

Галузь знань – "Енергетика"

шифр «Контур»

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНОГО КОНТУРА ГАЗОТУРБІННОГО
ДВИГУНА ПОТУЖНІСТЮ 110 МВт**

2017/2018 н.р.

ЗМІСТ

Вступ	3
1. Дослідження параметрів парогазової установки з теплоутилізаційним контуром одного тиску	6
2. Дослідження параметрів парогазової установки з теплоутилізаційним контуром двох тисків	15
Висновки	28
Список використаної літератури	29

ВСТУП

Актуальність теми. Ефективним способом підвищення коефіцієнта корисної дії газотурбінної установки є утилізація тепла випускних газів в паротурбінному теплоутилізаційному контурі (ТУК). Конструктивно найпростішою є схема теплоутилізаційного контуру одного тиску. Через поверхні нагріву котла-утилізатора (економайзер, випарник, пароперегрівач) такої установки проходить однакова кількість робочого тіла (води і пари). При цьому виявляється її серйозний недолік, пов'язаний з необхідністю задоволення двох суперечливих вимог. З одного боку, котел-утилізатор повинен генерувати пару високих параметрів (в першу чергу, високої температури), для того щоб забезпечити високу економічність паротурбінного блоку. Однак запас теплової енергії, що міститься у випускних газах, може забезпечити ці параметри тільки при малих витратах живильної води. Але тоді ця витрата не може охолодити гази, що надходять у котел, до низької температури, і тому зменшується ККД котла-утилізатора (який і без того невисокий).

З іншого боку, пропуск великої кількості живильної води хоча і забезпечує низьку температуру вихідних газів котла і його високу економічність, але не дозволяє отримати високі параметри пари за ним.

Зазначений недолік може бути подоланий пропусканням через «хвостові» поверхні котла (за газом) більшої кількості води, а через вхідні – меншої. Конструктивно це призводить до створення теплоутилізаційних контурів двох та трьох тисків.

У теплоутилізаційному контурі двох тисків конденсат з конденсатора парової турбіни насосом низького тиску подається в економайзер низького тиску (він же «газовий підігрівач конденсату»). Після цього частина конденсату (25...30 %) подається в сепаратор пари низького тиску, де випаровується. Пара, що утворилася, пройшовши пароперегрівач низького тиску, надходить у циліндр низького тиску (ЦНТ) парової турбіни.

Інша частина конденсату (70...75 %) нагнітається насосом високого тиску

в контур високого тиску котла-утилізатора, який складається з економайзера, випарника і пароперегрівача. Отримана пара надходить у циліндр високого тиску (ЦВТ) турбіни. Пройшовши ЦВТ, вона змішується з парою з контуру низького тиску, і сумарна витрата пари надходить у ЦНТ.

За описаною схемою виконана переважна більшість сучасних газотурбінних установок з паротурбінним теплоутилізаційним контуром, які мають ККД не менше 50...52 %.

Вирішення практичних питань поліпшення ефективності існуючих конструкцій газотурбінних установок обумовлює необхідність детального вивчення впливу окремих параметрів теплоутилізаційних контурів на загальний ККД парогазової установки.

Роботи в цьому напрямі ведуться в багатьох країнах, у тому числі і українськими вченими. Однак, процес дослідження досі триває, його не можна визнати повним і завершеним.

Метою роботи є дослідження впливу окремих параметрів теплоутилізаційних контурів одного та двох тисків на ефективність парогазової установки, створеної на базі газотурбінного двигуна потужністю 110 МВт.

У відповідності до поставленої мети були вирішені такі **завдання дослідження**:

- термодинамічні та габаритні розрахунки газотурбінного двигуна простого термодинамічного циклу потужністю 110 МВт;
- розробка конструкції теплоутилізаційного контуру одного тиску;
- розрахунок теплової схеми котла-утилізатора, парової турбіни та визначення економічних показників парогазової установки одного тиску;
- дослідження впливу тиску та температури генеруємої пари, а також тиску в конденсаторі на показники парогазової установки одного тиску;
- розробка конструкції теплоутилізаційного контуру двох тисків;
- розрахунок теплової схеми котла-утилізатора, парової турбіни та визначення економічних показників парогазової установки двох тисків;

– дослідження впливу тиску та температури генеруємої пари високого тиску, тиску генеруємої пари низького тиску, а також тиску в конденсаторі на показники парогазової установки двох тисків;

– аналіз одержаних результатів, розробка рекомендацій для проектування парогазових установок даного типу.

Об'єкт дослідження – процеси, що відбуваються в системах утилізації випускних газів газотурбінних двигунів.

Предмет дослідження – теплоутилізаційні контури одного та двох тисків для газотурбінного двигуна потужністю 110 МВт.

Метод дослідження – розробка конструкції, математичне моделювання та визначення ефективності теплоутилізаційних контурів газотурбінних установок.

Наукова новизна одержаних результатів. На основі аналізу результатів дослідження впливу окремих параметрів теплоутилізаційних контурів одного та двох тисків на загальну ефективність парогазових установок типу «моно-блок», створених на основі газотурбінного двигуна потужністю 110 МВт, вперше виконана розробка рекомендацій для створення газотурбінних установок даного типу для рівня технології вітчизняного проєктанта та виробника газотурбінних агрегатів – підприємства ДП НВКГ "Зоря" – "Машпроект".

Структурно робота складається зі вступу, двох розділів, висновків та списку використаної літератури з 4 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 29 сторінок, включаючи 35 рисунків.

Ключові слова: газотурбінний двигун; теплоутилізаційний контур; парова турбіна; котел-утилізатор; ефективний коефіцієнт корисної дії.

1.1. Дослідження впливу тиску генеруємої пари на показники парогазової установки

Дослідження впливу тиску генеруємої пари на показники парогазової установки, оснащеної теплоутилізаційним контуром одного тиску, проводилося в інтервалі значень від 1 до 7 МПа при фіксованих значеннях інших досліджуваних параметрів:

температури генеруємої пари – 300, 400 та 477 °С (останнє значення є найбільшою можливою температурою пари при умовах дослідження);

тиску в конденсаторі – 5 кПа.

Результати розрахунків наведені у вигляді графічних залежностей на рис. 1.2-1.6.

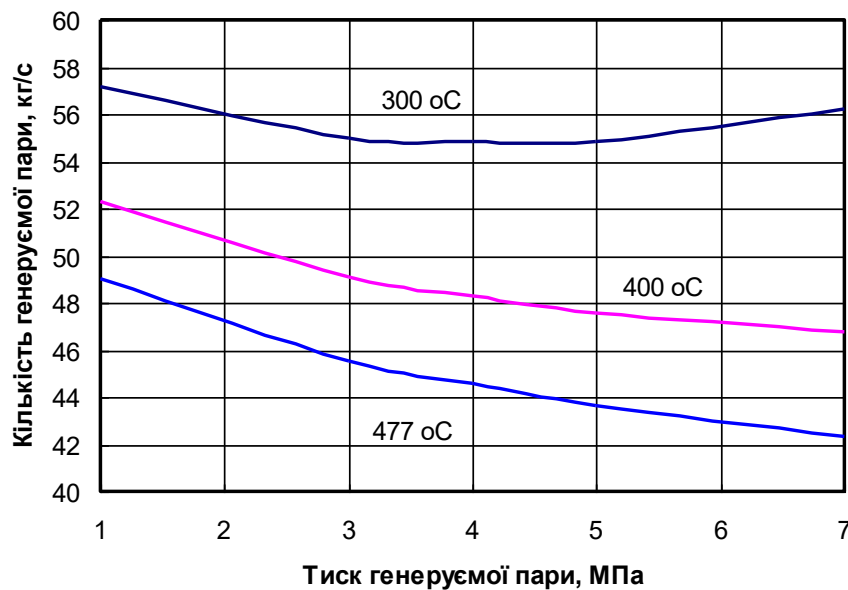


Рис. 1.2. Зміна масової витрати генеруємої пари

На підставі аналізу отриманих результатів можна зробити наступні висновки:

1. Збільшення тиску генеруємої пари призводить, з одного боку, до зростання температури кипіння води, а отже, до зростання необхідної температури газу перед економайзером і до зменшення кількості генеруємої пари; з іншого боку – до зменшення різниці ентальпій генеруємої пари і води в стані насичен-

ня, а отже, до збільшення кількості генеруємої пари. У загальному випадку, із зростанням тиску генеруємої пари її кількість зменшується.

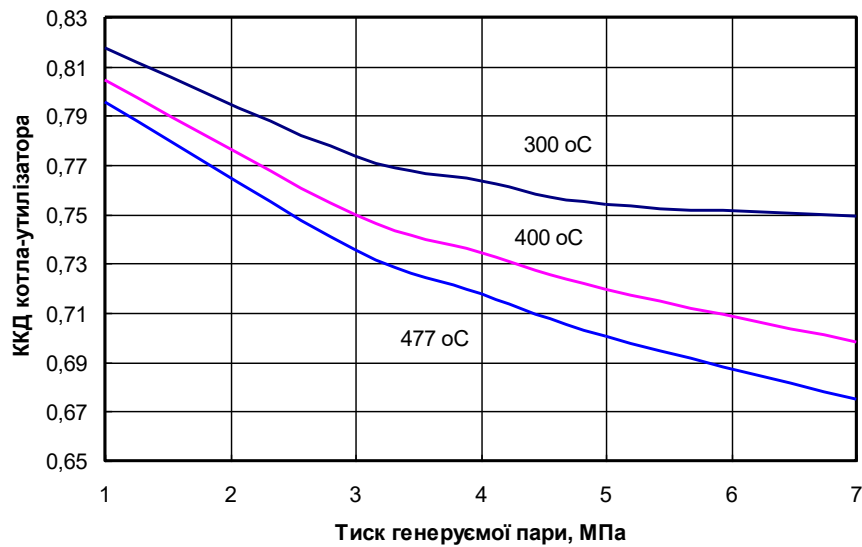


Рис. 1.3. Зміна ККД котла-утилізатора

2. Збільшення тиску генеруємої пари веде до збільшення температури газів за котлом-утилізатором, а отже, до зменшення ККД котла-утилізатора.

