

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



**ҚазҰТУ ХАБАРШЫСЫ** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ **ВЕСТНИК КазНУ**

**VESTNIK KazNRTU** \_\_\_\_\_

**№ 2 (132)**

**Главный редактор**  
**И. К. Бейсембетов – ректор**

**Зам. главного редактора**  
**Б.К. Кенжалиев – проректор по науке**

**Отв. секретарь**  
**Н.Ф. Федосенко**

**Редакционная коллегия:**

З.С. Абишева- акад. НАН РК, Л.Б. Атымтаева, Ж.Ж. Байгунчечков- акад. НАН РК, А.Б. Байбатша, А.О. Байконурова, В.И. Волчихин (Россия), К. Дребенштед (Германия), Г.Ж. Жолтаев, Г.Ж. Елигбаева, Р.М. Исаков, С.Е. Кудайбергенов, Б.У. Куспангалиев, С.Е. Кумекоев, В.А. Луганов, С.С. Набойченко – член-корр. РАН, И.Г. Милев (Германия), С. Пежовник (Словения), Б.Р. Ракишев – акад. НАН РК, М.Б. Панфилов (Франция), Н.Т. Сайлаубеков, А.Р. Сейткулов, Фатхи Хабаши (Канада), Бражендра Мишра (США), Корби Андерсон (США), В.А. Гольцев (Россия), В. Ю. Коровин (Украина), М.Г. Мустафин (Россия), Фан Хуаан (Швеция), Х.П. Цинке (Германия), Е.М. Шайхутдинов-акад. НАН РК, Т.А. Чепуштанова

**Учредитель:**

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева

**Регистрация:**

Министерство культуры, информации и общественного согласия  
Республики Казахстан № 951 – Ж “25” 11. 1999 г.

**Основан в августе 1994 г. Выходит 6 раз в год**

**Адрес редакции:**

г. Алматы, ул. Сатпаева, 22,  
каб. 609, тел. 292-63-46  
Nina. Fedorovna. 52 @ mail.ru

- [9] Perepelitsa V.A. Multi - tasking theorems of graphs. Algorithmic approach: learning aid. - Kyiv: UMP WO, 1989. - p.67.
- [10] Mamikonov A.G., Ashimov A.A., Kulba V.V. Synthesis of optimal functional data processing modules in the ACS .Preprint. - Moscow: IPU, 1979. - p.1-74.
- [11] Kaziev G.Z., Sirotuk V.O. Formalized methods of analysis of modular data processing systems // In the collection: "Issues of creating automated control systems for technological processes and enterprises". - Alma-Ata: KazPTI, 1980.
- [12] Kaziev G.Z., Sirotuk V.O., Kitapbaev ZH.B. Models and methods of analysis and synthesis of optimal database structures in parallel query processing systems (theses) // Abstracts of reports of the All-Union Workshop "Parallel processing of information". - Lviv, 1985. - P.114-115.
- [13] Kaziev G.Z. The method of computer-aided design of logical database structures (article) // In the collection: works "Dynamics of inhomogeneous systems". Issue 13, VNIISI. - M., 1990. - P.45-52
- [14] Kaziev G.Z., Kuznetsov N.A., Kulba V.V., Shelkov A.B. Models, methods and tools for analysis and synthesis of modular information control systems (article) // Automation and Remote Control. - M. - 1993. - №5. - p. 3-59.
- [15] Kaziev G.Z., Aitchanova Sh.K., Musina R.Zh. Block-symmetric problems of discrete programming (theses) // Reports Theses - 1 Congress of Mathematicians Kazakhstan. - Shymkent: Gylm, 1996. - p. 288-289.

Калижанова А.У., Ахметов С.С., Набиева Г.С.

**Мәліметтерді өңдеу жүйесін жобалаудың моделдері мен әдістері**

**Түйіндеме.** Жұмыста мәліметтерді өңдеу жүйесін жобалаудың блокты – симметриялы моделдері мен әдістері қарастырылды. Дискретті бағдарламалаудың көпкритерийлі блокты – симметриялы есебі құрастырылды. Дискретті бағдарламалаудың блокты – симметриялы есебінің қойылымына талдау жүргізіліп, блокты симметриялы есептердің ерекшеліктері мен қасиеттері анықталып, осы класс есептерін шешу үшін тәсіл құрылған және ұсынылған.

