

HOW TO TAKE INTO ACCOUNT THE DISTRIBUTION OF LOAD IN DISTRIBUTION LINES 10KV FOR OPTIMAL ALLOCATION OF SWITCHES

Described an approach for linearization of objective function "underdelivery of power to consumers" for distribution power networks 10kV. A method for taking into account the load distribution along power lines is described for several cases such as 1) uniform distribution of load; 2) concentration of load at the beginning of the line; 3) concentration of load at the end of the line. The parameters of proposed distribution function are estimated. The results can be used to determine analytically the optimal allocation of switches in order to reduce the underdelivery of electric power. Also, the approach will allow developing recommendations for the process of choosing optimal places for switch installation in power lines.

Key words: switching device, target function, underdelivery of power to consumers, power distribution.

1. Reliability of electric power supply systems / V.V. Zorin, V.V. Tislenko, F. Kleppel, G. Adler. – K.: Vishcha shkola, 1984. – 192p.
2. Kozyrskiy V.V., Gay O.V. The optimal number of switches in power distribution networks 10kV // Electrification and automatization of agriculture. – 2004. – №2(7). – С.12-20.
3. Buinyi R.A., Zorin V.V., Tislenko V.V. Zone structure method for reliability optimization of distribution lines 10kV // Electrification and automatization of agriculture. – 2004. – №2(7). – С.30-35.
4. Kozyrskiy V.V., Gay O.V., Kostiuk V.A., Petrov P.V. An approach for recloser placement in distribution networks // Electrification and automatization of agriculture. – 2012. – №6. – С.6-12.
5. Taha H. Operations research: An Introduction. – M.: Mir, 1985. – 479p.
6. Pruss V.L., Tislenko V.V. Reliability improvement of rural electric power distribution networks. – L.: Energoatomizdat, 1989. – 209p.

УДК 621.311

Р.А. БУЙНЫЙ

УЧЕТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ВДОЛЬ ЛЭП ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ РАЦИОНАЛЬНЫХ МЕСТ УСТАНОВКИ СЕКЦИОНИРУЮЩИХ КА В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 10 КВ

Предложено подход по линеаризации целевой функции «недоотпуск электрической энергии потребителям» для распределительных электрических сетей напряжением 10 кВ, который позволит аналитически определять рациональные места установки секционирующих коммутационных аппаратов и разработать рекомендации по выбору мест их установки.

Ключевые слова: секционирующий коммутационный аппарат, целевая функция, недоотпуск электрической энергии, зависимость распределения мощности.

УДК 622.276

Т.О. РИНКОВА, М.Ю. ВАСИЛЬЧЕНКО, Т.М. КОВТАНЮК

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ГАЗЛІФТНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГЕОТЕРМАЛЬНИХ СВЕРДЛОВИН

Проблема інтенсифікації робочих процесів при газліфтній експлуатації геотермальних свердловин є актуальною і важливою задачею. У статті проаналізовано зв'язки між основними параметрами, які характеризують роботу газліфта. Отримані результати порівнюються з даними, що наведені у технічній літературі. При певній глибині занурення змішувача газліфта побудовані залежності висоти підйому повітряно-водяної суміші, потужності компресора і коефіцієнта корисної дії газліфта від масової частки повітря в емульсії. Характер залежностей відповідає фізичним уявленням про процес газліфтною експлуатації геотермальних свердловин.

Ключові слова: газліфт, геотермальна свердловина, коефіцієнт корисної дії газліфта, енергетичні характеристики, математичне моделювання.

Вступ та постановка проблеми. Процеси, які відбуваються під час газліфтною експлуатації геотермальних свердловин, є складними та багатofакторними. Дослідження цих процесів неможливо без

встановлення зв'язків між величинами, які його характеризують. Тому при дослідженні доцільно використовувати метод математичного моделювання. Математичне моделювання є методом наукового дослідження, який оснований на пізнанні процесів за допомогою математичної моделі.

Метод математичного моделювання включає в себе вирішення таких трьох задач. По-перше, встановлюються зв'язки між основними параметрами процесу. Далі складається система математичних рівнянь, які описують процес. До таких рівнянь відносяться матеріальні і енергетичні баланси, а також залежності, що характеризують специфічні особливості процесу. Ця система рівнянь називається математичним описом або математичною моделлю процесу.

Друга задача полягає у реалізації математичної моделі об'єкта дослідження на комп'ютері. По результатах досліджень будуються таблиці, графіки, робляться висновки та рекомендації.

