

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОМПОНОВКЕ И ВЫБОРУ ОСНОВНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИОННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ БЛОЧНО-МОДУЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ

В. В. Шевченко<sup>1</sup>, А. Н. Минко<sup>2</sup>, Д. В. Потоцкий<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный технический университет «ХПИ»

<sup>2</sup>ГП «УкрНТИЦ «Энергосталь», г. Харьков

**Аннотация.** Показано, что в условиях мирового энергетического кризиса перспективны источники электроэнергии блочно-модульного исполнения малой и средней мощности, что их применение позволит снизить потери при передаче электроэнергии, положительно повлияет на экологию. Проведен комплексный подбор турбины, цилиндрического редуктора и генератора. После сравнения генераторов разного типа сделан вывод о целесообразности использования асинхронизированных турбогенераторов.

**Ключевые слова:** генератор, асинхронизированный турбогенератор, комплексный подбор, блочно-модульное исполнение, одноступенчатая турбина, цилиндрический редуктор.

### Введение.

Мировой энергетический кризис, последствия которого особенно негативно отражаются на состоянии энергосистем, определил необходимость пересмотра роли различных типов генерирующих мощностей и оценки потерь при передаче электроэнергии на расстояние. По-прежнему не решены проблемы глобального характера: загрязнение окружающей среды, ограниченность топливных и минеральных ресурсов, вопросы безопасного хранения и переработки отработанного ядерного топлива АЭС, [1]. Причиной этих проблем можно считать серьезные недостатки современных технологий получения энергии, устаревшие концепции проектирования генераторов, их размещения по территории страны. Возможным путем решения этой проблемы может быть «концепция устойчивого развития энергетики», которая базируется, как на традиционных принципах эволюционного развития: введение ограничений на выброс вредных газов, расчет удельного потребления топлива с учетом роста населения, – так и на выборе новых технических решений, которые обеспечат перспективу ее развития в будущем. В частности, к перспективным направлениям можно отнести увеличение количества малых и средних источников электроэнергии, приближенных непосредственно к энергоемким потребителям: для собственных нужд предприятий металлургической и машиностроительной отраслей, для сельского хозяйства, для бытовых потребителей. Наиболее перспективны технологии выработки тепловой и элект-

рической энергии, полученных путем утилизации и использования не востребуемых отходов. Такие источники обычно не подключены к общепромышленной сети, а если используются, то применяются для обеспечения автономных потребителей.

Как показал опыт европейских стран (Германия, Франция, Чехия, Польша, Венгрия, Румыния), для обеспечения электроэнергией электроприемников собственных нужд крупных промышленных предприятий достаточно использовать установки малой мощности (0,5–30,0 МВт) блочно-модульного исполнения (БМИ), [1], выпуск которых уже осуществляется в G-Team a.s. (Чехия), Capstone Turbine Corporation (США), JFE Engineering Corporation (Германия), Turbec (Италия), ГК «Турбопар» (Россия), Dresser Rand (Франция), OPRA Technologies (Нидерланды), [2].

В настоящее время в Украине такое оборудование не выпускают и не используют, т.к. нет научно-технической базы для его проектирования и изготовления. Поэтому мы считаем, что работы, связанные с разработкой методик и выработкой рекомендаций по созданию БМИ актуальны. В связи с этим, в работе была поставлена задача сформулировать рекомендации по компоновке и подбору составных элементов установки БМИ.

### 1. Изложение основного материала

На горно-металлургических предприятиях для генераторных установок БМИ, скомпонованных по схеме «турбина-редуктор-генератор»,

в качестве топлива может использоваться смесь доменного и конвертерного газов (калорийность смеси можно регулировать коксовым газом), а также неостребованный пар от котлов-утилизаторов и систем охлаждения основного металлургического оборудования. В работах зарубежных авторов был отмечен ряд недостатков БМИ: сравнительно низкий КПД, непостоянные значения частоты и напряжения, несинусоидальность тока. Необходимо новое комплектование систем управления, а также следует помнить, что электроприемники, которые запитываются от установок БМИ, должны быть устойчивыми к переменному значению параметров электроэнергии. Например, это могут быть системы отопления и освещения, индивидуальные насосы и компрессоры небольшой мощности. Но БМИ имеют и ряд преимуществ, которые позволяют считать их применение перспективным:

