
УДК 004.942: 621.313

**МОДЕРНІЗАЦІЯ ДОПОМІЖНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ЕЛЕКТРИЧНОГО
РУХОМОГО СКЛАДУ**

Канд. техн. наук О. В. Пасько, Р. В. Зіюк

**МОДЕРНИЗАЦИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ АСИНХРОННЫХ МАШИН
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Канд. техн. наук О. В. Пасько, Р. В. Зизюк

**MODERNIZATION OF SUBSIDIARY ASYNCHRONOUS MACHINE ELECTRIC
ROLLING STOCK**

Cand. of tehn. sciences O. V. Pasko, R. V. Zizyuck

У даній статті розглядається можливість модернізації асинхронного електричного двигуна НВА-55. Ефективним способом зниження втрат у роторі є зниження активного опору стержня за рахунок збільшення його поперечного перерізу. Тільки такий спосіб придатний для двигунів, що працюють на вентиляторне навантаження, тому що їхній пусковий момент може виявитися значно меншим від номінального робочого моменту.

Ключові слова: асинхронний двигун, електричне поле, геометричні параметри.

В данной статье рассматривается возможность модернизации асинхронного электрического двигателя НВА-55. Эффективным способом снижения потерь в роторе является снижение активного сопротивления стержня за счет увеличения его поперечного сечения. Только такой способ пригоден для двигателей, работающих на вентиляторные нагрузки, так как их пусковой момент может оказаться значительно меньше номинального рабочего момента.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, электрическое поле, геометрические параметры.

This article discusses the possibility of upgrading the ASN-55 asynchronous electric motor HVA-55r. An effective way to reduce the losses in the rotor is to reduce the active rod resistance by increasing its cross-section. Only such a method is suitable for engines operating on the fan load, as their starting point may be much lower than the rated operating torque. To compare the experimental results and simulations made the calculation of voltages and currents during motor start. Modeling these modes was carried out under the same given conditions, as a practical experiment. The results showed the following. The engine has a low starting torque $107\text{N} \cdot \text{m}$ at 2178mkF launcher capacity and lowest possible single-phase voltage 280V . The values of starting torque is not enough, since according to the specifications it must be at least $130\text{N} \cdot \text{m}$ at 280V single-phase power. In the course of a single engine start occurring electrical surge between the pole clamps (Figure 3.8). The magnitude of the surge exceeds the permissible value of 660V applied for engine isolation and a nominal operating voltage of 380V .

Keywords: induction motor, the electric field, the geometrical parameters.

Вступ. Значущість допоміжних електричних машин на електровозах останнім часом істотно зростає. Це пов'язано зі збільшенням навантаження на двигуни, інтенсивності експлуатації, технічного стану та віку експлуатації.

У 20-х роках 20-го століття одержав популярність метод дослідження асинхронних двигунів з несиметричним живленням, розроблений американським ученим С.Л. Фортезкуе. Розвиток цього методу дали у своїх роботах Ю.С. Чет і І.М. Камінь. Для дослідження електричних машин методом симетричних складових використовується принцип накладення, і струми фаз розкладаються на складовій

прямій і зворотній послідовності, які задають кругові обертові поля. На схемах заміщення асинхронного двигуна для напруг прямої й зворотної послідовностей ротор заміняється еквівалентним трифазним. Крондль у 1934 році створив метод двох координат і застосував його до асинхронних машин із двома взаємно перпендикулярними обмотками, виконаними з нерівною кількістю витків. Вони виходять із трифазних обмоток, якщо дві послідовно увімкнені фази розглядати як одну. Тому надалі з'явилася можливість моделювання асинхронних машин у нерухомій або обертовій системах координат. У 50-х роках Б. Геллер і

В. Гамата показали можливість обліку вищих гармонічних полів, які можуть створювати додаткові обертаючі моменти й втрати, у результаті чого погіршуються механічні характеристики асинхронної електричної машини. Я.Б. Данилевич і Є.Г. Кашарський розглядали питання виникнення додаткових втрат в асинхронних двигунах унаслідок наявності вищих гармонік магнітного поля в повітряному зазорі, у результаті чого знижується ККД цих електричних машин.

