

## БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

УДК 656.08

## АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СКЛАДНИХ ВИДІВ НАЇЗДУ НА ПІШОХОДА

О.В. Сараєв, доц., к.т.н., О.С. Назаров, доц., к.т.н.,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Анотація.* Проаналізовано програмні продукти, що застосовуються під час проведення автотехнічної експертизи, визначено їх можливості й недоліки. Запропоновано алгоритм, що полягає у послідовності розрахунку під час дослідження механізму наїзду на пішохода в режимі гальмування автомобіля, коли оглядовість водія обмежена рухомою перешкодою.

*Ключові слова:* дорожньо-транспортна пригода, показники, причини, класифікація.

## АЛГОРИТМ РАСЧЕТА И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СЛОЖНЫХ ВИДОВ НАЕЗДА НА ПЕШЕХОДА

А.В. Сараев, доц., к.т.н., А.С. Назаров, доц., к.т.н.,  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

*Аннотация.* Проанализированы программные продукты, применяемые во время проведения автотехнической экспертизы, определены их возможности и недостатки. Предложен алгоритм, состоящий в последовательности расчета при исследовании механизма наезда на пешехода в режиме торможения автомобиля, когда обзорность водителя ограничена подвижным препятствием.

*Ключевые слова:* дорожно-транспортное происшествие, показатели, причины, классификация.

## ALGORITHMS OF CALCULATIONS AND SOFTWARE IMPLEMENTATION OF DEMANDING PEDESTRIAN COLLISIONS

A. Sarayev, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.), A. Nazarov, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),  
Kharkiv National Automobile and Highway University

*Abstract.* The software products used in autotechnical examination are analyzed. Their capabilities and limitations are defined. The algorithm that consists in the sequence of calculation when studying the mechanism of vehicle collision with a pedestrian in the mode of vehicle braking when the driver's visibility is limited by a moving obstacle is offered.

*Key words:* traffic accident, indicators, cause, classification.

## Вступ

Впровадження інформаційних технологій в експертну практику почало здійснюватися через моделювання дорожньо-транспортних пригод (ДТП), створення програмних комплексів, окремих програм виконання допоміжних розрахунків, програм підготовки експертних висновків. Переваги комп'ютериза-

ції полягають у такому: кількісно – виробляється значно більший обсяг розрахунків; якісно – зменшується ймовірність арифметичних помилок; з'являється можливість візуалізації результатів досліджень.

Забезпечення високого рівня об'єктивності висновків автотехнічних експертів під час розслідування ДТП, а також високий рівень

використання комп'ютерних технологій є заходами, що забезпечують якість експертних досліджень. Комп'ютерні технології розглядаються як фактори автоматизації процедури реконструкції ДТП, що ослабляють вплив помилок експертів на її достовірність і об'єктивність досліджень, що знижують вимоги до кваліфікації останніх, що забезпечують можливість перегляду і порівняння різних варіантів аналізу й обґрунтування оптимального за достовірністю рішення.

### Аналіз публікацій

Іларіонов В.А. одним з перших, застосувавши розрахунково-графічний метод, запропонував методику розрахунку механізму наїзду на пішохода в умовах обмеженої оглядовості, з урахуванням характеру перешкоди (рухома, нерухома, рухається в попутному або стрічному напрямку) і режиму руху автомобіля в момент наїзду – рівномірний рух або зі сповільненням [1, 2]. Особливості цієї методики полягають у такому: по-перше, досліджується процес наїзду на пішохода, що рухається під прямим кутом до краю проїжджої частини; по-друге, методику аналітичного вирішення задач розроблено для випадків, коли перешкода є нерухомою, або коли автомобіль і перешкода рухаються без гальмування; по-третє, в найскладнішому випадку, коли наїзд на пішохода відбувається в режимі гальмування автомобіля, застосовується розрахунково-графічний метод дослідження.

