

УДК 004.725.7

DOI: 10.12737/article_5a3779fcbd81f7.77503243

Ф.Ю. Лозбинец, А.В. Пономарева, А.А. Обозов, Л.А. Потапов

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНОГО И НЕЙРОНЕЧЕТКОГО ПОДХОДОВ

Представлен вариант методики расчетной оценки коэффициента оперативной готовности магистрали корпоративной сети связи. Выполнена расчетная оценка структурной живучести магистрали на основе логико-вероятностного и нейронечеткого подходов при среднестатистической и случайной вероятностях грозовых воздействий.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, живучесть, дестабилизирующие факторы, грозовые воздействия, вероятность воздействий, статистические показатели, случайная выборка, коэффициент оперативной готовности.

F.Yu. Lozbinev, A.V. Ponomareva, A.A. Obozov, L.A. Potapov

RATED ASSESSMENT FOR FUNCTION STABILITY OF TELE-COMMUNICATION NETWORK BASED ON LOGIC-PROBABALISTIC AND NEURO-FUZZY APPROACHES

The paper reports the description of the application of the approaches presented for a work with the corporate computer network. The requirements to the administrative-engineering support of stable functioning communication networks for common use established through two basic aspects: integrity and stability are described. In this paper as an object of investigations there is considered a corporate telecommunication network distributed in the Bryansk region. The subject of investigations is durability (coefficient of efficient readiness) of the Western trunk of the network at thunderstorm impact. The consequences of the impact of external destabilizing factors upon the communication network according to the level of damage obtained are classified. For computations of coefficients of efficient readiness of end points at thunders-

form impacts a neuro-fuzzy approach was also used as a basis of which served a principle of retrospective imitation with self-instruction of extrapolative algorithms. As initial data for check-up the efficiency of models and methods used there is taken a fuzzy number of indices of thunderstorms duration in the course of the last 20 years for each end point (beginning since 1996). At the end of the paper the conclusion is drawn on the adequacy of models created to problems under solution and conclusions in accordance with the data file processed are presented.

Key words: tele-communication network, durability, destabilizing factors, thunderstorm impacts, impact probability, statistical indices, random sampling, coefficient of efficient readiness.

Требования к организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования сети связи общего пользования устанавливаются два основных аспекта: целостность и устойчивость.

Под *целостностью* понимается способность взаимодействия входящих в состав сети элементов, при котором становится возможным установление соединения и/или передача информации между пользователями соответствующими услугами связи. *Устойчивость* – способность сохранять требуемые функции в условиях эксплуатации – включает два направления: надежность и живучесть. *Надежность* –

способность сохранять целостность в условиях эксплуатации, установленных производителями средств связи, при отказе части элементов сети связи и возвращаться в исходное состояние. *Живучесть* – способность сохранять целостность в условиях внешних дестабилизирующих воздействий природного и техногенного характера [4].

В настоящей работе в качестве объекта исследования рассмотрена корпоративная телекоммуникационная сеть, распределенная на территории Брянской области [2; 3]. Предметом исследования является живучесть (коэффициент оператив-

ной готовности) Западной магистрали сети при грозových воздействиях.

Западная магистраль является наиболее сложным компонентом сети и включает 104 объекта: 68 радиоэлектронных средств (РЭС), 36 коммутаторов, 16 оконечных точек и 18 узлов ретрансляции. Расстояние от центра сети до самых удалённых оконечных точек составляет более 230 км.

Для проведения обобщенной оценки надежности оборудования связи в комплексе и оценки надежности направлений (соединений) сети связи в работе [4] применяется коэффициент готовности K_z , определяемый показателями T_o и T_e :

$$K_z = T_o / (T_o + T_e),$$

где T_o – время наработки на отказ объекта связи (наработка от начала эксплуатации до возникновения отказа); T_e – время восстановления объекта связи (продолжительность восстановления до работоспособного состояния).

В качестве показателя структурной живучести (различают объектовую и структурную живучесть) канала связи применяется коэффициент оперативной готовности, определяемый по формуле [4]

$$K_{oz} = P(T) K_z,$$

где $P(T)$ – вероятность сохранения работоспособности канала связи при внешнем воздействии; K_z – коэффициент готовности.