Змістом третьої задачі є перевірка відповідності математичної моделі реального процесу. На цьому етапі оцінюється наскільки припущення, які прийняті при складанні математичної моделі, є правильними. Це робиться методами математичної статистики. Під час складання математичної моделі треба пам'ятати, що кількість рівнянь математичної моделі повинна дорівнювати кількості невідомих, інакше ця система не зможе бути вирішена.

Математична модель процесу газліфтної експлуатації геотермальних свердловин складається на основі законів гідростатики, суцільності та нерозривності потоку, законів ідеальних і реальних газів, законів нагнітання у охолоджувальних компресорах та деяких залежностей, які базуються на теорії і практиці експлуатації газліфтних свердловин [1, 2, 3].

Складання математичної моделі. Фізичні уявлення про процес. Основним елементом, який збільшує дебіт геотермальної свердловини є газліфт. Принцип роботи газліфта засновано на явищі зниження густини рідини за рахунок введення газу, який змішуючись з рідиною, утворює емульсію, що піднімається вгору на певну висоту злива (рис. 1).

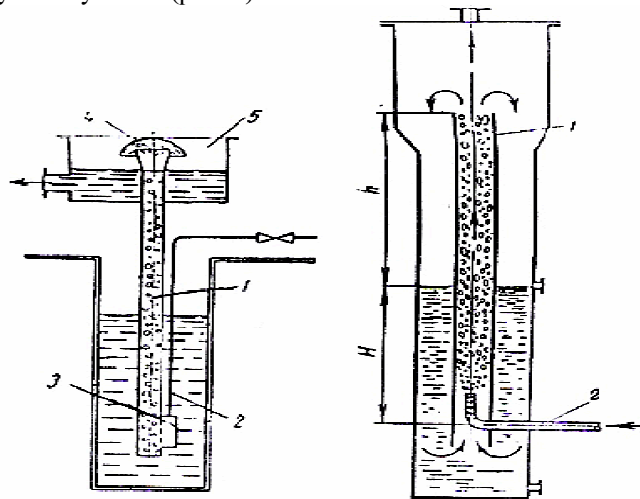


Рис. 1. Газліфтна система: 1 – піднімальна труба; 2 – труба для подавання стисненого повітря; 3 – змішувач; 4 – відбійник; 5 – збірник.

Висота підняття емульсії в трубі визначається її густиною та глибиною занурення газліфта. Позначимо густину емульсії $\rho_{см}$, а густину геотермальної води ρ . За законом сполучених посудів можна визначити рівень підйому емульсії під час подачі стисненого повітря:

$$\rho \cdot H = \rho_{см} \cdot (H + h), \quad (1)$$

де H – глибина занурення газліфта, м;

h – висота підйому рідини, м;

$(H+h)$ – висота підйому емульсії, м.

Розкриємо дужки та знайдемо висоту підйому рідини h :

$$h = \left(\frac{\rho}{\rho_{см}} - 1 \right) \cdot H. \quad (2)$$

З рівняння (2) випливає, що підняття рідини на висоту h залежить від відношення $\rho/\rho_{см}$ та глибини занурення газліфта. У рівняннях (1) і (2), якщо глибину занурення газліфта H вважати відомою, то маємо три невідомі величини – ρ , $\rho_{см}$ і h .

Густину геотермальної води ρ можна визначити за її температурою $t_{вод}$, користуючись таблицями теплофізичних властивостей речовин [7]. Тоді у вихідних даних при реалізації математичної моделі необхідно задатися цією величиною:

$$\rho = f(t_{вод}). \quad (3)$$

Густина емульсії знайдеться, як густина суміші:

$$\rho_{см} = \rho_{нов2} \cdot \varphi + (1 - \varphi) \cdot \rho, \quad (4)$$

де φ – газоміст повітря у емульсії, %;

$\rho_{нов2}$ – густина стисненого повітря, яке, стискуючись у компресорі до високого тиску P_2 , подається у змішувач газліфта, кг/м³.

Газоміст повітря у суміші згідно літературних джерел [5] і на основі експериментальних досліджень рекомендується приймати у діапазоні $\varphi = 0,4 - 0,6$. Під час реалізації моделі φ розглядається як стала величина.

Густина повітря знайдемо з рівняння стану реальних газів:

$$\rho_{нов2} = \frac{P_2}{R \cdot T_2 \cdot z}, \quad (5)$$

де P_2 – тиск повітря на виході з охолоджувального компресора, Па;

T_2 – температура повітря на виході з компресора, К;

z – коефіцієнт стисливості.