- они могут размещаться в непосредственной близости к потребителю;
- для них используется неостребованный, обычно теряемый, ресурс (отходы топлива, пар, газы), или же возобновляемые ресурсы с низким уровнем себестоимости;
- установки БМИ положительно влияют на экологию. При работе они потребляют вредные металлургические газы ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ), неостребованный пар. В процессе работы исключены вредные выбросы от сжигания топлива (как в воздушный, так и в водный бассейны), нет необходимости в возведении плотин, как для гидроагрегатов;
- массовое применение малых электроэнергетических установок БМИ приведет к увеличению числа рабочих мест, потребует подготовку (переподготовку) квалифицированных кадров, что снизит уровень безработицы в стране, особенно на начальном этапе разработок, проектирования и изготовления нового типа электрооборудования.

Примером начала применения БМИ в Украине можно считать строительство теплоутилизационной электрической станции (ТУЭС) на Алчевском металлургическом комбинате (2013 г.), где предусмотрена установка двух энергетических блоков комбинированного цикла, общей номинальной мощностью 303 МВт (151,5 МВт каждый).

В качестве основного оборудования для строительства ТУЭС выбран агрегат фирмы «Mitsubishi» в составе газового компрессора топливных газов, газовой/паровой турбины и генератора, которые установлены на одном валу. Компрессор топливного газа соединяется с валом с помощью повышающей зубчатой передачи.

Строительство такой ТУЭС является масштабным и длительным проектом, что не всегда подходит для реализации на других промышленных предприятиях. Нами предлагается оснастить источники неостребованного тепла (отходящие доменные и конвертерные газы, неостребованный пар от систем испарительного охлаждения и котлов-утилизаторов) генераторными установками БМИ малой мощности, по компоновке «турбина-редуктор-генератор», комплексная структура которой представлена на рис. 1. Подробное изложение компонентов структуры приведено в [4].

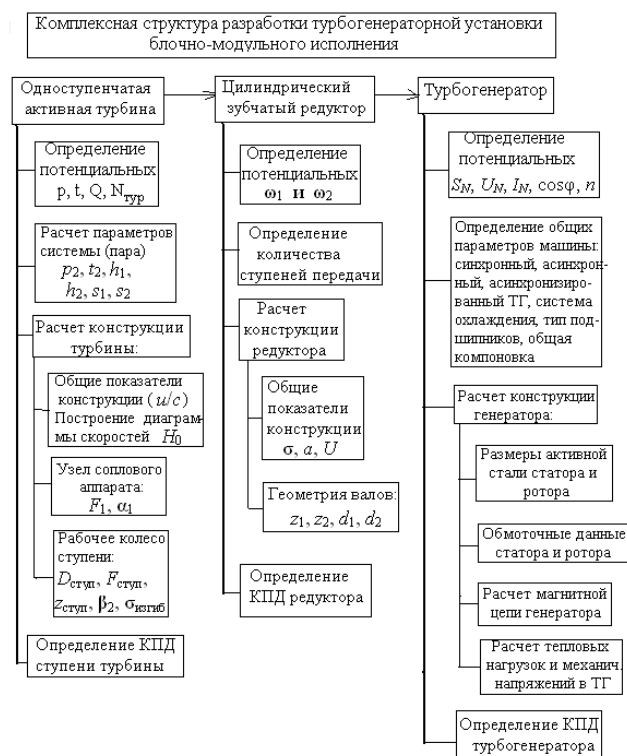


Рис. 1. Комплексная структура генераторной установки БМИ малой мощности

В одноступенчатой активной турбине, рабочим телом является пар, поступающий от парогенератора или от любого другого источника, например, из системы испарительного охлаждения котла-утилизатора металлургического комбината, [5]. Расход пара ( $Q$ ) определяется производительностью парообразующего оборудования и определяет необходимую мощность турбины ( $N_{\text{тур}}$ ). Данные о расходе, давлении и температуре пара являются начальными данными для расчета конструкции одноступенчатой активной турбины.