**Кілттік сөздер:** моделдер мен әдістер, дискретті бағдарламалау, мәліметтерді өңдеу жүйесі, көпкритерийлі есеп.

УДК 517.977:622.692

**L.A. Nesterenkova, P.A. Nesterenkov**

(Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: stolkner@gmail.com)

**LOWERING THE OPERATING COST OF A NON-ISOTHERMAL OIL PIPELINE**

**Abstract.** An aim to lower the fuel and power expenses under non-isothermal transportation of high-viscosity oils through a pipeline with intermediate heat and pumping stations is set and fulfilled. According to the provided mathematical model consisting of the motion, energy equation, boundary conditions and expressions for the expended fuel and electricity costs, the inequations are derived that make it possible to predict the appropriate modes of oil flow through the pipeline, depending on the given parameters.

**Key words:** pipeline, high viscosity oil, temperature, lowering the fuel and power costs.

**Л.А. Нестеренкова, П.А. Нестеренков**

(Казахский Национальный университет имени аль-Фараби,

Республика Казахстан, Алматы, E-mail: stolkner@gmail.com)

**МИНИМИЗАЦИЯ СТОИМОСТИ РАБОТЫ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО НЕФТЕПРОВОДА**

**Аннотация.** Поставлена и решена задача минимизации стоимости топливно-энергетических затрат при неизотермической транспортировке высоковязких нефтей по трубопроводу с промежуточными тепловыми и насосными станциями. По представленной математической модели, состоящей из уравнения движения, энергии, краевых условий и выражений для стоимости затраченного топлива и электроэнергии, получены неравенства, позволяющие прогнозировать оптимальные режимы течения нефти по нефтепроводу в зависимости от заданных параметров.

**Ключевые слова:** трубопровод, высоковязкая нефть, температура, минимизация стоимости топлива и электроэнергии.

**Введение.** Транспортировка нефтей по магистральным трубопроводам требует больших энергетических затрат. Развитие трубопроводов идет по пути увеличения протяженности, диаметра и рабочего давления. Это ведет к возникновению дополнительных технологических трудностей. Приходится вводить в действие промежуточные насосные станции, использовать большее количество электроэнергии на перекачку. Процесс еще более усложняется, если перекачиваются высоковязкие и высокостабилизаторные нефти. На практике наибольшее распространение для улучшения реологических свойств таких нефтей получил метод трубопроводного транспорта с предварительным подогревом [1-3]. По обычно применяемой технологии перед подачей в магистраль нефть подогревается до определенной температуры (320-340 К). Вдоль трассы расположены промежуточные тепловые станции, где остывшая в пути нефть вновь подогревается. При этом ее текучесть увеличивается, что ведет к снижению энергозатрат на транспортировку. На разных станциях может быть использовано различное топливо (нефть, газ и др.), цена которого отличается друг от друга. Поэтому необходимо выбрать такие режимы подогрева, которые минимизируют стоимость топлива и электроэнергии на перекачку.

**Постановка тепловой задачи минимизации стоимости топлива.** Так как длина магистрального трубопровода намного больше его диаметра, совместим ось трубы с осью ОХ и будем использовать одномерную математическую модель. Все параметры процесса, а именно температуру нефти  $T(t, x)$ , давление в трубопроводе  $P(t, x)$  и скорость ее течения  $w(t)$  усредним по сечению трубы [4,5]. Будем считать, что промежуточные тепловые и насосные станции расположены совместно. Математическая модель течения описывается уравнением движения, неразрывности, энергии на каждом  $j$ -ом линейном участке между станциями и краевыми условиями процесса.

Закон сохранения количества движения при постоянных значениях плотности  $\rho$ , диаметре трубы  $D$ , коэффициенте кинематической вязкости  $\nu$ , имеет вид [1,3]:

$$\rho \frac{\partial w}{\partial t} = -\frac{\partial P_j}{\partial x_j} - \rho g \beta_j \left( \frac{\pi w}{4} \right)^{2-m} \cdot \frac{\nu^m}{D^{m+1}} - \rho g \frac{dh_j}{dx_j}; \quad (1)$$

$$j = \overline{0, N+1},$$

где  $\nu$  - коэффициент кинематической вязкости нефти,  $\beta$  и  $m$  - коэффициенты, зависящие от режима течения нефти,  $h = h(x)$  - геодезическая высота над уровнем моря,  $N$  - количество работающих совмещенных промежуточных тепловых и насосных станций.

Закон сохранения энергии при постоянной плотности  $\rho$ , диаметре трубы  $D$ , температуре окружающего нефтепровод грунта  $T_{окр}$  и удельной теплоемкости  $c$  без учета пренебрежимо малыми эффектами теплопроводности и аккумуляции тепла за счет трения имеет вид [5, 6]:

$$\frac{\partial T_j}{\partial t} = -w \cdot \frac{\partial T_j}{\partial x} + \frac{4k}{\rho c D} \cdot (T_{окр} - T_j), \quad (2)$$

$$j = \overline{0, N+1},$$

где  $k$  - коэффициент теплопередачи от нефти в окружающий грунт.

