

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА МОЩНОСТИ В РОТОРНОЙ ЦЕПИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СТЕНДОВ НА ОСНОВЕ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

**И. В. Дорощенко**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель В. В. Тодарев

В последнее время наблюдается тенденция к производству энергонасыщенной сельскохозяйственной техники, соответственно возрастает и ее стоимость. Обеспечить длительную и безаварийную работу такой техники можно при условии своевременного и качественного ремонта наиболее ответственных ее узлов и агрегатов – двигателей внутреннего сгорания. В связи с этим возникает необходимость в качественных испытаниях агрегатов после ремонта. В последнее время наблюдается рост мировых цен на энергоресурсы, таким образом, наиболее острой становится проблема энергосбережения при испытаниях [1]. Анализ последних исследований и публикаций показывает, что современные стенды для проведения приемосдаточных испытаний двигателей внутреннего сгорания являются энергосберегающими, что позволяет возвращать в том или ином виде, за вычетом обязательных потерь, затраченную на испытания энергию. Стоимость таких стендов достаточно высока (свыше \$100000), и это является серьезной проблемой для многих предприятий. Выходом в данной ситуации может быть модернизация уже существующих стендов в энерго-сберегающие. Модернизация сводится к введению в состав стенда узла согласования для рекуперации вырабатываемой в процессе испытаний электрической энергии в сеть либо в приводной двигатель. При этом, изменив структуру стенда, основные механические и электрические узлы можно сохранить неизменными, поскольку их износ, как правило, незначителен, а характеристики достаточно высоки. Затраты на модернизацию значительно (на порядок) ниже стоимости нового стенда [1].

Целью работы является исследование энергетического баланса мощности в роторной цепи электромеханических стендов на основе асинхронной машины с фазным ротором, построенным по схеме с добавочным сопротивлением в цепи ротора и схеме асинхронно-вентильного каскада (АВК).

В рамках х/д № 014/588 была разработана и внедрена инвариантная система автоматического регулирования нагрузочного момента на основе АВК [3] в результате модернизации нагрузочной части испытательного стенда КИ-5274 на ОАО «Витебский мотороремонтный завод». При этом ключевым условием модернизации являлось увеличение энергосбережения базового варианта стенда КИ-5274 мощностью 160 кВт, используемого для испытания дизельных двигателей после ремонта. Количественную оценку энергосбережения базового и модернизированного вариантов стенда производили на основе имитационного моделирования.

При имитационном моделировании балансирующей асинхронной машины с фазным ротором, входящей в состав испытательного стенда, использовали прямое моделирование дифференциальных уравнений для модели, при этом формирование коэффициентов уравнений выполнено в матричном виде [2]. На основании имитационной модели трехфазной асинхронной машины с фазным ротором в программе Matlab Simulink были составлены имитационные модели нагрузочных частей стендов: с жидкостным регулятором добавочного активного сопротивления в цепи ротора (базовый стенд КИ-5274) (рис. 1, а) и модернизированного стенда КИ-5274 с рекуперацией энергии в сеть на основе АВК при инвариантности момента [3] (рис. 1, б).

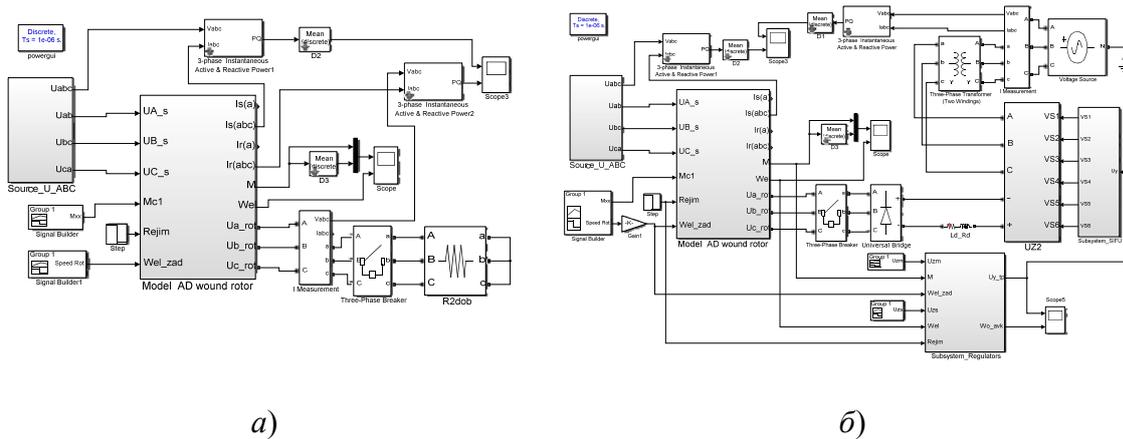


Рис. 1. Имитационные модели нагрузочной части стенда КИ-5274: а – с жидкостным реостатом в цепи ротора; б – модернизированного инвариантного стенда на основе АВК

Используя полученные имитационные модели (рис. 1), было произведено численное моделирование и расчет мощности вырабатываемой в роторной цепи асинхронной машины, работающей в генераторном режиме. Расчеты производились при изменении скорости вращения от  $\omega_{\min} = 175$  рад/с до  $\omega_{\max} = 298,5$  рад/с и изменении нагрузочного момента от нулевого до номинального значения асинхронной машины ( $M_c = 1080$  Н·м). При этом для модели базового варианта стенда КИ-5274 (с жидкостным реостатом) добавочное сопротивление в цепи ротора изменяли в пределах  $R_{\text{доб}} = 0 - 3$  о. е. Зависимость мощности, выделяемой в жидкостном реостате цепи ротора  $\Delta P_r$ , от вводимого добавочного сопротивления  $R_{\text{доб}}$  и нагрузочного момента  $M$  представлена на рис. 2.