Решетніков Є.Б., використовуючи розрахунково-аналітичний метод, запропонував методику дослідження процесу наїзду на пішохода, що переміщається під довільним кутом, розглянув найскладніше вирішення експертної задачі, пов'язаної з наїздом на пішохода в умовах обмеженої оглядовості [3]. Це розширило спектр складних задач, пов'язаних з наїздом на пішохода, які можна дослідити аналітичним методом. Проте ця методика не набула належного поширення в експертній практиці.

Продовженням робіт [1–3] стала розробка методики дослідження складних видів наїзду на пішохода, що сталися в умовах обмеженої оглядовості, коли сучасний ТЗ, обладнаний антиблокувальною системою гальм, під час наїзду в режимі гальмування не залишив слідів юза на дорожньому покритті [6, 7].

Будь-який математичний опис моделі руху автомобіля, крім свого потенціалу, має недоліки, оскільки автомобіль – це складна техні-

чна система, що складається з великої кількості елементів. Опис впливу кожного з них на всю систему – процес дуже складний, що перетворює просту форму рівнянь у величезну систему відносин, в яку кожен елемент буде вносити свою похибку. Крім проблеми опису взаємодії елементів, ще однією досить серйозною проблемою є опис процесу маневрування, в тому числі й зіткнення.

На сьогодні розроблено й ефективно застосовуються на практиці складні математичні комплекси, що дозволяють проводити імітаційне моделювання різних транспортних ситуацій за участю великої кількості учасників руху, в тому числі й ДТП.

Комп'ютерне моделювання пройшло чотири етапи у своєму розвитку [8]: 1) застосування програмованих калькуляторів; 2) програмне забезпечення, за допомогою якого проводяться розрахунки й їх результати подаються у вигляді статичних ілюстрацій (графіків, діаграм); 3) програми, за допомогою яких результати дослідження подаються у вигляді двовимірної анімації (на площині); 4) програми з можливістю тривимірної анімації. Нині у практиці автотехнічної експертизи експерти прагнуть працювати із програмними продуктами останнього покоління. До найбільш поширених програмних продуктів у галузі моделювання руху транспортних засобів слід віднести PC-CRASH, CARAT-3, CARAT-4, ANALYSER PRO, систему «Експертиза ДТП».

Усі зазначені вище програмні модулі мають, на перший погляд, аналогічну структуру й оболонку, але кожна з програм має свої переваги.

Програмний продукт PC-CRASH [9] користується популярністю в роботі експертів-техніків та інших осіб, чия діяльність пов'язана з реконструкцією обставин ДТП. Більше 4000 ліцензій було реалізовано цією компанією на свій програмний продукт. Вказаний факт свідчить про великий потенціал, закладений розробником у цю програму.

Програма дозволяє моделювати механізм руху не тільки ізольованого транспортного засобу, а й зчипки з декількох ТЗ із урахуванням їх технічного стану, завантаження, особливостей конструкції. Моделювання можливе в різних дорожніх умовах: за наявності ділянок із різними коефіцієнтами зчеплення

покриття, із різними ухилами поверхні, з урахуванням опору повітря (вітрового навантаження).

Важливим достоїнством програми є можливість визначення швидкостей руху ТЗ перед зіткненням (на підставі моделювання механізму зіткнення) за відомими вихідними даними: місцем зіткнення, взаємним положенням ТЗ у момент зіткнення, кінцевим положенням після зіткнення, режимами руху ТЗ після зіткнення до місця зупинки. Програма CARAT-3 дозволяє розглядати рух об'єктів у трьох режимах: кінематичному режимі руху; динамічному режимі руху; розрахунку зіткнень.

Кінематичний розрахунок являє собою не що інше, як реалізацію відомих із курсу фізики процесів руху. Динамічний розрахунок має за мету моделювати рух автотранспортного засобу, схильного до впливу сил. Математична модель даного режиму ґрунтується на застосуванні відомих диференціальних рівнянь руху. Аналіз і моделювання зіткнень є найважливішим модулем програми CARAT-3. У цьому модулі програми відомі з теоретичної механіки закони збереження імпульсу і його моменту дають у деяких випадках похибки.

