

**С.К. МЕЩАНИНОВ**, д.т.н., професор

**В.В. БАГРІЙ**, к.т.н., доцент

**О.В. КАМПОВ**, студент

Дніпровського державного технічного університету

**В.М. СПІВАК**, к.т.н., доцент

Національний технічний університет України (Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського)

## Моделювання надійності функціонування електронної системи контролю вологості складських приміщень

Запропонована електронна схема контролю вологості складських приміщень дія якої базується на оновленні елементної бази, додавання схеми зв'язку з комп'ютером через інтерфейс USB. Розроблено програмне забезпечення для управління пристроєм. Запропонована методика моделювання та визначення надійності функціонування електронної системи, на основі якої можуть бути розроблені методи підвищення та моделювання надійності контролююче-керуючих електронних приладів та систем.

### Вступ

При зберіганні товарів дуже важливу роль відіграють кліматичні параметри повітря в місцях зберігання. Лише деякі матеріали можуть тривалий час протистояти впливу атмосферної вологості. Більшість піддаються повільному руйнуванню: метал піддається корозії, сипучі матеріали стають грудками, деревина і тканини покриваються пліснявою і гниють, картонні коробки намокають і деформуються. І це лише невеликий перелік з числа виникаючих проблем. Для багатьох матеріалів критичною є вологість близько 50—55 %, для гігроскопічних — межа нижче. Взимку необхідного рівня вологості можна досягти засобами загально обмінної вентиляції з

попереднім підігрівом свіжого повітря. Влітку, коли температура підвищується до 25—30 °С, а вологість — до 90 %, зовнішнє повітря що надходить може стати джерелом вологості і погіршити умови зберігання.

### Аналіз останніх досягнень

У будь-якого опалювального або холодного складу є проблеми з контролем температури та рівня вологості повітря. Стіни «течуть», товар сиріє, проводка псується, створюючи передумови для виникнення пожежонебезпечної ситуації. На даний час існує безліч різних регуляторів температури та вологості які дуже схожі один з одним. Нижче наведено приклад деяких з них:

1. Система TempControl (рис. 1) [5]

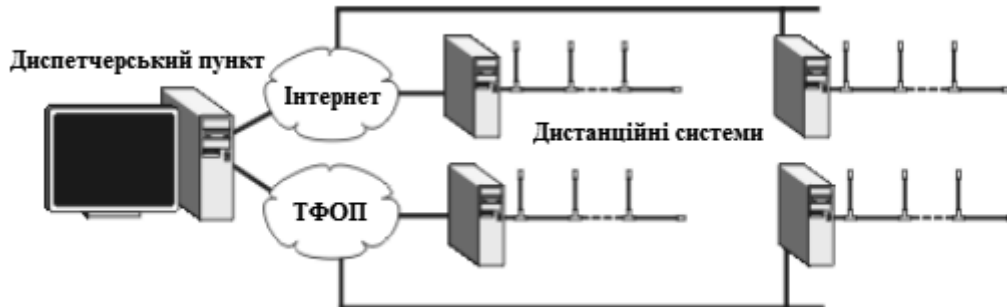


Рис. 1. Система контролю температури та вологості на складах, яка дозволяє здійснювати контроль температури та вологості повітря на складах по різним параметрам для одного датчика температури/вологості або групи, у точці або області приміщення.

Система цілодобово фіксує зміни значення температури і вологості через задані проміжки часу. Отримані значення температури і вологості відображаються у вигляді графіків і цифр, а також автоматично записуються в архів, який завжди можна переглянути на екрані монітора будь-якого комп'ютера в локальній мережі або в Інтернет, через WEB інтерфейс. При виході значень температури або вологості із заданих меж виникає сигнал тривоги — проводиться запис в журналі і відсилається повідомлення на е-майл, можлива відсилання SMS повідомлення.

Система дозволяє:

- Вести архів температури і вологості
- Контролювати температуру і вологість віддалено

- Контролювати температуру і вологість локально
- Отримувати повідомлення про вихід температури і вологості за встановлені межі

2. Система «Страж-климат» [6] (рис. 2) забезпечує безперервний контроль, відображення й ведення бази даних температури, вологості й точки роси на основі мережі модулів виміру.

