

**Міністерство освіти і науки України
Національна академія наук України
Національний технічний університет
"Дніпровська політехніка"
Вроцлавський технічний університет
Ройтлінгенський технічний університет
Регіональний контактний пункт HORIZON 2020
"Безпечна, чиста та ефективна енергетика"**

**МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ – 2018**

МЕТА КОНФЕРЕНЦІЇ

Обговорення проблем енергозбереження та енергоефективності, а також актуальних питань, що виникають при розробці та експлуатації електрообладнання, економічних та екологічних аспектів електроенергетики, нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії

ТЕЗИ

15 – 16 листопада 2018 року

Дніпро

НТУ "ДП"

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова оргкомітету - Півняк Геннадій Григорович
академік НАН України, професор, ректор НТУ "ДП"

Заступник голови:

Бешта Олександр Степанович
д.т.н., професор, проректор з наукової роботи.

Відповідальний секретар:

Ципленков Дмитро Володимирович
к.т.н., доцент кафедри відновлюваних джерел енергії

ЧЛЕНИ ОРГАНІЗАЦІЙНОГО КОМІТЕТУ

Алексєєв Михайло Олександрович, д.т.н., професор, НТУ "ДП"
Випанасенко Станіслав Іванович – д.т.н., професор
Дичковський Роман Омелянович – д.т.н., професор
Іванов Олексій Борисович – к.т.н., професор
Казачковський Микола Миколаєвич – к.т.н., професор
Корнієнко Валерій Іванович – д.т.н., професор
Корсун Валерій Іванович – д.т.н., професор
Нойберген Николаус – д-р інженер, професор, РТУ, Німеччина
Плаксін Сергій Вікторович – д.фіз-мат.н., професор
Ребизант Вальдемар – д.т.н., професор, ВТУ, Польща
Слесарєв Володимир Вікторович – д.т.н., професор
Ткачев Віктор Васильович – д.т.н., професор
Удовик Ірина Михалівна – к.т.н., доцент
Шкрабець Федір Павлович – д.т.н., професор

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦІЇ

- 1. Енергозбереження та енергоменеджмент**
- 2. Експлуатація електрообладнання**
- 3. Технології безпечного використання електроенергії**
- 4. Сучасні технології виробництва, розподілення та використання електроенергії**
- 5. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії**
- 6. Моделювання в енергетиці**
- 7. Автоматизація виробничих процесів**
- 8. Економічні та екологічні аспекти електроенергетики**
- 9. Горизонт 2020 – програми європейської співпраці**

Цыпленков Д.В., к.т.н., доцент, Суворкин А.А., аспирант
(Украина, Днепр, Национальный горный университет)

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИНТЕГРАЦИИ РГ В ОБЩУЮ ЭНЕРГОСИСТЕМУ

Проблемы развития современного производства связаны со спросом на электроэнергию, который опережает прирост генерирующих мощностей. Электроэнергетика в 20-м веке развивалась главным образом путем повышения уровня централизации электроснабжения при создании все более мощных электроэнергетических объектов. Следствием этого явилось формирование территориально распределенных протяженных электроэнергетических систем, что позволило достичь существенного экономического эффекта, повысить надежность электроснабжения и качество электроэнергии.

В прошлом веке технологии традиционных паротурбинных агрегатов тепловых и атомных электростанций развивались по пути использования все более высоких параметров пара, это требовало применения более совершенных материалов котлов и турбин, при этом имела место тенденция увеличения единичной мощности установок. Все отмеченное позволяло улучшать технико-экономические параметры установок - удельные капиталовложения и постоянные текущие издержки на единицу мощности и удельные расходы топлива на единицу вырабатываемой электроэнергии. Указанная тенденция укрупнения агрегатов наблюдалась и в гидроэнергетике, хотя и в меньшей мере.

В связи с этим как одно из важных средств решения энергетического обеспечения в мировой практике рассматривают распределенную генерацию. Под распределенной генерацией понимается совокупность модульных генерирующих объектов малой мощности, производящих электроэнергию в непосредственной близости к месту потребления. При этом параметр «близости» к месту потребления оценивается по классу напряжения распределительной сети, к которой подключается генерирующий объект.

Кроме электростанций небольшой мощности в концепции РГ немаловажная роль отводится возобновляемым источникам энергии (ВИЭ) - это источники преобразования солнечной энергии, энергии ветра и водных потоков, а также органических отходов, связанных с жизнедеятельностью человека - промышленные, сельскохозяйственные, бытовые отходы [2].

В последнее время остро стоит вопрос энергетической безопасности, при которой потребитель имеет надежный доступ к необходимой ему энергии, а поставщик - к её потребителям при стабильных и приемлемых ценах [3].

В настоящее время развитие технологий применения источников возобновляемой энергетики приводит к тому что в вопросах обеспечения стабильного электроснабжения источники малой мощности будут играть существенную роль. Украина в этом процессе занимает активную позицию. Учитывая климатические факторы нашей страны, ее географическое расположение потенциал возобновляемой энергетики в стране достаточно высок [4]. Согласно данным Института возобновляемой энергетики НАН Украины технически-достижимый потенциал составляет не менее 548 млрд кВт·ч/год, из них в электрогенерации - до 270 млрд кВт·ч/год (ветроэнергетика - до 60 млрд кВт·ч/год, солнечная электроэнергетика - 5,7 млрд кВт·ч/год, большая гидроэнергетика - 20,1 млрд кВт·ч/год, малая гидроэнергетика - 8,6 млрд кВт·ч/год, биоэнергетика - 27 млрд кВт·ч/год, энергия окружающей среды - до 146 млрд кВт·ч/год).

Введение в эксплуатацию в последние 5 лет в области ветроэнергетики и солнечной энергетики, и в меньшей степени малой гидроэнергетики [4, 5, 6], все более большого количество объектов возобновляемой энергетики приводит к постановке задачи создания сетей с распределенной генерацией и регулирование потоков мощности в таких сетях. Выходная мощность возобновляемых источников энергии также должна управляться независимо от локальной загрузки области. В таком случае системы с равномерно распределенной генерацией могут негативно

повлиять на функции управления напряжением сети, увеличивая колебания между максимальным и минимальным уровнями напряжения по сравнению с необходимым значением.

Из-за внедрения систем с распределенной генерацией на основе возобновляемых источников энергии появляются проблемы с контролем и обеспечением стабильности энергосети и качества напряжения. Отсюда возникает необходимость автоматизации таких систем.

Следовательно с увеличением количества и мощности источников систем с распределенной генерацией возникают различные технические, эксплуатационные и экономические проблемы в интеграции распределенных систем в существующие энергетические системы.

Литература

1. Энергетика XXI века: Условия развития, технологии, прогнозы / Л.С.Беляев, А.В. Лагерев, В.В. Посекалин; Отв. ред. Н.И.Воропай. Новосибирск: Наука, 2004, 386 с.
2. Каргиев М.В. Распределенная генерация энергии с использованием возобновляемых источников энергии // Energy Fresh. - 2010 - № 1. - С. 42-45.
3. Атлас енергетичного потенціалу нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні. — К., 2005. — 36 с
4. Альтернативная энергетика в Украине: монография / Г.Г. Пивняк, Ф. П. Шкрабец: Д.: НГУ, 2013. – 109 с.
5. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Пивняк, Ф. Шкрабець, Н. Нойбергер, Д. Ципленков ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 335 с.
6. Ветроэнергетика. Информационно-аналитический обзор по альтернативной энергетике: монография / С.В. Тарасов, Ф.П. Шкрабец, В.А. Задонцев, С.В. Отчич; под общ. ред. В.А. Дзензерского и Г.Г. Пивняка; М-во образования и науки Украины, Нац. горн. ун-т. – Д.: НГУ, 2014. – 156 с.

В.І. Самуся, завідувач кафедри, д-р техн. наук, Ю.І. Оксень, доцент, канд. техн. наук
(НТУ «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна)

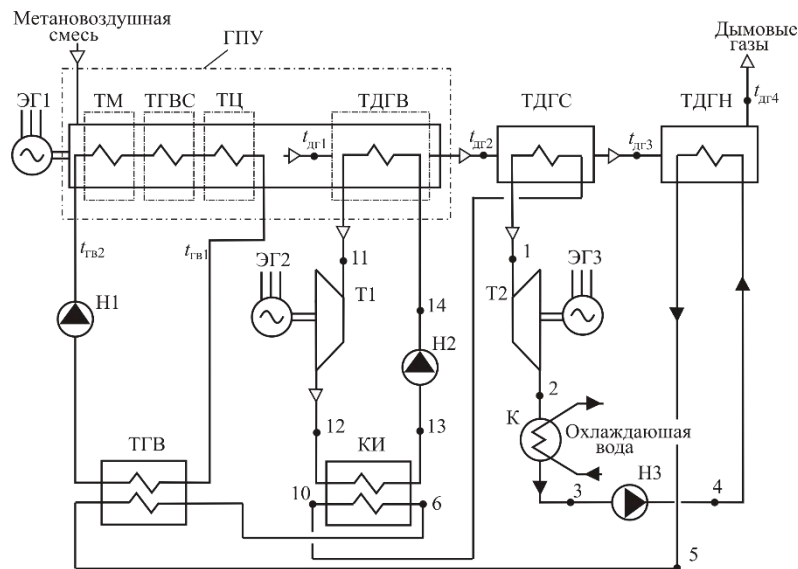
І.Л. Дякун, ст. наук. співробітник, канд. техн. наук
(Інститут геотехнічної механіки НАН України, Дніпро, Україна)

УТИЛИЗАЦІЯ ВТОРИЧНОГО ТЕПЛА ГАЗОПОРШНЕВЫХ УСТАНОВОК ПУТЕМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЕГО В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ

Наиболее энергоэффективным и экологически чистым способом утилизации метана, добываемого шахтными дегазационными системами, является сжигание его в газопоршневых установках (ГПУ). Типовая схема ГПУ предполагает их работу по когенерационной технологии с выработкой электрической энергии и вторичного тепла (от системы охлаждения двигателя и уходящих дымовых газов) для теплоснабжения. Однако на практике использование выработываемой тепловой энергии в ряде случаев затруднено, и вторичное тепло отводится в окружающую среду. В таких случаях повысить энергетическую эффективность ГПУ можно за счет преобразования вторичного тепла в электрическую энергию с помощью теплосиловых установок (ТСУ), работающих на низкокипящих рабочих телах (НРТ).

Целью настоящего исследования являлась разработка и оценка эффективности схемных решений ТСУ, преобразующих вторичное тепло ГПУ, сжигающих шахтный метан, в электрическую энергию.

Рассматривались схемы утилизации вторичного тепла ГПУ с помощью одно- и двухконтурных ТСУ. На рис. 1 приведена схема ГПУ с двухконтурной ТСУ.



ГПУ – газопоршневая установка; ТМ – теплообменник масла; ТГВС – теплообменник газовой смеси; ТЦ – теплообменник цилиндров; ТДГВ, ТДГС и ТДГН – теплообменники дымовых газов: высоко-, средне- и низкотемпературный; ТГВ – теплообменник горячей воды; КИ – конденсатор-испаритель; К – конденсатор; Т1, Т2 – турбины; Н1, Н2, Н3 – насосы; ЭГ1, ЭГ2, ЭГ3 – электрогенераторы;

Рисунок 1 – Схема ГПУ с двухконтурной теплоутилизационной ТСУ

На рисунке $t_{дг1}$, $t_{дг2}$, $t_{дг3}$, $t_{дг4}$ – температура дымовых газов на входе и выходе теплообменников ТДГВ, ТДГС и ТДГН; $t_{гв1}$ и $t_{гв2}$ – температура горячей воды – воды системы охлаждения ГПУ.

В высокотемпературном контуре 11-12-13-14-11 парогенератором является теплообменник ТДГВ. В связи с тем, что температура дымовых газов на входе в этот теплообменник довольно высока (420°C), в качестве рабочего тела данного контура применяем водяной пар. Теплота конденсации отработавшего в турбине Т1 пара передается в низкотемпературный контур. В низкотемпературном контуре 1-2-3-4-5-6-10-1 рационально применить такое НРТ, которое конденсировалось бы при небольших избыточных давлениях и обеспечивало бы в данных температурных условиях высокую эффективность преобразования теплоты в работу, например, бутан или бутан-пентановую смесь. В этом контуре подогрев рабочего тела до состояния кипения и преобразование его в пар осуществляется последовательно, с учетом температурного режима греющих сред, в теплообменниках ТДГН, ТГВ, КИ и ТДГС. Отвод теплоты конденсации отработавшего в турбине Т2 пара осуществляется в конденсаторе К.

Цикл Ренкина для высоко- и низкотемпературного контуров с учетом особенностей фазовых диаграмм состояния рабочих веществ этих контуров изображен в T,s -координатах (T – температура, s – энтропия) на рис. 2.

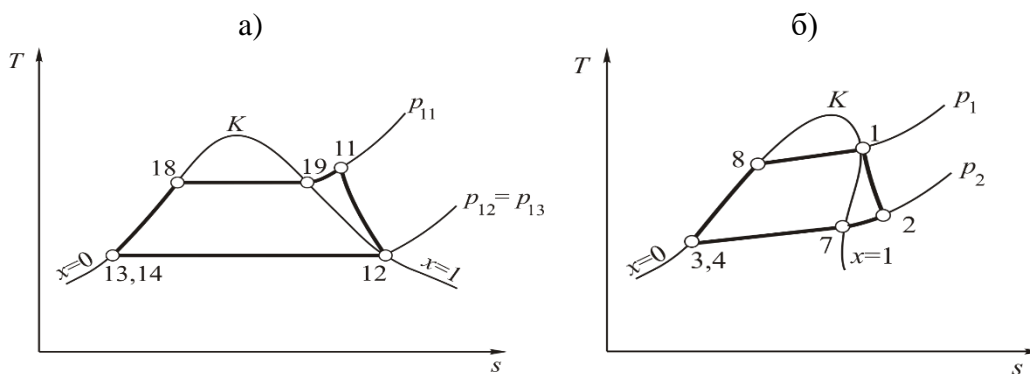


Рисунок 2 – Термодинамические циклы изменения состояния рабочих веществ в высокотемпературном (а) и низкотемпературном (б) контурах

Математическое моделирование тепловых режимов теплоутилизационной установки выполнено для когенерационной ГПУ JMS 620 «Jenbacher», которая в номинальном режиме вырабатывает 3030 кВт электрической энергии и 2920 кВт теплоты. Исходные данные для моделирования: температуры $t_{дг1} = 420^{\circ}\text{C}$, $t_{гв1} = 88,6^{\circ}\text{C}$, $t_{гв2} = 70^{\circ}\text{C}$, расход дымовых газов $4,872 \text{ кг/с}$, тепловая мощность теплообменника ТГВ 1358 кВт.

Результаты моделирования показали следующее.

Наиболее эффективной из исследованных является описанная выше двухконтурная ТСУ с водяным паром в высокотемпературном контуре и бутан-пентановой смесью (85% бутана по массе) в низкотемпературном контуре. При минимальных температурных напорах в теплообменниках дымовых газов 15°C , теплообменнике горячей воды и конденсаторе-испарителе 5°C она позволяет дополнительно выработать 480 кВт электрической энергии, что на 75 – 80% больше, чем одноконтурные ТСУ, увеличить общую вырабатываемую мощность ГПУ с 3030 до 3510 кВт и ее КПД с 42,9 до 49,7%.

