

УДК 62-83:621.313

**Клепиков Владимир Борисович**, д-р. техн. наук, проф., зав. кафедрой «Автоматизированные электромеханические системы»

**Банев Евгений Федорович**, канд. техн. наук

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина. Ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

#### МАЛОЗАТРАТНАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПО СИСТЕМЕ TRN-АД С ФАЗЗИ УПРАВЛЕНИЕМ ЭСКАЛАТОРНЫХ УСТАНОВОК МЕТРОПОЛИТЕНА

*В статье рассмотрены особенности работы эскалаторов метрополитена и возможный эффект энергосбережения при применении регулируемого электропривода, выполненного по системе TRN-АД с фаззи управлением.*

**Клепиков Володимир Борисович**, д-р. техн. наук, проф., зав. кафедрой «Автоматизовані електромеханічні системи»

**Банєв Євген Федорович**, канд. техн. наук

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна. Вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002

*У статті розглянуті особливості роботи ескалаторів метрополітену та можливий ефект енергозбереження при використанні регульованого електроприводу, виконаного по системі TRN-АД з фаззи керуванням.*

**Klepikov Vladimir Borisovich**, D-r. Eng. Sci, Prof., зав. кафедрой «Автоматизовані електромеханічні системи»

**Banev Yevgeniy Fedorovich**, Cand. Sci. (Eng)

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov, Ukraine. Frunze st., 21, Kharkov, Ukraine, 61002,

#### LITTLEEXPENSE MODERNIZATION OF ELECTROMECHANIC ON SYSTEM TRN-HELL WITH FAZZI BY MANAGEMENT OF ESCALATOR SETTINGS OF UNDERGROUND PASSAGE

*In the article the features of work of escalators of underground passage are considered and possible effect of energy-savings at application of the managed electromechanic, executed on the system TRN-HELL with a fazzi management.*

#### Постановка проблемы

Важнейшим элементом технологического процесса метрополитена являются эскалаторные установки, которые вместе с метропоездом составляет единую цепь транспортирования пассажиров под землей. Выход из строя эскалатора нарушает режим перевозки пассажиров, что сопровождается дополнительными материальными и иными издержками. Электропривод (ЭП) эскалатора потребляет примерно половину мощности присоединенной к шинам напряжением 380 В [1]. Поэтому повышение энергоэффективности и надежности эскалаторных установок представляется актуальной задачей.

#### Формирование целей статьи

**Целью** настоящей статьи является оценка энергоэффективности малозатратной модернизации эскалаторных установок по системе TRN-АД с фаззи управлением методом компьютерного моделирования.

#### Основная часть

Особенностью режима работы эскалатора является существенно переменная нагрузка ЭП в течении суточного цикла работы. В часы пик пассажиропоток максимальный и нагрузка ЭП эскалатора наибольшая, а при снижении количества пассажиров, например в вечернее время, нагрузка существенно снижается и эскалатор работает практически в холостую. При этом продолжительность часов пик не превышает 2–3 часов в сутки, что составляет 15–20 % всего времени работы эскалатора. При проведении исследований пассажиропотока и энергопотребления в харьковском метрополитене было установлено, что фактически средняя загруженность эскалаторных установок в часы пик не превышает 20–30 %, а для некоторых станций 10–15 % от теоретически возможной пропускной способности эскалатора [2]. При этом приводной двигатель по требованиям правил устройства и безопасной эксплуатации эскалаторных установок (ПУБЭЭ) выбирают по