Згідно законів гідростатики тиск газу в точці вводу у підйомну трубу газліфта буде пропорційним глибині занурення змішувача або башмака газліфта H і не може бути меншим за відоме співвідношення:

$$P_2 \geq H \cdot \rho \cdot g + \Delta p, \quad (6)$$

де Δp – втрати тиску газоводяної суміші на подолання тертя, місцевих опорів і прискорення потоку у підйомному каналі газліфта.

Що стосується температури стисненого газу (повітря), то у охолоджувальному компресорі $T_2 = T_1$, тому що процес стиснення йде при постійній температурі, що забезпечується відводом теплоти при стисненні, завдяки водяній “рубашці” компресора, в якій циркулює охолоджувальна вода. Це допомагає тримати температуру стисненого газу в межах менших температури розкладання змащувальних матеріалів, а також поліпшує роботу компресора.

Коефіцієнт стисливості z для реальних газів знаходиться за формулою:

$$z = \frac{P_2 \cdot v_2}{R \cdot T_2}, \quad (7)$$

де v_2 – питомий об’єм стисненого газу, м³/кг;

R – питома газова стала, Дж/кг·К.

Маючи значення P_2 і T_2 , ця величина визначається за графіками або за таблицями [9]:

$$z = f(P_2, T_2, R). \quad (8)$$

В залежності (6) втрати тиску на подолання тертя, місцевих опорів і на прискорення рідини в підйомній трубі газліфта визначаються за відомими формулами:

$$\Delta p = \Delta p_{тр} + \Delta p_{м.о} + \Delta p_{пр}, \quad (9)$$

де $\Delta p_{тр}$ – втрати тиску на подолання тертя у каналі, Па;

$\Delta p_{м.о}$ – втрати тиску на подолання місцевих опорів у підйомній трубі, Па;

$\Delta p_{пр}$ – втрати тиску, обумовлені прискоренням потоку геотермальної води, Па.

Згідно літературних даних:

$$\Delta p_{тр} = \lambda_{тр} \cdot \frac{l}{d_{ек}} \cdot \frac{\rho \cdot W^2}{2}, \quad (10)$$

де $\lambda_{тр}$ – коефіцієнт тертя;

l – довжина каналу, м;

$d_{ек}$ – еквівалентний діаметр каналу, м;

ρ – густина рідини, яка рухається у каналі, кг/м³;

W – швидкість руху рідини, м/с.

Знову з’являються чотири невідомих $\lambda_{тр}$, l , $d_{ек}$, W . Коефіцієнт тертя ($\lambda_{тр}$) є функцією числа Рейнольдса (Re) та відносної шорсткості каналу (e). Як відомо, число Рейнольдса, яке визначає вимушений рух рідини, знаходиться за формулою:

$$Re = \frac{W \cdot d_{ек}}{\nu}, \quad (11)$$

де ν – кінематична в’язкість рідини, яка вибирається за таблицями теплофізичних властивостей рідини [7, 8] за її температурою, м²/с.

Тепер знайдемо відносну шорсткість:

$$e = \frac{\Delta}{d_{ек}}, \quad (12)$$

де Δ – абсолютна шорсткість каналу, м.

Абсолютна шорсткість каналу визначається висотою виступів шорсткості у мм, залежить від часу експлуатації каналу та матеріалу, з якого він зроблений [4, 5].

Значення еквівалентного діаметра довільного каналу залежить від площі поперечного перерізу каналу та периметра зрошування:

$$d_{ек} = \frac{f}{\pi}. \quad (13)$$

Довжина підйомної труби газліфта ($l=H+h$) дорівнює сумі глибини занурення змішувача газліфта та висоти підйому рідини до злива:

$$l = H + h. \quad (14)$$

Щодо втрат тиску суміші геотермальної води і газу (повітря) у підйомній трубі газліфта на подолання місцевих опорів, то їх можна розрахувати за залежністю:

$$\Delta\rho_{м.о} = \sum_{i=1}^n \xi_i \cdot \frac{\rho \cdot W^2}{2}, \quad (15)$$

де ξ_i – коефіцієнт i -го місцевого опору.

Значення ξ_i залежить від виду місцевих опорів, наприклад [5, 6]:

- 1) вхід у трубу з гострими краями – $\xi = 0,5$;
- 2) вихід з труби – $\xi = 1$;
- 3) вентиль нормальний при повному відкритті – $\xi = 4,1$.