Казачковский Н.Н., к.т.н., профессор

(Украина, Днепр, Национальный горный университет)

СОПОСТАВЛЕНИЕ ЗАКОНОВ ЧАСТОТНОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ALTIVAR 21

Преобразователи частоты (ПЧ) находят все большее применение в современном электроприводе. Наибольшую эффективность они обеспечивают при регулировании скорости асинхронных двигателей турбомеханизмов (вентиляторов, насосов, дымососов, воздуходувок и т.п.). Компания «Шнейдер Электрик» выпускает серию ПЧ Altivar 21, специально предназначенную для подобных механизмов (для использования в жилищном и коммерческом секторе, диапазон мощностей 0,75...75 кВт). Преобразователи имеют набор законов частотного управления, обеспечивающих их адаптацию к конкретным условиям применения. Задачей данной статьи является экспериментальное сопоставление законов управления ПЧ (в первую очередь в части энергопотребления).

Экспериментальная лабораторная установка состояла из испытуемого ПЧ (ATV21) с асинхронным двигателем АИР71А6У2 (0,37 кВт, 220/380 В, 2,3/1,3 А, 916 об/мин) и нагрузочного агрегата. В состав последнего входил двигатель, аналогичный испытуемому и сочлененный с ним валами, а также ПЧ Altivar 71 (0,75 кВт, 380 В). Преобразователь Altivar 71 служил для плавного изменения нагрузки на валу испытуемого двигателя и использовался в двух режимах: регулирования момента (для обеспечения достаточно больших нагрузок) и регулирования скорости (для задания нагрузок, близких к холостому ходу). Исследования проводились в двигательном режиме испытуемого двигателя, для чего нагрузочный агрегат переводился в рекуперативный режим. Для сброса рекуперированной энергии служил тормозной резистор, включенный в звено постоянного тока ПЧ Altivar 71. Частота вращения агрегата задавалась с терминала испытуемого ПЧ, уровень нагрузки – с аналогового входа нагрузочного ПЧ.

Исследовались следующие законы частотного управления:

- закон $U/f = const$ ($P_t=0$);
- закон $U/f = var$ ($P_t=1$, для турбомеханизмов);
- IR -компенсация ($P_t=2$, степень компенсации $F402=100\%$);
- бездатчиковое векторное управление ($P_t=3$);
- закон минимального тока (т.н. «энергосберегающий» закон, $P_t=4$).

При проведении экспериментов оценивались значения следующих переменных:

- выходной ток и напряжение испытуемого ПЧ (действующие значения);
- его выходная частота;
- частота вращения двигателей;
- момент испытуемого двигателя;
- активная мощность, потребляемая преобразователем.

В качестве базовой (номинальной) частоты для испытуемого ПЧ была установлена частота $\nu L=50$ Гц, в качестве максимальной – $FH=60$ Гц. Номинальное выходное напряжение $\nu L\nu=380$ В. В диапазоне частот 0...50 Гц (первая зона) регулирование осуществлялось с постоянным магнитным потоком, в диапазоне 50...60 Гц (вторая зона) выходное напряжение равнялось номинальному и производилось ослабление поля. Частота модуляции $F401=8$ кГц.

Основные свойства законов управления отображают вольт-частотные и механические характеристики.

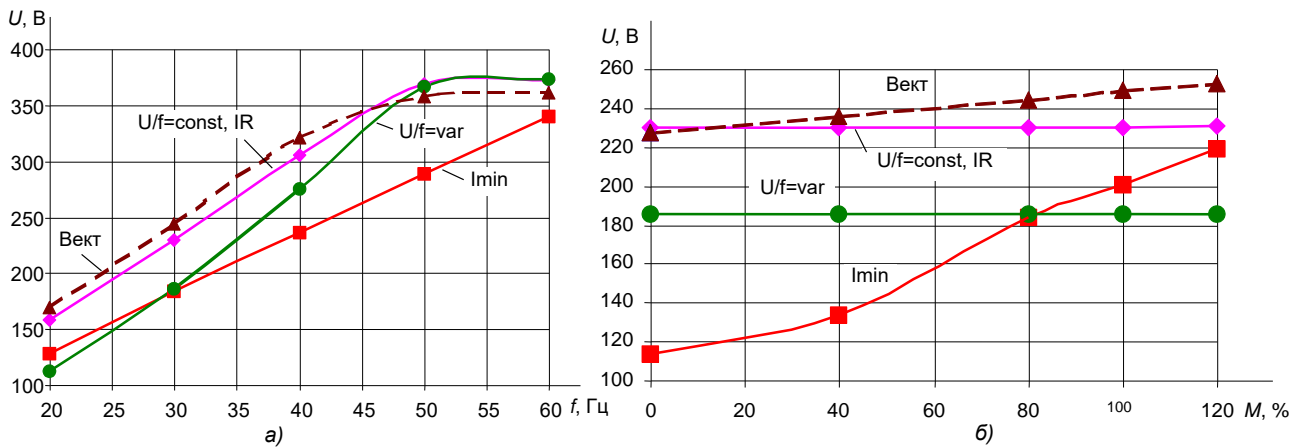


Рис. 1 Выходное напряжение как функция:
 а) частоты ($M=80\%$); б) момента ($f=30$ Гц)

Вольт-частотные характеристики (ВЧХ) законов $U/f = const$ и IR -компенсации практически совпадают (рис. 1а). Подобна им и характеристика для векторного управления. ВЧХ закона управления для турбомеханизмов в первой зоне является крутопадающей и криволинейной, а во второй совпадает с первыми двумя. ВЧХ для закона минимального тока гораздо своеобразнее. Она близка к линейной во всем диапазоне частот и расположена заметно ниже остальных.

Только для двух законов (векторного и минимального тока) изменение момента нагрузки заметно влияет на вид ВЧХ. Известно, что при векторном управлении обратная связь по скорости увеличивает выходное напряжение при росте нагрузки (рис. 1б). Поэтому, чем больше момент, тем выше соответствующая ВЧХ. Для закона минимального тока характерна еще большая связь между нагрузкой и уровнем напряжения (рис. 1б).

Жесткость механических характеристик (рис. 2) для законов IR -компенсации, $U/f = const$ и $U/f = var$ практически одинакова (лишь у последнего на низких частотах наблюдается некоторое смягчение). Наибольшая жесткость во всем диапазоне частот, естественно, присуща векторному управлению благодаря влиянию обратной связи. Механические характеристики при использовании энергосберегающего закона имеют переменную жесткость: малую при моментах до 40% и намного большую (почти как при векторном управлении) в остальном диапазоне нагрузок. Этот факт можно объяснить резким, почти пропорциональным увеличением магнитного потока при росте нагрузки, которое иллюстрируется рис. 3, где показана зависимость отношения U/f от момента (как известно, это отношение пропорционально потоку статора).

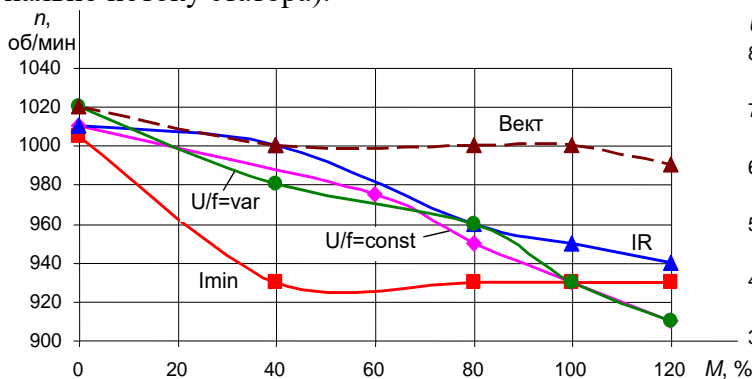


Рис. 2 Механические характеристики ($f=50$ Гц)

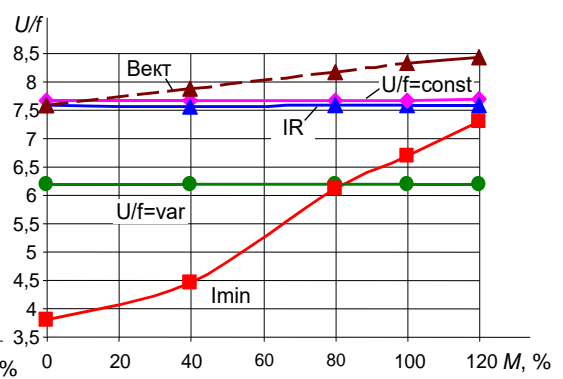


Рис. 3 U/f как функция момента ($f=30$ Гц)

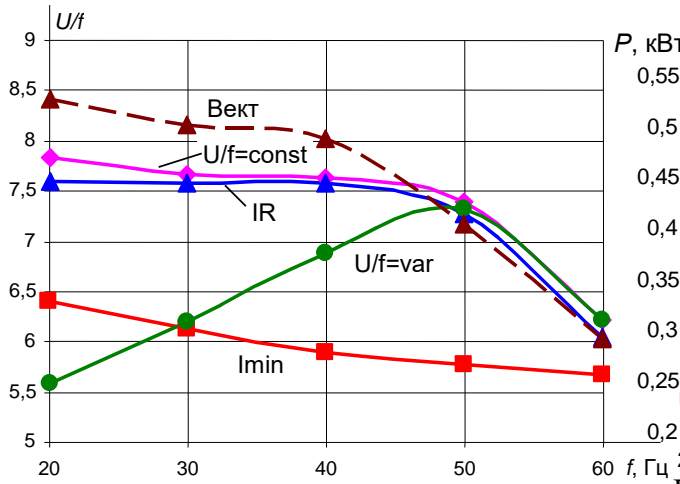


Рис. 4 Зависимость U/f от выходной частоты ($M=80\%$)

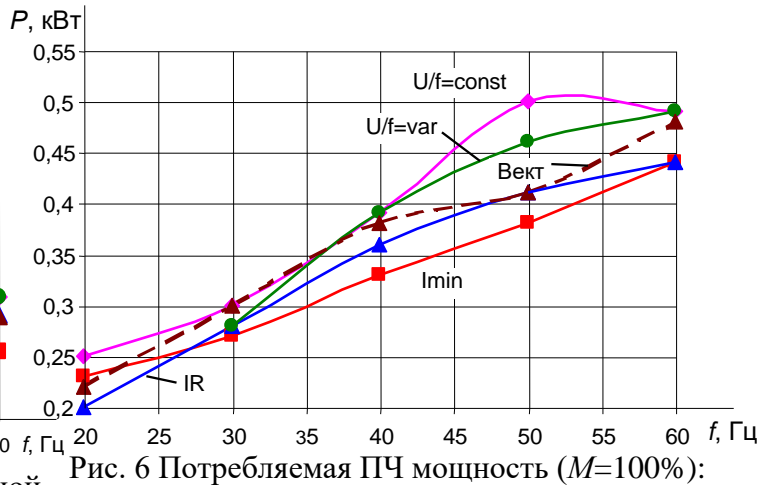


Рис. 6 Потребляемая ПЧ мощность ($M=100\%$):

В первой зоне со снижением частоты магнитный поток (рис. 4) для законов $U/f = const$ и IR -компенсации остается практически неизменным, а для закона $U/f = var$ снижается (последнее обусловлено более быстрым снижением напряжения, см. рис. 1а). На малых частотах растет роль активного сопротивления статора по сравнению с индуктивными сопротивлениями и падает жесткость механических характеристик машины. Поэтому векторный закон обеспечивает заданную жесткость благодаря увеличению напряжения и потока. Для закона минимального тока характерен монотонный рост потока со снижением частоты (об этом свидетельствует и меньший наклон его ВЧХ на рис. 1а).

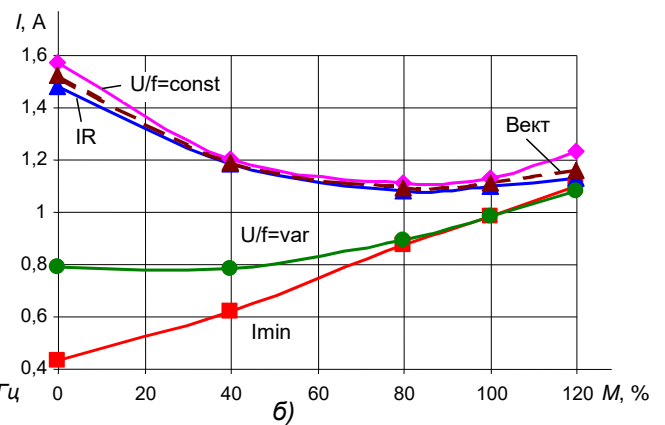
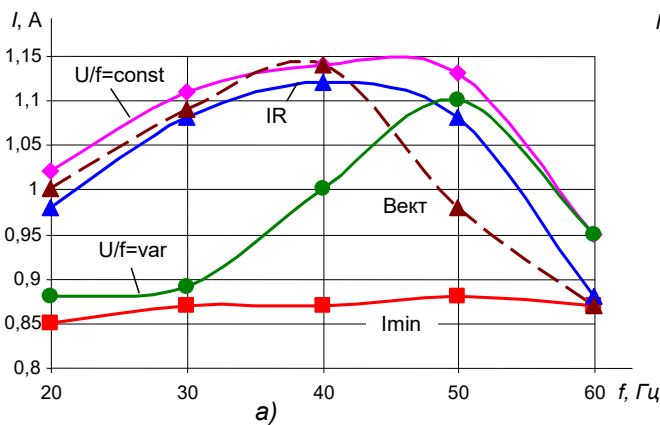


Рис. 5 Выходной ток ПЧ как функция:
а) выходной частоты ($M=80\%$); б) момента ($f=30$ Гц)

Выходной ток ПЧ для энергосберегающего закона практически не зависит от выходной частоты (рис. 5а) и наименьший в сравнении с другими законами практически во всем диапазоне нагрузок и частот (только при больших моментах и малых частотах закон $U/f = var$ может иметь меньшую величину тока). Для всех остальных законов характерно наличие максимума зависимости $I(f)$ при частотах вблизи номинальной. В зависимости же тока от нагрузки (рис. 5б) наблюдается минимум при моментах, меньших номинального (абсцисса этого минимума смещается вправо при уменьшении частоты). По величине тока статора эти законы практически равноценны (отличие не более 15% номинального тока, причем наибольший ток присущ, как правило, закону $U/f = const$).

Наибольшую активную мощность потребляет ПЧ, управляемый по закону $U/f = const$, и лишь при малых нагрузках худшим в этом смысле может быть закон $U/f = var$.

Наименьшее потребление характерно для IR -компенсации и закона минимального тока (рис. 6). Последний безусловно лучший на всех частотах при нагрузках, близких к номинальной, а при снижении нагрузки – лишь больших частотах. Снижение энергопотребления обусловлено уменьшением потерь в двигателе (потери в стали пропорциональны квадрату напряжения, в обмотке статора – квадрату тока).

Выводы

1. При использовании закона минимального тока степень снижения напряжения на выходе ПЧ по сравнению с другими законами достигает 43% и тока – 24%. Это обеспечивает снижение нагрева двигателя и ПЧ.

2. При нагрузках, близких к номинальной, наибольшая экономия электроэнергии присуща закону минимального тока (при номинальной частоте от 10 до 24%).

3. К области применения закона минимального тока следует отнести механизмы с неглубоким регулированием скорости (порядка 1:2) при постоянной и переменной нагрузке. Практически во всем диапазоне частот данный закон в энергетическом смысле эффективнее традиционно применяемого для турбомеханизмов закона $U/f = var$.

Левченко Р. Ю., инженер 2 кат.

