

Аль Зухаири Али Мохаммед, аспирант,  
Нестеров М.Н., канд. техн. наук, проф.,  
Виноградов А.А., канд. техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ РЕЖИМОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 11кВ ИРАКА

alimk22@yahoo.com

Большинство систем водоснабжения населения питьевой водой имеют в своем составе водонапорные сооружения и виде резервуаров большой ёмкости, обеспечивающих транспорт воды по водопроводным сетям. В городской инфраструктуре водопроводные сети и распределительные электрические сети 11 кВ систем электроснабжения расположены на небольшом расстоянии друг от друга. В работе предлагается использовать потенциальную энергию воды водонапорных башен для повышения качества электрической энергии распределительных электрических сетей путем установки гидравлических мини турбин, соединенных с генераторами, что позволит получить необходимые активную и реактивную мощность для оптимального регулирования режимов работы систем электроснабжения 11 кВ.

**Ключевые слова:** водоснабжения, резервуаров, водопроводные сети, гидравлических мини турбин, реактивную мощность.

### 1. Гидроэлектрическая станция (миро ГЭС)

Гидроэлектрическая станция, комплекс сооружений и оборудования, посредством которых энергия потока воды преобразуется в электрическую энергию. Микро ГЭС состоит из последовательной цепи гидротехнических сооружений, обеспечивающих необходимое давление потока воды и создание напора и энергетического оборудования, преобразующего энергию движущейся под напором воды в механическую энергию вращения, которая, в свою очередь, преобразуется в электрическую энергию [1,2]. Гидроэнергетический ресурс микро ГЭС можно оценить по ее располагаемой мощности. Мощность является функцией гидравлического напора и скорости потока воды. Статический напор пропорционален разнице в высоте, с которой падает вода. Динамический напор связан со скоростью движения воды. Каждая единица массы воды может выполнить работу пропорциональную ее весу и напору, активная мощность всего гидроагрегата определяется по формуле:

$$P_e = \eta_b \rho Q g H_b \quad (1)$$

где  $P_e$  – активная мощность кВт;  $\eta_b$  – коэффициент преобразования гидротурбины, равный 8.5 кН/м<sup>3</sup>;  $\rho$  – плотность воды кг/м<sup>3</sup>;  $Q$  – расход м<sup>3</sup>/сек;  $g$  – ускорение силы тяжести м/сек<sup>2</sup>;  $H_b$  – напор, м, или

$$P_e = Q \cdot H_b \cdot \eta_b \quad (2)$$

### 2. Систем накопления питьевой воды

Система накопления питьевой воды в городах состоит из нескольких компонентов. Насосы берут воду из рек, бассейнов обеззараживания, и через фильтры

перекачивают воду в город, заполняя высокие водонапорные резервуары водопроводных сетей. Работа систем водоснабжения зависит от давления воды и перепада высот между водопроводными сетями и резервуарами воды рис 3

В этой работе мы проведем расчет расхода воды для резервуара, в зависимости от его высоты и объема, потому что это играет важную роль в системе получения питьевой воды.

**Высота водонапорной башни** может быть определена по пьезометрическому графику как разность отметок пьезометрического напора и геодезической высоты в месте установки водонапорной башни или рассчитана по формуле:

$$H_{вб} = Z_{дт} - Z_{вб} + H_{св} + \sum h_{дт-вб} \quad (3)$$

где  $Z_{дт}$  – отметка поверхности земли в рассматриваемой точке, м;  $Z_{вб}$  – то же у водонапорной башни, м;  $H_{св}$  – свободный напор в рассматриваемой точке, зависящий от этажности застройки, м;  $\sum h_{дт-вб}$  – суммарные потери напора на участке от башни до рассматриваемой точки, м.

