DOI: 10.26104/NNTIK.2022.49.27.005

Суеркулов М.А., Токтоназаров Б.М.

ГЕНЕРАТОРДУН ИШТӨӨ АБАЛЫН АНЫКТООДО (ДИАГНОСТИКА) АНЫН ӨЛЧӨНҮҮЧҮ ЧЕН САНДАРЫН НЕГИЗДӨӨ

Суеркулов М.А., Токтоназаров Б.М.

ОБОСНОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВА ИЗМЕРЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

M. Suerkulov, B. Toktonazarov

SUBSTANTIATION OF THE NUMBER OF MEASURED PARAMETERS FOR THE DIAGNOSIS OF HYDROGENERATORS

УДК: 621.771.013:621.314.222.6

*Электр энергиясын (ЭЭ) өндүрүүдө суунун күчү менен иштөөчү электр чордондору (ЭЧ) колдонулат, муну суу электр чордону СЭЧ (ГЭС) деп аталат. Электр генератору суунун күчү менен кыймылга келип аны жалпы жонунан гидрогенератор деп аталат. Кыргыз Республикасында да ЭЭ өндүрүүнүн бул түрү да колдонулат жана жылына өндүрүлгөн ЭЭ 92-93% СЭЧ өндүрөт. Кыргыз Республикасынын гидроэнергетикалык мүмкүнчүлүгү 142 млрд. кВт*с түзөт. СЭЧ жалпы кубаттуулугу 3072 МВт ЭЭ өндүрүүдө негизги элементи болуп гидрогенератор эсептелинет. Анын ишенимдүү иштеши ЭЭ өндүрүүдө чоң мааниге ээ. Демек, анын чен сандарын туура тандоо, текшерүү жана жөнгө салуу гидрогенератордун ишенимдүү иштешине өбөлгө түзөт. Гидрогенератор иштеп жатканда чен сандарына байкоо жүргүзүү менен боло турган бузулуштардын санын алууга болот. Ишенимдүү иштеши жогорулайт. Байкоо үзгүлтүксүз же мезгили менен жүргүзүлөт. Өлчөө иштерин автоматташтыруу заманбап санариптик башкаруунун талабына туура келет. Демек, өлчөнүүчү чоңдуктардын санын негиздөө менен гидрогенератордун иштөө абалын туура аныктоо (диагностика) чоң мааниге ээ.*

Негизги сөздөр: *гидрогенератор, иштөө тартиби, диагностика, статор, ротор.*

*Одним из способов производства электрической энергии (ЭЭ) является гидрогенератор станции (ГЭС). В Кыргызской Республике для производства электроэнергии используются ГЭС. Ежегодно количество электроэнергии, произведенной ГЭС составляет 92-93%. Гидроэнергетический потенциал КР составляет 142 млрд. кВт*ч., установленная мощность ГЭС составляет 3072 МВт. При производстве электроэнергии основным элементом является гидрогенератор, поэтому надежная работа гидрогенераторов обеспечивает надежное обеспечение электроэнергией. Поэтому правильное измерение параметров, контроль и управление ими позволяет обеспечение надежной работы гидрогенераторов. Во время работы гидрогенераторов наблюдение параметров можно предупредить возникновение аварии, т.е. повысить надежность работы. Автоматизация измерения параметров требованы современной цифровизации и технологических процессов. Следовательно, правильное определение (диагностика) рабочего состояния гидрогенератора путем обоснования количества измеряемых величин имеет большое значение.*

Ключевые слова: *гидрогенератор, режим работы, диагностика, статор, ротор.*

One of the ways to produce electrical energy (EE) is a hydrogenerator station (HPP). In the Kyrgyz Republic, hydroelectric power plants are used to generate electricity. Annually, the amount of electricity produced by HPPs is 92-93%. The hydropower potential of the Kyrgyz Republic is 142 billion kWh, the installed capacity of HPPs is 3072 MW. In the production of electricity, the main element is the hydrogenerator, so the reliable operation of hydrogenerators ensures a reliable supply of electricity. Therefore, the correct measurement of parameters, control and management of them allows ensuring the reliable operation of hydrogenerators. During the operation of hydro generators, monitoring the parameters can prevent the occurrence of an accident, i.e. improve operational reliability. Automation of parameter measurement is required by modern digitalization and technological processes. Therefore, the substantiation of the number of measured controlled parameters for diagnostics is of great importance. Measurement can be carried out...