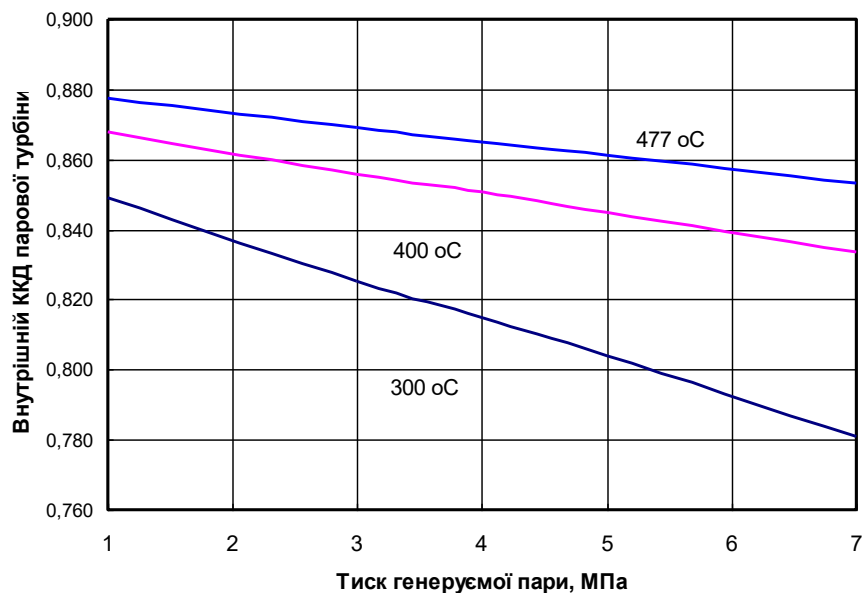


Рис. 1.4. Зміна внутрішнього ККД парової турбіни

3. Збільшення тиску генеруємої пари призводить до збільшення вологості пари в останніх ступенях турбіни і до погіршення її ККД.

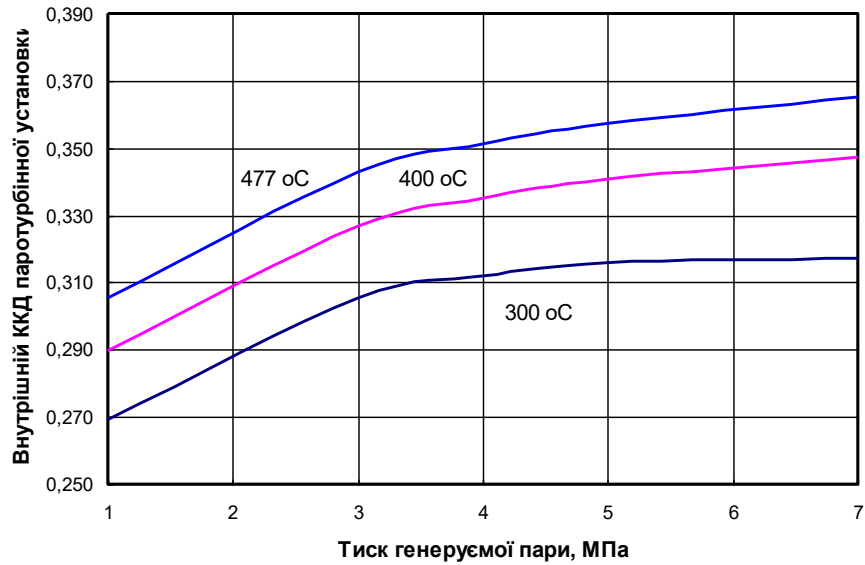


Рис. 1.5. Зміна внутрішнього ККД паротурбінної установки

4. Збільшення тиску генеруємої пари приводить при незначній зміні потужності турбіни до збільшення температури газів за котлом-утилізатором, зменшення тепла, що віддається газами в котлі-утилізатори і витрачається на отримання пари, і до зростання ККД паротурбінної установки.

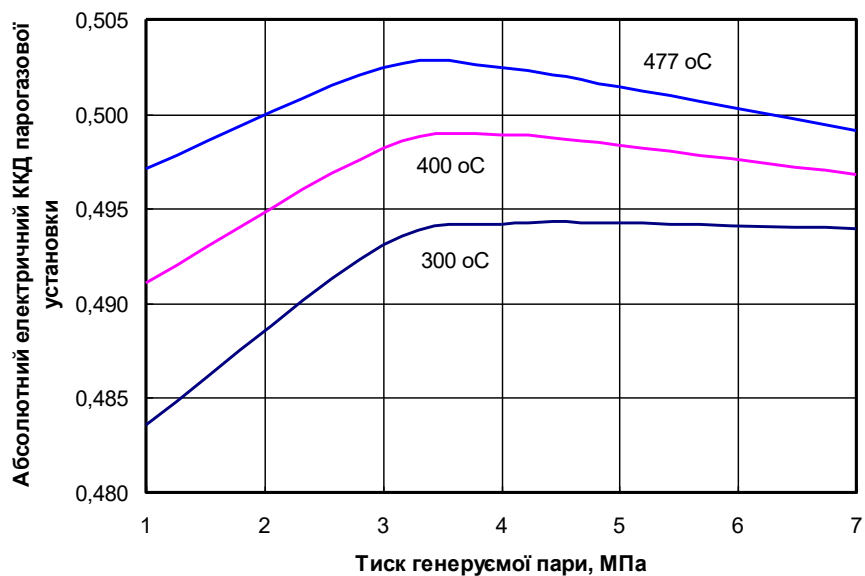


Рис. 1.6. Зміна абсолютного електричного ККД парогазової установки

5. Збільшення тиску генеруємої пари, яке, з одного боку, приводить до зменшення кількості генеруємої пари, а з іншого боку – до збільшення внутрі-

шнього теплоперепада турбіни, веде до неоднозначної зміни потужності парової турбіни та електричного ККД парогазової установки.

1.2. Дослідження впливу температури генеруємої пари на показники парогазової установки

Дослідження впливу температури генеруємої пари на показники парогазової установки, оснащеної теплоутилізаційним контуром одного тиску, проводилося в інтервалі значень від 300 до 477 °С при фіксованих значеннях інших досліджуваних параметрів:

тиску генеруємої пари – 1, 4 та 7 МПа;

тиск в конденсаторі – 5 кПа.

Результати розрахунків наведені у вигляді графічних залежностей на рис. 1.7-1.11.

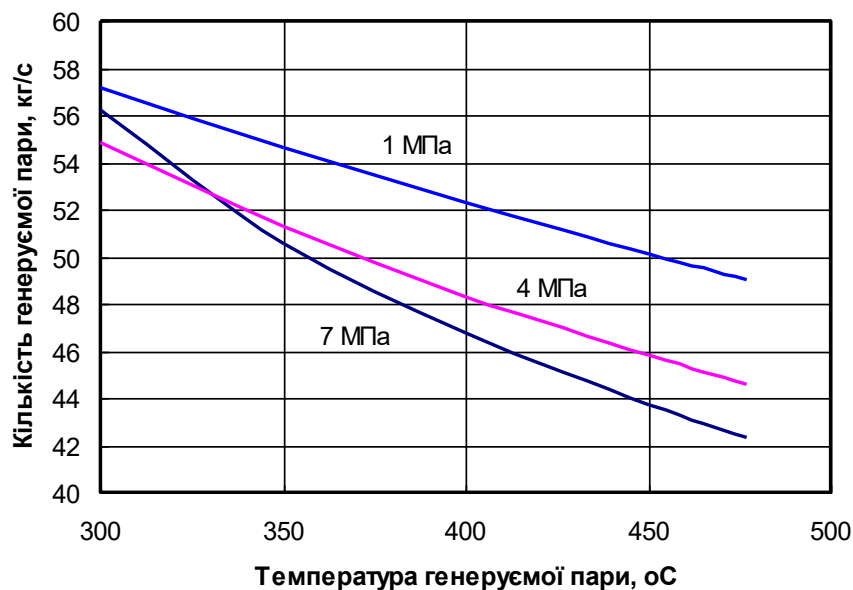


Рис. 1.7. Зміна масової витрати генеруємої пари

На підставі аналізу отриманих результатів можна зробити наступні висновки:

1. Збільшення температури генеруємої пари призводить до зростання ентальпії генеруємої пари і до зменшення її кількості.

