

УДК 697.31

А. М. ГАНЖА, Н. А. МАРЧЕНКО, В. М. ПІДКОПАЙ, Е. М. НЕМЦЕВ**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕДАЧІ ТЕПЛОТИ ВІД КОТЕЛЬНОЇ ДО ЖИТЛОВОГО МАСИВУ НА ОСНОВІ ГІДРАВЛІЧНИХ РОЗРАХУНКІВ СКЛАДНОЇ ТЕПЛОВОЇ МЕРЕЖІ**

На цей час багато систем теплопостачання мають низьку надійність, теплові мережі протяжні і зношені, багато обладнання вичерпало свій ресурс. Побудовано методи і засоби визначення надійності теплопостачання житлового масиву на основі системного математичного моделювання теплогідрравлічних процесів з урахуванням взаємного впливу елементів системи і впливу зовнішніх факторів. Моделювання теплогідрравлічного режиму теплової мережі показало, що він дуже складний, має низьку надійність і система підлягає реконструкції.

Ключові слова: теплопостачання, гідрравлічний розрахунок, надійність, складна система, моделювання, ефективність

В настоящее время многие системы теплоснабжения имеют низкую надежность, тепловые сети протяженные и изношены, многое оборудование исчерпало свой ресурс. Построены методы и средства определения надежности теплоснабжения жилого массива на основе системного математического моделирования теплогидравлических процессов с учетом взаимного влияния элементов системы и воздействия внешних факторов. Моделирование теплогидравлического режима тепловой сети показало, что он очень сложный, имеет низкую надежность и система подлежит реконструкции.

Ключевые слова: теплоснабжение, гидравлический расчет, надежность, сложная система, моделирование, эффективность

At this time, many heating systems have low reliability, thermal network extended and worn out equipment much depleted. In this paper the case where the heat source (boiler) located at the ground level more than 70 meters above a residential neighborhood. Between the boiler room and provides sub-locality lowering pumping station. Boiler and pump station in operation since 1960. The project was a technological protection of network pipes customers lower zone of unacceptable pressure increase when they hammer a result stop pumping station network pumps, namely plant waste valves. As shown operation of the system, it is not reliable. If a power emergency breaks pump in the heating season occasionally occur hammer and damage to heating systems and have a break in district heating customers. Thermal-hydraulic simulation mode heating network showed that it is very difficult and has low reliability. Reliability individual elements of a complex system significantly affects the operation of the system and its plots. Therefore, the existing heating circuit should be changed to improve its efficiency and reliability. The methods and tools can be applied to other heating systems.

Keywords: heating, hydraulic calculation, reliability, complex system modeling, efficiency

Вступ. На даний час теплопостачання житлових масивів багатьох міст здійснюється від великих джерел теплової енергії, що обладнані водогрійними та паровими котлами, які були введені в експлуатацію 30–40 років тому. Котельні розташовані на значній відстані від масивів, а теплові мережі від них мають значний знос. Транспортування теплоносія від джерел до мікрорайонів здійснюється по магістральним трубопроводам, що мають, як правило, великі діаметри. Це обумовлює значні теплові втрати при постачанні теплової енергії до масивів. Крім того, стан ізоляції на цих трубопроводах, як правило, незадовільний, що збільшує теплові втрати. Великі відстані, на які транспортується теплоносій, обумовлюють значні витрати електроенергії на транспортування та розподіл. Ще однією особливістю є те, що місцеві теплові мережі опалення підключені в основному по залежній схемі через теплорозподільчі пункти (ТРП) та елеваторні системи. Стан елеваторів часто буває незадовільними, що погіршує якість опалення будинків або призводить до погіршення якості і надійності теплопостачання. У останній час деякі споживачі відмовляються від централізованого теплопостачання, що зменшує потребу в постачанні теплової енергії. Крім того, самі схеми теплопостачання мають невисоку надійність.