Последствия воздействия внешних дестабилизирующих факторов (ДФ) на сеть связи характеризуются низким, средним и высоким уровнем наносимого ущерба [4]. Низкий уровень ущерба при воздействии внешних дестабилизирующих факторов на сеть связи характеризуется выходом из строя 10% элементов сети, средний – 30% и высокий уровень ущерба – 50% элементов сети.

Разделение ДФ на внутренние и внешние дает возможность представить показатель «устойчивость связи» как совокупность свойств надежности и живучести. При этом надежность определяется

свойством сети сохранять работоспособность при воздействии внутренних ДФ, а живучесть – свойством сети сохранять работоспособность при воздействии внешних ДФ (как непреднамеренных, так и преднамеренных), задаваемых в виде модели воздействия [4].

Полное устранение всех ДФ принципиально невозможно. Задача состоит в выявлении факторов, от которых они зависят, в создании методов и средств уменьшения их влияния на безопасность сети, а также в эффективном распределении ресурсов для обеспечения защиты, равнопрочной по отношению ко всем негативным воздействиям [4].

В настоящей работе в качестве внешних ДФ, влияющих на надежность функционирования сети, рассматриваются только грозové воздействия. Такие ДФ можно прогнозировать как на основе логико-вероятностного подхода, так и с использованием нейронечёткого подхода.

В случае использования технологической схемы, построенной только на радиоэлектронных средствах, расчетное количество часов грозových воздействий для оконечной точки принято (с учетом топологии магистрали) как максимальное из всех участков сети до рассматриваемой оконечной точки [4]. Также принято предположение, что грозové воздействия в промежуточных опорных точках сети не превышают уровня таких воздействий в оконечных точках [6].

При использовании технологической схемы, построенной на волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС) в сочетании с РЭС, для каждой оконечной точки принято реальное среднестатистическое количество часов грозových воздействий.

Однако известно, что не каждое воздействие грозы может привести к повреждению оборудования. Расчетные величины вероятности повреждаемости P_n при различном прогнозируемом проценте повреждений от грозových воздействий для технологической схемы, построенной на ВОЛС в сочетании с РЭС на последней миле, приведены в табл. 1.

Величина P_n определялась как отношение продолжительности гроз (в часах) в оконечной точке магистрали к времени гро-

зооопасного периода (3600 часов – 5 месяцев с мая по сентябрь включительно).

С использованием методики, предложенной в работах [1-3; 6], для Западной магистрали сети (при варианте технологи-

ческой схемы с использованием ВОЛС в сочетании с РЭС DreamStation 5n-24D на последней миле) выполнены расчеты коэффициентов оперативной готовности K_{oz} оконечных точек и магистрали в целом.

Таблица 1

Вероятность повреждаемости P_n оборудования от грозовых воздействий (ВОЛС в сочетании с РЭС DreamStation 5n-24D на последней миле)

Номер оконечной точки	Процент повреждений от грозовых воздействий					
	10	15	20	30	50	100
1	0,00033	0,00050	0,00067	0,00100	0,00167	0,00333
2	0,00033	0,00050	0,00067	0,00100	0,00167	0,00333
3	0,00044	0,00067	0,00089	0,00133	0,00222	0,00444
4	0,00033	0,00050	0,00067	0,00100	0,00167	0,00333
5	0,00033	0,00050	0,00067	0,00100	0,00167	0,00333
6	0,00036	0,00054	0,00072	0,00108	0,00181	0,00361
7	0,00033	0,00050	0,00067	0,00100	0,00167	0,00333
8	0,00033	0,00050	0,00067	0,00100	0,00167	0,00333
9	0,00031	0,00046	0,00061	0,00092	0,00153	0,00306
10	0,00036	0,00054	0,00072	0,00108	0,00181	0,00361
11	0,00036	0,00054	0,00072	0,00108	0,00181	0,00361
12	0,00042	0,00063	0,00083	0,00125	0,00208	0,00417
13	0,00039	0,00058	0,00078	0,00117	0,00194	0,00389
14	0,00039	0,00058	0,00078	0,00117	0,00194	0,00389
15	0,00067	0,00100	0,00133	0,00200	0,00333	0,00667
16	0,00081	0,00121	0,00161	0,00242	0,00403	0,00806

Для расчета использована следующая формула:

$$K_{oz} = K_z (1 - P_n),$$

где P_n – вероятность повреждаемости оборудования от грозовых воздействий (табл. 1); K_z – коэффициент готовности оконеч-

ной точки.