Аналіз зіткнень є однією з найбільш сильних сторін програмного модуля. У програмі CARAT можна аналізувати чотири типи зіткнень: два типи розрахунку вперед (зіткнення без прослизання в контакт і з урахуванням прослизання); два типи розрахунку назад (розрахунок, що базується на законі збереження кількості руху; розрахунок, що базується на законі збереження енергії).

Для аналізу зіткнень використовується класична теорія удару, яка, незважаючи на застосовувані спрощення, дає досить точні результати, оскільки у програмному модулі використовується підтверджена на практиці теорія зіткнень автомобілів на основі методу еквівалентної енергії. Аналіз моделювання краш-тестів (коли були відомі або досить точно могли бути виміряні деякі найважливіші параметри за допомогою програми CARAT) показав, що вони при правильному підборі відображають реальну ситуацію вихідних даних: модельований механізм зіткнення автотранспортних засобів та їх руху після зіткнення досить точно розкривають дійсний механізм події.

Система «Експертиза ДТП» розроблена компанією AutoSoft. Програма призначена для візуального моделювання дорожньо-транспортної ситуації будь-якої складності і з будь-якою кількістю учасників руху та інших об'єктів (знаки, світлофори із завданням режимів роботи, дорога з розміткою тощо).

Програма дозволяє анімувати (приводити в рух) створену модель. Є можливість автоматизованого вибору вихідних даних зі створеної моделі ДТП і проведення дослідження з отриманням документа «Заключення експерта» у форматі MS-Word. Дослідження може проводитися одночасно за кількома варіантами вихідних даних.

У програмі інтегровані різні каталоги (довідники) для зручності роботи із програмою, такі як каталог транспортних засобів, каталог розрахункових формул та інші [10].

Кожна з описаних вище моделей є складно-організованою системою розрахунків переміщення та взаємодії учасників дорожнього руху. У кожному програмному продукті закладено великий потенціал можливостей, що робить їх добрим інструментом під час проведення автотехнічної експертизи.

Крім описаних вище переваг, можна виділити недоліки, властиві кожній системі, – це і складний інтерфейс, і велика кількість параметрів в описі дорожньо-транспортної обстановки.

При цьому остання обставина є серйозною інформаційною проблемою в ряді випадків під час проведення не тільки імітаційного моделювання дорожньо-транспортної ситуації, але і в ході всієї автотехнічної експертизи, що проводиться уповноваженими особами. Неповноту та неточність первинної інформації, помилки при її обробці в деяких випадках не можна заповнити, навіть застосувавши складні математичні комплекси моделювання руху.

Останнім часом при проведенні автотехнічної експертизи однією з головних проблем є отримання достовірної первинної інформації в обсязі, необхідному для детального відтворення дорожньо-транспортної пригоди, з метою визначення характеристик об'єктів, причетних до неї.

Застосування сучасних інформаційних технологій на етапі збору первинної інформації дозволить застосовувати розглянуті програмні комплекси як елементи, здатні вирішувати завдання будь-якої складності під час проведення вавтотехнічної експертизи.

### Мета і постановка завдання

Метою роботи є вдосконалення методу дослідження обставин ДТП шляхом розробки алгоритму розрахунку та програмного забезпечення складних видів наїзду на пішохода.

Основними завданнями роботи є, по-перше, розробка алгоритму розрахунку складних видів наїзду на пішохода; по-друге, розробка програмного забезпечення для дослідження ДТП за складеним алгоритмом.

### Алгоритм розрахунку та інтерфейс

Блок-схему цього алгоритму наведено на рис. 1. Початковими даними, технічними та експлуатаційними параметрами для розрахунку (блок 1) служать: швидкість автобуса  $V_2$ , швидкість пішохода  $V_1$ , кут удару  $\alpha$ , відстань між автобусом і місцем наїзду в момент пригоди  $x$ , інтервал між автомобілем та автобусом  $y$ , відстань від переднього габаритного кута автомобіля до місця удару  $l_y$ , переміщення автомобіля після наїзду  $S_{\text{пн}}$ , відстань від краю проїжджої частини до місця наїзду  $y_{\text{п}}$ , час реакції водія  $t_1$ , час запізнювання спрацьовування гальмового приводу  $t_2$ , час наростання сповільнення  $t_3$ , коефіцієнт зчеплення коліс із дорогою  $\phi$ , прискорення вільного падіння  $g$ .