Уравнение неразрывности при отсутствии промежуточных источников массы запишется в виде [5]:

$$\partial w / \partial x = 0, \quad (3)$$

Отсюда

$$w = w_0 = const.$$

В случае установившегося режима течения из (1), (3) будем иметь

$$T_j(x) = T_{окр} + (T_{j-1}^+ - T_{окр}) e^{-ak_j x}, \quad (4)$$

$$x \in (x_{j-1}, x), \quad j = 1, 2, \dots, N_T + 1$$

со следующими граничными условиями:

$$T_0^+ = T_0, \quad T_j^+ = T_j^- + \Delta T_j, \quad j = 1, 2, \dots, N_T, \quad (5)$$

где  $a = \frac{4}{\rho c D w}$ .

Стоимость эксплуатации нефтепровода в значительной степени определяется затратами топлива на тепловых станциях и электроэнергии на насосных станциях. Стоимость топлива, используемого для подогрева нефти при стационарном режиме, определяется выражением:

$$S_T = t \sum_{j=1}^N z_j^T \omega_j ,$$

где  $t$  - время работы промежуточных станций;  $z_j^T$  - стоимость единицы топлива на  $j$ -ой тепловой станции;  $\omega_j$  - расход топлива  $j$ -ой тепловой станции;  $N$  - количество работающих тепловых станций.

Расход топлива  $\omega_j$  рассчитывается по формуле:

$$\omega_j = \frac{g_j}{y_j \sigma_j r_j^T} , \quad j = 1, 2, \dots, N ,$$

где  $g_j = \frac{\pi D^2}{4} \rho c w \Delta T_j$  - количество тепла, используемого на  $j$ -ой тепловой станции в единицу времени;  $y_j$  - теплотворная способность условного топлива на  $j$ -ой тепловой станции;  $\sigma_j$  - поправочные коэффициенты для расчета теплотворной способности конкретного топлива;  $r_j^T$  - коэффициент полезного действия  $j$ -ой тепловой станции.

Таким образом, выражение стоимости топлива примет вид:

$$S_T = 3vt \sum_{j=1}^N y_j \Delta T_j , \quad (6)$$

где  $3 = \frac{\pi \rho c D^2}{4}$ ;  $y_j = \frac{z_j^T}{y_j \sigma_j r_j^T}$ .

Ставится задача: найти такие перепады температуры  $\Delta T_j$  на пунктах подогрева, при которых стоимость затрат на топливо (6) была бы минимальной при соблюдении технологических ограничений:

$$T_{min} \leq T_j(x) \leq T_{max}; \quad x \in (x_{j-1}, x_j); \quad j = 1, 2, \dots, N+1; \quad (7)$$

$$T_j^+ > T_j^-; \quad \Delta T_j \geq 0; \quad j = 1, 2, \dots, N.$$

**Решение задачи.** Первое условие (7) определяет границы допустимого интервала температур нефти в трубопроводе. Второе условие означает, что нефть на пунктах подогрева охлаждаться не может.

Из (4) следует:

$$T_{j-1}^+ = b_j T_j^- + c_j; \quad j = 1, 2, \dots, N+1, \quad (8)$$

где  $b_j = e^{a k_j L_j}$ ;  $L_j = x_{j-1} - x_j$  - длина  $j$ -го линейного участка;  $c_j = (1 - b_j) \cdot T_{окр}$ .

С учетом соотношений (8) распишем выражения для перепадов температуры нефти на насосных станциях:

$$\begin{cases} \Delta T_1 = T_1^+ - T_1^- = b_2 T_2^- + C_2 - \frac{(T_0 - C_1)}{b_1}; \\ \Delta T_2 = T_2^+ - T_2^- = b_3 T_3^- + C_3 - T_2^{-b_1}; \\ \Delta T_3 = T_3^+ - T_3^- = b_4 T_4^- + C_4 - T_3^-; \\ \dots \dots \dots \\ \Delta T_j = T_j^+ - T_j^- = b_{j+1} T_{j+1}^- + C_{j+1} - T_j^-; \\ \dots \dots \dots \\ \Delta T_N = T_N^+ - T_N^- = b_{N+1} T_{N+1}^- + C_{N+1} - T_N^- . \end{cases} \quad (9)$$

Подставляя (9) в выражение стоимости затрат топлива (6) будем иметь:

$$S_T = 3vt \left\{ \sum_{j=2}^N (y_{j-1} b_j - y_j) T_j^- + y_{N_T} b_{N+1} T_{N+1}^- \right\} + d, \quad (10)$$

где  $d = 3vt \left\{ \sum_{j=1}^N y_j C_{j+1} - y_1 \left( \frac{T_0 - C_1}{b_1} \right) \right\}$  - известная величина.