При выполнении расчетов рассматривались следующие вероятности повреждаемости оборудования в результате грозовых воздействий: 0, 10, 15, 20, 30, 50, 100%. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты оперативной готовности K_{oz} оконечных точек Западной магистрали при среднестатистической вероятности грозовых воздействий

Номер оконечной точки	Процент повреждений от грозовых воздействий						
	0	10	15	20	30	50	100
1	0,99982	0,99949	0,99932	0,99915	0,99882	0,99815	0,99649
2	0,99784	0,99751	0,99734	0,99717	0,99684	0,99617	0,99451
3	0,99980	0,99935	0,99913	0,99891	0,99846	0,99757	0,99535
4	0,99975	0,99941	0,99925	0,99908	0,99875	0,99808	0,99641
5	0,99972	0,99939	0,99922	0,99905	0,99872	0,99805	0,99639
6	0,99970	0,99933	0,99915	0,99897	0,99861	0,99789	0,99609
7	0,99967	0,99934	0,99917	0,99900	0,99867	0,99800	0,99634
8	0,99193	0,99160	0,99143	0,99127	0,99094	0,99027	0,98862
9	0,99443	0,99413	0,99397	0,99382	0,99352	0,99291	0,99139
10	0,99162	0,99126	0,99108	0,99090	0,99054	0,98983	0,98804
11	0,99972	0,99936	0,99918	0,99900	0,99864	0,99791	0,99611

Номер оконечной точки	Процент повреждений от грозовых воздействий						
	0	10	15	20	30	50	100
12	0,99526	0,99484	0,99463	0,99443	0,99401	0,99318	0,99111
13	0,99256	0,99218	0,99199	0,99179	0,99141	0,99063	0,98870
14	0,99970	0,99931	0,99911	0,99892	0,99853	0,99775	0,99581
15	0,99967	0,99900	0,99867	0,99834	0,99767	0,99634	0,99301
16	0,99967	0,99886	0,99846	0,99806	0,99725	0,99564	0,99162
Западная магистраль	0,99755	0,99715	0,99694	0,99674	0,99634	0,99553	0,99350

При грозовых воздействиях в рассмотренной магистрали сети можно считать, что требование соответствия коэффициента оперативной готовности для су-

ществующих сетей связи нормативному (0,997) перестает выполняться при предполагаемых 15...20% повреждений от указанных воздействий.

Нейронечеткий подход

Для расчетов коэффициентов оперативной готовности конечных точек при грозовых воздействиях также использован нейронечеткий подход, в основе которого – принцип ретроспективной имитации с самообучением экстраполяционных алгоритмов [5-7].

Качество прогнозной модели определяется ее адекватностью исследуемому процессу, который характеризуется выполнением определенных статистических свойств, и точностью, т.е. степенью близости к фактическим данным. Модель считается приемлемой, если она адекватна и в достаточной степени достоверна.

Модель можно считать соразмерной, если последовательность полученных остатков содержит свойства случайности, автономности последовательных цепочек уровней, а также адекватности размещения и эквивалентности нулю средней погрешности.

Когда приходится осуществлять выбор наилучшей модели прогноза, вначале следует обратить внимание не только на формальные характеристики статистических показателей, но и на адекватные описания их путей развития с информативной точки зрения. Если результаты анализа не будут совпадать в сопоставлении статистического и содержательного подходов, необходимо сделать выбор в пользу содержательного критерия.

Предложенная методика подробно изложена в работах [6; 7].

Такой подход был реализован для прогнозирования грозовых воздействий

В качестве исходных данных взят нечеткий ряд показателей продолжительности гроз за последние 20 лет по каждой конечной точке (начиная с 1996 года).