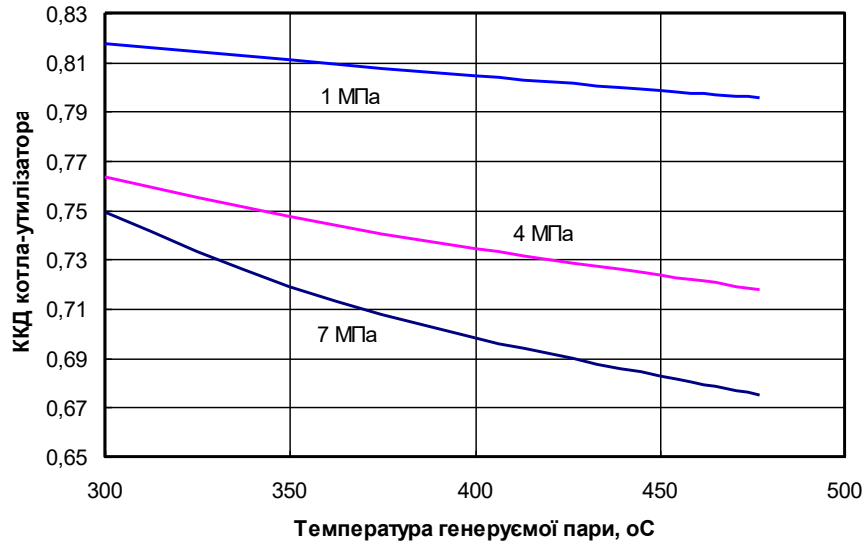


Рис. 1.8. Зміна ККД котла-утилизатора

2. Збільшення температури генеруємої пари веде до збільшення температури газів за котлом-утилизатором, а отже, до зменшення ККД котла-утилизатора.

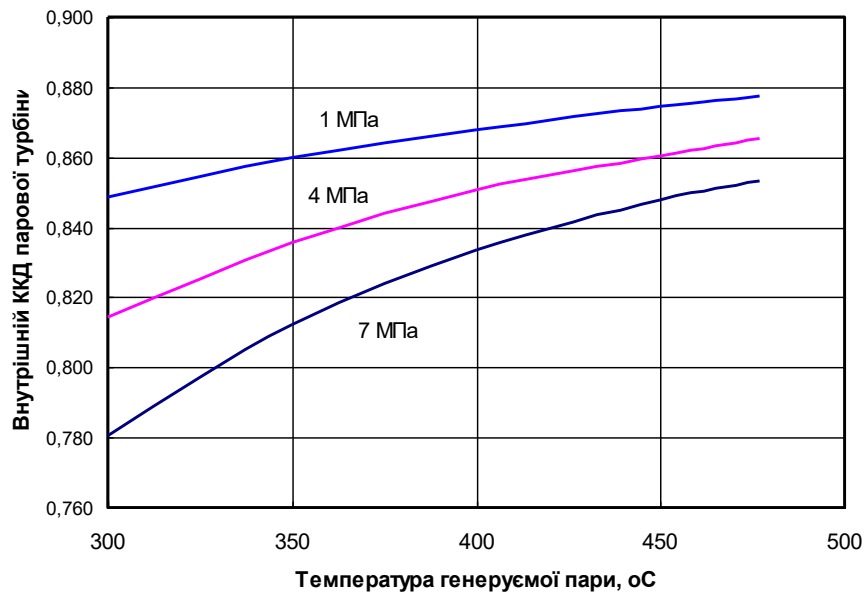


Рис. 1.9. Зміна внутрішнього ККД парової турбіни

3. Збільшення температури генеруємої пари призводить до зменшення вологості пари в останніх ступенях турбіни і до збільшення її ККД.

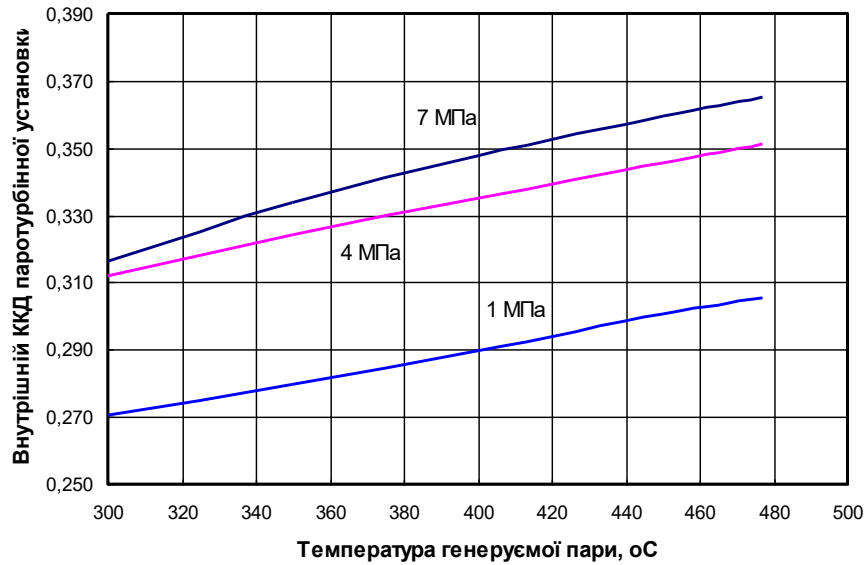


Рис. 1.10. Зміна внутрішнього ККД паротурбінної установки

4. Збільшення температури генеруємої пари призводить до зростання потужності турбіни і до зменшення тепла, що віддається газами на отримання пари в котлі-утилізатори, що веде до зростання ККД паротурбінної установки.

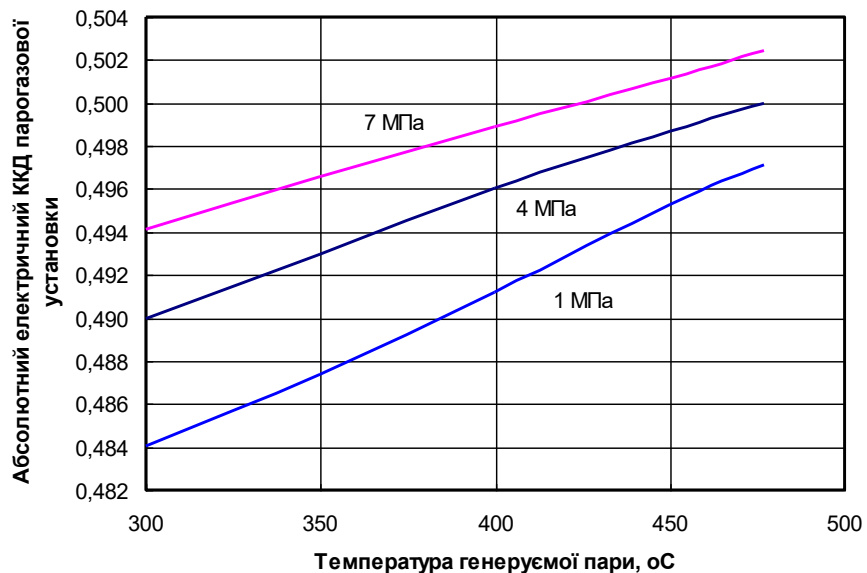


Рис. 1.11. Зміна абсолютного електричного ККД парогазової установки

5. Однозначне збільшення потужності турбіни, яке має місце при збільшенні температури пари, призводить до збільшення електричного ККД парогазової установки.

1.3. Дослідження впливу тиску в конденсаторі на показники парогазової установки

Дослідження впливу тиску в конденсаторі на показники парогазової установки, оснащеної теплоутилізаційним контуром одного тиску, проводилося в інтервалі значень від 3,5 до 20 кПа при фіксованих значеннях інших досліджуваних параметрів:

температури генеруємої пари – 477 °С;

тиску генеруємої пари – 4 МПа.

Результати розрахунків наведені у вигляді графічних залежностей на рис. 1.12-1.14.

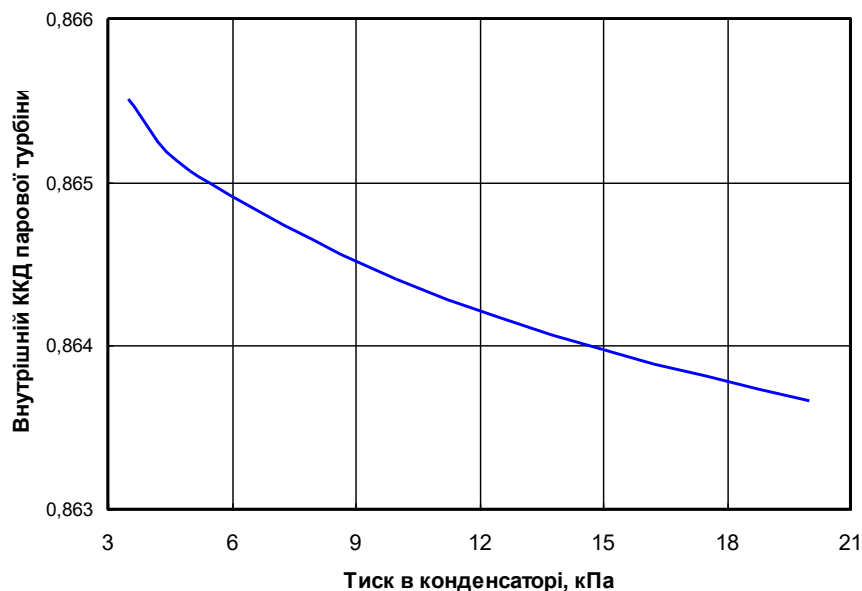


Рис. 1.12. Зміна внутрішнього ККД парової турбіни

На підставі аналізу отриманих результатів можна зробити наступні висновки:

1. Зміна тиску в конденсаторі не впливає на параметри котла-утилізатора (кількість генерованої пари, його ККД та ін.).

2. Збільшення тиску в конденсаторі веде до незначного погіршення ККД парової турбіни.

3. Збільшення тиску в конденсаторі призводить до зниження внутрішнього теплоперепад турбіни, що при незмінних значеннях витрати пари і підведеного на його генерацію в котлі-утилізатори тепла призводить до зменшення ККД паротурбінної установки.