Значение энтальпии ( $h_1$ ) пара на входе в турбину и на ее выходе ( $h_2$ ), а также значение энтропии ( $s_1$ ) пара на входе в турбину и на ее выходе ( $s_2$ ) определяется по  $h,s$ -диаграмме, [6], с учетом значения давления и температуры свежего пара. Эта диаграмма обеспечивает получение

надежных данных о теплофизических свойствах воды и водяного пара в широкой области изменения давлений и температур. Оптимальное значение давления отработанного пара с определенной температурой на выходе из турбины определяется по координатам  $h,s$ -диаграммы и по значению энтальпии на выходе из сопловой решетки рабочего диска турбины.

При проектировании одноступенчатой паровой турбины с заданным расходом и температурой пара определяется оптимальное отношение скоростей, которые соответствуют максимальным перепадам температуры и значению КПД турбины:

$$\left( \frac{u}{c_\phi} \right)_{opt} \approx \frac{\cos \alpha_1}{2 \cdot \sqrt{1-\rho}},$$

где  $u$  – окружная скорость диска турбины, м/с;

$c_\phi$  – фиктивная скорость, м/с;

$\alpha_1$  – угол выхода потока пара из сопловой решетки. Для одноступенчатых активных турбин  $\alpha_1$  изменяется в диапазоне 12–30 град.

$\rho$  – степень реактивности (зависит от типа турбины). Для одноступенчатых активных турбин  $\rho \approx 0,02$ –0,4.

При заданном перепаде температуры на одной ступени турбины и установленном значении отношения скоростей  $u/c_\phi$ , диаметр ступени может быть рассчитан:

$$d = \frac{\sqrt{2 \cdot \bar{H}_0}}{\pi \cdot n} \cdot \frac{u}{c_\phi},$$

где  $\bar{H}_0$  – возможный перепад температуры на одной ступени, Дж/кг, ( $H_0 = 0,5 \cdot c_\phi^2$ );

$n$  – частота вращения турбины, об/мин.

При проведении газодинамического расчета каждой ступени турбины также необходимо выбирать параметры:

- форма профилей сопловых и рабочих решеток;
- высота решеток;
- углы установок лопаток в решетках;
- конструкция бандажей рабочих лопаток и лабиринтных уплотнений;
- направление потока газа (пара) при входе в ступень турбины;
- выбор степени реактивности ступени.

Цилиндрический редуктор предназначен для преобразования угловой скорости ( $\omega_w$ ) вращения входного вала (вала турбины) в более низкую скорость на выходном валу генератора ( $\omega_{gen}$ ), повышая при этом вращающий момент ( $\bar{M}$ ).

Для согласования работы одноступенчатой активной турбины и генератора с частотой вращения ротора (3000 об/мин) достаточно использовать одноступенчатый редуктор (в случаях высокой частоты вращения турбины возможно применение двухступенчатого редуктора), [6];

Для установки БМИ определяющим является выбор генератора. Возможно применение различных типов генераторов: турбогенератор с электромагнитным возбуждением (ТГ), турбогенератор с постоянными магнитами, асинхронный генератор (АГ), асинхронизированный турбогенератор (АСТГ).

Наиболее часто, как показал анализ зарубежных источников, [1, 6], генераторные установки БМИ komponуются АГ, главным отличием которых от синхронных машин является необходимость учета изменения частоты вращения при изменении нагрузки:

$$f = \frac{p \cdot n_r}{60 \cdot (1-s)},$$

где  $p$  – число пар полюсов;

$n_r$  – частота вращения ротора, об/мин;

$s$  – скольжение, о.е.

Паровая одноступенчатая турбина через редуктор приводит во вращение АГ и, при достижении последним синхронной частоты вращения  $n_s$ , на зажимах статорной обмотки под действием остаточного магнитного поля наводится ЭДС. При этом к зажимам статорной обмотки подключены батареи конденсаторов емкостью  $C$  таким образом, чтобы в обмотках статора был емкостный ток. Емкость батареи  $C$  должна превышать некоторое критическое значение  $C_0$ , зависящее от параметров автономного АГ. Только в этом случае происходит самовозбуждение АГ, и на обмотках статора устанавливается трехфазная симметричная система напряжений. Т.о., значение напряжения на выходе генератора зависит от его параметров и емкости конденсаторов.

