

2. Герман-Галкин С.Г. Силовая электроника: Лабораторные работы на ПК: [учебное пособие для студ. вузов] / С.Г. Герман-Галкин. – Санкт-Петербург: КОРОНА принт, 2002. – 304 с.

3. Регульований електропривод. Теорія. Моделювання: підручник для студ. вищ. навч. закладів / [І.М. Голодний, Ю.М. Лавріненко, М.В. Синявський та ін.]; за ред. І.М. Голодного. – К.: Аграр Медіа Груп, 2011.– 513 с.

На модели в MatLab проведен анализ спектрального состава выходного напряжения полупроводникового преобразователя с широтно-импульсным управлением при разной несущей частоте.

Высшие гармоники, преобразователь напряжения, спектральный анализ, модели в системе MatLab.

The analysis of spectral composition of output tension of semiconductor transformer is conducted with a latitudinal-impulsive management at different bearing frequency on a model in Matlab.

Ultraharmonics, transformer of tension, spectrology, models in the system MatLab.

УДК 621.3.016

ВПРОВАДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ СИСТЕМНИХ СПОЖИВАЧІВ-РЕГУЛЯТОРІВ ДОБОВОГО ГРАФІКА НАВАНТАЖЕННЯ ОЕС УКРАЇНИ

А.О. Квицинський, кандидат технічних наук,

А.П. Марценюк, кандидат хімічних наук,

К.Б. Денисевич, інженер

НТЦ електроенергетики НЕК «Укренерго»,

О.В. Шеліманова, кандидат технічних наук

Національний університет

біоресурсів та природокористування України

Виконано техніко-економічне обґрунтування можливих обсягів використання, характеристик, режимів роботи, алгоритмів і схем управління системними споживачами-регуляторами, проекти впровадження яких не потребують значних капітальних вкладень на збільшення пропускної здатності електричних мереж усіх класів напруги.

Добовий графік навантаження, споживачі-регулятори, пропускна здатність електромережі.

За тенденції нарощування в ОЕС України базових неманеврених потужностей АЕС і, як наслідок, загострення, особливо у нічний період, проблем регулювання добового графіка навантаження, проекти впровад-

© А.О. Квицинський, А.П. Марценюк,
К.Б. Денисевич, О.В.Шеліманова, 2012

ження додаткового маневреного електричного навантаження споживачів (споживачів-регуляторів) стають все більш актуальними. Системні споживачі-регулятори, тобто споживачі електричної енергії, які можуть брати участь в узгоджених розмірах регулювання добового графіка навантаження шляхом управління режимами їх електроспоживання, можуть бути розумною економічною альтернативою необхідності будівництва нових системних генеруючих маневрових потужностей (ГЕС, ГАЕС). Одним із перспективних напрямів створення маневреного електричного навантаження споживачів є впровадження засобів електроакумуляційного опалення та гарячого водопостачання (ГВП) у побутовому та промисловому секторах.

Зокрема, авторами [2] було розглянуто можливості ущільнення графіка споживачами електроопалення і ГВП для умов зимового режимного дня 2007–2008 рр. з використанням методу лінійного програмування.

Мета досліджень – виконання техніко-економічного аналізу можливих обсягів впровадження, характеристик, режимів роботи та алгоритмів управління системними споживачами-регуляторами, проекти впровадження яких не потребують значних капітальних вкладень на збільшення пропускної спроможності електричних мереж усіх класів напруги і які можуть бути реалізовані у короткостроковій перспективі за участю НЕК «Укренерго» та обласних енергопостачальних компаній.

Матеріали та методика досліджень. Нині для опалення основних адміністративно-виробничих приміщень підстанцій (ПС) 220–750 кВ електроенергетичні системи НЕК «Укренерго» переважно використовують електричні обігрівачі резистивного типу (ТЕНи, електричні настінні панелі, електрокотли), які працюють у вільному режимі. Споживання електричної енергії на опалення адміністративно-виробничих приміщень підстанцій належить до номенклатури витрат електроенергії на власні потреби, які є частиною технологічних витрат при передаванні електроенергії магістральними електричними мережами [1].

Основні характеристики існуючих систем опалення адміністративно-виробничих приміщень ПС та інших об'єктів магістральних і розподільних електричних мереж, які розглядалися у роботі, наведено у таблиці.

