

Вінницький національний аграрний університет  
Факультет механізації сільського господарства  
Кафедра електротехнічних систем, технологій та автоматизації в АПК

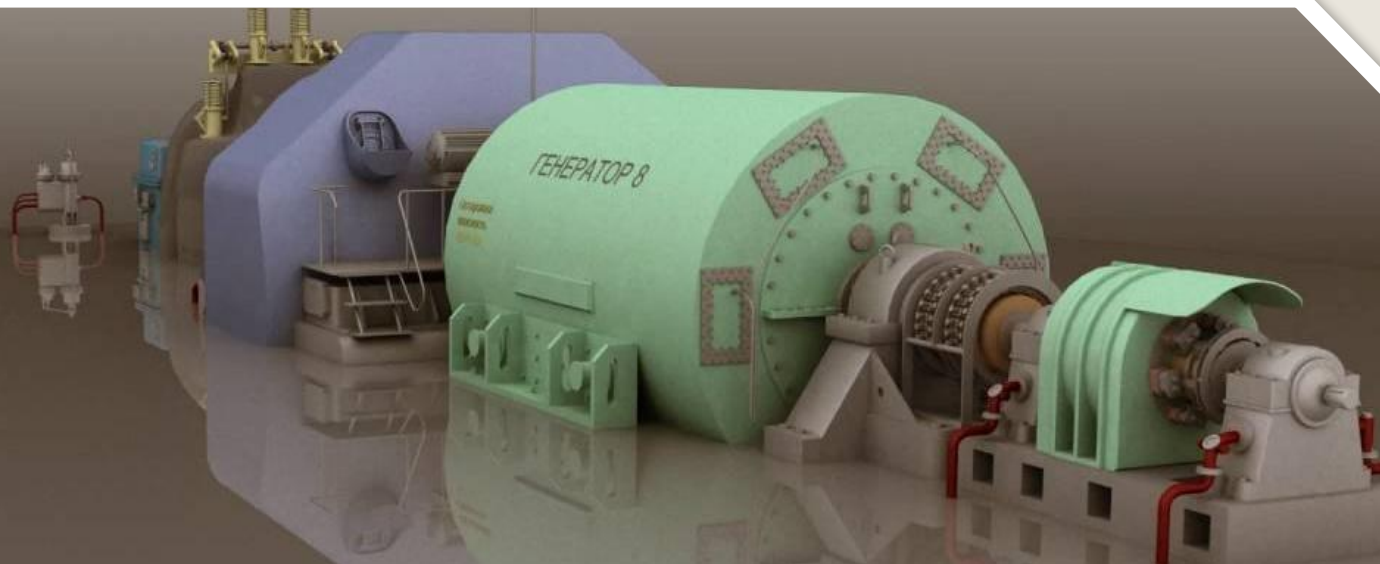
# ОБГРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ТУРБО- ТА ГІДРОГЕНЕРАТОРІВ



Керівник роботи на здобуття освітнього ступеня «Магістр»  
за спеціальністю 141 – “Електроенергетика, електротехніка  
і електромеханіка”, к.т.н., доцент. каф. ЕСТА Рубаненко Олена Олександрівна

Виконав: студент групи 61-ЕІ-маг

*Мазур Андрій Тарасович*



- **Актуальність.** Зараз на електричних станціях, в експлуатації знаходиться велика кількість, турбо- та гідрогенераторів які відпрацювали чимало років. Але заміна відпрацьованого електричного обладнання на нове для подальшої надійної та безперебійної, а також безпечної передачі електроенергії ускладнена відсутністю коштів. Тому актуальною стає задача розробки нових технічних умов використання.
- **Метою роботи** є аналіз конструктивних особливостей турбо- та гідрогенераторів, а також режимів їх роботи.
- **Об`єктом дослідження** є електрична система з турбо- та гідрогенераторами.
- **Предметом дослідження** є визначення режимів роботи синхронних генераторів з запобіганням передчасному виходу його з роботи.



# ТУРБОГЕНЕРАТОР

- **Турбогенератор** - електричний синхронний генератор змінного трифазного струму з приводом від парової або газової турбіни.
- Частота обертання ротора 3000 - 1500 об/хв.
- Охолодження повітряне, масляне, водневе, водяне, комбіноване.
- Системи охолодження за способом відведення тепла від обмоток статора і ротора можна поділити на непрямі (поверхневі) і безпосередні (внутрішні).