Найдем минимум  $S_T$  по  $T_j^-$ :

$$\min S_T = 3vt \left\{ \sum_{j=2}^N \min(y_{j-1} b_j - y_j) T_j^- + \min(y_{N_T} b_{N+1} T_{N+1}^-) \right\} + d. \quad (11)$$

Заметим, что:

$$y_j > 0; \quad b_{j+1} > 1; \quad j = 1, 2, \dots, N.$$

Тогда из (11) следует, что температура на выходе трубопровода должна быть всегда минимально возможной, т.е.

$$T_{N_T+1}^- = T_{min}. \quad (12)$$

Если на всех тепловых станциях использовать одно и то же топливо и один и тот же типы печей, т.е. если  $y_j = y = const$ ,  $j = 1, 2, \dots, N_T$ , то минимум стоимости затрат будет в том случае, когда нефть приходит к тепловым станциям с минимально допустимой температурой:

$$T_j^- = T_{min}, \quad j = 1, 2, \dots, N,$$

так как  $(y_{j-1} b_j - y_j) = y(b_j - 1) > 0$  в силу (11).

Рассмотрим общий случай.

Если в (11)  $(y_{j-1} b_j - y_j) > 0$ , или

$$\left[ \frac{z_{j-1}}{y_{j-1} w_{j-1} \eta_{j-1}} \exp\left(\frac{4k_j L_j}{\rho c v D}\right) - \frac{z_j}{y_j w_j \eta_j} \right] > 0,$$

то для минимума стоимости топливных затрат необходимо, чтобы:

$$T_j^- = T_{min}, \quad j = 1, 2, \dots, N_T.$$

Если  $(y_{j-1} b_j - y_j) < 0$ , или

$$\left[ \frac{z_{j-1}}{y_{j-1} w_{j-1} \eta_{j-1}} \exp\left(\frac{4k_j L_j}{\rho c v D}\right) - \frac{z_j}{y_j w_j \eta_j} \right] < 0, \quad (13)$$

то следует положить  $T_{j-1}^+ = T_{max}$ .

Физически это означает, что нефть из  $j$ -ой тепловой станции должна выходить с максимально возможной температурой. При этом на  $j$ -ую тепловую станцию нефть может поступить с большей температурой, чем должна выйти по условию минимума стоимости

$$T_j^- > T_j^+,$$

т.е. может нарушиться второе условие (7).

В этом случае необходимо исключить  $j$ -ую тепловую станцию и решить задачу оптимизации повторно.

Математически это означает, что  $\Delta T_j = 0$  или  $T_j^+ = T_j^-$ . Покажем, что это действительно так. Используя (5) и (8), найдем зависимость между  $T_{j+1}^+$  и  $T_j^-$ :

$$T_j^- = \Delta T_j - b_{j+1} T_{j+1}^- - c_{j+1}. \quad (14)$$

С учетом (14) стоимость затрат топлива (10) перепишем в виде:

$$S_T = 3vt \left\{ \sum_{l=2}^{j-1} (y_{l-1} b_l - y_l) T_l^- + (y_{j-1} b_j b_{j+1} - y_{j-1}) T_{j+1}^- + (y_j - y_{j-1} b_j) \Delta T_j + \sum_{l=j+2}^N (y_{l-1} b_l - y_l) T_l^- + y_N b_{N+1} T_{N+1}^- \right\} + d + d',$$

где  $d' = c_{j+1} (y_{j-1} b_j - y_j)$  - известная величина.

Отсюда поскольку в силу (13)  $(y_j - y_{j-1} b_j) > 0$ , для минимума  $S_T$  необходимо положить  $\Delta T_j = \min \Delta T_j = 0$ , т.е. включить  $j$ -ую станцию.