**Объем бака** водонапорной башни складывается из регулирующего объема воды и десятиминутного запаса ее на случай тушения пожара:

$$W_б = W_{рег} + W_{пож} + W_{с.н.} \quad (4)$$

где  $W_{рег}$  – регулирующий объем, м<sup>3</sup>;  $W_{пож}$  – неприкосновенный запас воды на тушение пожара, м;  $W_{с.н.}$  – объем воды на собственные нужды водоочистной станции (промывка фильтров или контактных осветлителей, приготовление растворов реагентов и т.д.), м<sup>3</sup>.

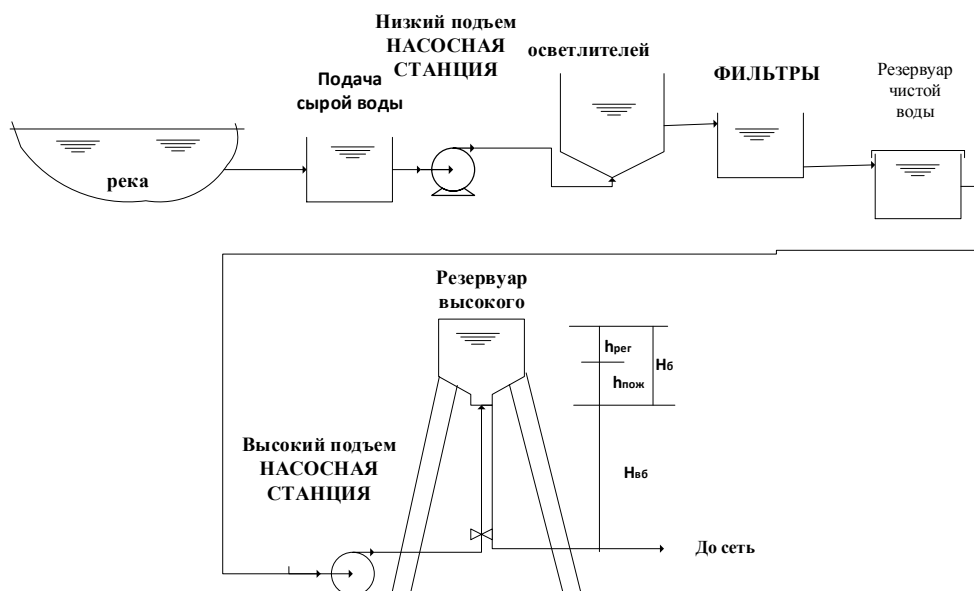


Рис.1. Система водопроводной сети с использование в качестве источника реки.

Регулирующий объем резервуара  $W_{рег}$  можно найти:

- по таблицам подачи воды очистными сооружениями водопровода и отбора воды насосами второго подъема (НС-II) в течение суток;
- по совмещенному графику поступления воды в резервуар и забора воды насосами второго подъема для подачи в башню

$$W_{рег} = (0,5..1,0) \cdot Q_H, \quad (5)$$

где  $Q_H$  – подача воды насосами НС-II, м<sup>3</sup>/ч.

Пожарный объем воды в резервуарах определяется из условия обеспечения:

- пожаротушения из наружных гидрантов и внутренних пожарных кранов;
- специальных средств пожаротушения (спринклеров, дренчеров и др.), не имеющих собственных резервуаров;
- максимальных хозяйственно-питьевых и производственных нужд на весь период пожаротушения.

Неприкосновенный противопожарный объем  $W_{пож}$  рассчитывается из условия тушения расчетного количества одновременных пожаров и в течение всего нормативного времени тушения пожара  $T_{пож}$ . Тогда:

$$W_{пож} = 3,6 \cdot n \cdot T_{пож} \cdot Q_{пож1} \quad (6)$$

где  $Q_{пож1}$  – расход воды на тушение одного пожара, л/с;  $n$  – расчетное количество пожаров.;  $T_{пож}$  – нормативное время тушения пожара,  $T=3$  ч.