Втрати тиску на прискорення руху емульсії обчислюються за залежністю [5]:

$$\Delta\rho_{np} = \frac{\rho_2 \cdot W_2^2}{2} - \frac{\rho_1 \cdot W_1^2}{2}, \quad (16)$$

де ρ_1, ρ_2 – густини потоку на вході і виході підйомного каналу, кг/м³;

W_1, W_2 – швидкості потоку на вході і виході каналу, м/с.

Оскільки, на початку роботи газліфта рідина була нерухомою $W_1 = 0$, тоді:

$$\Delta\rho_{np} = \frac{\rho \cdot W^2}{2}. \quad (17)$$

Визначення швидкостей та витратних характеристик. В залежностях (10), (11), (15), (16) і (17) входить швидкість руху емульсії у підйомному каналі. Ця величина ще неозначена. Вона може бути означена тільки тоді, коли розглядається конкретна конструкція газліфта. Тобто, для складання математичної моделі необхідно вибрати конструкцію газліфтного пристрою.

Існують різноманітні конструкції газліфтних підйомників. Вони можуть бути з центральною подачею природного газу (повітря), коли він заходить у підйомник по центральній трубі, а суміш газу та геотермальної води піднімається у міжтрубному просторі між осадною і центральною трубами (кільцевий канал). А може бути навпаки: повітря або газ подаються у міжтрубний простір, а газоводяна емульсія піднімається по центральній трубі.

Методику складання математичної моделі розглянемо для випадку однорядного газліфтного підйомника з центральною подачею газу (повітря).

Заданою розмірами осадної і центральної труб: $D_{ос} = 126$ мм, $\frac{d_{ос}}{d_{ос}} = \frac{50}{40}$ мм.

Знаючи діаметри центральної і осадної труб газліфтного підйомника та їх лінійні розміри, можна знайти швидкості руху газу (повітря) і газоводяної суміші з рівняння суцільності і нерозривності. Для стисненого газу запишемо рівняння наступним чином:

$$V_г = W_г \cdot f_г, \quad (18)$$

де $V_г$ – об'ємна витрата газу, м³/с;

$W_г$ – швидкість стисненого газу (повітря) у центральній трубі, м/с;

$f_г$ – площа поперечного перерізу центральної труби, м².

Площа поперечного перерізу визначиться за залежністю:

$$f_г = \frac{\pi \cdot d_{ос}^2}{4}. \quad (19)$$

Аналогічно можна знайти об'ємну витрату газоводяної суміші:

$$V_{см} = W_{см} \cdot f_{мтр}, \quad (20)$$

де $V_{см}$ – об'ємна витрата газоводяної суміші, яка і є дебітом геотермальної свердловини, м³/с;

$W_{см}$ – швидкість газоводяної суміші у міжтрубному просторі, м/с;

$f_{мтр}$ – площа міжтрубного простору підйомного каналу, м².

Площа міжтрубного простору підйомного каналу дорівнює:

$$f_{мтр} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{ос}^2 - d_{ос}^2). \quad (21)$$

Аналізуючи рівняння (15), (16), (17), (18) і (20), можна прийти до висновку, що величини об'ємних витрат і швидкостей газу та газоводяної суміші взаємообумовлені. Якщо відомі об'ємні витрати і поперечні перерізи каналів, то завжди можна знайти швидкості. І навпаки, знаючи величини швидкостей, можна встановити об'ємні витрати для заданої конструкції газліфта.

Виникає питання, що є пріоритетним. Під час газліфтно́ї експлуатації геотермальних свердловин обов'язково треба знати дебіт газліфтно́ї свердловини в м³/добу по гарячій воді. Його величина диктується вимогами споживачів щодо теплопостачання і опалення приміщень, а також природними запасами гарячої геотермальної води. Дебіт геотермальних свердловин може коливатись у широких межах: $V = V_{см} = (500 \div 1500) \frac{м^3}{добу}$.

Тобто, при складанні математичного опису об'ємна витрата геотермальної води повинна бути відомою. Всі інші величини повинні забезпечити потрібний дебіт геотермальної свердловини.