Загальновідомо, що фактичні потреби у тепловій енергії для опалення приміщень залежать від температури зовнішнього повітря протягом опалювального сезону. У зв'язку з цим, використовуючи фактичне значення повної потужності обладнання для вільного режиму опалення (143,9 тис. кВт) та усереднені показники середньомісячної температури у сезоні 2010–2011 рр. нами були розраховані величини фактично необхідної потужності систем опалення в акумуляційному режимі теплозабезпечення (обладнання працює вісім «нічних» годин на добу, опалювальний сезон 180 днів).

Відповідний графік коливань величини фактично необхідної потужності електроакумуляційної системи опалення адміністративно-виробничих приміщень ПС і господарських об'єктів магістральних та розподільних електричних мереж наведено на рис. 1. Як видно з рисунка, діапазон зміни величини фактично-необхідної потужності системи опалення в акумуляційному режимі протягом сезону становить 100 – 275 тис. кВт.

Фактичні параметри існуючих систем опалення адміністративно-виробничих приміщень ПС і господарських об'єктів магістральних та розподільних електричних мереж

Об'єкт	Загальна площа опалюваних приміщень, тис. м ²	Потужність систем опалення, тис. кВт	Сезонне споживання теплової енергії, млн кВт год
Адміністративно-виробничі приміщення ПС 220-750 кВ НЕК «Укренерго»	263, 3	28,1	53,4
Адміністративно-виробничі приміщення ПС 110 (150) кВ і господарські об'єкти обласних енергопостачальних компаній	1 200, 4	115,8	223,2
Разом	1 463, 7	143, 9	276,6

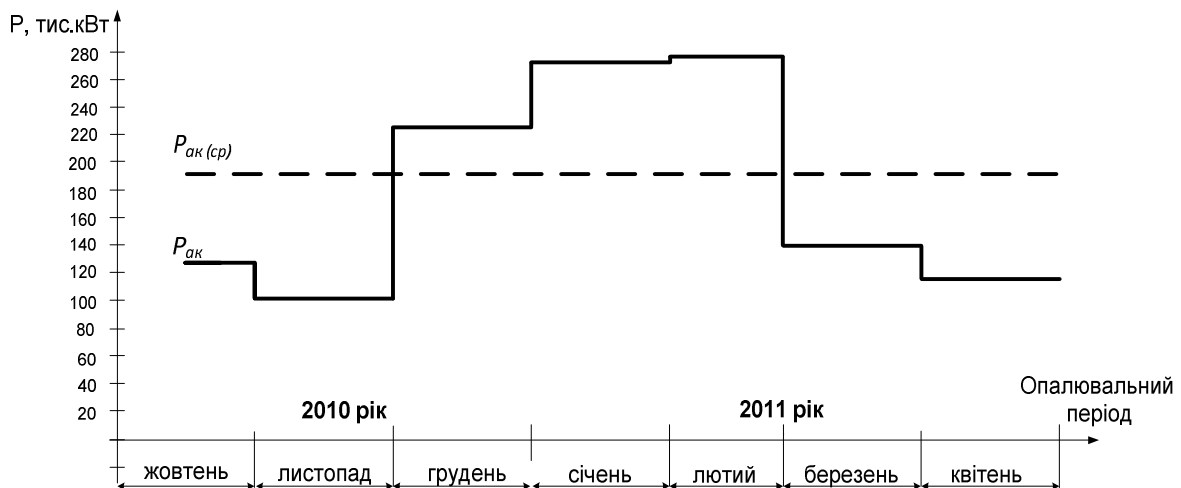


Рис. 1. Графік коливань величини фактично-необхідної потужності системи опалення в акумуляційному режимі для сезону 2010-2011 рр.