Key words: *hydrogenerator, operating mode, stator, rotor, diagnostics.*

Негиздөөгө киришүү. Гидрогенератор эки бөлүктөн турат: гидротурбина жана синхрон электр генераторунан. Китеп [2] көрсөтүлгөндөй өндүрүштө кубаттуулугу ар кандай чоңдукта болгон кубаттуулуктарда чыгарылат 800 МВт чейин. Айлануу жыштыгы 46,9дан 15 ай/мин (айлануу/мүнөт), ал эми накта чыңалуусу 3,15-20 кВ чейин жетет, ал таблица 1де берилген.

Таблица 1

Гидрогенераторлордун негизги кубаттуулугу жана чыналуусу.

Кубаттуулугу, МВт	5-10	10-25	25-50	50-150	150-500	>500
Чыңалуусу, кВ	3.15-6.3	6.3-10.5	13.8-15.25	13.8-15.25	15-25-18.0	18.0-20.0

Кыргыз Республикасындагы суу электр чордондорунда кубаттуулугу 200-360 МВт гидрогенераторлор орнотулган.

Генератор канчалык кубаттуу болсо, түзүлүшү ошончолук татаал болот. Гидротурбинаны түрүнө жараша эки түргө бөлүнөт – тик жана горизонталдык болуп. Тик орнотулган гидрогенератордун эки түрү бар: **асма** (подвесной) жана **сере** (зонт).

Статор жогорку сапатта иштетилген электротехникалык болоттон сегмент түрүндө оюгу бар болуп, калыңдыгы 0,5 же 0,35 мм болгон жука жартактан (пластинка) турат, алар штампталып бириктирилет.

Ротор да жогорку сапатта иштетилген калыңдыгы 3-4 мм болгон жартак штампталып чогултулат.

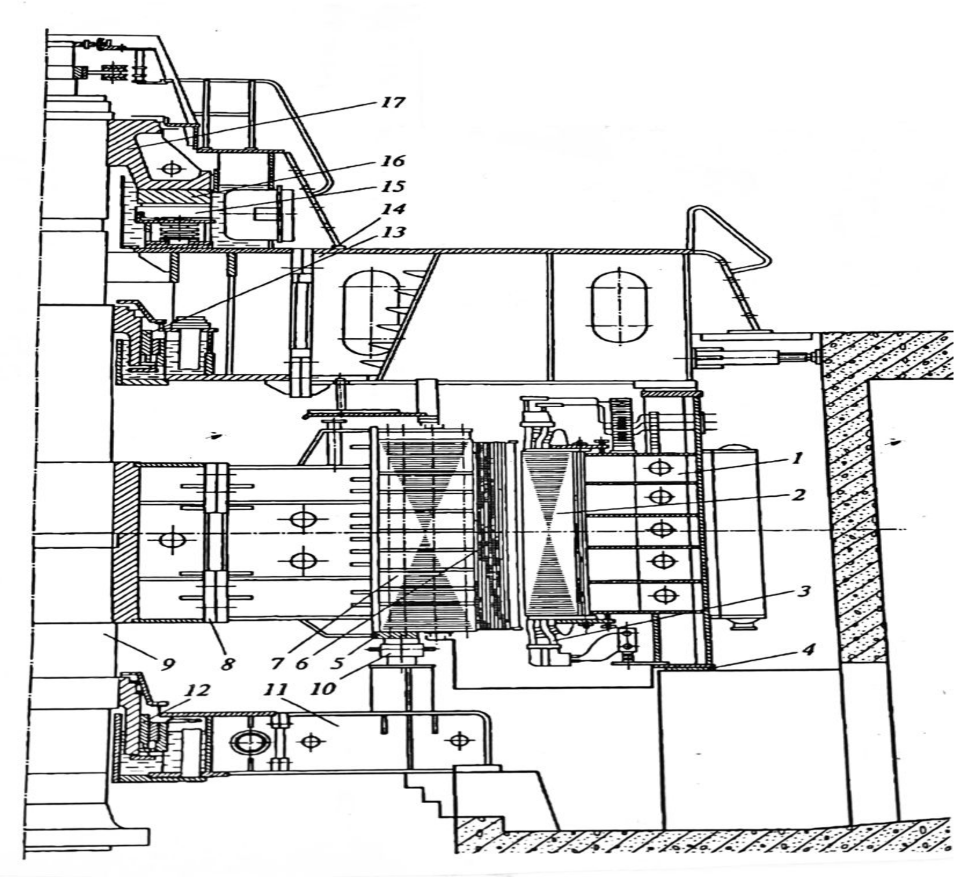
Гидрогенератордун дагы өзгөчө жоопту элементи болуп **такан жаздык** (подпятник) болуп эсептелинет. Такан жаздык бардык айланган бөлүгүнүн салмагын кабыл алат жана октук суу агынын таасирине туш келет жана пайда болгон салмактын (күчтү) пайдубалга (фундаментке) берет. Сегменти сүрүлгөн беттериндеги орточо басым 4-6 МПа жетет. Таяныч жаздыктарды муздатыш үчүн минералдык май колдонулат.

