

Карпенко В.М.

к.т.н., ДП «Наукафтогаз»

Спасенко В.М.

к.т.н., НАК «Нафтогаз України»

Стародуб Ю.П.

д.ф.нат.н., ЛДТУБЖ

## ЕНЕРГЕТИЧНА І ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА УКРАЇНИ НА ОСНОВІ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗВІДКИ, РОЗРОБКИ, ЗБЕРІГАННЯ, ТРАНСПОРТУВАННЯ НАФТИ І ГАЗУ ТА ОСВОЄННЯ ГЕОТЕРМАЛЬНИХ РЕСУРСІВ

Асоціація з енергоефективності та енергозбереження пропонує розглянути аспект енергетичної і екологічної безпеки України, розроблений колективом авторів ДП «Наукафтогаз» з точки зору енергоефективності в галузі освоєння паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) (вуглеводневих – ВВР і геотермальних – ГТР) фондом свердловин. Ефективність процесу освоєння вимірюється науковим методом оптимізації технологічних процесів на основі розробленої адекватної, детермінованої, ініціальної комплексної математичної моделі системи управління даним процесом. Моделю дозволяє: 1) виконувати оптимальне управління процесами: пошуку, розробки, транспортування і зберігання ВВР; 2) комплексно розробляти, контролювати і прогнозувати результати впровадження науково-технічних і організаційних заходів з підвищення економічної, енергетичної і екологічної ефективності процесу освоєння ВВР; 3) виконувати оптимальне управління процесом освоєння ГТР на основі «непродуктивних» свердловин ВВР і спеціальних свердловин, що буряться на територіях з підвищенням геотермальним фактором, на яких проживає 67% населення, виробляється 64% національного валового продукту.

Найбільша корупція («...після мене хоч попом...») у світі існує там, де зусилля сьогоденного суспільства не спрямовані на краще майбутнє його нового покоління. Основними ознаками такої корупції є: 1) політика бізнесу на старих технологіях, 2) політика стримування нових знань і технологій, 3) отримання монополії на названі політики – влада.

Так, старі технології генерації теплової і електричної енергії в Україні супроводжуються забрудненням довкілля шкідливими для суспільства, рослинництва і тваринництва речовинами. Тому підтвердженням є наміщення Україною Кіотського протоколу щодо зменшення до 2012 року викидів парникових газів, які складають 1,1 млрд т/рік (станом на 2009 рік, Державне агентство екологічних інвестицій), що у 5–30 разів перевищує стандарт ЄС. Приведення шкідливих викидів у довілля до стандартів ЄС потребує 5–17 млрд дол. США (Міжнародний центр перспективних досліджень, станом на 2011 рік).

Довгий час основними знаннями, що гальмували розвиток геотермальної енергії на території України, були знання про енергетичні параметри геотермального фактору (ГТФ), які надає рівняння Фур'є першого порядку. Дане рівняння вимірює щільність теплового потоку гірських порід на рівні 50–150 мВт/м<sup>2</sup>, оскільки експериментально встановлені значення теплопровідності гірських порід коливаються в межах 0,5–6 Вт/м·К, а температури 10–150°C.

Досвід буріння пробних свердловин на нафту і газ у XX столітті свідчать про набагато більші енергетичні параметри ГТФ, які швидко нагріває об'єм бурового розчину (БР) 250–300 тонн у свердловині під час його циркуляції. Так, під час безперервного тривалого (до 700 годин) буріння на глибині 3500 м з потужністю миттєвого руйнування гірської породи до 90 кВт і потужністю 300 кВт циркуляції бурового розчину, на виводі зі свердловин буровий розчин густиною 1,4 г/см<sup>3</sup>, теплоємністю 3200 Дж/(кг·°C) виходить 30 л/с з температурою до 60°C, а на виході свердловини він нагрівається до 130°C.

За останні два роки проведені наукові дослідження і розроблено математичну енергетичну модель дії ГТФ. Моделю дозволило

оцінити реальні енергетичні параметри ГТФ. Так, у геотермальних активних зонах середня щільність теплового потоку на глибині 3000 м складає 2600 Вт/м<sup>2</sup> при температурі гірського наєну 140°C.