Теперь минимизация стоимости затрат топлива сводится к исследованию знака  $(y_{j-1} b_j b_{j+1} - y_{j-1})$  или

$$\frac{z_{j-1}}{y_{j-1} w_{j-1} \eta_{j-1}} \exp \left[ \frac{4k_j L_j + k_{j+1} L_{j+1}}{\rho c v D} \right] - \frac{z_{j+1}}{y_{j+1} w_{j+1} \eta_{j+1}}. \quad (15)$$

Если выражение (15) положительно, то для оптимизации необходимо, чтобы  $T_{j+1}^- = T_{min}$ , при этом

$$a T_{j+1}^+ = b_j b_{j+1} T_{min} + b_j c_{j+1} + c_j.$$

В случае выполнения второго условия (7) решение задачи затрат топлива можно считать завершенным, а при его нарушении следует выключить  $(j+1)$ -ую тепловую станцию и повторить вышеизложенные рассуждения. При этом задача оптимизации сведется к определению знака следующего выражения:

$$\frac{z_{j-1}}{y_{j-1} w_{j-1} \eta_{j-1}} \exp \left[ \frac{4k_j L_j + k_{j+1} L_{j+1} + k_{j+2} L_{j+2}}{D \rho c v} \right] - \frac{z_{j+2}}{y_{j+2} w_{j+2} \eta_{j+2}}. \quad (16)$$

Увеличение экспоненты в (15), (16) и монотонность убывания температуры нефти на участках трубопровода гарантируют сходимость предложенного алгоритма.

При  $(y_{j-1} b_j - y_j) = 0$  для минимума стоимости затрат на топливо (10) температура  $T_j^-$  может принимать любое значение из интервала  $\left[ T_{min}, \frac{1}{b_j} (T_{max} + C) \right]$  при соблюдении условия (12).

**Постановка гидравлической задачи минимизации стоимости электроэнергии.** Для установившегося режима течения из (1), (3) будем иметь систему уравнений движения для каждого линейного участка [5]:

$$P_j(x) = P_{j-1}^+ - f_j(x), \quad x \in [x_{j-1}, x_i], \quad j = 1, 2, \dots, (N+1), \quad (17)$$

где  $f_j(x_j) = \rho g [h(x_j) - h(x_{j-1})] + A \beta v^m (x_j - x_{j-1})$ ,  $A = \frac{\rho g}{D^{m+1}} \cdot \left( \frac{\pi w}{4} \right)^{2-m}$ .

Граничное условие имеет вид:

$$P^-(0) = P_0, \quad (18)$$

а условия стыковки на насосных станциях соответственно:

$$P_j^+ = P_j^- + \Delta P_i, \quad j = 1, 2, \dots, N. \quad (19)$$

При этом стоимость электроэнергии на промежуточных насосных станциях будет равна:

$$S_H = \kappa wt \sum_{j=1}^{N_H} \varphi_j \Delta P_j, \quad j = \overline{1, N}, \quad (20)$$

где  $\kappa = \frac{\pi D^2}{4}$ ;  $\varphi_j = \frac{Z_j^H}{\eta_j^H}$ ,  $Z_j^H$  – стоимость единицы электроэнергии,  $j$ -ой станции,  $\eta_j^H$  –

коэффициент полезного действия  $j$ -ой насосной станции,  $\Delta P_j$  – изменение давления на  $j$ -ой станции.

Ставится задача: найти такие перепады давления  $\Delta P_j$  на насосных станциях, при которых стоимость затрат на топливо (20) была бы минимальной при соблюдении технологических ограничений:

$$P_{min} \leq P_j(x) \leq P_{max}, \quad x \in [x_{j-1}, x_j], \quad j = 1, 2, \dots, N+1, \quad (21)$$

$$P_j^+ \geq P_j^-, \text{ или } \Delta P_j \geq 0, \quad j = 0, 1, \dots, N. \quad (22)$$

**Решение задачи.** Если трубопровод расположен на пересеченной местности ( $h(x) \neq const$ ), ограничения (21) на концах линейных участков можно представить в виде:

$$\begin{aligned} \max\{P_{min}, P_{min} + \sup f_j(x)\} \leq P_{j-1}^+ \leq \min\{P_{max}, P_{max} + \inf f_j(x)\}, \\ x \in [x_{j-1}, x_j], \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \max\{P_{min}, P_{min} - \inf f_i(x)\} \leq P_i^- \leq \min\{P_{max}, P_{max} - \sup f_j(x)\}, \\ x \in [x_{j-1}, x_j]. \end{aligned}$$

Перепады давлений на станциях согласно (17)-(19) запишутся в виде:

$$\left\{ \begin{aligned} \Delta P_0 &= P_0^+ - P_0^- = P_1^- - P_{bx} + f_1(x_1); \\ \Delta P_1 &= P_1^+ - P_1^- = P_2^- - P_1^- + f_2(x_2); \\ \Delta P_2 &= P_2^+ - P_2^- = P_3^- - P_2^- + f_3(x_3); \\ &\dots \dots \dots \\ \Delta P_j &= P_j^+ - P_j^- = P_{j+1}^- - P_j^- + f_{j+1}(x_{j+1}); \\ &\dots \dots \dots \\ \Delta P_N &= P_N^+ - P_N^- = P_{N+1}^- - P_N^- + f_{N+1}(x_{N+1}). \end{aligned} \right. \quad (24)$$

Подставляя (24) в (20), получим

$$S_H = \kappa wt \left[ \sum_{j=1}^{N_H} (\varphi_{j-1} - \varphi_j) P_j^- + F + \varphi_N \cdot P_{N+1}^- \right], \quad (25)$$

где  $F = \sum_{j=1}^{N+1} \varphi_{j-1} f_j - \varphi_0 P_{ex}$  – известная величина.

