

УДК 613.644

СТВОРЕННЯ ВІБРОСТЕНДУ НА ОСНОВІ АКУСТИЧНОГО ДИНАМІКА ДЛЯ БІОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В. В. Зінець, А. М. Міщенко

Анотація. Реалізований недорогий пристрій для створення механічних вібрацій на основі акустичного динаміка. Пристрій побудований на основі мікроконтролера ESP8266, модуля DDS генератора сигналів AD9833, цифрового НЧ-підсилювача ТРА3118. Розроблений мобільний додаток для віддаленого контролю роботи пристрою. Випробувана здатність пристрою створювати механічні коливання з частотою 8, 16, 32 Гц та амплітудою до 2 мм. Отримані залежності амплітуди механічних коливань від амплітуди сигналу генератора. Показано, що на частоті 8 Гц прибор здатен генерувати синусоїдальні механічні коливання без значних спотворень з амплітудою до приблизно 0,5 мм. Зі збільшенням частоти за тієї самої амплітуди механічних коливань рівень спотворень збільшується.

Ключові слова: вібростенд, мікроконтролер, DDS генератор сигналів, акустичний динамік.

Вступ. Вібрація – постійно діючий фактор навколишнього середовища, який має значний вплив на живі організми. Багато досліджень продемонстрували позитивний вплив вібрації на тварин і здоров'я людини. Наприклад, механічна вібрація на належній частоті може впливати на енергетичний метаболізм, активацію генів, секрецію факторів росту, синтез клітинної матриці кісткових клітин і збільшення щільності кісток. Механічна стимуляція в режимі вібрації всього тіла збільшує масу скелета та модулює ендокринну, нервову та судинну системи [1]. Вібрації низької інтенсивності прискорюють проліферацію та змінюють фенотип макрофагів *in vitro*. Макрофаги необхідні для ефективного загоєння різних тканин [4].

Звукова вібрація (ЗВ) розглядається як зовнішня механічна сила, яка здатна модулювати розвиток рослин, як і інші механічні подразники. ЗВ-опосередковані відповіді частково модулювалися специфічними змінами рівнів фітогормонів, що має неопосередкований вплив на розвиток організму рослини [9].

Вібрації проявляються по-різному у природі, і здатність людини виявляти та використовувати вібрації можна простежити далеко за межами наших ранніх предків ссавців. Існування безлічі сенсорних органів, що реагують на вібрацію, частково перекриваються чутливістю до частот і різною швидкістю адаптації, це вже свідчить про те, що десь під час еволюції ссавців вібрації були важливі для взаємодії між організмом і навколишнім середовищем. До того ж це стало вирішальним способом взаємодії між особинами. Вібрації, присутні в нашому сучасному суспільстві, можуть впливати на наше самопочуття та поведінку [10]. Зазвичай у біологічних дослідженнях, які вивчають вплив вібрацій, використовують частоти від 10 до 250 Гц та прискорення $<1g$ [1–8].

Метою нашого дослідження було створення низькобюджетного вібростенду на основі акустичного динаміка та випробування його здатності створювати механічні коливання з частотами та амплітудами, які використовуються в біологічних дослідженнях.

Основний розділ. На рис. 1 представлена блок-схема розробленого пристрою. Його основою є модуль генератора сигналів на базі чіпа AD9833 від компанії Analog Devices. AD9833 – це малопотужний програмований генератор сигналів, здатний генерувати синусоїдальні, трикутні та прямокутні вихідні сигнали. Діапазон частот, що генеруються мікросхемою, – 0...12,5 МГц. Частотні регістри мають розмір 28 біт, і якщо мікросхема працює з тактовою частотою 25 МГц, це дає можливість досягти роздільної здатності 0,1 Гц; із тактовою частотою 1 МГц можна досягти роздільної здатності 0,004 Гц. Управління здійснюється через 3-wire SPI інтерфейс. Модуль працює від джерела живлення 2,3 В–5,5 В.

