© Проблеми військової охорони здоров'я, 2012
УДК 617: 614.2: 355.415.6

МАТЕМАТИЧНА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ «ДОРОГА — САНІТАРНИЙ КОЛІСНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ — ПОСТРАЖДАЛИЙ»

А.М.Лакша

Українська військово-медична академія
Київ, Україна

У статті наведено метод аналізу динамічних навантажень, що впливають на постраждалих при транспортуванні санітарним автомобілем. Цей метод дозволяє розрахувати динамічні навантаження, які діють на систему «апарат — сегмент кінцівки», при використанні конкретного санітарного автомобіля. Розраховані динамічні навантаження є опорними для розрахунку жорсткості апарата зовнішньої фіксації.

Ключові слова: транспортування постраждалого, динамічні навантаження, що впливають на постраждалих при транспортуванні санітарним автомобілем.

Вступ

При травматологічній допомозі постраждалим з переломами довгих кісток у випадках надзвичайних ситуацій (стихійних лих, техногенних катастроф, збройних конфліктів), при масовому надходженні постраждалих на сучасному етапі розвитку медичних наук вважається оптимальним використання простих схем превентивної фіксації кісткових відламків [5, 18]. Така хірургічна тактика значно зменшує число ускладнень після транспортування постраждалих. При цьому найбільш раціональним є застосовування простих конструкцій стрижневих апаратів зовнішньої фіксації (АЗФ) [7]. Принцип застосування АЗФ в якості превентивної фіксації кісткових уламків полягає в наступному: на ушкоджений сегмент кінцівки накладається стрижневий АЗФ, що забезпечує іммобілізацію кісткових відламків

з метою зменшення зовнішніх впливів, без намагання відтворення анатомічної репозиції. На відміну від інших конструкцій стрижневих АЗФ, в апаратах превентивної фіксації у кісткові відламки вводиться мінімальна кількість стрижнів, як правило, по два в кожний. Це дозволяє істотно скоротити час накладення стрижневого АЗФ. Однак вищевказана методика накладення стрижневого АЗФ істотно знижує жорсткість фіксації кісткових відламків у системі «апарат — сегмент кінцівки» (САСК).

Для оцінки зсувів, деформацій і напружень, які виникають у САСК при транспортуванні постраждалих санітарним колісним транспортним засобом (СКТЗ), необхідно провести аналіз динамічних навантажень, механічної міцності матеріалів та з'єднань сполучених елементів.

Найбільші динамічні навантаження, що впливають на постраждалого, виникають при його транспортуванні СКТЗ, які залежать від амортизаційних (жорсткістних та демпфіруючих) властивостей, профілю дороги, швидкості руху й носять ймовірнісний характер.

Метою дослідження було розробити математичну імітаційної моделі системи «дорога — санітарний колісний транспортний засіб — постраждалий» для визначення динамічних навантажень, що діють на постраждалого.

Матеріали та методи дослідження

З аналізу робіт ряду авторів [2, 4, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16] відомо, що в теорії підресорювання й розрахунках динамічних характеристик підвіски колісних транспортних засобів виділилося два підходи [3, 16]:

- розв'язки задач в детермінованій постановці (профіль дорожніх нерівностей описується з наперед заданою функцією, найчастіше гармонійною);
- розв'язки задач в ймовірнісній (стохастичній) постановці — стаціонарної у випадку однорідного дорожнього покриття й нестаціонарної імпульсного типу при наїзді на перешкоду (бугор, вибоїну і т.і.).

Стохастичний підхід, через складність використовуваного математичного апарата, вимагає істотного спрощення імітаційної математичної моделі СКТЗ. Як правило, її представляють у вигляді системи лінійних диференціальних рівнянь з урахуванням невеликих нелінійностей. У зв'язку із цим дана методика отримала поширення

при моделюванні режимів СКТЗ по дорогам з покриттям або наїжджженим ґрунтовим і, як правило, для розрахунку комфортної й середньої швидкості руху, середнього відсотка використання потужності двигуна, часу руху на різних передачах і т.п. У зазначених дорожніх умовах пробої підвісок і відриви коліс від дорожнього полотна, які є істотно нелінійними, практично відсутні. Нелінійністю же наведених до осі колеса характеристик пружного елемента й пристрою, що демпфірує, через невеликий хід підвіски й відносної малості її вертикальної швидкості, можна зневажити. У цьому випадку профіль дороги може розглядатися як ергодична стаціонарна випадкова функція висоти його нерівностей залежно від швидкості руху [3, 6]. На даний час для існуючих автомобільних доріг випадкові характеристики нерівностей досить добре вивчені [11]. Встановлено, що розподіл величин висот нерівностей доріг близький до нормального закону.