Нова оцінка енергетичних параметрів ГТФ дозволила сформулювати дві промислові парадигми: перша – геотермальна свердловина – це природна мікроанальова лічів середньою по свердловині щільністю теплового потоку 2,5 кВт/м<sup>2</sup> (сучасна техніка спорудження свердловин на нафту і газ дозволяє бурити ГТР свердловини на потужність до 15 МВт закритого (екологічно ізольовані) типу і більше 15 МВт відкритого (використання геотермальних вод обводнення горючих нафтових і газових свердловин) типу; друга – абсолютна екологічна чистота, надійність, рідна стабільність, безпека, простота конструкції, широка територіальна доступність, автономність, невчорпність, невисока удільна собівартість природного газу, здатність замінити природний газ на водень, без економії у використанні геотермальної енергії ставить її на одне з перших місць у черзі на реалізацію розвитку освоєння відновлюваних джерел енергії серед відомих тепловоїх ресурсів України.

Задача даної статті: зміна монополії політики в галузі освоєння вуглеводневих ресурсів (ВВР) шляхом наукового обґрунтування поступового переходу нафтогазової галузі на шлях розвитку освоєння геотермальних ресурсів (ГТР), запаси яких на території України у 100–000 разів більші всіх разом узятих ресурсів тепловоїх копалин на її території.

Поставлена задача вирішується наведеними відомостями про результати науково-технічних досліджень, на основі яких розроблений проект реалізації процесу освоєння ГТР фондом свердловин для вирішення трьох основних проблем: 1) підвищення енергоефективності процесу освоєння ВВР; 2) забезпечення енергетичної і екологічної безпеки України на основі власних геотермальних ресурсів; 3) забезпечення економіки України дешевим воднем.

Перша проблема складається з наступних задач із підвищення енергетичної ефективності:

- поєва «непродуктивних» свердловин на нафту і газ у середній кількості 20 шт./рік;
- витрати енергії на спорудження «непродуктивних» свердловин складають 2,2·10<sup>14</sup> Дж/рік;
- вартість «непродуктивних» свердловин складає близько 6000 млн грн/рік;
- середня продуктивна свердловина на газ дає 20 тис. м<sup>3</sup>/добу (еквівалент теплової енергії 2,4 МВт);
- підвищені газові запаси України витрачають на свою роботу близько 1000 млн м<sup>3</sup>/рік, або 3,6·10<sup>16</sup> Дж/рік;
- вартість витрат газу на роботу ПСГ складає 280 млн долл. США/рік;
- витрати на геологорозвідувальні роботи складають близько 1 млрд грн/рік, а їх успішність – 39%.

- вирішиться перша проблема шляхом освоєння ГТР з наступною енергоефективністю;
- «непродуктивні» ВВП свердловини переводяться у геотермальний фонд (ГТФ), який постійно генерує теплову енергію загальною потужністю 200 МВт, яка використовується;
- теплова енергія ГТФ з «непродуктивного» свердловини складає  $6,3 \cdot 10^{15}$  Дж/рік;
- вартість електричної енергії з «непродуктивного» свердловини при ККД 0,5 складається близько 876 млн грн/рік за звичайним тарифом (за зеленим удвічі більше);
- продуктивна ГТР свердловина стабільно генерує теплову енергію потужністю до 15 МВт;
- підземні газові скелі України на свою роботу не витрачають газ;
- 280 млн дол. США/рік дозволяє створити ГТФ свердловин для роботи ПСТ з потужністю 350 МВт;
- витрати на геологорозвідувальні роботи, що складають близько 1 млрд грн/рік, будуть економічно успішними на 100%.

Друга проблема складається з наступних задач реалізації процесу освоєння ГТР:

- оцінка енергетичних параметрів ГТР в одній свердловині;
- економічна оцінка ГТР на території України;
- технологія спорудження ГТФ свердловин;
- технології створення геотермальних електричних установок (ГТЕУ) на основі ГТР свердловин;
- технології створення ГТЕУ мають три самостійні напрями з перетворення теплової енергії на електричну. На сьогодні для використання в ГТЕУ повну технічну готовність (див. рис. 4) мають бінарні парогенераторні установки, для яких запропонований спеціальний фізико-хімічний склад робочого тіла, що забезпечує ККД перетворення теплової енергії на електричну на рівні 0,5. Перспективним є напрямок сучасних наукових досліджень праного перетворення теплової енергії на електричну на основі напіпровідникових елементів (Si-Ti) електронами, що працюють при температурах до 100°C і забезпечують ККД до 50%. Обидва напрями передбачають наявність циркуляції енергосі у свердловині. Найбільш високий ККД перетворення теплової енергії в електричну мають фотонні напіпровідникові елементи, які вимагають розроблення нанотехнологій для свого виготовлення. Такі елементи опускаються прямо у свердловину.