Модулі виміру підключаються паралельно на одну лінію зв'язку довжиною до 500 метрів. Програмне забезпечення зображує результати вимірів у табличній і графічній формі, а також дозволяє переглядати та роздруковувати накопичений у базі даних архів вимірів за будь-який період часу. Можлива передача даних на інші комп'ютери локальної мережі та через Інтернет. У сис-

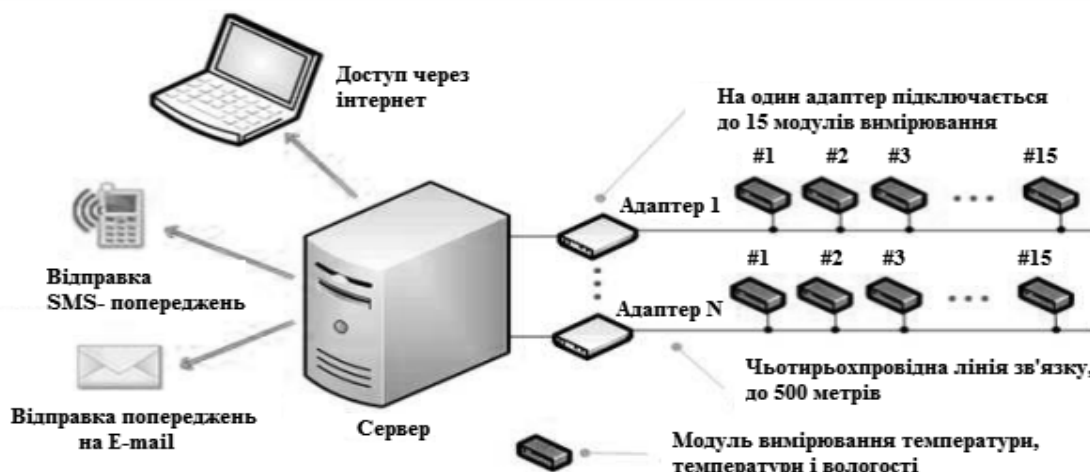


Рис. 2. Система «Страж-климат»



Рис. 3. Вимірювальна мережа з портативними приладами

темі забезпечується відстеження й відображення динаміки зміни температури й вологості в кожній точці виміру, введення параметрів по температурах і вологості, при перевищенні яких відбувається включення звукової сигналізації та запис даних у журнал подій. Програмне забезпечення системи дозволяє легко змінювати конфігурацію і налаштування залежно від кількості точок виміру температури й вологості та необхідній візуалізації. Система забезпечує безперервний режим самотестування. Відмова одного з модулів виміру не призводить до відмови всієї системи в цілому. Пристрій, що відмовив, реєструється системою.

3. Компанія ТОВ ЕКА [7] (Росія) пропонує розробки на основі портативних приладів (Рис. 3), на яких можуть бути створені системи контролю температури та відносної вологості, що забезпечують постійну реєстрацію даних. Побудова вимірювальної мережі на основі портативних термогігрометрів дозволяє не тільки прочитувати інформацію в точках контролю (в робочих приміщеннях, на складах з готовою продукцією), але і в on-line режимі контролювати зміни параметрів мікроклімату на екрані ПК на пункті контролю.

В системі можуть бути застосовані портативні термогігрометри ІВТМ-7м 3 (з вбудованим адаптером для об'єднання у вимірювальну мережу). Прилади об'єднуються в мережу за допомогою кабелю між приладами і ПК, сигнал передається через перетворювач ПІ-1М безпосередньо на ПК користувача. Результати контролю передаються на один або кілька комп'ютерів. Така можливість дозволяє організувати спостереження за параметрами повітря одночасно в кількох приміщеннях з формуванням статистики показників за певний період часу. Орієнтовна вартість одного датчика — 4500 руб.

4. Контролер Actidata NetViewer. «Actidata NV-1» [8] — це контролер, що передає інформацію про температуру, відносну вологість, виток води, спрацювання датчиків проникнення, рух і задимлення по інтерфейсу Ethernet, з можливістю відправлення електронних листів про нештатну ситуацію через Інтернет на поштову скриньку користувача за допомогою сервера мережі. За своїми функціями контролер перевершує існуючі аналоги. Контролер Actidata NV-1 не вимагає додаткової лінії електроживлення, обслуговування,

перевірки і регулювання. Основні характеристики:

- діапазон вимірюваних температур: від  $-30$  до  $125^{\circ}\text{C}$ , точність —  $1\%$ ;
- діапазон вимірювання відносної вологості:  $0-100\%$ .

