

ОПТИМАЛЬНА КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ НАФТОВОЇ І ГАЗОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

О.В.Соломчак, В.П.Соломчак

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
вул. Карпатська, 15, Україна, тел. (03422) 48003, 70019; e-mail: epeo@iung.edu.ua

Проаналізовано структуру технологічних комплексів нафтової і газової промисловості, склад та характеристики електроприймачів, типові схеми електропостачання, режими споживання реактивної електроенергії. Визначено можливі варіанти компенсації реактивної потужності і на основі техніко-економічного порівняння запропоновано оптимальні варіанти компенсації реактивної потужності для характерних технологічних комплексів нафтової і газової промисловості.

Ключові слова: нафтовидобуток, електродвигун, реактивна потужність, компенсація, конденсаторні батареї, автоматичні конденсаторні установки, автоматичне регулювання збудження.

Проанализирована структура технологических комплексов нефтяной и газовой промышленности, состав и характеристики электроприемников, типовые схемы электроснабжения, режимы потребления реактивной электроэнергии. Определены возможные варианты компенсации реактивной мощности и на основе технико-экономического сравнения предложены оптимальные варианты компенсации реактивной мощности для характерных технологических комплексов нефтяной и газовой промышленности.

Ключевые слова: нефтедобыча, электродвигатель, реактивная мощность, компенсация, конденсаторные батареи, автоматические конденсаторные установки, автоматическое регулирование возбуждения.

The structure of technological complexes of oil and gas industry, composition and descriptions of electro-receivers, typical charts of power supply, modes of consumption of reactive electric power, is analysed. Certainly possible variants of indemnification of reactive-power and on the basis of technical and economic comparison the optimum variants of indemnification of reactive-power are offered for the characteristic technological complexes of oil and gas industry.

Keywords: oil extraction, electric motor, reactive power, power factor correction, capacitor banks, varlogic power factor controllers, automatic compensation and automatic drive.

Постановка проблеми

Велика кількість асинхронних двигунів та трансформаторів, що працюють на неповному навантаженні у мережах напругою 0,4 кВ, 6 кВ та 10 кВ, зумовлюють загальний індуктивний характер навантаження більшості промислових підприємств. Це означає, що крім активної енергії вони споживають значну кількість реактивної, внаслідок чого виникають додаткові втрати у мережах і пониження їх пропускну здатності, перевантаження трансформаторів та кабелів, погіршення якості електроенергії через підвищений вміст гармонік.

Основними споживачами реактивної потужності на підприємствах є: асинхронні двигуни – 60-65%, трансформатори – 20-25%, інші приймачі – 10%, проте їхня частка зростає.

Через відсутність заходів, що обмежують споживання реактивної потужності, підприємство вимушене постійно сплачувати за споживану реактивну енергію (розмір оплати в деяких випадках прирівнюється до оплати за активну), а також оплачувати додаткові втрати активної енергії у системі електропостачання (СЕП) через протікання реактивного струму.

Найбільш ефективним способом зниження негативного ефекту усіх згаданих чинників є застосування компенсуючих пристроїв, які дають змогу підтримувати коефіцієнт потужності у системі на заданому рівні.

Огляд досліджень

В останні роки з розвитком техніки на ринку з'явилися нові, більш сучасні і ефективні пристрої компенсації реактивної потужності, які дозволяють більш точно і ефективніше здійснювати компенсацію реактивної потужності, обладнані мікропроцесорними засобами керування, мають більшу швидкодію, термін служби і високу надійність. Розвиток засобів електроніки дає змогу створювати автоматичні системи керування реактивною потужністю вузлів навантажень.

Виділення невирішених проблем

Аналіз стану компенсації реактивної потужності в системах електропостачання технологічних комплексів нафтової і газової промисловості свідчить про недостатність оснащення компенсуювальними пристроями, їх моральну і технічну зношеність, неефективність використання, низький рівень обслуговування, особливості умов експлуатації, відсутність єдиного методологічного підходу до вибору засобів, що призводить до значного споживання, а в окремих випадках і генерування реактивної потужності.