При використанні звичайних електричних нагрівачів з вільним режимом електроспоживання регулювання необхідного теплового навантаження системи опалення протягом сезону здійснюється за рахунок відключення частини обладнання. У сучасних засобах електроакумуляційного опалення, наприклад, електроакумуляційних печах з магnezитовим ядром, процеси акумулювання і віддачі тепла керуються автоматикою незалежно один від одного. Процес акумулювання тепла може відбуватися протягом семи-восьми «нічних» години, а процес віддачі тепла відбувається відносно рівномірно протягом всієї доби. Крім того, за допомогою вбудованого терморегулятора і таймера можна керувати процесом акумулювання необхідної кількості теплової енергії у «нічні» години залежно від фактичних тепловтрат опалюваних приміщень (регулювання

температури теплонакопичувального магнетитового ядра та часу його заряду), залишаючи задіяним практично весь наявний склад обладнання. Як наслідок, у випадку використання для опалення адміністративно-виробничих приміщень ПС і господарських об'єктів магістральних та розподільних електричних мереж електроакумуляційних печей, можна забезпечити відносно стабільну величину середньодобового теплового (а, відповідно, й електричного) навантаження повного складу обладнання протягом сезону $P_{ак(ср)}$ на рівні 192 тис. кВт (рис. 1).

Таким чином, впровадження засобів електроакумуляційного опалення на об'єктах магістральних та розподільних електричних мереж дозволить перенести електричне навантаження технологічного обладнання системи опалення на «нічні» години, що створює в енергосистемі додатковий споживач-регулятор, який сприяє вирівнюванню добового графіка навантаження. Крім того, можливість централізованого керування навантаженням систем електричного теплопостачання акумуляційного типу за допомогою існуючих телекомунікаційних каналів зв'язку фактично дозволить впровадити додатковий системний споживач-регулятор добового графіка навантаження енергосистеми. Технічними засобами для керування навантаженням електроакумуляційного обладнання можуть бути системи централізованого телеуправління електроенергетичних систем та енергопостачальних компаній, або засоби «відключення - включення» навантаження «у ручному режимі» черговим персоналом підстанції (або іншого об'єкта) за командою диспетчера.

Реалізація проекту впровадження централізовано керованих засобів електроакумуляційного опалення на об'єктах магістральних та розподільних електричних мереж може бути актуальною для НЕК «Укренерго», наприклад при веденні режимів роботи ГЕС Дніпровського каскаду і Дністровської ГЕС, які забезпечують часткове покриття графіка навантаження та аварійний резерв, мають певні обмеження, пов'язані з комплексним використанням водосховищ, вимогами охорони навколишнього середовища і недостатнім забезпеченням гідроресурсами. Зокрема для регулювання режимів закачки ГАЕС диспетчер НЕК «Укренерго», маючи у своєму розпорядженні близько 200 тис. кВт додаткового маневреного електричного навантаження споживачів, міг би не використовувати щодобово потужність ГЕС для компенсації різкої зміни потужності в ОЕС України під час включення на закачування (відключення після закачування) потужних гідроагрегатів ГАЕС.

Нині середня величина питомої вартості електричних акумуляційних печей з магнетитовим ядром (наприклад, Технотерм) з монтажем становить приблизно 1250 грн/кВт (без ПДВ). Необхідна модернізація внутрішньої мережі живлення засобів електроакумуляційного опалення може бути виконана безпосередньо персоналом електроенергетичних систем і енергопостачальних компаній. Як наслідок, загальна вартість реалізації проекту впровадження додаткових системних споживачів-регуляторів загальною потужністю 192 тис. кВт може бути оцінена у 240 млн грн.

Для електроенергетичних систем НЕК «Укренерго», зокрема, розрахункове середньодобове навантаження засобів електроакумуляційного опалення адміністративно-виробничих приміщень ПС 220–750 кВ при споживанні 53,4 млн кВт·год за сезон становить приблизно 37 тис. кВт (див. таблицю), а вартість реалізації проекту може бути оцінена у 46 млн грн.

В існуючій моделі оптового ринку електроенергії джерелом відшкодування інвестиційних і матеріальних фінансових витрат НЕК «Укренерго» є тариф на передавання електричної енергії магістральними та міждержавними мережами. Прогнозований обсяг передавання електричної енергії магістральними мережами та відповідна середньозважена величина тарифу на передавання електроенергії на 2011 рік становить 133,1 млрд. кВт год і 0,02 грн/кВт год, відповідно. Крім того, за базовим сценарієм споживання електроенергії в Україні на період до 2020 року середньорічне зростання обсягів передавання електричної енергії магістральними мережами складає 2 %.

