

DOI: 10.6084/M9.FIGSHARE.11340638

УДК 658.5:330.131.5

Трач Роман Володимирович

Кандидат економічних наук, доцент кафедри мостів і тунелів, опору матеріалів і будівельної механіки
orcid.org/0000-0001-6654-9870

Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКІВ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТУ

Анотація. Очевидним є той факт, що сучасні проекти (у т.ч. і у будівництві) стають дедалі складнішими, що вимагає залучення досить значної кількості учасників. Отже, збільшення кількості учасників проекту призводить до ускладнення комунікацій при передачі знань та інформації, що досить часто є причиною збільшення тривалості реалізації проекту та зростання незапланованих витрат. Отже, постає проблема з ідентифікацією, вимірюванням, контролем та управлінням зв'язками всередині проекту. Інструментом для вирішення завдань, пов'язаних з дослідженням і оптимізацією внутрішньопроектних мереж є аналіз соціальних мереж (англ. *Social Network Analysis, SNA*). Аналіз соціальних мереж активно застосовується для дослідження організаційних комунікацій, у т.ч. і в контексті управління сучасними організаційними структурами. Однак щодо управління та оптимізації управління проектом в будівництві аналіз соціальної мережі практично не застосовувався. Детально розглянуто методи дослідження мереж та основні міри центральності для мережі (графа) та учасників проекту (вершин графа).

Ключові слова: аналіз соціальних мереж; проект; теорія графів; міри центральності; будівництво

Постановка проблеми

Успішне управління проектом дуже часто залежить від ефективності зв'язків між членами команди проекту [1]. Сучасні інформаційні технології докорінно змінили зв'язки, що виникають між членами проектних команд. Комунікації в діяльності проектних команд включають в себе індивідів, інформаційні потоки (знання, інформація), засоби передачі інформації та бар'єри, що виникають на шляху інформації. Досить часто менеджери проектів відчують потребу в ідентифікації та вимірюванні зв'язків, в інструментарії, за допомогою якого можна визначити рівень розвитку зв'язків у проекті, недоліки та шляхи їх вирішення. Керівники проектів повинні розуміти, як відбувається взаємодія всередині проекту, наскільки сильні зв'язки між членами команди, хто є ключовою фігурою, яка інформація передається ефективно, а яка – ні.

Інструментом для вирішення завдань, пов'язаних з дослідженням і оптимізацією внутрішньопроектних мереж, може бути аналіз соціальних мереж (англ. *Social Network Analysis, SNA*) [2].

Аналіз соціальних мереж – це набір кількісних і якісних методів досліджень соціальних структур, які організовані у формі мереж [3].

Інструментарій аналізу соціальних мереж дає змогу:

– аналізувати соціальні структури як мережу відносин між членам даних структур;

– акцентувати увагу на відносинах і зв'язках, а не на самих учасниках мережі;

– вивчати колективи та об'єднання, як сукупність учасників, що утворюють форми колективної поведінки [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В основі аналізу соціальних мереж лежать моделі і методи, розроблені в рамках теорії графів та застосовуються для аналізу різних соціальних явищ. З теорії графів відомо, що позиція (центральна або ізольована), яку суб'єкт займає в мережі, може збільшити або зменшити його доступ до цінних мережевих ресурсів [5]. Отже, існує залежність між структурним положенням учасника в мережі та його здатністю керувати інформаційним потоком.

Аналіз соціальних мереж є розвитком мережевої перспективи в теорії багатьох суспільних наук [6] та використовувався соціологами, антропологами і фахівцями з комунікацій для дослідження проблем і методів реалізації комунікативної діяльності в різних соціумах – племенах, муніципальних громадах, сім'ях, соціальних мережах [7]. Пізніше став успішно використовуватися як концептуальний теоретичний підхід в теорії організації та менеджменті [8]. На сьогодні аналіз соціальних мереж використовується для вивчення різних економічних і організаційних явищ і процесів [9]. Активно застосовується аналіз соціальних мереж і для дослідження організаційних

комунікацій [10], у т. ч. і в контексті управління сучасними організаційними структурами [11]. Однак щодо управління та оптимізації управління проектом в будівництві аналіз соціальної мережі практично не застосовувався. Виняток становлять роботи S. Pryke [12] та P. Chinowsky [13].

