

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ УЧЕБНОЙ УСТАНОВКИ «МИНИ-ТЭЦ» МАЛОЙ МОЩНОСТИ

В. В. Логвиненко

Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

*Обоснована необходимость создания в университете крупной учебной установки «мини-ТЭЦ «Ползунов» с возможностями коллективного пользования, возможности одновременно использоваться как в самом университете, так и при сетевой форме обучения в других вузах. Установка может выполнять функции резервного и аварийного энергоисточника. Разработаны три варианта оборудования установки, исходя из условий его полной загрузки по минимуму потребления тепловой энергии в теплый период года. Согласно расчетам по математической модели, себестоимость электрической энергии на мини-ТЭЦ около 1 руб./Квт*ч. При выработке электрической энергии за год порядка 1200 тыс. КВт*ч уменьшение затрат на электроснабжение может составить порядка 2,9 млн. руб. Себестоимость выработки тепла – порядка 700 руб./Гкал. При выработке 10,5 тыс. Гкал в год экономия будет 5,2 млн. руб. Проектирование, строительство и эксплуатация учебной установки агнественно проще, чем коммерческой мини-ТЭЦ.*

Ключевые слова: учебная мини-ТЭЦ, современные образовательные технологии, резервный, аварийный энергоисточник, уменьшение затрат на создание и эксплуатацию учебной установки, математическая модель, графики работы мини-ТЭЦ, доля покупных энерго-ресурсов.

Федеральный закон об образовании разрешает различные технологии и форму обучения [1]. Современная сетевая форма обучения использует ресурсов нескольких университетов и иных организаций. Актуальна реализация образовательных программ на базе электронного обучения и дистанционных образовательных технологий. Для реализации данных современных технологий обучения, которые постепенно становятся практически обязательными, АлтГТУ необходимо иметь крупные учебные установки, желательно коллективного пользования. Создание таких крупных учебных установок, способных одновременно использоваться как в самом университете, так и при сетевой форме обучения в других вузах, являются уже важным критерием в оценке качества вуза и его конкурентоспособности.

Однако создавать установки только как учебные не всегда рационально ввиду их дороговизны и малой загруженности. Чаще всего такие установки не могут быть самоокупаемыми. Для реализации аспектов электронного дистанционного сетевого обучения в некоторых вузах имеются. В [2] описана учебная установка коллективного пользования, приводится обзор подобных учебно-лабораторных установок коллективного пользования, описаны области применения, пре-

имущества и недостатка. Преимущества состоят в высоком качестве, современности установки, они компьютеризированы. Недостки, как правило, – большая стоимость, поэтому таких установок пока немного.

Однако существует способ удешевить обучение на таких крупных установках. Например, университет оплачивает коммунальные услуги по отоплению и электроснабжению, предоставляемые, как правило, централизованно, в редких случаях от мелких организаций или от собственных университетских источников. Во многих случаях имеется возможность снизить расходы на коммунальные затраты путем применения новых, более экономичных энергоустановок.

Таковыми новыми возможностями для АлтГТУ является создание «Ползунов» на природном газе. Название мини-ТЭЦ «Ползунов» является целесообразным и обоснованным, т.к. университет носит это имя выдающегося теплотехника И.И. Ползунова, впервые практически совместившего выработку на своей паровой машине одновременно механической и утилизации тепловой энергии.

При создании учебной установки мини-ТЭЦ одновременно реализуется крупная, современная установка для электронного, дистанционного, сетевого обучения и уменьшение затрат на электроснабжение и тепло-

снабжение университета. Так же можно будет решить вопросы с наличием в университете резервного и аварийного энергоисточника. На первое место следует ставить именно задачи обеспечения высокого современного качества обучения студентов, переподготовки производственников на этой крупной учебной установке с использованием электронного, дистанционного, сетевого способа учебного процесса. Именно мини-ТЭЦ позволит проводить современное обучение студентов и повышение квалификации производственников по большому количеству дисциплин, специальностей, профилей, предметов и рабочих профессий. И на второе место следует ставить снижение затрат на коммунальные услуги, преимущества наличия резервного и аварийного энергоисточника. Двойное назначение мини-ТЭЦ «Ползунов» позволяет позиционировать ее в АлтГТУ как учебно-производственную установку. Учебно-производственная мини-ТЭЦ оптимально обеспечивает требования по высококачественному образованию и уменьшает затраты на создание и эксплуатацию за счет уменьшения коммунальных платежей.