Постановка задачі. У цій роботі розглянута саме така система теплопостачання житлового масиву великого міста (див. рис. 1). Джерело теплопостачання (котельня) розташоване за рівнем землі більш ніж на 70 м вище житлового мікрорайону. Між котельнею та мікрорайоном передбачена понижуюча насосна станція. Котельня і насосна станція знаходяться в

експлуатації з 1960-х років. Проектом був передбачений технологічний захист трубопроводів теплових мереж споживачів нижньої зони від неприпустимого підвищення тиску в них при гідроударі в результаті знеживлення (зупинки) мережних насосів насосної станції, а саме установка скидних клапанів. Як показала практика експлуатації цієї системи, вона не є надійною. При аварійних перервах в електропостачанні насосної в опалювальному сезоні періодично мають місце гідроудари та uszkodження теплових мереж, а також змушені перерви в теплопостачанні споживачів.

Тому враховуючи вищесказане, розробка і наукове обґрунтування методів і засобів визначення надійності теплопостачання житлового масиву на основі системного математичного моделювання теплогідрравлічних процесів являється актуальною задачею в енергозбереженні.

Моделювання теплогідрравлічного режиму теплової мережі проводилось з використанням розробленої на кафедрі теплотехніки та енергоефективних технологій НТУ «ХП» програми теплогідрравлічного розрахунку складної теплової мережі з використанням методів теорії графів [1, 2] та методики визначення теплових втрат при транспортуванні теплоносія.

Приклад графу для складної мережі наведено на рис. 2.

Вихідними даними для розрахунку є:

1. Характеристики кожної ділянки (дуги графу):

а) для теплотрас: діаметр трубопроводу; тип прокладання (надземне, підземне каналне чи в ґрунті); довжина ділянки (з урахуванням