Результати досліджень. Для оціночного розрахунку середньозваженої величини необхідної надбавки (d_N) до існуючого тарифу для компенсації інвестиційних витрат НЕК «Укренерго» з впровадження засобів електроакумуляційного опалення ПС 220 – 750 кВ використаємо умову рівності інтегрального ефекту нулю:

$$\left[\sum_{n=1}^N \left[\frac{dW1[1 + 0,02(n-1)]}{(1+D)^n} \right] \right] - Pakk = 0 \quad (1)$$

Відповідно

$$d_N = \frac{Pakk}{\sum_{n=1}^N \frac{W1 \left(\frac{n}{50} + \frac{49}{50} \right)}{(D+1,0)^{1,0 \cdot n}}}, \quad (2)$$

де: D – норма дисконту у розмірі поточної облікової ставки НБУ (0,12 в.о.); k – питома вартість електроакумуляційного обладнання, грн/кВт год; n – порядковий номер року розрахункового періоду; N – термін окупності, роки; $W1$ – прогнозований об'єм передавання електричної енергії магістральними мережами, кВт год; Pak – величина середньодобової потужності засобів електроакумуляційного опалення.

Графік залежності розрахункової величини необхідної надбавки до існуючого тарифу при різних термінах окупності проекту у роках наведено на рис. 2.

Як видно з графіка величина необхідної надбавки до існуючого тарифу (d_N) залишається практично незмінною при терміні окупності $N >$ вісім років. Відповідно, при терміні окупності проекту - вісім років, величина необхідної надбавки d до інвестиційної складової тарифу дорівнює $7,01 \cdot 10^{-5}$ грн./кВт·год., що складає приблизно 0,35 % від середньозваженого тарифу на передавання електричної енергії магістральними мережами для 2011 року.

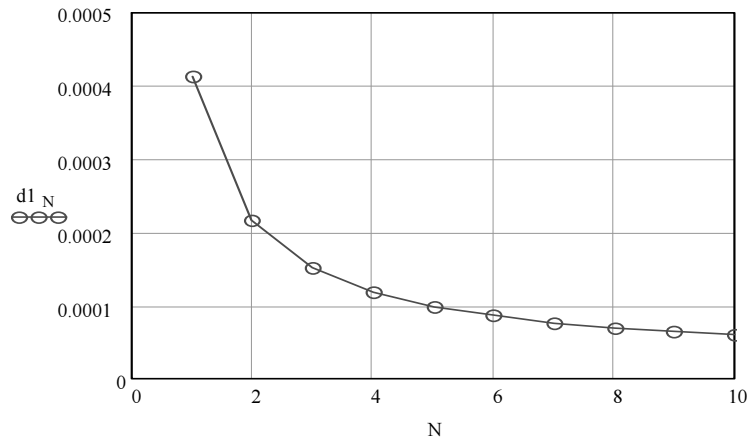


Рис. 2. Залежність величини необхідної надбавки до існуючого тарифу (d_N , грн./ кВт·год) від терміну окупності проекту (N , роки)

Альтернативою необхідності збільшення існуючого тарифу на передавання електричної енергії магістральними мережами для компенсації інвестиційних витрат НЕК «Укренерго» з впровадження системного споживача-регулятора потужністю 37 тис. кВт, є запровадження спеціальної плати за маневреність.

За умови рівності інтегрального ефекту нулю отримуємо:

$$\left[\sum_{n=1}^N \left[\frac{aPak}{(1+D)^n} \right] \right] - Pakk = 0 . \quad (3)$$

Відповідно

$$a_N = - \frac{Dk}{\frac{1}{(D+1)^N} - 1} , \quad (4)$$

де a – середньозважена величина плати за маневреність протягом одного сезону для засобів електроакумуляційного опалення підстанцій НЕК «Укренерго».

На рис. 3 наведено залежність середньозваженої величини сезонної плати за маневреність від терміну окупності проекту у роках.

