався.

Приклад 3. Легковий автомобіль повернув ліворуч на Т-подібному перетині й зіштовхнувся зі зустрічним транспортним засобом, що наближався, і залишив сліди ковзання шин довжиною 40,8 м. Перетин знаходиться в районі, де швидкість обмежена до 48 км/год (рис. 6).

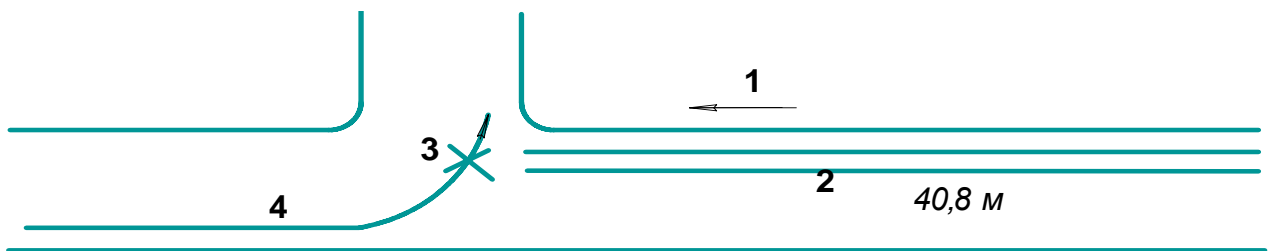


Рисунок 6 – Схема розташування учасників ДТП :

1 – напрямок руху; 2 – сліди ковзання; 3 – точка зіткнення; 4 – шлях руху автомобіля, що повертає

Проведемо аналіз. Зчипні якості дорожнього покриття виявлені експериментальним гальмуванням. При швидкості 48 км/год (13,33 м/с) довжина слідів ковзання шин склала 11,32 м.

$$\psi = \frac{V_n^2}{2S_K g}, \quad (24)$$

де ψ – коефіцієнт зчеплення;

S_K - довжина слідів ковзання, м;

g – прискорення вільного падіння, м /с²;

V_n – початкова швидкість, м/с.

$$\psi = 13,33^2 : (2 \cdot 11,32 \cdot 9,81) = 0,8.$$

Швидкість при наявності слідів довжиною 40,8 м обчислена за формулою

$$V_n = \sqrt{2\psi \cdot g \cdot S_K}, \quad (25)$$

$$V_n = \sqrt{2 \cdot 0,8 \cdot 9,81 \cdot 40,8} = 25,3 \text{ м/с} = 91,1 \text{ км/год.}$$

Таким чином, видно, що автомобіль, що повертав, зштовхнувся з іншим транспортним засобом, що рухався назустріч зі значним перевищенням швидкості.

Оцінене значення швидкості в момент удару перебуває в межах 16 км/год (4,44 м/с) – 32 км/год (8,89 м/с). Ці дані використані для уточнення фактичної швидкості транспортного засобу в момент початку гальмування за формулою

$$V_I^2 = V_n^2 + u_1^2, \quad (26)$$

де V_n – початкова швидкість, при якій транспортний засіб зупиняється наприкінці сліду, м/с;

V_I – фактична швидкість при зіткненні, м/с;

u_1 – умовна початкова швидкість (оцінене значення швидкості при зіткненні), м/с.

Початкова швидкість наприкінці сліду – це швидкість при якій транспортний засіб ще продовжує рух в момент зіткнення.

$$V = \sqrt{4,44^2 + 25,3^2} = 25,69 \text{ м/с} = 92,5 \text{ км/год (швидкість при ударі 16 км/год),}$$

$$V = \sqrt{8,89^2 + 25,3^2} = 26,8 \text{ м/с} = 96,5 \text{ км/год (швидкість при ударі 32 км/год).}$$

Якби транспортний засіб рухався з установленою граничною швидкістю 48 км/год, то гальмівний шлях склав

$$S = V_n^2 / (2 \psi g); \quad (27)$$

$$S = 13,33^2 : (2 \cdot 0,8 \cdot 9,81) = 11,3 \text{ м.}$$

Ясно, що другий транспортний засіб зміг би зупинитися на більш короткій відстані при дотриманні діючого загального обмеження швидкості.