В университете на кафедре «Теплогазоснабжение и вентиляция» проводились работы по обоснованию мини-ТЭЦ как практической энергетической установки, а затем и как учебной установки. В работах [3-5] разрабатывались варианты мини-ТЭЦ с относительно большими мощностями газопоршневой установки (до 1 МВт и больше по электроэнергии) и водогрейных котлов (до 8 Гкал/час и больше). Однако в университете не удалось создать мини-ТЭЦ такой большой мощности, и одна из основных причин – это как раз большие мощности. Были попытки привлечения инвесторов для строительства водогрейной котельной для отопления не только всего квартала университета, но и соседних потребителей. Таких инвесторов не нашлось.

В [4] были предложены варианты использования мини-ТЭЦ при университете при возникновении в крае чрезвычайных ситуаций за счет мобильности части оборудования мини-ТЭЦ. При этом тепло- и электроснабжение университета обеспечивается существующими поставщиками электро- и теплоэнергии. И в этих вариантах обосновывается, что мини-ТЭЦ должна быть небольшой мощности. В [7] при обосновании мини-ТЭЦ мощность рассматриваемых газопоршневых агрегатов до 100 кВт, в работе [7] рассматриваются варианты еще с меньшими мощностями, до 60

кВт и именно для создания учебно-производственной мини-ТЭЦ.

При обосновании мощности мини-ТЭЦ надо учитывать, что создание крупных энергоисточников в университете должно быть согласовано с соответствующими органами власти, с поставщиками энергоресурсов. Варианты с поставкой тепло- и электроэнергии от учебной установки «Ползунов» сторонним потребителям, в сети на нынешнем этапе представляются маловероятными. Учебная установка «Ползунов» должна выдавать электро- и теплоэнергию только внутри университета. Поэтому задача в коммунальном балансе университета путем подбора мощностей оборудования при максимальном возможном числе часов его работы. Экономия затрат на коммунальные нужды университета от использования установки должна покрывать затраты на ее эксплуатацию в учебном процессе.

Для определения долей продукции учебной мини-ТЭЦ была разработана и в дальнейшем модернизирована технико-экономическая модель. Модель включает статьи покрытия потребности университета в тепловой и электрической энергии. В различных блоках модели рассчитываются все основные затраты на создание и эксплуатацию мини-ТЭЦ, учтены количество и стоимость продукции мини-ТЭЦ, эксплуатационные затраты, зарплата эксплуатационного персонала, амортизация основных средств, себестоимость продукции. Макросы модели рассчитывают внутренние тарифы мини-ТЭЦ на тепло- и электро энергию по условию отсутствия нераспределенной прибыли, т.е. по себестоимости. В модели более 100 параметров в основном блоке и около 80 во вспомогательных, результаты представляются по всему сроку службы мини-ТЭЦ. С различными вариантами исходных данных объем модели составляет около 700 Кбт.

Рассмотрены три варианта состава оборудования учебной мини-ТЭЦ «Ползунов». За основное оборудование для первого варианта расчета принята электросиловая установка АП60С-Т400-2Р на базе двигателя ЯМЗ-236Г и синхронного бесщеточного генератора MAGNAPLUS 363PSL1607 (MARATHON ELECTRIC). Фото мини-ТЭЦ АП60С-Т400-2 изображено на рисунке 1.

Мини-ТЭЦ АП60С-Т400 – это стационарный источник переменного 3-х фазного тока и тепловой энергии. Используется в качестве основного и резервного источника указанной энергии.



Рисунок 1 – Мини-ТЭЦ АП60С-Т400

Указанная мини-ТЭЦ выпускается на базе автоматизированного газопоршневого электроагрегата типа ЯМЗ-236Г. В качестве первичного двигателя используется газопоршневой двигатель 1Г12-520, работающий на газообразном топливе с внешним смесеобразованием, электрическим (искровым) зажиганием. Основным топливом для мини-ТЭЦ является природный газ, а также нефтяные (попутные) газы, отвечающие требованиям ГОСТ 5542. Применяемый газ должен иметь октановое число по моторному методу не менее 100 по ГОСТ 27577 и подаваться в двигатель под давлением $(1,0 \pm 0,1)$ кг/см². В качестве теплоносителя применяется вода. Для нагрева теплоносителя в утилизационном блоке используется охлаждающая жидкость и выхлопные газы двигателя. Все модификации мини-ТЭЦ имеют: автоматическое регулирование напряжения и частоты тока, автоматическое регулирование температуры охлаждающей жидкости, автоматическую подзарядку аккумуляторных батарей, автоматическую защиту силового генератора от короткого замыкания и перегрузки по току, систему поддержания в «горячем резерве» с электронагревателем типа ТЭН с питанием от постороннего источника напряжением 380В. На электроагрегате, автоматизированном по 1^{ой} степени, должно обеспечиваться выполнение следующих операций:

- авторегулирование частоты вращения (стабилизацию выходных электропараметров);
- авторегулирование температуры в системе охлаждения и смазки двигателя;
- авторегулирование напряжения;
- местное управление пуском и остановом с пульта (щитка управления), расположенного на агрегате, а также индикацию текущих значений контролируемых параметров двигателя на местном щитке;
- автозаряд аккумуляторных батарей;

- аварийную сигнализацию и защиту;
- ввод электроагрегата в параллель методом точной ручной синхронизации или автоматически;
- выдача сигнала о готовности к приему нагрузки при автономной работе.

В комплект поставки электроагрегата должны входить электроагрегат в комплектации в составе: двигатель-генератор, котенерационное оборудование (теплообменники), утилизирующее тепло отработавших газов и тепла системы охлаждения газового двигателя, комплектное устройство (шкаф) автоматического управления. Технические характеристики мини-ТЭЦ АП60С-Т400-2Р приведены в таблице 1. Как следует из характеристик агрегат, он может работать параллельно с основной системой электро- и теплоснабжения при соответствующей адаптации к сетям АлтГТУ.

Таблица 1 – Технические характеристики мини-ТЭЦ АП60С-Т400-2Р

Номинальная мощность (длительная мощность), кВт	60
Номинальное напряжение, В	400
Род тока – переменный трехфазный	
Частота тока, Гц	50
Степень автоматизации	2
Удельный расход топлива на номинальной мощности с учетом КПД генератора, г/кВт.ч (нм ³ /кВт.ч)	234 (0,355)
Расход масла на угар, % от расхода топлива	0,3
Допустимое время работы с перегрузкой 10% час	1
Повторение режимов 10% перегрузки, через час	5
Габаритные размеры установки длина×ширина×высота, мм	2286×1308×1635
Масса электросилового устройства в комплектности поставки, кг	2 000
Ресурс до первого капитального ремонта, час	30000
Наработка на отказ, час, не менее	3000
Рабочий объем цилиндров, л	11,76
Номинальная частота вращения коленвала, мин ⁻¹	1500
Время восстановления, с, не более	3

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ УЧЕБНОЙ УСТАНОВКИ «МИНИ-ТЭЦ» МАЛОЙ МОЩНОСТИ

В качестве водогрейного котла принимается КВЕ-0,7-115ГН, выпускаемый в Алтайском крае.

За основное оборудование для второго варианта расчетов приняты две стационарные газопоршневые мини-ТЭЦ АП-100С-Т400-2Р производства барнаульского ЗАО «АМЗ Газэнергомаш», укомплектованные одним водогрейным котлом ДЕВ-1,4-95-115Г производства ОАО «Бийский котельный завод».

Электроагрегаты с когенерацией тепла типа АПК100С-Т400-2 предназначены для работы в составе энергетических установок в качестве источника переменного питания электрической энергией силовых и осветительных устройств и источника тепловой энергии. На базе АПК100С-Т400-2 изготавливаются электроагрегаты контейнерного исполнения АПК100С-Т400-2РН. В комплект агрегата входит выносной радиаторный блок с электровентилятором. По результатам эксплуатации электроагрегатов типа АП-100...315 и МТП-100...315, в конструкцию агрегата внесены изменения, обеспечивающие надежность работы, увеличенный ресурс и снижение эксплуатационных расходов. Головка блока цилиндров: седла клапанов заменены на износостойкие из высокопрочного чугуна с содержанием хрома 25...30%; впускные и выпускные клапаны имеют наплавку фасок жаростойким сплавом; установлены свечи зажигания с иридиевыми электродами производства DENSO или NGK (Япония), которые предназначены для работы на газе. Система зажигания: использован блок зажигания CD-200 Altronic (США).