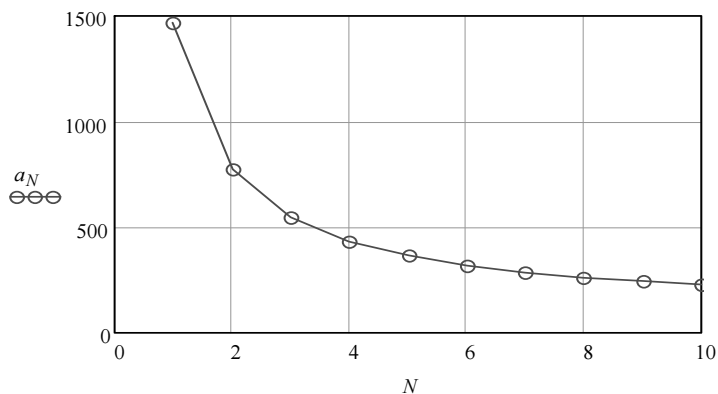


Рис. 3. Залежність величини сезонної плати за маневреність (a_N , грн/кВт) від терміну окупності проекту (N , роки)

Необхідна середньозважена величина погодинної ціни маневреності для засобів електроакумуляційного опалення потужністю 37,0 тис. кВт при терміні окупності проекту вісім років, може бути визначена шляхом ділення відповідної величини сезонної плати за маневреність (264.21 грн /кВт) на середню кількість годин роботи обладнання протягом сезону (1440 год) і становить 0,18 грн /кВт. Слід зазначити, що отриманий результат практично збігається з середньозваженим значенням фактично існуючої ціни маневреності для енергоблоків ТЕС ГК у ОЕС України за добовими графіками навантаження для сезону 2010 – 2011 р.р. [4].

Однією з нагальних проблем комунальної теплоенергетики України є відсутність централізованого гарячого водопостачання значної частини населення. Справа у тому, що внаслідок значного скорочення теплонавантажень та втрат у теплових мережах, незадовільного фінансового стану теплопостачальних організацій близько 50 – 60 % котелень, які повинні забезпечувати опалення та гаряче водопостачання у комунально-побутовому секторі, почали повністю зупинятися в міжопалювальний період. Як наслідок, за останні п'ять років в Україні було реалізовано близько одного мільйона побутових електричних водонагрівачів накопичувального типу (бойлерів) потужністю 1,0 – 2,0 кВт [3]. Особливістю роботи бойлерів є те, що витрати гарячої води на виході з системи поповнюються під тиском холодною водою з зовнішньої водопровідної мережі. Відповідно термостат водонагрівача дає команду на включення ТЕНів вже при незначному пониженні середньої температури води у бойлері. Таким чином, споживання електричної енергії має місце практично при кожному користуванні бойлером і гарантовано припадає на ранкові та вечірні максимуми добового графіка навантаження енергосистеми. За умови тенденції збереження обсягів продаж побутових електричних водонагрівачів в Україні прогнозоване сумарне навантаження цих систем у ранкові та вечірні години доби може становити щонайменше 1000 тис. кВт. Як альтернативу існуючим водонагрівачам можна використовувати бойлер більшого об'єму, обладнаний засобами керування режимом його електроспоживання за допомогою радіосигналу, або примусового обмеження часу його використання за рахунок вбудованого таймера. Такий бойлер буде працювати до п'яти «нічних» годин на добу, споживаючи практично таку ж кількість електроенергії як і водонагрівач, який працює у вільному режимі. Необхідно зазначити, що побутові електричні водонагрівачі переважно використовуються у районних центрах та селищах міського типу України у зв'язку з відсутністю централізованого гарячого водопостачання, а, отже, є розосередженими споживачами електричної енергії. Крім того, проблема гарячого водопостачання, на відміну від опалення, не має чітко вираженої сезонності, а, отже, побутові електричні водонагрівачі за певних умов можуть брати участь у регулюванні добового графіка навантаження протягом всього року.

Широкомасштабне впровадження інших категорій системних споживачів-регуляторів у короткостроковій (побутові засоби електроакумуляційного опалення, технологічні електрохімічні процеси, технологічне

обладнання шахтного водовідведення, електрифікований залізничний транспорт для вантажних перевезень) і довгостроковій перспективі (електромобілі, виробництво і зберігання водню) потребує додаткового дослідження та обґрунтування.