Постановка задачі

Розроблення методологічних рекомендацій для визначення організаційних та технічних рішень з оптимальної компенсації реактивної

електроенергії в системах електропостачання технологічних комплексів (ТК) нафтової і газової промисловості (НГП).

Об'єкт дослідження

За характером будови систем електропостачання та режимів електроспоживання електричні мережі ТК НГП можна поділити на такі характерні групи: бурові верстати; установки механізованого видобутку нафти; нафтопромислові помпові станції; кушові помпові станції; промислові компресорні станції; газопереробні заводи; компресорні станції магістральних газогонів; магістральні нафтоперегінні станції.

Причини надмірного споживання реактивної електроенергії:

- недовантаження електродвигунів;
- мале завантаження силових трансформаторів;
- змінний режим роботи бурових установок;
- циклічне навантаження штангових глибинних установок;
- мала частка синхронних двигунів у загальній кількості;
- недостатнє оснащення пристроями компенсації реактивної електроенергії;
- відсутність пристроїв автоматичного регулювання збудження синхронних двигунів.

Технічні засоби компенсації реактивної електроенергії – нерегульовані і регульовані конденсаторні установки високої та низької напруг, синхронні двигуни в режимі перезбудження.

Схеми компенсації:

1. загальна – на вводі підприємства, або структурного підрозділу;
2. групова – на лінії групи однотипних електроприймачів;
3. індивідуальна – в безпосередній близькості до електроприймача.

Найбільш ефективними є засоби автоматичного регулювання потужності компенсуючих пристроїв – автоматичні регулятори потужності конденсаторних установок та автоматичні регулятори збудження синхронних двигунів.

За типом регулювання потужності конденсаторних батарей (КБ) установки бувають:

- звичайні (релейні) – у яких комутація конденсаторів виконується за допомогою електромеханічних реле;
- статичні (тиристорні) – у яких використовуються тиристорні ключі.

У статичних установках комутація конденсаторів відбувається в момент нульової напруги, завдяки чому вони забезпечують високу швидкодію (до 14 комутацій за секунду); малий рівень електромагнітних завад; мале зношування конденсаторів; високу надійність ключів; зниження втрат в конденсаторах.

Для керування конденсаторними установками широко використовують мікропроцесорні регулятори, для яких застосовують оптимальні

алгоритми роботи з мінімальним числом комутацій. Використовуючи ступені конденсаторів різної потужності вони зводять до мінімуму споживання реактивної електроенергії.

Система регулювання реактивної потужності синхронного двигуна дає змогу регулювати збудження груп синхронних двигунів за умовами максимальної компенсації реактивної потужності, стабілізації напруги вузла навантаження. Система діє на входи необхідної кількості тиристорних збудників СД, забезпечуючи оптимальний режим роботи.

Сучасні конденсаторні батареї випускаються у трифазному та однофазному виконанні, мають вмонтовані розрядні опори та захист від перенапруг, які можуть виникати в момент комутації, що забезпечує високу надійність цих батарей. Розширено діапазон потужностей конденсаторних батарей: напругою 0,4 кВ від 2,5 квар і напругою 6,3 кВ від 25 квар. Використання сучасних матеріалів дало змогу зменшити габаритні розміри конденсаторів та діелектричні втрати активної електроенергії.

Бурові верстати

Буровими підприємствами України в основному використовуються бурові верстати роторного буріння Уралмаш-4Е, БУ75БрЕ70 з електроприводом основних механізмів і Уралмаш 3Д з дизельним приводом. В експлуатації Прикарпатського УБР перебувають декілька верстатів з електробуром, а в Охтирському УБР – “Уралмаш-5000Э” з використанням схеми індивідуального електропривода ротора за системою «генератор – двигун».

На бурових установках Уралмаш-4Е, БУ75БрЕ 70 для привода бурових насосів використовуються високовольні синхронні двигуни, які працюють у постійному режимі. Для привода ротора та лебідки використовуються асинхронні високовольні електродвигуни, що працюють у повторно-короткочасному режимі роботи. Регулювання збудження синхронних двигунів здійснюється в ручному режимі. Намагання обслуговуючого персоналу виставити режим генерування реактивної потужності за середнім навантаженням бурової призводить до надмірного споживання реактивної електроенергії буровою в режимі буріння та до надмірного генерування реактивної потужності в режимі неробочого ходу привода ротора і лебідки. На рис. 1 зображено діаграму помісячного споживання електроенергії одним з бурових верстатів, а на рис. 2 – добовий графік активного навантаження. Режим споживання реактивної електроенергії є нерівномірним як протягом доби, так і впродовж року.

