

ДЕЯКІ ПИТАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО І ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНОГО ВПЛИВУ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМИ ТА РИНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Abstract. The current state of renewable energy use in the energy sector of Ukraine is briefly analyzed. Therefore, the main problems are formulated from the timely solution of which the prospects for the further development of distributed generation in Ukraine substantially depend. The complexity of solving these problems requires the creation of new mathematical and computer modeling tools, which are based on new technologies for modeling the functioning processes of multilevel organizational and technical systems.

Вступ

Відомо, що електроенергетична система, як ніяка інша, значним чином визначається технологічними рішеннями, наявними і доступними на час її формування та розвитку. Тобто, структура виробництва електричної енергії (ЕЕ) в електроенергетичних системах у багатьох країнах, була цілком побудована саме на технологічних рішеннях виробництва ЕЕ, які були наявні багато років тому назад. За ці роки в енергетичних технологіях виробництва, передачі та споживання ЕЕ відбулися радикальні зміни. І такі зміни, в першу чергу, стосуються сектору малої і середньої генерації, в тому числі і виробництва ЕЕ з використанням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), яка отримала назву «Розподілена генерація». Слід відзначити, що сама розподілена генерація за цей час зайняла достойне місце в цілісній структурі виробництва ЕЕ в електроенергетичних системах США, Європейського союзу (ЄС) та інших країнах світу.

Розвиток цього сегменту генерації ЕЕ досяг дивовижного результату, оскільки собівартість її виробництва, зокрема на генеруючих установках (ГУ) відновлювальної енергетики, яка розрахована протягом їх життєвого циклу, фактично наблизилася до собівартості виробництва ЕЕ на традиційних великих ГУ, які працюють на викопному паливі.

Протягом останніх двох десятиліть відбулася величезна трансформація в баченні як у фахівців енергетиків, так і науковців того, як має виглядати сама структура виробництва ЕЕ в сучасних електроенергетичних системах. Тобто, склад їх генеруючих потужностей та форми і умови приєднання ГУ малої і середньої потужності до таких діючих систем. Своє належне місце у такій структурі набула вже згадана розподілена генерація. Унікальною була сама можливість максимально наблизити ГУ виробництва ЕЕ до місць її споживання. Такі рішення надають можливість зменшити навантаження на

інші ділянки електроенергетичної системи та втрати ЕЕ в мережах її передачі. Більше того, лише завдяки наявності технічним можливостям інтеграції розподіленої генерації в електроенергетичну систему споживач здобув можливість не лише бути пасивним споживачем, а стати одночасно постачальником ЕЕ. Іншими словами, поряд з можливістю введення в експлуатацію ГУ для власних потреб (власна генерація), споживач набув можливості постачати в мережу надлишок ЕЕ, виробленої на своєму подвір'ї або виробничому майданчику. Тобто, вперше за всі часи потік ЕЕ в мережі її передачі став двонаправленим.

Крім того, завдяки ГУ розподіленої генерації не лише система передачі, а і система розподілу ЕЕ набула своїх власних виробників ЕЕ в розподільних мережах. Відповідно, з набуттям статусу ГУ розподіленої генерації, виробники ЕЕ на таких установках набули можливості постачати ЕЕ безпосередньо споживачам за правилами роздрібного ринку. Звісно, такі виробники не втрачають при цьому можливості реалізації ЕЕ традиційним учасникам ринку, або її реалізації на ринку за пільговим, тобто, за так званим, «зеленим» тарифом.

Таким чином, у малого і середнього виробника ЕЕ з'явився простір для вибору варіантів, що надають можливості прилаштуватися найбільш ефективним чином до умов нині діючого ринку ЕЕ, який почав функціонувати в Україні з 1 липня 2019 року відповідно до Закону «Про ринок електричної енергії» [1], та забезпечити власну економічну стійкість. Слід звернути увагу, що такий «простір варіантів» виник не лише відносно сегментів ринку, на яких може діяти власник ГУ з розподіленої генерації. Завдяки наблизеності установок з виробництва ЕЕ до місць її споживання, потенційний склад власників установок з виробництва ЕЕ незрівнянно зріс. До складу таких власників або співвласників тепер може увійти будь-який споживач або інший інвестор, оскільки для облаштування власної «електростанції» необхідно значно менше коштів – незрівнянно менше, ніж для будівництва традиційної великої електростанції.