Кубаттуу генераторлор жасалма жол менен муздатылат жана муну ишке ашыруу үчүн кошумча шаймандар колдонулат. Жасалма жол менен ток өтүүчү оромолор жана болот өзөктөр муздатылат.

Гидрогенераторлордун кубаттуулугу канчалык жогору болсо, анын механикалык салмагы чоң болуп муун жаздыктарга (подшипник) жана таяныч жаздыктарга оор күч келип алардын ысышына алып келет. Мисалы, Красноярск шаарындагы суу электр чордонун (СЭЧ) генераторунун салмагы 1640 т. КР СЭЧ орнотулган гидрогенератордун кубаттуулуктарына жараша жалпы салмагы 1212-1250 т. чейин жетет. Салмагына байланыштуу айлануу ылдамдыгы да өзгөрөт. Бул айлануу ылдамдыгы радиандык күчтөрдү түзөт.

Гидрогенератордун роторунда сездиргич оромо жайгашкан. Ал туруктуу ток менен азыктанат. Ток булагы катары туруктуу ток пайдаланылат. Азыркы учурда кеңири таралган ток булагы катары тиристорлук өзгөрткүч колдонулат.

Гидрогенератордун жалпы түзүлүшү. Керектүү чен сандарды негиздөө үчүн гидрогенератордун жалпы түзүлүшүн карап көрөлү сүрөт 1 [8]. Кубаттуулугу 300 МВА гидрогенератордун түзүлүшү көрсөтүлгөн.