Практичне заняття № 5

Визначення гальмівного шляху аналітичним методом

Мета: здобуття практичних навичок в розрахунку гальмівного і зупиночного шляху аналітичним методом, що дозволяє визначити основні їх складові

Ефективність гальмування характеризується гальмівним шляхом. Гальмівний шлях - відстань, яку проходить транспортний засіб від початку приведення в дію органу керування гальмівної системи до повної зупинки. При проведенні експертизи частіше використовують значення зупиночного шляху, оскільки його значення враховує і реакцію водія.

Зупиночний шлях - відстань, пройдена транспортним засобом від моменту виявлення водієм небезпеки для руху до моменту зупинки транспортного засобу внаслідок гальмування.

Визначення довжини зупиночного шляху враховує декілька основних факторів, що більш-менш могли б бути причиною ДТП.

Зупиночний шлях можна представити декількома фазами:

- 1) час реакції водія;
- 2) час реакції рухомого складу;
- 3) час наростання уповільнення;
- 4) час, необхідний для остаточної зупинки.

Під час дії *першої фази* транспортний засіб рухається, тому що водій ще не прийняв відповідних дій. Тривалість цієї фази залежить від індивідуальних особливостей водія, його досвіду, знань психологічних особливостей поведінки учасників руху, можливістю передбачити їх подальші дії, і від того чи очікував водій небезпеки чи ні.

На даний момент у судовій автотехнічній експертизі застосовують диференційовані експериментально-розрахункові значення часу реакції водія.

Якщо водій очікує небезпеку час реакції знаходиться в межах 0.2...2 сек., якщо не очікує – 1,5...6,0 сек. (наприклад, міжміської магістралі, коли водій знаходиться в ненапруженому стані – в стані розслаблення). В середньому t_p приймають 1,5 сек.

Досліджуючи механізм ДТП можна припустити, що шлях, який пройшов транспортний засіб під час реакції водія (першу фазу), визначають за формулою

$$S_1 = \frac{V_{II} \cdot t_p}{3,6}, \quad (28)$$

де V_{II} – швидкість початку гальмування, км / год;

t_p – час реакції водія, с.

Друга фаза - це час реакції рухомого складу. Протягом цього часу починаючи з передачі зусилля від гальмової педалі, відключаються контактори тягового режиму й включаються контактори тягового режиму. Наприклад, у тролейбусі відбувається наростання струму в гальмовому контурі, проходить хвиля стисненого повітря від гальмового циліндра на гальмові колодки.

Час реакції рухомого складу залежить від його типу і технічного стану. Для електричного транспорту цей час дорівнює 0,5 сек.

Тоді шлях, що пройшов за другу фазу ТЗ, визначають за формулою

$$S_2 = \frac{V_{II} \cdot t_{pO}}{3,6}, \quad (29)$$

де t_{pO} – час реакції рухомого складу, с.

Третя фаза - наростання уповільнення, гальмівна сила підвищується від нуля до розрахункового значення. Гальмівна сила на колесах рухомої одиниці відома й визначається за паспортним даними рухомого складу. Тому необхідно використовувати для розрахунку гальмівні характеристики рухомого складу.

Для визначення уповільнення v треба знати масу рухомої одиниці, що складається з маси тари й маси пасажирів. Вагу маси пасажирів розраховують виходячи з кількості пасажирів і середньої ваги одного пасажиря 70 кг. Крім цього необхідно враховувати інерції обертових частин. У цьому випадку з визначиться як

$$v = \frac{B}{M(1 + \gamma)}, \quad (30)$$

де B – гальмова сила, Н;

M – маса рухомих одиниць, Н;

$(1 + \gamma)$ – коефіцієнт інерції обертових частин.

Значення гальмівної сили може враховувати ухил дороги і коефіцієнт зчеплення.

Максимального уповільнення можна досягти під час екстреного гальмування на сухій дорозі з твердим покриттям, коли коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою близький до одиниці. У цьому випадку $j_{\max} = 7,5 - 8,0 \text{ м/с}^2$. Проте в звичайних умовах експлуатації, щоб уникнути спрацювання гальм та шин коліс, гальмують так, щоб сповільнення не перебільшувало значення $2,5 - 4,5 \text{ м/с}^2$.

Уповільнення на початку гальмування виникає не миттєво, а зростає від 0 до v .

Час наростання уповільнення $t_{\text{ну}}$ змінюється від нульового значення до максимального, обмеженого зчіпними можливостями коліс із опорною поверхнею. Величина цього часу залежить від типу привода (гідравлічний, пневматичний), конструкції гальмових механізмів (дискові, барабанні).