Але поява безпосередньо в системі розподілу ЕЕ ГУ розподіленої генерації виявила і значні додаткові проблеми. Серед них: організаційні, які пов'язані з необхідністю регламентування діяльності ГУ; організаційно-економічні, які пов'язані з встановленням спеціальних тарифів купівлі-продажу виробленої ними ЕЕ на ринку; оперативно-технологічні – з можливою неконтрольованою видачею ЕЕ в енергосистему, з необхідністю підтримки «гарячого резерву» потужності в енергосистемі задля забезпечення балансу потужності виробництва і споживання ЕЕ; інформаційно-технологічні – з необхідністю розвитку як автоматизованої системи комерційного обліку енергії, так і інших автоматизованих систем управління технологічними процесами до рівня споживчої генерації; та ін. Докладніший перелік організаційних та технічних проблем взаємодії ГУ з електроенергетичною системою, які відносяться до об'єктів розподіленої генерації дивись, наприклад, в літературі [2, 3].

Дослідженням організаційних, організаційно-економічних, оперативно-технологічних, інформаційно-технологічних проблем взаємодії установок розподіленої генерації з електроенергетичною системою, з початком дуже стрімкого її розвитку, в науковій літературі було присвячено чимало робіт. Дивись, наприклад, роботи [4 – 11]. І в даний час кількість робіт пов'язаних з рішенням різних задач цієї загальної науково-прикладної проблеми як у вітчизняній, так і в зарубіжній науковій літературі не зменшується. Що дозволяє зробити висновок про її актуальність.

Вирішення перерахованих проблем в Україні потребує не тільки залучення фінансових ресурсів, а і рішення багатьох задач аналізу застосування різних можливих сценаріїв розвитку розподіленої генерації, зокрема ГУ з використанням ВДЕ, з урахуванням відмінних особливостей функціонування об'єднаної електроенергетичної системи (ОЕС) України.

Мета роботи

Метою цієї роботи є провести короткий аналіз сучасного стану та перспектив розвитку розподіленої генерації в Україні, зокрема відновлювальної енергетики. Такий аналіз послужить основою для побудови адекватної моделі функціонування цього сегмента розподіленої генерації в умовах діючої моделі ринку ЕЕ для управління процесом подальшого розвитку відновлювальної енергетики в Україні. Більш детальний аналіз стану та перспектив розвитку відновлювальної енергетики в Україні наведено в літературі [12 – 15].

Загальна інформація та статистика розвитку відновлювальної енергетики

Так, за даними Державного підприємства «Гарантований покупець», що розміщено на його офіційному сайті, загальна кількість об'єктів відновлювальної енергетики, які продають свою ЕЕ до Оптового ринку складає 652 (станом на 1 листопада 2019 року). Із них, 419 припадає на виробників із сонячного випромінювання, 37 – вітрові, 37 – біогаз, 10 – біомаса та 149 – гідроелектростанцій. Але, цей показник кожен місяць міняється у зв'язку із активним розвитком та введенням нових об'єктів відновлювальної енергетики [16, 17].

При цьому, необхідно відмітити те, і це буде основним «драйвером» розвитку нової енергетичної системи України, що більша частина об'єктів відновлювальної енергетики підключається до розподільних мереж (мережі 10-110 кВт) і мають характер малої та середньої генерації. Це як правило об'єкти, які мають встановлену потужність до 10 МВт. Цей показник на сьогодні складає близько 60% від загального обсягу виробленої ЕЕ з використанням ВДЕ (без урахування великих та середніх гідроелектростанцій) і з кожним роком буде збільшуватися рис. 1.

Тому можна зробити висновок, що розвиток відновлювальної енергетики в Україні у великій мірі буде залежати від розвитку розподільчих мереж, а

також можливості урахування багатьох інших питань, зокрема організаційно-економічних, пов'язаних з особливістю роботи об'єктів відновлювальної енергетики на ринку ЕЕ України.

