

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ ОПОРУ ІЗОЛЯЦІЇ МЕРЕЖ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

В статті наголошено на важливість мереж оперативного постійного струму (МОПС) гідроелектростанцій (джерел відновлювальної енергії), розглянуто найпоширеніші прилади для контролю стану МОПС. Представлені зовнішні фактори, які найбільше впливають на стан ізоляції цих мереж, а також статистично досліджено і представлено в графічному вигляді вплив зовнішнього середовища (дощ, роса, туман, тощо) і сезонності (зима, весна, літо, осінь) на величину опору ізоляції МОПС. Аналіз даних свідчить, що найбільший вплив на рівень ізоляції мають дощ та роса, а в загальному її опір найбільше знижується навесні та восени. На основі отриманих статистичних даних залежностей рівнів ізоляції МОПС від факторів зовнішнього середовища побудована залежність ймовірності виникнення зниження ізоляції цих мереж менше 20кОм в залежності від стану і параметрів МОПС. Використання методу критеріального програмування дозволило розв'язати двоїсту задачу і знайти оптимальні значення контрольованих параметрів, які забезпечують максимальну ймовірність прогнозування зниження рівня ізоляції мереж оперативного постійного струму нижче нормативного значення.

Ключові слова: мережі оперативного постійного струму, ізоляція, електрична станція, метод критеріального програмування, двоїста задача, регресійний аналіз.

ВСТУП

Діяльність людини, зокрема енергетична, спричинила значне погіршення екології нашої планети. Найбільш розвинуті країни світу, такі як Японія, Німеччина, вкладають значні кошти на розвиток відновлювальної енергетики (вітрової, гідро- чи сонячної). Крім вигоди в екологічному плані, такий підхід дозволяє бути незалежним в плані енергоресурсів (вугілля, нафти, урану, природного газу). Через значну складність самих станцій і високу вартість енергії, яка виробляється, до таких об'єктів висуваються підвищені вимоги в плані надійності в цілому, так і окремих їх елементів зокрема.

Мережі оперативного постійного струму (МОПС) є одними із найважливіших складових даних систем, зокрема гідроелектростанцій, і призначені для живлення пристроїв релейного захисту, сигналізації та автоматики, відповідальних механізмів власних потреб, аварійного освітлення, приводів високовольтних вимикачів тощо. Важливість таких споживачів висуває високі вимоги до працездатності МОПС.

Дослідження пошкоджуваності мереж ОПС електричних станцій і підстанцій свідчать про те, що найчастішим видом порушень в цих мережах є замикання одного полюса на землю. Враховуючи час експлуатації підстанцій та старіння ізоляції мереж ОПС, варто прогнозувати зростання таких видів дефектів.

Незважаючи на велику кількість розробок, сьогодні найбільш широко експлуатуються пристрої загальномережевого контролю ізоляції «УКИ-1». Побудовані на основі мостової вимірювальної схеми, вони реагують на порушення симетрії опорів полюсів мереж ОПС відносно землі і не можуть забезпечити чутливість 20 кОм [1,2] при близьких до симетричних зменшеннях опорів ізоляції полюсів.

У відповідності до [2] в разі спрацювання «УКИ-1» на протязі 8 годин має бути з'ясована причина та відновлена нормована величина опору полюсів відносно землі. І хоча з [3] цей пункт виключено, актуальність проблеми підвищення надійності мереж ОПС, швидкого пошуку місць однополюсних замикань, надійності МОПС не зменшилась. На цей час припиняються регламентні роботи в мережах ОПС. Широко використовуваним методом пошуку місця зі зменшеним опором ізоляції полюсів є метод послідовних відключень, під час яких можливі помилкові дії персоналу, або релейного захисту, викликані перезарядом ємностей полюсів мережі через елементи релейного захисту. На величину такого струму перезаряду впливає опір ізоляції, який змінюється в процесі експлуатації.