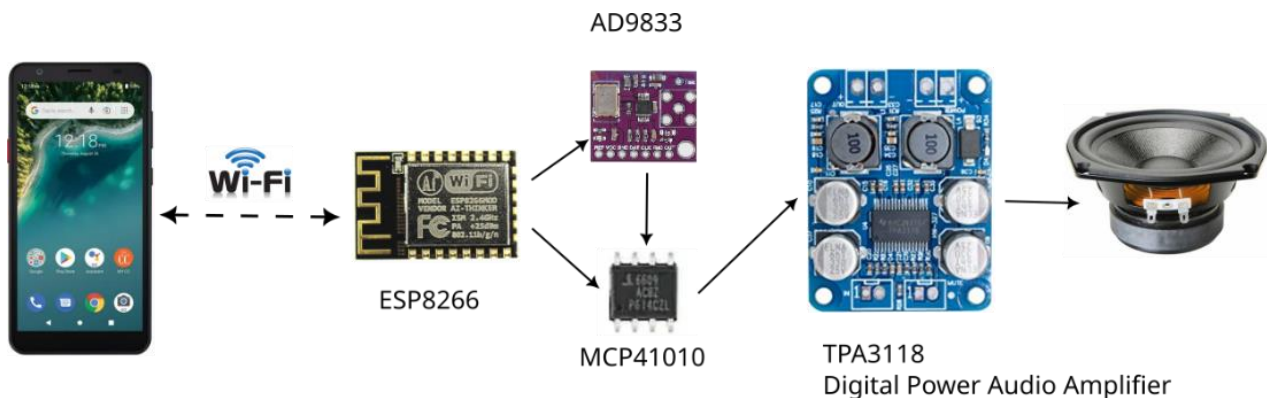


Рис. 1 – Блок-схема вібростенда

Мікроконтролер ESP8266 побудований на основі 32-бітного процесора, що має швидкість 80...160 МГц. ESP8266 є мережевим рішенням із Wi-Fi-трансівером. Його напруга живлення 3,3 В, флеш-пам'ять – до 16 мб максимум (зазвичай 512 кб). Мікроконтролер використовувався для керування модулем генератора сигналів та підключеним до його виходу цифровим потенціометром. Мікроконтролер був запрограмований підключатись до наявної wi-fi точки доступу або може сам бути точкою доступу. На мікроконтролері запускається websocket-сервер, підключаючись до якого, можна здійснювати віддалене керування модулем генератора сигналів та цифровим потенціометром. Команди, що передаються websocket-серверу, дадуть можливість міняти частоту сигналу, що генерується, його форму та фазу, міняють опір цифрового потенціометра.

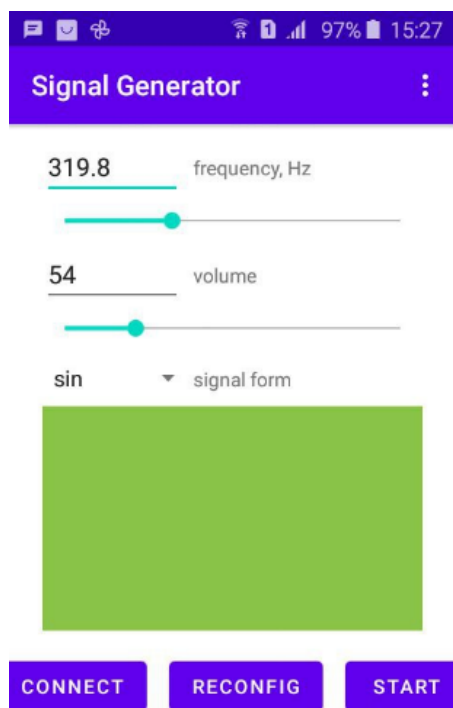


Рис. 2 – Користувачський інтерфейс мобільного застосунку для керування вібростендом

Для контролю рівня вихідного сигналу генератора AD9833 на його вихід підключався цифровий потенціометр MCP41010. MCP41010 – це одноканальний 8-розрядний цифровий потенціометр зі значенням наскрізного опору 10 кОм із послідовним інтерфейсом SPI. Положення повзунка змінюється лінійно та контролюється через інтерфейс SPI. Можна обрати 256 положень повзунка, міняючи опір від 0 до 10 кОм. MCP41010 має чудові характеристики змінного та постійного струму та споживає <1 мкА під час статичної роботи. Застосування цифрового потенціометра MCP41010 включає аудіообладнання (регулювання гучності та тембру), керування серводвигуном, заряджання акумулятора і керування ним та ін. Напруга живлення 2,7–5,5 В.