Для получения прогнозного значения на один шаг вперед использовались следующие функции для описания процессов без пределов роста: квадратичная функция, экспоненциальная зависимость, обратно пропорциональная зависимость, линейно-логарифмическая зависимость, дробно-рациональная функция, дробно-иррациональная функция, степенная функция, показательная функция.

В результате, например, для конечной точки Жирятино обратно пропорциональная функция дала наиболее близкий к достоверным данным результат 4 раза, логарифмическая – 1 раз, дробно-рациональная функция – 3 раза, дробно-иррациональная – 1 раз, цепные индексы – 1 раз. Исходя из этого, можно сделать вывод, что обратно пропорциональная функция была лучшей для рассматриваемой конечной точки.

После расчета прогноза на каждый год просчитывалась разница между прогнозным значением и реальным. Таким образом, подходя к 2017 году, алгоритм, результат использования которого чаще всего имел минимальную разность с реальным значением, становился лучшим для данной точки, и с его помощью выполнялся прогнозный расчет непосредственно на 2017 год.

для каждой конечной точки Западной магистрали сети. На рис. 1 представлены результаты расчета прогнозного значения на

основе применения функции, оказавшейся

Как свидетельствуют проведенные численные эксперименты, при прогнозировании показателей грозовых воздействий на территории региона модель, являющаяся лучшей для одной конечной точки, для другой может и не оказаться лучшей.

Для достоверного прогноза взят ряд реальных показателей продолжительности

лучшей для каждой конечной точки.

гроз с 2006 по 2016 год для конечных точек Трубчевск, Унеча и Красная Гора (информация предоставлена Брянским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды).

На рис. 2 представлены исходные данные с реальными показателями продолжительности гроз и результаты прогнозного анализа.

	A	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
1		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Алгоритм		
2		14	15	16	17	18	19	20	21	22	Обратно-пропорц.		
3	Выгоничи	18	14	12	16	18	20	16	12	16	Обратно-пропорц.		
4	Жирятино	16	14	6	16	8	20	4	12	13	Обратно-пропорц.		
5	Почеп	12	8	6	22	12	16	16	14	14	Обратно-пропорц.		
6	Унеча	14	8	10	22	10	14	10	12	12	Квадратичн.		
7	Стародуб	16	10	12	14	8	14	10	14	10	Квадратичн.		
8	Погар	20	10	12	14	6	14	12	14	13	Обратно-пропорц.		
9	Трубчевск	10	20	12	18	14	14	10	14	14	Квадратичн.		
10	Суземка	14	20	10	12	16	14	10	14	14	Обратно-пропорц.		
11	Мглин	16	20	10	12	22	14	8	14	24	цепные индексы		
12	Сураж	16	22	18	10	22	14	12	14	13	Дробно-иррац.		
13	Клинцы	16	18	18	16	8	14	12	14	13	Квадратичн.		
14	Гордеевка	12	18	20	8	16	16	14	10	14	Обратно-пропорц.		
15	Красная Гор	12	34	20	8	14	16	12	10	14	Обратно-пропорц.		
16	Новозыбков	12	30	10	22	16	16	12	10	9	цепные индексы		
17	Злынка	12	16	12	16	26	32	16	10	6	цепные индексы		
18	Климово	10	16	12	30	14	48	10	22	28	квадратичная		
19													

Рис. 1. Результаты расчетов прогнозных значений грозовых воздействий различными алгоритмами

18		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
19	Трубчевск	71	52	46	52	78	55	59	69	14	10	14
20	Красная гора	74	84	47	47	74	68	42	54	16	12	10
21	Унеча	54	55	44	41	55	67	47	53	14	10	12
22												

Рис. 2. Реальные данные о продолжительности гроз

1		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Прогноз 2017	Алгоритм
2	Трубчевск	71	52	46	52	78	55	59	69	14	10	14	11	Квадратичная
3	Красная гора	74	84	47	47	74	68	42	54	16	12	10	37	Обратно-пропорциональная
4	Унеча	54	55	44	41	55	67	47	53	14	10	12	13	Экспоненциальная
5														

Рис. 3. Результаты расчета прогнозного значения

Прогноз производился по такому же алгоритму, как и для нечеткого ряда данных. На рис. 3 представлены результаты расчета прогнозного значения на основе применения функции, оказавшейся лучшей для каждой конечной точки.