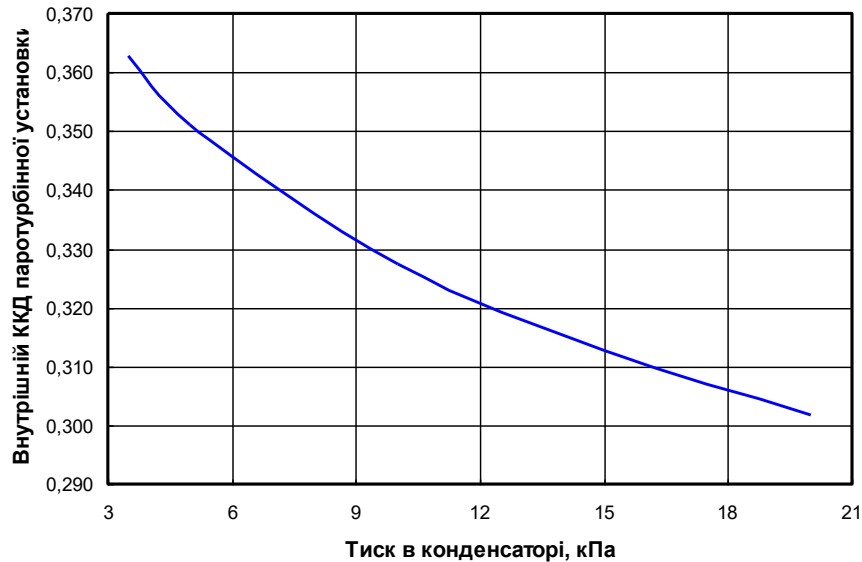


Рис. 1.13. Зміна внутрішнього ККД паротурбінної установки

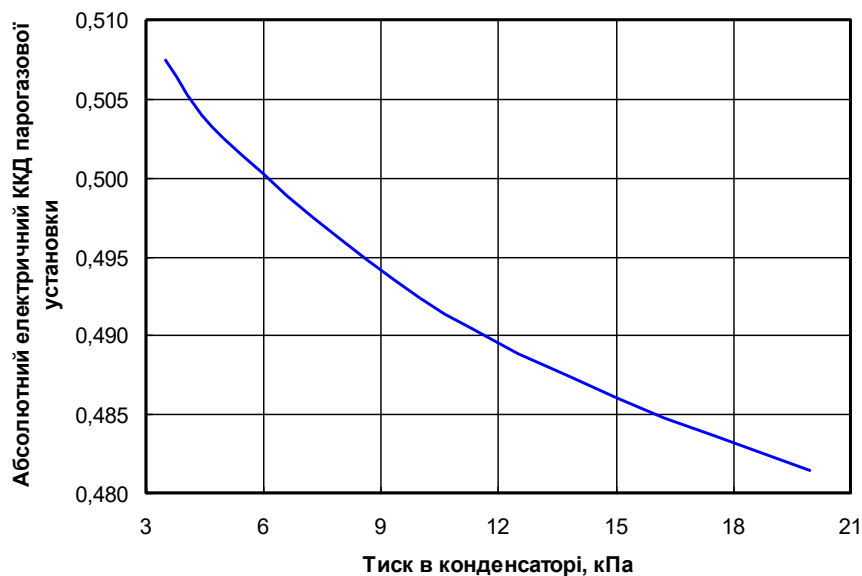


Рис. 1.14. Зміна абсолютного електричного ККД парогазової установки

4. Збільшення тиску в конденсаторі зменшує внутрішній теплоперепад турбіни, а отже, її потужність і електричний ККД парогазової установки.

2.1. Дослідження впливу тиску пари високого тиску на показники парогазової установки

Дослідження впливу тиску генеруємої пари високого тиску на показники парогазової установки, оснащеної теплоутилізаційним контуром двох тисків, проводилося в інтервалі значень від 3 до 9 МПа при фіксованих значеннях інших досліджуваних параметрів:

температури генеруємої пари високого тиску – 300, 400 та 477 °С;

тиску генеруємої пари низького тиску – 0,5 МПа;

тиску в конденсаторі – 5 кПа.

Результати розрахунків наведені у вигляді графічних залежностей на рис. 2.1-2.6.

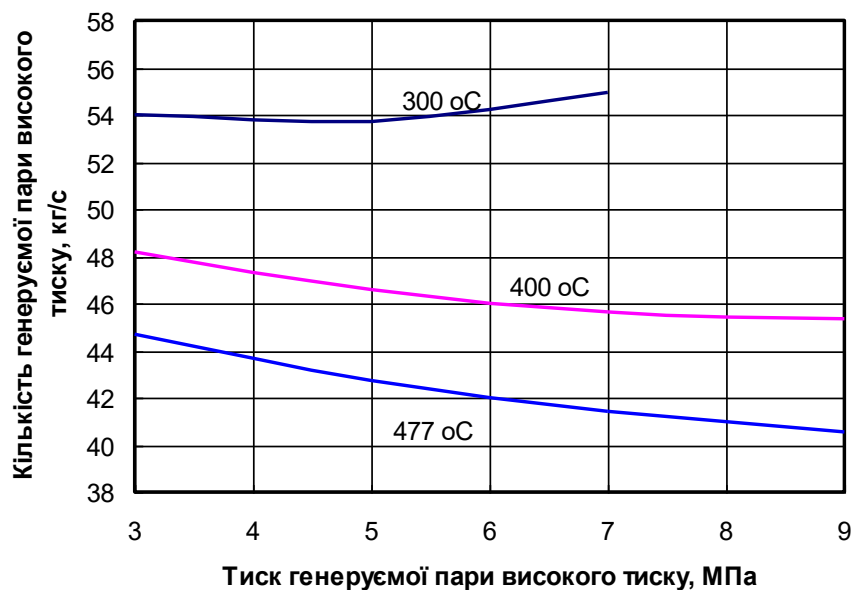


Рис. 2.1. Зміна масової витрати генеруємої пари високого тиску

На підставі аналізу отриманих результатів можна зробити наступні висновки:

1. Збільшення тиску генеруємої пари високого тиску призводить, з одного боку, до зростання температури кипіння води, а отже, до зростання необхідної температури газу перед економайзером і до зменшення кількості генеруємої пари; з іншого боку – до зменшення різниці ентальпій генеруємої пари і води в

стані насичення, а отже, до збільшення кількості генеруємої пари. У загальному випадку, із зростанням тиску генеруємої пари високого тиску її кількість зменшується.

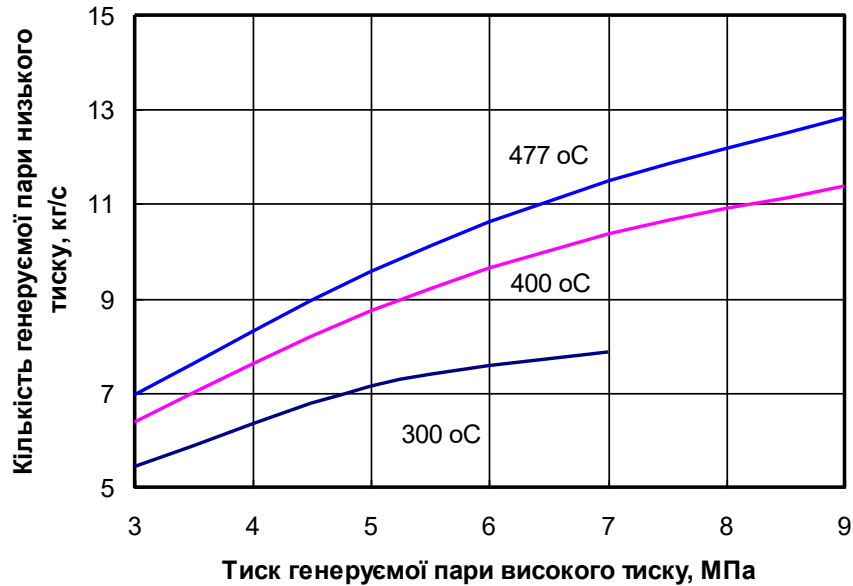


Рис. 2.2. Зміна масової витрати генеруємої пари низького тиску

2. Збільшення тиску генеруємої пари високого тиску призводить до збільшення температури газів перед контуром низького тиску котла-утилізатора і до зростання кількості генеруємої пари низького тиску.

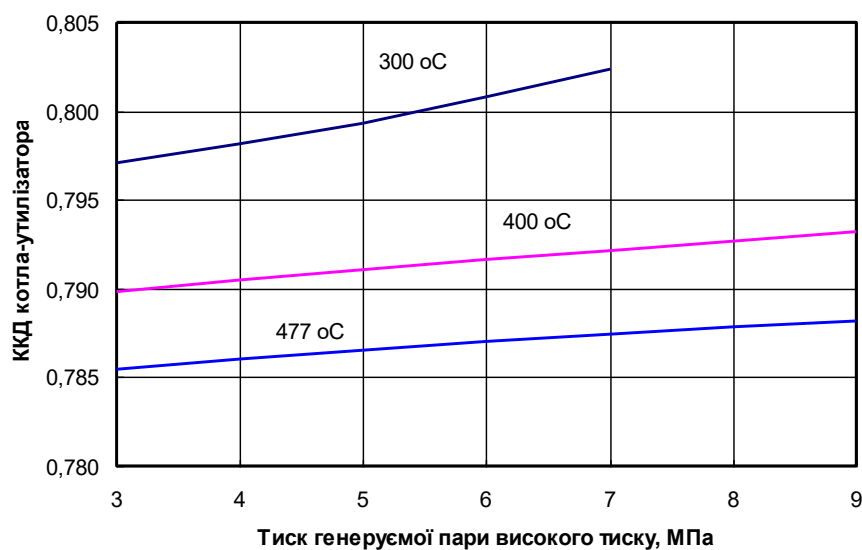


Рис. 2.3. Зміна ККД котла-утилізатора

3. Збільшення тиску генеруємої пари високого тиску веде до незначного зниження температури газів за котлом-утилізатором і підвищення ККД котла-утилізатора.