Например, проект водопроводной сети города Бакуба:

- проектная мощность 3000 м<sup>3</sup> / ч;
- резервуар для воды № 2;

- электрические насосы поднимают воду в резервуар в количестве 500 м<sup>3</sup>/ч;
- численность населения 500 000 человек.

Таблица 1

**Средняя скорость выхода воды при тушении пожара**

п/п	Численность населения	Средний расход воды, м <sup>3</sup> /с
1	До 5000	20-30
2	5000-10000	25-35
3	10000-20000	30-40
4	20000-30000	35-45
5	30000-50000	40-50
6	50000-100000	45-75
7	более 200000	50-100

Используя уравнение (5) для расчета  $W_{рег}$  получим

$$W_{рег} = (0,5 \dots 1,0) \cdot Q_H$$

$$W_{рег} = 0,5 \cdot 500 = \frac{250 \text{ м}^3}{\text{ч}}$$

Используем уравнение (6) для расчета количества  $W_{пож}$

$$W_{пож} = 3,6 \cdot n \cdot T_{пож} \cdot Q_{пож1}$$

$$W_{пож} = 3,6 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 75 = 1620 \text{ м}^3$$

Используем уравнение (4) для расчета количества  $W_6$

$$W_6 = W_{рег} + W_{пож} + W_{с.н.}$$

$$W_6 = 4500 + 1620 + 0 = 6120 \text{ м}^3$$

### 3. Пример использования водопроводных сетей для улучшения режима электрических распределительных сетей 11 кВ

Необходимое оборудование:  
 1 – микрогидротурбина, 2 – генератор постоянного тока, 3 – батареи, 4 – инвертор, 5 – трансформатор. На (рис.2) показана схема подключения указанного оборудования.

Использование электроэнергии от водопроводных сетей не только улучшает

режим работы электрической систем, но и дает возможность получения экологически чистой энергии [3,4]. Так же это схема позволяет уменьшить стоимость производства электроэнергии [5-7] и обеспечить статическую устойчивость и реализуемость установившегося режима сети [11].

От резервуара

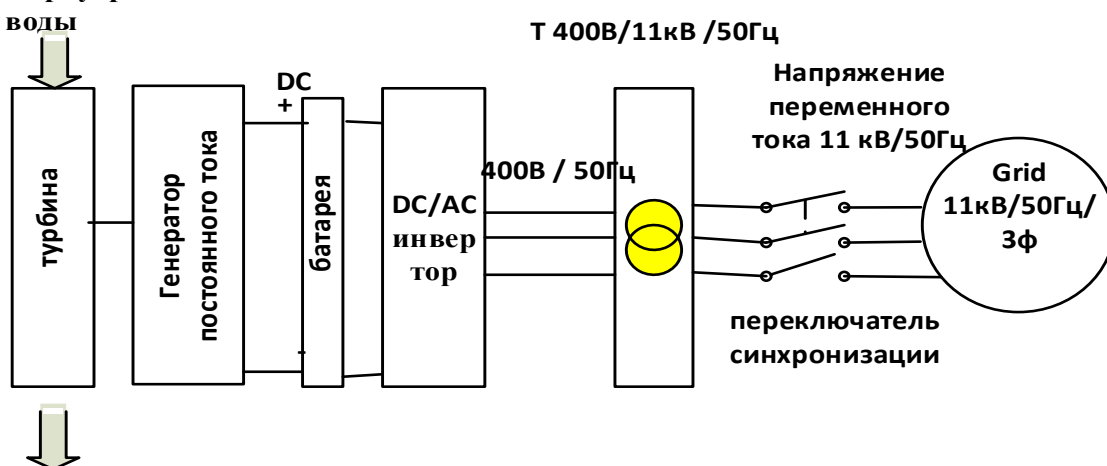


Рис. 2. Использование водопроводных сетей для улучшения режима работы электрических распределительных сетей 11 кВ

### 4. Расчет количества электрической энергии, полученной при использовании водопроводной сети

Высота резервуара для воды составляет 30-40 метров (рис. 3). Резервуары подключены к системам водоснабжения трубами различных

диаметров (300 - 700 мм). В табл. 2 даны диаметры таких труб и соответствующий этому диаметру расход воды. Используя уравнения (1), (2) можно вычислить располагаемую мощность установки на основе генератора постоянного тока и инвертора.