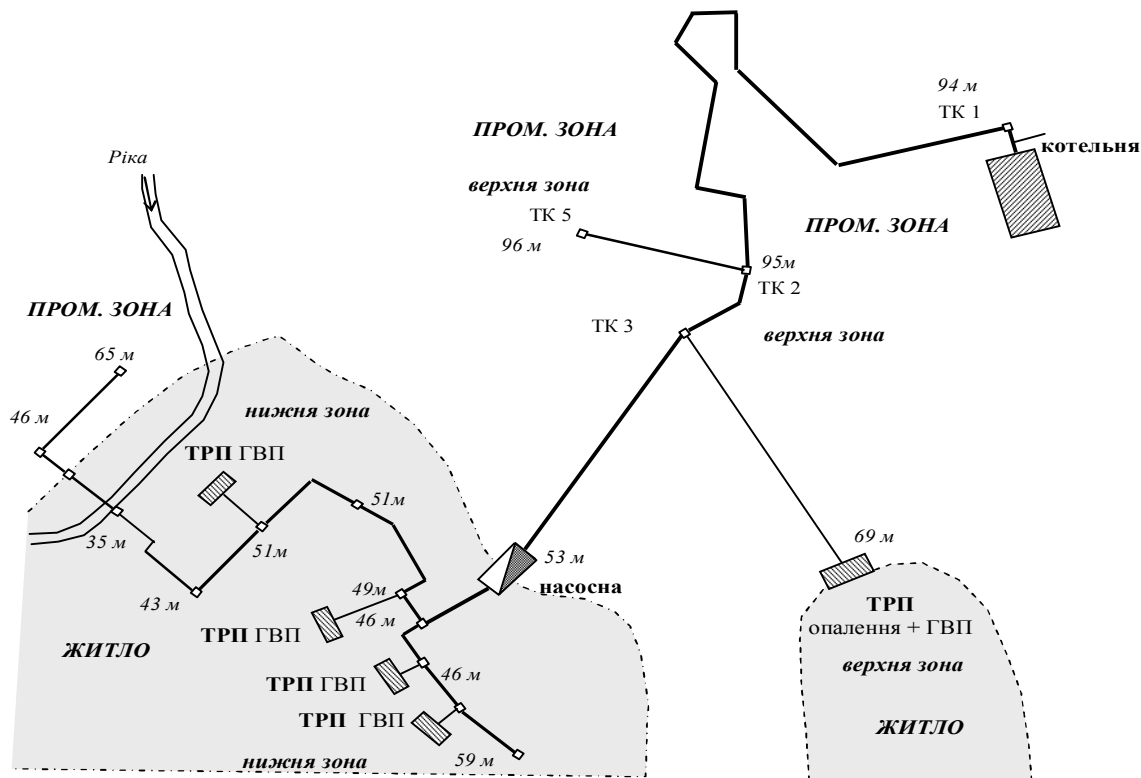


Рис. 1 – Схема теплопостачання житлового масиву

ГВП – гаряче водопостачання, ТК – тепла камера, ТРП – теплорозподільчий пункт

компенсаторів); нормативна шорсткість внутрішньої втрат; температура навколишнього середовища б) для насосів: кількість включених паралельно; номінальна потужність електродвигуна; гідравлічна характеристика (ККД, напір).

в) для арматури (клапани, засувки, елементи обладнання): кількість елементів, включених паралельно; сумарний коефіцієнт втрат (у квадратичному законі);

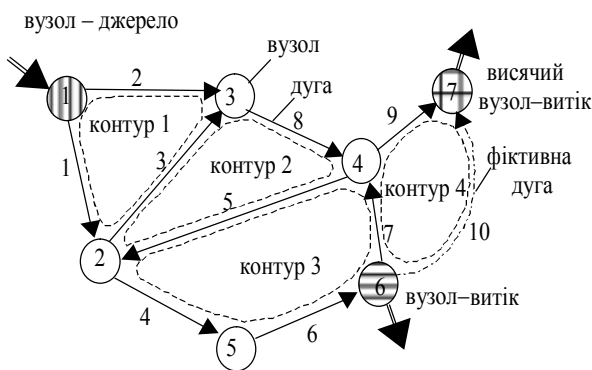


Рис. 2 – Приклад графу складної мережі

г) для теплової мережі споживачів: сумарний коефіцієнт втрат (у квадратичному законі); підключене теплове навантаження; нормативна температура повітря в середині приміщень;

д) для підігрівачів гарячої води: сумарний коефіцієнт втрат (у квадратичному законі);

поверхні; коефіцієнт місцевих (повітря чи ґрунту); підключене теплове навантаження; нормативна температура гарячої води;

2. Характеристики кожного вузла (вершини графу):

а) висота;

б) якщо вузол джерело – витрата та температура, теплоносія що додається, тепловий потік у вузол;

в) якщо вузол скид – витрата теплоносія та тепловий потік, що стікає з вузла ззовні;

г) для граничних вузлів – статичний тиск та температура теплоносія.

3. Характеристики графу схеми теплової мережі:

а) матриця з'єднань (інцидентів):

номер ребра (ділянки); ідентифікатор типу; початковий та кінцевий вузол.

б) перелік та тип граничних вузлів (джерело чи скид);

4. Характеристики роботи теплової мережі (температурні графіки, температури оточуючого середовища).

Усі ці дані зберігаються у базі даних (див. рис. 3)

Додатково у розрахунковій програмі використовуються:

а) формули для питомих безрозмірних теплових характеристик теплової мережі споживачів та підігрівачів гарячого водопостачання з [3];

б) норми питомих теплових втрат з 1 м довжини в залежності від типу прокладання ділянки теплотраси з [4] з урахуванням коефіцієнтів, що враховують фактичний стан ізоляції кожної ділянки;