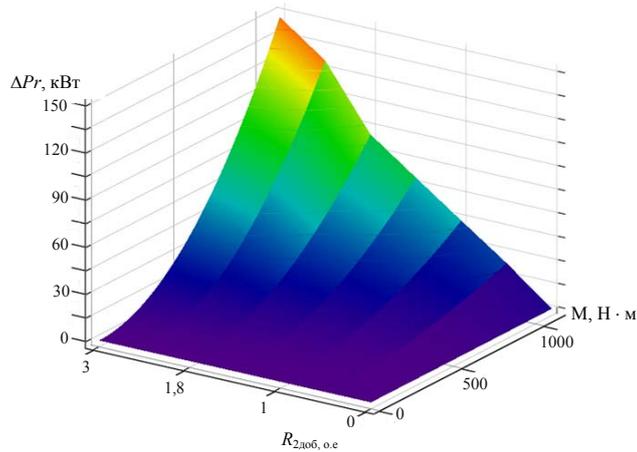


Рис. 2. Зависимость мощности выделяемой в жидкостном реостате  $\Delta R_r = f(M, R_{доб})$

Аналогично производилось исследование имитационной модели нагрузочной части стенда на основе АВК в MatlabSimulink, произвели расчет мощностей в генераторном режиме работы АД при изменении угла управления ведомым сетью тиристорным преобразователем от  $\beta_{max} = 87^\circ$  до  $\beta_{min} = 34^\circ$ , при аналогичных изменениях скорости вращения и нагрузочного момента. Зависимость мощности рекуперированной через цепь ротора  $\Delta P_r = f(M, \beta)$  от угла управления ведомым инвертором  $\beta$  и нагрузочного момента  $M$  представлена на рис. 3.

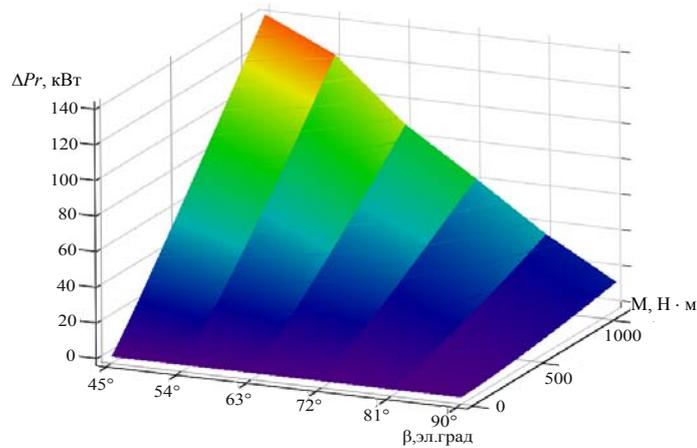


Рис. 3. Зависимость рекуперированной мощности АВК  $\Delta P_r = f(M, \beta)$

По полученным зависимостям мощности, выделяемой в жидкостном реостате  $\Delta P_r = f(M, R_{доб})$ , и мощности, рекуперированной через цепь ротора в сеть  $\Delta P_r = f(M, \beta)$  можно заключить, что для обоих вариантов нагрузочных частей испытательного стенда мощность, создаваемая в цепи ротора, увеличивается с ростом скорости вращения и нагрузочного момента асинхронной машины, работающей в генераторном режиме. Причем при увеличении нагрузочного момента для стенда с жидкостным реостатом мощность возрастает по квадратичной зависимости, а для стенда на основе АВК мощность возрастает линейно. Натурные испытания энергосберегающей электромеханической системы регулирования нагрузочного момента на основе АВК

## **356 Секция IV. Радиоэлектроника, автоматика, телекоммуникации, связь**

---

показали, что годовая экономия электроэнергии при ее использовании составляет 21 тыс. кВт · ч по сравнению с базовым вариантом испытательного стенда КИ-5274 с жидкостным регулятором добавочного сопротивления в цепи ротора.

### Л и т е р а т у р а

1. Тодарев, В. В. Энергосберегающие электромеханические стенды для испытания двигателей внутреннего сгорания и трансмиссий сельскохозяйственной техники / В. В. Тодарев, М. Н. Погуляев, И. В. Дорощенко // Вісн. Харьк. нац. техн. ун-ту сільського господарства ім. Петра Василенка. Техн. науки. – Випуск 101 : «Проблеми енергозабезпечення та енергосбереження в АПК України». – Харків : ХНТУСГ, 2010. – С. 90–91.
2. Захаренко, В. С. Особенности имитационного моделирования асинхронного двигателя для составления модели с учетом коммутации и при несимметричных схемах включения / В. С. Захаренко, И. В. Дорощенко // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – Гомель, 2011. – № 3. – С. 66–74.
3. Дорощенко, И. В. Математическая модель нагрузочной части испытательного стенда инвариантного к скорости вращения на основе асинхронно-вентильного каскада / И. В. Дорощенко, В. С. Захаренко, В. А. Савельев // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – Гомель, 2013. – № 3. – С. 63–72.