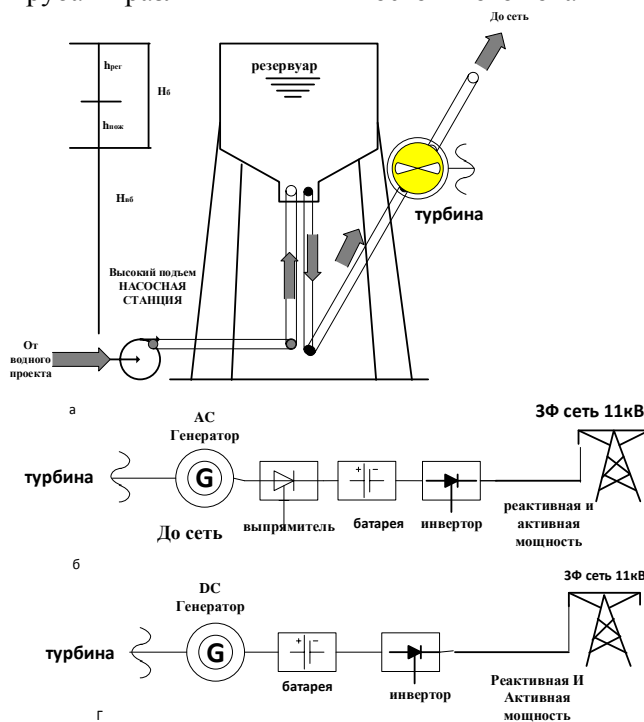


Рис. 3. Использование резервуара водопроводной сети для улучшения электрической сети (а), с генератором переменного тока (б), с генератором постоянного тока (г).

Таблица 2  
Расход воды в соответствии с диаметром трубы

	Диаметр трубы, мм	Расход воды, м <sup>3</sup> /ч
1	300	277,75
2	350	512,75
3	400	683,75
4	450	863,5
5	500	1061,5
6	600	1511,25
7	700	2087
8	800	2735
9	900	3118,5
10	1000	4228
11	1200	6117,5

Из данных табл. 2 можно рассчитать количество воды, которое может пройти в секунду. Высота резервуара  $h=30$  м,  $\eta_b$  – коэффициент преобразования турбины, равный  $8.5 \text{ кН/м}^3$ . Рассмотрим пример, когда труба имеет диаметр 500 мм.

Из табл.2  $Q = 1061,5 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,3 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Используя уравнение (2) получим:

$$P = 0,3 \cdot 30 \cdot 8,5 = 76,5 \text{ кВт}$$

Системы водоснабжения в Ираке содержат большое количество резервуаров для воды, установленных практически по всей территории.

В местах, примыкающих к резервуарам воды, для улучшения показателей качества электрической энергии и обеспечения ее рекуперации ставят генераторы, приводимые в движение микро гидротурбинами (рис. 4). Давление воды в сети равно примерно 1-5 Бар. В момент начала работы водопроводной сети закрывается кран № 1 и открываются краны № 2, 3. При этом турбина и генератор начинают работать. Генератор позволяет получать как активную, так и реактивную мощность. В табл. 3 рассчитаны значения активной и реактивной мощности, которые могут быть получены при различных диаметрах трубы при давлении воды в 2 Бар.