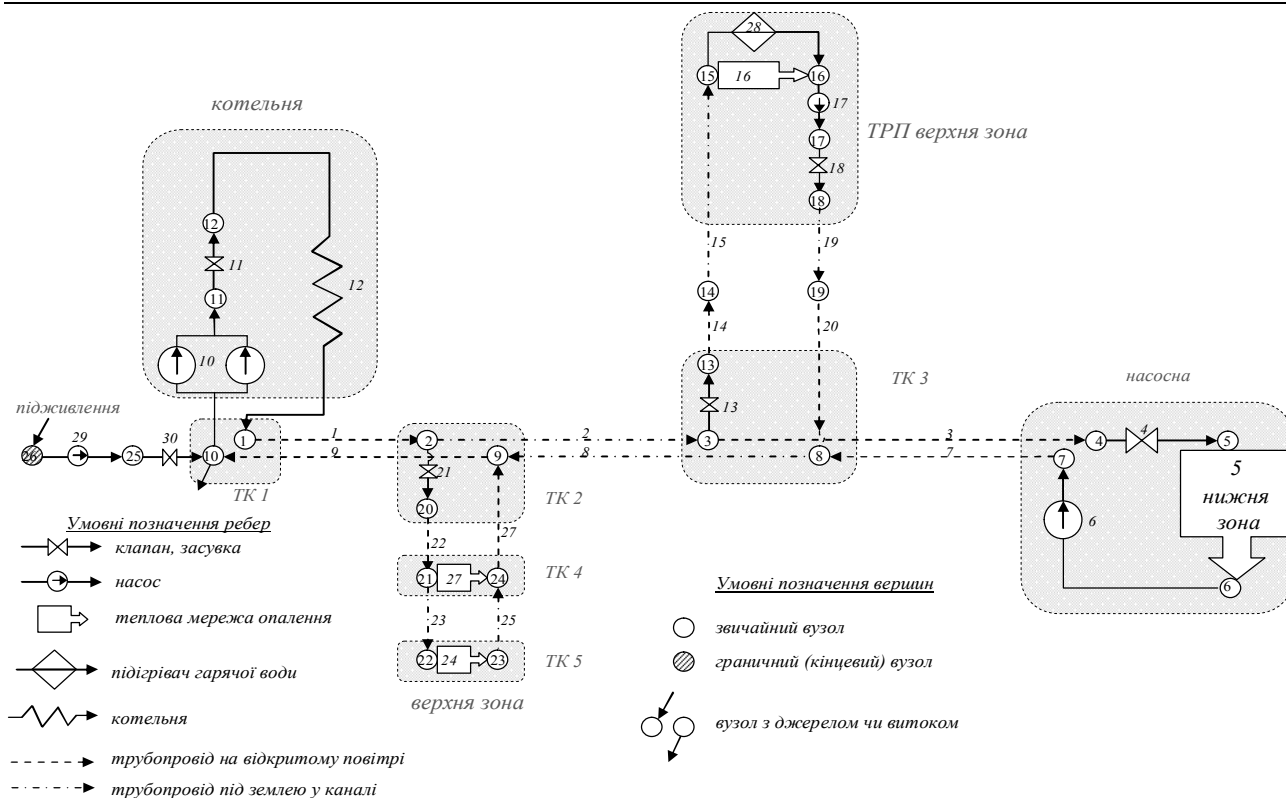


Рис. 3 – Граф системи тепlopостачання житлового масиву

в) теплофізичні властивості води від тиску і температури;

г) формули для гідравлічних і місцевих опорів ділянок з [5].

Для ідентифікації сумарних коефіцієнтів втрат деяких ділянок теплової мережі (теплова мережа споживачів, підігрівачі) та коефіцієнтів місцевих втрат трубопроводів використовуються дані замірів параметрів теплогідравлічного режиму в характерних вузлах системи.

Розрахунок гідравлічного режиму теплової мережі проводився в таких варіантах:

- нормальний режим (для верифікації моделі);
- відключено підкачувальний насос на ТРП верхньої зони;
- відключено підкачувальний насос на насосній;
- відключено підкачувальний насос на насосній та підкачувальний насос на ТРП верхньої зони;
- відключено мережні насоси на котельні;
- відключено мережні насоси на котельні та підкачувальний насос на ТРП верхньої зони.

Аналіз результатів. При аналізі даних розрахунку нормального режиму (варіант 1) встановлено, що розбіжність розрахункових даних з вихідними даними (по тискам і витратам) складає не більше 0,5 %, що говорить про адекватність моделі і можливість її застосування для інших режимів. Відпуск теплоти до споживачів нижньої зони і ТРП верхньої зони знаходиться в межах норми. Відпуск теплоти до споживачів, що підключені до теплотраси від ТК 2 до ТК 5 значно нижче норми (температури

внутрішнього повітря 13–14°C) у зв'язку з великими тепловими втратами, що пов'язані зі значною протяжністю теплотрас великого діаметру і малим тепловим навантаженням. Слід зазначити, що в розрахунку не були враховані теплові втрати в квартирній тепловій мережі.