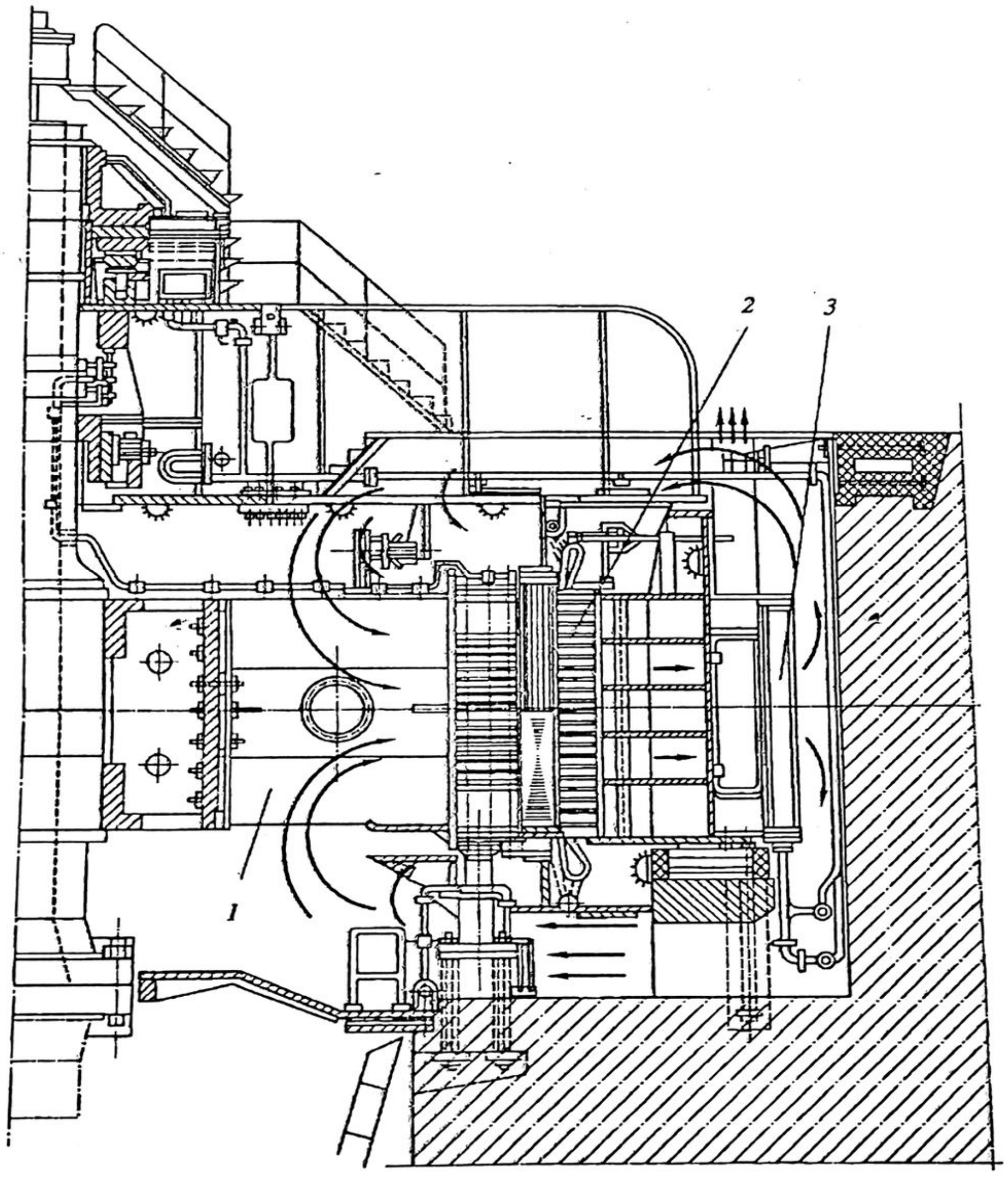
1-сүрөт.

1 - статордун тулкусу, 2 - статордун өзөгү, 3 - оромосу, 4 - пайдубалы, 5 - токтотуучу алкак, 6 - уюл, 7 - ротордун алкагы, 8 - ротордун негизи, 9 - ок, 10 - токтотуучу домкрат, 11 - төмөнкү кайчылаштык, 12 - төмөнкү багыттоочу муун жаздык, 14 - жогорку кайчылаштык, 15 -таяныч сегменти, 16 - муун жаздыктын алкагы, 17 - таяныч жаздыктын бой шакеги.

Асма гидрогенараторлордо бир таяныч жаздык болот **15, 16, 17** алар жогорку кайчылашта жайгашкан, ага ротор жана турбинаны алкагы бекилген. Ал эми 12 төмөнкү 13 жогорку муун жаздыктар октун тик жайгашышын камсыз кылат.