Якість підресорювання (плавність ходу), відповідно до галузевої норми [5], оцінюється середніми квадратичними значеннями вертикальних прискорень підресореної маси [10, 14]. Визначається також (з метою нормування) величина максимальних вертикальних прискорень підресорених мас, ймовірність появи яких становить більше 1,5%. Конкретні припустимі значення зазначених параметрів залежать від частоти вертикальних коливань (близькість до резонансного) і призначення транспортного засобу.

Детерміністичний підхід оперує менш складним математичним апаратом, дозволяє врахувати в більш повному обсязі нелінійні властивості як підвіски, так і коливальної системи в цілому та отримати відносно високу точність результатів. Він використовується при розрахунку систем підресорювання колісних транспортних засобів, які призначені для експлуатації в основному в умовах бездоріжжя, коли усереднені статистичні характеристики коливань не дозволяють вірогідно оцінити якість підресорювання. Його варто оцінювати за максимальним значенням параметрів, пов'язаних із пробоями підвіски, підвищенням швидкостей і прискорень підресореного корпуса над можливостями стабілізуючих пристроїв, використовуваних у СКТЗ.

Аналіз ґрунтових доріг, наїжджених гусеничними машинами (ГМ) і багатоопорними колісними машинами (КМ), показує, що їхній профіль нерівностей близький до гармонійного і є найгіршим за плавністю ходу. У роботі [11] наведені функції розподілу за шляхом проходження висот і довжин нерівностей, які були отримані шляхом безперервної реєстрації більших ділянок доріг, наїжджених ГМ,

а також ґрунтових доріг і місцевості для середньої смуги європейської частини колишнього СРСР. Встановлено, що на дорогах, наїжджених ГМ, відстань між нерівностями, як правило, становить 8-10 м (дві бази санітарної машини), а сам профіль нерівностей близький до гармонійного, тобто ГМ «вибивають» певний профіль ґрунту, що виявляється найбільш несприятливим для плавності ходу.

Слід зазначити, що статистичний аналіз, будучи більш загальним, містить як окремий випадок (при нульових дисперсіях) результати детерміністичного аналізу.

Результати дослідження та їх обговорення

Використовуючи дані проведеного аналізу, сформулюємо основні допущення, які прийняті для побудови динамічної імітаційної моделі СКТЗ, і розв'язання задачі математичного моделювання його руху.

Динамічна імітаційна модель санітарного колісного транспортного засобу. Підсистема «СКТЗ — дорога» є складної багатомасовою коливальною системою, дослідження якої можливе тільки на основі її радикального спрощення.

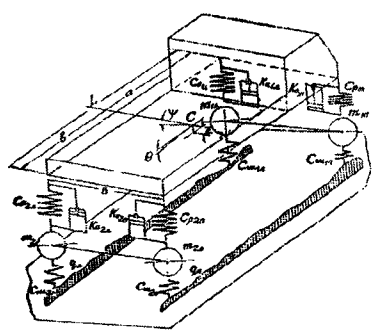

Рис. 1. Динамічна система «санітарний колісний транспортний засіб — дорога».

На рис. 1 представлена розрахункова схема двохвісьового СКТЗ, кузов якого розглядається як одна ціла, що не деформується, підресорена частина, взаємодіюча через підвіску з непідресореними частинами, до яких приєднані колеса в зборі з шинами.