(Институт транспортных систем и технологий Национальной академии наук Украины,
г. Днепр, Украина)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОТБОРА ЭНЕРГИИ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ ДЛЯ ЗАРЯДКИ НАКОПИТЕЛЯ ПРИ НИЗКИХ УРОВНЯХ ОСВЕЩЕННОСТИ

Вследствие присущей фотоэлектрическим установкам (ФЭУ) нестабильности генерируемой энергии, вызванной совокупностью факторов, возникает необходимость в накоплении энергии для энергоснабжения потребителей в периоды низкой интенсивности солнечного излучения, когда выработка электроэнергии ФЭУ снижается ниже допустимого уровня. В свою очередь накопители энергии, в качестве которых в большинстве случаев используются химические источники тока, нуждаются в пополнении энергии по мере ее использования потребителем. Современные фотоэлектрические установки способны функционировать при суммарной интенсивности освещенности от 10 Вт/м^2 , в то время как зарядка накопителей традиционными методами возможна при интенсивности солнечного излучения от 100 Вт/м^2 . Авторами [1] предложен метод эффективного использования энергии солнечной батареей для зарядки накопителя при низких уровнях освещенности, суть которого состоит в применении промежуточных пассивных накопителей на основе суперконденсаторов. Рациональное использование энергии солнечной батареи в широком диапазоне освещенности, включая неблагоприятные условия ее функционирования, является актуальной задачей на современном этапе развития солнечной энергетики.

Цель работы – эффективное использование энергии солнечной батареи для зарядки накопителя при низких уровнях освещенности.

В основу имитационной модели положен метод зарядки накопителей в составе ФЭУ [1], в котором для более эффективного отбора энергии от солнечной батареи при низких уровнях освещенности в качестве нагрузки солнечной батареи используется блок низковольтных суперконденсаторов, коммутируемых по определенному алгоритму в зависимости от уровня освещенности солнечной батареи и величины ее внутреннего сопротивления. Моделирование процесса отбора энергии по указанному методу заключается в последовательном выполнении операций, краткое изложение которых приводится в работе [2]. Функционально-структурная схема устройства для реализации метода представлена на рис 1, а. Для отбора энергии от солнечной батареи каждый суперконденсатор блока C_C соединяют с каждым элементом солнечной батареи (СБ), накапливают энергию каждого элемента солнечной батареи в каждом суперконденсаторе емкостью C_C путем зарядки током I_{3C} в течение времени t_{3C} до получения уровня напряжения $U_{C_C} = \frac{I_{3C}}{C_C} \cdot t_{3C}$, подключают коммутатором К1 все суперконденсаторы всех элементов солнечной батареи последовательно, получают необходимый для зарядки батареи аккумуляторов (АБ) уровень напряжения $\sum U_{C_C} > U_{AB}$. Перемещают накопленную в суперконденсаторах электрическую энергию в накопительный конденсатор C_H путем подключения последовательно соединенных суперконденсаторов каждого элемента солнечной батареи, при этом отбор энергии от солнечной батареи и передача ее в накопительный конденсатор осуществляется пока накопленная энергия достигнет уровня $W_C = \frac{1}{2} C_H \cdot U_{C_H}^2$ в конденсаторе емкостью C_H . После того, как уровень напряжения на конденсаторе удовлетворяет условию $U_{C_H} > U_{AB}$, ключ К2 размыкается и замыкается ключ К3, энергия $W_3 = I_3^2 R_{AB} t_3$ передается импульсами тока амплитудой $I_3 = \frac{U_{C_H}}{R_{AB}}$ и продолжительностью $t_3 = R_{AB} C_H \ln \frac{U_{C_H}}{U_{AB}}$ до получения необходимой степени заряженности АБ с сопротивлением R_{AB} . По достижении аккумуляторной батареей полной зарядки по сигналу системы контроля и управления ключ К3 размыкается, замыкается ключ К4 и заряженная аккумуляторная батарея подключается к нагрузке $R_{НП}$.

Имитационная модель процесса отбора энергии от солнечной батареи, которая выполнена с помощью программного продукта Matlab/Simulink с использованием компонентов библиотеки Simscare, изображена на рис. 1, б.

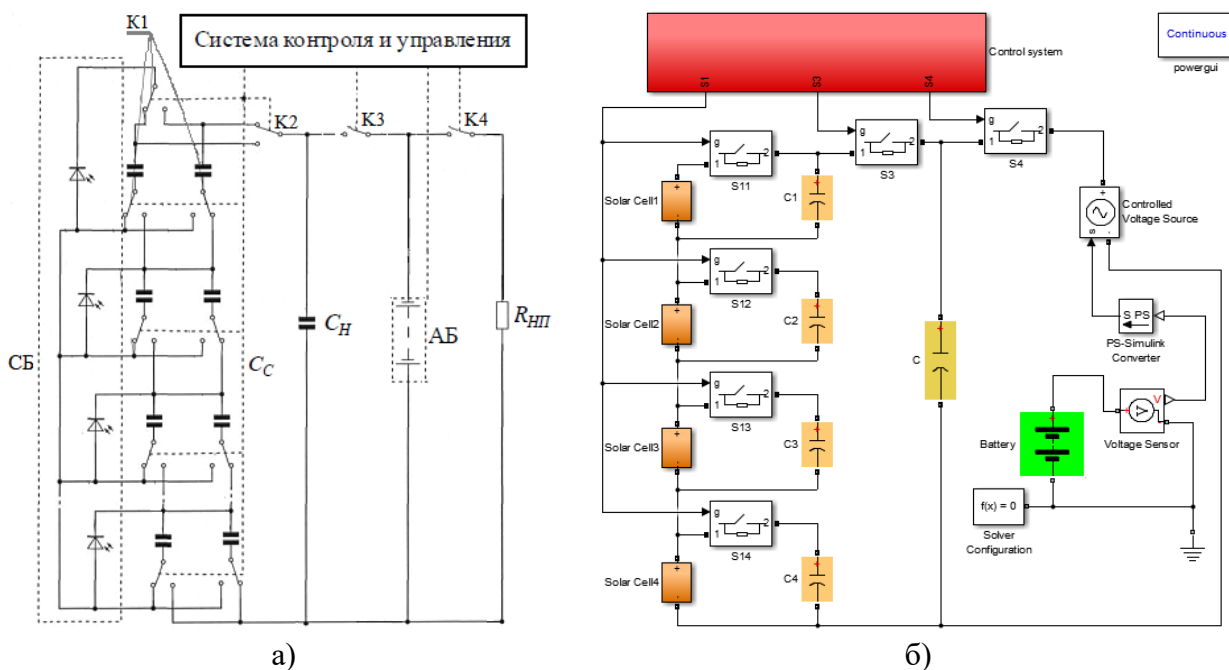


Рисунок 1 – Блок-схема устройства для отбора энергии солнечной батареи для зарядки накопителя (а) и модель процесса отбора энергии в Matlab/Simulink (б)

Модель отбора энергии разработана на примере серийно выпускаемого фотоэлектрического модуля PSM4 150W, состоящего из 72 солнечных элементов. В работе получены результаты моделирования процесса отбора энергии при уровнях освещенности в диапазоне 10-100 Вт/м².

1. Дзензерский, В. А. Метод зарядки химических источников тока в составе фотоэлектрической установки / В. А. Дзензерский, С. В. Плаксин, Н. Е. Житник, Л. М. Погорелая // *Электротехника и электроэнергетика*. – 2009. – № 2. – С. 73-77.
2. Пат. на корисну модель 105347 Україна, МПК H02J7/32, H02J7/35. Пристрій для заряджання хімічного джерела струму енергією сонячної батареї / В. О. Дзензерський, М. Я. Житник, С. В. Плаксін, С. Я. Остаповська, О. І. Ширман; власник Інститут транспортних систем і технологій НАНУ «Трансмаг». – № а 2009 10093; заявл. 14.08.2013; опубл. 25.04.2014, Бюл. №8.

ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПІДЗЕМНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

Стан питання. Сучасні вугільні шахти – потужні високо механізовані гірничодобувні підприємства зі складним електротехнічним господарством. Вони характеризуються значним різноманіттям технологічних процесів, які істотно впливають на ефективність використання електроенергії. Підвищення енергоефективності на вугільних шахтах можливо за рахунок удосконалення технологічних процесів, а також завдяки застосування спеціальних засобів, серед яких найбільш ефективним є зниження втрат електроенергії шляхом компенсації реактивної потужності. З цією метою у споживачів електричної енергії встановлюють пристрої компенсації реактивної потужності (ПКРП). Це значно розвантажує усю електричну мережу від цієї складової. Однак такі пристрої мало використовуються за часом.

Для умов вугільних шахт підвищення ефективності підземних електричних мереж, якщо припустити їх коректний вибір, можливо тільки завдяки більш високого коефіцієнта використання за часом, який за ствердженнями багатьох науковців становить нині 0.6...0.75 [1]. Більш високий коефіцієнт використання мають ПКРП напругою 6 кВ, що підключають у розподільних пунктах 6 кВ (РПП – 6 кВ). Однак застосування рудникових вибухобезпечних високовольтних конденсаторних батарей у схемах електропостачання вугільних шахт з установленням їх в РПП – 6 кВ потребує техніко-економічного обґрунтування.

Мета статті. Техніко-економічне обґрунтування раціонального розподілу ПКРП в РПП–6 кВ з урахуванням їх однакових потужностей.

Основна частина. Відомо, що підвищення енергоефективності вугільних шахт можливо шляхом використання ПКРП у підземних електричних мережах. Але встановлення їх в РПП – 6 кВ буде економічно доцільне, якщо розрахунковий коефіцієнт ефективності E_p перевищує величину банківської кредитної ставки $N_{кр}$, %, і річний рівень інфляції $N_{инф}$, %, тобто

$$E_p \geq (N_{кр} + N_{инф}) = N/100,$$

де $N = N_{кр} + N_{инф}$.

З другого боку, коефіцієнт ефективності E_p можна визначити як

$$E_p = E_k / K,$$

де E_k – річна економія від встановлення ПКРП; K – капітальні вкладення при застосуванні ПКРП,

$$K = K_{об} + K_{тр} + K_{мн} + K_{пл},$$

де $K_{об}$ – вартість обладнання без ПДВ;

$K_{мз}$ – транспортно-заготовельні витрати, $K_{мз} = a_{тр} K_{об}$;

$K_{мн}$ – витрати на монтаж і налагодження обладнання, $K_{мн} = a_{мн} K_{об}$;

$K_{пл}$ – планові накопичення, $K_{пл} = a_{пл} K_{мн} = a_{пл} a_{мн} K_{об}$;

$a_{тр}$, $a_{мн}$, $a_{пл}$ – нормативні значення коефіцієнтів на транспортно-заготовлені витрати, на монтаж і налагодження обладнання та планові накопичення, тобто

$$K_{об} = K_{об} + a_{тр} K_{об} + a_{мн} K_{об} + K_{пн} + a_{пн} a_{мн} K_{об} = \\ = (1 + a_{тр} + a_{мн} + a_{пн} a_{мн}) K_{об}$$

За відомим методом [2] визначають потужність ПКРП за окремим розподільним пунктом. Величина, на яку зменшуються втрати активної потужності на одному РПП-6 кВ після компенсації записується так:

$$\Delta P_i = \frac{Q_i^2 - (Q_i - Q_{ки})^2}{U^2} \cdot R_i \cdot 10^{-3} = \frac{2Q_i Q_{ки} - Q_{ки}^2}{U^2} \cdot R_i \cdot 10^{-3}, \text{ кВт.}$$

Після перетворення відразу отримуємо

$$\Delta P_i = \frac{\left[(2k_{pm} P_i^2 - K_{pm}^2 P_i^2) t g \gamma_i^2 - K_{pm}^2 P_i^2 t g \gamma_p^2 + (2K_{pm}^2 P_i^2 t g \gamma_i^2 - 2K_{pm} P_i^2 t g \gamma_i) t g \gamma_p \right] L_i}{U^2 \cdot \gamma \cdot S_i} \cdot 10^{-3},$$

де γ – питомий опір шахтних мідних кабелів, $\gamma=50$ м/Ом мм²; K_{pm} – коефіцієнт різномасової частки в максимумі навантаження підземних дільниць [2]; S – переріз кабельної лінії, мм²; L – довжина кабельної лінії, м; $t g \gamma_i$, $t g \gamma_p$ – коефіцієнт кабельної потужності до та після компенсації, відповідно; P_i – розрахункова потужність розподільчого пункту, кВт.

Річна економія на зменшенні втрат активної енергії

$$E_{pзвi} = \frac{\Delta P_i \cdot b \cdot T_p}{U^2 \cdot \gamma \cdot S_i}, \text{ грн.,}$$

де b – вартість 1 кВт·год. електроенергії, грн./кВт·год., T_p – річна кількість годин роботи підземних приймачів [1].

Вітчизняна промисловість виготовляє достатню кількість та різноманітність ПКРП напругою 6 кВ. Річні експлуатаційні витрати на РПП–6 кВ

$$C_i = (K_a + K_m) C_{обi} + Z_i (1 + K_3),$$

де $K_a + K_m$ – коефіцієнт на амортизацію та витрат на технічне обслуговування і ремонт обладнання, мереж відповідно; K_3 – коефіцієнт відррахувань на соціальні заходи; Z_i – заробітна плата обслуговуючого персоналу.

Вартість обладнання для i -го РПП – 6 кВ запишемо у вигляді виразу з двох змінних: відома кількість і тип прийнятих ПКРП та їх вартість. Тоді методом найменших квадратів отримуємо:

$$C_{обi} = a + b Q_{ki},$$

де Q_{ki} – сумарна прийнята потужність ПКРП на РПП – 6 кВ.

Річна економія коштів при встановленні ПКРП в i -му розподільчому пункті

$$E_{pi} = E_{pзвi} - C_i.$$

Варіант буде прийнятний для однакових РПП – 6 кВ, якщо виконується умова

$$E_{pi} = \frac{\Delta P_i \cdot b \cdot T_p - (K_a + K_t) \cdot K_{оби} - 3_i \cdot (1 + K_3)}{U^2 \cdot \gamma \cdot S_i} \geq N/100.$$

Для підземного навантаження шахти

$$E_p = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{\Delta P_i \cdot b \cdot T_p - (K_a + K_t) \cdot K_{оби} - 3_i \cdot (1 + K_3)}{U^2 \cdot \gamma \cdot S_i} \right]}{\sum_{i=1}^n K_{оби}} \geq N/100.$$

Приклад розрахунку.

1. Визначають струм у кабелях, що живлять РПП – 6 кВ. Задають значення P_p почергово від 500 до 2500 кВт з кроком 500 кВт. Для цього значення P_p змінюють величину $\cos \varphi$ від 0,45 до 0,97 з кроком 0,2. Визначають струми в кабелях за формулою $I_p = \frac{0,85 P_p}{\sqrt{3} U \cos \varphi}$ і приймають їх згідно з умовами таблиці.

Струм, А	Переріз, мм ²
$I_p \leq 110$	35
$110 < I_p \leq 145$	50
$145 < I_p \leq 175$	70
$175 < I_p \leq 215$	95
$215 < I_p \leq 250$	120

2. Визначають потрібну реактивну потужність для вузла приєднання підземних споживачів всієї шахти

$$Q_k = 0,625 P_{pi} (\operatorname{tg} \varphi_i - 0,25)$$

у такій послідовності:

- задаються почергово P_{pi} від 6000 до 10000 кВт з кроком 1000 кВт;

- для заданого значення P_{pi} змінюють значення $\operatorname{tg} \varphi$ від 0,25 до 1,7320 з кроком 0,25.

3. Для конкретно прийнятого варіанта підземного навантаження шахти приймають відповідну кількість РПП – 6 кВ, потужність яких дорівнює сумі потужностей усіх підземних споживачів (умови п.1) з визначеним перерізом кабелю.