Бурові верстати з дизельним приводом

На основі техніко-економічного порівняння варіантів [1,2] встановлено, що для компенсації реактивної потужності доцільно використати автоматичні конденсаторні установки потужністю 150 квар.

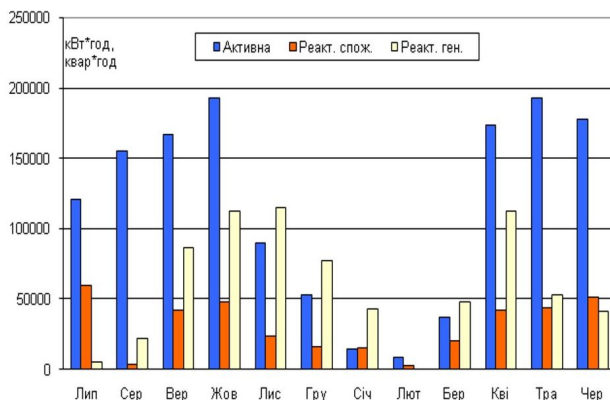


Рисунок 1 – Помісячне споживання електроенергії буровим верстатом Уралмаш-4Е



Рисунок 2 – Добовий графік активного навантаження бурового верстата

Бурові верстати з електричним приводом

Для компенсації реактивної потужності по вводу РП-6кВ доцільно використати синхронні двигуни бурових pomp в режимі перезбудження. Для автоматичного керування струмом збудження СД необхідно застосувати сучасні мікропроцесорні системи регулювання реактивної потужності вузла навантаження. Для більш повного використання системи АРЗ доцільно запровадити єдиний облік електроенергії на буровій, змінивши схему РУ 6 кВ [2].

Установки механізованого видобутку нафти

Для механізованого видобутку нафти в Україні використовують штангові плунжерні помпи та електровідцентрові глибинні помпи.

Основною причиною надмірного споживання реактивної електроенергії нафтовими промислами є недовантаження асинхронних двигунів (АД), змінний режим роботи та значна кількість трансформаторних підстанцій [3]. Це призводить до завищеного споживання реактивної електроенергії. Втрати в трансформаторах становлять 30-50% загального споживання реактивної електроенергії.

Штангові плунжерні помпи (ШПП)

На рис. 3 та рис. 4 зображено циклічні навантаження збалансованої і незбалансованої

ШПП. Незбалансованість ШПП призводить до перевантаження електродвигуна та підвищеного споживання реактивної електроенергії.

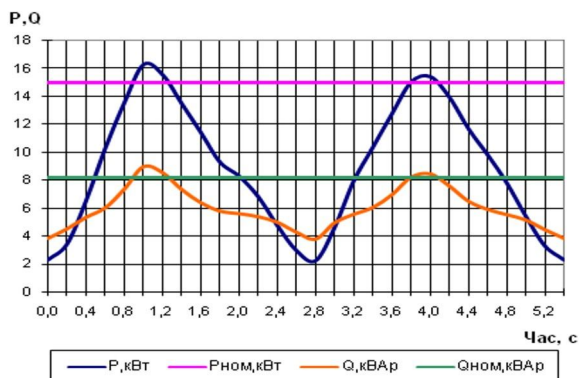


Рисунок 3 - Графіки активного та реактивного навантаження електродвигуна збалансованої ШПП

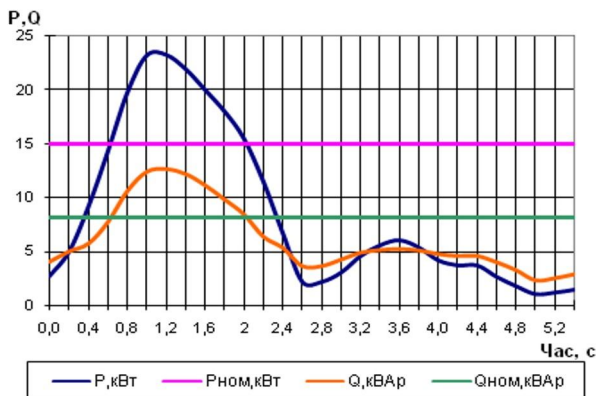


Рисунок 4 - Графіки активного та реактивного навантаження електродвигуна незбалансованої ШПП

Для зменшення споживання реактивної потужності ШПП доцільно проводити щоквартальне балансування механізму ШПП та замінити недовантажені електродвигуни на меншу потужність.