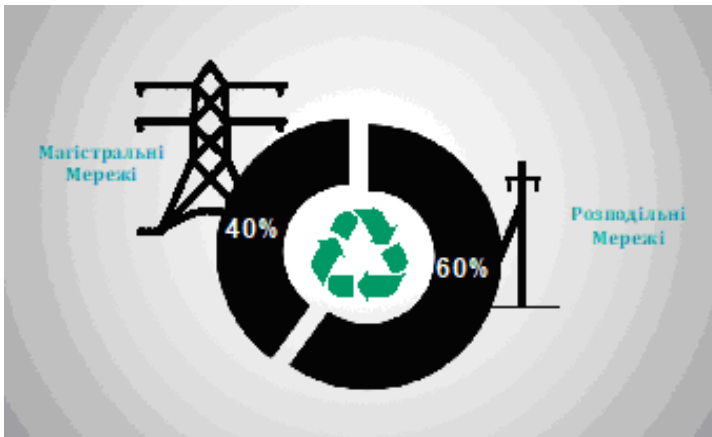


Рис. 1. Інформація, щодо приєднання об'єктів відновлювальної енергетики до електричних мереж

Таким чином, якщо припустити, що розвиток відновлювальної енергетики в Україні буде здійснюватися за рахунок розвитку малої та середньої генерації, то для цього необхідно внести відповідні зміни не тільки до законодавства, але і до загальних принципів регіонального розвитку ОЕС України з метою їх вдосконалення. Такі принципи розвитку ефективної регіональної електроенергетики повинні базуватися на розвитку мережевої інфраструктури і генеруючих потужностей, забезпеченні задоволення довгострокового і середньострокового попиту на ЕЕ і потужність, формування стабільних і сприятливих умов для залучення інвестицій в будівництво об'єктів електроенергетики. Більш детально про вдосконалення принципів розвитку регіональної інфраструктури енергетичної системи дивись в роботі [18].

Перший крок вже в Україні зроблено. Прийнято Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії» № 2712-VIII від 25.04.19 р.

Питання впливу розподіленої генерації на функціонування енергосистем

Загальна схема виробництва та передачі потоків ЕЕ в енергетичній системі України виглядає так, як це представлено на рис. 2.



Рис. 2. Схема виробництва та передачі потоків ЕЕ в енергетичній системі

Потік ЕЕ іде від її виробників, які приєднані до магістральних мереж, далі до розподільчої мережі, а потім розподіляється між споживачами ЕЕ відповідної розподільної компанії. Із активним розвитком відновлювальної енергетики в Україні виникають ряд проблемних технічних і організаційно-економічних питань, крім зазначених в вступі, які в майбутньому взагалі можуть не тільки зменшити темпи росту кількості ГУ, які використовують ВДЕ, а і навпаки призупинити його. Основними технічними проблемами, з якими стикаються всі інвестори установок відновлювальної енергетики – є питання приєднання до мереж передачі ЕЕ, а також регулювання (балансування) ЕЕ, виробленої на таких об'єктах, в ОЕС. Організаційно-економічні проблеми пов'язані з необхідністю внесення змін до принципів економічної підтримки ГУ відновлювальної енергетики, тому що можуть виникнути питання можливості оплати такої «дорогої» ЕЕ з боку кінцевих споживачів.

Україна затвердила Енергетичну стратегію на період до 2035 року [19], якою передбачається стале розширення використання всіх видів відновлюваної енергетики. У коротко- та середньостроковому періоді (до 2025 року) стратегією встановлено зростання частки обсягів виробництва ЕЕ з використанням ВДЕ до рівня 12% від загального обсягу її виробництва. Зокрема шляхом будівництва та введення в експлуатацію ГУ відновлювальної енергетики потужністю близько 5 ГВт. На період до 2035 року частка потужності відновлювальної енергетики повинна бути встановлена на рівні не менше 25% від загального обсягу її виробництва. При цьому, зазначені показники розвитку відновлювальної енергетики відповідають показникам, які взяти Україною перед ЄС, у відповідності до вимог Директиви ЄС

2009/28/ « Про сприяння використанню енергії з відновлювальних джерел».

На сьогоднішній день, в Україні існують високі рівні «зелених» тарифів у порівнянні із іншими державами. Так «сонячні» тарифи в Україні затверджені на рівні 0,15 євро за кВт-год, у Німеччині – 0,045 євро, у США – 0,06 дол. Тариф на «вітер» в Україні 0,102 євро, у Європі – біля 0,05 євро за кВт-год. [20].

Високий рівень «зеленого» тарифу в Україні, особливо тарифу для сонячних та вітрових електростанцій створює надлишкове цінове навантаження для споживачів ЕЕ України, яке буде надалі стрімко зростати з введенням в експлуатацію нових електростанцій з використанням ВДЕ.