N. Nohriai R. Eccles сформулювали основні причини, чому мережева перспектива в дослідженні проблем управління викликає значний інтерес [14]:

- організаційна структура може бути представлена у формі соціальної мережі і може бути досліджена як сукупність вузлів, між якими виникають і зникають соціальні відносини;

- середовище, в якому організація функціонує і розвивається, також може бути представлене як мережа відносин між організаціями (реалізація проекту, програми);

- організації залучені в безліч всебічних, комплексних мереж відносин, дослідити які з позицій однієї єдиної організації досить складно;

- дії людей так само, як і їх цінності, поведінку, стосунки найкраще пояснюються, якщо береться до уваги їх положення в мережі відносин з іншими людьми;

- при порівняльному аналізі організацій необхідно звертати увагу на мережі комунікацій, що склалися в цих організаціях.

Однією з основних переваг аналізу соціальної мережі є можливість візуалізації, тобто відображення зв'язків графічно. За допомогою аналітичних інструментів в рамках аналізу соціальної мережі можна зібрати дані про зв'язки і представити їх в наочній графічній формі, яка описує базові характеристики діяльності. Такі схеми являють собою повноцінні моделі взаємодії між учасниками реалізації проекту.

Мета статті

Метою статті є аналіз методів дослідження мереж для розв'язання задач ідентифікації, вимірювання, контролю та управління зв'язками в проекті.

Виклад основного матеріалу

Як зазначалося вище, аналіз соціальних мереж базується на методах і інструментах теорії графів. Мережу всередині проектних зв'язків можна уявити у формі неорієнтованого графа $G = (V, E)$, де V – непуста множина вершин, а E – множина пар виду $e = (u, v), u, v \in V$, які називаються ребрами, а вершини u і v – кінцями ребер. Якщо розглядати проект як граф, то учасники проекту будуть представлені вершинами графа, а зв'язки між учасниками – це ребра графа.

Існує широкий діапазон вимірів, які характеризують графи. Від простих вимірів, таких як кількість вершин і ребер, які характеризують розмір і розрідженість графа, до ступенів вершин, які показують, наскільки локально добре пов'язана кожна вершина мережі з іншими. Інші виміри включають геодезичні відстані в графі або виміри центральності, які дають можливість зрозуміти, наскільки центральною є кожна вершина в графі. Показники відображають характеристики як мережі зв'язків в цілому, так і окремих її учасників, тому їх можна використовувати як характеристики сформованих у проектних командах структур зв'язку. Щільність і середній ступінь показують наскільки повно залучені в структуру зв'язку всі учасники проектних команд. Різні показники центральності мережі показують ступінь нерівнозначності учасників внутрішньопроектних зв'язків.

Для аналізу зв'язків між учасниками проекту проаналізуємо такі групи вимірів:

- щільність мережі (реальна кількість зв'язків в мережі по відношенню до максимально можливої їх кількості);

- середній ступінь мережі (середня кількість зв'язків учасника мережі);

- центральність мережі.

Щільність мережі використовується як показник пов'язаності учасників проекту між собою. При значенні, що дорівнює 1,0 всі учасники проекту пов'язані один з одним, тобто кожен з кожним взаємодіють на постійній основі. При значенні щільності мережі 0 всі учасники проекту роз'єднані й ізольовані один від одного, тобто зв'язки відсутні. Щільність мережі як відношення наявних в мережі зв'язків до максимально можливої в даній мережі кількості зв'язків розраховується за формулою:

$$Den = \frac{l}{n(n-1)}, \quad (1)$$

де Den – щільність мережі; l – кількість ребер графа (кількість зв'язків в мережі); n – кількість вершин графа (кількість учасників проекту).

Щільність мережі може розглядатися як міра повноти зв'язків в рамках проектної команди, міра «включеності» всіх членів проектної команди в загальну систему внутрішньопроектних зв'язків.

Середній ступінь мережі показує середню кількість зв'язків кожного учасника мережі, при цьому ступенем учасника називається кількість зв'язків одного учасника мережі з іншими учасниками. Середній ступінь розраховують за формулою:

$$AvDeg = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Deg_a, \quad (2)$$

де $AvDeg$ – середній ступінь мережі; Deg_a – ступінь (кількість зв'язків) учасника a .