В связи со значительным прогрессом в создании высокоэнергетичных постоянных магнитов, появляется все больше крупных синхронных генераторов с возбуждением от постоянных магнитов  $NdFeB$ . Такие магниты имеют высокую коэрцитивную силу, которую сохраняют длительное (до 10-15 лет) время, просты в обработке, технологичны. Фирма АБВ (Хельсинки) сообщила о создании ТГ мощностью 1000 кВт с возбуждением от постоянных магнитов  $NdFeB$ , частотой вращения 125 об/мин, приводимого во вращение ветротурбиной через одноступенчатый планетарный мультипликатор, с включением в сеть через преобразователь частоты, [7], что по комплектации аналогично установке БМИ.

К преимуществам таких генераторов следует отнести:

- отсутствие скользящего контакта;
- высокая надежность работы;
- высокое значение КПД.

Однако у генераторов с возбуждением от постоянных магнитов есть недостатки:

а) высокая стоимость постоянных магнитов приводит к высокой стоимости генераторов;

б) в Украине практически отсутствует производство постоянных магнитов, нет отработанных технологий изготовления;

в) существенным недостатком является невозможность регулирования магнитного потока.

Весьма перспективным, на наш взгляд, является использование в составе БМИ малой мощности АСТГ, основной отличительной чертой которых является наличие двух (трех) обмоток возбуждения. В номинальном режиме ротор может питаться постоянным или переменным током. При питании обмоток возбуждения постоянным током осуществляется векторное управление возбуждением, что обеспечивает устойчивую работу при любом угле нагрузки, до  $180^\circ$  включительно. Такая способность становится особенно важной при питании установки БМИ от источников с неустойчивым теплоносителем. При питании обмотки возбуждения переменными токами поле ротора вращается относительно ротора, сохраняя при этом синхронность с полем статора. В результате появляется возможность работы с переменной частотой вращения турбины. Схема регулирования и реверсивная система возбуждения обмоток ротора обеспечивают возбуждение машины переменными токами с частотой скольжения, благодаря чему в обмотке статора при переменной частоте ротора индуцируются ЭДС постоянной синхронной частоты. АСТГ позволяют работать не только с выдачей, но и с глубоким потреблением реактивной мощности, тем самым регулируя напряжение на шинах БМИ в широком диапазоне и разгружая питающую сеть от реактивного тока.

Как и генераторы с постоянными магнитами, АСТГ имеют преимущества и недостатки при их использовании в установках БМИ малой мощности. К преимуществам, кроме перечисленных выше, можно отнести возможность их использования в автономных системах в сочетании с другими машинами. Так, например, возможно каскадное соединение АСТГ с синхронными ТГ и с АГ.

Кроме того, АСТГ позволяют решать ряд задач, актуальных для обеспечиваемой энергосети, [7, 8]. Возможно:

– отказаться от установки шунтирующих реакторов, существенно сократив, таким образом, расходы на оборудование, применяемое для нормализации уровня напряжения;

– расширить допустимый диапазон регулирования напряжения на шинах установки БМИ;

– при использовании установки БМИ, укомплектованной АСТГ, параллельно с синхронными ТГ, последние можно вывести из неблагоприятных для них режимов работы: с коэффициентом мощности близким к единице или даже их работе с потреблением реактивной мощности. Классические синхронные ТГ смогут работать в безопасных для них режимах с выдачей реактивной мощности, что позволит продлить их срок эксплуатации и увеличить межремонтные периоды;

– повысить в целом надежность электрооборудования не только за счет более высокой устойчивости работы АСТГ (работа в режимах при отказах в системе возбуждения), но также за счет повышения надежности параллельно работающих энергоблоков с синхронными ТГ;

– следует отметить значительную экономическую выгоду применения АСТГ в составе установки БМИ. Не смотря на то, что АСТГ имеют более высокую стоимость по сравнению с синхронными машинами, при их использовании обеспечивается экономия, как капитальных, так и эксплуатационных расходов, повышается надежность рядом работающего оборудования.