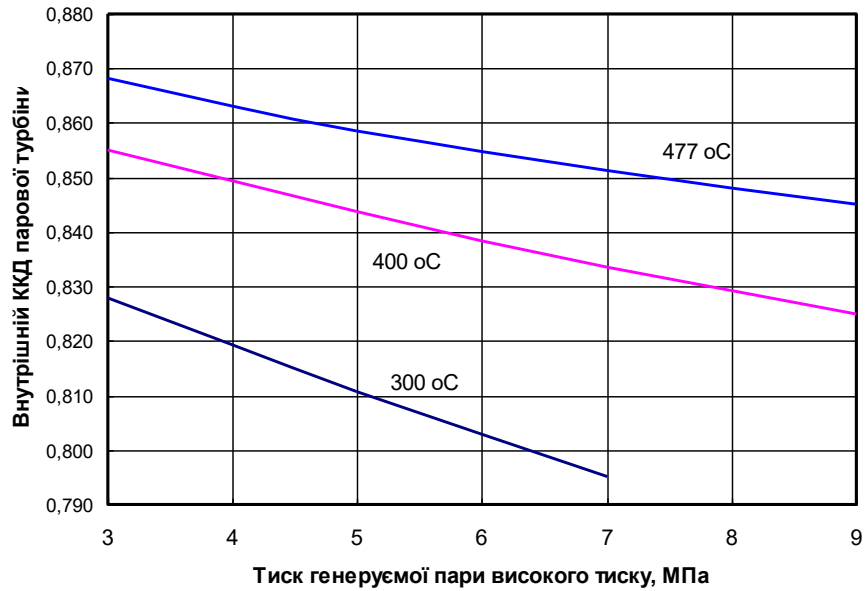


Рис. 2.4. Зміна внутрішнього ККД парової турбіни

4. Збільшення тиску генеруємої пари високого тиску призводить до збільшення вологості пари в останніх ступенях турбіни і до погіршення її ККД.

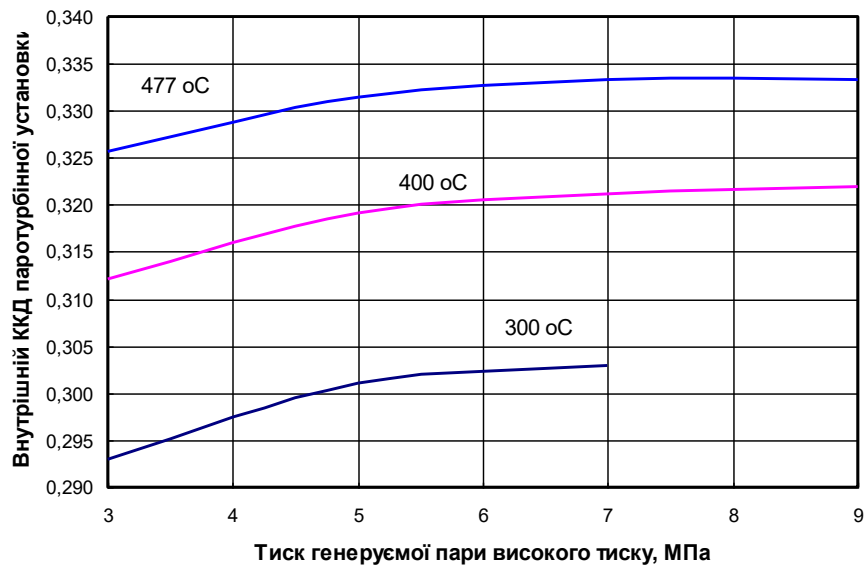


Рис. 2.5. Зміна внутрішнього ККД паротурбінної установки

5. Збільшення тиску генеруємої пари високого тиску призводить до збільшення потужності турбіни і до зростання ККД паротурбінної установки.

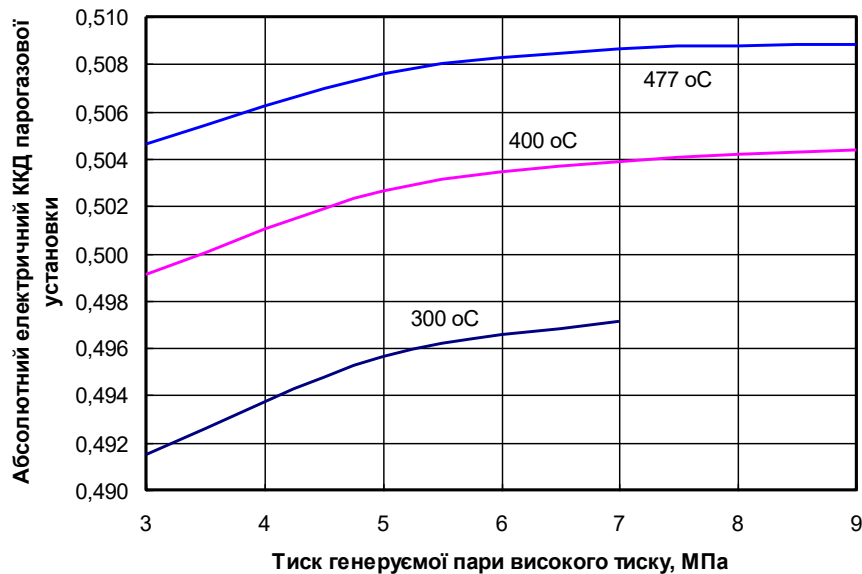


Рис. 2.6. Зміна абсолютного електричного ККД парогазової установки

6. Збільшення тиску генеруємої пари високого тиску внаслідок зростання потужності турбіни призводить до збільшення електричного ККД парогазової установки.

2.2. Дослідження впливу тиску пари низького тиску на показники парогазової установки

Дослідження впливу тиску генеруємої пари низького тиску на показники парогазової установки, оснащеної теплоутилізаційним контуром двох тисків, проводилося в інтервалі значень від 0,1 до 0,9 МПа при фіксованих значеннях інших досліджуваних параметрів:

температури генеруємої пари високого тиску – 300, 400 та 477 °C;

тиску генеруємої пари високого тиску – 5 МПа;

тиску в конденсаторі – 5 кПа.

Результати розрахунків наведені у вигляді графічних залежностей на рис. 2.7-2.12.

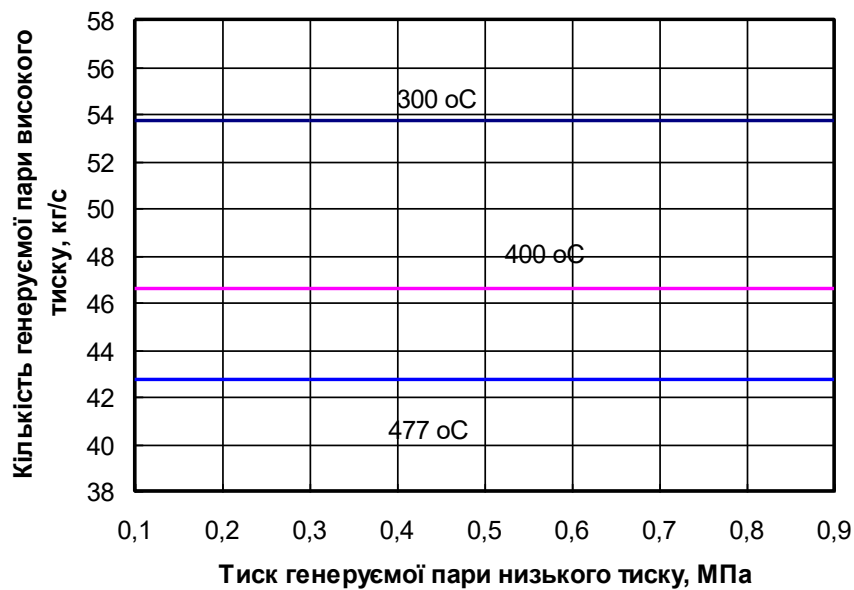


Рис. 2.7. Зміна масової витрати генеруємої пари високого тиску

На підставі аналізу отриманих результатів можна зробити наступні висновки:

1. Зміна тиску генеруємої пари низького тиску не впливає на кількість генеруємої пари високого тиску.

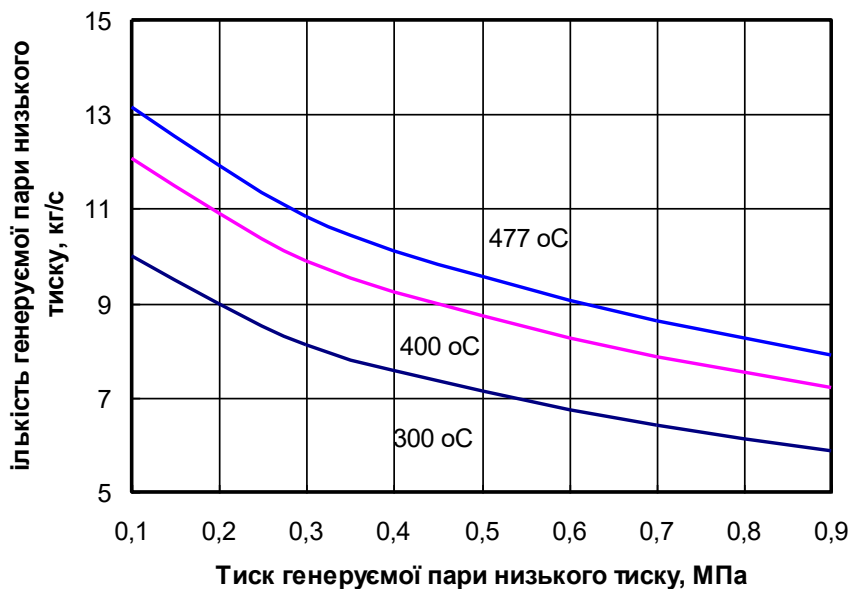


Рис. 2.8. Зміна масової витрати генеруємої пари низького тиску

2. Збільшення тиску генеруємої пари низького тиску призводить до зменшення кількості генеруємої пари низького тиску.