Середній ступінь мережі також можна розглядати як показник кількості зв'язків у команді проекту, повноти зв'язків кожного з членів команди. Чим вищий середній ступінь мережі, тим більше значущих зв'язків реалізовується між членами команди проекту.

Центральність мережі являє собою показник центральності зв'язків між учасниками мережі, тобто наскільки в мережі співіснують дуже значні учасники і порівняно незначні. Кожен з учасників мережі може займати в ній різні позиції. Значним можна визнати учасника, через якого проходить велика кількість зв'язків. Він перебуває в центрі всіх зв'язків. Незначним можна назвати учасника, який перебуває на периферії системи зв'язків і через якого проходить невелика їх кількість. Якщо в мережі наявна невелика кількість (в екстремальному випадку – один учасник з високою значущістю, який займає центральне положення в системі зв'язків) і велика кількість учасників (в екстремальному випадку – всі, крім одного з мінімальною значущістю), то таку мережу можна назвати централізованою.

Існують різні підходи до оцінки мір центральності мережі:

- центральність мережі з точки зору компактності графа, відповідні міри ґрунтуються на дистанціях між вершинами (вважається, що граф центральний до того ступеня, до якого вершини близькі один до одного [15]);

- центральність графа, як різниця міри центральності вершини з найбільшим значенням, від значень міри центральності для інших вершин [16]. У такій інтерпретації центральність графа повинна відображати тенденцію певної вершини бути найбільш центральною.

Загалом міри центральності графа повинні: показувати, до якої міри центральність самої центральної вершини перевершує центральність інших вершин; виражатися відношенням цієї переваги до максимально можливого значення для цього графа.

Центральність графа $G = (V, E)$ визначається за формулою:

$$C_g = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{g_{\max}} - C_g(i))}{\max \sum_{i=1}^n (C_{g_{\max}} - C_g(i))}, \quad (3)$$

де C_g – міра центральності графа G ; $C_{g_{\max}}$ – максимальне значення центральності вершини; $C_g(i)$ – міра центральності вершини i .

Література щодо цього питання вказує на три основні показники центральності [17]:

- центральність за ступенем (англ. *Degree Centrality, Cd*);

- центральність за близькістю (англ. *Eigenvector Centrality, Cc*);

- центральність за посередництвом (англ. *Betweenness Centrality, Cb*).

Розглянемо вище зазначені міри центральності для графа загалом та для вершини.

Центральність за ступенем. Якщо в мережі є учасник з максимальною кількістю зв'язків, а всі інші учасники мають по одному зв'язку з цим найбільш значущим учасником, то така мережа максимально централізована і має вигляд «зірки», в центрі якої розташовується самий центральний учасник, а всі інші розташовані на периферії. Мережа типу «зірка» має централізацію за ступенем, що дорівнює 1,0. Графічна інтерпретація центральності за ступенем в мережі зв'язків показана на рис. 1.

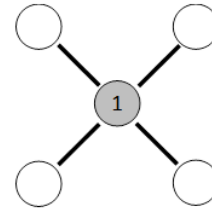


Рисунок 1 – Інтерпретація центральності за ступенем

На рис.1 наведено простий приклад ненаправленої мережі зв'язку. Вершина, розташована в кінці кожного ребра, має найнижчу ступінь центральності в мережі. Центральна вершина 1 має найбільший ступінь центральності в цій мережі, тому що пов'язана з усіма іншими вершинами.

Центральність за ступенем визначається за формулою:

$$Cd = \frac{1}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (Cd_{\max} - Cd(i)), \quad (4)$$

де Cd – центральність мережі за ступенем; Cd_{\max} – вершина з найбільшим значенням центральності за ступенем; $Cd(i)$ – центральність вершини i за ступенем; n – загальна кількість вершин графа.

Центральність вершини i за ступенем визначається, як кількість суміжних з нею вершин:

$$Cd(i) = \frac{\sum j}{n-1}, \quad (5)$$

де j – кількість вершин з якими сполучена вершина i .