# ТУРБОГЕНЕРАТОР





# СТАТОР ТУРБОГЕНЕРАТОРА



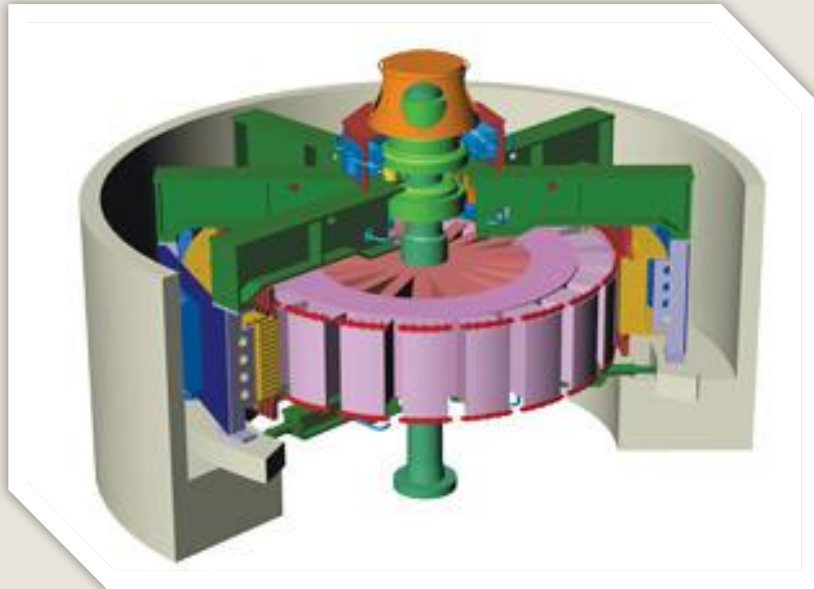
# РОТОР ТУРБОГЕНЕРАТОРА





# ГІДРОГЕНЕРАТОР

- **Гідрогенератор** — явнополісний синхронний генератор змінного електричного струму, ротор якого приводиться в дію гідротурбіною.
- За частотою обертання класифікують на: тихохідні — до 100 об/хв; швидкохідні — понад 100 об/хв.
- Для охолодження застосовується замкнута система вентиляції: непряма, або поверхнева і форсована.
- Гідрогенератори виконують – з повітряним і рідинним охолодженням.





# СТАТОР ГІДРОГЕНЕРАТОРА





# РОТОР ГІДРОГЕНЕРАТОРА



# НАГРІВОСТІЙКІСТЬ ІЗОЛЯЦІЇ

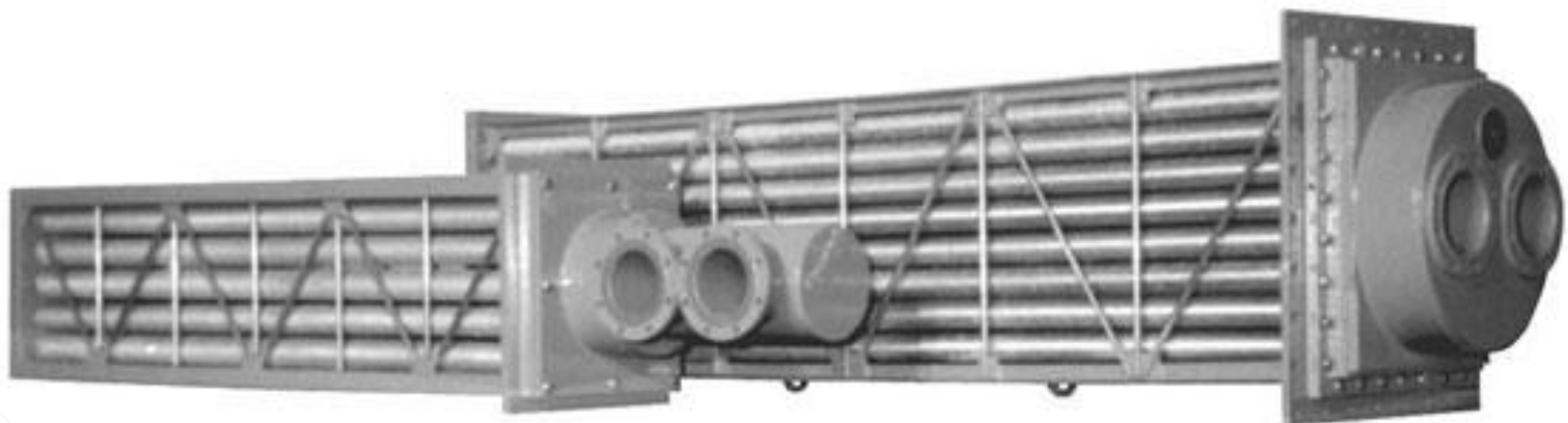
- Під час роботи синхронного генератора його обмотки і активна сталь нагріваються. Допустимі температури нагрівання обмоток статора і ротора залежать в першу чергу від застосовуваних ізоляційних матеріалів і температури охолоджуючої середовища.
- За ГОСТ 533-76 для ізоляції класу В допустима температура нагріву обмотки статора повинна знаходитися в межах  $105^{\circ}\text{C}$ , а ротора  $130^{\circ}\text{C}$ . При більш теплостійкій ізоляції обмоток статора і ротора, наприклад, класів F та H, межі допустимої температури нагріву збільшуються.

