

Математичне моделювання при оптимізації телекомунікаційних мереж

Л.М. Колєчкіна

кафедра документознавства та інформаційної діяльності
в економічних системах інформатики
Полтавський університет економіки і торгівлі
Полтава, Україна
ludapl@ukr.net

О.С. Пічугіна

кафедра прикладної математики
Харківський національний
університет радіоелектроніки
Харків, Україна
pichugina_os@mail.ru

Mathematical modeling in optimization of telecommunication networks

L.M. Kolechkina

Department of Documentation and Information Activities
in IT Economic Systems
Poltava University of Economics and Trade
Poltava, Ukraine
ludapl@ukr.net

O.S. Pichugina

Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
pichugina_os@mail.ru

Анотація—В роботі представлено математичну модель двокритеріальної задачі оптимізації швидкості та якості передачі по телекомунікаційній мережі. Вона представляє собою лінійну умовну модель на композиційному образі загальної множини переставлень і булевої множини і може бути розв'язана як стандартними методами комбінаторної оптимізації такими як метод комбінаторних відсікань, так і графовими методами як задача оптимізації на структурному графі переставлень в поєднанні з графом гіперкубу.

Abstract—The paper presents a mathematical model of a two-criteria problem of optimization of speed and quality for information transmission in telecommunications networks. It is a constrained linear model over a composite image of the general permutation set and the boolean set. It can be solved by standard combinatorial optimization techniques such as the combinatorial cutting method. Also, optimization on graphs is applicable in this case, since it is simulated on both - the structural permutation graph and the hypercube graph.

Ключові слова—телекомунікаційна мережа; передача інформації; якісний коефіцієнт завантаження мережі; структурний граф переставлень; загальна множина переставлень; булева множина, комбінаторна оптимізація.

Keywords—a telecommunications network; information transmission; the network load quality coefficient; the structural permutation graph; the general permutation set; the boolean set, combinatorial optimization.

I. ВСТУП

Створення ефективного інформаційного простору передбачає активне використання телекомунікаційних систем і мереж інформаційного обміну, широкомасштабну комп'ютеризацію процесів обробки інформації в усіх сферах діяльності. Інформаційна інфраструктура – це комплекс програмно-технічних засобів, організаційних систем і нормативних баз, який забезпечує організацію взаємодії інформаційних потоків, функціонування і розвиток засобів інформаційної взаємодії та інформаційного простору світу, континенту, країни, регіону чи організації [1-6].

Інформаційна інфраструктура включає в себе територіально розподілені державні та корпоративні комп'ютерні і телекомунікаційні мережі, системи конфіденційного призначення і загального користування, мережі та канали передачі даних, засоби комутації та управління інформаційними потоками.

Поява мобільного зв'язку та бездротових мереж істотно вплинула на організацію телекомунікаційних мереж і на сьогоднішній день мережі вони охоплюють величезні території з великим числом користувачів [1]. Серед багатьох вимог, що висувуються до бездротових мереж, основною є забезпечення високої продуктивності з гарантованою якістю обслуговування запитів користувачів. Сфера телекомунікацій є одним з найбільших секторів світової економіки, що динамічно

розвивається і формує передумови для подальшого розвитку інформаційного суспільства. Світова телекомунікаційна сфера надає широкий спектр сучасних телекомунікаційних і інформаційно-комунікаційних послуг, якісні характеристики яких відповідають потребам найвимогливіших споживачів. В той же час, розвиток сфери телекомунікацій, в свою чергу, значно впливає як на соціальний, так і на економічний розвиток багатьох країн. Отже, дослідження питань, пов'язаних з визначенням ступеня і закономірностей впливу розвитку телекомунікацій на розвиток економіки в цілому, актуальні.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

В організації будь-якої телекомунікаційної мережі можна виділити рівні, які відокремлені територіально і взаємодіють між собою. В свою чергу, ці рівні системи можна розглядати як накладені мережі різних технологій.