максимальной эксплуатационной нагрузке  $q_m$  зависящей от ширины движения полотна [3]. В результате, ЭП эскалатора метрополитена большую часть времени работает со значительной недогрузкой, что сопровождается снижением КПД и  $\cos\varphi$ . При замерах потребляемой мощности приводными двигателями эскалаторных установок харьковского метрополитена в часы пик, к примеру, на одной из самых загруженных станций «Исторический музей» было установлено, что ЭП при работе на подъем пассажиров потребляет 27,6 кВт при номинальной мощности двигателя 125 кВт [2]. Это соответствует коэффициенту загрузки 0,22. При таких недогрузках ЭП КПД асинхронного двигателя (АД) может снижаться до 20–30 % [4]. Улучшить энергетические показатели недогруженного АД можно за счет снижения питающего напряжения, обеспечивающего уменьшение намагничивающего тока и соответственно потерь в меди и стали. Регулирование напряжения статора может быть обеспечено полупроводниковым преобразователем. В [5] показано, что с учетом специфики экономического состояния метрополитена в Украине в настоящий период для малозатраной модернизации эскалаторов метрополитена целесообразно использовать электропривод, построенный по системе тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель (ТРН-АД). Известно, что близкие к минимуму значения потерь могут быть обеспечены поддержанием скорости соответствующей оптимальному скольжению, а также минимизацией тока статора при заданной нагрузке [6, 7]. Для поддержания постоянства оптимального скольжения требуется система автоматического регулирования с датчиком скорости, в то время, как минимизация тока статора, обеспечивающая близкие к минимуму потери, не требует введения в ЭП вышеуказанного датчика. Достоинством вышеупомянутого способа регулирования, кроме снижения потерь в электродвигателе, является, также снижение их в силовых соединительных проводах, согласующих трансформаторах, силовой коммутационной аппаратуре и др.

Современная система управления ЭП эскалатора метрополитена кроме обеспечения минимизации потерь энергии и улучшения его КПД, должна обеспечивать плавность пусков и остановов с ограничением ускорения, реализацию рекуперативного торможения при работе эскалатора на спуск, обеспечивать защиту эскалаторной установки при аварийных режимах, иметь возможность дистанционного управления, выполнять функции мониторинга и самонастройки. В связи с этим в системе управления ЭП эскалатора метрополитена целесообразно использовать регулятор функционирующий на основе фаззи логики. Применение фаззи регулятора, реализуемого на современной микропроцессорной базе, позволит, кроме обеспечения энергоресурсосбережения, интегрировать систему управления ЭП эскалатора в существующие цифровые системы управления и контроля эскалаторных установок, например такие как «СКАД» [8].

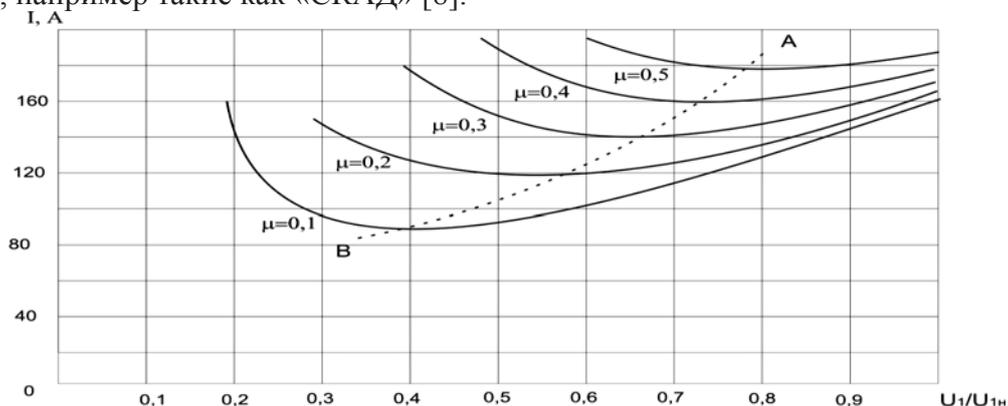


Рис. 1. Ток статора АД 4АНК-315-S8 при изменении напряжения для различных моментов сопротивления на валу

На рис.1. представлены зависимости тока статора АД установленного на эскалаторе, работающего на станции «Пушкинская» харьковского метрополитена, при изменении питающего напряжения для различных моментов сопротивления на валу, оцениваемого

параметром  $\mu$  Мс/Мн. Из данных зависимостей видно, что для различных значений нагрузки экстремумы-минимумы (линия АВ) определяются значениями тока и напряжения фазы статора АД, поэтому, поиск экстремумов требует сопоставления изменений тока  $\Delta I$  при изменениях напряжения  $\Delta U$  и последующей логической обработки с предыдущими изменениями этих величин.