Параметри роботи компресора. Важливим параметром є об'ємна витрата повітря (газу), що подається у компресор $V_{нов_1}$, віднесена до нормальних технічних умов ($V_{нов_1} = 20^\circ C, P_1 = 0,1 МПа$), тому що стиснення повітря у компресорі до високих тисків, забезпечує роботу газліфта. На основі експериментальних досліджень [1, 4] пропонується ввести величину, яка називається питома витрата повітря (газу). Питома витрата повітря – це кількість повітря при нормальних фізичних умовах, яка необхідна для підняття 1 м³ води на висоту h . Її величина обчислюється за емпіричною формулою:

$$V_{нов}^{num} = \frac{1,75 \cdot h}{C \cdot \lg \frac{H+10}{10}}, \quad (22)$$

де C – коефіцієнт, числове значення якого залежить від відношення глибини занурення змішувача газліфта H до висоти підйому емульсії ($H+h$).

Необхідність знаходження $V_{нов}^{num}$ полягає в тому, що ця величина при заданому дебіті свердловини, дає змогу обчислити секундну та годинну витрату повітря на вході у компресор, а потім і потужність на привід компресора та оцінити затрати енергії на перебіг процесів у газліфті.

Секундна витрата газу (повітря) на основі визначеної питомої витрати, знайдеться за залежністю:

$$V_{нов_1} = V_{нов}^{num} \cdot V. \quad (23)$$

Причому, у формулі (23) дебіт свердловини повинен бути визначений в м³/с, а відношення $\frac{H}{H+h}$ обчислюється з рівняння (1) і дорівнює:

$$\frac{H}{H+h} = \frac{\rho_{см}}{\rho}. \quad (24)$$

Масову витрату повітря знайдемо, як добуток об'ємної витрати на густину газу на вході у компресор:

$$m_{нов} = V_{нов_1} \cdot \rho_{нов_1}. \quad (25)$$

Густина повітря при нормальних фізичних умовах визначиться з рівняння стану ідеальних газів:

$$\rho_{нов_1} = \frac{P_1}{R \cdot T_1}. \quad (26)$$

Потужність на привід компресора можна розрахувати як добуток масової витрати газу на питому роботу на привід компресора. Цей добуток треба поділити на коефіцієнт корисної дії компресора, який враховує втрати енергії в навколишнє середовище.

$$N_k = \frac{m_{нов} \cdot l_k}{\eta_{к_{із}}}, \quad (27)$$

де $\eta_{к_{із}} = 0,7$ – коефіцієнт корисної дії компресора;

l_k – питома робота на привід компресора, кДж/кг.

Питома робота на привід компресора при ізотермічному стисненні буде обчислена за відомою формулою:

$$l_{к_{із}} = \rho_1 \cdot v_1 \ln \frac{P_2}{P_1} = R \cdot T_1 \ln \frac{P_2}{P_1}, \quad (28)$$

де v_1 – питомий об'єм повітря на вході у компресор, м³/кг.

Питомий об'єм повітря на вході у компресор є величиною взаємо оберненою густині ρ_1 :

$$v_1 = \frac{1}{\rho_{нов_1}}. \quad (29)$$

Коефіцієнт корисної дії газліфта. Коефіцієнт корисної дії газліфта визначається відношенням енергії, необхідної для підняття 1 м³ рідини (геотермальної води) до енергії, яка витрачається на стиснення питомої кількості повітря (газу) до необхідного тиску P_2 [1].

Під час ізотермічного стиснення повітря (газу) у охолоджувальному компресорі коефіцієнт корисної дії компресора газліфта (η_l) може бути розрахований з рівняння [1, 3]:

$$\eta_l = \frac{\rho \cdot g \cdot (h + h_{гпр}) \cdot \eta_{к_{із}}}{\rho_{нов_1} \cdot V_{нов}^{num} \cdot \ln \frac{P_2}{P_1}}, \quad (30)$$

де h – висота підйому геотермальної води, м;

$h_{гпр}$ – гідравлічні втрати у піднімальному каналі геотермальної води на висоту h , коли цей підйом забезпечується зануреним насосом [1, 2, 3]. Згідно літературних джерел $h_{гпр} = (0,1 - 0,15) \cdot h$.

Зведемо всі рівняння (1) – (30) у систему, яка і є математичним описом або математичною моделлю процесів газліфтної експлуатації геотермальних свердловин, і сформулюємо постановку задачі.