У загальному випадку кожна з взаємодіючих мас СКТЗ може виконувати поступальні та кутові коливання щодо трьох координатних осей. Облік усіх можливих узагальнених переміщень істотно ус-

кладнив би розв'язання задачі динаміки СКТЗ, тим більше, що в досліджуваній моделі не потрібно виконувати розрахунок усіх можливих переміщень і діючих сил. Стосовно до проблеми навантаженості колеса: параметрами, що його визначають, можуть бути тільки ті коливання, які характеризують флуктуацію радіальних навантажень і вісьових сил.

Використовувані на практиці динамічні аналоги колісних транспортних засобів обмежені в основному одно- або двомасовивими коливальними підсистемами, за допомогою яких аналізуються вертикальні переміщення, обумовлені узагальненою координатою y, поздовжньо-кутові та поперечно-кутові коливання, що характеризуються, відповідно, узагальненими координатами θ й ψ (рис. 1).

При аналізі коливань жорсткості властивості пружних елементів підвіски та шин вважаємо лінійними, а характеристики опору амортизаторів — лінійно залежними від швидкості переміщення непідресорених мас щодо підресорених. Відомі розв'язання в нелінійній постановці [4], засновані на кусково-лінійній апроксимації нелінійних залежностей і, отже, також у своїй основі не виходять за рамки лінійних представлень.

Лінійна постановка задачі дозволяє істотно спростити досить складний коливальний процес СКТЗ не тільки за рахунок можливості розв'язання задачі із застосуванням звичайних диференціальних рівнянь із постійними коефіцієнтами. Лінійна концепція закону деформування шин, поряд зі спрощеннями механіки коливального процесу, також дозволяє використовувати принцип незалежності коливань щодо різних координатних осей. Зокрема, вважати їх незалежними дуже важливо, так як визначальними з погляду плавності ходу СКТС є коливання у вертикальній площині від менш важливих (діючих) коливань у горизонтальній площині. Розглядаючи кожний із видів коливань автономно, представляється можливим отримати відносно прості імітаційні моделі динаміки СКТЗ, що широко використовуються в даний час [11, 15].

У даній роботі для визначення динамічних навантажень, діючих на постраждалих у процесі транспортування, при побудові адекватної імітаційної моделі СКТЗ обмежимося розглядом плоскопаралельного руху в поздовжній площині симетрії з постійною швидкістю (рис. 2а). На рис. 2б наведена найбільш ефективна плоска імітаційна модель СКТЗ, що відповідає схемі руху, відображеного на рис. 2а.

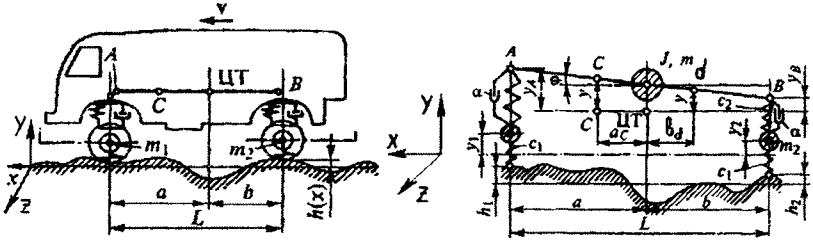

Рис. 2. А — плоскопаралельний рух санітарного колісного транспортного засобу; б — двовимірна (плоска) динамічна модель санітарного колісного транспортного засобу.

При розв'язанні рівнянь динамічних коливань імітаційної моделі СКТЗ (рис. 2б) скористаємося рівняннями Лагранжа другого роду, для чого отримаємо вираження для кінетичної й потенційної енергії та для диссипативної функції Релея [8]:

$$T = \frac{my^2}{2} + \frac{J\varphi^2}{2} + \frac{m_1 y_1^2}{2} + \frac{m_2 y_2^2}{2};$$

$$\Pi = \frac{1}{2} c_2 (y_A - y_1)^2 + \frac{1}{2} c_1 (y_1 - h_1)^2 +$$

$$+ \frac{1}{2} c_2 (y_B - y_2)^2 + \frac{1}{2} c_1 (y_2 - p_2)^2;$$

$$R = \frac{\alpha}{2} (y_A - y_1)^2 + \frac{\alpha}{2} (y_B - h_2)^2 . \qquad (1)$$