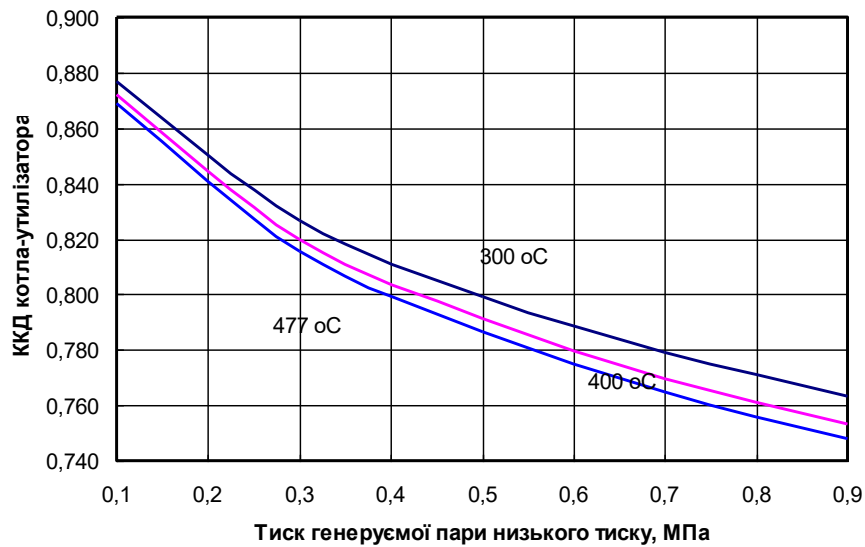


Рис. 2.9. Зміна ККД котла-утилізатора

3. Збільшення тиску генеруємої пари низького тиску веде до збільшення температури газів за котлом-утилізатором і зниження ККД котла-утилізатора.

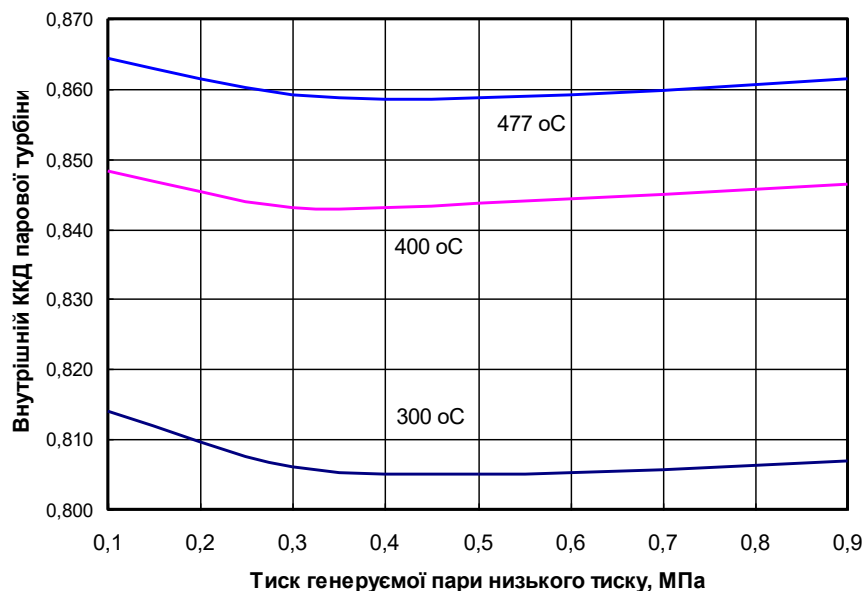


Рис. 2.10. Зміна внутрішнього ККД парової турбіни

4. Зміна тиску генеруємої пари низького тиску неоднозначно впливає на ККД парової турбіни. Внутрішній ККД 1-ї частини турбіни при цьому зменшується, внутрішній ККД 2-ї частини турбіни – збільшується.

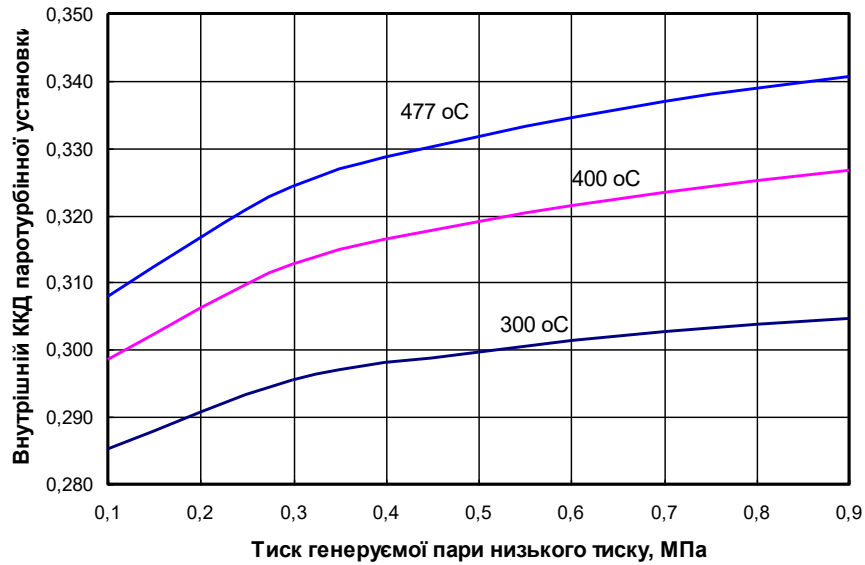


Рис. 2.11. Зміна внутрішнього ККД паротурбінної установки

5. Збільшення тиску генеруємої пари низького тиску призводить як до зниження потужності турбіни, так і до зменшення кількості тепла, яке витрачається в котлі-утилізатори на генерацію пари. ККД паротурбінної установки в результаті зростає.

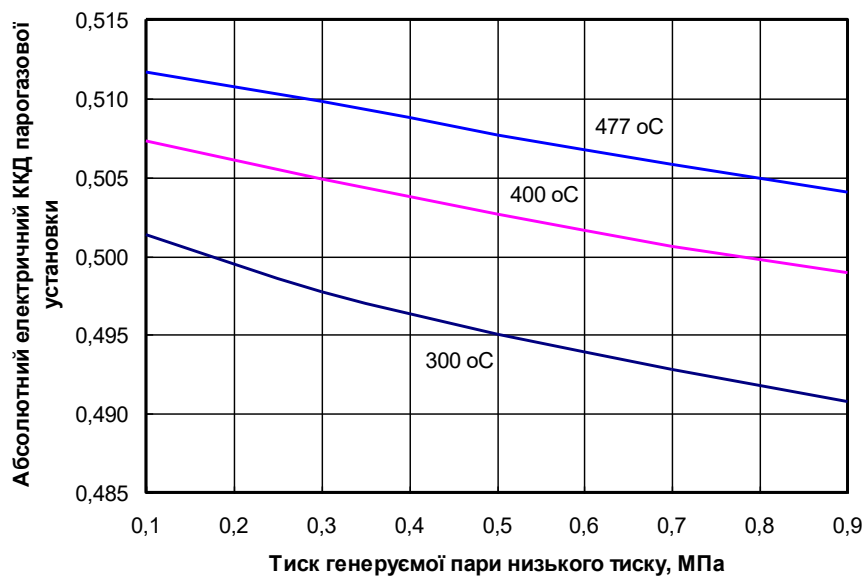


Рис. 2.12. Зміна абсолютного електричного ККД парогазової установки

6. Збільшення тиску генеруємої пари низького тиску внаслідок зниження потужності турбіни призводить до зменшення електричного ККД парогазової установки.

2.3. Дослідження впливу температури пари високого тиску на показники парогазової установки

Дослідження впливу температури генеруємої пари високого тиску на показники парогазової установки, оснащеної теплоутилізаційним контуром двох тисків, проводилося в інтервалі значень від 300 до 477 °С при фіксованих значеннях інших досліджуваних параметрів:

тиску генеруємої пари високого тиску – 3, 5 та 7 МПа;

тиску генеруємої пари низького тиску – 0,5 МПа;

тиску в конденсаторі – 5 кПа.

Результати розрахунків наведені у вигляді графічних залежностей на рис. 2.13-2.18.