Генераторду муздатуу. Генератор иштеп жатканда электрдик жана механикалык ысыраптар пайда болуп жылуулук энергиясына айланып гидрогенератордун ар кандай бөлүктөрүн ысытат. Ысуудагы температура чектелген маанисине жетет же чектелген маанисинен ашып кетет. Экинчи учурда жасалма жол менен муздатууга туура келет. Муздатуу үчүн төмөнкү заттар колдонулат: **аба, водород, суу, май**. Бөлүнүп алынган жылуулук энергияны түздөн түз атайын каналдар аркалуу же статордун жана ротордун бетинен кыйыш жол менен чыгарылат. Мисалы – КВР – (косвенное водородное) менен кыйыш муздатуу; НВ – (непосредственно) суу менен түздөн-түз муздатуу.

Түшүнүктүү болуш үчүн 2-сүрөттө [8] муздатуу жолу көрсөтүлгөн.



2-сүрөт. Гидрогенераторду аба менен муздатуу.

2-сүрөттө көрсөтүлгөн жол менен кубаттуулугу 200-300 МВт генераторлордо колдонулат. 2-сүрөттө көрсөтүлгөндөй аба радиалдык багыт боюнча кыймыл келип желдедилет. Аба болсо төмөнкү жана жогорку жагынан ашыкча басым менен кыймылдап ротордун алкагынын каналдар аркылуу жана уюлдардын арасындагы бош аба мейкиндиги аркылуу, ал эми статордун магнит өткөргүчүнүн каналдар аркылуу аба өтүп муздатылат. Муздатуучу аба пайдубалдын каналдары аркылуу аба өтүп кайра генераторго кирет. Жогоруда кыскача келтирилген гидрогенератордун өлчөнүүчү чен сандарына таазир берүүчү жана өзгөртүүчү негизги бөлүктөрдү карадык.

Ушул бөлүктөр гидрогенератордун ишенимдүү иштешине чоң таасир берет. Интернет булактарынан алынган маалыматтарга караганда гидрогенераторлор төмөнкү ишенимдүү иштөөсүн мүнөздөөчү чондуктар менен туюнтулат.

– Биринчи бузулушуна чейин орто иштөө мөөнөтү – 2700 с.

– Капиталдык ондоонун ортосундагы орточо мөөнөт – 7 жыл.

– Орточо кызмат өтөө мөөнөтү – 40 жыл.

– Даяр болуу коэффициенти – 0,96. Бул көрсөткүч гидрогенератордун ишенимдүү иштөөсүн көрсөтөт.

Бирок ушундай көрсөткүчтөрдү камсыз кылыш учун гидрогенератордун туура, кырсык болгондогу абалын мүнөздөөчү чондуктарды аныктоо чоң мааниге ээ. Ушул жазылган иште ушуга жооп берүү каралган. Ал эми ушул жумушка байланышкан мамлекеттик стандартта эмнелер чагылдырылганына кыскача мүнөздөмө берели. Кыргыз Республикасында буга байланыштуу стандарт жок. РФ чыгарган стандартка карайбыз.

ГОСТ Р 55-60.2.2-2013 [1]

Бул стандартта төмөнкүлөргө көнүл бурулган.

– Гидрогенератордун абалын текшерүүнүн көлөмү жана ченеми.

– Текшерилүүчү гидрогенераторду оң экендигин жана иштөөгө жөндөмдүү экенин билиш учун эң кичине маалыматты алуу.

– Атайын программа боюнча гидрогенераторлордун канчалык иштөөгө ресурсу бар экенин жана иштөө мөөнөтүн узартуу учун техникалык байкоолорду жүргүзүү.

[1] Боюнча гидрогенераторлордун техникалык абалын билиши үчүн төмөнкү текшерүүнү жүргүзөт:

– Пайда болгон бузулуштарды өз убагында байкоо жана жоюуу.

– Генераторду жана анын түскөн элементтеринин өзүнүн кызмат өтөө мөөнөттөрү аяктап калган учурда аларды андан ары пайдалануу мүмкүнчүлүгүн билүү.

– Бузулган гидрогенераторлорду оңдоо жана андан аркы пайдалануу боюнча иштеп чыгуу жана пайдалануу. Ушул эле ГОСТто төмөнкүдөй текшерүү түрү сунушталат.