У блоці 2 визначаються:

– усталене сповільнення автомобіля

$$j = \frac{g\phi}{k}; \quad (1)$$

– швидкість автомобіля у момент наїзду на пішохода при фронтальному або бічному наїзді

$$v_{\text{н}} = \sqrt{2jS_{\text{пн}}}, \quad (2)$$

$$v_{\text{н}} = \sqrt{2j(S_{\text{пн}} - l_x)}, \quad (3)$$

де  $S_{\text{пн}}$  – переміщення ТЗ із усталеним сповільненням від місця наїзду до зупинки, м;  $l_x$  – координата місця удару на бічній поверхні ТЗ, м;

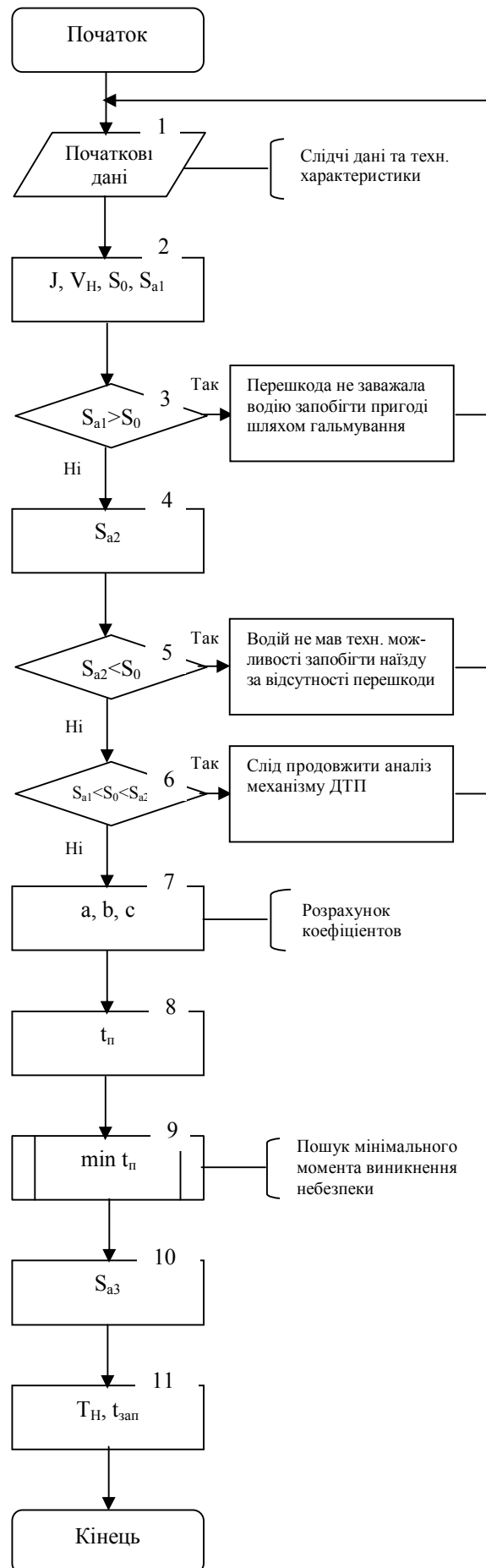


Рис. 1. Блок-схема алгоритму розрахунку

– зупинний шлях автомобіля у даних дорожніх умовах

$$S_0 = (t_1 + t_2 + 0,5t_3)v_a + v_a^2/2j, \quad (4)$$

де  $S_0$  – зупинний шлях ТЗ, м;

– відстань від автомобіля до місця наїзду в момент виходу пішохода з-за краю перешкоди у разі фронтального або бічного наїзду

$$S_{a1} = \frac{(y + l_y)v_a}{|\sin \alpha|v_{\Pi}} - \frac{(v_a - v_H)^2}{2j}, \quad (5)$$

$$S_{a1} = \frac{yv_a}{|\sin \alpha|v_{\Pi}} - \frac{(v_a - v_H)^2}{2j} - l_x, \quad (6)$$

де  $S_{a1}$  – відстань від ТЗ до місця наїзду в момент виходу пішохода з-за краю перешкоди, м;  $y$  – бічна координата (у випадку наїзду на пішохода – інтервал між ТЗ і перешкодою), м;  $l_y$  – координата місця удару на фронтальній поверхні ТЗ, м.