Однак описані техн. рішення мають високі технічні та метрологічні характеристики, але при цьому їх відрізняє відносно висока вартість. Що обмежує їх можливість використання для умов більшості українських підприємств

#### Постановка завдання

Враховуючи безперервне оновлення елементної бази сучасної електроніки, для впровадження регулятора його слід доопрацювати — оновити елементну базу, забезпечити новітніми датчиками, додати схему зв'язку

з комп'ютером через інтерфейс USB, розробити програмне забезпечення для управління пристроєм. Таким чином, метою даної статті є моделювання надійності функціонування електронної системи контролю рівня вологості складських приміщень на базі використання мікроконтролера ATmega8-16AI.

#### Матеріали та результати дослідження

Кожний пристрій відрізняється від іншого багатьма характеристиками, починаючи від надійності до ціни за встановлення та обслуговування. Приведені раніше прилади доцільно використовувати на різних складських приміщеннях. Ми пропонуємо використовувати пристрій який коштує набагато менше й надійніше в використанні. А саме регулятор температури та вологості розроблений на мікроконтролері ATmega8-16AI (Рис. 4).

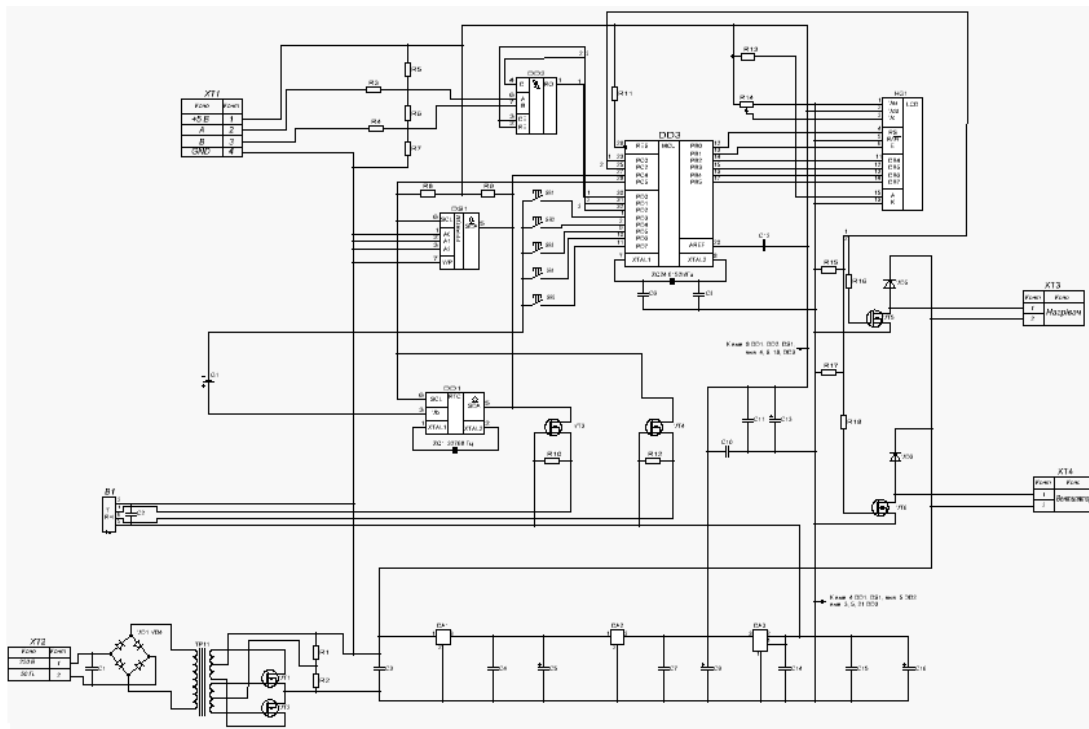


Рис. 4. Схема запропонованого регулятора температури та вологості на мікроконтролері ATmega8-16AI

За довідковими таблицями визначаємо інтенсивність відмов та відновлення кожного типу елементів. Користуючись довідковими даними, та відомими співвідношеннями з теорії надійності [8] здійснюємо розрахунок та моделювання надійності запропонованої електронної схеми. Елементи, що мають однакову величину інтенсивності відмов та відновлення, об'єднуємо в одну групу. Отримані дані заносимо до таблиці 1. початкових даних та інтенсивностей відмов.

