

SAFETY OF AMUSEMENT RIDES

V. Goots, O. Koval

National University of Food Technologies

Key words:	ABSTRACT
<i>Gravitational amusement ride</i> <i>Calculation of descent</i> <i>Differential equations of motion</i>	Improving the reliability, security and operation of amusement rides based on gravitational descent is a difficult technical challenge. Based on the results of analytical studies of the mechanism of movement of goods by descent, the mathematical models are proposed in the article. These models comprise differential equations of motion of the material systems obtained from the analysis of the driving forces and the resistance acting on the moving object. Practical application of the obtained mathematical models combines the safety of staff and visitors with optimal positive emotional effect.
Article history:	
Received 10.02.2016	
Received in revised form 16.02.2016	
Accepted 14.03.2016	
Corresponding author:	
V. Goots	
E-mail:	
Goots@ukr.net	

БЕЗПЕКА АТРАКЦІОНІВ

В.С. Гуць, О.А. Коваль

Національний університет харчових технологій

Підвищення надійності, безпеки експлуатації атракціонів на основі гравітаційних спусків є складним технічним завданням, що стоїть перед обслуговуючим персоналом. За результатами аналітичних досліджень механізму руху вантажів по спускам у статті запропоновано математичні моделі — диференціальні рівняння руху матеріальних систем, які отримані в результаті аналізу діючих на рухомий об'єкт рушійної сили та сил опору. Моделі надають можливість виконати розрахунки як окремих конструктивних елементів спуску, так і його експлуатаційних параметрів у цілому. За побудованими на їх основі диференціальними рівняннями можна розрахувати траєкторії, швидкості руху різних за розмірами, формою і поверхневими властивостями об'єктів, гарантовано забезпечити оптимальні й безпечні режими експлуатації як для відвідувачів, так і для персоналу, що їх обслуговує.

Ключові слова: гравітаційні атракціони, розрахунок спуску, диференціальні рівняння руху.

Постановка проблеми. Сучасні світові тенденції будівництва й умови функціонування світової економіки диктують нові пріоритети та визначають нові напрями розвитку індустрії розваг. Однією з галузей, що виходить на лідерські позиції за останні роки, є гостинність, основою якої виступає готельне

господарство. Основною концепцією експлуатації готельного торгово-розважального комплексу є надання гостям можливості поєднання в одному місці ділового та культурного спілкування з розвагами.

Порівняно новим для України є будівництво багатофункціональних комплексів із цілодобовим завантаженням. Найбільшою популярністю у світі серед розваг користуються аквапарки. Неодмінним атрибутом аквапарків є водні гірки й атракціони на базі гравітаційних спусків.

Будівництво атракціонів у світі все більше привертає інтерес інвесторів. Для залучення відвідувачів ресторанів і мешканців готелів, розширення послуг відпочивальників будують різні за призначенням зони відпочинку, атракціони, басейни: демонстраційні, спортивні, оздоровчі, лікувальні комбіновані. Розважальні комплекси з плавальними басейнами, обладнані гравітаційними спусками, можуть стати одночасно і цікавим проведенням дозвілля, і місцем групової активності, і лікувально-профілактичним заходом. Особливий інтерес представляють аквапарки з басейнами, трамплінами, гірками, підводними гейзерами, що робить відпочинок більш цікавим, насиченим емоційно.

Завданням, що стоїть перед розробниками, конструкторами, обслуговуючим персоналом, є оптимізація емоційного стану відпочивальників, підвищення надійності, безпеки й отримання економічно обґрунтованих оптимальних експлуатаційних характеристик атракціонів на основі гравітаційних спусків.

Мета статті. Розрахунок оптимальних режимів руху різних матеріальних об'єктів по гравітаційному спуску на основі дослідження швидкостей і траєкторій пересування, підвищення надійності та безпеки їх експлуатації в умовах розважальних комплексів, зон відпочинку, аквапарків.

Матеріали і методи. Об'єкт дослідження — рух різних за структурно-механічними властивостями об'єктів по гравітаційному спуску.

Методи дослідження — аналітичні дослідження, математичне моделювання руху об'єкта по трасі спуску з різним покриттям поверхні, виконання розрахунків із застосуванням методів символічної комп'ютерної математики.