Система газоснабжения: установлен всережимный газовый карбюратор типа IMP (США). Аналогичные системы зажигания и газоснабжения применяют ведущие мировые производители газовых двигателей Caterpillar, Janbacher, Cummins и др. Применен радиаторный блок в комплекте с электровентиляторами; для улучшения охлаждения теплонапряженных деталей головок блоков, в дополнение к механическому насосу, установлены дополнительные электрические насосы типа WILLO. Установлен электронный регулятор скорости типа ESD- 5330 GAC, США в комплекте с мощным актуатором (исполнительным устройством) AC-2001, функции параллельной работы, защиты и дистанционного управления выполняет шкаф типа ШАЭ-100.2Г на базе контроллера IG-NT Comar (Чехия). Автоматика обеспечивает возможность удаленного мониторинга, дистанцио-

ный контроль и управление электроагрегатом с помощью персонального компьютера из единого центра управления. Это как раз то, что нужно для получения параметров агрегата через компьютерную сеть и использование их в учебном процессе. Обеспечен режим резервирования сети: автопуск электроагрегата и подключение нагрузки к генератору при исчезновении или отклонении параметров внешней (резервируемой) сети за допустимые пределы. Предусмотрены автоостановка электроагрегата и возврат к питанию нагрузки от сети после восстановления параметров резервируемой сети. Возможен одиночный режим параллельной работы с сетью, в т.ч. режим экспорта мощности в сеть. Установка может работать в многоагрегатном режиме (островной режим, параллельная работа с сетью, режим снятия пиков потребления мощности из сети, режим экспорта мощности в ответвлении сети с включением контактора сети). Таким образом, в университете появляется аварийный источник электроснабжения, к которому можно подключить наиболее важные сервера, системы оповещения, аварийного освещения, лифты. В определенной мере эта мини-ТЭЦ является для университета и резервным источником тепло- и электроэнергии. В качестве водогрейного котла принят ДЕВ-1,4-95-115Г. В таблице 2 приведен перечень оборудования и его количество трех вариантов с указанием электрической и тепловой мощности.

При подборе вариантов брались мини-ТЭЦ малой мощности, а мощность водогрейных котлов постепенно увеличивалась. Это связано с дороговизной мини-ТЭЦ и относительно дешевой водогрейных котлов. Номинальная тепловая мощность мини-ТЭЦ складывается как сумма тепловой мощности газопоршневых установок и мощности водогрейного котла.

Таблица 2 – Перечень оборудования и его количество трех вариантов

Вар-т обо- рудо- вания	Перечень оборудования и его количество	Номинальная мощ- ность мини-ТЭЦ	
		Элек- триче- ская, МВт	Тепло- вая, Гкал/час
1	АД60С-Т400-2Р – 1 шт КВЕ-0,7-115ГН – 1 шт.	0,06	0,72
2	АД100С-Т400-2Р – 2 шт. ДЕВ-1,4-95-115Г – 1 шт.	0,2	1,9
3	АД150С-Т400-2Р – 1 шт. ДЕВ-1,4-95-115Г – 1 шт.	0,15	1,83

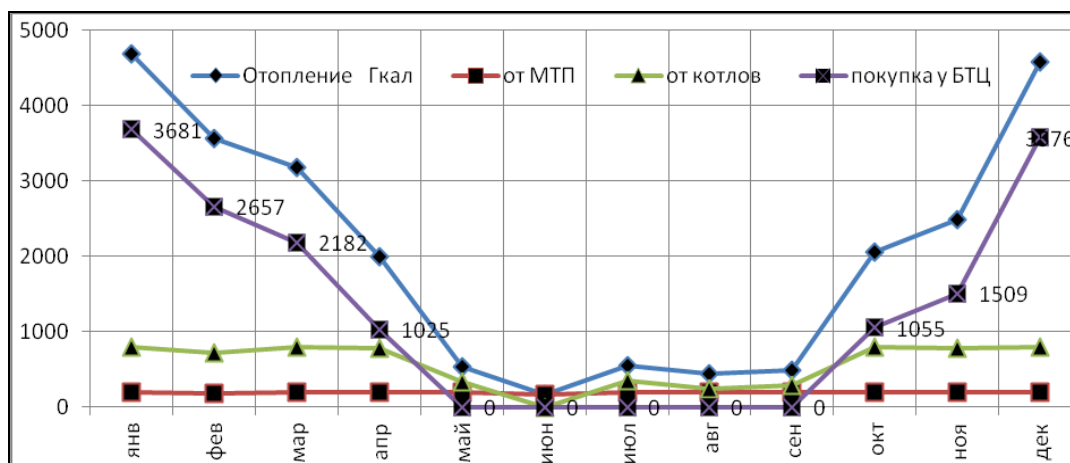


Рисунок 2 – Покрытие тепловой нагрузки АлтГТУ от мини-ТЭЦ, котлов и покупкой у БТЦ