Інтервал часу  $T_0 = 5000$  год.

За наступними формулами визначаємо показники надійності даної схеми:

Визначаю інтенсивність відмов системи:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot n_i,$$

де  $\lambda$  — інтенсивність відмов системи, 1/год;

$\lambda_i$  — інтенсивність відмови елемента у групі, 1/год;

$n_i$  — кількість елементів у групі.

Визначаємо напрацювання на відмову

$$T = 1 / \lambda,$$

де  $T$  — напрацювання на відмову, год.

Для побудування графіка інтервал часу від 0 до  $T$  розбиваємо на 5 проміжних інтервалів. Для побудови графіка використовуємо залежність:

$$P(t) = e^{-\lambda t},$$

де  $P(t)$  — вірогідність безвідмовної роботи.

Визначаємо коефіцієнт готовності:

$$K_r = \prod_{i=1}^n \left( 1 + \frac{\lambda_i}{\mu_i} \right)^{-1},$$

де  $K_r$  — коефіцієнт готовності;  $\mu_i$  — інтенсивність відновлення, 1/год.

Визначаємо середній час відновлення:

Таблиця 1 Початкові дані інтенсивності відмов

Найменування та тип електрорадіоелементів	шт	λ, 1/год·10 <sup>-6</sup>	μ, 1/год.
Резистори металоплівочні і металоокисні	17	0,1	1
Резистори перемінні недротові	1	1,2	1
Конденсатори керамічні	16	0,7	1
Випрямні діоди малої потужності кремнієві	6	0,5	1
Транзистори польові	6	3	2
Мікросхеми інтегральні аналогові	3	2	1
Мікросхеми інтегральні цифрові	6	3	2
Вимикачі і перемикачі	5	1,8	1
Рознімання штепсельні циліндричні	4	3	2
Індикатори	1	7,3	4
Елементи гальванічні	1	30	10
Трансформатори силові	1	10	10
Резонатори кварцові	2	2,2	1

Таблиця 2 Результати розрахунку

Розрахунок	Результат
1. Середній наробіток на відмовлення T	7587 год.
2. Середній час відновлення T <sub>B</sub>	5,03E-01 год.
3. Імовірність безвідмовної роботи P(T <sub>0</sub> )	5,17E-01
4. Коефіцієнт готовності КГ	1,00E+00
5. Коефіцієнт оперативної готовності R(T <sub>0</sub> )	5,17E-01
6. Кількість елементів у підсистемі N	69 шт.
7. Інтенсивність відмовлень підсистеми IS	1,32E-04 1/год.

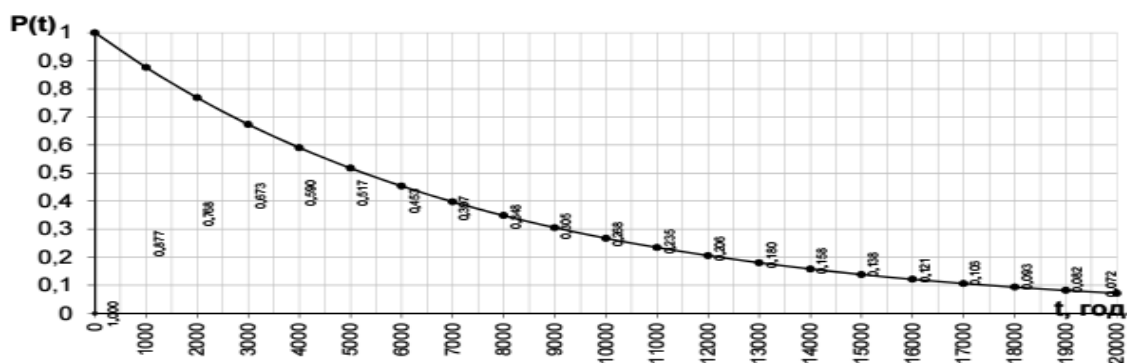


Рис. 5 Графік вірогідності безвідмовної роботи

$$T_B = T \left( \frac{1}{KZ} - 1 \right),$$

де T<sub>B</sub> — середній час відновлення, год.