Функциональная схема, представленная на рис. 2, позволяет снизить потери ЭП эскалатора в режимах работы с нагрузкой меньшей номинальной, путем минимизации тока статора АД, за счет регулирования питающего напряжения с помощью ТРН. Фаззи регулятор по сигналам, полученным с датчика тока (ДТ) и датчика напряжения (ДН), выдает сигнал изменения угла регулирования  $\Delta\alpha$  в зависимости от загрузки приводного двигателя эскалатора. Для обеспечения рекуперативных режимов работы при спуске пассажиров и остановке эскалатора в схему ТРН дополнительно вводятся две пары встречно-параллельно включенных тиристора VS7-VS10. Алгоритм работы фаззи регулятора описан в [9].

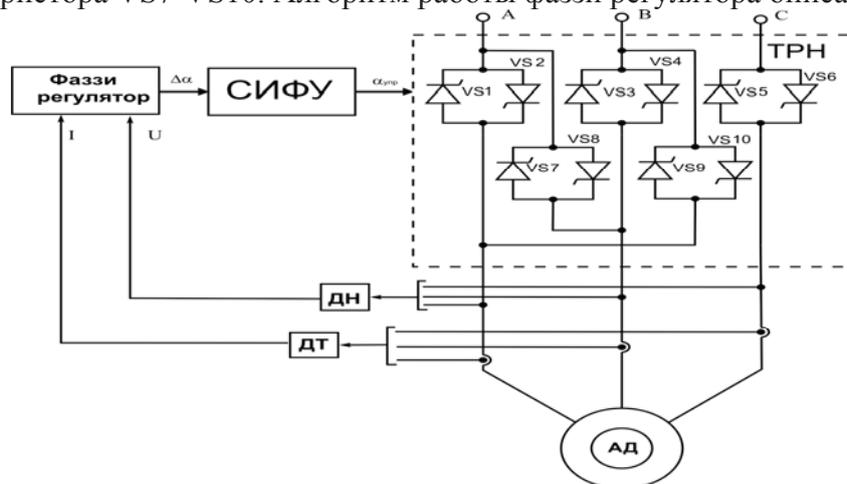


Рис. 2 Функциональная схема энергоресурсосберегающего ЭП системы ТРН-АД

Для оценки энергоэффективности работы ЭП, представленного на рис. 2, было выполнено компьютерное моделирование с помощью программы Matlab 6.5. В качестве приводного двигателя эскалатора моделировался АД 4АНК-315-М8, номинальной мощностью  $P_n = 105$  кВт и скоростью вращения  $n_n = 730$  об/мин. Результаты моделирования работы ЭП с фаззи-регулятором и без него представлены на рис. 3, 4. В начальный период времени показана загрузка (с 0 по 10 сек) и работа ЭП (с 10 по 30 сек) со значением момента сопротивления  $M_c = 0,4$  Мн.

Из рис. 4 видно, что ток статора, по сравнению с ЭП, работающим с номинальным напряжением, уменьшился на 10 % (с 160 А до 144 А). При этом произошло существенное уменьшение реактивной мощности с 32 кВАр до 13 кВАр (рис. 3). Начиная с 30 секунды моделировался постепенный сход людей с эскалатора линейно спадающим моментом сопротивления до  $M_c = 0,1$  Мн.

Процесс уменьшения нагрузки в нерегулируемом ЭП сопровождался несущественным снижением тока до 146 А при том, как в ЭП с фаззи регулятором ток статора уменьшился на 50 % до 72 А. В установившемся режиме при нагрузке  $M_c = 0,1$  Мн ток ЭП с фаззи регулятором более чем в 2 раза меньше тока нерегулируемого ЭП.