Одноканальний НЧ-аудіопідсилювач на основі мікросхеми TPA3118 – це цифровий підсилювач класу D, який може керувати динаміками потужністю до 60 Вт/8 Ом. Робоча напруга живлення від 4,5 до 24 В постійного струму. До підсилювача підключався динамік 5ГДШ-5-4. Для керування пристроєм в Android Studio був написаний застосунок, інтерфейс якого показаний на рис. 2.

Ми перевірили здатність пристрою створювати гармонійні механічні коливання на частотах 8, 16 та 32 Гц. Механічні коливання реєструвались за допомогою акселерометра MPU9250, що кріпився до мембрани динаміка. Сигнал, що отримувався за допомогою акселерометра, піддавався цифровій фільтрації та двічі інтегрувався.

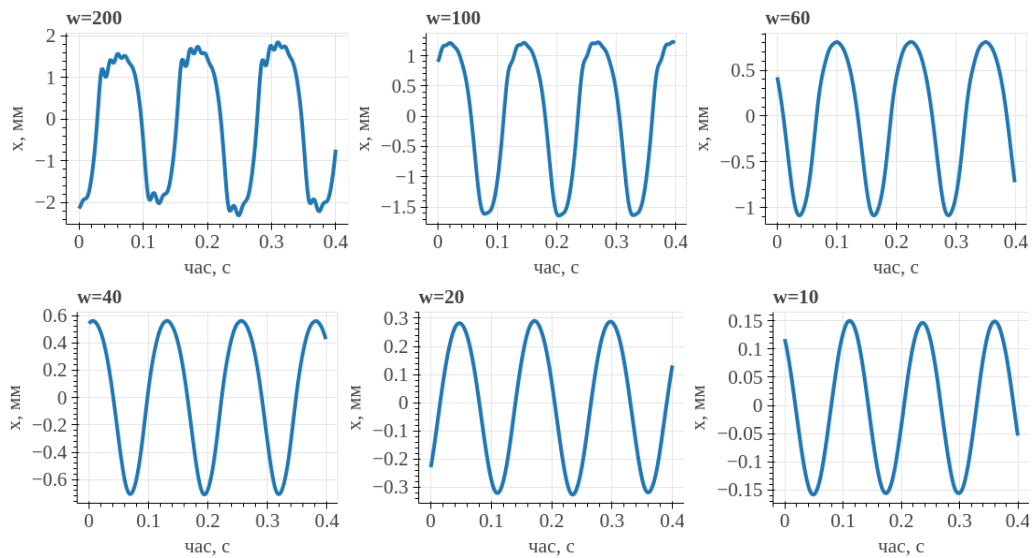


Рис. 3 – Динаміка механічних коливань з частотою 8 Гц.
Рівень вихідного сигналу генератора (w) вказаний в умовних одиницях у заголовках графіків

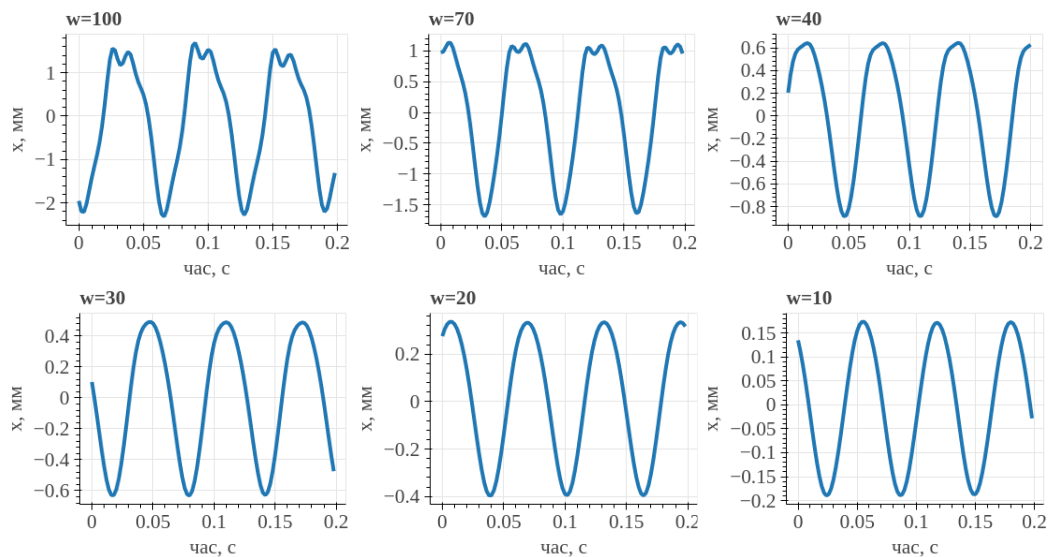


Рис. 4 – Динаміка механічних коливань з частотою 16 Гц.
Рівень вихідного сигналу генератора (w) вказаний в умовних одиницях у заголовках графіків