Визначаємо коефіцієнт оперативної готовності:

$$R(T_0) = K_z \cdot l \frac{T_0}{T},$$

Розрахунок надійності проводимо на ПЕОМ за допомогою програмного забезпечення. Отримані дані заносимо до таблиці 2 та будемо графік вірогідності безвідмовної роботи (рис. 5).

Ці дані показують вірогідність відмови приладу. Але для впровадження його в промисловість пропонуємо спростити блок живлення видалити два резистора R1, R2 та транзистори VT1, VT2, так як стабілізатор має

не значний вплив на всю схему в цілому, тим самим підвищити надійність схеми.

Пропонуємо змінені початкові дані інтенсивності відмов які занесені до таблиці 3.

Таблиця 3 Нові початкові дані інтенсивності відмов:

Найменування та тип електрорадіоелементів	шт	1, 1/год·10 <sup>-6</sup>	μ, 1/год.
Резистори металоплівочні і металоокисні	15	0,1	1
Резистори перемінні недротові	1	1,2	1
Конденсатори керамічні	16	0,7	1
Випрямні діоди малої потужності кремнієві	6	0,5	1
Транзистори польові	4	3	2
Мікросхеми інтегральні аналогові	3	2	1
Мікросхеми інтегральні цифрові	6	3	2
Вимикачі і перемикачі	5	1,8	1
Рознімання штепсельні циліндричні	4	3	2
Індикатори	1	7,3	4
Елементи гальванічні	1	30	10
Трансформатори силові	1	10	10
Резонатори кварцові	2	2,2	1

За новими початковими даними проводимо розрахунок показників надійності за приведеними раніше формулами. Інтервал часу залишаємо той самий.

За новим розрахунком спостерігаємо що імовірність безвідмовної роботи підвищилась на 0,17%, також збільшився коефіцієнт оперативної готовності на ті ж 0,17%.

Таблиця 4 Результати нового розрахунку:

Розрахунок	Результат
1. Середній наробіток на відмовлення T	7962 год.
2. Середній час відновлення ТВ	5,03E-01 год.
3. Імовірність безвідмовної роботи P(T0)	5,34E-01
4. Коефіцієнт готовності КГ	1,00E+00
5. Коефіцієнт оперативної готовності R(T0)	5,34E-01
6. Кількість елементів у підсистемі N	65 шт.
7. Інтенсивність відмовлень підсистеми IS	1,26E-04 1/год.

Будуємо новий графік вірогідності безвідмовної роботи (рис. 6):

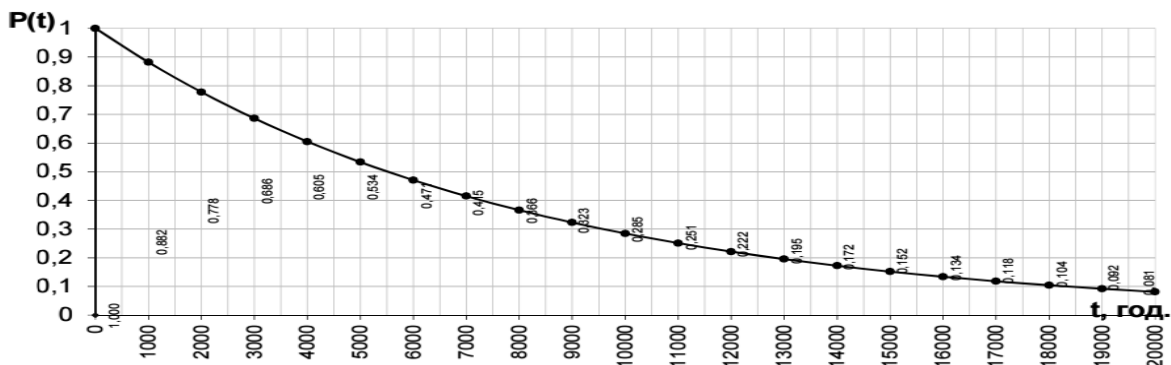


Рис. 6 Графік вірогідності безвідмовної роботи

При цьому інтенсивність відмовлень підсистеми зменшилась на 0,6%. Це означає що система буде працювати в належному стані більший час й не буде потре-

бувати сторонніх втручань. Нижче наведено вже спростовану схему регулятора за розрахованими показниками та параметрами (рис.7).