Поняття сталого уповільнення із для реальних умов гальмування не зовсім точно. Це пов'язане з тим, що в процесі гальмування можуть мінятися зусилля на педалі гальма, коефіцієнт тертя фрикційних пар (як результат зміни температури й швидкості тертьових поверхонь, коефіцієнт зчеплення (як результат зміни властивостей покриття, а також швидкості руху, ковзання й температури шин). У зв'язку з цим, змінне значення v заміняють середнім і умовно називають сталим.

Цей час коливається в межах $0,05 \dots 2,0 \text{ с}$ і залежить від типу транспортного засобу, типу і стану гальмівної системи, зусилля, що прикладене до гальмівної педалі, стану дорожнього покриття. В середньому час зростання уповільнення складає для електричного транспорту $0,3 \text{ сек}$.

У загальному вигляді формулу для визначення гальмівного шляху за період наростання уповільнення (уповільнення приймають середнє за цей період) можна визначити за формулою

$$S_1 = \frac{V_{II} \cdot t_{HY}}{3,6} + \frac{v_{poz} \cdot t_{HY}^2}{2 \cdot 2} = \frac{V_{II} \cdot t_{HY}}{3,6} + \frac{v_{poz} \cdot t_{HY}^2}{4}, \quad (31)$$

де t_{HY} – час наростання уповільнення, с;

v_{poz} – розрахункове (стале) значення уповільнення, м/с².

Шлях, що пройдений за час четвертої фази, визначають, виходячи з наступних міркувань. За період третьої фази транспортний засіб знизив швидкість до деякого значення V . Тоді значення швидкості ΔV , яке необхідне для того, щоб швидкість знизилася до 0, визначають за формулою

$$\Delta V = V_n - V = \frac{v_{poz}}{2} t_{HY}, \quad (32)$$

$$\text{Звідси } V = V_{II} - \frac{v_{poz}}{2} t_{HY}.$$

З огляду на те, що $V^2 = 2vS$, одержуємо шлях, що пройшов транспортний засіб за період четвертої фази, визначають за формулою

$$S_4 = \frac{\left(\frac{V_n}{3,6} - \frac{v_{poz}}{2} t_{HY} \right)^2}{2v_{poz}}. \quad (33)$$

Склавши всі значення S , одержимо зупиночний шлях

$$S_3 = S_1 + S_2 + S_3 + S_4. \quad (34)$$

Приклад. Визначити значення гальмівного шляху при екстремому гальмуванні, коли досвідчений водій, очікуючи небезпеку, починає гальмувати при швидкості $V_{II} = 45$ км/год. Для розрахунків враховуємо значення сповільнення $v = 3,0$ м/с²

$$S_1 = \frac{45 \cdot 1,0}{3,6} = 12,55; \quad S_2 = \frac{45 \cdot 0,5}{3,6} = 6,25;$$

$$S_3 = \frac{45 \cdot 0,3}{3,6} + \frac{3,0 \cdot 0,3^2}{4} = 3,98; \quad S_4 = \frac{\left(\frac{45}{3,6} - \frac{3,0}{2} \cdot 0,3\right)^2}{2 \cdot 3,0} = 24,2;$$

$$S_3 = 12,55 + 6,25 + 3,98 + 24,2 = 46,98 \text{ м.}$$

Практичне заняття № 6

Визначення надійності гальмівної системи рухомого складу

Мета: надати уявлення щодо підвищення надійності гальмівної системи рухомого складу за допомогою зміни схеми з'єднання її елементів

Рішення про вибір тих чи інших шляхів забезпечення надійності агрегату або системи приймає конструктор, виходячи із пропонованих вимог і особливостей робочого процесу вузла, агрегату.

Для ряду систем транспортних засобів мало забезпечити фізичну надійність кожного елемента. Важлива також схема їхнього з'єднання й забезпечувана при цьому схемна надійність.

Іншими словами надійність тієї чи іншої системи, що складена із заданого числа елементів, залежить не тільки від надійності кожного з них, але й від способу їхнього з'єднання. У найпростішому випадку елемент може бути або працездатний (імовірність R), або непрацездатний (імовірність F).

Число працездатних станів системи залежить від способу з'єднання елементів, і можливі значення ймовірності працездатного стану системи залежать, крім того, від співвідношення ймовірностей працездатного стану кожного з елементів, що входять у систему.