Крім того, функціонування великих електростанцій відновлювальної енергетики, особливо тих що виробляють ЕЕ з енергії сонця та вітру, характеризується різко змінними режимами роботи у складі ОЕС України. Що призводить до додаткових витрат на диспетчеризацію електростанцій такого класу та потребують збільшення обсягу резервних потужностей для регулювання режимів їх роботи в ОЕС.

За даними Національної енергетичної компанії «Укренерго» (НЕК «Укренерго»), збільшення встановленої потужності ГУ відновлювальної енергетики до 7,4 ГВт, згідно виданих Технічних умов на приєднання, призведе до зменшення бази виробництва ЕЕ атомних блоків на 5,7 ГВт та збільшення бази блоків теплових станцій на 2,8 ГВт. Такі зміни в структурі виробництва ЕЕ в свою чергу істотно вплинуть на кінцеву вартість ЕЕ для споживачів (рис. 3).

На рис. 3 наведено, яки додаткові резервні потужності необхідно забезпечити для надійної та сталої роботи ОЕС. Тому, виникає потреба шукати збалансований та комплексний підхід щодо подальшого розвитку розподіленої генерації та альтернативної енергетики, зокрема відновлювальної в її складі, з урахуванням взятих Україною перед ЄС зобов'язань, а також забезпеченням мінімального впливу розподіленої генерації на функціонування ОЕС України в цілому та на формування кінцевої вартості ЕЕ для споживачів на оптовому ринку через внесення відповідних змін до законодавчих актів та регуляторних механізмів визначення цін купівлі-продажу ЕЕ яка виробляється ГУ відновлювальної енергетики.

Питання впливу розподіленої генерації на функціонування ринку ЕЕ

Були проведені попередні розрахунки впливу розвитку відновлювальної енергетики, з урахуванням робіт (регулювання та балансування) ГУ відновлювальної енергетики в ОЕС України, а також впливу росту їх кількості відповідно до вимог Енергетичної стратегії України [19] на систему ціноутворення діючого ринку, з урахуванням вимог Закону України «Про ринок електричної енергії» [1]. На основі отриманих даних можна констатувати, що необхідно розвивати малу та середню генерацію, а також запроваджувати так звані «аукціони на зменшення ціни (тарифу)» на «зелену

енергію» для великих відновлювальних джерел, та використовувати міжнародний досвід впровадження механізмів стимулювання розвитку відновлювальної енергетики (формування «зелених» тарифів та використання «зелених» аукціонів) при створенні системи ціно- та тарифоутворення на ринку ЕЕ України.



Рис. 3. Технічні наслідки регулювання (балансування) ГУ відновлювальної енергетики

В роботі [21], яка виконана в рамках програми компанії USAID «Механізми стимулювання розвитку відновлювальних джерел енергетики», наведено різні підходи та рекомендації щодо формування «зелених» тарифів, які враховують досвід багатьох країн світу та які можуть бути використані при розробці регуляторних механізмів ціноутворення для «зеленої» ЕЕ від ГУ відновлювальної енергетики.

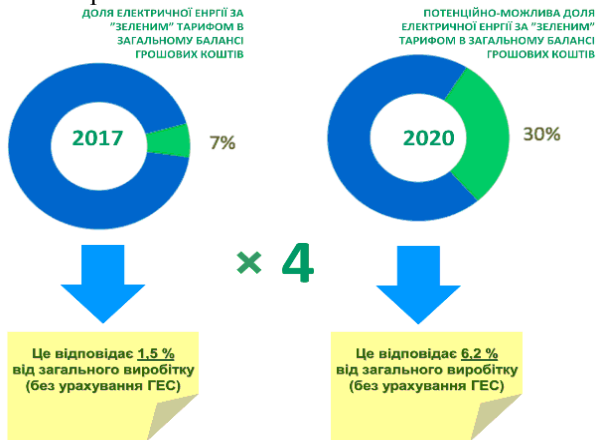


Рис. 4. Економічні наслідки розвитку відновлювальної енергетики

На рис. 4 наведено, як буде змінюватися ціна для кінцевого споживача у разі не проведення відповідних змін до законодавства та діючих регуляторних механізмів в частині формування тарифів на «зелену» енергію.

Такі результати можуть привести до зупинки розвитку відновлювальної енергетики в Україні, не досягнувши навіть встановлених Енергетичною стратегією обсягів виробництва на її ГУ 12% від її загального виробництва.