Фактори, які впливають на величину опору ізоляції

На ізоляцію полюсів у системі оперативного постійного струму (ОПС), що знаходяться під робочою напругою, впливають механічні, електричні й атмосферні впливи. Особливо сильно на ізоляцію мереж ОПС впливають атмосферні опади: дощ, роса і туман.

Крім атмосферних опадів на ізоляцію клемників, комутаційної апаратури впливають також тверді,

рідкі і газоподібні частки різних речовин, що знаходяться в повітрі. Вони осаджуються на поверхні ізоляції й утворюють при зволоженні атмосферною вологою (роса) провідний шар, що істотно знижує електричну міцність ізоляції.

При впливі на ізоляцію робочої напруги в сполученні з забрудненням і зволоженням поверхні, як правило, порушується симетрія ізоляції полюсів щодо землі, що знижує електробезпеку і може призвести до зміни уставок пристроїв релейного захисту, сигналізації й автоматики. Виникає імовірність перекриття ізоляції. Імовірність збігу того, що на ізоляцію впливає робоча напруга і того, що існують несприятливими метеорологічними умови дуже велика.

У такий спосіб на електричну ізоляцію діють постійні змінні і випадкові навантаження.

З метою з'ясування закономірності зміни опору ізоляції, зібрані статистичні дані про величину цього опору. Для цього на досліджувальній підстанції 330кВ був зроблений аналіз замикань в МОПС, що відбулися із 2007 по 2012 рр.

Аналіз даних свідчить, що на стан ізоляції впливає вологість середовища, у якому відбувається експлуатація. Вона прискорює процес старіння ізоляції. Серед факторів, що впливають на підвищення вологи в забрудненій ізоляції й у самому діелектрику можна виділити дощ, росу, туман, паморозь.

На рис. 1 показана залежність опору ізоляції від тривалості дощу. Отримана залежність показує, що при тривалості дощу до 30 хвилин опір ізоляції істотно не змінюється. У наступній 3-4 години опір повільно знижується до 100-80 кОм, після чого відбувається замикання полюса на землю через опір 0-3 кОм, викликане комутаційними перенапругами, поверхневими дуговими розрядами.

Аналіз замикань, що відбулися протягом 2007-2012 років на досліджувальній підстанції 330 кВ, дозволив побудувати гістограму, представлену на рис. 2. З цієї гістограми видно, що в середньому, з кожних 10 дощів п'ять призводили до зниження ізоляції полюса менш 100 кОм.