Виклад основних результатів дослідження. Аналіз публікацій показав, що дослідженням різнобічних питань індустрії розваг та управління нею присвячені праці як зарубіжних, так і вітчизняних учених. Так, Н. Нагапетьянц, О. Сабетова займаються дослідженням розвитку та використання маркетингу індустрії відпочинку і розваг [1]; аналізу тенденції розвитку індустрії розваг присвячені праці В. Стальна [2]; Г. Леонова, Н. Гузь займаються загальною класифікацією послуг розваг [3]; В. Горягін обґрунтовує необхідність створення сучасного парку розваг у великих містах [4] з водними атракціонами. І.Ю. Мартинов [5] запропонував класифікацію аквапарків та їх пропозицій, а саме поділив аквапарк на зони за асортиментними групами:

1. Активна зона, де передбачено групу водних гірок, серфінг, «дику річку».
2. Зона розваг з хвилювм басейном, інтерактивними фонтанами, водоспадами, «повільною річкою».
3. Wellness зона, де передбачено гідромасажні басейни, термальні спа, сухоповітряні сауни, парові лазні.

Центром й найбільш відвідуваною зоною аквапарку є швидкісна водна гірка з ефектом вільного падіння у воду.

Швидкісна гірка як водна, так і безводна передбачає гравітаційний спуск, своєрідний гравітаційний транспорт, який здійснює рух відвідувачів під дією власної ваги по похилому транспортуючому жолобу лінійного профілю, заокругленої форми або подібного до гвинтового спуску.

Зазвичай [6] при розрахунку гравітаційних спусків визначають середню і максимальну швидкості руху об'єкта на окремих ділянках. Наближено середню швидкість V_{cp} , руху об'єкта розраховують за такою формулою: $V_{cp} = l / t$, де l — довжина ділянки траси спуску, м; t — тривалість спуску, с.

У розрахунках знаходять середній нахил ділянки траси спуску x , який виражається у відсотках і розраховується за такою формулою: $x = 100h / l$, де h — висота гірки, м; l — довжина траси спуску без довжини зони фінішу якщо вона горизонтальна, м.

Розрахунок максимальних швидкостей проводять в основному за емпіричним залежностям або спрощеним рівнянням руху, що значно впливає на їх точність і не відповідає сучасним вимогам безпеки.



Рис. 1. Гравітаційний спуск-атракціон (Verrückt — найвища водна гірка)

Авторами запропоновано спосіб розрахунку гравітаційних спусків з побудовою математичних моделей, використанням диференціальних рівнянь руху і показано можливість їх практичного застосування при різних початкових умовах. Для побудови математичної моделі механізму спуску визначені диференціальні рівняння руху другого порядку, досліджені залежності, отримані в результаті аналізу діючих на об'єкт сил. Застосування методів символічної комп'ютерної математики надає можливість виконати розрахунки як окремих елементів спуску, так і його конструкції в цілому, побудувати графіки багатофакторних зв'язків (3d). На основі аналізу диференціальних рівнянь руху досліджено траєкторії, швидкості руху різних за розмірами, формою і поверхневими властивостями об'єктів.

Для гравітаційних атракціонів [6], [7], з точки зору безпеки, найбільш важливим є визначення швидкості руху в його кінцевій фінішній точці. Вона не повинна перевищувати граничні величини, які залежать від умов приземлення — висоти кінцевої частини спуску над поверхнею приземлення, її стану (земля, вода, м'які мати, настили тощо). Гранична швидкість руху нормується, і залежить від профілю траси, форми і поверхні жолоба, наявності та кількості води, деяких інших факторів.

Розрахунок параметрів гравітаційного спуску. Розглянемо простий і популярний атракціон на базі гравітаційного спуску, що складається з прямолінійних нахилених під різними кутами до горизонту ділянок. Визначимо режими руху на цих ділянках.

Оскільки визначальною з точки зору безпеки є кінцева частина спуску, розглянемо рух об'єкта на цій прямолінійній ділянці гравітаційного спуску. Вважаємо кінцеву частину спуску прямим жолобом, нахиленим під кутом α до горизонту.