Оптимальний варіант компенсації реактивної потужності ШПП залежить від схеми електропостачання та режиму роботи ШПП протягом доби.

Для ШПП, які отримують живлення від районних електричних мереж доцільно застосувати індивідуальну компенсацію реактивної потужності шляхом приєднання конденсаторної батареї до виводів електродвигуна, оскільки режим споживання реактивної потужності є нерівномірним як протягом доби, так і впродовж року (рис. 5-6).

Оптимальна потужність конденсаторної батареї для індивідуальної компенсації залежить від середнього завантаження асинхронного електродвигуна та характеристики коефіцієнта потужності. [4] Від форми графіка навантаження електродвигуна залежить термін окупності індивідуальної компенсації. Спарена з асинхронним електродвигуном конденсаторна батарея змінює свою потужність прямопропор-

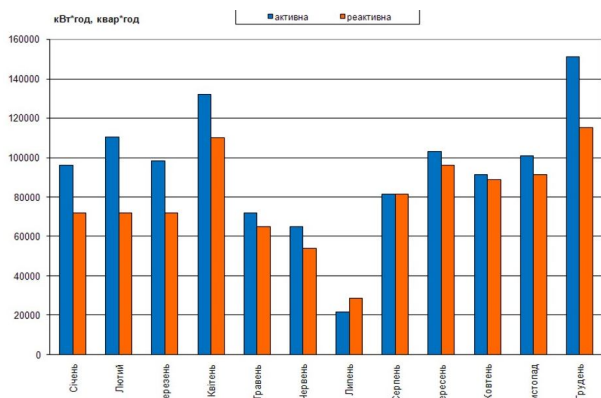


Рисунок 5 - Помісячне споживання електроенергії групою ШПП

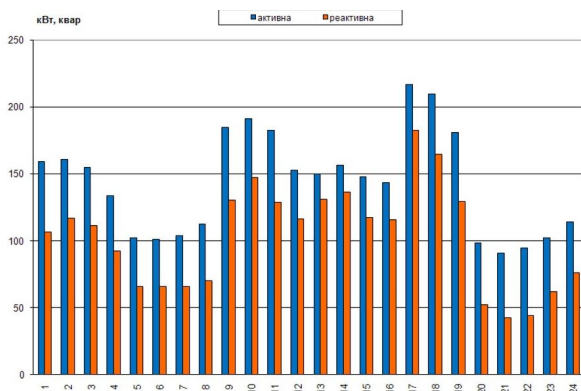


Рисунок 6 – Добові графіки навантаження групи ШПП

ційно квадрату напруги, в результаті чого компенсація споживаної реактивної енергії здійснюється більш ефективно. При виконанні розрахунків реактивного навантаження електропривода необхідно враховувати фактичний коефіцієнт потужності електродвигуна та рівень напруги.

Для групи ШПП, які отримують живлення від власних нафтопромислових підстанцій і працюють цілодобово, доцільно використати конденсаторні установки з декількох високовольтних конденсаторних батарей різної потужності, приєднавши їх до шин 6кВ РП. Корегування приєднаної потужності слід проводити в ручному режимі щомісячно.

Для групи ШПП, які отримують живлення від трансформаторної підстанції кушової помпової станції, обладнаної синхронними електродвигунами (СД), для компенсації реактивної потужності доцільно використати СД в режимі перезбудження. Керування режимом реактивної потужності СД слід здійснювати мікропроцесорною системою регулювання реактивної потужності вузла навантаження.