Висновки

1. Наведені в роботі результати дослідження показують, що з ростом числа ГУ розподіленої генерації в ОЕС України, в тому числі і ГУ відновлюваної енергетики, виникає ряд взаємопов'язаних технічних, організаційно-економічних, інформаційно-технологічних проблем від своєчасного і комплексного вирішення яких залежить виконання планів розвитку відновлюваної енергетики, передбачених Енергетичною стратегією.

2. На основі отриманих результатів розрахунків можна стверджувати: якщо не міняти підходи та принципи розвитку відновлювальної енергетики, то до 2020 року, обсяги грошових коштів у загальному «кошику» вартості електричної енергії для кінцевого споживача може складати близько 30%, а при цьому обсяг виробленої ЕЕ складе близько 6,2% від загального виробітку ЕЕ (без урахування вироблення ЕЕ гідроелектростанціями).

3. Як показує аналіз літературних джерел при стрімкому зростанні ГУ розподіленої генерації істотно зростає і складність вирішення перерахованих проблем, як складових загальної проблеми підвищення надійності роботи ОЕС, стійкості її режимів.

Тому для дослідження наведених в роботі проблем та подальшого прийняття обґрунтованих рішень по практичній реалізації обраного сценарію розвитку відновлювальної енергетики необхідно створювати і нові системи математичного та комп'ютерного моделювання досліджуваних проблем які базуються на нових технологіях моделювання процесів функціонування багаторівневих організаційно-технічних систем, до класу яких безумовно відноситься ринок ЕЕ в Україні, кількість суб'єктів в якого може істотно зрости.

1. Закон України «Про ринок електричної енергії» № 2019-VIII від 13. 04. 2017 р. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>. – Дата звернення: 17.08.19.

2. *Праховник А.В.* Перспективы и пути развития распределенной генерации в Украине / А.В. Праховник, В.А. Попов, Е.С. Яромлюк, М.Т. Кокорина // Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2012. – №2. – С.7-14.

3. *Воропай Н.И.* Перспективы и пути развития распределенной генерации в электроэнергетических системах / Н.И. Воропай: Международная научно-практическая конференция «Малая энергетика – 2005»: [Электронный ресурс]: [сайт]: Режим доступа: <http://www.combienergy.ru/stat/983>. – (Дата доступа 19.10.19), 14 с.

4. *Chiradeja P.*, An Approach to Quantify the Technical Benefits of Distributed Generation / P. Chiradeja R. Ramakumar // IEEE Trans. Energy Conversion, 2004, Vol. 19, № 4, p.764-773.