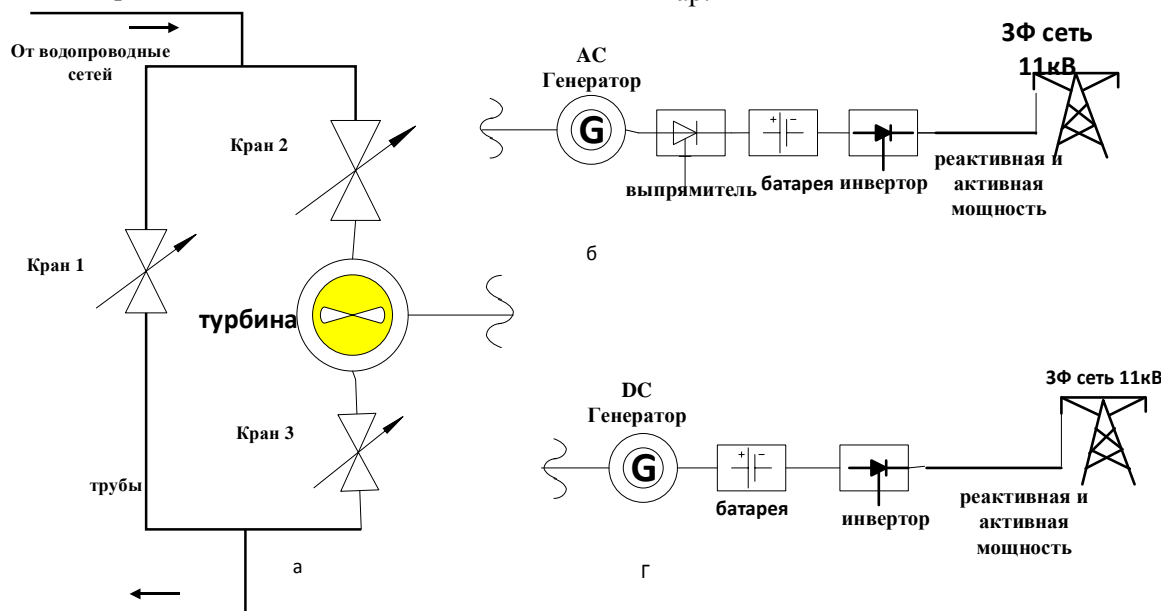


Рис. 4. Использование водопроводной сети для улучшения режима электрической сети:  
(б) - с генератором переменного тока; (г) - с генератором постоянного тока

Таблица 3

Количество электроэнергии, произведенной из каждой трубы для расчетного давления воды 2 Бар

п/п	Диаметр трубы, мм	м <sup>3</sup> /ч	Q, кВар	P, кВт	Мощность генератора постоянного тока кВА
1	300	277,75	9,836978	13,11597	15
2	350	512,75	18,15989	24,21319	30
3	400	683,75	24,21614	32,28819	35
4	450	863,5	30,58229	40,77639	50
5	500	1061,5	37,59479	50,12639	60
6	600	1511,25	53,52344	71,36458	85
7	700	2087	73,91459	98,55278	120
8	800	2735	96,8646	129,1528	150
9	900	3118,5	110,4469	147,2625	170
10	1000	4228	149,7417	199,6556	240
11	1200	6117,5	216,6614	288,8819	350

Рассмотрим линию электропередачи 11 кВ длиной 8 км, отходящую от электрической подстанции 33/11 кВ, с заданными электрическими нагрузками (рис.5). Напряжение в конце линии не соответствует требованиям, установленным стандартом на его качество. Для улучшения показателей качества электроэнергии можно использовать водопроводную сеть, проложенную параллельно этой линии. После подключения микро

гидротурбины, генератора, батареи, инвертора, трансформатора (Рис. 4) и расчета нового установившегося режима линии по программе моделирования ЕТАР [8] было выявлено, что предложенный способ использования системы водоснабжения улучшает показатели качества напряжения и баланса реактивной мощности в сети, обеспечивая заданные стандартом показатели.