Проведений аналіз існуючих методів дослідження й моделювання асинхронних двигунів з несиметричним живленням дає змогу зробити висновок про необхідність розроблення математичних моделей для дослідження роботи групи допоміжних асинхронних двигунів електровозів в умовах несиметричного й несинусоїдального живлення при наявності дефектів у роторі [2, 3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для дослідження особливостей роботи групи трифазних асинхронних двигунів від однофазної мережі доцільно взяти за основу методику, розроблену А.В. Івановим-Смоленським, Е.М. Лопухіною, Г.С. Сомихіною. Ця методика застосовувалася тільки для випадку роботи одного трифазного двигуна від однофазної мережі. Методика складається із трьох етапів. На першому етапі розрахунку складається система рівнянь рівноваги потенціалів за другим законом Кірхгофа для трифазної машини. На другому етапі в отримані рівняння підставляються співвідношення для симетричних складової прямої й зворотної послідовностей напруг і струмів. На третьому етапі отримана система рівнянь прив'язується до співвідношень механічної рівноваги.

Визначення цілі й задачі дослідження. В економічних умовах, які склалися, та керуючись Стратегічним планом розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року, Програмою модернізації та оновлення рухомого

складу, метою статті є можливість упровадження прогресивних технологій з модернізації асинхронних електричних машин електровозів. Задачею дослідження є обґрунтування модернізації конструкції допоміжного асинхронного двигуна електровоза.

Основний матеріал статті.

Конструктивно допоміжні машини виконані в сталевому гладкому корпусі виконання IP20. Уважається, що вентилятор на валу двигуна повинен забезпечувати достатній повітряний потік для охолодження в номінальному режимі роботи. Роль вентилятора у цих допоміжних електродвигунах виконують вентиляційні лопатки ротора. Охолодне повітря надходить у двигун з торців підшипникових щитів через вхідні отвори й повітряні дифузори, і, нагнітаючись вентиляційними лопатками ротора, направляється уздовж статора машини, далі виходить із неї через вихідні отвори в корпусі [4].

В асинхронному двигуні НВА-55 при збільшенні довжини активної частини на 20 % і більше з'являється необхідність повної зміни конструкції підшипникових щитів для забезпечення необхідної ізоляційної відстані між лобовими частинами обмотки статора й повітряних дифузорів (рис. 1, 2).

Крім того, необхідно подовжувати опорні ребра машини, зберігаючи при цьому габаритні розміри двигуна. У такому випадку між внутрішньою підшипниковою кришкою й короткозамикальним кільцем з'являється можливість насадки осьового вентилятора, що може забезпечити односпрямований рух повітря з боку вхідних отворів заднього підшипникового щита вздовж повітряного зазора й поверхні статора між опорними ребрами убік вентиляційних отворів переднього підшипникового щита. При цьому вихідні отвори на зовнішній корпусній оболонці (рис. 3) повинні бути закриті для запобігання втрати охолодного повітря.

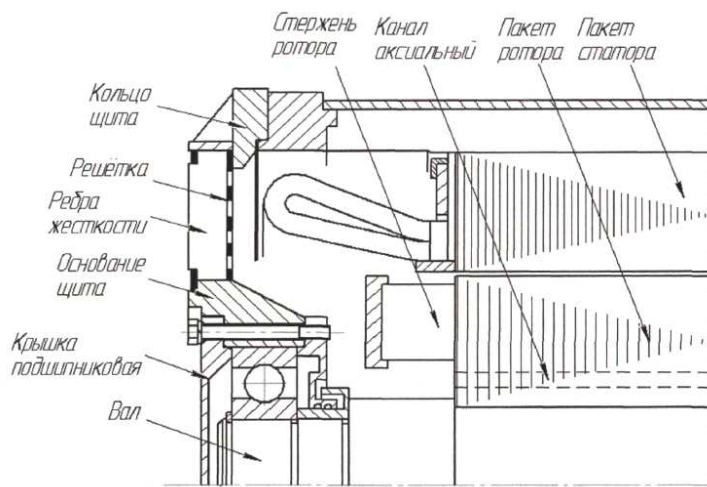


Рис. 1. Змінена частина підшипникового щита двигуна НВА-55 при відносно великому подовженні активної частини