Розв'язується друга проблема шляхом освоєння ГТР з наступною ефективною:

- розроблена модель дЛ ГТФ на простір свердловини, що дозволяє оцінювати енергетичні параметри ГТФ в одній свердловині за геофізичними, конструктивними, технічними і фізико-хімічними параметрами ГТЕУ;
- розроблена модель процесу освоєння ПЕР фондом свердловин, що дозволить надати динаміку собівартості теплової енергії порівняно із собівартістю теплової енергії природного газу;

- технологія спорудження ГТФ свердловин забезпечена буровими установками, буровим інструментом і матеріалами для спорудження ГТР свердловин вітчизняного виробництва;

Третя проблема складається з наступних задач реалізації процесу освоєння ГТР:

- використання в існуючих технологіях генерації водню без паливної первинної енергії – геотермальної;
- технології зберігання, транспортування і використання водню в економіці активно розробляються багатьма науковими установами.

Вирішиться третя проблема шляхом освоєння ГТР з наступною ефективною:

- існуючі технології генерації водню на основі ГТЕУ передбачають використання існуючих і нових електролізерів, що дозволяють отримати 1 кг водню за ціною 5 грн/кг (або 0,0554 грн/МДж, 0,128 грн за 1 кВт\*год) проти існуючої 44 грн/кг при ціні природного газу 3,9 грн/кг (0,108 грн/МДж, 0,39 грн за 1 кВт\*год), тобто ціна 1 кВт\*год водневої теплової енергії у три рази менша від ціни природного газу;
- дешевий водень замінює тривалі, численні, енергоємні хімічні реакції аналізу на швидко, малоенергоємні хімічні реакції синтезу необхідних хімічних речовин.

Оцінка проекту енергетичної і екологічної безпеки України на основі освоєння власних геотермальних ресурсів.

Станом на 2010 рік в Україні на генерацію теплової енергії шляхом спалювання природного газу щорічно витрачається 147 млрд грн, що складає 8% НВП, зокрема,

1. 82% з 27 000 котелень, які встановлено потужністю 3-12 МВт, витрачають за рік 8-10 млрд м<sup>3</sup>, або  $0,325 \cdot 10^{18}$  Дж/рік теплової енергії, з яких 2,1 млрд м<sup>3</sup> витрачається на транспортування теплої води;
2. ферми споживають теплової енергії близько  $0,91 \cdot 10^{18}$  Дж/рік, або 28 млрд м<sup>3</sup>/рік газу;
3. теплиці із загальною площею 6 тис. га споживають близько  $0,156 \cdot 10^{18}$  Дж/рік за рік, або 4,8 млрд м<sup>3</sup>/рік газу.