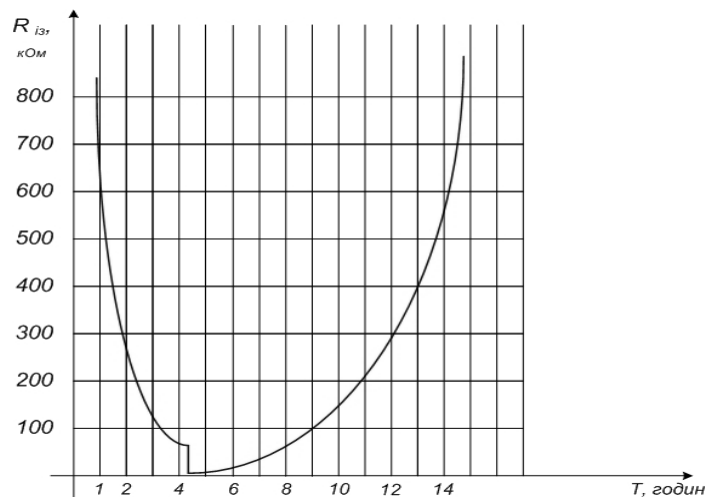


Рис. 1 Залежність опору одного полюса мережі відносно землі від тривалості дощу

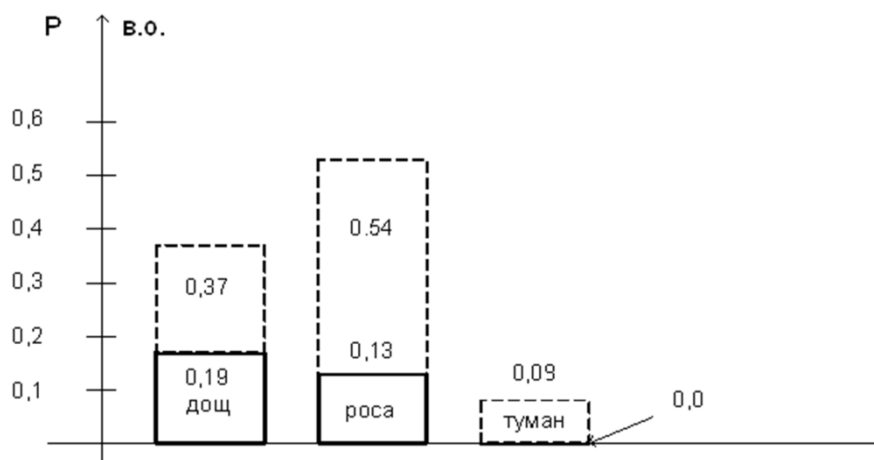


Рис. 2 Гістограма розподілу ймовірностей виникнення замикання на землю через опір від 0 до 30кОм при різних видах атмосферних опадів (дощ, роса, туман), де: ймовірність випадання даного виду опадів – штрихова лінія; ймовірність замикань – суцільна лінія

З 2007 по 2012 рік усі зниження опору ізоляції до 30 кОм і нижче носили раптовий характер. Від 1 МОм до 200 кОм опір ізоляції частіше знижувався плавно.

Дослідження показали, що зниження опору до 500 кОм під дією роси відбувається протягом 3-4 годин щодня, коли роса випадає. Незабаром волога випаровується через велику поверхню, й ізоляція відновлюється.

На території досліджуваної підстанції в 2007 році 5 разів був туман. Туман стабільно викликав зниження опору ізоляції до 200-300 кОм. Процес зволоження ізоляції під впливом туману повільний у часі.

Після зникнення туману ізоляція відновлювалася протягом 1-2 годин. Це свідчить про те, що туман проникав у ті місця на території ВРП, де розташовані оголені частини кабелів, що знаходяться під робочою напругою. При цьому, у багатьох місцях відбувається незначне погіршення ізоляції, що разом викликає зниження ізоляції полюса до 200 кОм. Якщо під час дії дощу або роси кількість однополюсних замикань значно перевищує двохполюсні, то при тумані ізоляція погіршується майже симетрично. При паморозі опір ізоляції полюса нижче 500 кОм не знижувався.

У зимовий час кількість замикань на землю різко скоротилася. Отримані за допомогою приладів збору інформації коливання величини опору ізоляції дозволяють побудувати графіки найбільших добових змін активного опору ізоляції полюса мережі відносно землі, які не призвели до аварійного (20 кОм і нижче) зниження опору ізоляції (рис. 3). На рисунку показані: 1 - зміна опору ізоляції для весняного й осіннього сезонів; 2 - літнього і 3 - зимового. На рис. 4 зміни температури T °С та відносної вологості V % протягом доби показані 1 і 2 - для весняного й осіннього сезонів, 3 і 4 - літнього і 5 і 6 - зимового.

Різкі коливання рівня опору в нижній частині графіку 1 на рис. 3 і на рис. 4 викликані появою дугових поверхневих розрядів, що виникають внаслідок впливу комутаційних перенапруг, при низьких рівнях активного опору ізоляції. На рис. 3 показаний розвиток пошкодження під час дощу до відключення пошкодження оперативним персоналом або захистом.