Електровідцентрові глибинні помпи (ЕВП)

Номинальний коефіцієнт потужності ЕВП становить $0,7 \div 0,85$. Але у разі недовантаження знижується до $0,6$. Режим роботи ЕВП є рівномірним і постійним. ЕВП використовуються

для видобутку нафти на промислах зі значною нафтовіддачею пластів у НГВУ «Охтирканафтогаз» та «Чернігівнафтогаз», які мають розвинену електричну мережу з власними підстанціями 35/6 кВ та 110/35/6 кВ. Тому застосування індивідуальної компенсації реактивної потужності є неефективним. Оптимальною є схема загальної компенсації високовольтними конденсаторними установками, встановленими на промислових трансформаторних підстанціях, або з використанням потужності синхронних електродвигунів кушових помпових станцій (рис. 7-8).

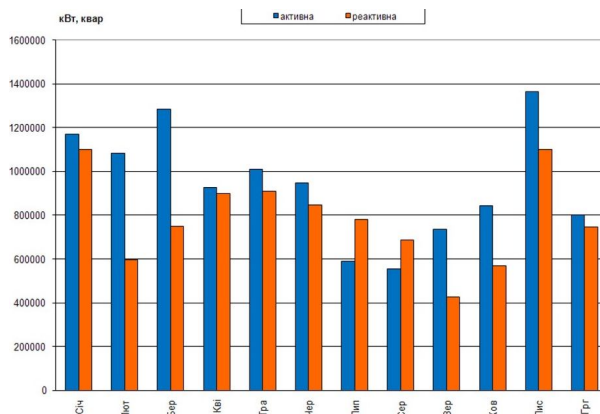


Рисунок 7 - Помісячне споживання електроенергії групою ЕВП

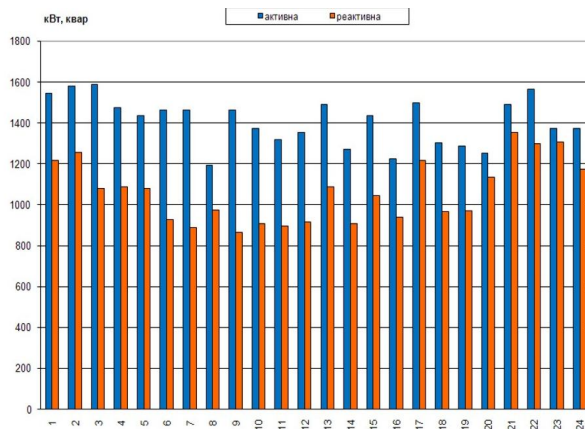


Рисунок 8 – Добові графіки навантаження групи ЕВП

Кушові помпові станції (КПС)

КПС призначені для забору води з водойм та закачування її в пласт для підтримки пластового тиску, а також для виробничого, пожежного і побутового обслуговування. Для привода pomp використовують високовольтні асинхронні та синхронні електродвигуни. КПС є потужними електроприймачами, тому для їх живлення поряд споруджують знижувальні підстанції 35/6 кВ. У залежності від особливостей технологічного процесу помпи можуть працювати постійно (на великих нафтопромислах НГВУ «Долинанафтогаз», «Охтирканафтогаз», «Чернігівнафтогаз»), або циклічно протягом декількох годин на добу (на виснажених наф-

топромислах НГВУ «Надвірнанафтогаз», «Бориславнафтогаз», «Полтаванашфтогаз») (рис. 9-10).