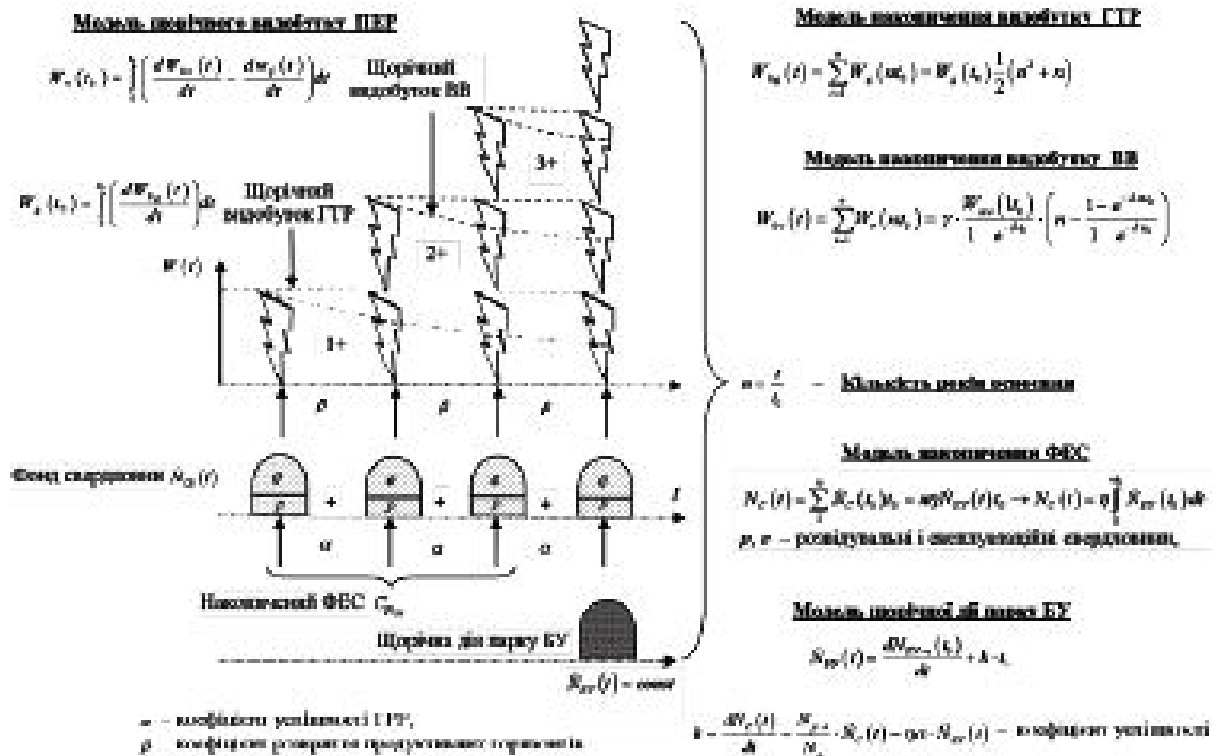
Сила ГТЕУ з потужністю теплової енергії на 8 МВт замінює одну газову свердловину продуктивністю 20000 м<sup>3</sup>/добу газу, що еквівалентно генерації теплової енергії за рік на рівні  $0,24 \cdot 10^{15}$  Дж. Для повної заміни природного газу у кількості 40 млрд м<sup>3</sup> необхідно близько 5500 свердловин глибиною до 3000 м. Вартість такої кількості газових свердловин за 55 років їх створення підприємством, аналогічним компанії ПАТ «Укргаздобування», становить  $5500 \cdot 30 \cdot 106 \cdot 0,39 = 423$  млрд грн, де 0,39 – коефіцієнт успішності ГТР, 30\*106 грн/м. – середня вартість газової свердловини (при собівартості природного газу в власних родовищах 600 грн за 1000 м<sup>3</sup>), а вартість ГТР свердловин становить  $5500 \cdot 30 \cdot 106 \cdot (1 - 0,25) = 1,25$  млрд грн, де 0,25 – коефіцієнт зменшення вартості ГТР свердловини від газової, тобто утримана менша. Обладнання ГТР свердловин бінарними установками складає 40% їх вартості. Тобто загальні одноразові витрати на енергетичну і екологічну безпеку в Україні тільки при заміні природного газу що спалюється в котельнях і сільському господарстві, складуть на рівні 180 млрд грн при щорічних витратах за газ на рівні 147 млрд грн.

Термін спорудження ГТЕУ – 4-8 місяців. Окупність ГТЕУ – 1-3 роки. Процес освоєння, використання і транспортування ГТР створюють більше 1 млн робочих місць, а також природним шляхом очисає довкілля і зберігає еколого-фізичний енергетичний баланс біосфери.

## Основні відомості з освоєння і використання ГТР Експериментальна Дія ГТФ



Рис. 1 Екогеофізичні параметри ГТФ, що охоплює 61,5% – території, 67% – населення, 64% – НВП, [1-5].