Реактивная мощность при уменьшении нагрузки с  $M_c = 0,4$  Мн до  $M_c = 0,1$  Мн в ЭП с фаззи управлением уменьшилась более чем в 3 раза до 3,5 кВАр. Начиная с 60 секунды моделировалось плавное увеличение нагрузки до  $M_c = 0,2$  Мн, что в реальных условиях соответствует постепенному заполнению эскалатора вышедшими на станции пассажирами. При работе эскалатора с 20% загрузкой, что соответствует нагрузке в «час пик» ток статора в 1,5 раза меньше тока потребляемого ЭП работающего без фаззи регулятора (101 А и 149 А). А реактивная мощность меньше в 4,5 раза (31 кВАр и 7 кВАр). Такое существенное уменьшение реактивной мощности позволяет значительно снизить мощность

компенсирующих устройств и соответственно сечение проводов, мощность автоматических выключателей и другой коммутирующей аппаратуры.

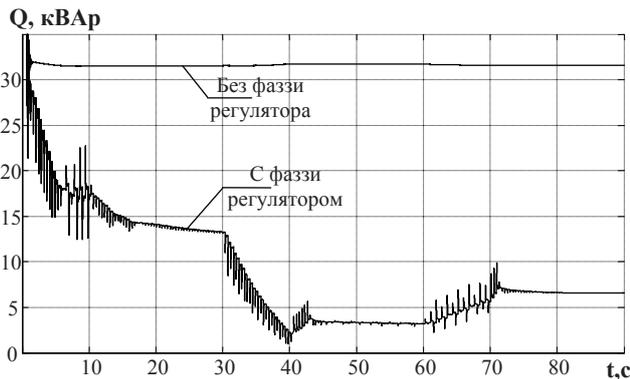


Рис. 3. Временные диаграммы реактивной мощности

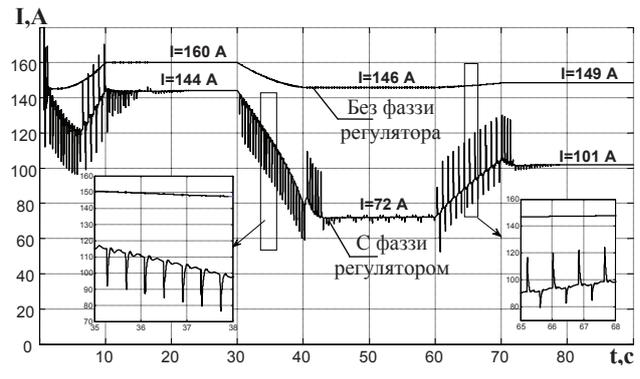


Рис. 4. Временные диаграммы тока

### Выводы

При малозатратной модернизации существующих ЭП эскалаторов предоставляется целесообразным использование системы ТРН-АД с фаззи управлением. Такая модернизация дает возможность снизить потребление электроэнергии, уменьшить мощность компенсирующих устройств, исключить электрические и механические ударные нагрузки, повысить надежность и срок службы оборудования. Кроме этого применение фаззи регулирования, реализуемого на современных микропроцессорных устройствах позволяет обеспечить диагностику оборудования и интегрировать систему управления ЭП эскалатора в существующие цифровые системы управления и контроля, как эскалаторных установок, так и движением метропоездов.