Розглянемо це докладніше при $i = 3$, тобто для системи із трьох елементів (рис. 7). Результати розрахунків можна звести в таблицю, де числові значення представлені для двох випадків $R_1 = R_2 = R_3 = 0,7$ і $R_1 = 0,9; R_2 = 0,7; R_3 = 0,5$ (табл. 4).

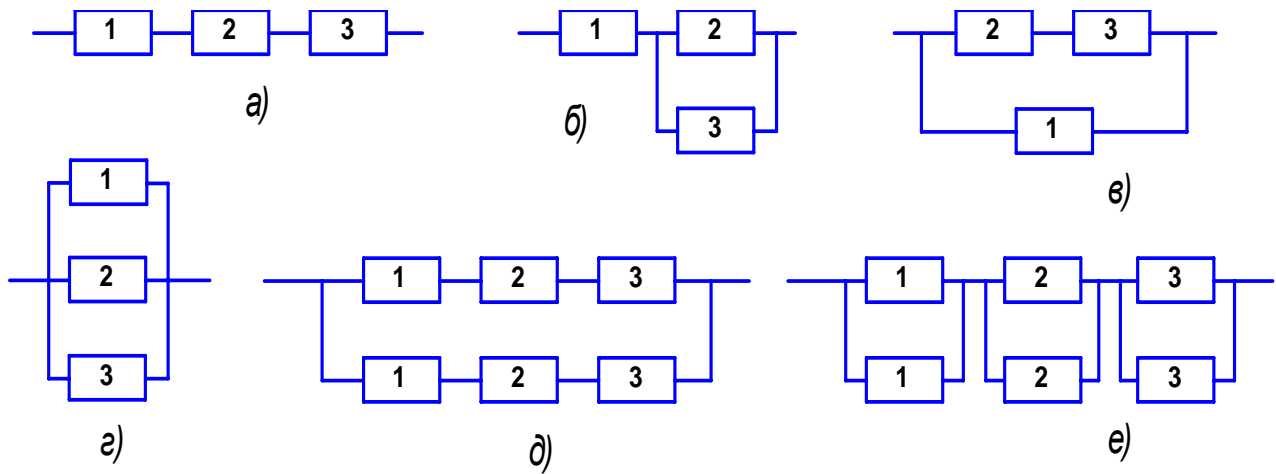


Рисунок 7 - Схеми з'єднання трьох елементів, що забезпечують різну надійність

Таблиця 4 - Надійність системи із трьох елементів при різних способах їхнього вклучення

Схема вклучення	Число працюючих елементів	Розрахункова формула	R при	
			$R_1 = R_2 = R_3$	$R_1 > R_2 > R_3$
a	1	$R = R_1 R_2 R_3$	0,343	0,315
б ₁	3	$R = R_1 R_2 R_3 + F_1 R_2 R_3 + R_1 F_2 R_3$	0,637	0,485
б ₂		$R = R_1 R_2 R_3 + F_1 R_2 R_3 + R_1 R_2 F_3$		0,665
б ₃		$R = R_1 R_2 R_3 + R_1 F_2 R_3 + R_1 R_2 F_3$		0,765
в ₁	5	$R = 1 - (F_1 F_2 + R_1 F_2 + F_1 R_2) F_3 =$	0,872	0,815
в ₂		$= R_1 R_2 R_3 + F_1 R_2 R_3 + R_1 F_2 R_3 + R_1 R_2 F_3 + F_1 F_2 R_3$		0,835
в ₃		$R = 1 - (F_1 F_3 + R_1 F_3 + F_1 R_3) F_2 =$		0,935
		$= R_1 R_2 R_3 + R_1 R_2 F_3 + F_1 R_2 R_3 + R_1 F_2 R_3 + F_1 R_2 F_3$		
		$R = 1 - (F_2 F_3 + R_2 F_3 + F_2 R_3) F_1 =$		
		$= R_1 R_2 R_3 + R_1 F_2 R_3 + R_1 R_2 F_3 + F_1 R_2 R_3 + R_1 F_2 F_3$		
г	7	$R = 1 - F_1 F_2 F_3 =$	0,973	0,985
		$= R_1 R_2 R_3 + F_1 R_2 R_3 + R_1 F_2 R_3 + R_1 R_2 F_3 + F_1 F_2 R_3 +$		
		$+ R_1 F_2 F_3$		

Аналіз отриманих результатів показує, що залежно від числа елементів і способу їхнього з'єднання число працездатних станів системи може бути різним. Однак, завжди є два граничних випадки: мінімальної ймовірності безвідмовної роботи – послідовне з'єднання, що має лише один працездатний стан; максимальної ймовірності безвідмовної роботи — паралельне з'єднання, що забезпечує $n - 1$ працездатних станів (лише один непрацездатний стан). Інші випадки, проміжні, відповідають змішаному способу з'єднання елементів. Чим більше число працездатних станів системи, тим вище її надійність.