Найдем минимум  $S_H$  по  $P_j^-$

$$\min S_H = \kappa wt [\min \sum_{j=1}^N (\varphi_{j-1} - \varphi_j) P_j^- + F + \min \varphi_N \cdot P_{N+1}^-]. \quad (26)$$

Заметим, что  $\varphi_j > 0$ ,  $j=0,1,\dots, N$ . Тогда из (26) следует, что достижения минимума  $S_H$  давление на выходе трубопровода должно быть всегда минимально возможным, т.е.

$$P_{N+1}^- = \max\{P_{min}, P_{min} - \sup f_{N+1}(x)\} x \in [x_{j-1}, x_j]. \quad (27)$$



На входе промежуточной  $j$ -ой насосной станции для минимизации стоимости электроэнергии необходимо поддерживать минимально допустимое давление, если

$$\varphi_{j-1} - \varphi_j > 0, \quad (28)$$

и максимально допустимое, если

$$\varphi_{j-1} - \varphi_j < 0. \quad (29)$$

В последнем случае давление на входе  $j$ -ой станции может оказаться больше, чем на ее выходе, т.е. может нарушаться условие (22). Тогда необходимо выключить  $j$ -ую насосную станцию и решать задачу оптимизации повторно.

В самом деле, используя (17), (19), найдем зависимость между  $P_j^-$  и  $P_{j+1}^-$

$$P_j^- = P_{j+1}^- - \Delta P_j + f_{j+1}. \quad (30)$$

С учетом (30) стоимость электроэнергии (25) перепишем в виде:

$$S_H = \kappa w t \left[ \sum_{l=1}^{l=j-1} (\varphi_{l-1} - \varphi_l) P_l^- + (\varphi_{j-1} - \varphi_{j+1}) P_{j+1}^- + (\varphi_j - \varphi_{j-1}) \Delta P_j + \sum_{l=j+2}^{l=N} (\varphi_{l-1} - \varphi_l) P_l^- + F' + \varphi_{N+1} P_{N+1}^- \right],$$

где  $F' = F + \varphi_l \cdot f_j$ .

Так как в силу (29)  $\varphi_j - \varphi_{j-1} > 0$ , то для минимума необходимо положить  $\Delta P_j = \min \Delta P_j = 0$ , т.е. выключить  $j$ -ую насосную станцию.

Теперь минимизация стоимости электроэнергии сводится к исследованию знака выражения  $\varphi_{j-1} - \varphi_{j+1}$  и так далее.

Если стоимость электроэнергии и КПД насосов на всех насосных станциях одинакова, т. е., если

$$\varphi_{j-1} - \varphi_j = 0, \quad j = 1, 2, \dots, N-1,$$

то для достижения минимума стоимости энергетических затрат (26) давление  $P_i^-$  может принимать любое значение из интервала (23) при соблюдении условия (27).

Замечание. Если на некоторых границах линейных участков  $j$  не работает тепловая или насосная станция, то этих точках имеем условия  $\Delta T_j = 0$  или  $\Delta P_j = 0$ .

**Выводы.** В данной работе поставлена и решена задача минимизации стоимостных затрат на нагрев нефти при транспортировке и стоимости затрат электроэнергии по магистральному нефтепроводу с промежуточными тепловыми и насосными станциями. Получены условия оптимизации стоимости нагрева нефти и минимизации стоимости электроэнергии, исходя из характеристик перекачиваемой жидкости и режимов транспортировки. Результаты работы будут полезны при прогнозах и управлении трубопроводным транспортом нефти в конкретных ситуациях.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Агапкин В.М., Кривошейн Б. Л., Юфин В. А. Тепловой и гидравлический расчет трубопроводов для нефти и нефтепродуктов. – М.: Недра, 1981. – 256 с.
- [2] Жумагулов Б.Е., Смагулов Ш.С., Евсеева А.У., Нестеренкова Л.А. Трубопроводный транспорт высоковязких и высокозастывающих нефтей. - Алматы: НИЦ Гылым, 2002. - 140 с.
- [3] Нестеренкова Л. А. Математическое моделирование неизотермического течения высокопарафинистой нефти в трубопроводе. Высшая школа Казахстана, Информационные технологии. 2013, №2(1), с. 156-159.
- [4] Тугунов П. И. Нестационарные режимы перекачки нефтей и нефтепродуктов. – М.: Недра, 1984. – 263 с.
- [5] Нестеренкова Л.А. Математическое моделирование установившихся течений жидкости по трубопроводам. /Методическое пособие. – Алматы, Казак Университеті, 1998. - 41с.
- [6] Юкин А. Ф. Управление тепловыми режимами транспорта высоковязких и застывающих нефтей и нефтепродуктов. Автореферат дисс. на соискание ученой степени доктора технических наук. Уфа 2004. – 49 с.