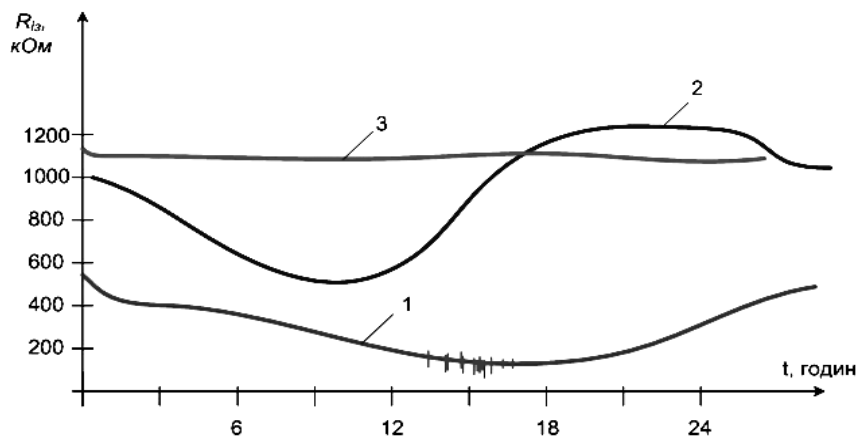


Рис. 3 Добові зміни активного опору ізоляції: 1-весна, осінь; 2-літо; 3-зима

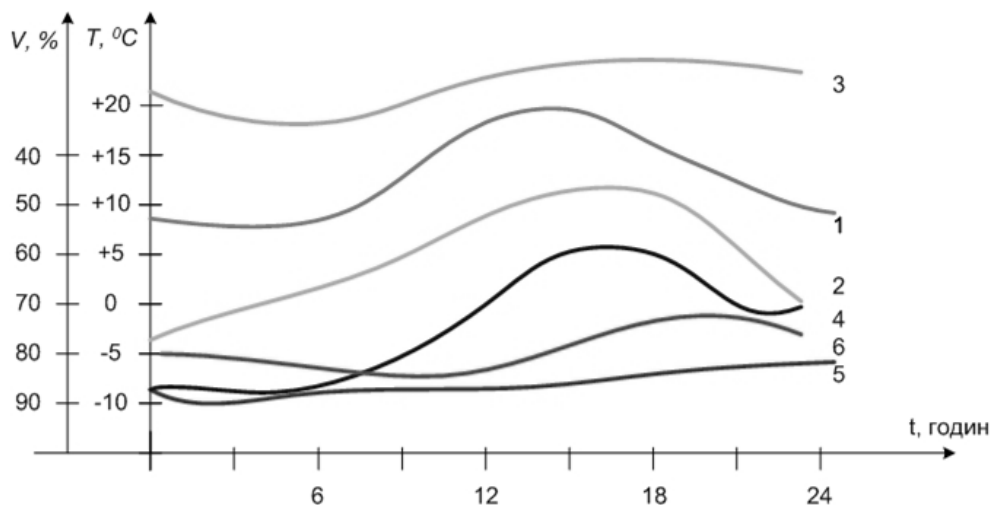


Рис. 4 Добові зміни температури T °С і відносної вологості V %

Результати експериментальних досліджень величини активного опору в місці замикання

Зниження ізоляції може бути викликано шунтуванням ізоляції в одному місці і появою додаткових шунтувальних зв'язків полюса з землею на різних ділянках системи які, будучи паралельними з'єднаннями і маючи високий опір 700-1200 кОм, у кілька разів зменшують опір ізоляції. В першому випадку зниження ізоляції може швидко перейти у коротке замикання, а в другому випадку ізоляція практично завжди відновлюється, волога випаровується, опір ізоляції збільшується.

Результати статистичних досліджень зменшення опору ізоляції полюсів МОПС, результати дослідження ймовірностей виникнення цих зменшень P (в залежності від величини зменшення опорів $R1_{пол.}$, $R2_{пол.}$) та дослідження кількості k (короткочасних зменшень опору полюсів за визначений проміжок часу спостережень T) наведені в таблиці 1. Ймовірності пошкоджень розраховані, як відношення кількості зменшень опору полюса (при певній величині цього опору) до загальної кількості пошкоджень, які в подальшому призвели до тривалого зменшення опору полюсів до 20 кОм і менше.