Абсолютна більшість інформаційних потоків, що передаються в сучасних телекомунікаційних мережах, утворюють мультимедійний трафік. Він характеризується нерівномірністю надходження запитів на передачу потоків мультимедійної інформації, що призводить до виникнення як тимчасових перевантажень в мережі, так і інтервалів часу з недостатньою завантаженістю каналів [1]. Внаслідок цього, канали мережі використовуються недостатньо ефективно. Відомі різні методики кількісної оцінки ефективності використання каналів телекомунікаційної мережі [4, 11]. Їх аналіз свідчить про те, що вони не дозволяють точно визначити, наскільки раціонально використовується пропускна здатність каналів мережі. Тому ми вважаємо за доцільне знайти такий спосіб обчислення завантаженості каналу і якості передачі інформації, який відображав би реальну ефективність використання каналних ресурсів.

З цією метою розглянемо телекомунікаційну систему, що накопичує інформацію по предметних областях (порталах) і здійснює передачу інформації на сервери, робочі станції, термінали, тощо. Необхідно скласти такий план розподілу деякого об'єму інформації по предметних областях на порталах і її передачі, щоб мінімізувати сумарну швидкість її передачі на комп'ютери і максимізувати сумарний якісний коефіцієнт завантаження. При цьому необхідно врахувати: інтенсивність потоку запитів на передачу інформації по каналу телекомунікаційної мережі; середню швидкість передачі потоку інформації; дискретність обсягів інформації, що передається тощо.

Для вирішення даної проблематики в ряді робіт [10-11] пропонується використовувати математичну модель мережі, що представляє собою набір графів, які можуть відрізнятися як кількістю ребер і вершин, так і топологією графів в цілому. Відзначимо також, що в наведених роботах пропонується модель побудови телекомунікаційних мереж за умови, що місцезнаходження обладнання вузлів мережі, які забезпечують функціонування кожного з її рівнів, відоме.

Для побудови математичної моделі введемо необхідні позначення: визначимо m предметних областей (порталів) і позначимо їх множину $A_i, i \in J_m = \{1, \dots, m\}$. Нехай також, $I^k, k \in J_p$ - набір видів інформації. Вважаємо, що на кожному порталі A_i накопичено деяку невідому кількість g_i^k одиниць інформації виду I^k . При цьому інформація розподіляється між n персональними комп'ютерами (серверами, терміналами) $B_j, j \in J_n$.

Нехай відомі наступні параметри: а) g_{ij}^k - швидкість передачі одиниці інформації виду I_k з предметної області A_i на комп'ютер B_j ; б) d_{ij}^k - коефіцієнт якості відображення одиниці інформації виду I_k з предметної області A_i на комп'ютері B_j .

Потрібно скласти план розподілу інформації різних видів на порталах та передачі її на комп'ютери з метою мінімізації сумарного часу передачі і максимізації сумарного якісного коефіцієнта завантаження (під сумарним якісним коефіцієнтом завантаження будемо розуміти суму якісних коефіцієнтів завантаження кожної предметної області порталу.) та за умови виконання наступних умов:

а) невідомі величини g_i^k набувають дискретних значень із мультимножини $G = \{g_1, \dots, g_s\}, s = \text{mp} : g_i^k \in G, i, k$. Більш того, вони в цілому утворюють $G : \{g_i^k\}_{i,k} = G$;

б) весь обсяг інформації передається g_i^k на один з комп'ютерів;

в) обсяг потоку інформації, що передається по каналу «предметна область A_i - комп'ютер B_j » не перевищує заданої величини l_{ij}, i, j ;

г) в кожному комп'ютері B_j має зберігатися не менше заданої величини b_j^k інформації типу I_k, j, k ;

д) середня швидкість передачі потоку інформації обмежена величинами v_{\min}, v_{\max} .