Ймовірність працездатного стану послідовно з'єднаних елементів «гірше гіршого», тобто менше надійності найменш надійного елемента, і в загальному випадку дорівнює $R = \prod_{i=1}^n R_i$.

Ймовірність працездатного стану паралельно з'єднаних елементів «краще кращого», тобто вище, ніж ймовірність працездатного стану найбільш надійного елемента. Цей висновок має велике практичне значення, тому що паралельним з'єднанням менш надійних елементів можна одержувати більше надійну систему. У всіх випадках, крім послідовного й паралельного з'єднань, надійність системи міняється залежно від розташування елементів у системі. У нашому прикладі в межах 0,485 – 0,765 (схема б) або 0,815 – 0,935 (схема в). Тому існує найвигідніший варіант розташування елементів в обраній схемі (б₃, в₃).

Паралельне включення елементів – основа важливого методу підвищення надійності — структурного резервування. У зв'язку із цим зупинимося на двох способах паралельних включень – виробу в цілому або його елементах окремо. Нехай виріб складається з елементів 1 – 3 (схема а). Приєднаємо паралельно одному виробу друге (схема д). Надійність, мабуть, зросте з

$$R_a = R_1 R_2 R_3 \quad \text{до} \quad R_d = 1 - (1 - R_a)^2. \quad (35)$$

При заелементному паралельному включенні (схема e) $R_e = R_1 R_2 R_3$, де $R_3 = 1 - (1 - R_{13})^2$. При прийнятому раніше $R_3 = 0,7$ одержимо $R_a = 0,343$; $R_d = 0,568$; $R_e = 0,754$.

Паралельне включення резервного виробу підвищило надійність в 1,66 рази, а заелементне включення дає ще більший ефект – збільшення в 2,2 рази. Схема з'єднання елементів визначають за особливостями їхнього функціонування і це вимагає окремого аналізу.

Оцінка схемної надійності. Схемна надійність включає аналіз принципової схеми виробу. Для цієї мети від принципової або функціональної схеми переходять до структурної, що дозволяє точніше оцінити безвідмовність виробу. Аналіз і пошук можливості забезпечення схемної надійності системи може проводитися, наприклад, у такій послідовності:

- 1) встановлюють можливі відмови системи й оцінюють їхні наслідки;
- 2) систему розбивають на підсистеми й елементи;
- 3) для кожного елемента (підсистеми) встановлюють можливі відмови і їхній вплив на відмови системи в цілому; імовірності відсутності (або появи) відмов;
- 4) проводять імовірнісний аналіз надійності системи. Для цього запропоновано ряд методів: структурних і логічних схем, матриць та ін.;
- 5) визначають імовірність збереження працездатності системи;
- 6) встановлюють імовірності появи тих чи інших відмов системи, наприклад, типових - окремо неприйнятних (небезпечні, раптові, повні) або щодо прийнятних (безпечні, поступові, часткові);
- 7) проводять аналіз отриманих результатів, пошук можливостей підвищення надійності системи.

Практичне заняття №7

Розрахунок параметрів в механічних системах гальмування

Мета: здобуття практичних навичок в розрахунку параметрів гальмування в механічних системах трамвая