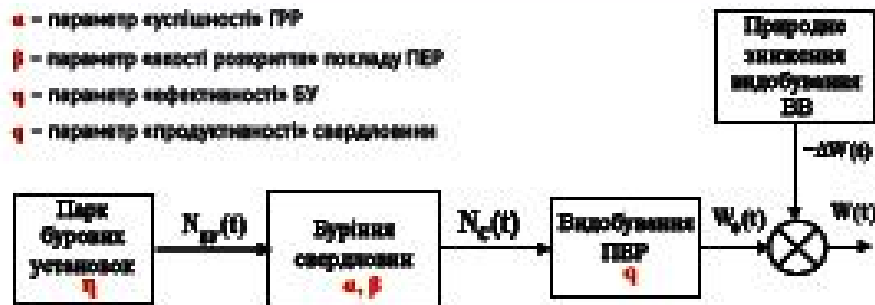
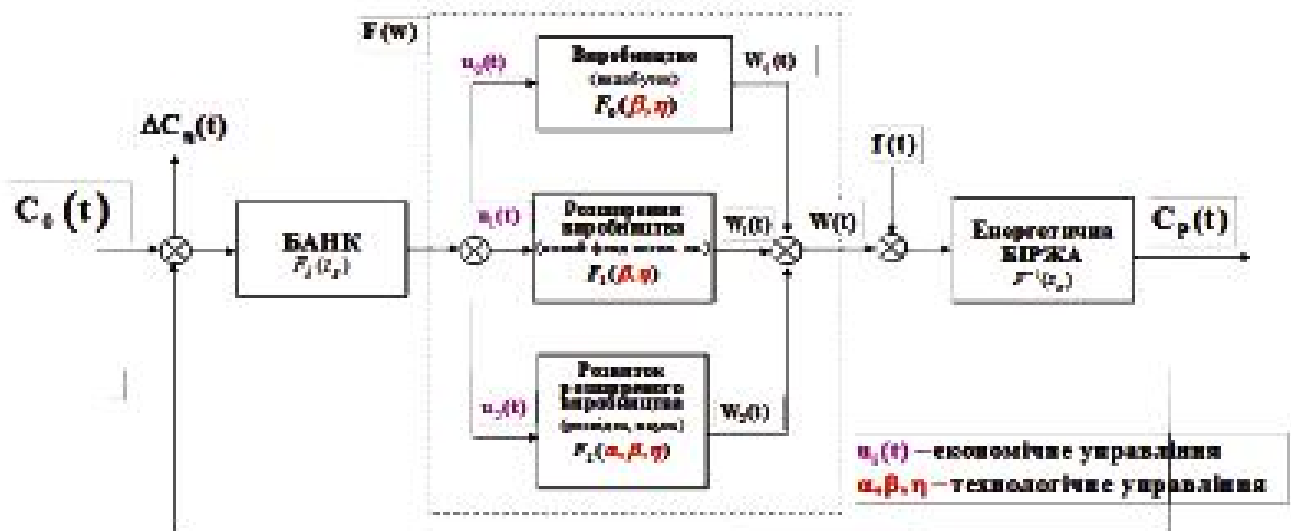
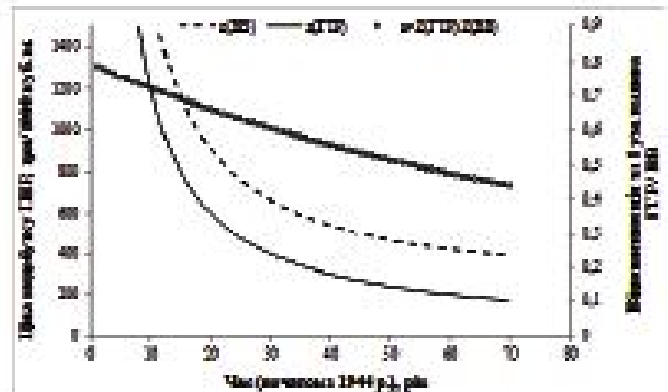


Рис. 2 Модели освоения ПЕР: физическая, математическая, технологическая [6,11].