При відключенні підкачувального насосу на ТРП верхньої зони (варіант 2) витрата теплоносія на ТРП падає в 2,4 рази, температура внутрішнього повітря і гарячої води знижується відповідно до 12°C і 35°C. Загальна витрата теплоносія незначно зменшується (з 1245 до 1218 т/год), що призводить до незначного підвищення його тиску в окремих точках схеми. До споживачів нижньої зони і теплотраси від ТК 2 до ТК 5 надходить трохи більше теплоносія, що призводить до незначного підвищення відпуску теплоти до них.

При відключенні підкачувального насосу на насосній (варіант 3) загальна витрата теплоносія через котли зменшується з 1245 до 983 т/год. Недопустимо підвищуються надлишкові тиски теплоносія в нижній зоні (перед регулюючим клапаном до 10 кгс/см², зворотного теплоносія нижньої зони – до 7,2 кгс/см²), у верхній зоні ТРП – до 9–10 кгс/см². Кількість теплоносія в нижній зоні зменшується на 25 %, що призводить до недовідпуску теплоти. В районі ТРП верхньої зони витрата теплоносія зростає на 15 %, що призводить до перетопу в цих споживачів. У зоні теплотраси від ТК 2 до ТК 5 витрата теплоносія зростає в 2 рази.

При відключенні підкачувального насосу на насосній та підкачувального насосу на ТРП верхньої зони (варіант 4) загальна витрата теплоносія через котли зменшується з 1245 до 966 т/год. Недопустимо підвищуються надлишкові тиски теплоносія у нижній зоні (перед регулюючим клапаном до 10 кгс/см², зворотного теплоносія нижньої зони – до 7,2 кгс/см²), у верхній зоні ТРП – до 7,5–9 кгс/см². Кількість теплоносія в нижній зоні зменшується на 22 %, що призводить до невідпуску теплоти. В районі ТРП верхньої зони витрата теплоносія також падає на 22 %, що також призводить до недотопу в цих споживачів. В зоні теплотраси від ТК 2 до ТК 5 витрата теплоносія зростає у 2 рази.

При відключенні мережних насосів на котельні (варіант 5) загальна витрата теплоносія через котли зменшується з 1245 до 844 т/год. Тиски теплоносія у верхній зоні недопустимо низькі (особливо на прямому трубопроводі ТК 2, ТК 4 і ТК 5). Температура теплоносія в прямому трубопроводі ТК 2 близька до закипання. В мережі теплотраси від ТК 2 до ТК 5 відбувається "перекидання" циркуляції з можливим закипанням теплоносія. В нижній частині та в районі ТРП верхньої зони витрата теплоносія падає на 32 %, що призводить до недотопу в цих споживачів.

При відключенні мережних насосів на котельні та підкачувального насосу на ТРП верхньої зони (варіант 6) загальна витрата теплоносія через котли зменшується з 1245 до 779 т/год. Це призводить до наслідків, як і в варіанті 5, тобто до зниження тиску теплоносія в нижній частині до неприпустимо низького рівня; температура теплоносія в прямому трубопроводі ТК 2 близька до закипання; в мережі теплотраси від ТК 2 до ТК 5 відбувається "перекидання" циркуляції з можливим закипанням теплоносія. На відміну від попереднього варіанта в нижній зоні витрата теплоносія падає на 25 %, що також призводить до недотопу в цих споживачів. У верхній зоні ТРП у цьому випадку також відбувається "перекидання" циркуляції, але ймовірність закипання менша, ніж у мережі теплотраси від ТК 2 до ТК 5.

Таким чином "перекидання" циркуляції у цьому випадку відбувається у всій верхній зоні.

Висновки. Побудовані методи і засоби визначення надійності теплопостачання житлового масиву на основі системного математичного моделювання теплогідравлічних процесів з урахуванням взаємного впливу елементів системи і впливу зовнішніх факторів. Моделювання теплогідравлічного режиму теплової мережі показало, що він дуже складний та має низьку надійність. Надійність окремих елементів складної системи відчутно впливає на роботу всієї системи та її ділянок. Тому існуюча схема теплопостачання повинна бути змінена з метою підвищення її ефективності та надійності. Розроблені методи і засоби можуть бути застосовані і для інших систем теплопостачання.