Таблиця 1

Результати статистичних досліджень

$R1_{пол.,кОм}$	$P1(R1_{пол.}), в.о.$	$T, годин$	$P2(T), в.о.$	$k, раз$	$P3(k), в.о.$	$R2_{пол.,кОм}$	$P4(R2_{пол.}), в.о.$
30	0,042	1	0,5	2	0,5	30	0,4
40	0,125	1	0,166667	2	0,166667	40	0,33
80	0,313	1	0,133333	2	0,133333	80	0,288
100	0,46	1	0,090909	2	0,045455	100	0,265
200	0,042	1	0	2	0	200	0,01
300	0,02	1	0	2	0	300	0,0028
...							
100	0,46	4	0,227273	5	0,590909	100	0,265
200	0,042	4	0,5	5	0,5	200	0,01
300	0,02	4	1	5	1	300	0,0028
30	0,042	8	0	7	0	30	0,4
40	0,125	8	0	7	0	40	0,33
80	0,313	8	0,2	7	0,2	80	0,288
100	0,46	8	0,181818	7	0,181818	100	0,265
200	0,042	8	0,5	7	0,5	200	0,01
300	0,02	8	0	7	0	300	0,0028

Шляхом регресійного аналізу даних таблиці 1 (з використанням засобів MathCad) отримуємо ймовірності ($P1, P2, P3, P4$) зменшень опору ізоляції до 20 кОм в залежності від значень параметрів $R1, T, k, R2$ відповідно. В результаті, наприклад, $P1$ визначається за виразом:

$$P1 = -4.378 \cdot 10^{-3} + 8.233 \cdot 10^{-5} \cdot R1 + 2.649 \cdot 10^{-5} \cdot R1^2 + 7.003 \cdot 10^{-7} \cdot R1^3 + 2.143 \cdot 10^{-9} \cdot R1^4 - \dots - 8.607 \cdot 10^{-11} \cdot R1^5 - 4.431 \cdot 10^{-13} \cdot R1^6 + 5.522 \cdot 10^{-15} \cdot R1^7. \quad (1)$$

Маючи ймовірності прогнозування зменшення опору ізоляції полюсів відносно землі в залежності від зміни кожного з контрольованих параметрів, визначаємо загальну ймовірність прогнозування P_{Σ} в залежності від одночасного впливу всіх параметрів (2)

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n N_i \prod_{j=1}^m X_j^{b_{ji}}, \quad (2)$$

де N_i – коефіцієнти, які визначаються дослідним шляхом, n – кількість членів поліному, яка залежить від потрібної похибки прогнозування (степені поліному), $X_1 = R1_{пол.}$, $X_2 = T$, $X_3 = k$, $X_4 = R2_{пол.}$, m – кількість аргументів ($m=4$), b_{ji} – показник степені кожного аргументу в кожному доданку.

З метою знаходження умов максимальної ймовірності прогнозування майбутнього аварійного зменшення опору ізоляції полюса мереж ОПС використовуємо метод критеріального програмування. В результаті рішення двоїстої задачі отримуємо умову максимуму функції (2):

$$R1_{пол.онт} = R2_{пол.онт} = 100 \text{ кОм}, T_{онт} = 6 \text{ годин}, k_{онт} = 3 \text{ рази}. \quad (3)$$

Висновки. Проведені дослідження ймовірності тривалих зменшень опору ізоляції полюсів мереж оперативного постійного струму електричних підстанцій в залежності від параметрів попередніх короткочасних зменшень цих опорів свідчать про те, що якість прогнозування майбутнього зменшення цього опору до 20 кОм і менше буде максимальною, якщо кількість короткочасних (менше 1 хвилини) зменшень опору полюса мережі відносно землі до 100 кОм і менше буде не менше 3 разів на протязі не більше 6 годин. Використання методу критеріального програмування дозволило знайти оптимальні

значення контрольованих параметрів, які забезпечують максимальну імовірність прогнозування.