### Список использованной литературы:

1. Соколов М. М. Электрооборудование общепромышленных механизмов. Учебник для студентов высш. техн. учебн. заведений. – 3-е изд., перераб и доп. – М.: «Энергия», 1976 – 488 с., ил.
2. Энергетический аудит на ГП «Харьковский метрополитен». Отчет по третьему этапу работ. Инв. № 99-УЭ-3.
3. Правила устройства и безопасной эксплуатации эскалаторов ПБ 10-77-94.
4. Вольдек А. И. Электрические машины. Учебник для студентов высш. техн. учебн. заведений. – 3-е изд., перераб. – Л.: Энергия, 1978 – 832 с., ил.
5. Клепиков В. Б., Колотило В. И., Банев Е.Ф., Филиппович В. П. «К выбору типа энергоресурсосберегающего электропривода эскалатора метрополитена». Вестник НТУ «ХПИ», 2008 г. – С. 486–488.
6. Андриященко А. О., А. А. Бойко, О. Б. Бабійчук «Особенности режимов минимизации потерь в асинхронных двигателях». // Электромашинобудування та електрообладнання: Респ. міжвід. наук.-техн. зб. – 2004. Вип. 62. – С. 12
7. Энергосберегающий асинхронный электропривод. Учеб. пособие для студ. высш. учеб. Заведений /И. Я. Браславский, З. Ш.Ишматов, В. Н. Поляков; под ред. И.Я . Браславского. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с.
8. Устройство управления эскалатором SCAD УЭ. Руководство по эксплуатации 2041.00.00.00РЭ. г. Харьков, 2002 г.
9. Банев Е. Ф. Моделирование энергосберегающего электропривода эскалатора метрополитена с фаззи управлением / Е. Ф.Банев // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Кременчук: КрНУ. – 2012, вип. 3/(19). – С. 533–536.

### Referenses:

1. Sokolov M. M. (1976), Electrical equipment of general purpose industrial machinery. Textbook for technical college and university students. 3rd ed. Rev. and enl. [Elektrooborudovanie obshchepromyshlennykh mekhanizmov. Uchebnik dlya studentov vyssh. techn. uchebn. zavedeniy. 3-e izd. pererab. i dop.], Energiya, Moscow, 488 p.
2. Energy audit at SE "Kharkiv Subways". Report of the third stage of works. Inv. No. 99-UE-3 [Energeticheskiy audit na GP "Kharkovskiy metropoliten". Otchet po tretemy etapu rabot. Inv. No. 99- UE-3].
3. The rules for installation and safe operation of PB 10-77-94 escalators [Pravila ustroystva i bezopasnoy ekspluatatsii eskalatotov PB 10-77-94]

4. Voldek A.I. (1978), Electrical machinery. Textbook for technical college and university students. 3rd ed. Rev. [Elektricheskie mashiny. Uchebnik dlya studentov vyssh. techn. uchebn. zavedeniy. 3-e izd. pererab.], Energiya, Leningrad, 832 p.

5. Klepikov V.B., Kolotilo, V.I., Banev, E.F., Filippovich, V.P. (2008), "Regarding the choice of the type of energy and resources saving electric drive of the subway escalator" ["K vyboru energoresurso-sberegayushchego elektroprivoda eskalatora metropolitena"], Bulletin of NTU "KhPI", P. 486–488

6. Andryushchenko A. O., Boyko A. A., Babiichuk O. B. (2004), "The specifics of the loss minimization modes in asynchronous motors" ["Osobennosti rezhimov minimizatsii poter v asinkhronnykh dvigatelyakh"], Elektromashynobuduvannia ta elektroobladnannia. Resp. mizhvid. nuak. techn. zb., Issue 62, P. 12

7. Braslavskiy I.Ya. (ed.), Inshmatov, Z.Sh., Polyakov, V.N. (2004), Energy-saving asynchronous drive. Textbook for college and university students [Energoberegayushchyy asinkhronnyy elktroprivod. Uchebnoe posobie dlya studentov vyssh. uchebn. zavedeniy], Publishing Center "Akademiya", Moscow, 256 p.

8. (2002), SCAD UE escalator control device. Operation manual 2041.00.00.00RE [Ustroystvo upravleniya eskalatorom SCAD UE. Rukovodstvo po ekspluatatsii 2041.00.00.00RE], Kharkiv

9. Banev E. F. (2012), "Modeling of energy-saving electric drive with fuzzy controlled escalator" ["Modelirovanie energosberegayushchego elektroprivoda eskalatora metropolitena s fazzi upravleniem"], Elektromekhanichni i energosberigaiuchi systemy, KrNU, Kremehchuk, Issue 3/(19), P. 533–536.

Поступила в редакцию 27.04 2015 г.