III. Побудова математичної моделі

Для побудови математичної моделі задачі введемо в розгляд матрицю невідомих $g = (g_i^k)_{i,k}$, а також булеві змінні $y_{ij}^k : y_{ij}^k = 1$, якщо вся інформація з області A_k виду I^k передається на комп'ютер B_j , інакше 0. Тоді $g_i^k \cdot y_{ij}^k$ -

це обсяг інформації з області A_k виду I^k , що пересилається на B_j , тобто величина з мультимножини $G \cup \{0\}$ (i, j, k).

Наша задача полягає у визначенні матриць $\mathbf{g}, \mathbf{y} = (y_{ij}^k)_{i,j,k}$, які доставляють:

$$F_1(\mathbf{g}, \mathbf{y}) = \min_{\mathbf{g} \in R^s, \mathbf{y} \in R^t} \sum_{k=1}^p \sum_{i=1}^m g_i^k \sum_{j=1}^n \frac{y_{ij}^k}{g_{ij}^k} \quad (1)$$

$$F_2(\mathbf{g}, \mathbf{y}) = \max_{\mathbf{g} \in R^s, \mathbf{y} \in R^t} \sum_{k=1}^p \sum_{i=1}^m g_i^k \sum_{j=1}^n d_{ij}^k y_{ij}^k, \quad (2)$$

за наступних обмежень:

а) комбінаторна умова, яка враховує перестановочні властивості області допустимих розв'язки \mathbf{g} :

$$(g_1^1, \dots, g_m^1, \dots, g_1^p, \dots, g_m^p) \in E_{ss'}(G), \quad (3)$$

де s' - кількість різних елементів G , $E_{ss'}(G)$ - загальна множина s -перестановок з G [12];

б) умова булевості \mathbf{y} :

$$(y_{11}^1, \dots, y_{1n}^1, \dots, y_{m1}^p, \dots, y_{mn}^p) \in \{0, 1\}^t = B_t, \quad t = m \cdot n \cdot p, \quad (4)$$

і умова передачі інформації одного типу з порталу повністю:

$$\sum_{j=1}^n y_{ij}^k = 1, \quad i, k \quad (5)$$

в) обмеження на обсяги потоків інформації:

$$\sum_{k=1}^p g_i^k y_{ij}^k \leq l_{ij}, \quad i, j \quad (6)$$

г) умови на обсяги завантаження комп'ютерів інформацією відповідних типів:

$$\sum_{i=1}^m y_{ij}^k \geq b_i^k, \quad i, k \quad (7)$$

д) обмеження по середній швидкості передачі:

$$v_{\min}^{-1} \leq g_i^k / g_{ij}^k \leq v_{\max}^{-1}, \quad i, j, k \quad (8)$$

ВИСНОВКИ

Представлена модель (1)-(8) - двокритеріальна, умовна, лінійна, комбінаторна, що формулюється на декартовому добутку $E_{ss'}(G) \otimes B_t$ загальної множини перестановок і булевої множини. З її допомогою можна максимізувати швидкість пошуку потрібної інформації для користувача, забезпечуючи при цьому її якість та ефективне використання ресурсів мережі.

До її розв'язання можна застосувати методи векторної оптимізації, зокрема метод згортання критеріїв для зведення задачі до умовної лінійної моделі на $E_{ss'}(G) \otimes B_t$. Далі задача може розв'язуватися методами умовної комбінаторної оптимізації або на графовими методами [10].

ЛИТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Koliechkina L. N., Dvernaya O. A., Nagornaya A. N. Modified Coordinate Method to Solve Multicriteria Optimization Problems on Combinatorial Configurations // Cybernetics and Systems Analysis. – No. 4, July–August, 2014, pp. 154–161.
- [2] Chiang M. Balancing Transport and Physical Layers in Wireless Multihop Networks: Joint Optimal Congestion and Power Control / M. Chiang // IEEE Journal on Selected Areas in Commun. – Vol. 23, No. 1. – 2005. – P. 104-116.
- [3] Skalli H. Channel Assignment Strategies for Multiradio Wireless Mesh Networks: Issues and Solutions / H. Skalli, S. Ghosh, S.K. Das, L. Lenzi, M. Conti // IEEE Comm. Magazine. – 2007. – Vol. 45, No. 11. – P. 86-95.
- [4] Singh K. Review on Routing Protocols in Wireless Mesh Networks / K. Singh, S. Behal // International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAEM). – 2013. – ol. 2, Iss. 2. – P. 143-149.
- [5] Агеев Д.В. Метод проектирования телекоммуникационных систем с использованием потоковой модели для многослойного графа [Электронный ресурс] / Д.В. Агеев // Проблемы телекоммуникаций. – 2010. – № 2 (2). – С. 7 – 22.
- [6] Агеев Д.В. Представление модели в виде многослойного графа для решения задач планирования инфокоммуникационной системы с учетом структурированной кабельной системы [Электронный ресурс] / Д.В. Агеев // Проблемы телекоммуникаций. – 2013. – № 3 (12). – С. 16 – 26.
- [7] Гаркуша С.В. Обзор та класифікація протоколів маршрутизації в mesh-мережах стандарту IEEE 802.11 // Збірник наукових праць ВПІ НТУУ „КПІ”. – 2012. – № 1. – С. 14-23.
- [8] Поповский В.В., Лемешко А.В., Евсеева О.Ю. Симплициальная модель оценки структурной сложности телекоммуникационных систем // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2003. – Вып. 5 (5). – С. 48-51.
- [9] Гаркуша С.В. Особенности использования гиперграфов при моделировании многоканальных mesh-сетей стандарта IEEE 802.11 // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2013. – Вып. 175. – С. 160-169.
- [10] Донець Г.П., Колечкіна Л. М. Екстремальні задачі на комбінаторних конфігураціях. – Полтава: РВВ ПУЕТ, 2011. – 309 с.
- [11] Семенова Н. В., Колечкіна Л. Н., Нагорная А. Н. Подход к решению векторных задач дискретной оптимизации на комбинаторном множестве перестановок // Кибернетика и системный анализ – 2008. – № 3 – С. 158–172.
- [12] Стоян Ю. Г., Ємець О. О. Теорія і методи евклідової комбінаторної оптимізації. - К.: Ін-т систем. досліджень освіти, 1993. -188 с.

Моделювання тертя у викривлених нафтовидобувних свердловинах

О.В. Євчук

кафедра інформаційно-телекомунікаційних технологій
та систем
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
Івано-Франківськ, Україна
olga.yevchuk@gmail.com

В.А. Ровінський

кафедра інформатики
Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника
Івано-Франківськ, Україна
musicneutrino@gmail.com

Friction modeling in deviated oil wells

O.V. Yevchuk

Department of Information and Telecommunication
Technologies and Systems
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and
Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
olga.yevchuk@gmail.com

V.A. Rovinski

Department of Computer Science
Vasyl Stefanyk Precarpathian
National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
musicneutrino@gmail.com

Анотація — Обґрунтовано необхідність врахування сухого та граничного тертя при моделюванні руху штангової колони у викривлених свердловинах. Запропоновано використовувати параметричну кубічну сплайн-інтерполяцію для оцінки просторової конфігурації штангової колони, що дозволить підвищити точність моделювання притискних сил між штанговою колоною та колоною НКТ.

Abstract — Taking into account dry and lubricated friction in modelling of rod string movement in deviated wells is demonstrated. Proposed parametric cubic spline interpolation for estimation of spatial configuration of rod string allows increasing of contact force modelling between rod string and tubing.