Якщо переміщення передньої та задньої підвісок апроксимувати вираженнями $y_A = y + \alpha\varphi$, $y_B = y - b\varphi$, то кінетичну енергію, крім φ і y, можна представити у вигляді:

$$T = \frac{m}{2h^2} (by_A + ay_B)^2 + \frac{J}{2L^2} (y_A + y_B)^2 + \frac{m_1 y_1^2}{2} + \frac{m_2 y_2}{2}. \qquad (2)$$

Підставивши T, Π і R з (1) у рівняння Лагранжа другого роду

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial q_i}\right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} = -\frac{\partial R}{\partial q_i}, \qquad (3)$$

після перетворень отримаємо систему рівнянь, що характеризують імітаційну модель СКТЗ (рис. 3):

$$\frac{mb^2 + J}{L^2}\ddot{y}_A + \frac{mab - J}{L^2}\ddot{y}_B + c_2(y_A - y_1) + \alpha(\dot{y}_A - \dot{y}_1) = 0;$$

$$\frac{ma^2 + J}{L^2}\ddot{y}_B + \frac{mab - J}{L^2}\ddot{y}_A + c_2(y_B - y_1) + \alpha(\dot{y}_B - \dot{y}_2) = 0;$$

$$m_1\ddot{y}_1 - c_2(y_A - y_1) + c_1(y_1 h_1) - \alpha(\dot{y}_A - \dot{y}_1) = 0;$$

$$m_2\ddot{y}_2 - c_2(y_B - y_2) + c_1(y_2 h_2) - \alpha(\dot{y}_B - \dot{y}_2) = 0. \qquad (4)$$

Слід зазначити, що якщо виконується умова $J = mba$, то коливання передньої й задньої підвісок моделі СКТЗ стають незалежними. У цьому випадку з (4) отримаємо дві незалежні системи рівнянь:

$$m_A\ddot{y}_A + c_2(y_A - y_1) + \alpha(\dot{y}_A - \dot{y}_1) = 0;$$

$$m_1\ddot{y}_1 + \alpha\dot{y}_1 + (c_1 + c_2)y_1 - \alpha\dot{y}_A - c_2 y_A = c_2 h_1(t); \qquad (5)$$

$$m_B\ddot{y}_B + c_2(y_B - y_2) + \alpha(\dot{y}_B - \dot{y}_2) = 0,$$

$$m_2\ddot{y}_2 + \alpha\dot{y}_2 + (c_1 + c_2)y_2 - \alpha\dot{y}_B - c_2 y_B = c_1 h_2(t - t_2), \qquad (6)$$

де позначено

$$m_A = \frac{J + mb^2}{L^2},\ m_B = \frac{J + ma^2}{L^2}.$$

Для розв'язання рівнянь динаміки СКТЗ, представлених рівняннями (5, 6), необхідно знати, який вплив чинить на нього дорога при різних швидкостях руху. Інакше кажучи, необхідно визначити спектр збурювань з боку дороги, що залежить від профілю дороги $h(t)$ та швидкості руху СКТЗ $v(t)$ [1, 11].

Висновки

1. Для розробленої динамічної моделі «дорога — санітарний колісний транспортний засіб — постраждалий» отримано систему рівнянь, які описують випадкові коливання автомобіля з постраждалим при його транспортуванні.

2. Для визначення динамічних навантажень на постраждалого при транспортуванні розроблена математична імітаційна модель системи «дорога — санітарний колісний транспортний засіб — постраждалий».

3. Розроблена математична імітаційна модель системи «дорога — санітарний колісний транспортний засіб — постраждалий» дозво-

ляє розрахувати динамічні навантаження, які діють на систему «апарат — сегмент кінцівки» при використанні конкретного санітарного автомобіля.