4. Розраховують оптимальну потужність ПКРП Q_{ki} для кожного РПП – 6 кВ за формулою

$$Q_{ki} = Q_i - \frac{(Q - Q_k) \cdot r_e}{r_i}$$

де r_i – опір живильної кабельної лінії РПП – 6 кВ, для якого визначають Q_{ki} ,

$$r_i = \frac{L_i (M)}{50S},$$

L_i – довжина лінії, яка змінюється від 1000 до 2500 м з кроком 500 м;

Q_i – реактивна потужність РПП – 6 кВ, для якого визначають Q_{ki} , тобто

$$Q_i = P_{pi} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i$$

для значень $\operatorname{tg} \varphi$ від 0,25 до 1,7320;

$P_{pi} \Rightarrow 500 - 2500$ кВт з кроком 500 кВт;

r_e – еквівалентний опір ліній, що живлять усі РПП – 6 кВ

$$r_e = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n}};$$

Q – загальна реактивна потужність підземних споживачів

$$Q = 0,625 P_{pi} \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

(використати значення P_{pi} п.2 за відрахуванням $Q_j = 500$ квар водовідливу та споживачів білястовбурного двору).

Якщо $200 < Q_{ki} \leq 250$, то приймають $Q_{ki} = 250$ квар;

$250 < Q_{ki} \leq 300$, то приймають $Q_{ki} = 300$ квар;

$300 < Q_{ki} \leq 350$, то приймають $Q_{ki} = 350$ квар;

$350 < Q_{ki} \leq 400$, то приймають $Q_{ki} = 400$ квар;

$400 < Q_{ki} \leq 450$, то приймають $Q_{ki} = 450$ квар;

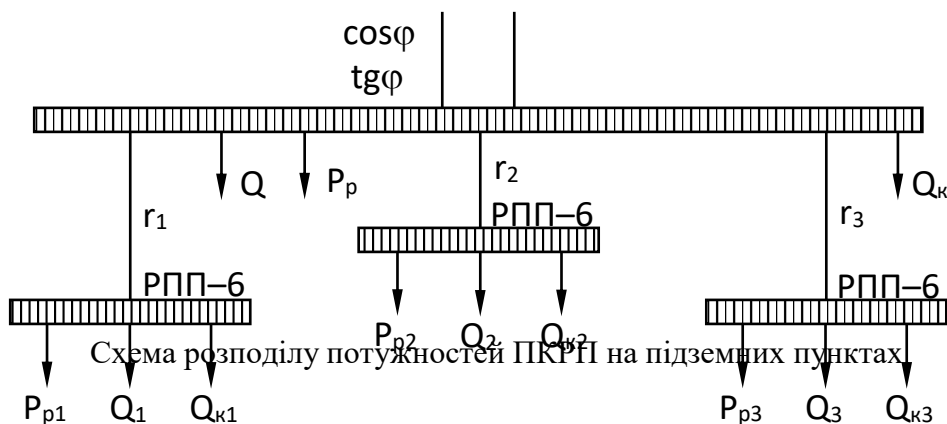
$450 < Q_{ki} \leq 500$, то приймають $Q_{ki} = 500$ квар.

При $Q_{ki} < 200$ квар Q_{ki} приймають таким, що дорівнює нулю, тобто $Q_{ki} = 0$.

У даному випадку це вказує, що ПКРП не встановлюються в розрахунковому РПП – 6 кВ. Умова розподілу потужності для інших РПП – 6 кВ порушується. Необхідно змінити розрахункову сумарну реактивну потужність на потужність розрахованого РПП – 6 кВ Q_i , тобто $Q' = Q - Q_i$, і розрахунок повторити для інших РПП – 6 кВ без розглянутого. Опір цієї лінії також не враховується.

$$r'_e = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{r_i}}; Q_{kj} = Q_j - \frac{(Q' - Q_k) r'_e}{r_j}.$$

Отримаємо оптимальний розподіл потужностей ПКРП на підземних розподільних пунктах 6 кВ (див. рисунок).



З урахуванням рекомендацій роботи[1] будемо економіко-математичну модель за такими припущеннями:

- значення коефіцієнтів реактивної потужності всіх РПП – 6 кВ однакові;
- якщо потрібна потужність ПКРП в i -му РПП – 6 кВ менша за 200 квар, то вона приймається такою, що дорівнює нулю.

Після оптимального розподілу реактивної потужності, що буде скомпенсована, формується економіко-математична модель, яка дозволяє визначити доцільність розміщення ПКРП у підземних РПП – 6 кВ за формулою

$$\frac{\sum_{n=1}^n 1.1441 P_{p,i} H_i L_i 10^{-3}}{16138 + 5.0356 Q_{k,i}} - 0.16 > 0.25,$$

де $H_i = 0,8594 \operatorname{tg}^2 \varphi_i - 0,1171 \operatorname{tg} \varphi_i - 0,0244$; $L_i = 1000 \dots 2500$ м через кожні 500 м;
 $\operatorname{tg} \varphi_i = 0,25 \dots 1,7320$ через кожні 0,25; $Q_{ki} = 200 \dots 500$ через кожні 50 квар; $P_{pi} = 500 \dots 2500$ кВт через 500 кВт; $N = 0,25$.

Таким чином, отримана економіко-математична модель, яка дозволяє визначити доцільність розміщення ПКРП у РПП 6 кВ.

Висновок. Запропонована економіко-математична модель визначення раціональних значень потужності ПКРП на підземних розподільних пунктах 6 кВ з урахуванням однакових потужностей вибухобезпечних ПКРП, що застосовуються.

Список літератури

1. Трифонов Д.В. Підвищення ефективності використання електроенергії у виробничих системах / Трифонов Д.В., Ковальов О.Р.; Кумпін О.О. //; Наук.-техн. збірник „Гірнична електромеханіка та автоматика”. – Д.: РВК НГУ. – 2015. – № 94. – С. 135-139.
2. Півняк Г.Г. Електропостачання гірничих підприємств / Півняк Г.Г., Білий М.М., Бажін Г.М. / Довідковий посібник. – Д.: РВК ДНУ. – 2008. – 550 с.

Олишевский И. Г. студент НТУ «Днепровская политехника», гр. 141м-17-2

Гусев А. Ю. к.ф.-м.н., профессор.

(Национальный технический университет «Днепровская политехника»)

ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ МОЩНЫХ ТУРБОКОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК

В настоящее время одной из актуальных проблем мировой экономики является проблема энергосбережения, обусловленная тем, что потребление энергии увеличивается, запасы основных топливно-энергетических ресурсов уменьшаются, а производство и использование энергии осуществляется недостаточно эффективно.

Существуют различные мощные энергетические установки, в которых происходят значительные выбросы тепловой энергии в окружающую среду. Это конденсационные электростанции, силовые трансформаторы высокой мощности, мощные установки кондиционирования шахт и крупных объектов, а также другие высокоэнергетические установки и системы. Для таких установок либо разработаны, либо разрабатываются технические решения по утилизации тепловой энергии, выбрасываемой в окружающую среду. Как правило, данная энергия используется для местных систем отопления и горячего водоснабжения. При разработке технических решений применяются различные методы, в том числе и нетрадиционные, такие как применение тепловых насосов, гелиоустановок и другого оборудования.

В связи с этим было решено проанализировать возможности различных способов утилизации теплоты на таких высокомоощных установках, как воздушные турбокомпрессоры шахт. В применяемых на данный момент системах охлаждения турбокомпрессоров все тепло, воспринимаемое охлаждающей водой, отводится в окружающую среду. Величина отводимой теплоты может достигать до двух и более МВт. При этом эти установки имеют практически круглосуточный режим работы, что важно для функционирования системы отопления.

В качестве исследуемого объекта был выбран получивший широкое распространение на шахтах воздушный турбокомпрессор К-500. Водяная система охлаждения турбокомпрессора (рис. 1, а) представляет собой два промежуточных и концевой воздухоохладителя, в которых охлаждающая вода нагревается до 35°C в соответствии с требуемой конечной температурой сжатого воздуха. Поскольку температура воздуха при сжатии его в ступенях турбокомпрессора достигает значений $90\dots 100^{\circ}\text{C}$ и более, то было предложено разделить каждый воздухоохладитель на две части (рис. 1, б). В первой части можно было бы нагревать воду до требуемой температуры, используя часть отводимой в воздухоохладителе теплоты.

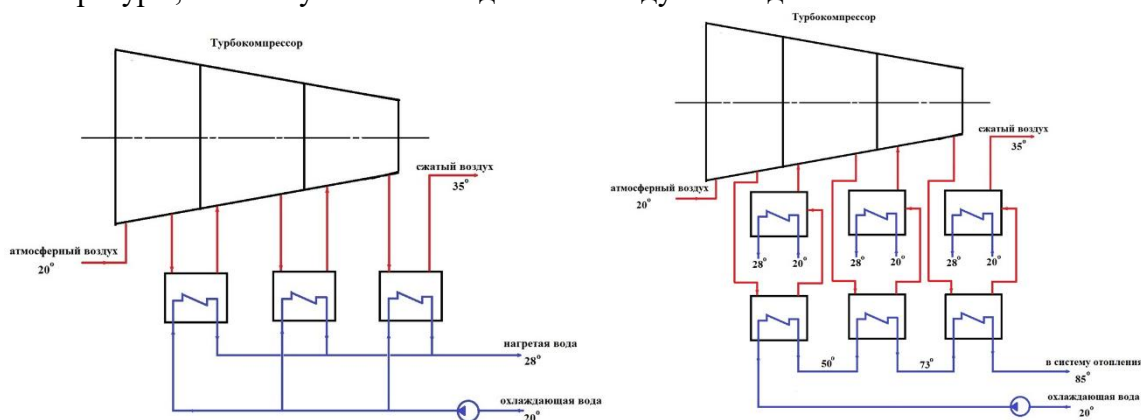


Рис. 1 Схемы водяного охлаждения турбокомпрессора: а – существующая; б – с последовательным разделением воздухоохладителей

Для анализа эффективности использования тепловой мощности системы отопления была разработана автоматизированная методика, с помощью которой выполнено исследование

возможности последовательного нагрева охлаждающей воды в первых частях всех трех воздухоохладителей и определены промежуточные температуры воды между воздухоохладителями, соответствующие максимальной тепловой мощности системы отопления (576 кВт), что составляет более четверти всей отводимой теплоты. Кроме того, была разработана рациональная схема теплового насоса в режиме его работы в отопительной системе утилизации теплоты (рис. 2). Сравнительный анализ энергоэффективности рассмотренных схем приведен на рис. 3.

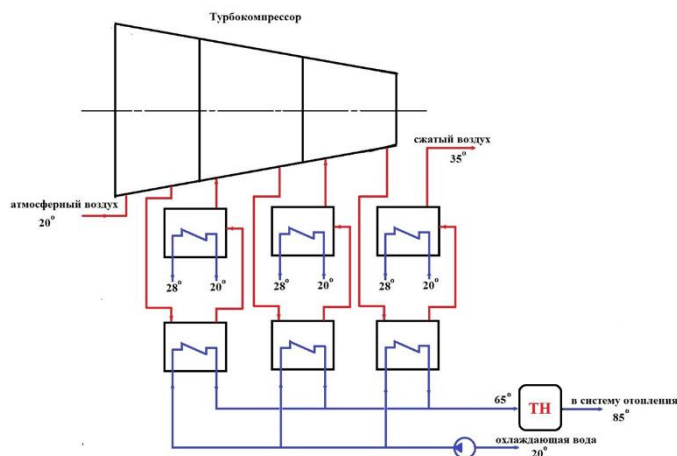


Рис. 2 – Схема параллельного отбора теплоты с последовательным тепловым насосом



Рис. 3. Сравнительный анализ энергоэффективности различных схем утилизации теплоты турбокомпрессора К-500

Результаты исследований подтвердили высокую эффективность предложенного способа утилизации теплоты воздушных турбокомпрессоров шахт. Разработанная методика открывает перспективы автоматизации технологии исследования процессов утилизации теплоты высокоэнергетических установок и систем.

В.А. Волков, кандидат техн. наук

(Украина, Днепр, ГВУЗ "Национальный горный университет")

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЯГОВЫМИ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМИ АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ ТРАМВАЯ

Введение. Развитие в мире городского электротранспорта с начала 2000-ых годов характеризуется широким внедрением в нем в качестве тяговых двигателей частотно-регулируемого асинхронного двигателя (ЧРАД) с короткозамкнутым ротором, благодаря чему у этого привода существенно увеличиваются эксплуатационная надежность, межремонтные сроки эксплуатации и общие сроки службы (по сравнению с ранее используемыми в нем тяговыми двигателями постоянного тока). При этом до настоящего времени, по-прежнему, одним из наиболее распространенных и востребованных видов электротранспорта остается трамвай, производство которого на основе тяговых ЧРАД освоено в Германии (фирмами «Siemens», «Gothoer Waggonfabrik») [1], Италии («AnsaldoBreda», «Nubera») [2], России («Петербургский трамвайно-механический завод», «Усть-Катавский вагоностроительный завод», «Транспортные системы», «Уралтрансмаш») [3] и других странах. В связи с упомянутым широким применением трамваев с тяговыми ЧРАД становится актуальным и востребованным практикой для этих двигателей уменьшение потерь мощности и потребления ими энергии в установившихся и пуско-тормозных режимах, а для этого – разработка и исследование в данных режимах энергосберегающего управления тяговыми ЧРАД, направленного на уменьшение непроизводительных потерь энергии в трамвае.

Из анализа существующей зарубежной и отечественной научно-технической литературы выявлено, что исследованию отмеченных выше вопросов посвящены, к сожалению, только малочисленные публикации. В частности, в работе [2] рассмотрены вопросы расчета сил сопротивления движению трамвая, разработки компьютерной имитационной модели для оценки потребляемых его тяговыми ЧРАД мощности и энергии от электрической подстанции в установившихся и пуско-тормозных режимах при заданных траекториях изменения скорости трамвая (но – без исследования влияния вида этих траекторий на потери мощности и энергии тяговых ЧРАД). Другие известные публикации [4, 5] посвящены исследованию энергоэффективности гибридного тягового частотно-регулируемого асинхронного привода трамвая (характеризующегося возможностью питания инвертора из контактной электрической сети либо от дополнительно установленных для этой цели аккумуляторной батареи или суперконденсаторов) и совершенствованию управления этим гибридным приводом при рекуперативном торможении. Причем указанное совершенствование управления заключается в формировании такого вида энергосберегающих траекторий скорости трамвая (и его тяговых двигателей), при которых рекуперированная энергия при торможении накапливается в аккумуляторной батарее или суперконденсаторах данного трамвая, а дальнейшее потребление энергии в режимах тяги трамвая происходит сначала от упомянутых аккумуляторной батареи или суперконденсаторов, а только затем – из контактной электрической сети (чем обеспечивается общее снижение потребления энергии тяговыми двигателями из контактной электрической сети и уменьшение потерь энергии в последней).

Таким образом, в известной научно-технической литературе ныне существует недостаток исследований энергосберегающего управления тяговыми ЧРАД для обычного (негибридного) трамвая, а также электромеханических и энергетических процессов указанных тяговых приводов, работающих в частых режимах разгона и торможения трамвая. Актуальность же самой задачи энергосбережения обусловлена наблюдающимся в настоящее время удорожанием в мире и Украине электрической энергии. Кроме этого, применительно для Украины (обладающей с советских времен большим парком чешских трамваев марки «Tatra-T6B5» [6] с тяговыми двигателями постоянного тока) очень актуальна, практически востребована и особенно важна задача проведения для этих трамваев модернизации, связанной с заменой тяговых

двигателей постоянного тока на ЧРАД. Это позволяет: во-первых, повысить энергоэффективность функционирования, эксплуатационную надежность и продлить сроки службы этих трамваев (в Киеве, Днепре, Харькове, Одессе, Львове, Запорожье и других больших городах Украины) при значительном сокращении средств на указанную модернизацию (вследствие сохранения кузова и основной части вспомогательного оборудования у этих трамваев). Во-вторых, – позволит загрузить работой украинские электротехнические предприятия и обеспечить заработной платой их инженерно-технический персонал.