Постановка задачі дослідження. Постановка задачі дослідження полягає у наступному: для певного дебіту геотермальної свердловини (V) та конструкції газліфтного підйомника визначити висоту підйому геотермальної води (h), питому ($V_{нов}^{num}$), секундну і годинну витрату повітря на вході у компресор ($V_{нов_1}$), потужність на привід компресора (N) та оцінити затрати енергії на перебіг процесів у газліфті (η_l) в порівнянні з підйомом геотермальної води на висоту h за допомогою зануреного насоса, якщо глибина занурення газліфта (H) змінюється від 100 м до 1000 м.

Для розв'язання поставленої задачі задамося наступними вихідними даними:

- Дебіт геотермальної свердловини $V, \text{м}^3/\text{добу}$.
- Тиск і температура повітря (газу) на вході у компресор $t_1 = 20^\circ\text{C}, P_1 = 0,1 \text{ МПа}$.
- Питома газова стала повітря $R = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$. Залежність густини повітря від температури $\rho_{\text{нов}} = f(t)$:

$t, ^\circ\text{C}$	- 30	- 20	- 10	0	10	20	30
$\rho_{\text{нов}}, \text{кг}/\text{м}^3$	1,453	1,395	1,312	1,293	1,243	1,205	1,165

- Вид компресора. Компресор охолоджувальний, процес стиснення йде при сталій температурі ($T_1 = T_2$). Коефіцієнт корисної дії компресора $\eta_{\text{кід}} = 0,7$.

• Конструкція газліфтного підйомника. Газліфт однорядний з центральною подачею повітря у змішувач (башмак) газліфта. Газоводяна суміш (емульсія) піднімається у кільцевому каналі. Розміри каналів: $D_{\text{вн}} = 126 \text{ мм}, \frac{d_{\text{вн}}}{d_{\text{вн}}} = \frac{50}{40} \text{ мм}$.

- Температура геотермальної води $t_{\text{вод}_1} = 90^\circ\text{C}$. Залежність густини геотермальної води від температури $\rho = f(t_{\text{вод}})$:

$t_{\text{вод}}, ^\circ\text{C}$	20	30	40	50	60	70	80	90
$\rho, \text{кг}/\text{м}^3$	998,7	995,7	992,2	983,1	983,2	977,8	971,8	965,3

- Параметри стисненого повітря $P_2 = 1,2 \cdot H \cdot \rho \cdot g, T_2 = T_1$.
- Залежність коефіцієнта стисливості повітря при 20°C від P_2 $z = f(P_2)$:

$P_2, \text{бар}$	10	20	40	60	80	90	100	150
z	1,087	1,086	1,082	1,08	1,0819	1,0818	1,083	1,099

- Значення коефіцієнта C в залежності висоти занурення газліфта в частках сумарної висоти підйому емульсії $C = f(\frac{H}{H+h})$:

$\frac{H}{H+h}$	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4
C	13,9	13,6	13,1	12,4	11,5	10,6	9,6

- Параметри повітряно-водяної емульсії (суміші) характеризуються певним значенням газовмісту $\varphi = 0,3; 0,4; 0,5; 0,6$ [5].

Реалізація математичної моделі. Реалізація математичної моделі була зроблена для глибини занурення газліфта 160 м та дебіту газліфтною свердловини $500 \text{ м}^3/\text{добу}$. На основі отриманих даних побудовані залежності висоти підйому повітряно-водяної емульсії, потужності компресора і коефіцієнта корисної дії газліфта від масової частки повітря у суміші (рис. 2).

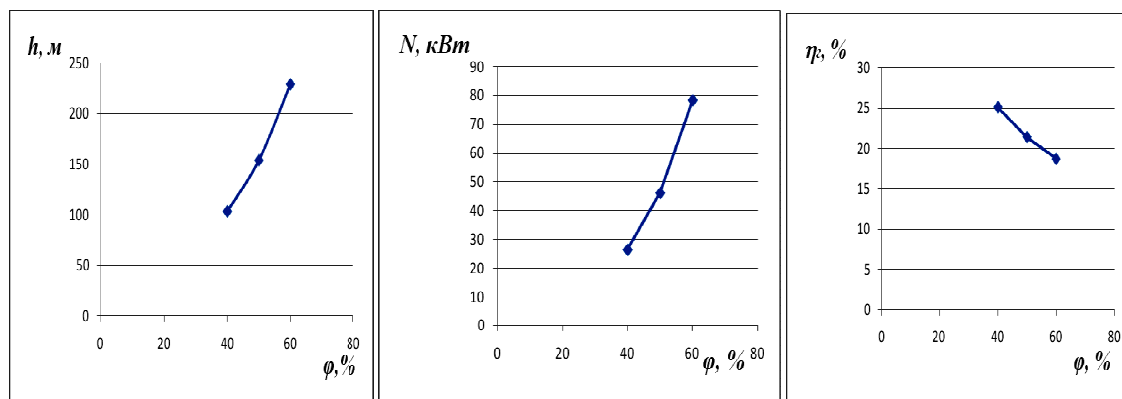


Рис. 2. Залежності параметрів енергоефективності роботи газліфта від газовмісту повітряно-водяної суміші при $H = 160 \text{ м}$ та $V = 500 \text{ м}^3/\text{добу}$.