Недостатками таких генераторов является:

1) отсутствие рабочей документации в достаточном объеме, отсутствие отработанных технологий изготовления, т.к. они находятся в стадии разработки, а не промышленного выпуска;

2) наличие на роторе скользящего контакта для подвода напряжения к обмоткам возбуждения;

3) необходимость использования преобразователя частоты для регулирования напряжения возбуждения;

4) при отклонении скорости вала от синхронной требуется значительное увеличение реактивной мощности и напряжения, подводимого к обмоткам возбуждения. Но при этом повышается быстродействие регулирования активной мощности и напряжения;

5) при приближении скольжения к нулю и наличии несинусоидальности в выпрямителе, через который выполняется питание обмотки возбуждения, в напряжении генератора появляются значительные субгармонические составляющие;

б) при регулюванні напруги по величині і фазі, в залежності від сколювання, в напругу виникають пульсації, практично повторюючі пульсації моменту турбіни, що може мати значуще вплив на стійкість роботи установок БМІ.

Для оцінки використання в ТУЭС з установками БМІ синхронних ТГ з електромагнітним возбуждением отметим их преимущества и недостатки. К преимуществам можно отнести:

1) возможно получить низкий состав гармоник, добиться улучшения динамических свойств объекта при применении преобразователя с явным звеном постоянного тока и инвертором напряжения при широтно-импульсном управлении;

2) возможно управлять реактивной мощностью с генераторной стороны.

К недостаткам синхронных ТГ с электромагнитным возбуждением следует отнести:

1) сложность конструкции, высокую стоимость;

2) более низкую надежность, чем у АСТГ;

3) необходимость источника постоянного тока для обмотки возбуждения;

4) усложнение конструкции, увеличение веса и удорожание в случае необходимости безредукторной установки;

5) жесткая зависимость частоты генерируемой ЭДС от скорости вращения, что ограничивает возможность использования генератора для прямого включения в сеть без полупроводникового преобразователя частоты;

б) для обеспечения параметров тока и напряжения с необходимыми техническими характеристиками необходимо применять преобразователи с явным звеном постоянного тока и инвертором напряжения.

Практическое использование ТУЭС с генераторными установками БМІ может быть рекомендовано для любых крупных промышленных предприятий. В первую очередь, БМІ могут быть рекомендованы для таких предприятий Украины как Металлургический комбинат «Азовсталь», Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича, металлургический комбинат «АрселлорМиттал Кривой Рог» и для металлургических комбинатов «Запорожсталь» и «Днепропеталь».

### Выводы.

1. В период энергетического кризиса, для обеспечения энергетической независимости Украины необходимо на законодательном уровне стимулировать развитие автономных установок выработки электроэнергии малой и

средней мощности, максимально приближенных к потребителю.

2. При строительстве ТУЭС с использованием установок БМІ возможно применение генераторов разного типа: синхронных ТГ с электромагнитным возбуждением, турбогенераторов с постоянными магнитами, АГ и АСТГ. При определении типа генератора необходимо учитывать существующую технологическую базу отечественных предприятий, вести сравнительный анализ экономической рентабельности выбора.

3. Выполненный нами анализ позволяет сделать вывод о перспективности применения в установках БМІ АСТГ, которые позволяют повысить в целом надежность системы электропитания, не только за счет более высокой устойчивости работы самого АСТГ (работа в резервных режимах при отказах в системе возбуждения), но также за счет повышения надежности параллельно работающих энергоблоков с синхронными ТГ.

### Список использованной литературы

1. Минко, А. Н. Перспективы применения турбогенераторных установок малой мощности для предприятий горно-металлургической отрасли [Текст] / А. Н. Минко, В. В. Шевченко // Харків, НТУ «ХПІ» – Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Тези доповідей XXIV міжнародної науково-практичної конференції, частина II (18–20 травня 2016 р.). – С. 112.