Ключові слова—викривлені свердловини, штангова глибинно-насосна установка, тертя, інтерполяція

Keywords—deviated wells, sucker-rod pumping unit, friction, interpolation

I. ВСТУП

Основними особливостями експлуатації штангових глибинно-насосних установок (ШГНУ) у викривлених свердловинах є підвищене тертя та наявність додаткових напружень згину на ділянках із значною кривиною стовбура свердловини, що призводить до пришвидшеного зносу штанг та з'єднувальних муфт, а за часту і до обривів штангової колони. Врахування цих факторів дозволяє

більш точно інтерпретувати дані динамометрії (вимірювання зусилля на полірованому штоку штангової колони), яка залишається основним методом отримання діагностичної інформації в задачах діагностики технічного стану штангової колони та ШГНУ в цілому.

Найчастіше тертя моделюється за допомогою коефіцієнта в'язкого тертя, що використовується у класичному рівнянні руху штангової колони [1]. Існує ряд досліджень, присвячених визначенню коефіцієнта тертя, де розглядається як виключно в'язке тертя [2], так і граничне (із змашуванням) та сухе тертя [3], де аналізується вплив на його величину різних факторів, зокрема і викривленості або куту нахилу стовбура свердловини та притискної сили між штанговою колоною та колоною насосно-компресорних труб. Подібна задача виникає також при моделюванні взаємодії бурильної та обсадної колони в процесі буріння свердловини [4], та для нафтовидобувних установок інших типів, зокрема гвинтових [5]. В рамках подібної моделі здійснюється розрахунок притискних сил по довжині стовбура свердловини, наприклад за допомогою числового моделювання методом кінцевих елементів [6].

II. ВИДИ ТЕРТЯ У ПІДЗЕМНІЙ ЧАСТИНІ ШГНУ

При русі штангової колони всередині колони насосно-компресорних труб (НКТ) штангової глибинно-насосної установки на штангову колоною діють сили опору,

зумовлені наступними видами тертя (рис. 1): в'язке тертя між штанговою колоною та рідиною, що видобувається; тертя між штанговою колоною та колоною НКТ у зонах контакту між ними на викривлених ділянках стовбура свердловини; тертя у парі плунжер-циліндр глибинного насоса; тертя між сальником та полірованим штоком штангової колони. В останніх трьох випадках переважно діє граничне тертя, тобто тертя між двома твердими поверхнями у присутності змащувальної рідини в зазорі між ними. Сухого тертя зазвичай слід уникати, оскільки воно призводить до швидкого зносу поверхонь тертя. Тим не менше, на ділянках із значною викривленістю притискна сила між штанговою колоною та колоною НКТ досягає величин, які зумовлюють повне витіснення змащуючого шару рідини із зони контакту, що призводить до наявності сухого тертя і, як наслідок, швидкого зносу тіла штанг і з'єднувальних муфт.

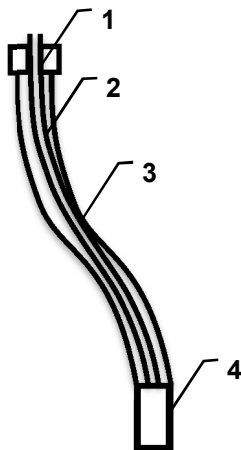


Рис. 1. Тертя у підземній частині ШГНУ: 1- у парі сальник-полірований шток; 2 – гідродинамічне; 3 – між штанговою колоною та колоною НКТ; 4 – у парі плунжер-циліндр

У вертикальних свердловинах та свердловинах з незначним кутом нахилу цілком допустимо враховувати в моделі руху штангової колони лише в'язке тертя, оскільки сухе та граничне тертя в цьому випадку обмежується лише парами полірований шток-сальник та плунжер-циліндр глибинного насоса і є незначними порівняно із в'язким тертям. Для суттєво викривлених свердловин систематична похибка, зумовлена фактичним моделюванням інших видів тертя як в'язкого, стає суттєвою, що призводить до спотворення форми плунжерної динамограми, що розраховується із наземної на основі моделі руху штангової колони.