Центральність за близькістю визначається, як відношення кількості всіх інших учасників $(n-1)$ до суми всіх відстаней (зв'язків) від цього учасника до всіх інших. Близькість виступає показником того, наскільки близьким (і відповідно більш значущим) є цей учасник для всіх інших та наскільки легко, використовуючи прямі або опосередковані зв'язки, встановити з ним зв'язок. Графічна інтерпретація центральності за близькістю в мережі зв'язків показана на рис. 2.

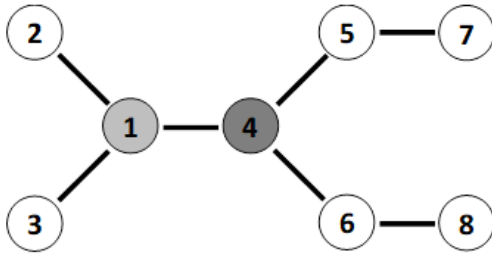


Рисунок 2 – Інтерпретація центральності за близькістю

На рис. 2 зображено дві вершини з однаковим ступенем центральності (1 і 4). Кожна з цих вершин безпосередньо пов'язана з двома іншими. Якщо взяти до уваги вторинні зв'язки, то значення вершини 4 буде більшим, оскільки вершини 5 і 6 ще додатково пов'язані з вершинами 7 і 8 відповідно.

Центральність за близькістю визначається аналогічно до центральності за ступенем, але в цьому випадку як показник значущості виступає близькість учасника:

$$C_c = \frac{(2n-3)}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (C_{c_{\max}} - C_c(i)), \quad (6)$$

де C_c – центральність мережі за близькістю; $C_{c_{\max}}$ – вершина з найбільшим значенням центральності за близькістю; $C_c(i)$ – центральність вершини i за близькістю.

Центральність вершини i за близькістю визначається за формулою:

$$C_c(i) = \frac{n-1}{\sum d_{ij}}, \quad (7)$$

де d_{ij} – сума геодезичних відстаней від вершини i до інших вершин графа.

Центральність за посередництвом являє собою міру того, наскільки через даного учасника мережі пролягають шляхи, що з'єднують інших учасників, тобто наскільки один учасник мережі опосередковує (виступає посередником) для зв'язків між іншими учасниками. Посередництво учасника визначається як відношення всіх найкоротших шляхів між іншими учасниками до загальної кількості найкоротших шляхів між усіма учасниками мережі. Під найкоротшим шляхом тут розуміється мінімальна кількість зв'язків, що лежать на шляху від одного учасника до іншого.

Вважається, що один з учасників мережі може впливати на інших її учасників, підтримуючи, затримуючи або руйнуючи процес передачі інформації. У будь-якому випадку він має потенціал для здійснення подібних дій. Особливу увагу такому підходу приділено в роботі [18], але формальне визначення міри центральності за посередництвом дано в роботі [19].

Графічна інтерпретація центральності за посередництвом в мережі зв'язків показана на рис. 3.

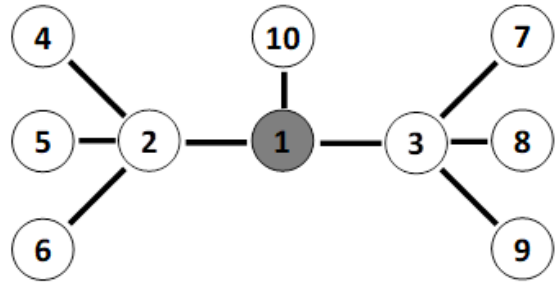


Рисунок 3 – Інтерпретація центральності за посередництвом

Вершини 1, 2 і 3 мають однакові значення центральності за ступенем (вершини 2 і 3 мають по чотири зв'язки, а вершина 1 має три зв'язки). Якщо ми подивимося на здатність кожної вершини контролювати інші вершини, то вершина 1 перебуває в найбільш значущій позиції в мережі. У мережах зв'язку вершина 1 здатна контролювати і управляти потоком інформації в мережі. Чи стане вона посередником у поширенні інформації або небажаною вершиною, яка блокує потоки в мережі, залежить від орієнтації ребер в мережі. В екстремальних ситуаціях ця вершина визначає єдність мережі.