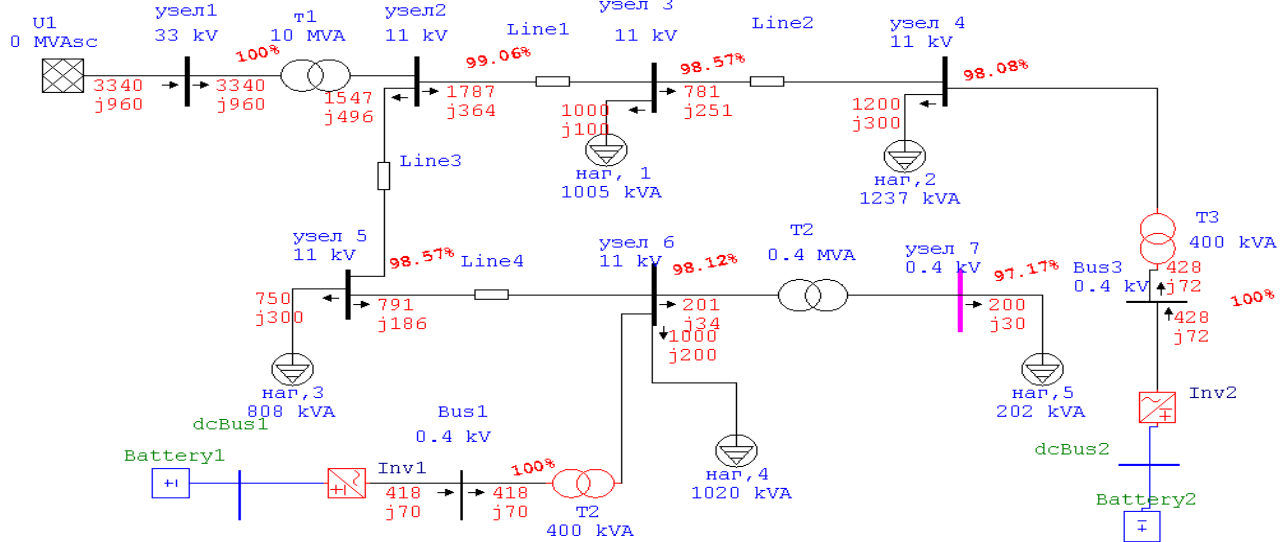


Рис. 5. Рассчитанные с использованием программы ЕТАР параметры линии 11 кВ

Таблица 4

Значения контролируемых параметров линии электропередачи 11 кВ до и после использования предложенной схемы

узлы	полная мощность нагрузки	мощность инвертора	без инвертора	с инвертором	отклонение напряжения	Без инвертора	С инвертором	снижение реактивной мощности, Мвар
	кВА	кВт	U%	U %	$\Delta U$ %	Q Мвар	Q Мвар	$\Delta Q$ Мвар
1	0		100	100	0	1,151	0,96	0,191
2	0		98,87	99,06	-0,19	0,994	0,86	0,134
3	1005		98,28	98,57	-0,29	0,412	0,351	0,061
4	1237	20	97,57	98,08	-0,51	0,3	0,3	0
5	808		98,28	98,57	-0,29	0,545	0,486	0,059
6	1020	20	97,62	98,12	-0,5	0,234	0,234	0
7	202		96,67	97,17	-0,5	0,03	0,03	0