Список літератури:

1. Хасилев В. Н. Методы и алгоритмы расчета тепловых сетей / В. Н. Хасилев, А. П. Меренков, Б. М. Качанович [и др.] – М.: Энергия, 1978. – 175 с.
2. Берж К. Теория графов и ее применение / К. Берж – М.: ИЛ, 1962. – 319 с.
3. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети / Соколов Е. Я. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 360 с.
4. Методические указания по определению тепловых потерь в водяных и паровых тепловых сетях: РД 34.09.255 (МУ 34-70-080-84) – М.: – Союзтехэнерго. – 1985. – 72 с.
5. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И. Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1975. – 559 с.

References (transliterated)

1. Hasilev, V. N., et al. "Metody i algoritmyi rascheta teplovyih setey." Moscow: Energiya, 1978. Print.
2. Berzh, K. "Teoriya grafov i ee primeneniye". Moscow: IL, 1962. Print.
3. Sokolov, E. Ya. "Teplofikatsiya i teplovyye seti" Moscow: Gosjenergoizdat, 1963. Print.
4. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu teplovyh poter' v vodnykh i parovykh teplovykh setyah: RD 34.09.255 (MU 34-70-080-84) – Moscow: Sojuztehnenergo. 1985. Print.
5. Idel'chik, I. E. "Spravochnik po gidravlicheskim soprotivlenijam" Moscow: Mashinostroenie, 1975. Print.

Надійшла (received) 18.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Моделювання процесів передачі теплоти від котельні до житлового масиву на основі гідравлічних розрахунків складної теплової мережі / А. М. Ганжа, Н. А. Марченко, В. М. Підкопай, Е. М. Немцев // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – №22(1244). – С. 83 – 87. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2411-3441.

Моделирование процессов передачи тепла от котельной до жилого массива на основе гидравлических расчетов сложной тепловой сети / А. Н. Ганжа, Н. А. Марченко, В. Н. Подкопай, Э. Н. Немцев // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – №22(1244). – С.83 – 87. – Библиогр.: 5 назв. – ISSN 2411-3441.

Modeling of heat transfer from the boiler to the residential area on the basis of hydraulic calculation of heating network / A. M. Ganzha, N. A. Marchenko, V. M. Pidkopay, E. M. Nemtsev // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydrounits. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No.22(1244). – P.83 – 87. – Bibliogr.: 5. – ISSN 2411-3441.

Ганжа Антон Миколайович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій; тел. (057) 707-62-23; e-mail: ganzha_371@ukr.net.

Ganzha Anton Nikolaevich – Doctor of technical Sciences, Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Head of the Department of Heat and Power Efficient Technologies; tel.: (057) 707-62-23; e-mail ganzha_371@ukr.net.

Марченко Наталя Андріївна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри системного аналізу і управління; тел.: (057) 707-69-26; e-mail: mna_123@ukr.net.

Marchenko Natalya Andriyivna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor of Department of Systems Analysis and Management; tel.: (057) 707-69-26; e-mail mna_123@ukr.net.

Підкопай Вікторія Миколаївна – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», асистент кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій; тел.: (057) 707-69-23; e-mail: sntuhpi@ukr.net.

Pidkopay Victoria Nikolayevna – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Assistant of Department of Thermal Engineering and Energy Efficient Technologies; tel.: (057) 707-69-23; e-mail sntuhpi@ukr.net.

Немцев Едуард Миколайович – Красноармійський індустріальний інститут Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет», старший викладач кафедри електромеханіки і автоматики; тел.: (06239) 2-00-91; e-mail: nedni@i.ua.

Nemtsev Edward Nikolaevich – Krasnoarmeysk Industrial Institute State Higher Educational Institution "Donetsk National Technical University", Senior Lecturer of Department of Electromechanics and Automation; tel.: (06239) 2-00-91; e-mail nedni@i.ua.