Центральність за посередництвом визначається за формулою

$$C_b = \frac{1}{((n-1)(n-2))/2} \sum_{i=1}^n (C_{b_{\max}} - C_b(i)), \quad (8)$$

де C_b – центральність мережі за посередництвом; $C_{b_{\max}}$ – вершина з найбільшим значенням центральності за посередництвом; $C_b(i)$ – центральність вершини i за посередництвом.

Центральність вершини i за посередництвом визначається за формулою:

$$C_b(i) = \sum \frac{g_{kj}(i)}{g_{kj}}, \quad (9)$$

де $g_{kj}(i)$ – кількість найкоротших шляхів від вершини графа k до вершини j , що проходять через i ; g_{kj} – кількість найкоротших шляхів від вершини графа k до вершини j .

Якщо кількість геодезичних шляхів між k і j дорівнює нулю, то можна вважати, що $g_{kj}(i) / g_{kj} = 0$.

Величина $g_{kj}(i) / g_{kj}$ визначає частину найкоротших шляхів між вершинами k і j , що проходять через i . Її можна інтерпретувати як імовірність того, що випадково обраний геодезичний шлях між k і j пройде через i .

Між центральністю за ступенем і центральністю за близькістю існує лінійна залежність, а центральність за посередництвом має істотну відмінність. Граф, міри центральності якого можуть

бути впорядковані як $Cb > Cc > Cd$ (варіант 1), має тенденцію бути розділеним на підгрупи, з'єднані між собою ребром або загальною центральною точкою. Цей тип графа може бути охарактеризований як децентралізована мережа. З іншого боку, якщо виконується співвідношення $Cc > Cd > Cb$ (варіант 2), то граф являє собою мережу, що складається з одного кластера, до якого входить більшість вершин. Кількість ребер є важливим параметром для порівняння мір. Якщо кількість ребер мала, центральність графа за посередництвом має в середньому велике значення, а центральність за близькістю – маленьке; зі зростанням кількості ребер порядок (варіант 1) змінюється на варіант 2.

Висновок

Очевидним стає той факт, що сучасні проєкти (в т.ч. і в будівництві) стають дедалі складнішими, що вимагає залучення досить значної кількості учасників. У свою чергу, збільшення кількості учасників проєкту призводить до ускладнення комунікацій при передачі знань та інформації, що досить часто є причиною збільшення тривалості

реалізації проєкту та зростання незапланованих витрат. Отже, постає проблема з ідентифікацією, вимірюванням, контролем та управлінням зв'язками всередині проєкту.

Керівники проєктів мають розуміти як відбувається взаємодія всередині проєкту, наскільки сильні зв'язки між членами, хто є ключовою фігурою, яка інформація передається ефективно, а яка – ні. Інструментом для вирішення завдань, пов'язаних з дослідженням і оптимізацією внутрішньопроектних мереж, може бути аналіз соціальних мереж (англ. Social Network Analysis, SNA). Аналіз соціальних мереж базується на методах і інструментах теорії графів та активно застосовується для дослідження організаційних комунікацій. У т.ч. і в контексті управління сучасними організаційними структурами. Однак щодо аналізу, управління та оптимізації управління проєктом в будівництві аналіз соціальної мережі практично не застосовувався. У статті детально розглянуто методи дослідження мереж та основні міри центральності для мережі (графа) та учасників проєкту (вершин графа).