Якщо умова  $S_{a1} > S_0$  у блоці 3 виконується, то перешкода не заважала водію запобігти пригоді шляхом своєчасного гальмування, інакше розраховуємо відстань від автомобіля до місця наїзду в момент виходу пішохода на проїжджу частину за формулами (блок 4): у разі фронтального наїзду

$$S_{a2} = \frac{y_{\Pi}v_a}{|\sin \alpha|v_{\Pi}} - \frac{(v_a - v_H)^2}{2j}, \quad (7)$$

у разі бічного наїзду

$$S_{a2} = \frac{y_{\Pi}v_a}{|\sin \alpha|v_{\Pi}} - \frac{(v_a - v_H)^2}{2j} - l_x, \quad (8)$$

де  $S_{a2}$  – відстань від ТЗ до місця наїзду в момент виходу пішохода на проїжджу частину, м.

Якщо умова  $S_{a2} < S_0$  у блоці 5 виконується, то водій не мав технічної можливості запобігти наїзду навіть за відсутності перешкоди, що обмежувала оглядовість. Якщо умова  $S_{a1} < S_0 < S_{a2}$  у блоці 6 виконується, то слід продовжити аналіз механізму ДТП. За невиконання умов у блоках 5 і 6 залежно від типу перешкоди, стрічної або попутної, і виду наїзду, фронтального або бічного, провести розрахунок коефіцієнтів  $a$ ,  $b$ ,  $c$  за формулами (блок 7):

при дослідженні фронтального наїзду

$$\begin{cases} a = v_{\Pi}|\sin \alpha|(v_a + v_2), \\ b = v_{\Pi} \left[ |\sin \alpha| \left( a_x - \frac{(v_a - v_H)^2}{2j} - \Delta_x + \frac{y_{\Pi}}{\operatorname{tg} \alpha} \right) + \right. \\ \left. + \cos \alpha (b_y + y) \right] - v_a (l_y + y) - v_2 (l_y + y_{\Pi} - b_y), \\ c = (l_y - b_y) \left[ y_{\Pi} \left( \frac{v_2}{v_{\Pi}|\sin \alpha|} - \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} \right) + \Delta_x \right] - \\ - (l_y + y) \left( a_x - \frac{(v_a - v_H)^2}{2j} \right); \end{cases} \quad (9)$$

при дослідженні бічного наїзду

$$\begin{cases} a = v_{\Pi}|\sin \alpha|(v_a + v_2), \\ b = v_{\Pi} \left[ |\sin \alpha| \left( a_x - \frac{(v_a - v_H)^2}{2j} - l_x - \Delta_x + \frac{y_{\Pi}}{\operatorname{tg} \alpha} \right) + \right. \\ \left. + \cos \alpha (b_y + y) \right] - v_a y - v_2 (y_{\Pi} - b_y), \\ c = -b_y \left[ y_{\Pi} \left( \frac{v_2}{v_{\Pi}|\sin \alpha|} - \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} \right) + \Delta_x \right] - \\ - y \left( a_x - \frac{(v_a - v_H)^2}{2j} - l_x \right). \end{cases} \quad (10)$$

У блоці 8 визначаємо час із моменту появи пішохода в полі огляду водія до моменту наїзду

$$t_{\Pi} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}. \quad (11)$$

Додатково розраховуємо час руху пішохода від краю проїжджої частини до місця наїзду

$$t_{\Pi} = \frac{S_{\Pi}}{v_{\Pi}} = \frac{y_{\Pi}}{v_{\Pi}|\sin \alpha|}, \quad (12)$$