Позначення класу нагрівостійкості	Температура, що характеризує нагрівостійкість матеріалів даного класу, $^{\circ}\text{C}$	Коротка характеристика основних груп електроізоляційних матеріалів
Y		Волокнисті матеріали з целюлози, бавовни і натурального шовку, непросочені і не занурені в рідкий електроізоляційний матеріал
A		Волокнисті матеріали з целюлози, бавовни або натурального, штучного і синтетичного шовку в робочому стані, просочені або занурені в рідкий електроізоляційний матеріал
E		Синтетичні органічні (плівки, волокна, смоли і ін.) І інші матеріали або прості поєднання матеріалів, для яких на підставі
		практичного досвіду або відповідних випробувань встановлено, що вони можуть працювати при температурі, яка відповідає цьому класу
B		Матеріали на основі слюди (у тому числі на органічних підкладках), азбесту і скловолкна, які застосовуються з органічними сполучними і просочуючих складами
F		Матеріали на основі слюди, азбесту і скловолкна, що застосовуються в поєднанні з синтетичними сполучними і просочуючих складами, що відповідають даному класу нагрівостійкості
H		Матеріали на основі слюди, азбесту і скловолкна, що застосовуються в поєднанні з кремнійорганічними сполучними і просочуючих складами, кремнійорганічні еластомери
C	понад 180	Слюда, керамічні матеріали, скло, кварц, їх комбінації, що застосовуються без сполучних або з неорганічними і елементоорганічними складами. Температура застосування цих матеріалів визначається їх фізичними, хімічними, механічними і електричними властивостями



# ПОВІТРЯНЕ ОХОЛОДЖЕННЯ

- Виготовляються такі агрегати навантаженням в 2,5; 4; 6; 12 і 20 МВт. Конструкція таких пристроїв здійснюється закритим типом. Самовентиляція забезпечується по закритому циклу. Обертання повітря в турбогенераторі відбувається завдяки вентиляторам, які закріплюються з обох сторін всередині ротора. Для того, щоб уникнути проникнення пилу всередину, на валу є спеціальні повітряні ущільнювачі. А витік повітря компенсується завдяки його подачі із зовнішнього середовища.
- Для охолодження нагрітого повітря призначений повітро-охолоджувач, трубками якого безперервно циркулює вода.