Нестеренкова Л.А., Нестеренков П. А.

**Изотермиялық емес мұнай құбырындағы жұмыс құнын төмендету**

**Түйіндеме.** Аралық жылу және сорғыш станциялары бар құбыр арқылы жоғары тұтқырлықты майларды изотермиялық емес тасымалдау кезінде отын мен энергия шығындарын азайту міндеті қойылды және шешілді. Қозғалыс теңдеуі, энергия, шекаралас шарттар мен пайдаланылған отын мен электр қуатының құны бойынша ұсынылған математикалық модельге сәйкес, көрсетілген параметрлерге байланысты мұнай құбыры арқылы оңтайлы мұнай ағынын болжауға мүмкіндік беретін теңсіздік алынады.

**Түйінді сөздер:** құбыр желісі, жоғары тұтқырлықтағы май, температура, отын мен электр энергиясының құнын төмендету.

УДК 51(092)+512.71+512.77

**M. Mustafin**

(Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan)

E-mail:medeu@rambler.ru)

**GALIM MUSTAFIN AND HIS CONTRIBUTION TO THE ALGEBRAIC GEOMETRY**

**Abstract.** This article is devoted to Galim Mustafin – outstanding mathematician, specialist on algebraic geometry. Some his classical results are discussed and great world mathematicians say about his contribution to the algebraic geometry.

**Key words:** algebraic geometry.

Outstanding mathematician Galim Mustafin (16.04.1948-12.08.2018) belongs to world-famous school of *Algebraic Geometry* of prof. Juri Manin - famous modern Russian scientist whose pupils had become a great mathematicians. One of them is Galim Mustafin.

***Classical works of Galim Mustafin on algebraic geometry are very actual until today.***

- Constructed by G.A.Mustafin (and A.Kurihara)  $p$ -adic uniformization allowed D.Mumford to find first example of «fake project plane».

- G.Mustafin proved geometrical analogue of Mumford-Tate hypotheses This result was highly estimated by algebraic geometers.

- Famous in algebraic geometry *theorem about “three points”* “was firstly formulated and proved by Galim Mustafin.

- Serious rich in content G.Mustafin’ works always had interested by great mathematicians of world as Fields laureate (1974) **David Mumford**, Fields laureate (1986) **Gerd Faltings**, who referred on G.Mustafin’s articles in their works:

***D.Mumford, “An algebraic surface with  $K$  ample,  $(K^2)=9$ ,  $p_g=q=0$ ”,***

***G.Faltings, “Toroidal resolutions for some matrix singularities.***

- *Important ideas of modern algebraic geometry introduced West mathematicians forever* connected with name of Galim Mustafin: **Mustafin Varieties, Mustafin degenerations, Mustafin Triangles, Mustafin uniformization, Theorem Mumford-Mustafin-Kurihara.**

- *Classical theorems* of Galim Mustafin are included in programs on *algebraic geometry* at the some Universities of Europe and Japan.

For the first time in honor of outstanding scientist of Kazakhstan Galim Mustafin International Mathematical Conference «**Tropical Geometry**» had been in Spain (Barcelona, 2013) dedicated to his classical works and important contribution to modern algebraic geometry (below full names of reports are given):

**Mustafin I: Bruhat -Tits Building**

**Mustafin II: Formal Models (and Mustafin Varieties)**

**Mustafin III: Compactification (of the Bruhat -Tits Building)**

**Mustafin IV: Hyperbolic Groups and uniformized varieties**

- Recently with using results of Galim Mustafin had been defended PhD Dissertation (Tübingen, March 2018) *Hahn, Marvin Anas «Combinatorics and degenerations in algebraic geometry: Hurwitz numbers, Mustafin varieties and tropical geometry».*

- *Classical Theorems* of Galim Mustafin are included in Programs of special courses of Algebraic Geometry at some European Universities.