5. *Donnelly M.R* Impact of the Distributed Utility on Transmission System Stability / M.R. Donnelly, J.E. Dagle, D.J. Trudnowski, G.J. Riders // IEEE Trans. Power Systems, 1996, Vol.11, № 2, p.741-746.
6. *Jenkins N.* Embedded Generation / N. Jenkins, R. Allan., P. Grossley., D. Kirschen, G. Strbac //London; IEE, 2000, 273 p.
7. *Batrinu F.*, Current Issues on Operation and Management of Distributed Resources / F.Batrin, G. Chicco, R. Pomruba, P. Postolache, C. Toader // 5th Int. World Energy System Conf., Oradea, Pomania, May 17-19, 2004, p.31-36.
8. *Barker Ph.P.* Determining the Impact of Distributed Generation on Power Systems: Part 1 – Radial Distribution Systems / Ph. P. Barker, R.W. De Mello // 2000 IEEE PES Summer Meeting, Seattle, WA, USA, July 11-15, 2000, p.222-233.
9. *Jimeno J., Laresgoiti I., Oyarzabal J., Stene B., Bacher R.* Architectural Framework for the Integration of Distributed Resources / J. Jimeno, I. Laresgoiti, J. Oyarzabal, B. Stene, R Bacher // 2003 IEEE Bologna Power Tech Conference, Bologna, Italy, June 23-26, 2003, p.91-96.
10. *Фишман В. П.* Построение систем РЗиА при наличии собственных источников электроэнергии у потребителей / В.П. Фишман // Новости электротехники, 2002, № 6(18), С.34-37.
11. *Meliopoulos A.P.S.* Distributed Energy Sources: Needs for Analysis and Design Tools / A.P.S Meliopoulos // 2001 IEEE PES Summer Meeting, Vancouver, Canada, July 15-19, 2001, p.143-147.
12. *Кудря С.О.* Стан та перспективи розвитку відновлювальної енергетики в Україні / С.О. Кудря // Вісник НАН України. – 2015. – №12. – С. 19-26.
13. *Гелетуха Г.Г.* Аналіз енергетичних стратегій країн ЕС та світу і ролі в них відновлювальних джерел енергії / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железна, А.К. Праховник // Аналітична записка БАУ №13: [Електронний ресурс]: [сайт]: Режим доступу: www.uabio.org/activity/uabio-analytics (Дата звернення 19.10.19), 35 с.
14. *Дячук О.* «Перехід України на відновлювану енергетику до 2050 року» / О. Дячук, М. Чепелев, Р. Подолець, Г. Трипольська та ін.; за заг. ред. Ю. Огаренко та О. Алієвої // Пред-во Фонду ім. Г. Бьолля в Україні. – Київ: Вид-во ТОВ «АРТ КНИГА», 2017. – 88 с.
15. *Кудря С.О.* Потенціал розвитку відновлювальних джерел енергії [Електронний ресурс]: [сайт]: Режим доступу: www.reee.org.ua (Дата звернення: 10.10.19), 46 с.
16. [Електронний ресурс]: [сайт]: Режим доступу: <https://ua.energy> (Дата звернення: 29.10.19)
17. Національний план дій з відновлювальної енергетики до 2020 року // [Електронний ресурс]: [сайт]: Режим доступу: http://saee.gov.ua/sites/default/files/documents/nr_2020_0.doc (Дата звернення: 8.1.19)
18. *Грязей М.В.* Принципы формирования региональной электроэнергетики / М.В. Грязев, В.М. Степанов // [Електронний ресурс]: [сайт]: Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/v/printipy-formirovaniya-effektivnoy-regionalnoy-elektroenergetiki> (Дата звернення: 9.11.19), 9 с.
19. Енергетична стратегія України 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» (Розпорядження КМУ від 18 серпня 2017 р. № 605-р).
20. ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА до проекту Закону України "Про внесення змін до Закону України "Про альтернативні джерела енергії" (щодо коефіцієнтів "зеленого" тарифу для електроенергії, виробленої з використанням альтернативних джерел енергії)" від 22.06.2018 №8449-4 // [Електронний ресурс]: [сайт]: Режим доступу: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/GH6IP1DA.html. – (Дата звернення 14.11.19).
21. USAID. Механізми стимулювання розвитку відновлювальних джерел енергетики

(формування «зелених» тарифів та використання «зелених» аукціонів) / Інформаційна довідка, підготовлена Європейським інформаційно-дослідницьким центром [Електронний ресурс]: [сайт]: Режим доступу: <http://euinfocenter.rada.gov.ua/> (Дата звернення: 29.10.19), 8 с.

<http://doi.org/10.5281/zenodo.3859667>

Поступила 16.09.2019р.

УДК 621.3

Є.А. Коломієць, Київ

ЗАГАЛЬНЕ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ МАСИ ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ У ВИХІДНІЙ ПОСТАНОВЦІ

Abstract. The problem of optimizing the mass of pipeline systems is considered. Mathematical conditions are formulated for solving the problem of determining the pipe diameters optimal by weight for a given distribution of costs.

Оптимізація маси трубопровідних систем є глобальною проблемою, актуальною для багатьох галузей промисловості та народного господарства, пов'язаних з проектуванням, будівництвом та модернізацією розподільчих трубопровідних систем. Від вирішення цієї задачі залежить вартість і надійність, як масштабних енергетичних комплексів, так і окремих машин. Особливо вона актуальна для авіаційної та енергетичної галузей.

Вихідні залежності для оптимізації маси трубопровідних мереж стислого в'язкого газу

Розглянемо задачу мінімізації маси трубопровідної мережі невагомої стислої рідини при зафіксованих витратах, граничних тисках, температурі, коефіцієнтах гідравлічних опорів, товщині і матеріалі стінки труби.

Отже, теоретичні аспекти роботи мають будуватись на таких наукових галузях, як Термодинаміка, Прикладна газова динаміка та Гідравліка.

У якості вихідних фізичних співвідношень візьмемо відому з газової динаміки (наприклад [1 – 4]) залежність для визначення втрат тиску в трубі постійного перетину (1) і очевидну формулу для розрахунку маси труби (2).

$$\lambda \frac{l}{d} = 2 \ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right) + \frac{F^2}{RTG^2} (P_1^2 - P_2^2), \quad (1)$$

$$M = \pi d l \rho \delta, \quad (2)$$