Динамическая модель системы экономичного управления процессом освоения ПЕР

$$W(p) = \frac{1}{K_{01}} \frac{K_{01}(u_2 p^2 + u_1 p + u_0) - f(p) z_{0c}}{p(1+p) + K_{01}(u_2 p^2 + u_1 p + u_0)}$$

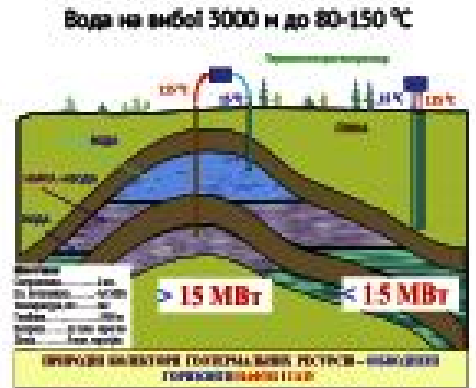
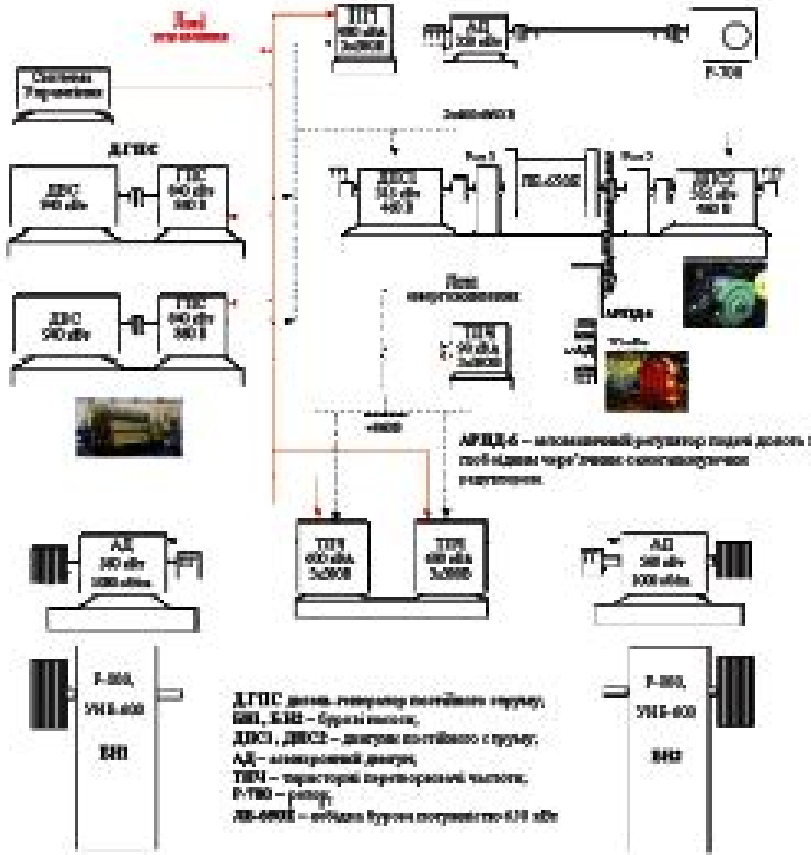
$z_{0c}$  - комплексная цена ПЕР;  
 $K_{01}$  - коэффициент прибыльности



$F(w)$  – общая производная структура ИТ Компаний при освоении традиционных и нетрадиционных ресурсов;  $\alpha, \beta, \eta$  – общие технологические параметры;  $F_p(\alpha, \beta, \eta)$  – функции водоузнавания ПЕР в фазе геологического исследования (геологический, геофизический, инженерный методы исследования - ГИС) и инженерных  $u_1(t)$ ;  $F_r(\alpha, \beta, \eta)$  – функции раскрытия поклади фазы эксплуатационных мероприятий (эксплуатационная бурения) и инженерных  $u_2(t)$ ;  $F_s(\alpha, \beta, \eta)$  – функции раскрытия запаса ресурсов и получения лицензий (геологический, инженерный работы) и инженерных  $u_2(t)$ ;  $\Delta C_0(t)$  – затраты на освоение скважины;  $C_0(t)$  – затраты на освоение скважины;  $\tilde{R}_p(t)$  – затраты на освоение ресурсов (затраты);  $W_0(t) = W(t)$  – запасы ресурсов в фазе геологического исследования;  $W_1(t) = W(t) - \Delta W(t)$  – запасы ресурсов в фазе инженерных исследований;  $W_2(t) = W(t) - \Delta W(t) - \Delta C_0(t)$  – запасы ресурсов в фазе эксплуатационных исследований;  $W_3(t) = W(t) - \Delta W(t) - \Delta C_0(t) - \Delta C_p(t)$  – запасы ресурсов в фазе лицензирования скважины и лицензирования на освоение скважины; ИТ – функции производного значения водоузнавания традиционных ресурсов.