На основе прогноза грозовых воздействий по реальным данным проведены

расчеты оперативной готовности указанных конечных точек Западной магистрали сети при вероятности повреждаемости 30% на ВОЛС в сопоставлении с нейронечетким подходом и среднестатистическим коэффициентом (табл. 3).

Таблица 3

Коэффициенты готовности конечных точек при грозовых воздействиях при вероятности повреждаемости 30% на ВОЛС

Оконечная точка	2006-2016 гг. Среднестатистический (по реальным данным)	2017 г. Нейро- нечеткий подход	2017 г. Реальные данные (метод ретроспективной имитации с самообучением алгоритмов)
	P=0,3	P=0,3	P=0,3
Унеча	0,99607	0,99875	0,99866
Трубчевск	0,99351	0,99850	0,99875
Красная Гора	0,99538	0,99141	0,98950

Анализ представленных результатов позволяет сформулировать следующие выводы:

1. Показатели живучести магистрали телекоммуникационной сети связи не являются стабильной величиной, а динамически изменяются в зависимости от сезонного характера воздействия дестабилизирующих факторов.

2. При грозовых воздействиях в рассмотренной магистрали сети можно считать, что требование соответствия коэффициента оперативной готовности для существующих сетей связи нормативному (0,997) перестает выполняться при предполагаемых 15...20% повреждений от указанных воздействий.

3. При предполагаемых 100% повреждений на магистрали требование соответствия нормативному коэффициенту го-

товности (0,997) не выполняется нигде.

4. Даже при предполагаемых 10% повреждений требование к коэффициенту оперативной готовности для сетей связи следующего поколения (0,9994) также нигде не выполняется.

5. Результаты расчетов коэффициентов готовности конечных точек на основе прогноза по реальным данным и с использованием нейронечеткого подхода практически одинаковы.

6. Вывод о близком совпадении результатов расчетов показателей живучести сети на основе логико-вероятностного и нейронечеткого подходов следует отнести к научной новизне работы. В дальнейшем применительно к исследуемой МКСС можно использовать менее затратный логико-вероятностный подход [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lozbinev, F.Y. Modeling of Element Reliability of a Corporate Telecommunications Network in the Territory of the Russian Federation / F.Y. Lozbinev, A.A. Gamov, V.V. Spasennikov / 2nd International Conference on Industrial Engineering, Appli-

cations and Manufacturing (ICIEAM). - 2016. - P. 85-86.

2. Лозбинеv, Ф.Ю. Методика оценки готовности телекоммуникационных сетей органов власти на примере территории Брянской области / Ф.Ю.