Список літератури

1. PMI. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge // Project Management Institute, Inc. Newtown Square, Pennsylvania. USA. – 2000.*
2. Marsden P., Lin Y. N. *Social Structure and Network Analysis // Beverly Hills, Sage Publishing. – 1982.*
3. Wasserman S., Faust K. *Social Network Analysis: Methods and Applications // Cambridge University Press, Cambridge. – 1997.*
4. Scott J. *Social Network Analysis: A Handbook // 2nd ed., Sage Publications, London. – 2007.*
5. Pryke S. et al. *Self-organizing networks in complex infrastructure projects // Project management journal. – 49. 2 – 2018. – p. 18–41. DOI: <https://doi.org/10.1177/875697281804900202>*
6. Otte E., Rousseau R. *Social network analysis: a powerful strategy, also for the information sciences // Journal of Information Science. – 28 (6). - 2002. – P. 441–453.*
7. Tichy N. M., Fombrun C. *Network analysis in organizational settings // Human Relations. – 32. – 1979. – P. 137–155.*
8. Tichy N. M., Tushman M. L., Fombrun C. *Social network analysis for organizations // Academy of Management Review, - 4(4). – 1979. – P. 507–519.*
9. Easley D., Kleinberg J. *Networks, Crowds, and Markets: Reasoning about a Highly Connected World // Cambridge University Press. – 2010.*
10. Kato T., Numagami T., Karube M. *Types of intra-organizational networks and upward strategic communication // Hitotsubashi Journal of Commerce and Management. – 45. – 2011. – P. 21–37.*
11. Basov N., Wuhr D. *Intra-Organizational Communication Networks and Success in Innovation Projects: Comparing the Cases of German Mechanical Engineering Companies // Centre for German and European Studies (CGES). – 2012–08.*
12. Pryke S. D. *Social network analysis. In: A. Knight and L. Ruddock (eds) // Advanced Research Methods in the Built Environment. Blackwell. Oxford. – 2008.*
13. Chinowsky P.S., Diekmann J., Galotti V. *The social network model of construction // Journal of Construction Engineering and Management. - 134(10). – 2008. – P. 804–810. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2008\)134:10\(804\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:10(804))*
14. Nohria N., Eccles R. G. *Networks and Organizations // Harvard Business School Press, Boston, MA. – 1992.*
15. Beauchamp M.A. *An improved index of centrality // Behavioral Science. – 10. – 1965. – P. 161–163.*
16. Nieminen J. *On centrality in a graph // Scandinavian Journal of Psychology. – 15. – 1974. – P. 322–336.*
17. Freeman L.C. *Centrality in social concepts conceptual clarification // Social Networks. -1(3). – 1978. – P. 215–239.*
18. Shaw, M.E. *Group structure and the behavior of individuals in small groups // Journal Psychology. – 38. – 1954. – P. 139–149.*
19. Anthonisse, J.M. *The rush in a directed graph // Technical report BN 9/71, Amsterdam: Stichting Mathematisch Centrum. – 1971.*

Стаття надійшла до редакції 05.09.2019

Трач Роман Владимирович

Кандидат экономических наук, доцент кафедры мостов, сопротивления материалов и строительной механики, orcid.org/0000-0001-6654-9870

Национальный университет водного хозяйства и природопользования, Ровно

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕТИ СВЯЗЕЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА

Аннотация. Очевидно, что современные проекты (в том числе и в строительстве) становятся все более сложными и требуют привлечения достаточно большого количества участников. В свою очередь, увеличение количества участников проекта приводит к усложнению коммуникаций при передаче знаний и информации, зачастую является причиной увеличения продолжительности реализации проекта и роста незапланированных расходов. В результате возникает проблема с идентификацией, измерением, контролем и управлением связями внутри проекта. Инструментом для решения задач, связанных с исследованием и оптимизацией внутренних проектных сетей, выступает анализ социальных сетей (англ. Social Network Analysis, SNA), который активно применяется для исследования организационных коммуникаций, в том числе и в контексте управления современными организационными структурами. Однако для анализа, управления и оптимизации управления проектом в строительстве указанный анализ практически не применялся. Целью работы является анализ методов исследования сетей для решения задач идентификации, измерения, контроля и управления связями в проекте. Подробно рассмотрены методы исследования сетей и основные меры центральности сети (графа) и участников проекта (вершин графа).

Ключевые слова: анализ социальных сетей; проект; теория графов; меры центральности; строительство

Trach Roman

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Bridges, Tunnels, Strength of Materials and Structural Mechanics, orcid.org/0000-0001-6654-9870