Гальмівний силою називають регульовану силу, що створюється гальмівними засобами і спрямовану протилежно швидкості руху. Для створення штучного опору руху транспортного засобу у фрикційних (механічних) гальмах використовують явище зовнішнього сухого тертя твердих тіл. На рисунку 8 наведена схема виникнення гальмівної сили механічного гальма, дія якого заснована на використанні зчеплення коліс з рейками. У результаті притиснення гальмівної колодки з силою K до поверхні колеса, що котиться по рейці з кутовою швидкістю ω і навантаженого силою P_K , виникає дотична сила тертя, що дорівнює добутку сили натискання колодки на коефіцієнт тертя ψ_K :

$$F_{TP} = \psi_K \cdot K. \quad (36)$$

Сила F_{TP} перешкоджає обертанню колеса. Однак вона не може бути гальмівною силою, так як по відношенню до транспортного засобу, що рухається, є внутрішньою. Гальмівна сила повинна бути додана ззовні і може виникнути тільки при наявності сили зчеплення колеса з рейкою. Сила зчеплення виникає внаслідок дії вертикальної статичної та динамічної навантажень P_K від колеса на рейку. У результаті дії сили F_{TP} створюється момент, спрямований проти обертання колеса,

$$M_{TP} = -F_{TP} \cdot R_K. \quad (37)$$

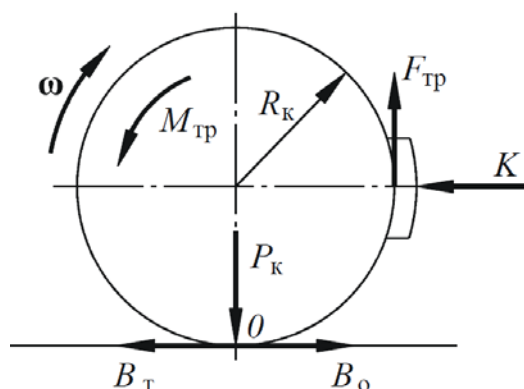


Рисунок 8 – Схема утворення гальмівної сили колісно-колодкового гальма

Під дією цього моменту в зоні контакту колеса і рейки (у точці O) виникає сила B_O , діюча від колеса на рейку. Протилежно спрямована горизонтальна реакція рейки $B_T = B_O$ і є гальмівний силою, що перешкоджає поступовому руху. Вона діє на колесо з боку рейки і є зовнішньою по відношенню до транспортного засобу.

Для однієї гальмівної колодки

$$B_T = B_O = \frac{M_{TP}}{R_K} = K\psi_K. \quad (38)$$

Для осі колісної пари

$$B_T = nK\psi_K. \quad (39)$$

де n – кількість колодок, діючих на вісь.

Приклад. Гальмівний барабан, маса якого $m = 20$ кг, діаметр $= 0,31$ м, має форму товстостінного порожнього циліндра з товщиною стінки 15 мм і обертається по інерції з кутовою швидкістю $\omega_0 = 10\pi$ рад / сек. (швидкість дорівнює 27,5 км/год). Для зупинки вала до шківів притискають гальмівну колодку з силою $K = 980$ Н. Через скільки секунд вал зупиниться і скільки оборотів він зробить до зупинки, якщо коефіцієнт тертя колодки о шків $\psi_K = 0,4$? Тертям в підшипниках вала, на якому насаджений шків, знехтувати (ККД $= 0,98$). Маса вала не враховувати.

Вирішення. Притиснута до шків колодка створює силу тертя $F_{TP} = -\psi_K \cdot K$, спрямовану в бік, протилежний обертанню колеса. Таким чином, на шків з моменту притиснення колодки починає діяти гальмівний момент, спрямований у бік, протилежний його обертанню.

Виконаємо рішення за формулою кінетичної енергії обертового тіла. Закон кінетичної енергії обертового тіла виражається рівнянням

$$A = \frac{J \cdot \omega^2}{2} - \frac{J \cdot \omega_0^2}{2}, \quad (40)$$

де A – робота з переміщення, $\text{кг} \cdot \text{м}^2 / \text{сек}$;

ω – кінцева кутова швидкість, $\text{рад}/\text{сек}$;

ω_0 – кутова швидкість диска, $\text{рад}/\text{сек}$;

J – момент інерції, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Момент інерції полого однорідного циліндра відносно його геометричної осі визначається за формулою

$$J = \frac{1}{8} m (D_K^2 + d_k^2) = \frac{1}{8} 20 \cdot (0,31^2 + 0,28^2) = 0,436 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (41)$$

У даному випадку гальмівний момент

$$M_{TP} = -\psi_K K \cdot R_K, \quad (42)$$

де K – гальмівна сила колодки, Н ;

ψ_K – коефіцієнт тертя колодки о барабан;

R_K – радіус гальмівного валу, м .

$$M_{TP} = -0,4 \cdot 980 \cdot 0,155 = -60,76 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

виробляє роботу при зупинці валу

$$A = M_{TP} \cdot \varphi, \quad (43)$$

где φ – кут поворота валу;

Так як кінцева кутова швидкість $\omega = 0$, то $A = \frac{J \cdot \omega^2}{2} = 0$.