Об'єкт (умовний відвідувач) потрапляє на прямолінійну фінішну поверхню з початковою швидкістю V_1 . Для її визначення побудуємо диференціальне рівняння руху на попередній похилій під кутом α ділянці траси:

$$m \frac{d^2 S}{dt^2} - mg \sin \alpha + fmg \cos \alpha = 0, \quad (1)$$

де $mg \sin \alpha$ — сила скочування; $m \frac{d^2 S}{dt^2}$ — сила інерції Ньютона; $fmg \cos \alpha$ — сила тертя; S — шлях ковзання; f — коефіцієнт тертя; m — маса об'єкта.

У випадку, коли коефіцієнт тертя не залежить від швидкості руху $f = \text{const}$, розв'язок рівняння (1) при початкових умовах $t = 0 \Rightarrow S(t) = 0$; $ds/dt = V_1$ матиме такий вигляд:

$$S(t) = \frac{1}{2}(g \sin \alpha - fg \cos \alpha)t^2 + V_1 t. \quad (2)$$

Виконавши диференціювання рівняння (2), знайдемо швидкість руху

$$V = (g \sin \alpha - fg \cos \alpha)t + V_1 \quad (3)$$

З рівнянь (2), (3) можна знайти дві величини, використавши одну з трьох невідомих — кут нахилу спуску α до горизонту, довжиною S траси ковзання, тривалістю t ковзання, за умови, що рухається об'єкт будь-якої довільної маси m :

- а) просунеться на відстань $S(t)$;
- б) зупиниться;
- в) продовжить рух до зупинки.

Як правило, кінцева фінішна частина спуску розташовується горизонтально чи під невеликим кутом нахилу. Тоді зупинка об'єкта відбудеться у випадку $V = 0$ або коли швидкість наближається до нуля. Рівняння (3) набуде такого вигляду:

$$\sin \alpha = f \cos \alpha - \frac{V_1}{gt} \quad (4)$$

Для малих кутів α приблизно отримаємо:

$$\alpha = f - \frac{V_1}{gt}. \quad (5)$$

Для практичного використання моделі руху (1) отримано ряд функціональних зв'язків. Коли коефіцієнт тертя $f = 0,3$, зв'язок між початковою швидкістю V_1 , кутом нахилу α спуску й тривалістю руху t об'єкта до зупинки можна представити графічно.

На рис. 2 показано функціональний зв'язок між початковою швидкістю V_1 , кутом нахилу α траси спуску до горизонту й тривалістю руху t до зупинки об'єкта при сталому значенні коефіцієнта тертя 0,3.

Аналіз залежності свідчить, що при максимальній початковій швидкості 8,4 м/с при нульовому куті нахилу кінцевого відрізка траси спуску зупинка відбудеться через три секунди. Інші залежності можна визначити, встановивши парні зв'язки. Наприклад, зв'язок між початковою швидкістю та кутом нахилу α траси спуску (рис. 3).

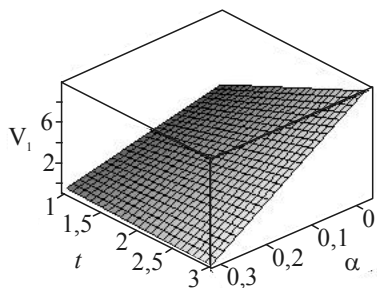


Рис. 2. Функціональний зв'язок між початковою швидкістю V_1 , кутом нахилу α траси спуску до горизонту й тривалістю руху t до зупинки об'єкта

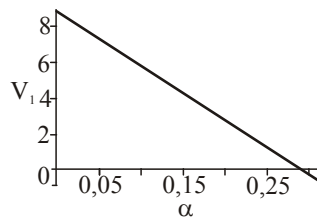


Рис. 3. Функціональний зв'язок між початковою швидкістю V_1 кутом нахилу α для випадку зупинки об'єкта при коефіцієнті тертя $f = 0,3$

Якщо початкова швидкість, з якою об'єкт потрапляє на фінішну ділянку спуску $V_1 = 5$ м/с, тоді з рівняння (3) можна розрахувати швидкість V , з якою він буде рухатись через проміжки часу в інтервалі $0 \leq t \leq 5$ при змінних кутах нахилу траси спуску $0 \leq \alpha \leq 90$ (рис. 4.)