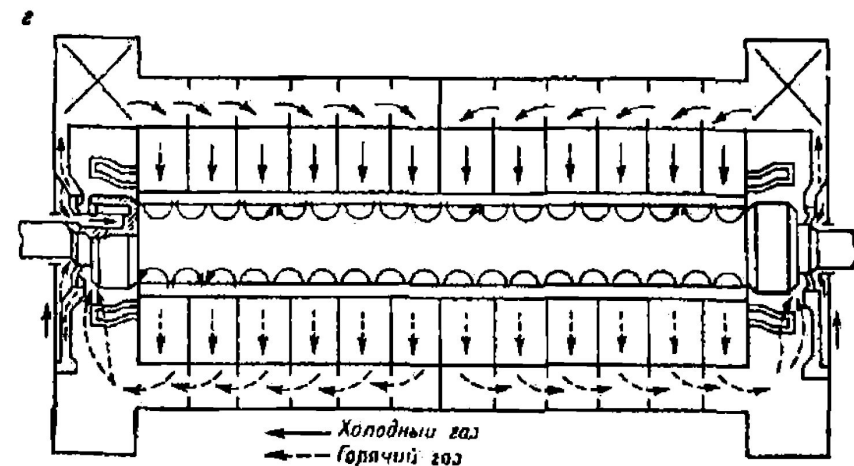
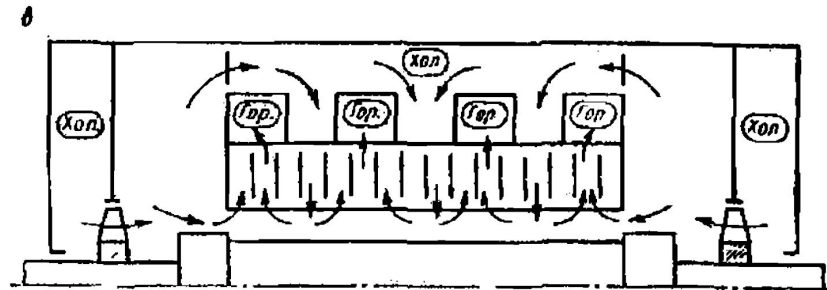
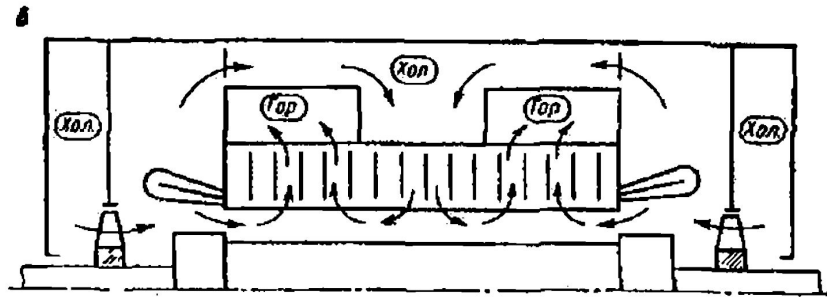
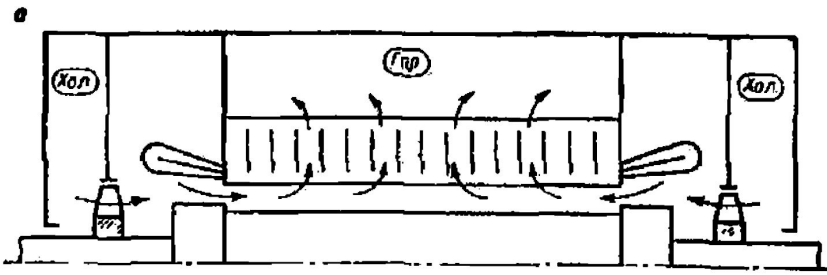
# СХЕМА ВЕНТИЛЯЦІЇ ТУРБОГЕНЕРАТОРА

а – одноструменева;

б – двоструменева;

в – чотирьохструменева;

г – радіально-тангенціальна





# Водневе охолодження

- В атмосфері водню завдяки його високій теплопровідності практично зникають температурні перепади в пазових включених в ізоляції і пазах машини; знижується перевищення температури міді обмоток по відношенню до водню, що дозволяє збільшити струмові навантаження при незмінних розмірах активних частин; надійніше працює ізоляція обмотки статора, тому що озон, що руйнує ізоляцію, не утворюється.
- При водневому охолодженні відсутнє забруднення машини, можливе застосування обмоток збудження з неізольованими лобовими частинами, практично зникає вентиляційний шум.
- Поряд з перевагами, системи з водневим охолодженням, мають і істотні недоліки, перш за все через вибухонебезпечність суміші водню і повітря. Тому всередині корпусу необхідно підтримувати тиск водню, що перевищує атмосферний для запобігання потрапляння повітря в машину; корпус статора розраховується на випробувальний тиск до 1 МПа, щоб вибух не пошкодив машину. Це призводить до майже подвійного збільшення маси корпусу і зовнішніх щитів ТГ з водневим охолодженням в порівнянні з ТГ, що охолоджується повітрям.