2. Шевченко, В. В. К вопросу обеспечения конкурентоспособности отечественных турбогенераторов [Текст] / В. В. Шевченко // Электротехнические и компьютерные системы. Спец. выпуск «Электротехнические и компьютерные системы: теория и практика». – Одесса: Наука и техника – 2016 - № 22(98). – С. 226-231. <http://dx.doi.org/10.15276/eltecs.22.98.2016.38>

3. Український національний комітет міжнародної ради великих електричних систем CIGRE Громадська організація «Асоціація «СІГРЕ–Україна» [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://cigre.org.ua>. – Заголовок з екрану. – 15.01.2017 р.

4. Минко, А. Н. Комплексная структура разработки турбогенераторной установки блочно-модульного исполнения [Текст] / А. Н. Минко, В. В. Шевченко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – № 9 (1231). – С. 86-89 ISSN 2078-774X.

5. Кузьмин, А. В. Расчеты деталей машин: Справ. пособие. [Текст] / А. В. Кузьмин,

И. М. Чернин, Б. С. Козинцев/ - 3-е. изд., перераб. и доп. – Минск: Высшая школа. – 1986. – 400 с.

6. Waltzer, I. Technological Trends in Large Permanent Magnet Motor Applications [Text] / I. Waltzer // Belgium: Brugge. - ICEM-2002 proceedings. - August 25-28, 2002. - P. 4.

7. Шевченко, В. В., Минко А.Н. Развитие систем охлаждения и оптимизация конструкций турбогенераторов: монография [Текст]. – Харьков: Издатель Иванченко И.С., 2013. – 242 с.

8. Шевченко, В. В. Перспективы создания конкурентоспособных турбогенераторов ТЭС и АЭС [Текст]. - Deutschland: Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing, 2016. – 144 p.

### References

1. Minko, A., Shevchenko, V. (2016) Prospects of low-power turbine-generator units for mining and metallurgical industry [Perspektiviyi primeneniya turbogeneratornykh ustanovok maloy moschnosti dlya predpriyatiy gorno-metallurgicheskoy otrasli] Information technology, science, engineering, technology, education, health. Proceedings of XXIV International scientific-practical conference. Part II - Kharkov, NTU "KPI". – P. 112.

2. Shevchenko, V. (2016). To the question of maintenance of competitiveness of domestic turbo-generators [K voprosu obespecheniya konkurentosposobnosti otechestvennykh turbogeneratorov] Odessa: Science and Technology. Electrical and computer systems. Specialist: Theory and Practice. - № 22(98). - P.p. 226-231.  
<http://dx.doi.org/10.15276/eltecs.22.98.2016.38>

3. Ukrainian National Committee of the International Council of Large Electric Systems SYHRE. NGO "Association" SIHRE-Ukraine "SIGRE-Ukraine", 15.01.2017. Access mode: <http://cigre.org.ua>.

4. Minko, A., Shevchenko, V. (2017). Complex structure of the development of a turbogenerator unit for block-modular execution [K voprosu obespecheniya konkurentosposobnosti otechestvennykh turbogeneratorov] News of the National Technical University "KhPI". Collection of scientific works. Series: Power and heat engineering processes and equipment. – NTU "KhPI", Kharkov. – No. 9(1231). – P.p. 86-89.

5. Kuzmin, A., Chernin, I., Kozintsev, B. (1986). Calculations of machine parts: Ref. allowance 3rd. ed., Revised. and ext. [Raschetyi detaley mashin: Spravochnoe posobie].– Higher School, Minsk. – 400 p.

6. Waltzer, I. (2002). Technological Trends in Large Permanent Magnet Motor Applications Brugge. ICEM-2002 proceedings. - Belgium. - P. 4.

7. Shevchenko, V., Minko, A. (2013) Development of cooling systems and optimization of turbine generators: monograph [Razvitie sistem ohlazhdeniya i optimizatsiya konstruktivnykh turbogeneratorov: monografiya] –: Publisher Ivanchenko I., Kharkov - 242 p.

8. Shevchenko, V. (2016) Prospects for the creation of competitive turbogenerators of TPPs and nuclear power plants [Perspektiviyi sozdaniya konkurentosposobnykh turbogeneratorov TES i AES] LAP Lambert Academic Publishing. - Deutschland, Saarbrücken.– 144 p.