В зв'язку з вищенаведеним виникає задача вдосконалення моделювання сил тертя при русі штангової колони у викривлених свердловинах, зокрема на основі інформації про геометричну конфігурацію стовбура свердловини за даними інклінометрії.

III. ІНТЕРПОЛЯЦІЯ ПРОСТОРОВОЇ КОНФІГУРАЦІЇ ШТАНГОВОЇ КОЛОНИ

Вихідною інформацією для розрахунку сил тертя між штанговою колоною та колоною НКТ є результати інклінометричних досліджень – дані про кут нахилу та

азимут у скінченній множині опорних точок по довжині стовбура свердловини. На даний час для визначення положення опорних точок та інтерполяції проміжних точок найчастіше використовується метод мінімальної кривини [7], що передбачає моделювання ділянок стовбура свердловини сегментами кола таким чином, щоб в опорних точках співпадали градієнти відповідних кривих. Таким чином отримується деяка крива $f(x,y,z) \in C^1$, тобто не гарантується неперервність кривини в опорних точках.

Пропонується використати параметричну кубічну сплайн-інтерполяцію:

$$x(t) = \overline{C}_x \cdot \overline{t}, y(t) = \overline{C}_y \cdot \overline{t}, z(t) = \overline{C}_z \cdot \overline{t},$$

$$\overline{t} = [1 \quad t \quad t^2 \quad t^3]$$

де t – параметр, що приймається рівним довжині кривої від гирла свердловини ($t=0$) до точки з координатами $[x(t), y(t), z(t)]$; $\overline{C}_x, \overline{C}_y, \overline{C}_z$ – вектори сплайн-коефіцієнтів, що обчислюються окремо і незалежно по кожній координаті. Оскільки дані інклінометрії, як правило, отримують через рівні проміжки саме по відстані від гирла свердловини, це дозволить спростити розрахунок сплайн-коефіцієнтів.

ВИСНОВКИ

В результаті аналізу особливостей тертя у викривлених свердловинах встановлено, що необхідно окремо враховувати сухе та граничне тертя в математичній моделі руху колони штанг. Запропоновано використання параметричної кубічної сплайн-інтерполяції для оцінки просторової конфігурації штангової колони ШГНУ. Підвищення точності інтерполяції форми штангової колони дозволить покращити точність розрахунку притискної сили в зонах контакту, що є одним із етапів визначення сил тертя, які діють на штангову колоною.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Gabor Takacs, "Sucker-Rod Pumping Handbook: Production Engineering Fundamentals and Long-Stroke Rod Pumping", Elsevier, 2015. – 598pp.
- [2] Z. Ma, S. L. Peng, Z. Z. Qu, J. Li, "The Detailed Calculation Model of the Friction between Sucker Rod and the Liquid in the Sucker Rod Pump Lifting System of Heavy Oil", Applied Mechanics and Materials, Vol. 694, pp. 346-349, 2014
- [3] Насосная добыча высоковязкой нефти из наклонных и обводненных скважин / К. Р., Богомольный, Е.И. Уразаков. - М. : Недра-Бизнесцентр, 2003. – 303с.
- [4] Салихов И.Ф. Расчет прижимающего усилия в скважине и экспериментальное обоснование его влияния на силу трения между горной породой и бурильными трубами в среде различных промысловых жидкостей // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. - 2016. - № 1. С.39-51
- [5] Уразаков К. Р., Латыпов Б. М., Исмагилов Р. Р. Экспериментальные исследования коэффициента трения элементов штанговой колонны винтовых насосных установок// Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2015. №3. С.256–270
- [6] Minzheng Jiang, Yumiao Cai, Yu Lu and Dong Wang, 2013. Research on Wear Law of Rod String in Directional Well. Journal of Applied Sciences, 13: 4676-4680.
- [7] Ted G. Byrom, "Casing and Liners for Drilling and Completion", Elsevier, 2015. – 420pp.