Цель работы. Целью предложенной статьи является разработка энергосберегающего управления тяговыми частотно-регулируемыми асинхронными двигателями трамвая в установившихся и пуско-тормозных режимах, исследование для них электромеханических и энергетических процессов.

Исходные допущения:

- принято идеализированное представление короткозамкнутого трехфазного ЧРАД, дополненное учетом потерь мощности в стали этого двигателя [7];

- полагается применение векторного типа системы автоматического управления (САУ) электроприводом, в которой обеспечивается раздельное регулирование намагничивающей I_{Lx} и активной I_{Ly} проекций обобщенного вектора статорного тока \bar{I}_l (образованного основными гармоническими составляющими фазных статорных токов) двигателя на оси вращающейся ортогональной координатной системы «х-у», связанной вещественной осью «х» с обобщенным вектором потокосцепления ротора $\bar{\Psi}_r$ ЧРАД;

- пренебрегаем свободными (затухающими) составляющими статорных токов в режимах разгона и торможения (что является на практике возможным с учетом упомянутого использования векторных САУ из-за их высокого быстродействия и точности) [7];

- объектом исследования являются энергетические и электромеханические процессы для тягового ЧРАД одновагонного трамвая (содержащего четыре идентичных тяговых двигателя) с предложенным энергосберегающим управлением при режимах разгона и электрического торможения (с рекуперацией энергии в контактную электрическую сеть) или равномерного движения (с характеристиками макета трамвая из табл.1) [6]; распределение суммарных значений статического момента сопротивления и тягового момента привода между четырьмя тяговыми двигателями трамвая полагается равномерным;

- принималось отсутствие проскальзывания между движущимися колесами трамвая и рельсами;

- параметры ЧРАД (у которого активные сопротивления были приведены к температуре 115 °С) полагались неизменными;

- рассматривались только основные составляющие общих потерь мощности и энергии ЧРАД, вызванные основными (первыми) гармоническими составляющими фазных статорных токов [7];

- математические зависимости и последующие расчеты выполнены в общепринятой для машин переменного тока относительной системе единиц [7] (в которой номинальные значения частоты статора $\omega_{1н}$ и синхронной скорости ротора ω_n , как известно, одинаковы между собой и равны 1 о.е., а наибольшее значение ω_m скорости для рассматриваемого ЧРАД, согласно табл.1, равно $4000/1500 = 2,667$ о.е.);

- в тяговом электроприводе при режимах разгона и торможения посредством САУ реализовывались две зоны регулирования: в первой зоне (при $0 \leq \omega \leq \omega_n$) – при постоянстве модуля потокосцепления ротора Ψ_r , равном его номинальному значению Ψ_{rn} , а во второй (при $\omega_n \leq \omega \leq \omega_m$) – при постоянстве соотношения: $\omega_l \cdot \Psi_r = \omega_{1н} \cdot \Psi_{rn} = const$ [7] (что обеспечивает наибольшую достигаемую перегрузочную способность двигателя по электромагнитному моменту в этих режимах).

Выводы 1. Разработанные и исследованные виды энергосберегающего управления тяговыми ЧРАД трамвая (основанные при пуско-тормозных режимах на применении предложенных в табл.5 квазиоптимальных тахограмм с изломом на границе первой и второй зон регулирования

скорости этих двигателей и использовании оптимальных длительностей времен разгона и торможения, а в установившихся режимах – на применении оптимального управления ЧРАД по минимуму электромагнитных потерь мощности в нем, позволяют минимизировать согласно табл.7 суммарные основные потери энергии тяговых двигателей трамвая при его движении на дистанции между соседними остановками.

2. Полученные аналитические зависимости (7) и (10) обеспечивают расчет текущего значения КПД движущего механизма трамвая в функции развиваемой им механической мощности и с учетом двигательного или генераторного режимов работы, что позволяет определить из (11) и (30) уточненные значения статического момента сопротивления тягового привода и создаваемой им силы тяги.

3. Для пуско-тормозных режимов согласно рис.3 и рис.4 установлен «U»-образный вид зависимости суммарных ООПЭ $W_{p\Sigma 1}$, $W_{p\Sigma 2}$ и $W_{m\Sigma 1}$, $W_{m\Sigma 2}$ для тяговых ЧРАД трамвая от длительности их времен разгона t_{p1} , t_{p2} и торможения t_{m1} , t_{m2} в первой и второй зонах регулирования скорости. Выявлено, что при переходе к оптимальным значениям общих времен разгона t_p^o и торможения t_m^o обеспечивается согласно табл.4 уменьшение суммарных ООПЭ $\Delta W_{p,m}$ в пуско-тормозных режимах на 1,3 – 2 раза. При этом важной особенностью тягового привода трамвая является то, что большая часть (от 50 до 100 %) его общего времени функционирования приходится на пуско-тормозные режимы.

4. Разработанные квазиоптимальная выпуклой формы (соответствующая управлению 1) и комбинированная квазиоптимальная (соответствующая управлению 4) тахограммы, показанные на рис.6, наряду со своими высокими (согласно табл.4 и табл.7) энергосберегающими свойствами, позволяют обеспечить более плавный пуск и торможение трамвая (в сравнении с параболическим управлением 2) и уменьшить при этом (согласно рис.7) максимальные текущие значения электромагнитного момента тяговых ЧРАД (что увеличивает запас по сцеплению движущих колес трамвая с рельсом и уменьшает перегрузочную способность силового преобразователя по току). При этом выявлено, что в первой зоне регулирования квазиоптимальная вогнутой формы или линейная тахограммы близко совпадают между собой, что упрощает реализацию комбинированного квазиоптимального управления.

5. Установлено, что при оптимальных значениях длительностей времен разгона t_{p1}^o , t_{p2}^o , t_p^o и торможения t_{m1}^o , t_{m2}^o , t_m^o наименьшие согласно табл.4 соотношения Δp_p , Δp_m , $\Delta p_{p,m}$ между суммарными ООПЭ всех тяговых двигателей и перемещением вала тягового ЧРАД присущи параболического и квазиоптимального вида выпуклой формы тахограммам.

6. Проведенные исследования переходных электромеханических и энергетических процессов тягового ЧРАД трамвая при разгоне и торможении (иллюстрируемые временными диаграммами на рис.7) свидетельствуют об их практической реализуемости, так как их текущие значения находятся в диапазоне допустимых для них рабочих значений.

7. Использование для установившихся режимов движения трамвая предложенного энергосберегающего значения v^* скорости (определяемого из построенных графических зависимостей на рис.8) позволяет уменьшить на (7 – 33) % энергопотребление трамвая в этих режимах.

8. Разработанное и исследованное энергосберегающее управление при пуско-тормозных и установившихся режимах трамвая предназначено для снижения в нем непроизводительных потерь энергии и рекомендуется для применения как в существующих трамваях, оснащенных тяговыми ЧРАД, так и при проектировании и создании отечественного украинского трамвая с указанным типом тягового двигателя.

Список литературы

1. Фирма «Siemens» <https://www.siemens.com/global/en/home/products/mobility/rail-solutions/rolling-stock/trams-and-light-rail.html> (23.10.2018)
2. Edstrand J. Calculation method for powering a tramway network / J. Edstrand. – Goteborg, Sweden, 2012. – 101 p.

3. ГЭТ Электротранспорт Санкт-Петербурга https://www.electrotrans.spb.ru/podvizhnoy_sostav (23.10.2018)
4. Xiao Zh. Integrated Optimization of Speed Profiles and Power Split for a Tram with Hybrid Energy Storage Systems on a Signalized Route / Zh. Xiao, P. Sun, Q. Wang, Y. Zhu, X. Feng. – Chengdu, China, 2018. – PP. 1– 21.
5. Fernandez L.M. Hybrid electric system based on fuel cell and battery and integrating a single dc/dc converter for a tramway / L.M. Fernandez, P. Garcia, C.A. Garcia, F. Jurado. – Spain, 2011. – 2183 – 2191.
6. Сайт «Харьков транспортный» http://gortransport.kharkov.ua/ps_models/50/ (23.10.2018)
7. Пивняк Г.Г. Современные частотно-регулируемые асинхронные электроприводы с широтно-импульсной модуляцией / Г.Г. Пивняк, А.В. Волков. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2006. – 470с.

О.М. Заславський, канд. техн. наук, В.В.Ткачов, д-р техн. наук, професор, Бубликов А.В., канд-т техн. наук С.М.Проценко, доцент, (Україна, Дніпро, НТУ «Дніпровська політехніка»),

РОЗУМНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ МЕРЕЖІ ЕФЕКТИВНОГО РОЗПОДІЛЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ МІЖ СПОЖИВАЧАМИ В БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ СПОРУДАХ

Вступ. Концепція побудови децентралізованої інтелектуальної системи автоматичного розподілу енергії між електричними нагрівальними пристроями зводиться до наступних положень.

1. Підключення нагрівального пристрою до мережі електропостачання здійснюється не безпосередньо, а через «розумний» конектор-смарткон, який в конструктивному відношенні являє собою пристрій двостороннього роз'ємного з'єднання, що включається між розеткою мережі електроживлення і нагрівальним пристроєм.

2. Смарткони являються системо утворюючими елементами, які обмінюючись інформацією, наприклад, по силовій мережі електропостачання об'єкту, що контролюється, приймають рішення про підключення або відключення відповідних нагрівальних пристроїв, домагаючись, з одного боку, безумовного виконання обмеження потужності, яка може бути використана для опалення, а з інший – найбільш ефективного використання цієї потужності з урахуванням пріоритетів, що задаються при налаштуванні бажаного розподілу температур.

3. Регулювання температури нагрівального пристрою в зоні його розміщення здійснюється його власним термостатом. Смарткон лише підключає нагрівальний пристрій до мережі електропостачання.

4. Мережевий контролер в децентралізованій системі здійснює лише функції вимірювання сумарної споживаної об'єктом потужності, підсумовування запитів на ресурс електричної потужності, необхідної нагрівачам, а також підсумовування рангів пріоритетів нагрівачів, які в даній системі мають сенс плати за ресурс, пропонованої кожним смартконом.

На підставі цих даних обчислюється середньозважена ціна ресурсу, яку мережевий контролер повідомляє усім смартконам. Необхідною (але не достатньою) умовою підключення нагрівача до мережі електроживлення є перевищення запропонованої смартконом плати за ресурс над вартістю цього ресурсу, обчисленою відповідно до середньозваженої ціни і необхідної кількості ресурсу (потужності). Остаточне рішення щодо підключення нагрівача до мережі електроживлення (або відключення від неї) смарткон приймає після перевірки додаткових умов, що гарантують виконання обмежень потужності і відсутність невикористаного ресурсу, що перевищує мінімальну потребу в ньому серед числа учасників розподілу. Якщо ж ці умови не відповідають попередньо прийнятим рішенням, смарткон повертається в число учасників розіграшу ресурсу. Ітераційна процедура розіграшу ресурсу повторюється до тих пір, доки всі смарткони не переведуть відповідні нагрівачі у стан «увімкнути» або «вимкнути».

Запропонована концепція спирається на теорію колективної поведінки автоматів, які взаємодіють з випадковим середовищем.

Висновки. Результати експериментальної перевірки роботи системи фіксувалися у комп'ютерному протоколі випробувань і довели, що її поведінка в цілому, а також поведінка її складових частин – смартконів та контролера ВК відповідає вимогам до системи прямого електричного опалення, і сценарію експерименту. В процесі випробувань сумарна потужність електричної енергії, яка використовувалась, для опалення не перевищувала задані обмеження.

Список використаних джерел

1. Варшавский В.И. Коллективное поведение автоматов. М.: Наука, 1973 – 405 с.

2. Бурков В.Н. Основы математической теории активных систем. М.: Наука, 1977 – 256 с.
3. Aleksander M. Zaslavsky, Viktor V. Tkachov, Stanislav M. Protsenko, Andrii V. Bublikov, Batyrbek Suleimenov, Nurbek Orshubekov, Konrad Gromaszek, "Self-organizing intelligent network of smart electrical heating devices as an alternative to traditional ways of heating", Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017, 104456K (7 August 2017); doi: 10.1117/12.2281225; <http://dx.doi.org/10.1117/12.2281225>.
4. А.М.Заславский, В.В.Ткачѳв, А.В.Бубликов, О.В.Карпенко. Оптимальное распределение энергии в интеллектуальной сети прямого электрического отопления. Электротехнические и компьютерные системы. Одеський національний політехнічний університет, 2017, № 25 (101), С. 358–366.
5. О.М.Заславський, С.М.Проценко, О.В.Карпенко, М.В.Козарь. Автоматичне вимірювання потужності обладнання, підключеного до інтелектуальної мережі прямого електричного опалення. Одеський національний політехнічний університет, 2017, № 25 (101), С. 381–387.

ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ

Вступ. В умовах постійного зростання цін на енергетичні ресурси першочерговими задачами сьогодення стають задачі енергозбереження. Зокрема, однією з таких задач є мінімізація вартості утримання житлових та громадських будівель. Протягом останніх десятиліть спостерігається поступове підвищення середньої температури внаслідок парникового ефекту. Зміни клімату, доступність великої кількості різноманітних пристроїв для кліматизації приміщень та поступовий розвиток норм щодо комфортності умов всередині приміщень призвели до того, що тепер під кліматизацією розуміємо не тільки опалення будівель протягом холодної частини року, але і видалення надлишкового тепла влітку. Підтримання комфортних умов перебування людей вимагає залучення все більшої кількості енергії, що тягне за собою зростання споживання енергетичних ресурсів, збільшення викидів і подальші зміни клімату.

Вирішення задачі зменшення об'єму споживання енергетичних ресурсів передбачає кілька можливих шляхів: заміщення традиційних видів палива нетрадиційними відновлюваними, зокрема «чистими» видами енергії – енергією сонця, вітру, припливів тощо (тобто перехід на технології, які не потребують спалювання палива), зниження споживання енергетичних ресурсів за рахунок термомодернізації будівель, використання вторинного тепла, оптимізація парку громадських та виробничих будівель із виведенням з експлуатації низькоефективних. Всі описані шляхи можуть бути поєднаними для досягнення кращого ефекту, ніж при реалізації одного якогось напрямку.

Метою даної роботи є оцінка можливого потенціалу енергозбереження у житловому секторі за рахунок термомодернізації будівель, які знаходяться в експлуатації. Основні заходи з енергозбереження, які пропонує сьогоденній ринок послуг для багатоквартирних житлових будинків – це утеплення стін, заміна вікон, заміна або встановлення металопластикових рам на балкони та лоджії, заміна дверей, регулювання режимів роботи системи опалення за рахунок встановлення індивідуальних теплових пунктів, спорудження будинкових котельних. Описані вище заходи охоплюють досить широкий об'єм можливих робіт, проте він не є вичерпним. Так, найчастіше не проводиться модернізація систем вентиляції будівель, систем розподілу тепла, рідко розглядається можливість використання вторинного тепла відпрацьованого повітря та стічних вод тощо.

Близько половини будівель, які на сьогодні знаходяться в експлуатації – це багатоповерхові цегляні будинки з білої цегли. При опрацюванні матеріалів до даної роботи були обстежені близько сотні будівель, зокрема половину об'єктів становили цегляні будинки різної поверховості. Для оцінки потенціалу енергозбереження в таких будинках розглянемо типові 5(6)-ти, 9-ти та 16-ти поверхові будівлі.