## RECOMMENDATIONS ON THE LAYOUT AND SELECTION OF THE MAIN POWER EQUIPMENT OF HEAT RECOVERY POWER STATIONS OF BLOCK-MODULAR DESIGN

V. Shevchenko<sup>1</sup>, A. Minko<sup>2</sup>, D. Pototskiy<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National Technical University «KhPI»

<sup>2</sup>SE «UkrSTC «Energostal», Kharkov

**Abstract.** The paper shows the need to develop independent sources of low power in the global energy crisis. Such installations can be placed close to the electric receivers; will reduce transport costs to the consumers. Necessity of development has been shown not to individual elements of the installation, but comprehensive selection of structural components: active single-stage turbine, the cylindrical gear reducer and generator. Have been calculated and are proposed choices of the constituent elements of block units - modular low power: single-stage impulse turbine and a cylindrical gear reducer. The ability to use gearless construction was discussed. A comparative analysis of different types of generators for modular systems - modular construction was held. Positive and negative aspects of each type generators have been specified. It was concluded that the most promising for the systems under consideration are asynchronous turbogenerators. The block modular systems design is used gas from production processes, so the speed of turbine (of rotor) is variable. Asynchronous generators have a special scheme of regulation and reversing system of excitation rotor winding. Excitation of the generator is performed with alternating currents with frequency of sliding.



Therefore, in the stator winding with a variable speed of rotor induced electromotive force with constant synchronous frequency.

**Keywords:** generator, asynchronized turbogenerator, comprehensive selection, block-modular design, single-stage turbine, gearbox cylindrical.

## РЕКОМЕНДАЦІЇ З КОМПОНУВАННЯ Й ВИБОРУ ОСНОВНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ БЛОЧНО-МОДУЛЬНОГО ВИКОНАННЯ

В. В. Шевченко<sup>1</sup>, О. М. Мінко<sup>2</sup>, Д. В. Потоцький<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет «ХПІ»

<sup>2</sup>ДП «УкрНТЦ «Енергосталь», м. Харків

**Анотація.** Показано, що в умовах світової енергетичної кризи перспективні джерела електроенергії блочно-модульного виконання малої і середньої потужності, що їх застосування дозволить знизити втрати при передачі електроенергії, позитивно вплине на екологію. Проведено комплексний підбір турбіни, циліндричного редуктора і генератора. Після порівняння генераторів різного типу зроблено висновок про доцільність використання асинхронізованих турбогенераторів

**Ключові слова:** генератор, асинхронізований турбогенератор, комплексний підбір, блочно-модульне виконання, одноступенева турбіна, циліндричний редуктор

Получено 19.04.2017



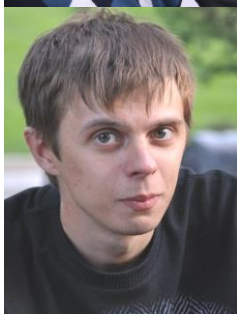
**Шевченко Валентина Владимировна**, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры электрических машин Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Ул. Кирпичева, 2, Харьков, Украина. E-mail: [zurbagan8454@gmail.com](mailto:zurbagan8454@gmail.com), тел. +38-050-407-84-54

**Valentine Shevchenko**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), associate professor, professor of electrical machines department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". Str. Kirpicheva, 2, Kharkov, Ukraine  
**ORCID ID:** 0000-0002-9557-9849



**Мінко Александр Николаевич**, кандидат технических наук, заведующий отделом, ГП «УкрНТЦ «Енергосталь», пр. Науки, 9, Харьков, Украина. E-mail: [alexandr.minko@list.ru](mailto:alexandr.minko@list.ru), тел. +38-097-792-48-89

**Aleksandr Minko**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), department head, SE «UkrSTC «Energostal», Kharkov, Ukraine  
**ORCID ID:** 0000-0003-3206-0131



**Потоцкий Дмитрий Васильевич**, аспирант кафедры электрических машин Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Ул. Кирпичева, 2, Харьков, Украина. E-mail: [lexfromkhar1@gmail.com](mailto:lexfromkhar1@gmail.com), тел. +38-068-398-99-86

**Dmitry Potocki**, graduate student of electrical machines department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". Str. Kirpicheva, 2, Kharkov, Ukraine  
**ORCID ID:** 0000-0002-7966-2685