Список літератури

1. Борухман В. А. Устройство ИПИ-1 для отыскания мест повреждения изоляции в сетях оперативного постоянного тока / В. А. Борухман В.А., А. Н. Кулдыкин //Энергетик. – 1985. - №2. – С. 28-29.
2. Инструкция по расследованию и учету нарушений в работе электростанций, сетей и энергообъединений. – М.: СПО, 1983, -18 с.
3. Інструкція про розслідування та облік технологічних порушень на об'єктах електроенергетики і в об'єднаній електроенергетичній системі України СОУ-Н МПЕ 40.1.08.551:2005. – К.: ОЕП «ГРІФРЕ», 2005. – 52 с.

**I.A. Zhuk, branch «Construction Directorate of the Dniester HPSPP»
A.E. Rubanenko, Vinnytsia National Technical University**

**RESEARCH OF CONFORMITIES TO LAW OF CHANGE OF RESISTANCE OF ISOLATION
OF NETWORKS OF OPERATIVE DIRECT-CURRENT**

There is the marked importance of networks of operative direct-current(ODCN) of the hydroelectric power stations(renewable energy sources) in the article, the most widespread devices are considered for control of the state of ODCN. Presented external factors that most influence on the state of isolation of these networks, and also it is statistically investigational and presented in a graphic kind influence of environment(for example, rain, dew, fog, et cetera) and seasonality(winter, spring, summer, autumn) on the size of resistance of isolation of ODCN. The analysis of data testifies that most influence on the level of isolation is had a rain and dew, and in general her resistance most goes down in spring and autumn. On the basis of got these statistical dependences of levels of isolation of ODCN on the factors of environment the built dependence of probability of origin of decline of level of isolation of these networks less than 20kOm depending on the state and parameters of ODCN. The use of method of the criterion programming allowed to untie an ambivalent task and find the optimal values of the controlled parameters that provide maximal probability of prognostication of decline of level of isolation of networks of operative direct-current below than normative value.

Keywords: networks of operative direct-current, isolation, electric station, method of the criterion programming, ambivalent task, regressive analysis.

1. Boruhman V.A. Device of IPI-1 for searching for of sites of damage of isolation in the networks of operative direct-current/ Boruhman V.A., Koldukin A.N.//Energetik. – 1985. - №2. – p. 28-29 (Rus).
2. Instruction on investigation and account of violations in-process power-stations, networks and energyassociations. –М.: SPO, 1983, -18 ps (Rus).
3. I Instruction about investigation and account of technological violations on the objects of electroenergy and in the incorporated electroenergy system of Ukraine SOU-N MPE 40.1.08.551:2005. – К.: ОЕП «ГРІФРЕ», 2005. – 52 ps (Ukr).

УДК 621.316.925

**И. А. Жук, Филиал «Дирекция по строительству Днестровской ГАЭС»,
А. Е. Рубаненко, канд. техн. наук, доцент,**

**Винницкий национальный технический университет
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ
ИЗОЛЯЦИИ СЕТЕЙ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА**

В статье отмеченная важность сетей оперативного постоянного тока (СОПТ) гидроэлектростанций (источников возобновляемой энергии), рассмотрены самые распространенные приборы для контроля состояния СОПТ. Представленные внешние факторы, которые больше всего влияют на состояние изоляции этих сетей, а также статистически исследовано и представлено в графическом виде влияние внешней среды (например, дождя, росы, тумана, и т.д.) и сезонности (зима, весна, лето, осень) на величину сопротивления изоляции СОПТ. Анализ данных свидетельствует, что наибольшее влияние на уровень изоляции имеют дождь и роса, а в общем ее сопротивление больше всего снижается весной и осенью. На основе полученных статистических данных зависимостей уровней изоляции СОПТ от факторов внешней среды построенная зависимость вероятности возникновения снижения уровня изоляции этих сетей меньше 20кОм в зависимости от состояния и параметров СОПТ. Использование метода критерияльного программирования позволило развязать двойственную задачу и найти оптимальные значения контролируемых параметров, которые обеспечивают максимальную вероятность прогнозирования снижения уровня изоляции сетей оперативного постоянного тока ниже нормативного значения.