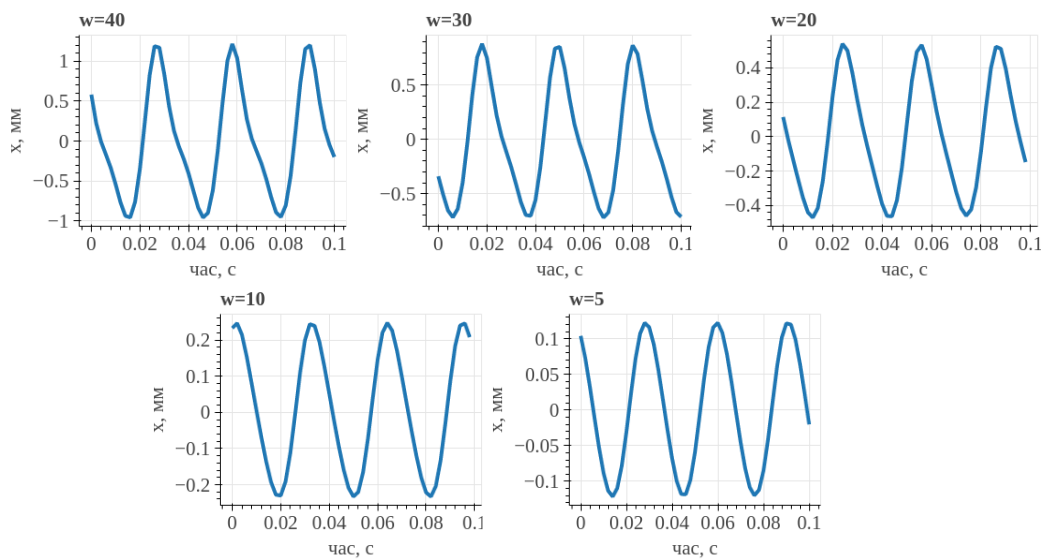


Рис. 5 – Динаміка механічних коливань з частотою 32 Гц.
Рівень вихідного сигналу генератора (w) вказаний в умовних одиницях у заголовках графіків.

На рис. 3–5 показана динаміка коливань мембрани динаміка для синусоїдального вихідного сигналу генератора різних частот та амплітуди. Вихідний рівень сигналу генератора (w) ми визначаємо в умовних одиницях, від мінімального рівня 0 до максимального 255, що відповідають 256 рівням опору потенціометра MCP41010. На рис. 3 наведені результати реєстрації механічних коливань мембрани динаміка, коли генератор генерував синусоїду 8 Гц. Як можна бачити, коли амплітуда механічних коливань перевищує приблизно 0,5 мм, форма сигналу починає відхилятися від синусоїдальної. Ці відхилення збільшуються під час подальшого збільшення амплітуди. Під час збільшення частоти сигналу (рис 4, 5) відхилення механічних коливань від синусоїдальної форми виникають уже за менших амплітуд.

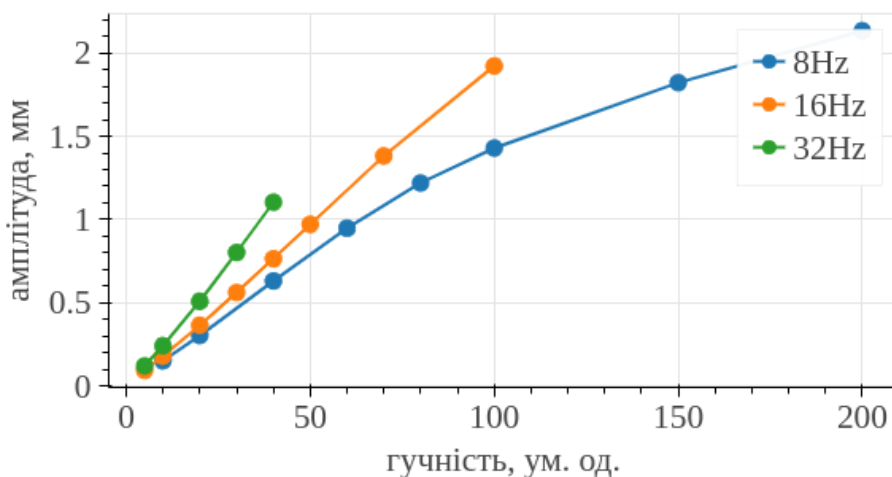


Рис. 6 – Залежність амплітуди механічних коливань від амплітуди вихідного сигналу генератора