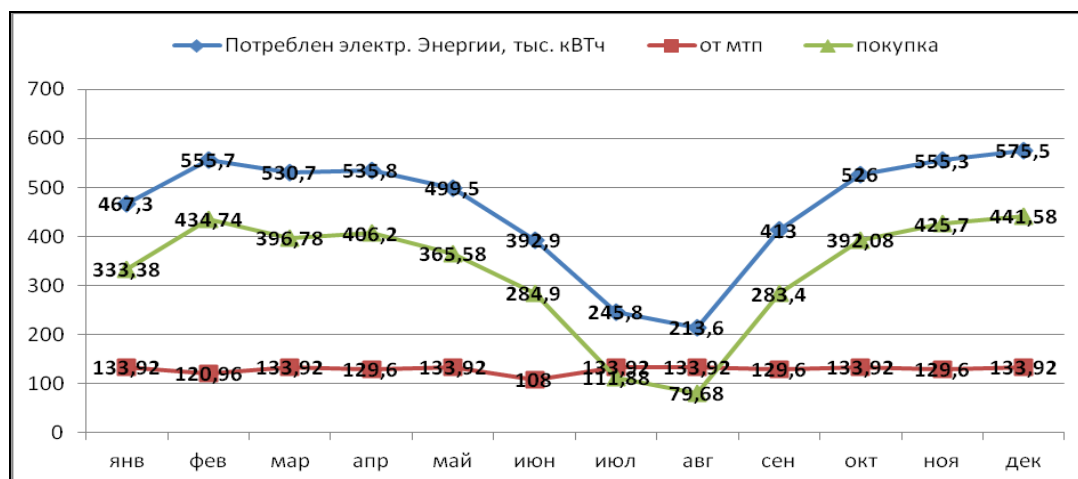


Рисунок 3 – Покрытие электронагрузки АлтГТУ от мини-ТЭЦ, покупкой у Барнаулэнерго

На рисунке 2 приведен график покрытия тепловой нагрузки университета (включая горячее водоснабжение). Верхняя кривая соответствует фактическому месячному потреблению тепловой энергии в университете в 2013-2014 году. Каждый месяц она покрывается в первую очередь теплоутилизаторами мини-ТЭЦ, работающими на 88% номинальной мощности при наличии такой тепловой нагрузки на отопление и горячее водоснабжение. В летние, теплые месяцы (май-сентябрь) нагрузка на отопление отсутствует или мала, поэтому в этот период мини-ТЭЦ работает не с полной нагрузкой или не все время (нижняя кривая). Важно, что график работы мини-ТЭЦ предполагает первоочередное покрытие тепловой нагрузки именно от АД150С-Т400-2Р, чтобы при этом вырабатывалась и электроэнергия, реализовыва-

лось преимущество когенерационного способа выработки тепла и электричества.

При росте тепловой нагрузки (в первую очередь на отопление) в работу включаются водогрейные котлы мини-ТЭЦ. В апреле и сентябре они работают еще не на полную мощность, а в остальные месяцы отопительного сезона уже на полную мощности, как и АД150С-Т400-2Р (вторая снизу кривая). При превышении тепловой нагрузки совместной мощности АД150С-Т400-2Р и водогрейного котла, тепловая энергия покупается у Барнаульской теплоцентрали (вторая сверху кривая), как это и предусмотрено соответствующим договором. Важно, чтобы доля тепловой энергии, покупаемой у БТЦ, изменялась бы незначительно, не было бы передачи энергии в тепловую сеть города, иначе потребуются существенные изменения в договоре.