Ключевые слова: сети оперативного постоянного тока, изоляция, электрическая станция, метод критерияльного программирования, двойственная задача, регрессионный анализ.

Надійшла 08.06.2014

Received 08.06.2014

УДК 621.311.001.57(063)

О.О. Закладний, канд. техн. наук, доцент;

О.М. Закладний, канд. техн. наук, доцент;

Д.Ю. Могилат; В.Г. Смоляр

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

КЕРУВАННЯ ВЕНТИЛЬНИМ ДВИГУНОМ ЕЛЕКТРОНАВАНТАЖУВАЧА ЗА ДОПОМОГОЮ ФАЗЗИ - НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Досліджено дві віртуальні моделі електропривода з вентильним двигуном для електронавантажувача у середовищі MATLAB: перша – з підпорядкованим керуванням та двома регуляторами швидкості та струму, друга – з регулятором на основі фаззи-нейронної мережі. Показано, що для електронавантажувача найбільш доцільним є застосування керування з фаззи-нейронною мережею, яка має кращі динамічні показники та задовольняє вимогам енергоефективності.

Ключові слова: Вентильний двигун, фаззи-нейронна мережа, електронавантажувач, система керування, віртуальна модель електроприводу.

Вступ. В останнє десятиліття спостерігається різке посилення вимог до поліпшення умов роботи людей з автотранспортною технікою, наприклад, стосовно рівнів шуму та вібрації, вмісту вихлопних газів, запаху. Ефективно вирішити ці питання дозволяють машини з електроприводом, альтернативи яким в цілому ряді галузей, наприклад, при виробництві та зберіганні харчових продуктів, ліків, у приміщеннях з підвищеною пожежо- і вибухонебезпечністю, не існує. Акумуляторний навантажувач не забруднює навколишнє середовище, а значить – оптимальний для роботи в закритому приміщенні або в недостатньо провітрюваних місцях відкритих майданчиків. Також важливий чинник - кількість енергії, яка споживається двигуном навантажувача. На даний час електронавантажувачі з приводом змінного струму випускаються всіма провідними виробниками навантажувачів.

Вибір тягового електродвигуна в електроприводі електронавантажувача залежить від галузі застосування електронавантажувача і вимог, що ставляться до нього. Тяговий електропривод електронавантажувача, крім загальних, має такі вимоги: високий момент у всьому діапазоні частот обертання, точність регулювання, реверс на ходу, придатність для рекупративного гальмування (з точки зору динаміки) та високий ККД (з точки зору енергоефективності).

Метою роботи є побудова та дослідження двох віртуальних моделей електропривода з вентильним двигуном для електронавантажувача - з підпорядкованим керуванням та з регулятором на основі фаззи-нейронної мережі та вибір такої з них, що має кращі динамічні показники й задовольняє вимозі енергоефективності.

Матеріал та результати досліджень. Найбільш перспективним для електронавантажувача є електропривод ВД з синхронною машиною з постійними магнітами (СМПМ), який має кращі масогабаритні показники і ККД у порівнянні з іншими системами [1]. Схему електропривода з ВД зображено на рис. 1.

Розглянемо три основні способи керування ВД [2].

Перший спосіб керування полягає в підтриманні постійного значення кута випередження $\beta_0 = \text{const}$. При цьому джерелом напруги синхронізації служить датчик положення ротора (ДПР). Фазовий зсув між першою гармонікою струму і ЕРС холостого ходу

$$\psi_1 = \varphi + \theta = \beta_0 - \frac{\gamma}{2},$$