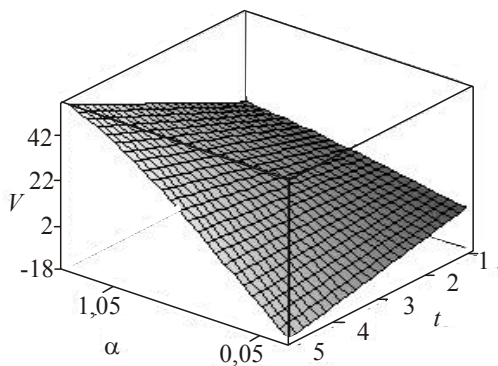


Рис. 4. Функціональний зв'язок між швидкістю V , кутом нахилу α спуску і тривалістю t руху

Режими руху залежать від сили тертя — стану поверхні (коефіцієнта тертя) жолоба та кута нахилу α спуску. Тривалість спуску при сталому значенні коефіцієнта тертя $f = 0,3$, нульовому куті нахилу залежить від початкової швидкості пересування. Так, зупинка об'єкта, що спускається, відбудеться через

3 с при початковій швидкості спуску $V_1=8,4$ м/с, через 2,5 с при початковій швидкості $V_1=7,2$ м/с і через 2 с при початковій швидкості $V_1=6$ м/с.

На рис. 5 показано розглянутий вище функціональний зв'язок за умови збільшення коефіцієнта тертя до значення $f=0,4$. Отримано значення початкової швидкості пересування об'єкта при визначених раніше тривалостях спуску. За умови тривалості спуску 3 с при нульовому куті нахилу зупинка відбудеться при початковій швидкості $V_1=12$ м/с, за 2,5 с при початковій швидкості $V_1=10$ м/с, за 2 с при початковій швидкості $V_1=8$ м/с.

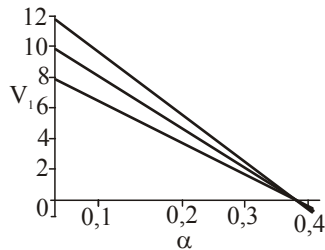


Рис. 5. Функціональний зв'язок між початковою швидкістю V_1 , кутом нахилу α за умови зупинки при значенні коефіцієнта тертя $f=0,4$

Початкову швидкість V_1 , з якою об'єкт потрапляє на кінцеву ділянку спуску, знаходимо з аналізу його руху на попередній ділянці траси. Якщо це пряма ділянка з кутом α_1 нахилу, наявний додатковий опір, то рівняння руху запишемо у такому вигляді:

$$m \frac{d^2 S(t)}{dt^2} + k \frac{dS(t)}{dt} - mg \sin \alpha_1 + fmg \cos \alpha_1 = 0, \quad (6)$$

де k — коефіцієнт додаткового опору.

Сила додаткового опору дозволяє враховувати опір повітря, наявність і форму спускного жолоба та стан його бортиків.

Розв'язок рівняння (6) за умови, що ця ділянка є початковою на трасі, тобто при $t = 0 \Rightarrow V(0) = 0$, матиме такий вигляд:

$$S(t) = \frac{mg}{k^2} \left[kt - m \left(1 - e^{-\frac{kt}{m}} \right) \right] (\sin \alpha_1 - f \cos \alpha_1). \quad (7)$$

Виконавши диференціювання рівняння (7), знайдемо швидкість руху об'єкта, що спускається:

$$V(t) = \frac{mg}{k} \left(1 - e^{-\frac{kt}{m}} \right) (\sin \alpha_1 - f \cos \alpha_1). \quad (8)$$

Якщо траса має заокруглення, тоді треба враховувати відцентрову силу F_s опору руху, яка виникає від тертя об борти жолоба. Відцентрова сила обчислюється за формулою:

$$F_s = f_1 \frac{m}{R} \left(\frac{dS(t)}{dt} \right)^2, \quad (9),$$

де f_1 — коефіцієнт бокового тертя; R — радіус заокруглення.

Коефіцієнт бокового тертя залежить від висоти та стану поверхні борта спуска. Для спрощення розрахунків кожне заокруглення спуску можна вважати окремою ділянкою, а силу F_v опору руху розраховувати за формулою:

$$F_v = f_1 \frac{m}{R} V_{cp}^2, \quad (10)$$

де V_{cp} — середня швидкість руху на круговій ділянці траси, яка залежить від кута α_1 . Для умов гальмування $V_{cp} = (0,6 \div 0,8)V_0$, де V_0 — швидкість руху при вході в заокруглену ділянку.