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ УЧЕБНОЙ УСТАНОВКИ «МИНИ-ТЭЦ» МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Таблица 3 – Основные результаты расчетов вариантов

В а р и а н т	Доля покупки тепловой энергии, %	Доля покупки электроэнергии, %	Стоимость Мини-ТЭЦ, млн. р.	Себестоимость электроэнергии, р/кВт*ч	Себестоимость тепловой энергии, р/Гкал
1	79	91	3,51	0,969	658,8
2	63	72	5,51	1,120	761,5
3	57	78	6,48	1,028	699,1

На рисунке 3 приведен график покрытия электронагрузки университета. Число часов работы мини-ТЭЦ принимается по тепловой нагрузке МТП. Важно, что во все 12 месяцев, электронагрузка незначительно превышает электро мощность МТП. Если увеличить электро мощность МТП, то количество вырабатываемой энергии, ограниченное нужным потреблением тепловой энергии в теплые месяцы, не увеличится. Можно включить в проект градирни, радиаторы в МТП, но тогда тепло будет выбрасываться в атмосферу и не будет преимуществ когенерационной выработки тепла в теплые периоды. Таким образом, по тепловой нагрузке в теплые месяцы электрическая мощность МТП ограничивается для АлтГТУ порядка 150 кВт. В таблице 3 приведены основные результаты расчетов вариантов.

Себестоимость электроэнергии на мини-ТЭЦ – около 1 руб./кВт*ч, при цене у нынешнего поставщика около 2,4 руб./кВт*час. При выработке за год порядка 1200 тыс. кВт*ч уменьшение затрат на электроснабжение может составить порядка 2,9 млн. руб. Строительство большой, современной учебной установки мини-ТЭЦ «Ползунов» экономически выгодно, и что важно, превышает расходы на создание и эксплуатацию этой учебной установки.

Эффективности учебной установки мини-ТЭЦ обусловлена правильным подбором оборудования, обеспечивающим полную нагрузку в течение всего года. Это большое преимущество по сравнению с нагрузкой оборудования поставщиков энергоресурсов. Проектирование, строительство и эксплуатация учебной установки существенно проще, чем коммерческой мини-ТЭЦ. Перспективными направлениями в создании и эксплуатации учебной установки мини-ТЭЦ «Ползунов»

являются привлечение организаций на основе аутсорсинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон Российской Федерации от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации».
2. Учебно-лабораторные комплексы. – Режим доступа: http://www.ckp.innoclusters.ru/katalog_oborudovaniya/ustanovki_stjendy/uchjebnolaboratornyje_kompleksy/.
3. Коновалов, В. В. Повышение эффективности энергосбережения локальных объектов при совместном использовании централизованных источников и поршневых мини-ТЭЦ / В. В. Коновалов, А. Г. Кузьмин, В. В. Логвиненко // Проблемы энергосбережения и энергобезопасности Сибири: Материалы Всероссийской науч.-практ. конф. / Алт. Гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2003. – С. 95-101.
4. Логвиненко, В. В. Варианты энергоснабжения объектов в условиях чрезвычайных ситуаций на основе мобильных мини-ТЭЦ / В. В. Логвиненко. – Ползуновский вестник. – № 1. – 2004. – С. 296-302.
5. Ильина, А. Ю. Варианты применения газопоршневых мини-ТЭЦ в Алтайском крае по графикам тепловых и электрических нагрузок / А. Ю. Ильина, В. В. Логвиненко // Горизонты образования [Электронный ресурс] / 9-я Всероссийская науч.-технич. конф. «Наука и молодежь – 2012». Секция «Теплогазоснабжение и вентиляция». – Режим доступа: <http://edu.secna.ru/publication/5/>.
6. Ильина, А. Ю. Разработка проекта мини-ТЭЦ «Ползунов» малой мощности / А. Ю. Ильина, А. В. Волкова, В. В. Логвиненко // Горизонты образования [Электронный ресурс] / XI-я Всероссийская науч.-технич. конф. «Наука и молодежь – 2014». Секция «Теплогазоснабжение и вентиляция». – Режим доступа: <http://edu.secna.ru/publication/5/release/94/attachment/30/>.
7. Сорокина, М. А. Обоснование учебно-производственной мини-ТЭЦ малой мощности для образовательных учреждений Алтайского края / М. А. Сорокина, В. В. Логвиненко // Горизонты образования [Электронный ресурс] / XII Всероссийская науч.-технич. конф. «Наука и молодежь». – Секция «Строительство», подсекция «Теплогазоснабжение и вентиляция». – С. 63-70. – Режим доступа: <http://edu.secna.ru/publication/5/>.

Логвиненко В.В. – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: logvinvv@mail.ru.