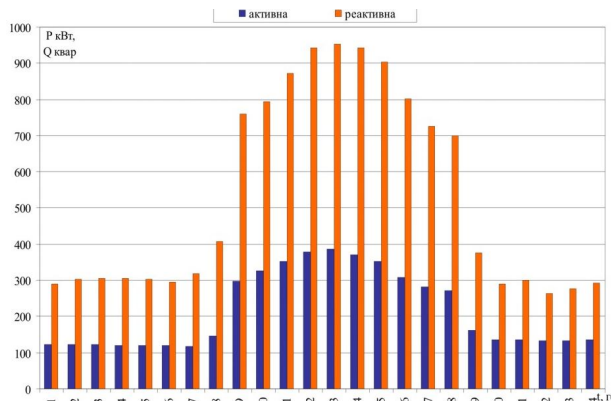


Рисунок 9 – Добові графіки навантаження КПС з тимчасовим вмиканням

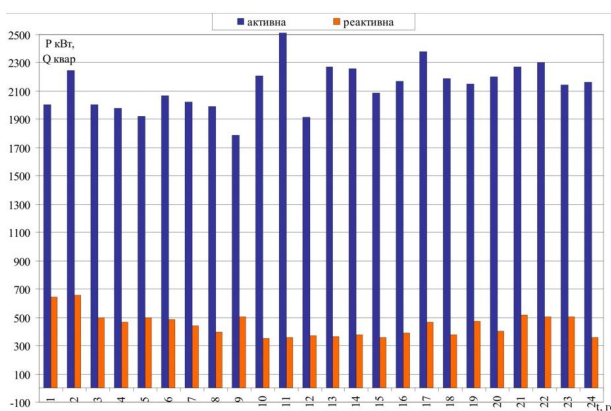


Рисунок 10 – Добові графіки навантаження КПС з тривалим вмиканням

На основі техніко-економічних розрахунків [1] визначено такі оптимальні схеми компенсації реактивної потужності.

На КПС з АД, що працюють циклічно, доцільно застосувати індивідуальну компенсацію реактивної потужності АД високовольтними КБ.

На КПС з АД, що працюють постійно, доцільно застосувати загальну компенсацію високовольтними КБ, приєднаними до шин РП 6кВ, з щомісячним корегуванням потужності приєднаних КБ.

На КПС з СД доцільно використати можливості самих СД для генерування реактивної потужності і покриття споживання іншими електроприймачами нафтового промислу.

Дотискні помпові станції (ДПС)

ДПС призначені для перегону нафти з пунктів збору до центральних товарних парків і установок підготовки нафти. Для привода pomp використовують низьковольтні і високовольтні АД. ДПС отримують живлення від промислових підстанцій 35/6 кВ. Залежно від умов видобутку нафти помпи можуть працювати постійно, або протягом декількох годин на добу.

На основі техніко-економічних розрахунків [1] для ДПС визначено такі оптимальні схеми компенсації реактивної потужності.

На ДПС з АД, які працюють короткочасно доцільно застосувати індивідуальну компенсацію реактивної потужності АД шляхом спарювання з КБ.

На ДПС з АД, які працюють постійно, доцільно застосувати загальну компенсацію високовольтними КБ, приєднаними до шин РП 6кВ з щомісячним корегуванням потужності приєднаних КБ.

На ДПС, які об'єднані з КПС, обладнаними СД, доцільно використати можливості самих СД для генерування реактивної потужності і покриття споживання іншими електроприймачами нафтового промислу.

Газопереробні заводи (ГПЗ)

ГПЗ є потужним технологічним комплексом, розташованим компактно на одній території. До основних цехів відносяться: цех підготовки і стабілізації нафти; цех переробки газу; компресорний цех; цех відвантаження газу. Допоміжні цехи і ділянки: цех автоматизації виробництва і автоматизованих систем керування; цех пароводопостачання; автотранспортний цех; електроділянка; ремонтно-механічна ділянка; хіміко-аналітична лабораторія; бригада з ремонту технологічних компресорів; воєнізований газорятівний загін; ділянка господарського обслуговування.

Основне електрообладнання – приводні електродвигуни основного технологічного устаткування для транспортування рідин (помпи різних типів, приводні електродвигуни заслінок трубопроводів і т.п.); приводні електродвигуни основного технологічного обладнання для транспортування і стиснення газу (компресори різних типів і видів, у тому числі і газомотокомпресори, а також приводні електродвигуни електричних заслінок апаратів повітряного охолодження і ін.); приводні електродвигуни вентиляторів і кондиціонерів повітря виробничих приміщень; електроустаткування резервуарів, споруд каналізації і очищення промислових стоків; прилади систем зовнішнього і внутрішнього освітлення.

Електропостачання ГПЗ здійснюється від власних підстанцій 35/6 кВ.