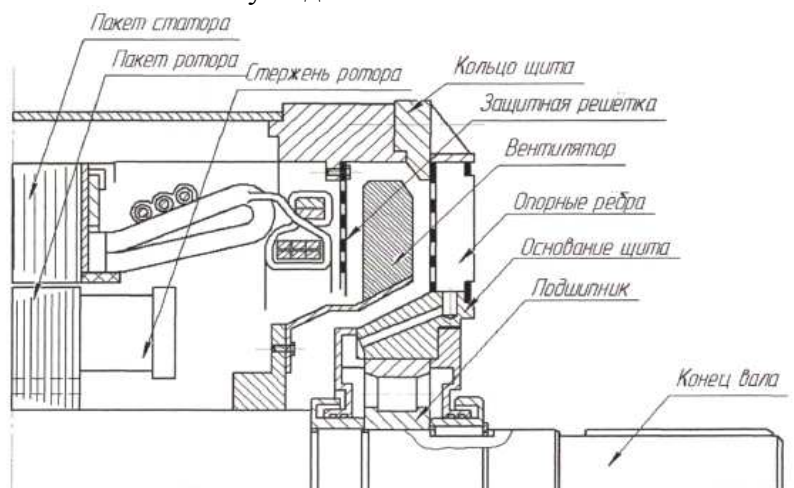


Рис. 2. Змінена частина підшипникового щита в кінці вала двигуна НВА-55 при відносно великому подовженні активної частини

Крім того, у всіх змінених варіантах двигуна передбачені аксіальні вентиляційні канали в роторі. Застосування осьового вентилятора може бути обумовлено можливістю одержання більшої площі захоплення повітря вентиляційними лопатками за рахунок їхнього нахилу й збільшеної ширини в порівнянні з радіальним вентилятором. При цьому необхідно строго витримувати напрямок обертання ротора машини. Крім того, діаметр такого вбудованого вентилятора більший від діаметра окружності навколо

вентиляційних лопаток ротора, що забезпечить більший напір охолодного повітря й тим самим створюватимуться поліпшені умови охолодження двигуна.

Конструкція ротора, запропонована заводом ВЭЛНИИ, в останній модифікації НВА-55 застосовується, як показано на рис. 2. У цій конструкції мідні шини, виконані як стрижні ротора, на кінцях зазнають вигину при складанні, після чого приварюються до короткозамикальних кілець. Така конструкція забезпечує достатню механічну міцність роторної

клітки й зручність складання. Крім того, у випадку посадки вентилятора на вал

необхідно передбачити додатковий щабель із фіксацією шпонкою [5, 6].

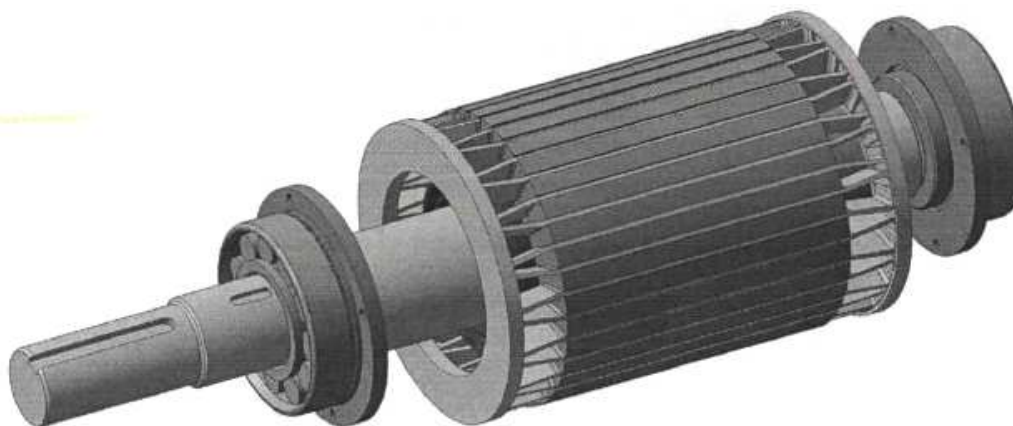


Рис. 3. Ротор зміненої конструкції для двигуна НВА-55

Для обліку технологічних дефектів при заливанні обмотки ротора наведена вище модель доповнюється. У цій моделі кожний стрижень ротора описується своїм