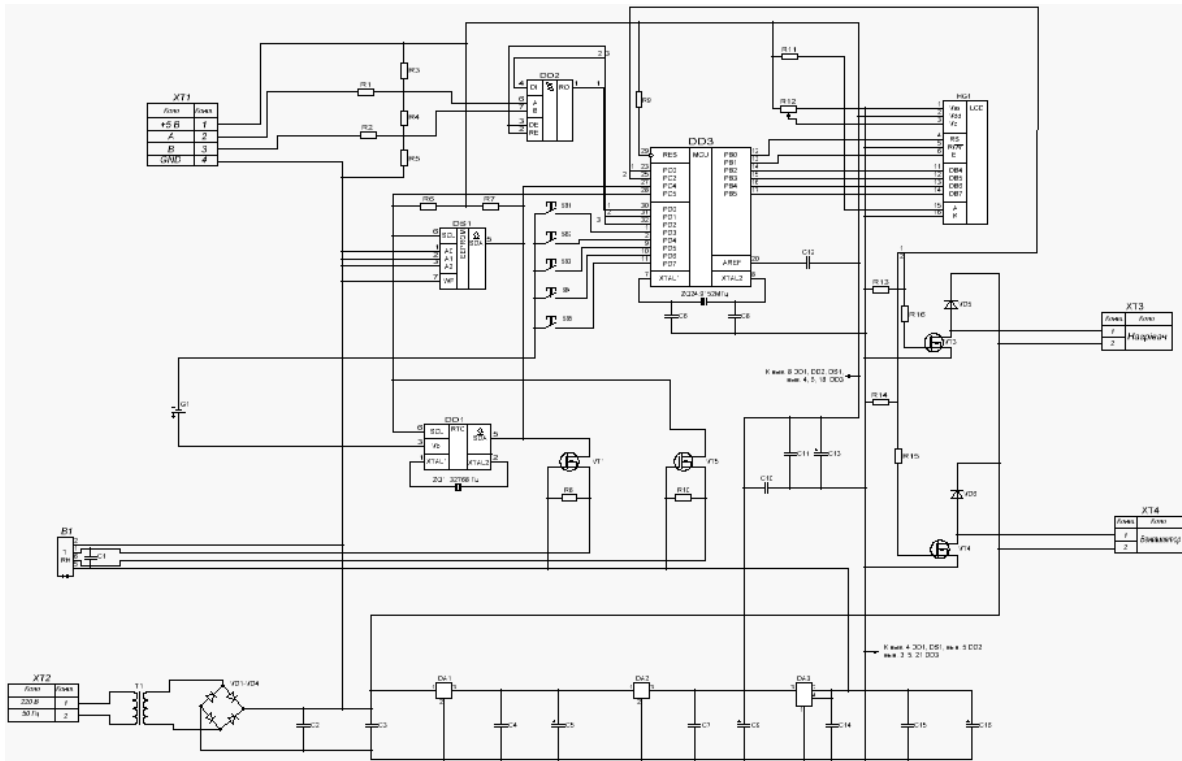


Рис. 7 Спростована схема регулятору температури та вологи на мікроконтролері ATmega8-16AI

**Висновки та перспективи подальших досліджень**

Запропонована методика моделювання та визначення надійності функціонування електронної системи контролю рівня вологості складських приміщень. На основі розробленої методики можуть бути розроблені методи підвищення та моделювання надійності контролююче-керуючих електронних приладів та систем.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Боровиков С.М., Цырельчук И. Н., Троян Ф.Д. «Расчет показателей надежности радиоэлектронных

средств» Минск БГУИР 2010 с. 70  
 2. Тарасюк О.Б., Голвач В.М. Шляхи розробки та впровадження системи контролю якості зберігання матеріальних цінностей на підприємствах держрезерву України.  
 3. Стипанов В. і Пондин В. Регулятор температури та вологи. Журнал «Радіо» випуск №5, 2013р., с.30.  
 4. [pro-rh.info/хранение-продукции-в-условиях-контро/]  
 5. [http://tempcontrol.ru/]  
 6. [http://www.softron.com.ua/]  
 7. [http://ecaltd.ru/]  
 8. [http://www.actidata.ru/]

пост. 30.06.2017