Тоді рівняння кінетичної енергії шків буде мати вигляд

$$M_{TP} \cdot \varphi = -\frac{J \cdot \omega_0^2}{2}. \quad (44)$$

Звідси

$$\varphi = -\frac{J \cdot \omega_0^2}{2 \cdot M_{TP}} = \frac{0,436 \cdot 100\pi^2}{2 \cdot 60,76} = 0,356\pi^2. \quad (45)$$

Число оборотів вала

$$\varphi_{OB} = \frac{\varphi}{2\pi} = \frac{0,356\pi^2}{2\pi} = 0,178\pi = 0,56 \text{ рад}. \quad (46)$$

Час гальмування можна знайти з формули $\varphi = \frac{\omega + \omega_0}{2} t$, тоді

$$t = \frac{2}{\omega + \omega_0} \varphi = \frac{2}{0 + 0,356\pi} 0,356\pi^2 = 2\pi = 6,28 \text{ сек}. \quad (47)$$

Таким чином, час гальмування барабана складає 6,26 сек.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лисичкин Э. А. Тормозные системы электроподвижного состава : учеб.-метод. пособие для студентов специальности «Городской электрический транспорт» / Э. А. Лисичкин, П. К. Рудов. – Гомель : БелГУТ, 2009. – 112 с.
2. Безпека руху на міському електротранспорті. Довідник законодавчих та нормативних документів : у 2 кн. / В. В. Вірченко, В. Х. Далека, Е. І. Карпушин, В. А. Менжерес . – Харків : ХДАМГ, 2002 . – 225 с. – кн. 1: Управління безпекою руху.
3. Корягина Е. Е. Электрооборудование трамваев и троллейбусов: учебник для вузов / Е. Е. Корягина, О. А. Коськин. – Москва : Транспорт, 1982. – 296 с.
4. Галаса П. В. Експертний аналіз дорожньо-транспортних пригод / П. В. Галаса, А. С. Куйбіда. – Київ : Вища школа, 1995. – 230 с.
5. Лукошявичене О. В. Моделирование дорожно-транспортных происшествий / О. В. Лукошявичене. – Москва : Транспорт, 1988. – 96 с.
6. Коршаков И. К. Комплексный анализ дорожно-транспортных происшествий / И. К. Коршаков, В. И. Сытник. – Москва: МАДИ, 1991. – 189 с.
7. Байэтт Р. Расследование дорожно-транспортных происшествий: пер. с англ. / Р. Байэтт, Р. Уоттс. – Москва : Транспорт, 1983. – 288 с.
8. Ротенберг Р. В. Основы надежности системы «водитель – автомобиль – дорога – среда» / Р. В. Ротенберг. – Москва : Машиностроение, 1986. – 216 с.
9. Исаев И. П. Случайные факторы и коэффициент сцепления / И. П. Исаев – Москва : Транспорт, 1977. – 182 с.
10. Теория электрической тяги. / В. Е. Розенфельд, Н. Н. Сидоров, М. И. Озеров, под. ред. И. П. Исаева – Москва : Транспорт, 1995. – 294 с.
11. Пушков П. М. Основи електричної тяги: навч. посібник / П. М. Пушков, В. П. Андрейченко – Харків : ХНАМГ, 2006. – 150 с.
12. Коноплянко В. И. Организация и безопасность дорожного движения / В. И. Коноплянко. – Москва : Транспорт, 1991. – 175 с.

Навчальне видання

Методичні вказівки до практичних занять
з навчальної дисципліни

«БЕЗПЕКА РУХУ ТА ГАЛЬМІВНІ СИСТЕМИ»

*(для студентів 4 курсу денної та заочної форм навчання напряму підготовки
6.050702 – Електромеханіка)*

Укладач **КУЛЬБАШНА** Надія Іванівна

Відповідальний за випуск: *А. Г. Тарновецька*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *Н. І. Кульбашина*

План 2016, поз. 176 М

Підп. до друку 06.04.2016

Формат 60 x 84 /16

Друк на ризографі

Ум. друк. арк. 1,57

Зам. №

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК 4705 від 28.03.2014 р.