рівнянням за другим законом Кірхгофа й законом електромагнітної індукції як показано нижче:

$$\left. \begin{aligned} 0 &= i_{r1} R'_2 + \frac{d\Psi_{\Sigma r1}}{dt} \\ 0 &= i_{r2} R'_2 + \frac{d\Psi_{\Sigma r2}}{dt} \\ \dots\dots\dots \\ 0 &= i_{r38} R'_2 + \frac{d\Psi_{\Sigma r38}}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Кількість рівнянь у цьому випадку дорівнює кількості стрижнів – 38.

Вирази для визначення потокозчеплень фаз статора й ротора будуть виглядати як показано нижче:

$$\left. \begin{aligned} \Psi_{\Sigma SA} &= i_{SA}(L_{1\sigma} + L_m) - \frac{1}{2}i_{SB}L_m - \frac{1}{2}i_{SC}L_m + \\ &+ L_m \sum_{k=1}^{m_2} i_{rk} \cos\left(\varphi + (k-1)\frac{360^\circ}{m_2}\right) \\ \Psi_{\Sigma SB} &= i_{SB}(L_{1\sigma} + L_m) - \frac{1}{2}i_{SC}L_m - \frac{1}{2}i_{SA}L_m + \\ &+ L_m \sum_{k=1}^{m_2} i_{rk} \cos\left(\varphi + (k-1)\frac{360^\circ}{m_2} - 120^\circ\right) \\ \Psi_{\Sigma SC} &= i_{SC}(L_{1\sigma} + L_m) - \frac{1}{2}i_{SA}L_m - \frac{1}{2}i_{SB}L_m + \\ &+ L_m \sum_{k=1}^{m_2} i_{rk} \cos\left(\varphi + (k-1)\frac{360^\circ}{m_2} - 240^\circ\right) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\Psi_{\Sigma r1} = i_{r1}(L_{2\sigma} + L_m) + L_m \sum_{k=2}^{m_2} i_m \cos\left((k-1)\frac{360^\circ}{m_2}\right) + L_m(i_{SA} \cos(-\varphi) + i_{SB} \cos(-\varphi + 120^\circ) + i_{SC} \cos(-\varphi + 240^\circ))$$

$$L_m(i_{SA} \cos(-\varphi) + i_{SB} \cos(-\varphi + 120^\circ) + i_{SC} \cos(-\varphi + 240^\circ));$$

$$\Psi_{\Sigma r3\theta} = i_{r3\theta}(L_{2\sigma} + L_m) + L_m \sum_{k=2}^{m_2} i_m \cos\left(k\frac{360^\circ}{m_2}\right) + L_m\left(i_{SA} \cos\left(-\varphi - (m_2 - 1)\frac{360^\circ}{m_2}\right) + i_{SB} \cos\left(-\varphi + 120^\circ - (m_2 - 1)\frac{360^\circ}{m_2}\right) + i_{SC} \cos\left(-\varphi + 240^\circ - (m_2 - 1)\frac{360^\circ}{m_2}\right)\right) \tag{3}$$

де m_2 - кількість фаз ротора, у цьому випадку дорівнює кількості стрижнів – 38;

k - номер стрижня.

Для оцінки результатів модернізації конструкції допоміжного асинхронного двигуна НВА-55 проводилося моделювання теплових полів різних варіантів конструкції цієї машини при однакових умовах електричного живлення. У таблиці наведено дані про температури різних варіантів двигуна при різних умовах живлення й можливій наявності ділянки стрижня ротора зі

зменшеним у дев'ять разів перерізом, а також величина зниження температури нагрівання різних точок у процентному співвідношенні. На рис. 4 та 5 наведені картини теплових полів для початкового варіанта асинхронної машини й для її першого модернізованого варіанта (таблиця) при несиметричному й несинусоїдальному живленні [7-9].