На круговій ділянці руху диференціальне рівняння руху в спрощеному вигляді матиме такий вигляд:

$$m \frac{d^2 S(t)}{dt^2} + k \frac{dS(t)}{dt} - mg \sin \alpha_1 + fmg \cos \alpha_1 + f_1 \frac{m}{R} V_{cp}^2 = 0. \quad (11)$$

Розв'язок рівняння (11) при початкових умовах $t = 0 \Rightarrow S(t)=0; V(t) = V_0$ представлено залежністю (12):

$$S(t) = \frac{m}{k^2 R} \left\{ \left[(m(gR(\sin \alpha_1 - f \cos \alpha_1) - f_1 V_{cp}^2)) - RkV_0 \right] e^{-\frac{kt}{m}} + \left[RkV_0 + (tk - m)(gR(\sin \alpha_1 - f \cos \alpha_1) - f_1 V_{cp}^2) \right] \right\}. \quad (12)$$

Виконавши диференціювання рівняння (12), отримаємо швидкість руху.

$$V(t) = \frac{m}{kR} \left[gR(\sin \alpha_1 - f \cos \alpha_1) - f_1 V_{cp}^2 \right] - \frac{1}{kR} e^{-\frac{kt}{m}} \left[m(gR(\sin \alpha_1 - f \cos \alpha_1) - f_1 V_{cp}^2) - RkV_0 \right]. \quad (13)$$

Максимальна швидкість переміщення відвідувача по гравітаційному спуску є важливою складовою забезпечення безпеки, яка нормується. Після диференціювання рівняння (13) можна знайти максимально допустиме за медичними показниками прискорення на криволінійній ділянці екстремального спуску, яке теж нормується.

Висновки

Представлена методика розрахунку гравітаційних спусків уточнює і доповнює існуючу. Рівнянки представлених у статті рівнянь надають можливість проектувати безпечні для життя і здоров'я відвідувачів гравітаційні атракціони, дозволяють заздалегідь розраховувати точку зупинки, тривалість спуску до зупинки об'єкта, комбінувати окремі ділянки траси спуску у будь-якій послідовності. Гарантовані безпечні режими руху, оптимальні геометричні форми конструкцій атракціонів дозволять обґрунтувати будівництво різних за призначенням гірок: дитячих, сімейних, екстремальних.

Література

1. *Нагапетьянц Н.* Маркетинг индустрии отдыха и развлечений [Текст] / Н. Нагапетьянц, О. Сабетова // Маркетинг. — 2003. — № 6. — С. 66—78.

2. *Стальная В.* Индустрия развлечений: тенденции развития [Текст] / В. Стальная // Маркетинг. — 2009. — № 4. — С. 91—104.
3. *Леонова Г.* Классификация услуг развлечений [Текст] / Г. Леонова, Н. Гузь // Вісник Донецького інституту туристичного бізнесу. — 2008. — № 12. — С. 219—223.
4. *Горягин В.* Обоснование необходимости создания современного парка развлечений в г.Донецке [Текст] / В. Горягин // Вісник Донецького інституту туристичного бізнесу. — 2007. — № 11. — С. 97—103.
5. *Мартинюк І.Ю.* Класифікація аквапарків та їх унікальна пропозиція [Текст] / І.Ю. Мартинюк [Електронний ресурс]. — Режим доступу: file:///C:/Users/user/Downloads/espr-str_2011_1_44.pdf.
6. ГОСТ Р 52603-2011 Аттракционы водные. Безопасность конструкции. Общие требования. Дата введения 01.01.2012.
7. *Гузь В.С., Коваль О.А.* Расчет детских гравитационных аттракционов // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. — Курск, 2014. — С.186—189.

БЕЗОПАСНОСТЬ АТТРАКЦИОНОВ

В.С. Гузь, А.А. Коваль

Национальный университет пищевых технологий

В индустрии отдыха популярны многофункциональные развлекательные комплексы. Гравитационные аттракционы применяют для детских, семейных и экстремальных развлечений. Расчет режимов движения скоростей, ускорений, действующих усилий на посетителей является сложной инженерной задачей, которая решается путем построения дифференциальных уравнений и их анализа. Применение на практике полученных математических моделей обеспечит безопасность обслуживающего персонала и отдыхающих при оптимальном позитивном эмоциональном эффекте.

Ключевые слова: *гравитационный аттракцион, расчет спуска, дифференциальные уравнения движения.*