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne

RESEARCH METHODS OF THE COMMUNICATION NETWORK IN THE PROJECT

Abstract. Modern projects (including construction) are becoming more and more complex, and require the involvement of a sufficiently large number of participants. The increase in the number project participants leads to more complex communications in the transfer knowledge and information. It is also often the reason for the increase in the duration of the project and the increase in unplanned expenses. So, there is a problem with the identification, measurement, control and management of relationships in the project. Social Network Analysis, SNA is a tool for solving problems related to the research and optimization of networks within the project. The analysis of social networks is successfully used as a theoretical approach in the theory of organization and management. Also, this method is actively used for the study organizational communications, including in the context of managing modern organizational structures. However, in the direction of analysis, management and optimization project management in the construction a social network analysis has practically not been used. One of its main advantages is the visualization, that is, the reflection of connections graphically. With the analytical tools in SNA, you can collect data on the links and present them in a visual graphical form. These schemes are full-fledged models of interaction between the project participants. The purpose this study is analyze the methods of research networks for solving identification problems, measurement, control and management of relationships in the project. The article discusses in detail the methods of research networks and the main measures of the network (graph) centrality and the project participants (graph nodes).

Keywords: Social Network Analysis; project; graph theory; centrality measures; construction

References

1. PMI, (2000). A Guide to the Project Management Body of Knowledge. Project Management Institute, Inc. Newtown Square, Pennsylvania, USA.
2. Marsden, P., & Lin, Y.N. (1982). Social Structure and Network Analysis. Beverly Hills, Sage Publishing.
3. Wasserman, S., Faust, K., (1997). Social Network Analysis: Methods and Applications. Cambridge University Press, Cambridge.
4. Scott, J., (2007). Social Network Analysis: A Handbook, 2nd ed., Sage Publications, London.
5. Pryke, S., et al. (2018). Self-organizing networks in complex infrastructure projects. Project management journal. 49.2, 18-41. DOI: <https://doi.org/10.1177/875697281804900202>
6. Otte, E., & Rousseau, R., (2002). Social network analysis: a powerful strategy, also for the information sciences. Journal of Information Science, 28 (6), 441 – 453.
7. Tichy, N.M., & Fombrun, C., (1979). Network analysis in organizational settings. Human Relations, 32, 137 – 155.
8. Tichy, N.M., Tushman, M.L., & Fombrun, C., (1979). Social network analysis for organizations. Academy of Management Review, 4 (4), 507 – 519.

9. Easley, D., & Kleinberg, J., (2010). *Networks, Crowds, and Markets: Reasoning about a Highly Connected World*. Cambridge University Press.
10. Kato, T., Numagami, T., & Karube, M., (2011). Types of intra-organizational networks and upward strategic communication. *Hitotsubashi Journal of Commerce and Management*, 45, 21 – 37.
11. Basov, N., & Wuhr, D., (2012). *Intra-Organizational Communication Networks and Success in Innovation Projects: Comparing the Cases of German Mechanical Engineering Companies*. Centre for German and European Studies (CGES), WP 2012-08.
12. Pryke, S.D., (2008). *Social network analysis*. In: A. Knight and L. Ruddock (eds) *Advanced Research Methods in the Built Environment*. Blackwell, Oxford.
13. Chinowsky, P.S., Diekmann, J., & Galotti, V., (2008). The social network model of construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 134 (10), 804–810. DOI:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2008\)134:10\(804\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:10(804))
14. Nohria, N., & Eccles, R.G. (1992). *Networks and Organizations*, Harvard Business School Press, Boston, MA.
15. Beauchamp, M.A., (1965). An improved index of centrality. *Behavioral Science*, 10, 161 – 163.
16. Nieminen, J., (1974). On centrality in a graph. *Scandinavian Journal of Psychology*, 15, 322 – 336.
17. Freeman, L.C., (1978). Centrality in social concepts conceptual clarification. *Social Networks*, 1 (3), 215 – 239.
18. Shaw, M.E., (1954). Group structure and the behavior of individuals in small groups, *Journal Psychology*, 38, 139 – 149.
19. Anthonisse, J.M., (1971). *The rush in a directed graph*. Technical report BN 9/71, Amsterdam: Stichting Mathematisch Centrum.

Посилання на публікацію

- APA Trach, R. (2019). *Research methods of the communication network in the project. Management of Development of Complex Systems*, 39, 32 – 38 [in Ukrainian]; [dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.11340638](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.11340638).
- ДСТУ Трач Р.В. Методи дослідження мережі зв'язків при реалізації проекту [Текст] / Р.В. Трач // Управління розвитком складних систем. – 2019. – № 39. – С. 32 – 38; [dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.11340638](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.11340638).