Таблиця

Картини теплових полів для різних видів двигуна НВА-55

Режим	Температура найбільш нагрітих точок статора й ротора для різних варіантів двигуна НВА-55, °C				
	Оригінал	1	2	3	4
Матеріал клітки ротора	Al	Cu	Cu	Cu	Cu
Симетричне живлення	130	107	101	96	92
Несиметричне живлення 6,3 % з тимчасовими гармоніками до 12 %	175	143	136	139	122
Один стрижень ротора з ділянкою зменшеного перерізу	278	225	217	202	195
Середнє зменшення температури, %					
-	-	18	22	26	30
Зменшення активного опору ротора, %					
-	-	43	53	58	62
Зміна геометричних розмірів, %					
Збільшення глибини паза ротора	-	90	120	150	175
Подовження активної частини	-	15	20	23	25

Збільшення внутрішнього діаметра статора	-	0	2	5	8
Енергетичні показники					
ККД, %	90,2	91,7	92,0	92,5	93,0
$\cos \varphi$, о. е.	0,820	0,798	0,788	0,780	0,771

Висновки з дослідження й перспективи, подальший розвиток у даному напрямі. На етапах модернізації допоміжного двигуна були отримані картини теплового поля різних варіантів машини, що працює при несинусоїдальному й несиметричному електричному живленні. Методика одержання теплових полів асинхронного двигуна полягає в такому:

1. Моделювання режимів роботи асинхронного двигуна в умовах несиметричного й несинусоїдального живлення, одержання даних про струми, що протікають у статорі й роторі.

2. На підставі отриманих даних статорних і роторних струмів визначення електричних втрат на нагрівання в обмотках статора й ротора. Одержання даних про магнітні втрати в різних ділянках двигуна.

3. Визначення граничних умов для моделювання теплового поля двигуна в середовищі Elcut. До даних умов належать:

- визначення об'ємної щільності тепловиділення у всіх ділянках двигуна;
- визначення коефіцієнтів тепловіддачі з різних поверхонь двигуна.

Уведення граничних умов у програмний продукт Elcut і моделювання теплового поля електричної машини.

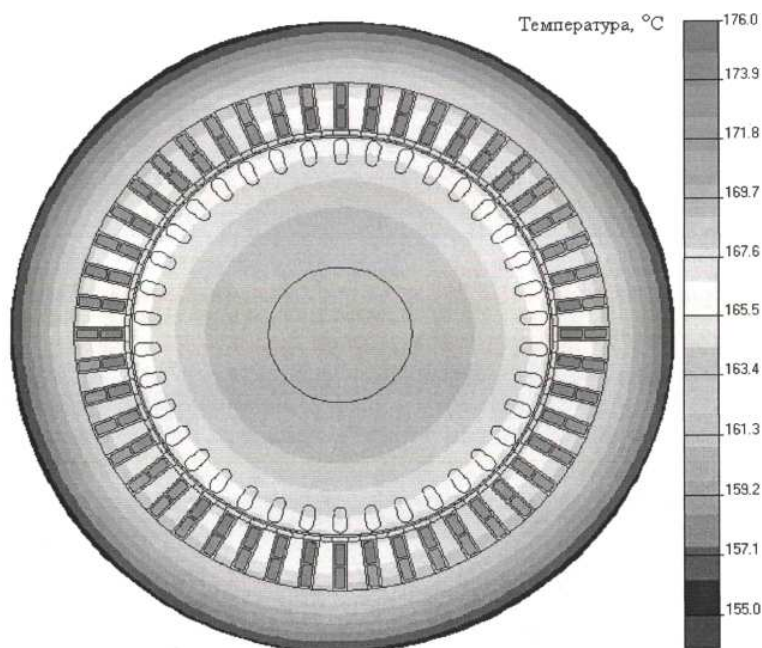


Рис. 4. Теплове поле двигуна НВА-55 при несиметричному і несинусоїдальному живленні