Сырманова К.К., Агабекова А.Б., Тилеуов Г.Е., Жумаханова Г.А., Калдыбекова Ж.Б., Байжанова Ш.Б. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ БИТУМА.....	458
Сырманова К.К., Алипбекова Ж.К., Сакибаева С.А., Калдыбекова Ж.Б., Байжанова Ш.Б. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ, ИСПОЛЪЗУЕМОЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА БИТУМОВ И АСФАЛЬТОБЕТОНОВ.....	463

#### Физико-математические науки

Койшыбаев А.Б., Велямов Т.Т. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЦИФРОВОГО ИМПУЛЬСНОГО УПРАВЛЕНИЯ МОДУЛЯЦИЕЙ, РАЗРАБОТАННЫХ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ.....	467
Абдуллин Х.А., Калкозова Ж.К., Мукашев Б.Н., Мухамедшина Д.М., Серикканов А.С. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СИНТЕЗА НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ОКСИДА ЦИНКА И ПОЛУЧЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ФОТОКАТАЛИЗАТОРОВ.....	472
Сармасаев М., Айтан Н., Жанабекова Ж., Мукиат С. О ДИДАКТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ПРИНЦИПАХ ПОСТРОЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОГО ФИЗИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ.....	480
Сармасаев М., Айтан Н., Жанабекова Ж., Мукиат С. К ВОПРОСУ КАЧЕСТВА СОДЕРЖАНИЙ «СТАНДАРТА ОБРАЗОВАНИЯ» И ЕГО «КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ» ПО ФИЗИЧЕСКОМУ ОБРАЗОВАНИЮ.....	485
Мукушев Б.А., Алимкулова Э. Ж., Жокижанова С.К., Ибатаев Ж.А., Нургазина Г.М., Нургалиева Д.А., Сыдыкова Ж.К., Ерженбек ПРЕЕМСТВЕННОСТЬ В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПОНЯТИЯ «ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ».....	491
Мукушев Б.А., Абельдина Ж.К., Жанайдарова Ж.Х., Нурбатырова Т.С., Шакерхан Н., Сыдыкова Ж.К., Ерженбек Б. ФОРМИРОВАНИЕ ПОНЯТИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ.....	496
Касымбек Н.М., Маткерим Б., Иманкулов Т.С., Ахмед-Заки Д.Ж. АНАЛИЗ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ПУАССОНА МЕТОДОМ ILU(0)-GMRES.....	500
Сакабеков А.С., Мадалиева С.Н. РЕШЕНИЕ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ СТАЦИОНАРНОЙ ЛИНЕЙНОЙ ОДНОМЕРНОЙ СИСТЕМЫ МОМЕНТНЫХ УРАВНЕНИЙ БОЛЬЦМАНА В ТРЕТЬЕМ ПРИБЛИЖЕНИИ ПРИ ОБОБЩЕННЫХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ВЛАДИМИРОВА-МАРШАКА КОНЕЧНО-РАЗНОСТНЫМ МЕТОДОМ.....	507
Кенжебек Е.Г. АЛГОРИТМ ЯНЕНКО ДЛЯ ОДНОМЕРНОГО УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ.....	512
Вуйчик В., Калижанова А.У., Кисала П., Кашаганова Г.Б., Козбакова А.Х. ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ С ВОЛОКОННОЙ РЕШЕТКОЙ БРЭГГА.....	517
Калижанова А.У., Ахметов С.С., Набиева Г.С. МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ.....	524
Нестеренкова Л.А., Нестеренков П.А. МИНИМИЗАЦИЯ СТОИМОСТИ РАБОТЫ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО НЕФТЕПРОВОДА.....	528
Мустафин М. ГАЛИМ МУСТАФИН И ЕГО ВКЛАД В АЛГЕБРАИЧЕСКУЮ ГЕОМЕТРИЮ.....	535
Оразбаев Б.Б., Шангитова Ж.Е., Кенжебаева Т.С., Оразбаева К.Н., Курмангазиева Л.Т. МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА СЕРЫ НА ОСНОВЕ ДИАГРАММЫ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ РЕАКТОРА КЛАУСА.....	537
Ибраев А.Т. СОСТАВЛЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОЗИТНЫХ ВЕКТОРОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ.....	542
Исатаев А.С., Жуматов С.С. ВТОРОЙ МЕТОД ЛЯПУНОВА В ЗАДАЧЕ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО КОНТУРА.....	548
Молдакалыкова А.Ж., Наурызбаева А.И., Бижанова А.С. ЗАДАЧА О РАСПРЕДЕЛЕНИИ МАССИВОВ БАЗ ДАННЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ В УЗЛАХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.....	555