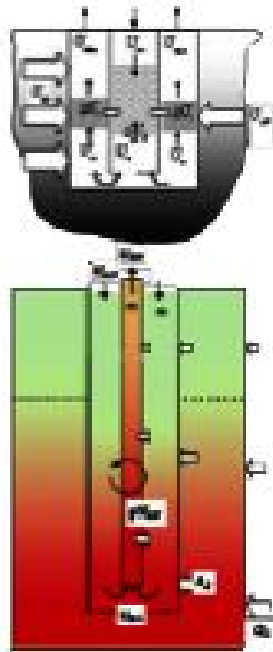
Рис. 3 Система економічного управління процесом освоєння ПЕР в ринкових умовах, [7-11]

Модель дії геотермального фактору



Бурова установка на 300 тонн для освоєння ГТР і ВВР.  
 Переваги:

1. Вітчизняна комплектація на 80%.
2. Абсолютна надійність роботи з колонами.
3. Ціна < в 4 рази USA.
4. Призначена для буріння свердловин: ГТР до 3500 м, ВВ до 5000 м.



Зарядні умови:

$$\begin{cases} T(z, t) = T_0 \\ T(z, t) = T_0 \\ \rho = \rho_0 \end{cases} \begin{cases} M_1 = \rho(z_0) \cdot \rho_0 \cdot z \\ M_2 = \rho(z_0) \cdot \rho_0 \cdot z \\ M_3 = \rho(z) \end{cases}$$

Енергетичні параметри ГТР у свердловині

$$N_1 = (U_{in} - U_{out}) \cdot \frac{(2z_0 + z_1)}{z_1(z_1^2 - z_0^2 + z_1^2)} = 2000 \text{ кВт} / \text{м}^2$$

$$N_2 = (U_{in} - U_{out}) \cdot \frac{(2z_0 + z_1)}{z_1(z_1^2 - z_0^2 + z_1^2)} \cdot N_{in} = 4,4 \text{ МВт}$$

Рівняння теплообміну

$$\begin{cases} U_1(z) - U_{in} = \Delta T_1(z) \text{ - ступінь } \theta \text{ / } \rho \text{ на } z \text{ / } \rho \cdot z \\ U_{in} = U_1(z) + \Delta T_1(z) \text{ - ступінь } \theta \text{ / } \rho \text{ на } z \text{ / } \rho \cdot z \\ U_2(z) - (U_{in} - U_{out}) = \Delta T_2(z) + \Delta T_3(z) \text{ - ступінь } \theta \text{ / } \rho \text{ на } z \text{ / } \rho \cdot z \\ N_1(z) = \rho_1(z) \cdot N_1 = \rho_2(z) \cdot N_2 \text{ - парів } \theta \text{ / } \rho \text{ на } z \text{ / } \rho \cdot z \\ N_2(z) = \rho_2(z) \cdot N_2 \text{ - парів } \theta \text{ / } \rho \text{ на } z \text{ / } \rho \cdot z \end{cases}$$



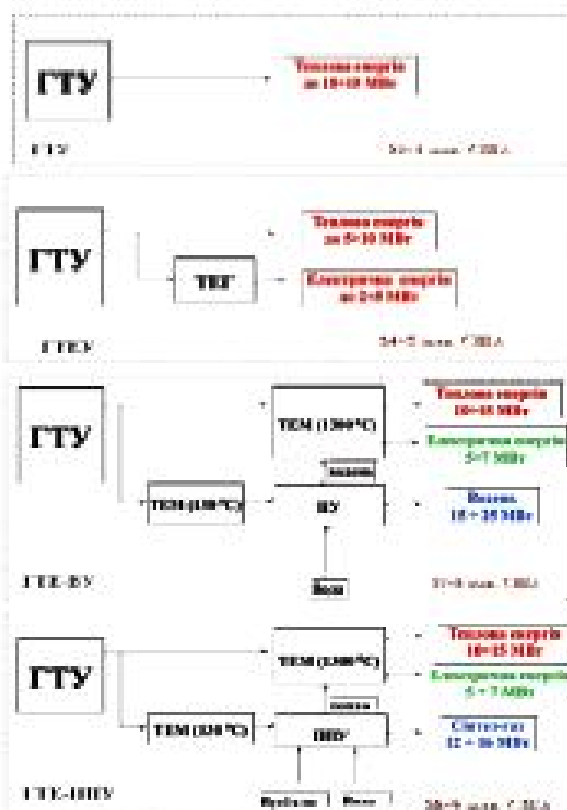
Парогенераторна установка для використання ГТР:  
 Номінальна потужність, МВт  
 Номінальний тиск пари, МПа  
 Витрати пари, т/год