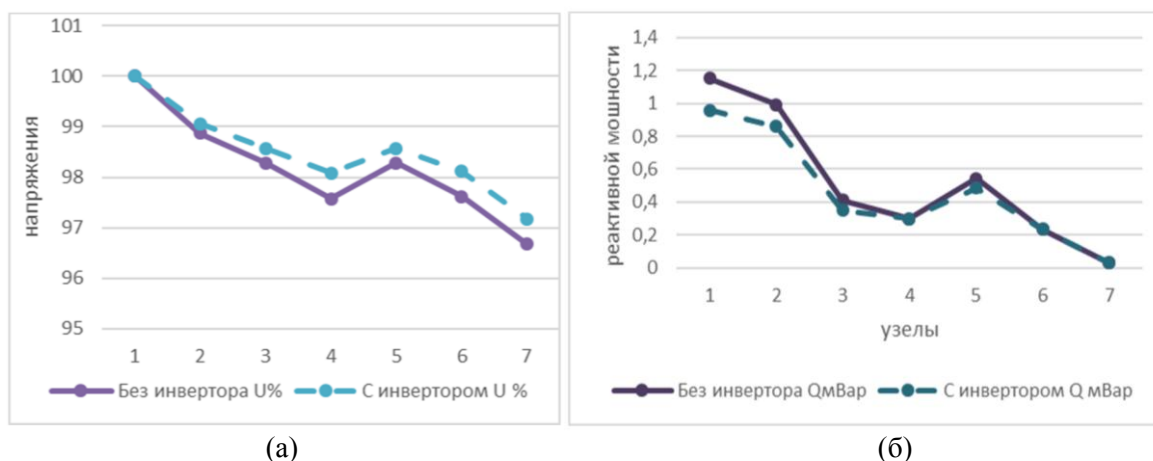


Рис. 6. Изменение напряжения и реактивной мощности без учета и с учетом предложенной схемы использования системы водоснабжения: (а) – напряжение; (б) – реактивная мощность

Результаты показывают, что использование предложенной схемы уменьшает падение напряжения на 0,5 %, уменьшаются потери активной мощности в сети на 0,8 %, а также снижаются потери реактивной мощностью на 0,2 %, что согласуется с результатами, опубликованными в работах [9,10].

#### благодарность

Кафедра электроэнергетики выражает благодарность правительству республики Ирак за сотрудничество в сфере образования. А также хотелось бы выразить особую благодарность Министерству образования республики Ирак, и бюро культуры, в частности, Аль Зкхаири Али Мохаммед Кадхим (республики Ирак). Он проявляет себя активным студентом, участвующим в общественной жизни кафедры и университета.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Кабышев А.В., Компенсация, Реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий, Томского политехнического университета, 2012.

2. Липкин В.И., Богомбаев Э.С., Микрогидроэлектростанции пособие по применению, Бишкек, 2007.

3. Dr. Suad Ibrahim Shahl - Synchronous generators, [www.e-bookpdf.org](http://www.e-bookpdf.org) [Электронный ресурс]

4. Heydt G., Kalsi S., Kyriakides E., A short course on synchronous machines and synchronous condensers, Arizona State University American Superconductor, 2003.

5. Adam Adamkowski, Essential methods of SHP efficiency testing. Testing hydraulic performance of water turbines, Institute of Fluid Flow-Machinery – Gdansk, POLAND.

6. Fang Lin Luo, Advanced DC/AC Inverters: Applications in Renewable Energy, Fang Lin Luo and Hong Y

7. Зацепин Е.П., Косолапов А.Б. Перспективы развития распределенной генерации с использованием мини-ГЭС в центральном черноземье // Вести высших учебных заведений черноземья. №2(24). 2011.

8. Программа etap, [www.etap.com](http://www.etap.com). [Электронный ресурс].

9. Виноградов А.А., Духанин С.А., Проблемы энергосбережения в ЖКХ городов и районов на примере города Белгорода, Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Материалы 67-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР 2009 года. Самара, Изд-во Самарского государственного архитектурно-строительного университета. 2010. С.660-662.

10. Виноградов А. А., Нестеров М.Н., Сапрыка А.В., Сапрыка В.А., Анализ электропотребления с учетом качества электрической энергии в сетях переменного тока г. Белгорода, Теплотехника и электроэнергетика. Международный журнал. № 3(15). 11. 2008. С. 49-56.

11. Виноградов А.А., Нестеров М.Н. Неоднозначность решения уравнений установившегося режима простой электрической системы переменного тока // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. №11. 2005. С. 6-8.