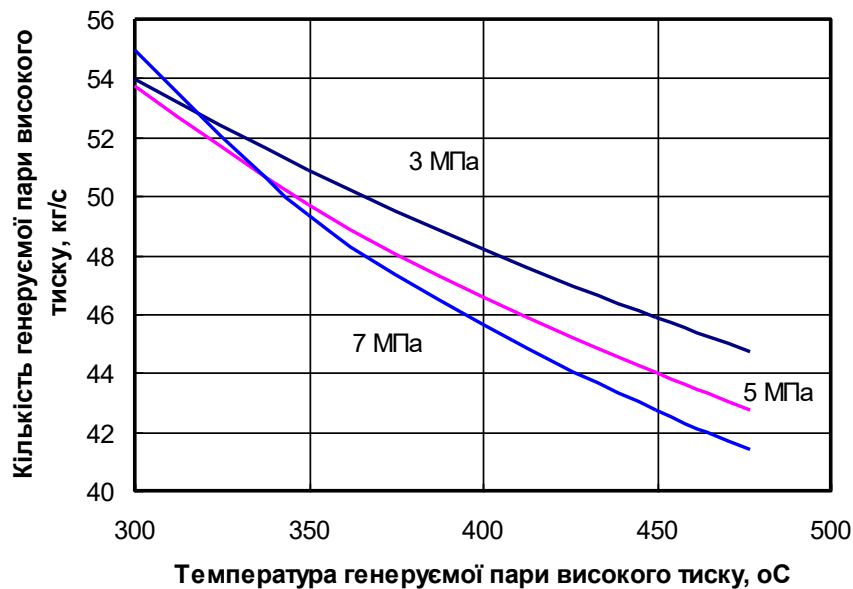


Рис. 2.13. Зміна масової витрати генеруємої пари високого тиску

На підставі аналізу отриманих результатів можна зробити наступні висновки:

1. Збільшення температури генеруємої пари високого тиску призводить до зростання ентальпії цієї пари і до зменшення її кількості.

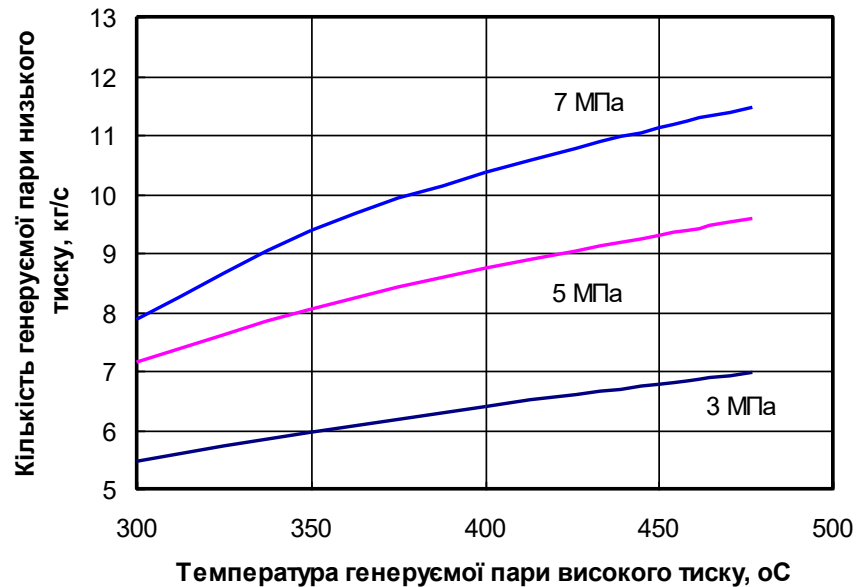


Рис. 2.14. Зміна масової витрати генеруємої пари низького тиску

2. Збільшення температури генеруємої пари високого тиску призводить до збільшення температури газів перед контуром низького тиску котла-утилізатора і до зростання кількості генеруємої пари низького тиску.

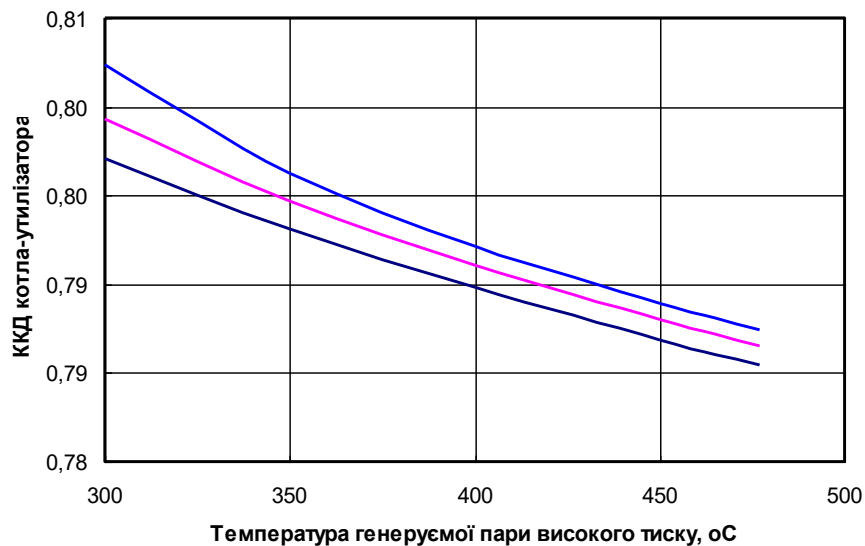


Рис. 2.15. Зміна ККД котла-утилізатора

3. Збільшення температури генеруємої пари високого тиску веде до збільшення температури газів за котлом-утилізатором, а отже, до зменшення ККД котла-утилізатора.

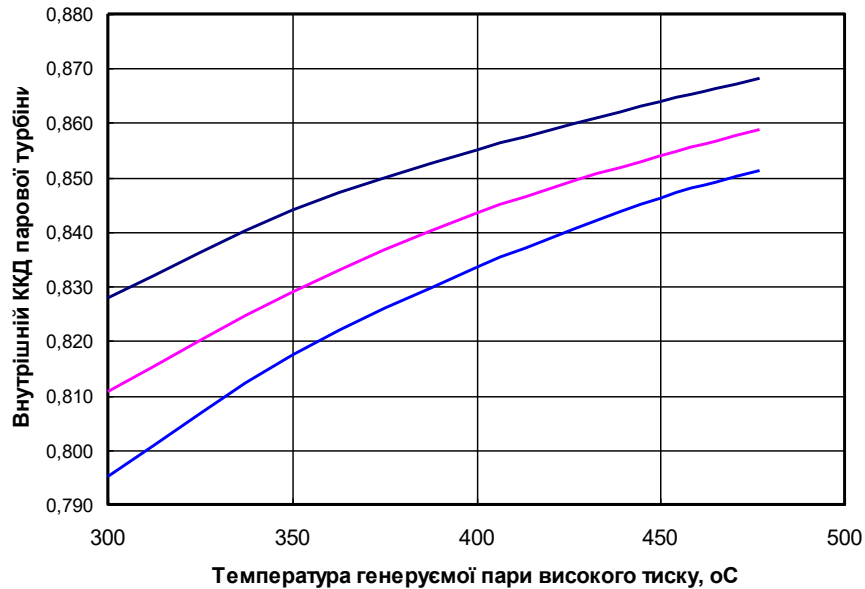


Рис. 2.16. Зміна внутрішнього ККД парової турбіни

4. Збільшення температури генеруємої пари високого тиску призводить до зменшення вологості пари в останніх ступенях турбіни і до збільшення її ККД.

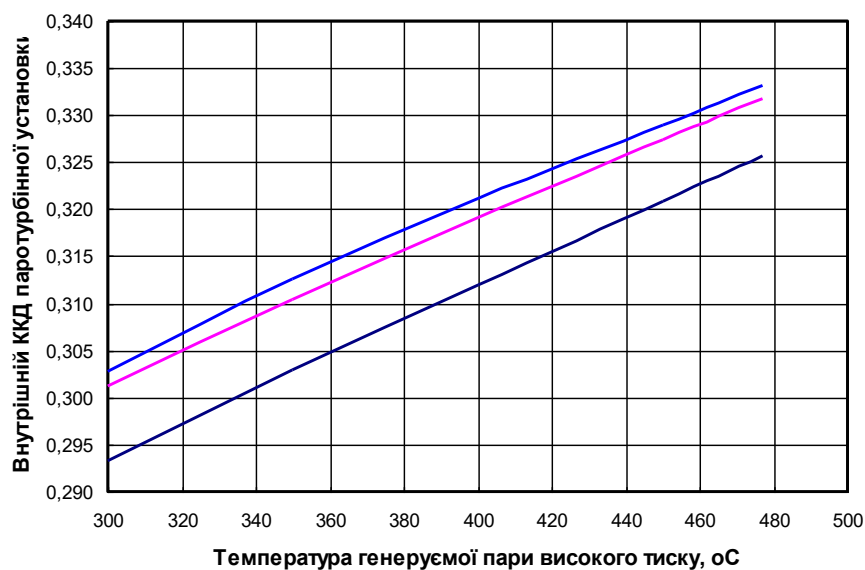


Рис. 2.17. Зміна внутрішнього ККД паротурбінної установки

5. Збільшення температури генеруємої пари високого тиску призводить до зростання потужності турбіни і до зменшення тепла, що віддається газами на отримання пари в котлі-утилізатори, що веде до зростання ККД паротурбінної установки.