- Лозбинеv, А.П. Кобышев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2015. – № 2. – С. 110-115.
3. Лозбинеv, Ф.Ю. Расчетная оценка элементной и структурной надёжности корпоративной телекоммуникационной сети на территории Брянской области / Ф.Ю. Лозбинеv, А.А. Гамов, Е.В. Колесник // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. – № 1. – С. 66-73.
 4. Назаров, А.Н. Модели и методы расчета показателей качества функционирования узлового оборудования и структурно-сетевых параметров сетей связи следующего поколения / А.Н. Назаров, К.И. Сычев. - Красноярск: Поликом, 2010. - 389 с.
 5. Химич, П. Принципы комплексной грозозащиты электронного оборудования / П. Химич // Электротехн. журн. – 2011. – № 7/8. – С. 52-60.
 6. Тарасова, Ж.В. Анализ качества моделей при прогнозировании показателей социально-экономического развития региона / Ж.В. Тарасова, Ф.Ю. Лозбинеv // Инфокоммуникационные технологии в региональном развитии: сб. тр. II межрегион. науч.-практ. конф. – Смоленск, 2009. – С. 264-268.
 7. Лозбинеv, Ф.Ю. Прогнозирование нестационарных динамических процессов на основе ретро-спективной имитации с самообучением алгоритмов / Ф.Ю. Лозбинеv, Ж.В. Тарасова, А.В. Пономарева // Традиции и инновации в государственном и муниципальном управлении: человек и государство – новая реальность: сб. ст. и материалов XI междунар. науч.-практ. конф. – Брянск: Брян. фил. РАНХиГС, 2017. – Т. 3. – С. 69-76.
1. Lozbinev, F.Y. Modeling of Element Reliability of a Corporate Telecommunications Network in the Territory of the Russian Federation / F.Y. Lozbinev, A.A. Gamov, V.V. Spasennikov / 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). - 2016. - P. 85-86.
 2. Lozbinev, F.Yu. Procedure for readiness assessment of authority tele-communication networks by example of the Bryansk region / F.Yu. Lozbinev, A.P. Kobyshev // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. – 2015. – No.2. – pp. 110-115.
 3. Lozbinev, F.Yu. Estimated assessment of element and structural reliability of corporate telecommunication networks in the Bryansk region / F.Yu. Lozbinev, A.A. Gamov, E.V. Kolesnik // *Scientific-Technical Bulletin of Bryansk State University*. – 2016. – No.1. – pp. 66-73.
 4. Nazarov, A.N. *Models and Methods for Computation of Function Quality Indices of Unit Equipment and Structure-Network Parameters of Communication Net-works of Next Generation* / A.N. Nazarov, K.I. Sychov. – Krasnoyarsk: Polycom, 2010. – pp. 389.
 5. Khimich, P. Principles of complex lightning guard of electronic equipment / P. Khimich // *Electrician: Inter. Electro-tech. Journal*. – 2011. – No.7/8. – pp. 52-60.
 6. Tarasova, Zh.V. Analysis of model quality at forecasting indices of social-economic development of region / Zh.V. Tarasova, F.Yu. Lozbinev // *Information Communication Techniques in Region Development: Proceedings of the II-d Inter-Region Scientif. Pract. Conf.* – Smolensk, 2009. – pp. 264-268.
 7. Lozbinev, F.Yu. Forecasting transitional dynamic processes based on retrospective imitation with algorithm self-instruction / F.Yu. Lozbinev, Zh.V. Tarasova, A.V. Ponomaryova // *Traditions and Innovations in State and Municipal Management: Man and State – New Reality: Proceedings of the XI-th Inter. Scientif. Pract. Conf.* – Bryansk: Bryansk Branch of RANEandPS, 2017. – Vol.3. – pp. 69-76.

Статья поступила в редакцию 20.11.17.

Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета
Мирошников В.В.

Сведения об авторах:

Лозбинеv Фёдор Юрьевич, д.т.н., профессор кафедры «Компьютерные технологии и системы» Брянского государственного технического университета, e-mail: flozbinev@yandex.ru.

Пономарева Александра Васильевна, студентка направления подготовки «Прикладная информатика» Брянского филиала Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, e-mail: shura_ponomareva@bk.ru.

Обозов Александр Алексеевич, д.т.н., профессор кафедры «Тепловые двигатели» Брянского государственного технического университета, тел.: (4832) 588230.

Потапов Леонид Алексеевич, д.т.н., профессор кафедры «Промышленная электроника и электротехника» Брянского государственного технического университета, тел. (4832) 58-82-32, e-mail: pee@tu-bryansk.ru.

Lozbinev Fyodor Yurievich, D. Eng., Prof. of the Dep. “Computer Techniques and Systems”, Bryansk State Technical University, e-mail: flozbinev@yandex.ru.

Ponomaryova Alexandra Vasilievna, Student of the Training Direction “Applied Informatics”, Bryansk Branch of the Russian Academy of National Economy and Public Service under the President of the Russian Federation, e-mail: shura_ponomareva@bk.ru.

Obozov Alexander Alexeyevich, D. Eng., Prof. of the Dep. “Heat-Engines”, Bryansk State Technical University, phone: (4832) 588230.

Potapov Leonid Alexeyevich, D. Eng., Prof. of the Dep. “Industrial Electronics and Electrical Engineering”, Bryansk State Technical University, e-mail: pee@tu-bryansk.ru.