– Иштеп жаткан гидрогенераторлорду дайыма текшерип туруу (диагностика);

– Иштен чыккан шаймандар шаймандарды мезгил мезгили менен текшерип туруу.

– Шаймандарды техникалык дайыма текшерүү гидрогенераторлордун техникалык абалын эки деңгээлде жүргүзүлөт:

– Биринчи деңгээлин туруктуу текшерүү жана мезгили менен жүргүзүлгөн.

Таблица 1

Гидрогенератордун элементтери түйүндөн	**Өлчөнүүчү чен сандар**	
Статор	Чыңалуу – $U_н$, ток – $I_н$, кубаттуулук, $S_н$. Косинус “фи, cos, айлануу ылдамдыгы, ωн жыштыгы - fн	$U=1.O5\ U_н$ $I=1,1I_н$ $\omega=\omega_н$ $f=f_н$
Ротор	Айлануу ылдамдыгы, температура, изоляциясынын температурасы	$\omega=\omega_н$ $\boldsymbol{\delta}=\boldsymbol{\delta}_н$ $t<t_ч$ t=130*c – 155*c
Обмотка	Температурасы Каршылыгы	$t<t_ч$ $R_ч>1$ Мом
Муздатуучу зат	Температура t	$t<t_ч$
Дүрбөтсүздөнүү	Электр жаасы	-
Муун жаздык	Температура	$t<t_ч$
Сездирүүчү оромосу	Температура, тогу, чыңалуусу	$t<t_ч$ $I<1,1I_{нс}$ U<1,05Uн
Сыдыргыч – тийишпеси	Жаанын чыгышы, чаң басуу	Байкоо
Гидроагрегаттын титирөөсү	Таянычтарынын, октун титирөөсү	Тыкандык менен байкоо Титирөөнүн серпилишин өлчөө

Ар кандай дүрмөтсүздөндүрүү эл аралык электротехникалык коммиссиянын талабы боюнча каптаманын (изоляция) сапаттык көрсөткүчү катары дүрмөт (заряд) сымал көрүнгөн дүрмөттүн эң чоң мааниси алынат.

Иш жүзүндө убакыт бирдигиндеги дүрмөт сымал дүрбөттүн эң чоң мааниси $\mathbf{Q_m}$ жана анын кайталанган эң чоң мааниси **PD** колдонулат. Дүрмөттүн амплитудалык мааниси **Mb, пКл, Ма** же **мкВ** өлчөнөт.

Чен сандарын өлчөө үчүн электрдик акустикалык ыкма пайдаланылат. Өлчөөчү аспаптар катары осциллограф, зонд ж.б. колдонулат.

Мындан бөлөк дагы сырткы байкоолордун жүргүзүү менен стандарттан чектеген же стандартка туура келбеген байкоолорду жүргүзүп тийиштүү белгилерди жазып коюу зарыл.

Ушул таблицанын негизинде гидрогенератордун иштөөдөгү абалын аныктоодо тийиштүү элементтерде жана түйүндөрүндө төмөнкүдөй электрлик жана электрлик эмес чоңдуктарды өлчөп жана жазып туруу зарыл.

Электрлик чоңдуктар:

Чыңалуу – U, Ток - I , кубаттуулуктар: активдүү - P, реактивдүү - Q, жыштык – f, косинус фи, каршылык - R, диэлектрлик коромжунун бурчу.

Механикалык чоңдуктар: айлануу ылдамдыгы ω, титирөө жана термелиш амплитудасы - $A_т$ жыштыгы - f_t титирөө ылдамдыгы - $a_т$

Физикалык чондуктар: температура - t, жылуулук - W.

Ушул чоңдуктарды өлчөө ыкмалары [11] берилген. Электр чоңдуктары кеңири таралган санариптик аспаптар менен өлчөнөт. Ал эми температура жана жылуулук чоңдуктары ар кандай термографтар **ИРТИС – 2000,** инфракызыл жылуулук байкоочу тутумдар, жылуулук байкагычтар, пирометрлер ж.б.