На рис. 6 показана залежність амплітуди механічних коливань від рівня вихідного синусоїдального сигналу генератора з частотою 8, 16 та 32 Гц. Для частоти 8 Гц амплітуду механічних коливань ми додатково визначали, використовуючи відеозйомку: результати, отримані цим способом, приблизно співпадали з результатами, отриманими за допомогою акселерометра. Як можна бачити з рис 6, залежність амплітуди механічних коливань від рівня сигналу генератора перестає бути лінійною за великих рівнів вихідного сигналу. Також можна бачити, що зі збільшенням частоти амплітуда зростає швидше під час збільшення частоти синусоїдального сигналу. Така поведінка амплітуди пов'язана з амплітудно-частотними характеристиками підсилювача та динаміка. Треба зазначити, що характеристики механічних коливань можуть бути покращені за умов використання більш якісного динаміка.

Висновки. Створений недорогий у реалізації вібростенд на основі акустичного динаміка, DDS генератора сигналів AD9833, мікроконтролера ESP8266 та цифрового НЧ-підсилювача TPA3118. Випробувана здатність вібростенду створювати механічні коливання з частотою 8, 16, 32 Гц. На різних частотах амплітуда механічних коливань по-різному зростає зі збільшенням амплітуди вихідного сигналу генератора, за умов практичного використання прибора така залежність має бути з'ясована емпірично. За частоти 8 Гц вібростенд здатен створювати механічні коливання синусоїдальної форми з амплітудою 0,5 мм. Зі збільшенням амплітуди спотворення сигналу збільшуються. Під час збільшення частоти коливань спотворення починають виникати за менших амплітуд. Для зменшення таких спотворень, для генерації механічних коливань може бути використаний більш якісний сабвуферний динамік.

Abstract. An inexpensive device for generating mechanical vibrations was created on the basis of an acoustic speaker. The device was built on the basis of an ESP8266 microcontroller, an AD9833 DDS signal generator module, and a TPA3118 digital LF amplifier. A mobile application was developed for remote control of the device. The ability of the device to create mechanical vibrations with a frequency of 8, 16, 32 Hz and an amplitude of up to 2 mm was studied. The dependences of the amplitude of mechanical oscillations on the amplitude of the input signal were obtained. It is shown that at a frequency of 8 Hz, the device is capable to genera sinusoidal mechanical oscillations without significant distortions with an amplitude of up to approximately 0,5 mm. With an increase in frequency, at the same amplitude of mechanical oscillations, the level of distortions increased.