Розподіл електроенергії по заводу здійснюється за радіальним принципом, причому кожна технологічна нитка одержує живлення від різних секцій підстанцій. На підстанціях встановлюються по два силових оливних трансформатори. Від кожної з двох секцій шин розподільного пристрою напругою 6 кВ живляться потужні електродвигуни привода компресорів і pomp, а також комплектні знижувальні двотрансформаторні підстанції 6/0,4 кВ. Від шин 0,4 кВ – асинхронні двигуни до 125 кВт.

За режимом роботи технологічні установки можна поділити на дві групи: з рівномірним і нерівномірним добовим графіком навантаження.

До установок з нерівномірним добовим навантаженням відносяться: цех підготовки і стабілізації нафти; цех переробки газу; резервуарний парк, блок зневоднення та знесолення нафти, установки попереднього скиду, котельня, абсорбційно-газофракціонуюча установка, цех відвантаження готової продукції.

До установок з рівномірним добовим навантаженням відносяться: водозворотна помпова станція, компресорна станція, технологічна помпова.

Загалом по ГПЗ добовий графік навантаження є нерівномірним, тому оптимальною є змішана система компенсації реактивної потужності: на ТП 6/0,4кВ, які живлять установки першої групи, необхідно встановити автоматичні регульовані конденсаторні установки, на РП 6кВ ГЗП – нерегульовані високовольтні КБ для компенсації незмінної частини добового графіка, а з високовольтними АД спарити КБ для індивідуальної компенсації.

Ряд об'єктів, таких як бази виробничого обслуговування, управління технологічного транспорту, адміністративні приміщення та інші, які працюють в одну зміну, мають характерний графік навантаження (рис. 11).

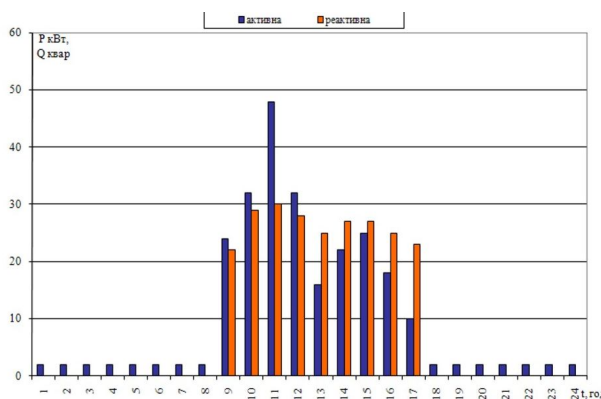


Рисунок 11 - Добовий графік навантаження однозмінних електроприймачів

Висновки

В результаті виконання робіт проведено аналіз поточного стану споживання та оплати за реактивну електроенергію. Встановлено основні електроприймачі та характер їх роботи, проаналізовано добові та річні графіки електричних навантажень. Проаналізовано методи та технічні засоби компенсації реактивної електроенергії. Розроблено варіанти оптимальної компенсації реактивної електроенергії по всіх точках її обліку та виконано техніко-економічне порівняння. Запропоновано організаційні заходи та технічні рішення з оптимальної компенсації реактивної електроенергії. Розраховано економічну ефективність впроваджуваних заходів, яка склала 1354101 гривень за рік. Термін окупності додаткових капіталовкладень не перевищує 2 роки.

Література

- 1 Соломчак О.В. Методика вибору та порівняння варіантів компенсації реактивної потужності / О.В.Соломчак // Енергетика і електрифікація. - 2004. - №9. - С.23-26.
- 2 Соломчак О.В. Зменшення споживання реактивної електроенергії буровими верстатами / О.В.Соломчак // Нафтогазова енергетика. - 2006.- №1. - С.104-110.
- 3 Соломчак О.В. Дослідження режимів споживання реактивної потужності асинхронними електродвигунами зі змінним навантаженням / О.В.Соломчак, В.А.Ровінський, О.С. Возняк // Промислова електроенергетика та електротехніка. - 2005. -№5. - С.33-38.
- 4 Соломчак О.В. Технологічна компенсація реактивної потужності в електроприводах штангових глибинних насосів / О.В.Соломчак, О.С.Возняк, М.М.Бабій // Промислова електроенергетика та електротехніка.-2006.-№6. - С.59-63.

Стаття надійшла до редакційної колегії
16.11.09
Рекомендована до друку професором
В.С. Костишиним