Література

1. Агеев М.Д., Агеева Н.Д. Статистические параметры микропрофиля дорожных покрытий и некоторые методы их измерения / Труды семинара по подвескам. — Вып.8. — М., 1963. — С. 17-39.
2. Балабин И.В., Балабин О.И. Функциональные характеристики элементов подвески автомобиля и их влияние на нагрузочный режим колеса / Мат. 65-й Международной научно-технической конференции Ассоциации автомобильных инженеров. — М.: МГТУ, 2009. — С. 30-45.
3. Болотин В.В. Применение методов теории вероятности и теории надежности в расчетах сооружений. — М.: Стройиздат, 1971. — С. 255.
4. Дербарамдикер А.Д. Амортизаторы транспортных машин. — М.: Машиностроение, 1985. — С. 199.
5. Дороги автомобильные общего пользования. СТО МАДИ 02066517.1-2006. Диагностика. — М., 2006. — С. 251.
6. Кончак В.С., Колесникович А.Н., Лазакович С.П., Хитриков С.В. Методы определения динамических характеристик упругих элементов подвески по экспериментальным данным // Известия НАН Беларуси, серия физ.-техн. наук. — 2008. — № 2. — С. 20-25.
7. Лакша А.М. Жесткостные биомеханические параметры стержневых аппаратов внешней фиксации / Український журнал медичної техніки і технології. — 2000. — №3-4. — С. 6-12.
8. Моделирование плавности хода грузовых многоосных автомобилей / [В.С.Кончак, В.И.Петько, С.В.Харитончик и др.]. // Известия НАН Беларуси, серия физ.-техн. наук. — 2008. — № 2. — С. 20-25.
9. Повзнер Я.М. О выборе соотношений параметров передней и задней подвески автомобиля // Автомобильная промышленность. — 1977. — №1. — С. 20-22.
10. Ротенберг Р.В. Колебания автомобилей и гусеничных машин / Вибрации в технике. Сб. ст. Т. 3. — М., Машиностроение, 1980. — С. 452-477.
11. Силаев А.А. Спектральная теория подрессоривания транспортных машин. 2-е изд., перераб. и доп. — М., Машиностроение, 1972. — 192 с.
13. Смирнов А.В. Динамика дорожных одежд автомобильных дорог. — Омск: Зап.-Сиб. книжное издательство, 1975. — С. 183.
14. Хачатуров А.А., Афанасьев В.Л., Васильев В.С. и др. Динамика системы «дорога — шина — автомобиль — водитель» / Под ред. А.А.Хачатурова. — М.: Машиностроение, 1976. — 535 с.
15. Цитович И.С., Альгин В. Б. Динамика автомобиля. — Минск: Наука и техника, 1981. — 191 с.

16. Яценко Н.Н., Прутчиков О.К. Плавность хода грузовых автомобилей. — М.: Машиностроение, 1969. — С. 220.
17. Covey D.C. Blast and fragment injuries of the musculoskeletal system / J. Bone Joint Surg Am. — 2000. — Vol. — №84. — P. 1221-1234.
18. Paper presented at the RTO HFM Symposium on «Combat Casualty Care in Ground Based Tactical Situations: Trauma Technology and Emergency Medical Procedures», held in St. Pete Beach, USA, 2004. — P. 15.1-15.14.

А.М.Лакша. Математическая имитационной модели системы «дорога — санитарное колесное транспортное средство — пострадавших». Киев, Украина.

Ключевые слова: транспортировка пострадавшего, динамические нагрузки, влияющие на пострадавших при транспортировке санитарным автомобилем.

В статье представлен метод анализа динамических нагрузок, влияющих на пострадавших при транспортировке санитарным автомобилем. Этот метод позволяет рассчитать динамические нагрузки, действующие на систему «апарат — сегмент конечности», при использовании конкретного санитарного автомобиля. Рассчитанные динамические нагрузки являются опорными для расчета жесткости аппарата внешней фиксации.

A.M. Laksha. A mathematical simulation model of the «road — sanitarnoee wheeled vehicle — suffered». Kyiv, Ukraine.

Key words: transportation of the victim, the dynamic forces that affect victims for transport ambulances.

The paper shows the method of analysis of dynamic loads that affect the health of victims during transportation vehicle. This method allows calculating the dynamic loads acting on the system of «unit — segment limb», the use of specific health car. Calculated dynamic forces are the basic unit for calculating the stiffness of external fixation.