Висновки

1. Впровадження централізовано керованих засобів електроакумуляційного опалення адміністративно-виробничих приміщень ПС та інших об'єктів магістральних і розподільних електричних мереж дозволить перенести споживання близько 276 млн. кВт·год електричної енергії виключно на «нічні» години доби з величиною середньодобової потужності відповідного обладнання на рівні 192 тис. кВт. Участь цих споживачів у регулюванні добового графіка навантаження енергосистеми може бути кваліфіковано і оцінено як надання відповідної системної послуги. Успішне впровадження пілотного проекту централізовано керованого електроакумуляційного опалення адміністративно-виробничих приміщень підстанцій та інших об'єктів магістральних і розподільних електричних мереж дозволить більш виважено підійти до розробки і реалізації Державної програми використання керованих засобів електроакумуляційного опалення у побутовій та промисловій сферах.

2. Державна політика у сфері застосування побутових електричних водонагрівачів (бойлерів) повинна забезпечити обмеження виробництва, імпорту та використання систем, які не обладнані відповідним засобами керування їх навантаженням. Зокрема актуальним є, насамперед, обмеження споживання потужності у години ранкового та вечірнього максимумів навантаження енергосистеми. Реалізація цього проекту може бути, наприклад, перспективною альтернативою необхідності короткочасного включення диспетчером маневрених теплових блоків із резерву для покриття навантаження в години максимуму, а також буде дуже доречною в години мінімального споживання в ОЕС України, коли всі енергоблоки розвантажені до мінімальної величини, а перерозподіл потужності між ОЕС України та енергосистемами країн СНД та Балтії повинен підтримуватись у визначених межах.

3. Можливість управління навантаженням широкої категорії побутових споживачів електричної енергії за допомогою «інтелектуальних» мереж (Smart Grid) є перспективною альтернативою необхідності створення додаткових високовартісних системних регулюючих потужностей (ГЕС, ГАЕС). З цієї точки зору, спираючись на досвід країн Європейського союзу, необхідно провести детальне дослідження перспектив та наслідків впровадження програми залучення широкої категорії споживачів електричної енергії до регулювання добового графіка навантаження ОЕС України за допомогою сучасних електронних приладів обліку, об'єднаних по силовій мережі в єдину систему дистанційного управління абонентською мережею диспетчером енергосистеми (Power Line Communication технології, системи Smart Metering).

Список літератури

1. Витрати електричної енергії на власні та господарські потреби електричних станцій та мереж: ГНД 34.09.205-2004. – К.: Мінпаливенерго, 2004. – 25 с.
2. Квицинський А.О. Щодо ущільнення графіків навантажень за рахунок електроопалення / А.О. Квицинський, К.Б. Денисевич // Новини енергетики. – 2009. – №8. – С. 29–36.
3. Лазуренко А.П. Аккумуляирование энергии в бытовом секторе / А.П. Лазуренко, Г.И. Черкашина // Світлотехніка та електроенергетика. – 2008. – №4. – С. 57-63.
4. Офіційний сайт Державного підприємства «Енергоринок» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.er.energy.gov.u.

Выполнено технико-экономическое обоснование возможных объемов использования, характеристик, режимов работы, алгоритмов и схем управления системными потребителями-регуляторами, проекты внедрения которых не требуют значительных капитальных вложений на увеличение пропускной способности электрических сетей всех классов напряжения.

Суточный график нагрузки, потребители – регуляторы, пропускная способность электросети.

Research is devoted to feasibility of possible amounts of use, features, modes, algorithms and control circuits system-consumer regulators, implementing projects that do not require significant capital investments to increase the capacity of power grids of all voltage classes and that can be implemented in the short run.

Daily schedule load, consumers – regulators, throughput power.

УДК 621. 314.214.33(088.8)

ВЕКТОРНИЙ АНАЛІЗ СХЕМ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА НА ТОРОЇДНИХ МАГНІТОПРОВОДАХ

**М. В. Брагіда, кандидат технічних наук
Я. О. Тримпол, студентка магістратури**

Наведено електричну схему принципово нового технічного рішення зварювального трансформатора, складено рівняння напруг та проведено аналіз їх за допомогою векторних діаграм при різних схемах з'єднання обмоток. Аналіз векторних діаграм показав, що зменшення напруги дуги, а відповідно і струму зварювання відбувається за рахунок падіння напруги в магнітопроводах, наведеної проти-ЕРС обмотки зв'язку та електромагнітної взаємодії обмоток зв'язку та регулювальної (дроселя).

Зварювальний трансформатор, тороїд, обмотка зв'язку, магнітопровід, обмотка регулювання.

© М. В. Брагіда, Я. О. Тримпол, 2012