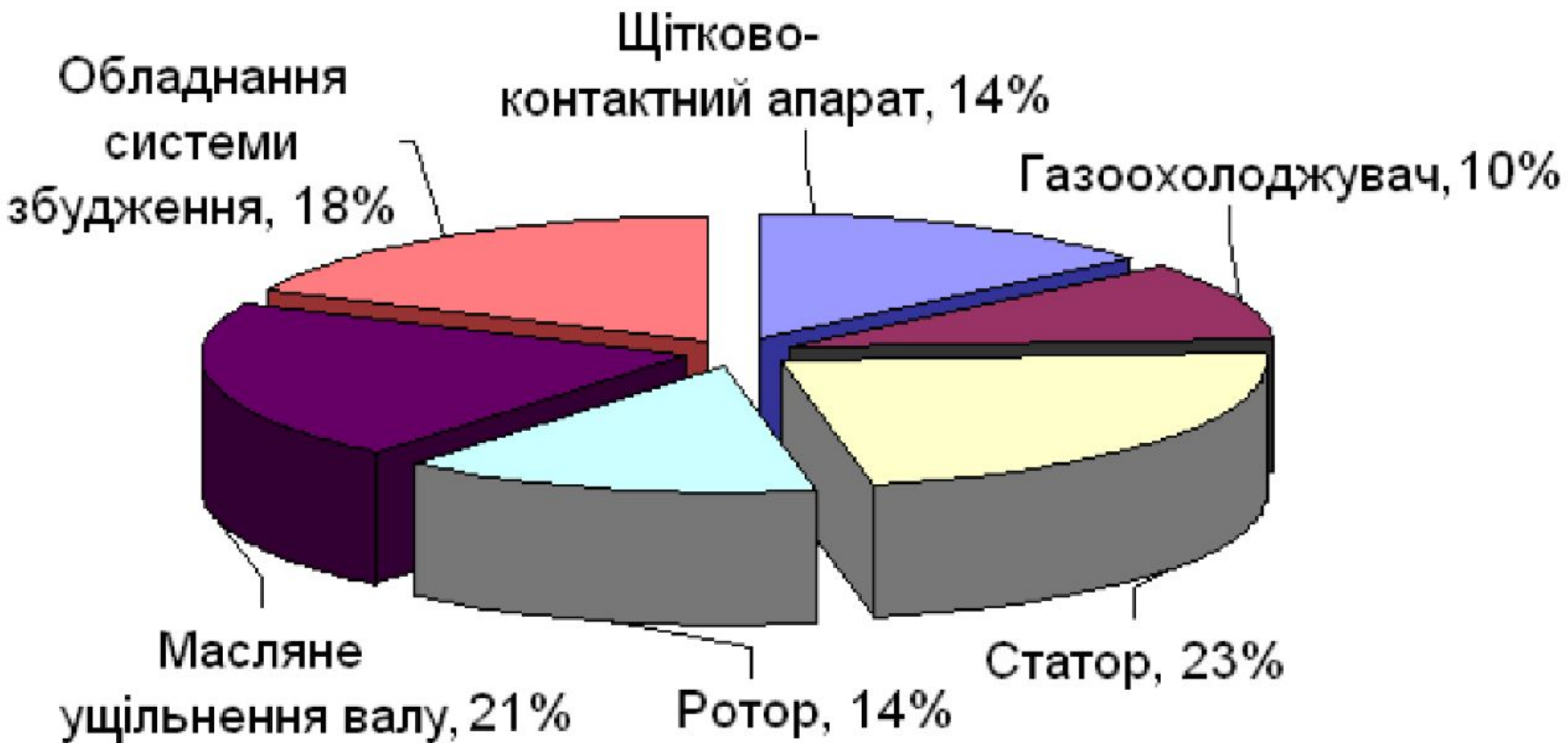


# Водяне охолодження

- Обмотки ротора і статора пристроїв такого типу охолоджуються за допомогою безпосередньої подачі води. Сталь сердечника статора охолоджується за допомогою спеціально призначених охолоджувачів. Повітря, що заповнює сам генератор, охолоджується водою.
- Турбогенератори серії ТЗВ з повністю водяним охолодженням, тобто, обмотки статора, ротора і сердечник охолоджуються дистильованою водою. Застосування водяного охолодження замість водневого дозволяє зменшити перевищення температури обмоток і знизити втрати в каналах охолодження на 15-20%. Зменшення цих втрат, а також обсягу машини з водяним охолодженням дозволяє забезпечити високі експлуатаційні показники: ККД (98,86%), стійкість, розширення діапазону допустимих навантажень, запас потужності по нагріванню.
- Генератори ТЗВ мають високу монолітність сердечника статора, так як замість вентиляційних каналів для охолодження активної сталі застосовуються плоскі силумінові охолоджувачі у вигляді сегментів з залитими в них змійовиками з нержавіючої сталевий трубки.