За останні десять років власними силами мешканців будинків були замінені вікна у подвійному дерев'яному плетінні та спарені дерев'яні вікна на вікна зі склопакетами у металопластиковому плетінні. Кількість заміненних вікон на даний момент коливається у межах 60-80% від загальної їх загальної кількості. Також силами мешканців були заklenі та частково утеплені до 90% балконів та лоджій. Таким чином, можна передбачити, що потенціал доступної економії за рахунок модернізації або заміни світлопрозорих конструкцій будівлі вже практично вичерпано. Звичайно, технічний прогрес не стоїть на місці і вікна, які встановлені протягом останнього року, відрізняються від тих, які були встановлені десять років тому, проте якщо брати кількісні показники, зокрема термічний опір таких вікон, то для стандартних подвійних вікон у дерев'яному плетінні показник термічного опору становить $0,42 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, у той час як для звичайного двокамерного склопакету з тепловідбиваючим покриттям $0,76 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Тобто опір теплопередачі таких склопакетів вже майже удвічі більший порівняно з вікнами у подвійних дерев'яних плетіннях. Подальше вдосконалення склопакетів, створення

додаткових тепловідбиваючих покриттів, заповнення їх інертними газами вже не дає різкого зростання опору теплопередачі ($R = 0,8-1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) порівняно зі звичайним двокамерним склопакетом. Зважаючи на це, на даному етапі для вікон, які не відслужили й половини свого терміну експлуатації, постає питання доцільності їх модернізації та заміни на більш сучасні з додатковими покриттями і це питання потребує техніко-економічного обґрунтування [3]. Для металопластикових вікон характерним є неправильний монтаж за допомогою тимчасової монтажною піни, яка під дією ультрафіолетового випромінювання осипається і залишає відкриті шпарини, через які йде інфільтрація холодного повітря до будівель, тому під час виконання фасадних робіт потрібно приділяти увагу швам між стінами та вікнами і закладати в кошторис комплексного утеплення також ремонт швів.

Для цегляних будинків, які поширені на території України характерною є товщина стін 0,54-0,57 м, тобто стіна у дві цеглини плюс вапняно-піщана штукатурка. Термічний опір таких стін коливається у межах 0,78-0,81 $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, при мінімальній величині опору теплопередачі згідно з ДБН В.2.6-31:2016 3,3 $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ [1]. Таким чином, опір теплопередачі стін у чотири рази менший від мінімальної величини, відповідно втрати крізь стіни у чотири рази більші порівняно з нормативними. Тому значний потенціал для енергозбереження наявний саме в комплексному утепленні стін. При цьому утеплення повинно здійснюватися професійними монтажними організаціями із дотриманням норм до виконання фасадних робіт зокрема робіт з утеплення, оскільки непрофесійні виконавці при виконанні робіт залишають значну кількість містків холоду – не утеплені кріпильні профілі, наскрізні отвори під трубопроводи кондиціонерів тощо. При проведенні тепловізійної зйомки утепленої частини фасадів будівель виявляється пошкодження шарів теплоізоляції через розтріскування, наявність суцільних неутеплених поясів, зон намокання утеплювача тощо. Ці явища можуть бути викликані неякісним монтажем теплоізоляції, неправильно підібраним матеріалом, товщиною його шару, неправильним улаштуванням паробар'єрів тощо. Таку теплоізоляцію при комплексному утепленні будівлі необхідно демонтувати, дати стіні просохнути та утеплити знову.

Розрахунки питомого енергоспоживання будівлі показали, що найбільша економія енергії на утримання будівлі досягається за рахунок комплексного утеплення стін, найменша економія – за рахунок утеплення вхідних дверей. Це пояснюється частиною площі, що займає дана однорідна конструкція, у загальній площі огорожуючих конструкцій.

Висновки. За даними розрахунків питомого енергоспоживання будівлями бачимо, що модернізація огорожуючих конструкцій дає зниження споживання енергії на опалення будівлі від 38 до 45% відносно поточного стану будівлі. Найбільший внесок у це зниження дає комплексне утеплення стін будівлі, найменший – утеплення або заміна вхідних дверей.

Проте слід зауважити, що навіть при повній модернізації огорожуючих конструкцій у більшості будівель не досягається мінімально необхідний для будівель, що знаходяться в експлуатації, клас енергетичної ефективності С, у кращих випадках досягається клас D.

Для підвищення класу енергетичної ефективності та досягнення рівнів В і С необхідно виконувати також модернізацію інженерних мереж будівлі. Так, облаштування індивідуальних теплових пунктів (ІТП), що дозволяють в автоматичному режимі здійснювати регулювання подачі теплоносія в залежності від погодних умов, дозволяє разом з заходами з термо-модернізації огорожуючих конструкцій досягти скорочення питомого енергоспоживання на 55-60% і досягти В та С класів енергетичної ефективності будівель.

Список літератури

1. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель.
2. ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції.
3. Ратушняк Г.С. Оцінка доцільності підвищення термічного опору огорожуючих конструкцій багатоповерхових житлових будівель / Г.С. Ратушняк, А.М. Очеретний// Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2016 - №6. Режим доступу: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/19464>

Босий Д.О. д.т.н., доцент; **Земський Д.Р.**, аспірант

(Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, м. Дніпро, Україна)

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ТЯГОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ У ЗАДАЧАХ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ЗОВНІШНЬОГО ТА ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ ЗМІННОГО СТРУМУ

Питання виробу моделі електрорухомого складу постає під час дослідження електромагнітних процесів у тяговій мережі та пов'язаних із нею електротехнічних системах. Як правило, тягове навантаження моделюється спрощено: у вигляді джерел струму для основної та, за потреби, вищих гармонік струму. У випадку розрахунку системи тяги змінного струму, така модель потребує попереднього визначення кута між струмом електровозу та напругою контактної мережі, що ускладнює процес підготовки до експерименту. Тому для моделювання електричної системи із змінним струмом більш доцільно оперувати схемою заміщення, де схема представлена пасивними елементами. У наукових публікаціях зустрічаються складніші математичні моделі, які описують перетворювач та тяговий двигун електровозу, що виключають зазначену вище проблему. Але використання такого підходу виправдане у випадку досліджень електромеханічних процесів у електрорухомому складі, а у випадку, коли об'єктом досліджень є система тягового електропостачання, таке ускладнення моделі є зайвим, оскільки збільшує кількість рівнянь у системі та потребує визначення параметрів обладнання електрорухомого складу.

З цих причин у задачах моделювання роботи системи зовнішнього та тягового електропостачання залізниць змінного струму, найбільш доцільно електрорухомий склад представити двополюсником, параметри якого у знаходяться функціональній залежності від тягового струму або часу. Такий підхід використано в [1], де визначена обмінна та активна характеристика на прикладі електровозу ВЛ60.

У загальному випадку в колах, що містять джерела та споживачі електроенергії, мають місце два відмінні один від одного енергетичні процеси: 1) безповоротне перетворення енергії джерел живлення в теплову та/або інші види енергії; 2) накопичення енергії у формі магнітного та електричного поля. В теорії електричних кіл ці два процеси описуються за допомогою миттєвої активної ($p = p(t)$) та миттєвої обмінної потужності ($q = q(t)$), що в інтегральній інтерпретації є ортогональними складовими миттєвої повної потужності

$$\frac{s(t)}{i^2(t)} = \frac{p(t)}{i^2(t)} + \frac{q(t)}{i^2(t)} = r(t) + x(t) = z(t),$$

де $r(t)$, $x(t)$, $z(t)$ – миттєві активні, обмінні та повні опори споживача електричної енергії.

Розглянемо електровоз змінного струму в режимі тяги, представлений елементарною схемою заміщення лінійного кола з напруги на вході $u(t)$ та струму $i(t)$ (рис. 1).

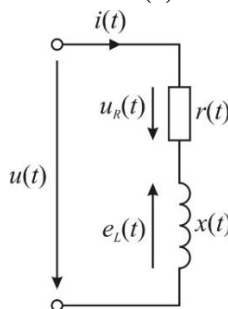


Рис. 1. Схема заміщення електровозу

Для двох суміжних моментів часу можна записати систему рівнянь для цього кола у диференційній формі

$$\begin{cases} u(t_1) = r_{(1)} \cdot i(t_1) + L_{(1)} \cdot i'(t_1); \\ u(t_2) = r_{(1)} \cdot i(t_2) + L_{(1)} \cdot i'(t_2). \end{cases}$$

Розв'язуючи отриману систему відносно невідомих $r_{(1)}$ і $L_{(1)}$, та враховуючи, що $x_{(1)} = L \frac{i'(t_1)}{i(t_1)}$,

матимемо

$$r_{(1)} = \frac{u(t_2) \cdot i'(t_1) - i'(t_2) \cdot u(t_1)}{i(t_2) \cdot i'(t_1) - i'(t_2) \cdot i(t_1)}, \quad x_{(1)} = \frac{\frac{u(t_1)}{i(t_1)} i(t_2) - u(t_2)}{i(t_2) - \frac{i'(t_2) \cdot i(t_1)}{i'(t_1)}}.$$

За отриманими формулами визначимо миттєві характеристики на прикладі електровоза ДСЗ (рис. 2).

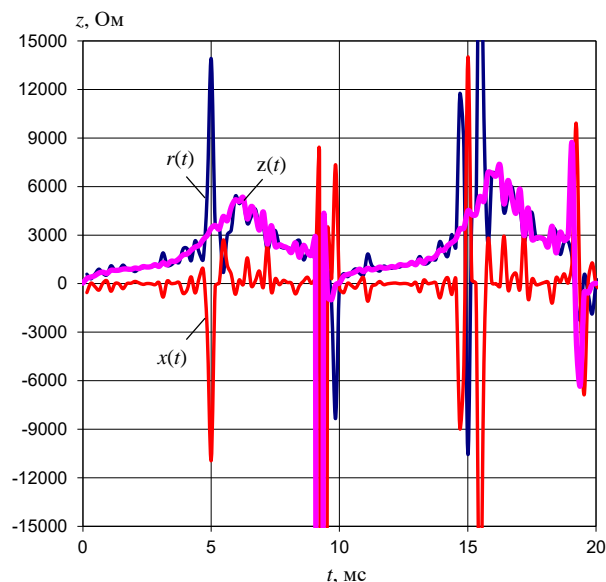


Рис. 2 Миттєві активна та обмінна характеристики електровоза ДСЗ

Отриманні таким чином функції можливо апроксимувати та використовувати при моделюванні електромагнітних процесів у системах тягового електропостачання.

Перелік посилань

1. Косарев А. Б. Основы теории электромагнитной совместимости систем тягового электроснабжения переменного тока. – М., Россия: Интекст, 2004, 272 с.

G.G. Diachenko, O.O. Aziukovskyi, Ph.D., Associate Professor

(State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnipro, Ukraine)

CONTROL LAW OF MOTION CONTROL OF A DELTA ROBOT ADAPTED TO DIGITAL SYSTEMS WITH NOT HIGH PERFORMANCE

The delta robot is a parallel robot, which means there is more than one kinematic chain from the base to the actuator of the robot [1]. It has three translational and one rotational degree of freedom. The basic idea is the use of a parallelogram. These parallelograms restrict the movement of the final platform for precise displacements. Only translational movements of the platform and its maintenance parallel to the base plane are allowed [2].

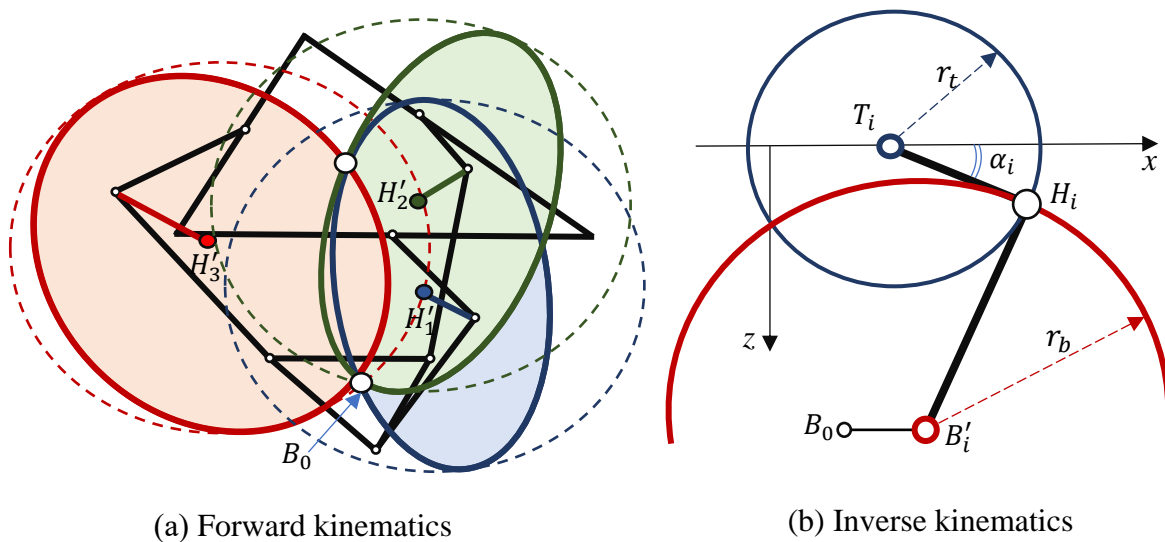


Fig.1 - Kinematics

Kinematics of Delta robot. In this section, a summary of kinematics calculations is given.

In the inverse kinematics, as shown in Fig. 1(b), the position of H_i is calculated as the intersection of (1) and (2). The length $H_i B_i'$ is the length of the x - z plane projection of $H_i B_i$ and is calculated by (3). Then, each arm angle α_i is calculated by the position of H_i , as shown in (4).

$$(X_{H_i} - X_{T_i})^2 + (Z_{H_i} - Z_{T_i})^2 = |T_i H_i|^2, \quad (1)$$

$$(X_{H_i} - X_{B_i'})^2 + (Z_{H_i} - Z_{B_i'})^2 = |H_i B_i'|^2, \quad (2)$$

$$|H_i B_i'| = \sqrt{|B_i H_i|^2 - |B_i B_i'|^2}, \quad (3)$$

$$\alpha_i = \arctan(Z_{H_i} / X_{H_i} - X_{T_i}). \quad (4)$$

Such algebraic simplicity is obtained from a good choice of the reference frame for the case when $i = 1$. To keep this advantage and find the two remaining arm angles, the symmetry of deltas is used by means of the matrix (5), which rotates coordinates of the end-effector in the XY -Cartesian plane counter-clockwise through an angle θ ($\theta = 120^\circ$ to get α_2 and $\theta = 240^\circ$ to get α_3) round Z -axis with the help of transformation (6.1a):

$$R(-\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}, \quad (5) \quad R(-\theta): B_i \rightarrow B_i'. \quad (6.1a)$$

$$i \in [1:3], (6.1b) u \in [u^-, u^+], (6.1c) \psi(u) = \begin{cases} u^- : u < u^- \\ u : u \in [u^-, u^+], (6.1d) \\ u^+ : u > u^+ \end{cases}$$

with vertexes of bottom delta $B_i \in \mathbb{R}^2$ subject to box constraints (6.1b) and (6.1c) via (6.1d).