Механикалык чоңдуктарды (термелүүчү, титирөө) өлчөө үчүн кеңири таралган аспап катары **TIK – RVM,** титирөөчү анализ кылуучу **АТАТ-МООО, ДИАМЕХ-2000** ж.б. бар.

Ушул өлчөөчү аспаптардын жалпы түзүлүшү төмөнкү түйүндөрдөн турат.

– Тийиштүү чоңдукту өлчөө, билдиргич (датчик);
– Өлчөөчү аспап;
– Физикалык чондукту санарипке өзгөртүүчү;
– Маалымат жеткирүүчү канал;
– Компьютерге кошуучу түйүн;
– Алынган маалыматты колдонуу үчүн ыңгайлаштырып түзүү;
– Түзүлгөн маалыматты сактоо;
– Өз алдынча текшерүү, тестирлөө;
– Автоматтык башкаруучу тутум, кошуу;

Ушуларды колдонуу менен гидрогенераторду ишенимдүү иштешин жогорулатса болот.

Корутунду.

1. Гидрогенератордун иштөө абалын толук аныктоодо (диагностика) төмөнкүлөрдү ишке ашыруу зарыл:

– Өлчөлөнүүчү электр механикалык жана физикалык чондуктарды негиздөө.
– Өлчөөчү аспаптарды ушуга жараша тандоо.
– Өлчөөнү автоматташтыруу.
– Өлчөөнүн жыйынтыгын чечмелөө иш чараларыды түзүү.

2. Иштөө абалын туура аныктоо (диагностика) электр шаймандарды ишенимдүү иштешин жогорулатып анан кызмат өтөө мөөнөтү аяктаганда аны андан ары колдонууну, узартуу же жараксыз деп табуу мүмкүнчүлүгү.

Адабияттар:

1. ГОСТ Р 55260 2.2 – 2013 гидрогенераторы .
2. Электрические машины. Под общей ред. И.П. Копылова и Б.Н.Клокова. Т.1. - М.: Энергоатомиздат, 1988.
3. Калматов У.А. Проектирование и моделирование систем дистанционный диагностики проводов ВН 6-35 Кв [текст]. / У.А. Калматов, С.М. Суеркулов. - Б.: Республиканский научно-технический журнал Наука и новые технологии и инновации Кыргызстана. - 2013. - №4. - С. 93-99.
4. Суеркулов М.А. Кубаттуу трансформатордун иштөө абалын тактоодо (диагностика) өлчөөчү чен сандарын негиздөө [текст]. У.А. Калматов, М.А. Суеркулов С.М. Суеркулов. - Б: Респуб.научно -технический журнал Наука и новые технологии и инновации Кыргызстана. - 2021. - №7. - С. 23-27.
5. Нурсланова С.Н. Электр менен жабдуу тутумунун динамикалык туруктуулугун ыкмаларын жогорулатуу [текст] /. З.Ж. Жолдошбеков жана М.А. Суеркулов. - Б.: Республиканский научно-технический журнал Наука и технологии и инновации Кыргызстана. - 2018. - №5. - С. 35-37.
6. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования Неклепаев, Б.Н., Крючков И.П. - 5-изд. стер. - Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2014.
7. Правила устройства электроустановок ПУЭ. - 7-е изд. - М.: Изд.-во НЦ ЭНАС, 2003.
8. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станци и подстанции/ Л.Д. Рошкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова. - М.: Изд. центр Академия, 2014.
9. Электрический справочник Т2, Т3 производства, передача и распределение электроэнергии. / Под общей редакцией проф. МЭИ. - 2004. - 464 с.
10. Электрические сети сверх и ультравысоких напряжений ЕЭС России - М: НТФ Энергопрогресс. Корпорация <ЕЭЭК>, 2012.
11. Электр менен жабдуу шаймандарынын абалын аныктоо (диагностика) И.А. Раззаков атындагы КМТУ. / Түзгөн: Суеркулов М.А. ж.б. - Б: Калем басма үйү, 2022.