1-6  
 1,3-4,9  
 11-125

Рис. 4 Геологічні умови і технічні засоби сучасного освоєння і використання ГТР [2-5]

У таблиці наведені питомі показники вартості генерації парової енергії при використанні різних паливно-енергетичних ресурсів без використання ГТЕУ і з використанням ГТЕУ.

Економічна ефективність використання ГТР з енергодоступністю на нафту і газ і спеціальних свердловин глибиною 3000 м (за поточними витратами ГТР)				
Паливо	Од. енергії	Теплотворність, МДж	Ціна без ГТЕУ <sup>1</sup> , грн	Ціна з ГТЕУ, грн
Вугілля	1 кг	18-21,5	0,6-1,6	
Природний газ	1 м <sup>3</sup>	52,5	0,4-3,2 (5)	
Водень	1 кг	141	44	5
Ел. енергія	1 кВт·год	3,6	Ці = 0,4 - 1,15 (міч. - ден. тарифи) зелений тариф <sup>2</sup> Ці = (2,4 - 3,7)	0
Синтез-газ (СО+Н <sub>2</sub> )	1 м <sup>3</sup>	11-16	(0,6-1,6) + (2,5-3)·(1,15) = дання виробництва = (3,44-5,05) нічня виробництва = (1,6-2,8)	0,6-1,6
Теплова енергія (вугілля, природний газ)	1 кВт·год	3,6	0,089-0,56 – газ 0,12-0,52 – вугілля	0
	Генерація теплової енергії		Витрати, грн/год	Дохід <sup>3</sup> , грн/год
Одна ГТЕУ	5000-15000 кВт·год	18000-54000 <sup>4</sup>	8400 на газ 4800 на вугілля 17250 на ел. енергію	8400 за ціною газу 4800 м <sup>3</sup> - вугілля 1725 м <sup>3</sup> - ел. енергії



ГТУ – газотурбинна установка;  
 ГТЕУ – газотурбинна електрична установка;  
 ГТЕ-БУ – газотурбинна електрична парова установка;  
 ГТЕ-ПТУ – газотурбинна електрична парова – пружинна установка;  
 ТЕМ – парогенераторний модуль.

- 1 – ГТЕУ – газотурбинна електрична установка
- 2 – Закон регулювання зеленого тарифу: Закон України «Про електроенергетику» № 575/07-ВР від 16.10.1997, внесли зміни у закон № 2018/1 від 13.03.2012, постанови КМУ №214 від 24.09.2012, Постанови НКРЕ №749 від 15.06.2012 р.
- 3 – За значенням тарифів на електроенергію.
- 4 – Технологічно досяжні значення енергії.

### Висновки

1. Політична монополія на використання паливно-енергетичних ресурсів для генерації теплової і електричної енергії за старими технологіями, що забруднюють довкілля та змінюють клімат Землі, буде комерційно привабливою до тих пір, поки не буде розроблена фінансова система, спрямована на вільний розвиток відновлюваних джерел енергії за новими проєктами без вилучення коштів з інших технологій генерації енергії.
2. Нові національні товари і послуги вимагають нових національних коштів, які не повинні гальмувати розвиток суспільства, що можливо при конституційному законі про збалансовану економіку.
3. Геотермальні ресурси забезпечать усі економічні технологічні процеси і харчові продукти України екологічно чистою енергією і екологією в достатній кількості.
4. Реалізація технічного проєкту вартістю 10 млн грн з використанням готової «енергодоступної» свердловини на нафту і газ глибиною близько 3000 м, пробуреної в геотермальній зоні, для генерації електричної енергії з потужністю 1 МВт дозволить отримувати щорічний чистий дохід компаній в розмірі 1000-4000 грн за годину, що окупляє проєкт за 1,14 року при потужності 5 МВт – до 5000-20000 грн за годину, тобто в п'ять разів швидше.