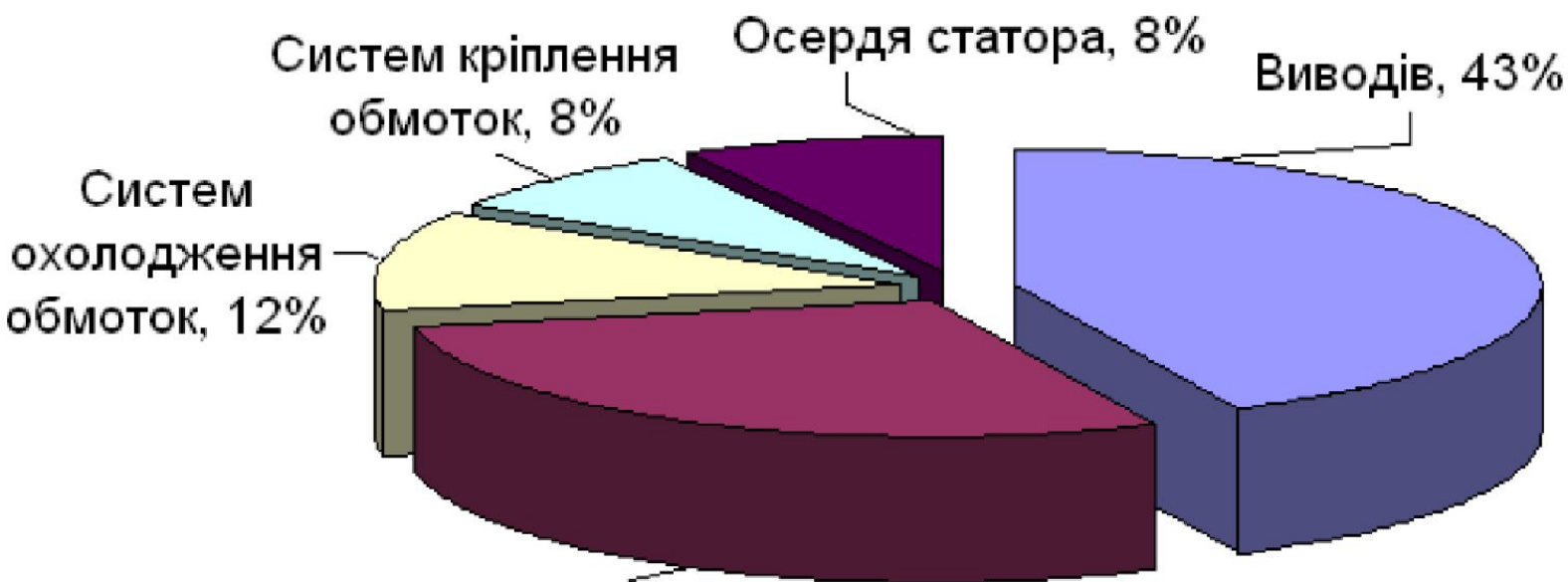




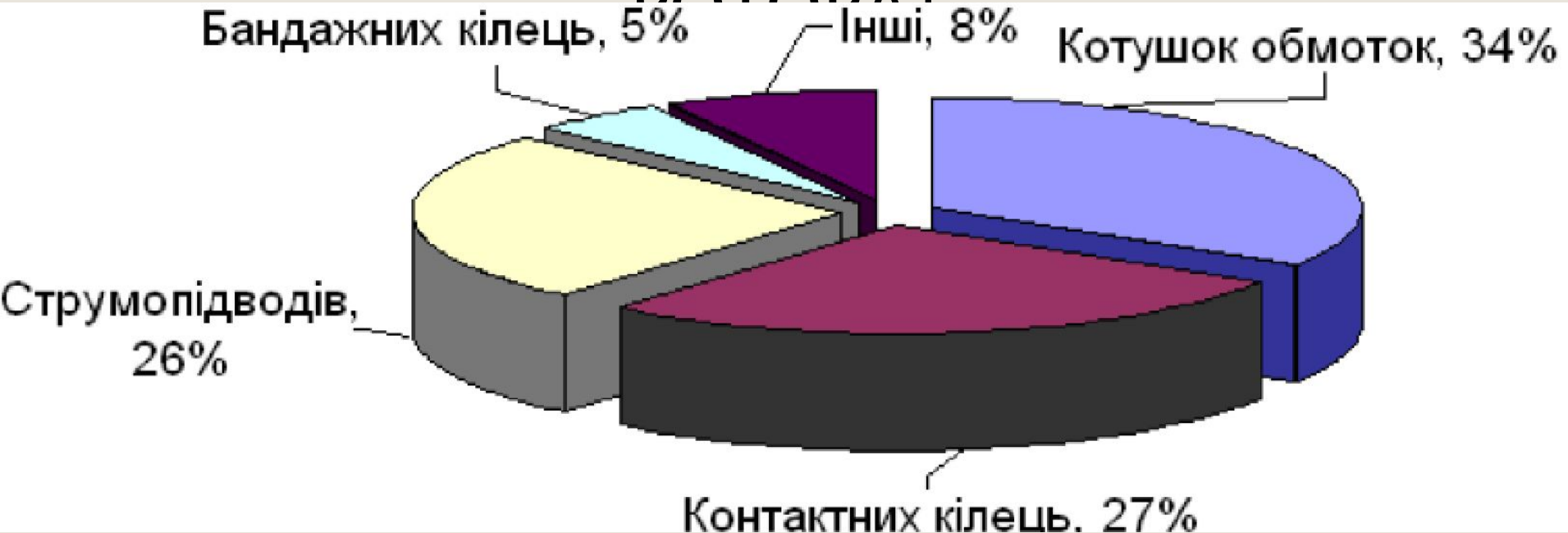


**ДІАГРАМА ДАНИХ ПРО ВИНИКНЕННЯ  
ТИПОВИХ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ  
ЕЛЕКТРОГЕНЕРАТОРІВ**





## ТИПОВІ ПОШКОДЖЕННЯ СТАТОРА І РОТОРА





# ВИСНОВКИ

- На даному етапі проведено детальний розгляд основних проблем виникнення аварійних ситуацій турбогенераторів та гідрогенераторів. Зазначено основні шляхи напрямку наукового розвитку математичного апарату, що дозволить врахувати всі проблеми проектування турбогенераторів та гідрогенераторів. Представлено розрахунок охолоджувача типової конструкції турбогенератора та гідрогенератора.
- Проведений аналіз показав, що розроблений повітроохолоджувач забезпечує надійну роботу турбогенератора на всіх режимах роботи і гарантує 35 % запасу по тепловому навантаженню. Однак, незважаючи на поглиблений аналіз та зазначені зміни й нововведення у розрахункових моделях, лишається ще велике коло не розв'язаних задач. Серед яких є такі, що потребують заміни трубок охолоджувача на сталь марки 18ХН9Т, або схожі аналоги, що дозволять позбутися корозії поверхонь теплообмінника. Використання нержавіючих сталей дозволить значно знизити забруднення води оксидами мідних та алюмінієвих сплавів. Введення нових композитних матеріалів також дозволить подовжити термін використання охолоджувачів. З урахуванням наведеного, питання закупорки трубок будуть зведені майже нанівець.





**ДЯКУЮ ЗА  
УВАГУ**