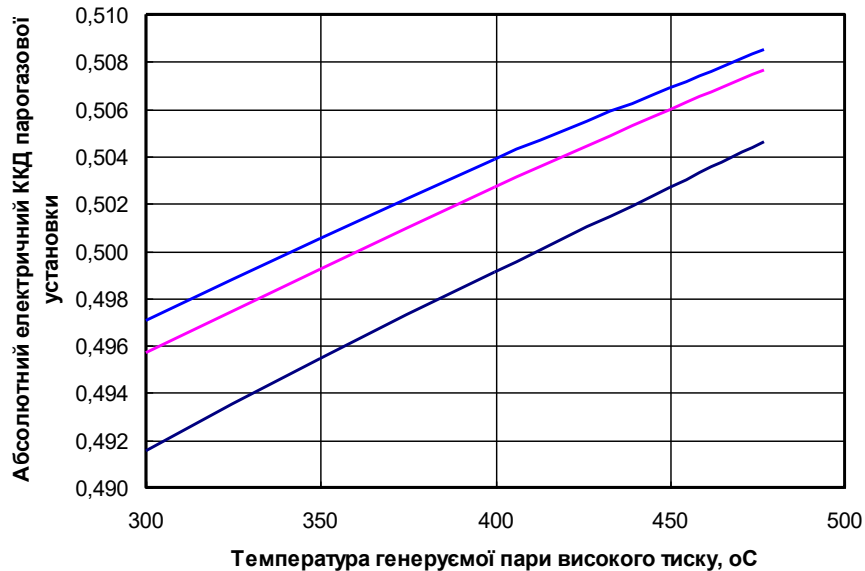


Рис. 2.18. Зміна абсолютного електричного ККД парогазової установки

6. Однозначне збільшення потужності турбіни, яке має місце при зростанні температури генеруємої пари високого тиску, призводить до збільшення електричного ККД парогазової установки.

2.4. Дослідження впливу тиску в конденсаторі на показники парогазової установки

Дослідження впливу тиску в конденсаторі на показники парогазової установки, оснащеної теплоутилізаційним контуром двох тисків, проводилося в інтервалі значень від 3,5 до 20 кПа при фіксованих значеннях інших досліджуваних параметрів:

температури генеруємої пари високого тиску – 477 °C;

тиску генеруємої пари високого тиску – 4 МПа;

тиску генеруємої пари низького тиску – 0,5 МПа.

Результати розрахунків наведені у вигляді графічних залежностей на рис. 2.19-2.21.

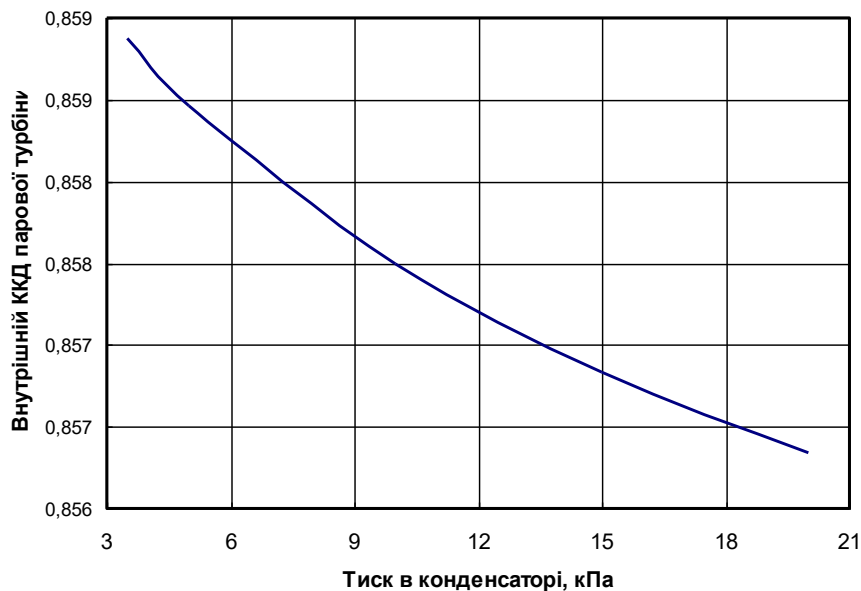


Рис. 2.19. Зміна внутрішнього ККД парової турбіни

На підставі аналізу отриманих результатів можна зробити наступні висновки:

1. Збільшення тиску в конденсаторі веде до незначного погіршення ККД парової турбіни.

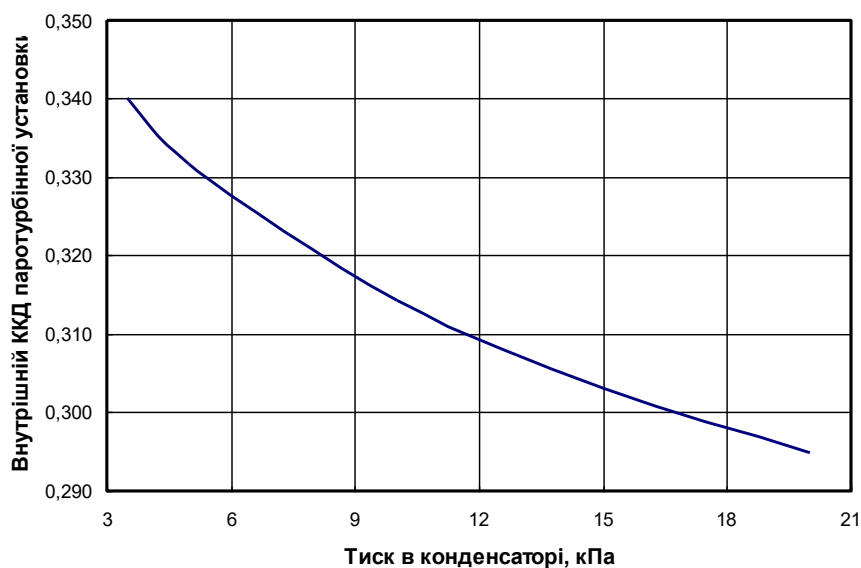


Рис. 2.20. Зміна внутрішнього ККД паротурбінної установки

2. Збільшення тиску в конденсаторі призводить до зниження внутрішнього теплоперепада турбіни, що при незмінних кількостях генеруємої пари високого і низького тисків призводить до зменшення ККД паротурбінної установки.

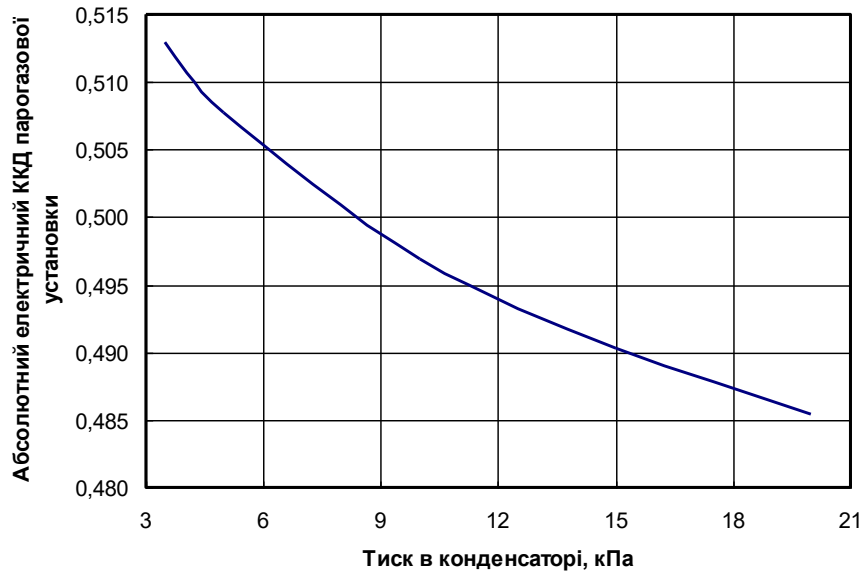


Рис. 2.21. Зміна абсолютного електричного ККД парогазової установки

3. Збільшення тиску в конденсаторі зменшує внутрішній теплоперепад турбіни, а отже, її потужність і електричний ККД парогазової установки.

ВИСНОВКИ

На основі проведених у роботі досліджень можна зробити такі висновки:

1. При фіксованих значеннях витрати та температури випускних газів ГТА головними параметрами, що впливають на ефективність парогазової установки з теплоутилізаційним контуром одного тиску, є:

- тиск генеруємої в котлі-утилізаторі пари;
- температура генеруємої пари;
- тиск в конденсаторі.

2. Зростання температури генеруємої пари та зниження тиску в конденсаторі однозначно веде до збільшення ефективного ККД парогазової установки з

ТУК одного тиску. Вплив тиску генеруємої пари на ККД установки має оптимум.

3. При фіксованих значеннях витрати та температури випускних газів ГТА головними параметрами, що впливають на ефективність парогазової установки з теплоутилізаційним контуром двох тисків, є:

- тиск генеруємої в котлі-утилізаторі пари високого тиску;
- температура генеруємої пари високого тиску;
- тиск генеруємої пари низького тиску;
- тиск в конденсаторі.

4. Зростання тиску та температури генеруємої пари високого тиску, а також зниження тиску генеруємої пари низького тиску та зниження тиску в конденсаторі однозначно призводять до збільшення ККД парогазової установки.

5. Порівняльний аналіз ефективності теплоутилізаційних контурів одного та двох тисків для розроблюваного газотурбінного двигуна свідчить про те, що додавання другого контуру веде до збільшення ефективного ККД парогазової установки з 0,481...0,502 до 0,485...0,513.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Стационарные газотурбинные установки [Текст] / под ред. Л. В. Арсеньева и В. Г. Тырышкина. – Л. : Машиностроение, 1989. – 543 с.
2. **Трухний, А. Д.** Расчет тепловых схем парогазовых установок утилизационного типа [Текст] / А. Д. Трухний, С. В. Петрунин. – М. : МЭИ, 2001. – 24 с.
3. **Цанев, С. В.** Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций [Текст] / С. В. Цанев, В. Д. Буров, А. Н. Ремезов. – М. : МЭИ, 2002. – 584 с.
4. **Щегляев, А. В.** Паровые турбины [Текст] / А. В. Щегляев. – М. : Энергоатомиздат, 1993. – 384 с.