Характер залежностей відповідає фізичним уявленням про процес газліфтно́ї експлуатації геотермальних свердловин, а також отримані результати збігаються з даними наведеними в технічній літературі [1, 2, 3].

Висновки

1. Проведені дослідження показали, що результати реалізації запропонованої методики розрахунку газліфтів задовільно збігаються з результатами, які наведені у технічній літературі. Зроблена спроба за допомогою метода математичного моделювання скласти модель складних та багатофакторних процесів газліфтно́ї експлуатації геотермальних свердловин.

2. При певній глибині занурення змішувача газліфта побудовані залежності висоти підйому повітряно-водяної суміші, потужності компресора під час роботи газліфта і коефіцієнта корисної дії газліфта від масової частки повітря в емульсії. Характер залежностей $h = f(\varphi)$; $N = f(\varphi)$; $\eta_a = f(\varphi)$ відповідає фізичним уявленням про процес газліфтно́ї експлуатації геотермальних свердловин.

3. При роботі промислових газліфтів процеси є набагато складнішими, а параметри, які їх характеризують, змінюються в широких межах. Тобто процеси, які відбуваються під час газліфтно́ї експлуатації геотермальних свердловин, є складними та багатофакторними, і при їх розрахунках потрібна велика кількість одноманітних повторюваних обчислень. Реалізація математичної моделі проведена для певних глибин занурення змішувача газліфта та дебіту геотермально́ї свердловини.

Література

1. Товажнянский Л.Л. Процеси та апарати хімічної технології. – Харків: НТУ "ХПІ", 2007. – 616 с.
2. Редько А.А. Методы повышения эффективности систем геотермального теплоснабжения. – Макеевка: ДонНАСА, 2010. – 302 с.
3. Мищенко И.Т. Расчеты в добыче нефти. – Москва, 1989. – 185 с.
4. Удыма П.Г. Аппараты с погружными горелками, изд. 2-ое, доп. и перераб. М.: Машиностроение, 1973. – 272 с.
5. Дытнерский Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1981. – 812 с.
6. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973. – 596 с.
7. Краснощеков Е.А. Задачник по теплопередаче. М.: Энергия, 1969. – 264 с.
8. Чеботарьев В.О. Технична термодинаміка. Підручник. К.: Вища школа, 1969. – 204 с.
9. Кислород. Справочник. Часть 1. Под редакцией Глизманенко Д.Л., М.: Металлургия, 1967. – 420 с.

T. RINKOVA, M. VASILCHENKO, T. KOVTANYUK

MATHEMATICAL MODEL OF PROCESS GASLIFT OPERATION FOR GEOTHERMAL CHINKS

A problem of intensification for working processes during gaslift exploitation of geothermal mining holes is an actual and important task. In the article connections are analysed between basic parameters that characterize work of gaslift. Results are compared to data that is driven in technical literature. At the certain depth of immersion of mixer gaslift dependences for height of getting up airily-aquatic mixture are built, powers of compressor and output-input gaslift ratio from the mass stake of air in emulsion. Character of dependences corresponds to the physical views about the process of gaslift exploitation for geothermal mining holes.

Keywords: gaslift, geothermal mining hole, output-input of gaslift ratio, power descriptions, mathematical design.