де  $S_{\Pi}$  – відстань, яку подолав пішохід із моменту виникнення небезпеки до моменту наїзду, м;  $v_{\Pi}$  – швидкість руху пішохода, м/с, а в разі обмеженої видимості – і час руху пішохода в зоні видимості водія:

під час руху автомобіля зі сповільненням і при фронтальному наїзді

$$t_{\Pi} = \frac{S_B + \frac{(v_a - v_H)^2}{2j}}{v_a - v_{\Pi} \cdot \cos \alpha}; \quad (13)$$

під час руху автомобіля зі сповільненням і при бічному наїзді

$$t_{\Pi} = \frac{S_B + \frac{(v_a - v_H)^2}{2j} + l_x}{v_a - v_{\Pi} \cdot \cos \alpha}, \quad (14)$$

де  $S_B$  – виміряна відстань між переднім габаритом ТЗ та об'єктом при встановленій видимості, м.

У блоці 9 зі всіх одержаних за виразами (11)–(14) інтервалів часу  $t_{\Pi}$  обираємо якнайменший інтервал, який і визначатиме момент виникнення небезпеки.

У блоці 10 проводимо розрахунок відстані між автомобілем і місцем наїзду в момент виникнення небезпеки

$$S_a = t_{\Pi} v_a - \frac{(v_a - v_H)^2}{2j}, \quad (15)$$

де  $S_a$  – відстань між місцем ДТП та ТЗ у момент виникнення небезпеки або перешкоди для руху, м.

Для визначення запізнення водія із застосуванням гальмування (блок 11) знаходимо: інтервал часу з моменту реагування водія на небезпеку до моменту наїзду

$$T_H = T_{\Pi P} + \frac{v_a - v_H}{j}. \quad (16)$$

Час, на який водій запізнився з гальмуванням після виникнення небезпеки або перешкоди для руху, становитиме

$$t_{\text{зап}} = t_{\Pi} - T_H, \quad (17)$$

де  $t_{\text{зап}}$  – час, на який водій ТЗ запізнився з гальмуванням після виникнення небезпеки або перешкоди для руху, с;  $T_H$  – інтервал часу з моменту реагування водія ТЗ на небезпеку або перешкоду до моменту наїзду, с. Інтерфейс програми наведено на рис. 2.

Програма написана мовою програмування Object Pascal у середовищі Delphi 7.0. Треба зауважити, що не можна застосовувати формули та методикку, що використовуються під час дослідження наїзду на пішохода в умовах обмеженої оглядовості, при дослідженні аналогічних ДТП, які відбуваються у випадках руху ТЗ в насиченому транспортному потоці, коли автомобілі рухаються приблизно з однаковою швидкістю. У цьому випадку водій має нагоду постійно бачити пішохода. Такий вид наїзду слід розраховувати за формулами та методикою для необмеженої оглядовості.