In the forward kinematics, as shown in Fig. 1(a), the point H_i is calculated based on reference for α_i . The end position B_0 is calculated as the intersection of the three sphere equations centring in H'_i . The equations are as follows:

$$\begin{aligned} (x - x_{H'_1})^2 + (y - y_{H'_1})^2 + (z - z_{H'_1})^2 - r_b^2 &= 0, \\ (x - x_{H'_2})^2 + (y - y_{H'_2})^2 + (z - z_{H'_2})^2 - r_b^2 &= 0, \\ (x - x_{H'_3})^2 + (y - y_{H'_3})^2 + (z - z_{H'_3})^2 - r_b^2 &= 0. \end{aligned}$$

References:

- [1] Diachenko, G. G., and Aziukovskyi, O. O. (2018). CONTROL LAWS OF ELECTRIC DRIVES AS A RESULT OF AN IN-DEPTH KINEMATIC ANALYSIS OF THE DELTA ROBOT. *Scientific Bulletin of National Mining University*, (1), 106-112.
- [2] S. Stan, M. Manic, C. Szep and R. Balan (2011). Performance analysis of 3 DOF Delta parallel robot. *2011 4th International Conference on Human System Interactions, HSI 2011*, Yokohama, 215-220.

Мельник О.Є., доц., к.т.н., Харитонов О.О., ст. викл., Аніськов О.В., асис.
Криворізький національний університет, Кривий Ріг, Україна

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ В УМОВАХ ВІДКРИТИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ КРИВБАСУ

Аналіз робіт, у яких розглядалися питання оптимізації систем електропостачання по фактах підвищення надійності, економічності й удосконалювання конструктивних елементів, показує, що недостатня увага приділялася аналізу систем електропостачання за критеріями якості електроенергії на затискачах кар'єрних споживачів.

Подальший розвиток гірничорудної промисловості та задача підвищення продуктивності праці вимагають концентрації та інтенсифікації відкритих гірських робіт, застосування потужнішого й продуктивнішого видобувного устаткування і, як наслідок, підвищення енергоємності залізородних кар'єрів [1].

Наприклад, у Криворізькому басейні відкриті гірничі роботи характеризуються наявністю великих високомеханізованих підприємств із річною великою продуктивністю гірської маси. Технологія видобутку залізної рудий ґрунтується на використанні гірських машин з електроприводами значної потужності.

Значний вплив на якість роботи електропостачання виявляє навантаження електроприводів гірничих машин, зайнятих на виконанні виймально-навантажувальних і бурових робіт. При аналізі режимів електроспоживання цих струмоприймачів певні труднощі виникають внаслідок того, що робота окремих кар'єрних механізмів за умовами технології не пов'язана між собою у часі. Проте, на параметри електричних мереж вони виявляють практично спільний вплив. Більшість електроприводів через специфічні умови працюють у повторно-короткочасному й короткочасному режимах, що негативно впливає на режими напруги в мережі.

До числа найбільш енергоємних споживачів слід віднести екскаватори, частка електроспоживання яких на кар'єрах з не електрифікованим транспортом становить 60÷70% загальної витрати електроенергії.

Наявність буровибухових робіт обумовлює специфічні особливості впливу факторів збурення на зміну напруги на затискачах електроприводів кар'єрного устаткування. Розробка скельних порід ведеться з попереднім розпушуванням масиву підривним способом (метод колонкових зарядів у шпарах).

Потужність, яка споживається при буравленні підривних шпар, залежить від типу бурового верстата, його продуктивності й режиму роботи, категорії по буримості. Як і при роботі екскаваторів, характер зміни навантажень електроприводів бурових верстатів залежить від цілого ряду різних гірничо-технологічних факторів [2].

Дослідження в області електрифікації відкритих гірських робіт (удосконалювання схем розподілу електричної енергії, підвищення їх надійності, аналіз електричних навантажень і т.д.) були проведені С.А.Алаторцевим, С.А.Волотковским, Л.В.Гладіліним, В.І.Щуцьким, Б.П.Белих, Б.Ф.Туршевим та ін..

На ефективність експлуатації систем електропостачання залізородних кар'єрів, у тому числі й на якість електроенергії, у основному впливають електричні навантаження споживачів. Дослідженням закономірностей зміни електроспоживання на гірничих підприємствах приділяється велика увага, тому що параметри електричного навантаження, його динаміка визначають вибір усіх елементів системи електропостачання. Результати багатьох досліджень стали основою для створення керівних матеріалів по визначенню електричних навантажень.

Ефективність електропостачання кар'єрних ЕП залежить від динаміки електроспоживання. Кількісним заходом, який характеризує режим зміни електричних навантажень, є приріст розходу електроенергії, викликаний збільшенням глибини гірських робіт і технічним прогресом.

Однією з основних умов ефективного застосування кар'єрного устаткування є наявність гнучкої й надійної системи електропостачання [3].

Висновки.

Схеми, які в даний час експлуатуються, а саме при електропостачанні кар'єрів із застосуванням проміжних КРУН-6 кВ, поряд з певними перевагами, зокрема забезпечення максимального струмового захисту і захисту від однофазних замикань на землю, зниження непрямих простоїв кар'єрного встаткування, скорочення кількості й довжини, що відходять від ЦРП-35/6 кВ лінії електропередач, мають ряд недоліків:

- зниження рівня електробезпечності через наявність проміжних ланок (КРПН-6) без постійного чергового персоналу, в яких необхідні відповідні оперативні перемикання;
- наявність електричного зв'язку між окремими ЕП, що негативно впливає на надійність і стійкість усієї електрично зв'язаної системи;
- значні втрати напруги в розподільній мережі, що приводить до значних відхилень і коливань напруги, які перевищують нормативні вимоги.

На ефективність експлуатації систем електропостачання залізородних кар'єрів, у тому числі й на якість електроенергії, у основному впливають електричні навантаження споживачів. Дослідженням закономірностей зміни електроспоживання на гірничих підприємствах приділяється велика увага, тому що параметри електричного навантаження, його динаміка визначають вибір усіх елементів системи електропостачання. Результати багатьох досліджень стали основою для створення керівних матеріалів по визначенню електричних навантажень.

Список літератури

1. Маліновський А.А. Основи електроенергетики та електропостачання / А.А. Маліновський, Б.К. Хохулін – В.: НУ «Львівська політехніка», 2009. – 348 С.
2. Апенко В.П. Электроснабжение железородных горно-обогатительных комплексов / В.П. Апенко, В.И.Щуцкий, В.Д. Трифонов – М: Недра, 1978. –339 с.
3. Белых Б.П. Электропривод и электрификация открытых горных работ / Б.П. Белых, В.И.Щуцкий, Б.И.Заславцев, Н.И.Чеботаев –М.: Недра, 1983. – 269 с.

Михайленко О.Ю., канд. техн. наук, доцент кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту

(Криворізький національний університет, Кривий Ріг, Україна)

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МІСТА ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ЛОКАЛЬНИХ ВІТРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Вступ. Зниження залежності від імпорту видобувних паливно-енергетичних ресурсів у сучасних умовах займає провідне місце в державній політиці України. Існує декілька можливих шляхів вирішення цієї проблеми, зокрема, підвищення рівня видобування газу й вугілля або розвідку нових родовищ вуглеводнів на території держави, що потребує значних фінансових витрат. Іншим шляхом є використання відновлюваних джерел енергії – сонця та вітру. Собівартість електроенергії, що вироблена таким шляхом, на даний час залишається достатньо високою. Проте, з одного боку постійне удосконалення технічних засобів перетворення та накопичення електроенергії, а з іншого скорочення запасів вуглеводнів позначили тенденцію до вирівнювання собівартості виробництва з застосуванням традиційних і альтернативних енергоресурсів. Зважаючи на це, останнім часом використання відновлюваних джерел електроенергії розглядається як один з найперспективніших шляхів покриття частки потреб споживачів житлово-комунального господарства. Таким чином, питання оцінки доцільності застосування локальних електростанцій для підвищення ефективності систем електропостачання міст і селищ є своєчасним і актуальним.

Викладення основного матеріалу. У якості об'єкту для проведення досліджень було обрано Індустріальний мікрорайон м. Кривого Рогу, що зумовлено особливістю його географічного розташування та щільністю забудови території міста житловими масивами. У безпосередній близькості до мікрорайону розміщені майданчики загальною площею 3,26 км², котрі придатні для розміщення достатньо високої кількості вітроенергетичних установок (ВЕУ). Для виробництва електроенергії запропоновано використовувати ВЕУ низької потужності до 20 кВт. Такий вибір обумовлений вимогами забезпечення безпечної експлуатації енергетичних агрегатів. Через наявність обертових частин у ВЕУ, вони повинні бути розміщені на відстані не менше ніж десять разів більший ніж висота щогла на якій розташований вітрогенератор. Враховуючи, що у ВЕУ низької потужності максимальна висота щогли складає 20 м, тому вони можуть бути використані у межах територій міст і селищ. Також ВЕУ низької потужності генерують значно нижчий рівень ультразвуку, що суттєво знижує їх негативний вплив на мешканців житлових масивів.

Прилегла до мікрорайону територія умовно була розділена на східну та західну частини між якими проходить гілка швидкісного трамваю. При цьому західний майданчик містить територію сільськогосподарського призначення на якій також потенційно можна розмістити ВЕУ. У результаті дослідження проводилися для трьох територій: 1 зона – західна без території сільськогосподарського призначення, 2 зона – західна з територією сільськогосподарського призначення, 3 зона – східна територія.

Для оцінки очікуваного рівня вироблення електроенергії на визначених майданчиках виконано дослідження вітроенергетичного потенціалу. Для цього в залежності від рельєфу місцевості та віддалення завад у вигляді багатопверхових будинків, об'єктів промислового призначення та лісосмуг було обрано 18 місць ймовірного встановлення ВЕУ та проведено серію вимірювань швидкості та напрямку вітру. Вимірювання здійснювалися п'ять разів на день протягом шести місяців з квітня по жовтень 2018 року з використанням цифрового анемометру та флюгеру. У результаті для кожної точки ймовірного розміщення ВЕУ було отримано дві вибірки довжиною 915 елементів для напрямку й швидкості вітру. Шляхом обробки експериментальних даних виконано структурну та параметричну ідентифікацію статистичних

моделей щільності розподілу ймовірності виникнення швидкості вітру певного значення для трьох раніше визначених зон. Для отримання моделей використовувалася дані з точок вимірювання, що розташовані у відповідних зонах. Встановлено, що найкращу якість апроксимації результатів вимірювань за критерієм мінімуму середньоквадратичної похибки має двопараметричний розподіл Вейбулла. Також визначено, що переважає східний та північно-східний напрямок вітру.

На наступному етапі визначено середньорічне вироблення електроенергії при встановлених вітрових умовах. Для проведення порівняльного аналізу обрано дві ВЕУ потужністю 20 кВт типу WES-20 вітчизняного виробництва і MG-H20KW виробництва КНР. З використанням виразів для визначення потужності вітроустановки в залежності від її конструктивних параметрів та швидкості вітру, що наведені у [1, 2] побудовано криві потужності для кожного агрегату. Для визначення середньої потужності виконувалося інтегрування добутку щільності розподілу швидкостей вітру відповідної зони на характеристики потужності ВЕУ у межах від нуля до максимальної швидкості вітру. Результати розрахунку зведені у табл. 1.

Таблиця 1. Вироблення електроенергії у вітрових умовах мікрорайону

Територія	Середня потужність ВЕУ, кВт		Середньорічне вироблення електроенергії, кВт·год/рік	
	WES-20	MG-H20KW	WES-20	MG-H20KW
Зона 1	2,454	1,452	21204,5	12547,04
Зона 2	3,435	2,033	29680,36	17562,34
Зона 3	2,74	1,621	23675,73	14009,31
Загальна територія	3,189	1,887	27557,82	16306,4

Отримані результати демонструють, що найбільше середньорічне вироблення електроенергії може бути забезпечене при розміщенні ВЕУ типу WES-20 у зоні 2, на 39,9% і 25,4% вище ніж при встановленні аналогічних агрегатів у зонах 1 і 3, відповідно. При застосуванні ВЕУ типу MG-H20KW виробництво електроенергії буде нижчим на 40,8% у всіх трьох зонах. ВЕУ WES-20 не зважаючи на практично у двічі більшу вартість дозволяє виробляти більше електроенергії у порівнянні з аналогом при однаковій швидкості вітру. Додатково було визначено, що при застосуванні ВЕУ WES-20 і MG-H20KW собівартість виробництва електроенергії становитиме 8,08 і 5,85 грн/кВт·год, відповідно.

Висновки. Результати досліджень продемонстрували, що ВЕУ низької потужності можуть бути використані у структурі системи електропостачання мікрорайону. Проте для забезпечення ефективного функціонування вітроелектростанція повинна займати велику площу і собівартість виробництва електроенергії залишається достатньо високою у порівнянні з традиційною генерацією.

Подальші дослідження будуть спрямовані на визначення впливу функціонування локальної вітроелектростанції на режими роботи енергосистеми міста та встановлення оптимальної кількості агрегатів, що можуть бути розміщені на території з найбільшим вітроенергетичним потенціалом.

Література

1. Anaya-Lara, O. Wind energy generation: modelling and control / O. Anaya-Lara, N. Jenkins, J. Ekanayake, P. Cartwright, M. Hughes. – John Wiley and Sons, 2009. – 269 p.
2. Півняк Г. Основи вітроенергетики / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, Н. Нойбергер, Д. Цицленков. – Д.: НГУ, 2015. – 335 с.

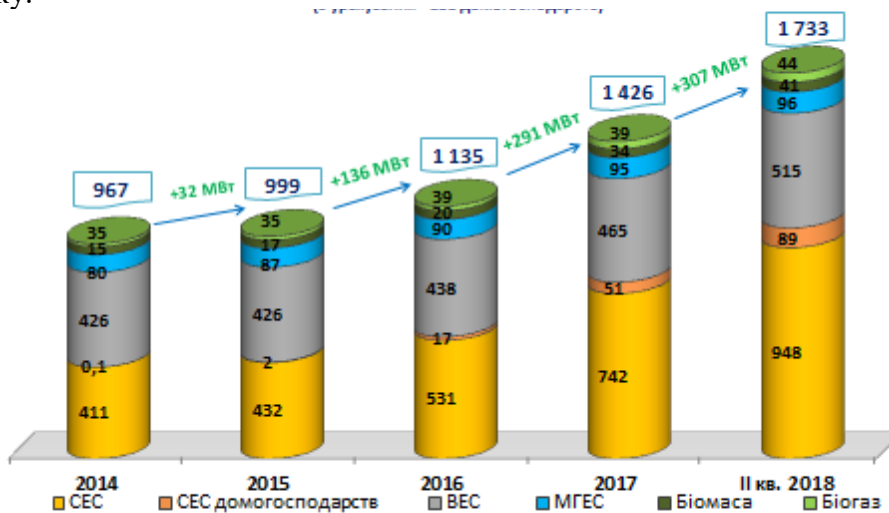
Остапчук О.В., доцент, д.т.н., Бudyко В.І., доцент, к.т.н.

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна
ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ДЖЕРЕЛ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ В ЕНЕРГОСИСТЕМІ УКРАЇНИ

Анотація. Наведено основні відомості щодо розвитку об'єктів відновлюваної енергетики України, станом на кінець першого півріччя 2018 року. Проаналізовану динаміку розвитку цих об'єктів та визначено найбільш привабливі виходячи з умов «зеленого тарифу». Запропоновано шляхи удосконалення роботи систем розподіленої генерації з урахуванням особливостей функціонування енергосистеми України.