1. Tovajnyanskiy L.L. Protsezy ta aparaty khimichnoi tekhnologyi. – Kharkiv: NTU "KHPI", 2007. – 616 p.
2. Redko A.A. Metody povisheniya effektivnosti system geotermalnogo teplosnabjeniya. – Makeevka: DonNASA, 2010. – 302 p.
3. Mishenko I.T. Raschety v dobiche nefiti. – Moskva, 1989. – 185 p.
4. Udim P.G. Aparaty s pogryzhnimi gorelkami, izd. 2-oe, dop. i pererab. M.: Mashinostroenie, 1973. – 272p.
5. Ditnerskiy Y. I. Osnovniye protsezy ta aparaty khimichnoi tekhnologyi. M.: Khimiya, 1981. – 812 p.
6. Kasatkin A.G. Osnovniye protsezy ta aparaty khimichnoi tekhnologyi. M.: Khimiya, 1973. – 596 p.
7. Krasnotschekov E.A. Zadachnik po teploperedache. M.: Energiya, 1969. – 264 p.
8. Chebotaryov V.O. Tekhnichna termodynamika. Pidruchnik. K.: Viitscha schkola, 1969. – 204 p.
9. Kislorod. Spravochnik. Chast 1. Pod redaktsiye Glizmanenko D.L., M.: Metalurgiya, 1967. – 420 p.

УДК 622.276

Т.А. РЫНКОВАЯ, М.Ю. ВАСИЛЬЧЕНКО, Т.М. КОВТАНЮК
**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ГАЗЛИФТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ СКВАЖИН**

Проблема интенсификации рабочих процессов при газлифтной эксплуатации геотермальных скважин является актуальной и важной задачей. В статье проанализированы связи между основными параметрами, которые характеризуют работу газлифта. Полученные результаты сравниваются с данными, которые приведены в технической литературе. При определенной глубине погружения смесителя газлифта построены зависимости высоты подъема воздушно-водяной смеси, мощности компрессора и коэффициента полезного действия газлифта от массовой доли воздуха в эмульсии. Характер зависимостей соответствует физическим представлениям о процессе газлифтной эксплуатации геотермальных скважин.

Ключевые слова: газлифт, геотермальная скважина, коэффициент полезного действия газлифта, энергетические характеристики, математическое моделирование.

УДК 621.039

В.И. КОНЬШИН, В.А. САВОНИК

**ВЕРИФИКАЦИЯ ДАННЫХ ПО КРИЗИСУ ТЕПЛОТДАЧИ В
ТВС РЕАКТОРОВ ТИПА ВВЭР, ПОЛУЧЕННЫХ РАСЧЕТНЫМ
ПУТЕМ**

Проведена верификация данных по кризису теплоотдачи, которые были получены с помощью расчетного теплогидравлического кода RELAP-5/MOD3. Было обнаружено, что табличный метод ACEL, на котором основывается расчет критических тепловых потоков в коде RELAP, дает завышенные значения в области высоких давлений, по сравнению с экспериментальными данными, в среднем на 25%, но при снижении давления завышение может достичь 40...50%.

Ключевые слова: кризис теплоотдачи, критический тепловой поток, теплогидравлический расчетный код.

Введение.

Как известно [1, 2], надежность и безопасность ядерных энергоблоков атомных электрических станций (АЭС) с водоохлаждаемыми реакторными установками некипящего и кипящего типов в значительной степени определяется характером процесса теплоотдачи на поверхности тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) - наиболее ответственных и теплонапряженных элементов ядерных энергетических установок (ЯЭУ). Так, например, для некипящих водо-водяных энергетических реакторов (ВВЭР), охлаждаемых водой под давлением в режиме конвективной теплоотдачи, наибольшую опасность представляет режим пленочного кипения, при котором (в соответствии с впервые предложенной в [3] классификацией и терминологией) возможно возникновение кризиса теплоотдачи 1-го рода.

Определяющим в физике кризиса кипения является факт радикального изменения механизма теплоотдачи на теплоотдающей поверхности. При реализации процесса фазового перехода в наиболее простых условиях (при пузырьковом кипении жидкости в большом объеме) кризис теплоотдачи обусловлен переходом теплоотдающей поверхности от режима пузырькового кипения к пленочному. Согласно общепринятой терминологии этот переход соответствует кризису теплоотдачи 1-го рода [4]. В практике инженерных расчетов кипящих аппаратов различного назначения величину первой критической плотности теплового потока $q_{кр1}$, при которой начинается переход к кипению в его пленочной форме, используют только в качестве интегральной характеристики верхнего предела форсировки процесса теплоотдачи при пузырьковом кипении.

Возникновение такого кризиса приводит к разрушению (пережогу) оболочки ТВЭЛ и выходу высокорadioактивных газообразных продуктов деления в теплоноситель первого контура. Кроме того, согласно [5], переход к режиму пленочного кипения на поверхности ТВЭЛ (включая и начальные фазы этого аварийного теплогидравлического процесса) недопустим ввиду следующих причин:

превышения предельно допустимой температуры оболочки ТВЭЛ;