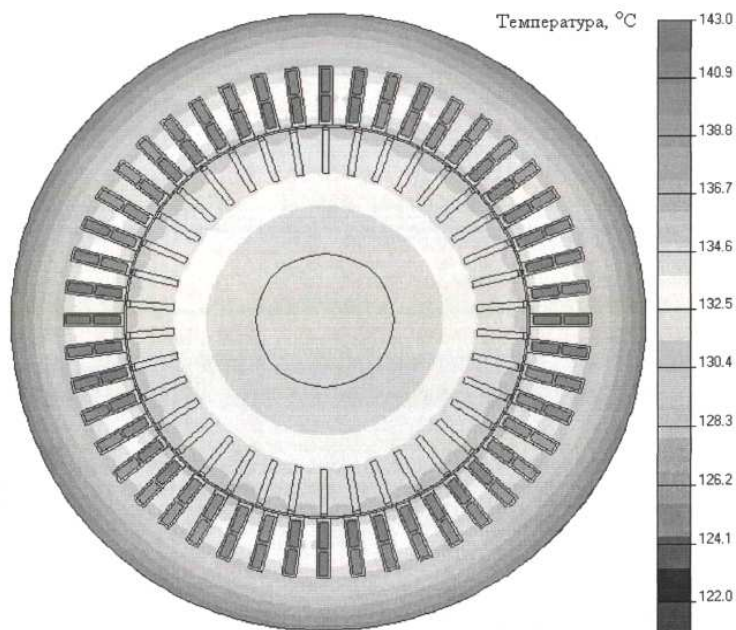


Рис. 5. Теплове поле двигуна 1-го зміненого варіанта НВА-55 при несиметричному й несинусоїдальному живленні

Список використаних джерел

1. Адаменко, А. И. Методы исследования несимметричных асинхронных машин. [Текст] / А.И. Адаменко. – К.: Наукова думка, 1969. – 356 с.
2. Адаменко, А. И. Несимметричные асинхронные машины [Текст] / А.И. Адаменко. – К.: Изд-во АН УССР, 1962. – 212 с.
3. Пасько, О. В. Аналіз електромагнітних процесів у тягових електроприводах із ШІМ напруги інвертора. [Текст] / О.В. Пасько // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ, 2004. – Вип. 3/(26). – С. 97-99.
4. Гусевський, Ю. І. Розрахунок фазних струмів двофазної системи «автономний інвертор напруги – асинхронний двигун» [Текст] / Ю.І. Гусевський, О.В. Пасько, В.П. Шаповал // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2000. – №44. – С. 59.
5. Jakob, M.: Global Electric Motor Market Study - a first trial, in: conference proceedings, Motor Summit 2010, Zurich Switzerland, 2010.
6. Бернштейн, Л. М. Изоляция электрических машин общепромышленного применения [Текст] / Л.М. Бернштейн. – М.: Энергоиздат, 1981. – 376 с.
7. Вольдек, А. И. Электрические машины [Текст] / А.И. Вольдек. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с.
8. Гемке, Р. Г. Неисправности электрических машин [Текст] / Р.Г. Гемке. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 336 с.
9. Герман-Галкин, С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0[Текст] / С.Г. Герман-Галкин. – Спб.: КОРОНА принт, 2001. – 320 с.

Пасько Ольга Володимирівна, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 057-730-10-20.

Зізюк Руслан Вікторович, магістрант Українського державного університету залізничного транспорту, оглядач ВЧДЕ 2, Батуринська, Кривий Ріг. Тел.: 096-40-87-881.

Pasko Olga Vladimirovna, Ph.D., associate professor of the department of operation and repair podvyzhnoho composition of Ukrainian state-owned railroad transport University. Tel. 057-730-10-20.
Zyzyuk Ruslan Viktorovich, Browser VCHDE 2 Baturynskaya, Krivoy Rog. Tel. 096-40-87-881.

Стаття прийнята 16.092016 р.