За останнє десятиліття альтернативна енергетика у світі перетворилася з екзотичної галузі у один з драйверів світової економіки. Відповідно до звіту міжнародної організації REN21 загальна встановлена потужність об'єктів відновлюваної енергетики на кінець 2017 року склала 2,2 ГВт [1]. Не є винятком і економіка України, так відповідно до даних Державної агенції з енергоефективності [2], тільки за перше півріччя 2018 року до вітчизняної енергосистеми було підключено близько 307 МВт «зеленої енергії», що у 2 рази більше ніж за перше півріччя 2017 року (127 МВт) та більше ніж за весь 2017 рік (291 МВт).

На рисунку наведено розподіл джерел відновлюваної енергетики станом на кінець I півріччя 2018 року.



Встановлена потужність об'єктів відновлюваної енергетики, що працюють за «зеленим тарифом», МВт (з урахуванням СЕС домогосподарств)

Виходячи з наведених даних, сьогодні в Україні працює 4919 об'єктів відновлюваної енергетики, яким встановлено «зелений» тариф, загальною потужністю 1733 МВт, з них:

- 260 СЕС загальною потужністю 948 МВт;
- 25 ВЕС загальною потужністю 515 МВт;
- 138 МГЕС загальною потужністю 96 МВт;
- 4660 СЕС приватних домогосподарств 89 МВт;
- 7 електростанцій на біомасі загальною потужністю 44 МВт;
- 29 електростанцій на біогазі загальною потужністю 41 МВт.

За I півріччя 2018 року було введено 1727 об'єктів відновлюваної енергетики загальною потужністю 307 МВт, з них:

- 61 об'єкт сонячної енергетики загальною потужністю 206 МВт;
- 5 об'єктів вітроенергетики загальною потужністю 50 МВт;
- 1650 сонячних домогосподарств загальною потужністю 38 МВт;
- 8 електростанцій на біогазі загальною потужністю 7 МВт;
- 1 електростанція на біомасі потужністю 5 МВт;
- 2 об'єкти малої гідроенергетики загальною потужністю 1 МВт.

Використовуючи наведені данні, можна зробити висновки щодо динаміки розвитку окремих систем генерації. У відповідності до наведеного переліку такими об'єктами є сонячні електростанції промислового типу та установки сонячної генерації приватних домогосподарств. Через сприятливі законодавчі умови у найближчому майбутньому їх частка буде тільки збільшуватись, так уже відомі проекти на побудову промислових сонячних електростанцій з встановленою потужністю до 200 МВт [3].

Нажаль, якась стратегія ефективного використання таких об'єктів генерації в об'єднаній енергосистемі України з урахуванням особливостей їх функціонування, на сьогодні відсутня [4]. Так компанія НЕК «Укренерго» заявляє про брак маневрених потужностей у найближчій перспективі, тому існують наміри щодо пілотного проекту про спорудження системи «energy storage» загальною потужністю 200 МВт для балансування роботи вітчизняних СЕС та ВЕС в об'єднаній енергосистемі [5]. Також компанією «Укренерго» створено карту, де вказані місця в яких можуть бути підключені потужні об'єкти розподіленої генерації [6]. Вказані заходи не сприяють підвищенню інвестиційної привабливості на ринку вітчизняної альтернативної енергетики. Як цьому можна завадити?

По-перше, враховуючи стохастичний характер роботи вітрових та сонячних електростанцій, можна запропонувати створення локальних систем (Micro Grid). Ключовими елементами таких мереж є децентралізація контролю над мережею завдяки локальним мережевим вузлам, сучасні системи контролю, моніторингу та розподілу електроенергії, а також включення в мережу відновлюваних джерел електроенергії. Ідея створення Micro Grid ґрунтується на створенні локальних мережових енергоструктур в окремих регіонах. Передбачається, що на віддалених територіях є певний запас власних енергоресурсів, які можуть частково або повністю задовольнити попит споживачів і знизити навантаження на центральну енергосистему. Характерною ознакою цього напрямку є застосування відновлюваних джерел енергії, інтерес до яких з кожним роком неухильно зростає. Важливою властивістю Micro Grid є те, що, незважаючи на функціонування в рамках розподільної системи, вони можуть автоматично переводитися в ізолюваний стан у разі аварій в мережі і відновлювати синхронізацію з мережею після усунення аварії з підтриманням необхідної якості електричної енергії. Мікромережі будуть частиною енергетичної системи: вони пов'язані з регіональними мережами, і через них – з електричною мережею країни. Будучи автономними або підключеними до національної енергетичної мережі, мікромережі можуть розміщуватися в безпосередній близькості від споживачів (невеликих міст, сіл, заводів) і виробляти електроенергію «на місці», істотно знижуючи втрати при передачі і підвищуючи, таким чином, ККД. Ця ідея повинна бути реалізована на базі територіальних громад з залученням пільгового кредитування, а також шляхом впровадження короткочасних курсів навчання окремих представників на відповідних кафедрах університетів, з on-line підтримкою, консультаційною допомогою, розробкою дистанційних електронних підручників тощо.

По-друге, сучасні інвертори сонячних станцій дозволяють регулювати значення реактивної потужності, що дозволить їх використовувати в якості як генераторів так споживачів цієї енергії. Вказаний захід потребує в першу чергу законодавчої підтримки для фінансової привабливості зацікавлених осіб. Розроблені заходи можуть бути використанні при виділенні нових місць для побудови електростанцій у якості регуляторів потоків реактивної потужності та створити передумови для розвитку так званих «інтелектуальних мереж» (Smart Grid).

По-третє, якщо сформована інтелектуальна мережа можна розраховувати на побудову «віртуальних електростанцій», які дозволять знаходити маневрені потужності в системі. Особливістю «віртуальних електростанцій» є те що вони за своєю суттю не є генераторами електричної енергії. Їх головна роль, це диспетчеризація енергії, що виробляється об'єктами розподіленої генерації та керування процесом її споживання з урахуванням особливостей електричного навантаження (наприклад холодильні установки, об'єкти з електричним опаленням) або накопичення (використання ємностей акумуляторів електромобілів чи промислових джерел безперебійного живлення).

Висновок. Відповідно до наведених шляхів розвитку джерел розподіленої генерації, є необхідним використання цих обставин при пошуку маневрених потужностей не тільки за

рахунок побудови нових коштовних об'єктів генерації чи накопичення енергії, а і за рахунок внутрішніх резервів енергосистеми з урахуванням нових етапів її розвитку.

Перелік посилань

1. Самый полный отчет о мировом развитии ВИЭ в 2017 году [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://renen.ru/the-most-comprehensive-report-on-the-world-development-of-res-in-2017> (дата звернення 10.10.18). – Назва з екрана.
2. Інформація щодо потужності та обсягів виробництва електроенергії об'єктами відновлюваної електроенергетики, яким встановлено «зелений» тариф (станом на 30.06.2018) [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://saee.gov.ua/sites/default/files/RE_1_half_2018.pdf (дата звернення 10.10.18). – Назва з екрана.
3. План розвитку системи передачі на 2019-2028 роки (проект) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/03/PROEKT-Planu-rozvytku-systemy-pereдачи-na-2019-2028-roku.pdf> (дата звернення 10.10.18). – Назва з екрана.
4. Компанія Ахметова почала будівництво двох "зелених" електростанцій [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://biz.nv.ua/ukr/markets/kompanija-akhmetova-pochala-budivnitstvo-sonjachnoji-i-vitroelektrostantsiji-2499024.html> (дата звернення 8.10.18). – Назва з екрана.
5. "Укренерго" за участю французької RTE хоче побудувати гігантську батарею на 200 МВт [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://allkharkov.ua/news/biz/ykrenergo-za-ychastu-francyzko-rte-hoche-pobydyvati-ggantsky-batareu-na-200-mvt.html> (дата звернення 28.10.18). – Назва з екрана.
6. Звільнити потужності: карта підключень для потенційних інвесторів [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://mind.ua/publications/20187327-zvilniti-potuzhnosti-karta-pidklyuchen-dlya-potencijnih-investoriv> (дата звернення 3.08.18). – Назва з екрана

Якимець С. М., к. т. н., доцент

*Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: niy_iium@kdu.edu*

Якимець М.С., студентка, гр. УА–18м–2

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

пр. Гагаріна, 72, м. Дніпро, 49000, Україна. E-mail: m_yakimets@gmail.com

ОЦІНКА ПЕРСПЕКТИВИ РІВНЯ БАРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ВІТРОВИХ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ В БЕРЕГОВИХ ЗОНАХ ВОДОСХОВИЩ ДНІПРОВСЬКОГО КАСКАДУ

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Згідно з прогнозом чинної Енергетичної стратегії України доцільна сукупна потужність відновлюваних джерел енергії у 2030р. має складати 12,6 % від загальної встановленої потужності або 8 ГВт, а обсяг виробітку – 14 ТВт-год. Виходячи з досвіду більшості європейських країн з впровадження вітрових електричних станцій (ВЕС), цільовий рівень встановленої потужності ВЕС в Україні до 2030 р. повинен складати 3...4 ГВт [1].

Незважаючи на те, що найбільші темпи зростання встановленої потужності в останні роки показали саме ВЕС (встановлена потужність їх зросла майже в 2,5 рази – з 440 МВт у 2016 році до 1085 МВт на кінець 2018 року) у подальшому буде спостерігатися тенденція зниження темпу розвитку: 1382 МВт у 2019, 1670 МВт у 2021, 1720 МВт у 2023, 1780 МВт у 2026 роках [2]. Це пояснюється, в першу чергу, необхідністю значних інвестицій (для досягнення максимального потенціалу вітрогенерації у розмірі 10-16 ГВт необхідно понад \$25 млрд.), а також поступовою забудовою найбільш перспективних щодо вітрового потенціалу районів [1]. Зважаючи на реалії сьогодення, збільшення фінансування є проблематичним, тому необхідно приділити більше уваги можливостям «малої» вітроенергетики та підсилення їх ролі в активному розвитку вітрових джерел енергії.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТ ДОСЛІДЖЕНЬ. Інтегральна оцінка вітрового потенціалу України ґрунтується на географічних закономірностях: циркуляції атмосфери та рельєфі території. Просторовий розподіл атмосферного тиску є передумовою виникнення баричного градієнту, який визначає повітряну циркуляцію в різних просторових рівнях [3]. Циркуляція повітряних мас над територією України зумовлена, перш за все, її положенням в загальноєвропейській баричній системі. Основною формою циркуляції над Україною, як і над іншими територіями середніх широт, є циклонічна і антициклонічна діяльність.

Сказане зумовлює карту районування вітрових навантажень (рисунок 1), на якій ізобарами виділені території, перспективні з точки зору вітрового потенціалу.

Перспектива впровадження та експлуатації близько 30% потужностей, вказаних у таблиці 1 є проблематичною, з огляду на анексію Криму та геополітичну ситуацію у частині областей сходу України. Це зумовлює ще більшу актуальність проблеми пошуку альтернативних місць розташування з неврахованим вітровим потенціалом.

Місцеве баричне поле визначається типом і термічним режимом підстелюючої поверхні. Як видно з рис. 1, градієнти полів атмосферного тиску є найбільшими у місцях термічних контрастів. Перш за все це берегова смуга морів, де виникають місцеві вітри, які накладаються на більш загальну циркуляцію повітря у приземному шарі та спричиняються певними формами рельєфу.

Таким чином, з огляду на вибір місця для розміщення ВЕС суттєвий вплив виявляти локальні ділянки місцевості, найбільш сприятливі у цих відношеннях. Однією з особливостей використання ВЕС є притаманна їм значна земле місткість.

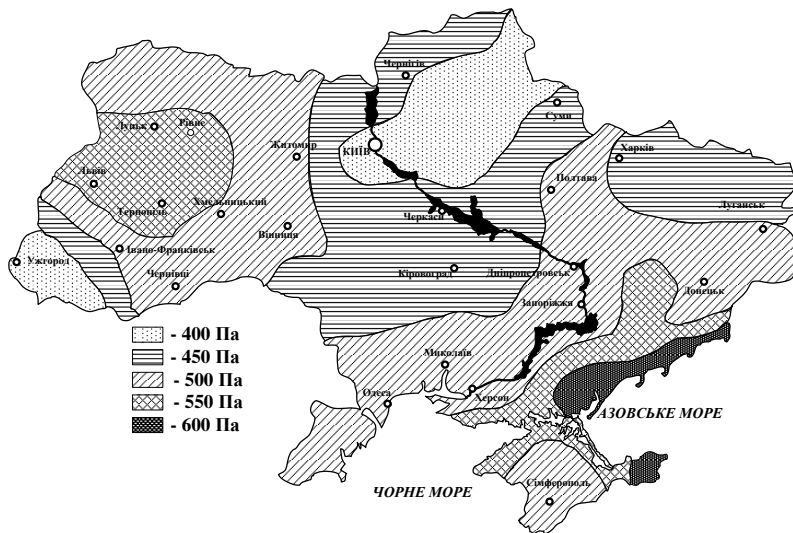


Рисунок 1 – Карта районування вітрових навантажень

Потужні промислові ВЕС потребують площ від 5 до 15 км²/МВт залежно від переважаючих напрямів вітрів та рельєфу району. Для ВЕС потужністю 1000 МВт потрібна ділянка площею 70...200 км² [4]. Виділення таких площ у промислових регіонах пов'язане з великими труднощами. З іншого боку, складності застосування вітрових установок в умовах близької забудови пов'язані

з безпекою та акустичним впливом на навколишнє середовище. У разі аварій великих вітрових енергетичних установок (ВЕУ) лопать при відриві може бути відкинута на відстань від 400 до 800 м, хоча ступінь ризику зменшується при збільшенні їх надійності. Шумові ефекти від ВЕУ мають різну природу та поділяються на механічні (шуми від підшипників, редукторів та генераторів) і аеродинамічні, які викликані обертанням робочого колеса. Останні можуть бути низькочастотними та високочастотними (від 20 до декількох кГц).

Приведений аналіз дозволяє стверджувати про перспективність розміщення ВЕС в береговій зоні акваторії водосховищ дніпровського каскаду. Протяжність русла Дніпра, що протікає територією України та зарегульована каскадом водосховищ складає 881 км. Загальна площа водного дзеркала (рис.1) складає 6950 км². Значні території, відведені під санітарні зони вздовж гребель, дозволяють розмістити ВЕУ без суттєвого впливу на навколишнє середовище. Вітровий парк акваторії, в силу наявності градієнтних температурних полів, дозволяє забезпечити ВЕС малої потужності, розташовані в береговій зоні, достатнім баричним навантаженням.

ВИСНОВКИ. Аналіз вивчення причин формування зон вітрових навантажень залежно від циркуляції атмосфери та рельєфу території показав перспективність застосування ВЕУ малої потужності в берегових смугах водосховищ дніпровського каскаду. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на отримання кількісних баричних показників у місцях термічних контрастів повітря.

Література

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. Кабінет Міністрів України; Стратегія від 24.07.2013 [Електронний ресурс]: Верховна Рада України. Офіційний веб-портал. – Електрон. Дані. – Київ, 2013. – Режим доступу <http://www.rada.gov.ua/>
2. План розвитку Об'єднаної енергетичної системи України на 2017-2026 роки (проект). [Електронний ресурс]: Державне підприємство Національна енергетична компанія «Укренерго». Офіційний веб-портал. – Електрон. дані. – Київ, 2018. – Режим доступу <http://www.ukrenergo.energy.gov.ua>
3. Величко С. А. Енергетика навколишнього середовища України (з електронними картами). Навчально-методичний посібник для магістрантів. Науковий редактор проф. І. Г. Черваньов – Харків: Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна. – 2003. – 52с.
4. Сліпченко В. Г. Еколого-економічні збитки: кількісна оцінка / В.Г. Сліпченко, Є.В. Бридун, В.В. Дергачева та ін.; за заг. ред. І. В. Недіна. – К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2001. – 216