Keywords: vibration table, microcontroller, DDS signal generator, speaker.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Effects of vibration on the proteome expression of anterior cruciate ligament cells / G.-Y. Han, S.-A. Park, [...], J. H. Kim, E.-K. Lee, H. -J. Kim, Y.-K. Seo, J.-K. Park and C.-W. Kim. *Experimental Biology and Medicine* (Maywood). 2011. Vol. 236. Iss. 7. P. 783–789. DOI: 10.1258/ebm.2011.010358.
2. Sandeman D., Tautz J., Lindauer M. Transmission of vibration across honeycombs and its detection by bee leg receptors. *Journal of Experimental Biology*. 1996. Vol. 199(12) P. 2585–2594.
3. Extracellular signal-regulated kinase activation and endothelin-1 production in human endothelial cells exposed to vibration / R. Ch. White, A. M. Haidekker, Y. H. Stevens, A. J. Frangos. *The Journal of Physiology*. 2004. Vol. 555. Iss. 2. P. 565–572. DOI: 10.1113/jphysiol.2003.059899.
4. Vashishtha D., Tanner K. E., Bonfield W. Experimental validation of a microcracking-based toughening mechanism for cortical bone. *Journal of Biomechanics*. 2003. Vol. 36. Iss. 1. P. 121–124. DOI: 10.1016/S0021-9290(02)00319-6.
5. Effects of mechanical vibration on proliferation and osteogenic differentiation of human periodontal ligament stem cells / Ch. Zhang, J. Li, L. Zhang, Y. Zhou, W. Hou, H. Quan, X. Li, Y. Chen, H. Yu. *Archives of Oral Biology*. 2012. Vol. 57. Iss. 10. P. 1395–1407. DOI: 10.1016/j.archoralbio.2012.04.010.
6. Effects of mechanical vibration on cell morphology, proliferation, apoptosis, and cytokine expression / secretion in osteocyte-like MLO-Y4 cells exposed to high glucose. T. Sun, Z. Yan, J. Cai, X. Shao, D. Wang, Y. Ding, Y. Feng, J. Yang, E. Luo. *Cell Biology International*. Vol. 44. Iss. 1. P. 216–228. DOI: 10.1002/cbin.11221.
7. The differentiation of human adipose-derived stem cells (hASCs) into osteoblasts is promoted by low amplitude, high frequency vibration treatment. D. Prè, G. Ceccarelli, G. Gastaldi, A. Asti, E. Saino, L. Visai, F. Benazzo, M. G. Cusella De Angelis, G. Magenes. 2011. Vol. 49. Iss. 2. P. 295–303. DOI: 10.1016/j.bone.2011.04.013.
8. Human Mesenchymal Stromal Cells are Mechanosensitive to Vibration Stimuli I. S. Kim, Y. M. Song, [...], B. Lee and S. J. Hwang. *Journal of Dental Research*. 2012. Vol. 91. Iss. 12. P. 1135–1140. DOI: 10.1177/0022034512465291.
9. Exposure to Sound Vibrations Lead to Transcriptomic, Proteomic and Hormonal Changes in Arabidopsis / R. Ghosh, R. Ch. Mishra, B. Choi, Y. S. Kwon, D. W. Bae, S.-Ch. Park, M.-J. Jeong, H. Bae. *Scientific Reports*. Vol. 62. DOI: 10.1038/srep37484.
10. Van der Zee E. The Biology of Vibration. *Manual of Vibration Exercise and Vibration Therapy*. 2020. P. 23–38. DOI: 10.1007/978-3-030-43985-9_2.

УДК 004.451.84

ОГЛЯД МЕТОДІВ UX-ДОСЛІДЖЕНЬ ПІД ЧАС СТВОРЕННЯ ІТ-ПРОДУКТІВ

К. К. Колосова, О. В. Зелінська

Анотація. У роботі розглянуто поняття «продуктове ІТ», етапи створення ІТ-продуктів. Акцентовано на методах UX-досліджень. UX-дослідження є дуже корисними для розробки стратегії продукту і алгоритмізації рішень, які б задовольняли потреби користувачів. Компанії все більше замислюються про покращення користувацького досвіду, бо це справді допомагає залучити до ІТ-продукту ширшу аудиторію і зробити його зручнішим.

Ключові слова: ІТ, продуктове ІТ, ІТ-індустрія, UX-дослідження.

Вступ. Інформаційна індустрія (ІТ-індустрія, ІТ-галузь) – широкомасштабне виробництво інформаційних товарів і послуг різного типу на базі найновіших ІТ-технологій (від газет, часописів і книжок до комп’ютерних ігор та інформаційного наповнення (контенту) мереж). Вона складається з двох суттєво різних частин: виробництво інформаційної техніки (машин і обладнання) і виробництво безпосередньо інформації [1].

Про продуктове ІТ компанії найпростіше розповісти, якщо порівняти їх із сервісними. Перші розробляють власні продукти з нуля – це мобільні застосунки, соцмережі, середовище для програмування, антивіруси, CRM тощо. Другі отримують замовлення від інших бізнесів та в основному займаються кодом. Цю модель роботи часто плутають з аутстафінгом, коли фахівця «орендують» для роботи над проектом у компанії-підрядника. На час проекту такий спеціаліст входить до штату й підпорядковується менеджеру компанії-клієнта. За таких умов клієнт платить за послуги підряднику, а той виплачує зарплату співробітнику.

Основна частина. Для досягнення стабільних позитивних результатів проекти повинні бути легкокерованими. Розробка легкокерованих проектів вимагає діяльності у двох паралельних напрямках. По-перше, необхідно залучити всіх, хто робить ставку на проект (тобто всіх, хто може виграти при здійсненні проекту), до визначення конкретних цілей проекту і засобів