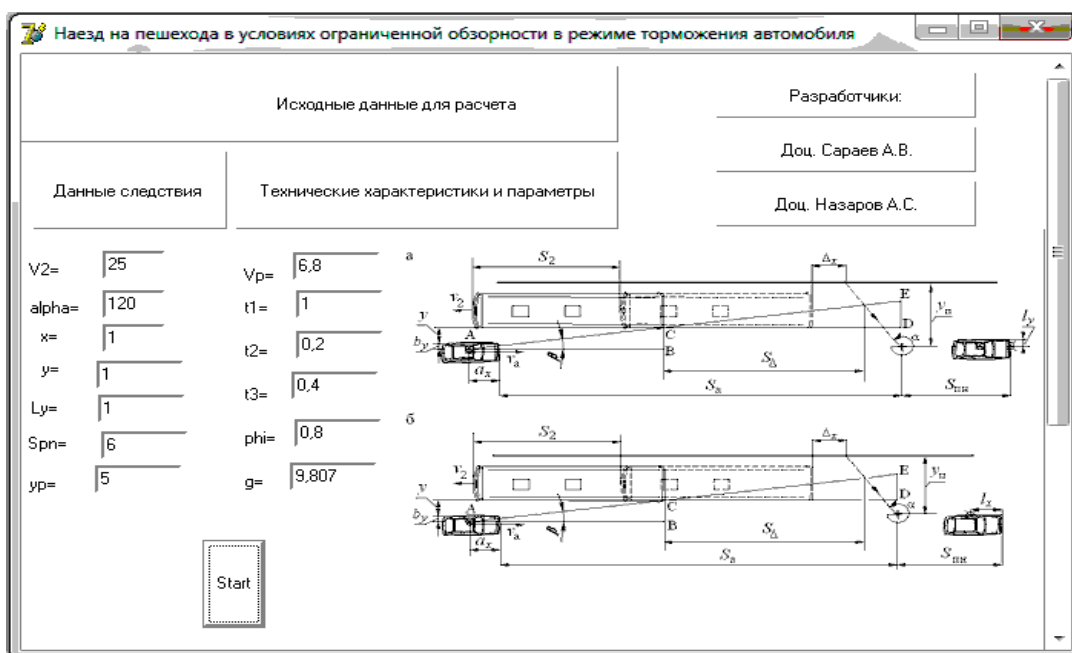


Рис. 2. Интерфейс програми

### Висновки

Запропонований алгоритм полягає у послідовності розрахунку під час дослідження механізму наїзду на пішохода в режимі гальмування автомобіля, коли оглядовість водія обмежена рухомою перешкодою. Він дозволяє розрахувати основні параметри під час дослідження механізму ДТП: 1) швидкість автомобіля в момент наїзду на пішохода; 2) зупинний шлях автомобіля в даних дорожніх умовах; 3) час із моменту появи пішохода в полі оглядовості водія до моменту наїзду; 4) момент виникнення небезпеки для руху та час із моменту виникнення небезпеки до моменту наїзду; 5) відстань від місця наїзду, де знаходився автомобіль у момент виникнення небезпеки.

Використання розробленого алгоритму в практичній сфері діяльності експертних установ буде сприяти підвищенню об'єктивності результатів автотехнічних досліджень.

### Література

1. Иларионов В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий: учебник для вузов / В.А. Иларионов. – М.: Транспорт, 1989. – 254 с.
2. Суворов Ю.Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза. Судебно-экспертная оценка действий водителей и других лиц, ответственных за обеспечение безопасности дорожного движения, на участках ДТП: учебное пособие для вузов / Ю.Б. Суворов. – М.: Право и закон, 2004. – 208 с.
3. Засоби транспортні дорожні. Експлуатаційні вимоги безпеки до технічного стану та методи контролю: ДСТУ 3649-10. – На заміну ДСТУ 3649-97; введ. 28.12.2010. – К.: Держстандарт України, 2010. – 19 с.
4. Сараєв О.В. Аналіз сучасних показників дорожньо-транспортних пригод / О.В. Сараєв // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб. науч. тр. – 2013. – Вып. 63. – С. 101–106.
5. Сараєв О.В. Аналіз можливості уникнути наїзду на пішохода шляхом своєчасного гальмування / О.В. Сараєв // Автомобильный транспорт : сб. науч. тр. – 2013. – Вып. 33. – С. 99–104.
6. Дубонос К.В. Расчет механизма наезда на пешехода при ограниченной обзорности в режиме торможения автомобиля. / Дубонос К.В., Клименко В.И., Решетников Е.Б., Сараєв А.В. // Криміналістичний вісник: наук.-практ. зб. – 2007. – №1(7). – 180 с.
7. Туренко А.Н. Автотехническая экспертиза: учебное пособие / А.Н. Туренко, В.И. Клименко, А.В. Сараєв. – Х.: ХНАДУ, 2007. – 156 с.
8. Официальный сайт ООО «Центр Квест» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.avtotrasolog.ru>.
9. Официальный сайт ООО «Европейская Экспертная Группа» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pcrash.ru>.
10. Официальный сайт ООО «Компания «АвтоСофт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.autosoft.ru>.

Рецензент: О.Я. Ніконов, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 23 липня 2015 р.