

## ВЫЯВЛЕНИЕ КЛЮЧЕВЫХ ДОМИНИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ГОРОДСКОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Е.Г. Гашо<sup>1</sup>, С.В. Гужов<sup>1</sup>, Р.Н. Такташев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский энергетический институт, г. Москва, Россия,

<sup>2</sup>Московский энергетический институт, филиал в г. Волжский, г. Волжский, Россия

В России и мире население концентрируется в основном в городах. Процесс урбанизации в пределе будет завершен после переселения последнего человека в город. В настоящее время происходит рост числа и численности городов. Последнее требует от города и его систем соответствующего развития, направленного на обеспечение потребностей человека и общества в том числе энергией различного вида. Поиск оптимального развития городской энергосистемы в условиях централизованного тепло- и электроснабжения является актуальной задачей для российских городов, ввиду коренных изменений в структуре энергопотребления, старения оборудования, изменения климата и др.

Городская энергосистема – это совокупность генерирующих объектов, электрических и тепловых сетей, соединенных между собой и связанных общностью режимов в непрерывном процессе производства, преобразования, передачи и распределения электрической и тепловой энергии при общем управлении этим режимом.

Городская энергосистема тесно связана с инфраструктурными, культурными, градостроительными, социально-экономическими и экологическими аспектами жизни города, которые имеют определенное влияние на нее. Задача прогнозирования устойчивого развития системы городского теплоснабжения состоит в определении и обобщении ключевых доминирующих факторов, определяющих устойчивое развитие городской системы теплоснабжения.

*Ключевые слова:* программа развития, удельный показатель, прогнозирование, развитие системы теплоснабжения.

Под устойчивым развитием городской энергосистемы в данном исследовании понимается эволюция энергосистемы города в комплексе с другими городскими системами с целью удовлетворения потребностей нынешних и последующих поколений жителей с учетом способности экосистемы справляться с последствиями человеческой деятельности. Особо следует подчеркнуть, что устойчивое развитие имеет динамический характер.

Факторы устойчивого развития городской энергосистемы:

1. Экологические – сохранение биологического разнообразия, контроль и защита территорий от антропогенного воздействия, озеленение территории, рекультивация загрязненных площадей.

2. Социально-экономические и культурные – стимулирование энергоэффективных и экологически безопасных технологий жизни и производства продукции, развитие экономики муниципалитета, повышение уровня образования, культуры и занятости населения, возможность бюджетного финансирования различных отраслей экономики, представленных в городе.

3. Градостроительные – стимулирование строительства зданий высоких классов энергоэффективности, обеспечение роста численности населения необходимым количеством жилой площади, снижение энергоемкости строительства зданий и сооружений.

4. Инфраструктурные – обеспечение растущего потребления теплоты соответствующими мощностями энергоисточников, строительство автомобильных и железных дорог и систем жизнеобеспечения, развитие социальной инфраструктуры.

Цель работы состоит в определении и обобщении ключевых доминирующих факторов, определяющих устойчивое развитие городской энергосистемы в части систем тепло- и электроснабжения. Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

1. Осуществление выборки городских поселений, находящихся в различных климатических условиях и имеющих источники комбинированной и раздельной выработки теплоты.

2. Разработка перечня факторов, влияющих на развитие городских энергосистем.

3. Определение ключевых доминирующих факторов, определяющих устойчивое развитие городской энергосистемы.

Для решения поставленных задач на первом этапе были выбраны населенные пункты, для которых разработаны и утверждены схемы теплоснабжения согласно Постановлению Правительства РФ № 154 от 22.02.2012 г. «О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения». Материалы по утверждаемым и обосновывающим материалам выбранных населенных пунктов расположены в открытом доступе

на электронных ресурсах сети Интернет администраций соответствующих населенных пунктов [1–19]. Ранжирование городов по числу жителей приведено в таблице. Значения градусо-суток отопительного периода (ГСОП) приведены при температуре воздуха внутри помещений в отопительный период +20 °С согласно [20].

Современное состояние проблемы изменения климата и прогностические оценки состояния климата до конца столетия приведены в оценочных докладах Международной группы экспертов по изменению климата [21]. Согласно [22], аномалии температуры на фоне многолетнего тренда кратковременны и не учитываются в расчетах. Изменение состояния климата, которое может быть определено через изменения средних значений и (или) изменчивость свойств климата [23], носит продолжительный и направленный характер и будет зафиксировано в прогнозных функциях. Работа создает предпосылки для анализа мегаполисов на предмет их уязвимости к изменению климата, т. е. степени, в которой системы объектов восприимчивы к неблагоприятным последствиям изменения климата и не могут справляться с этими последствиями [24].

Выбор населенных пунктов произведен исходя из следующих условий:

1. Населенные пункты должны иметь численность населения более 100 тыс. чел.

2. Населенные пункты должны быть расположены в различных климатических зонах.

3. Система теплоснабжения должна иметь источники комбинированной и раздельной выработки энергии.

Сам по себе показатель плотности населения для решения задач данной работы не является определяющим, но характеризует концепцию развития строительства города в части этажности застройки. Аналогичным показателем является численность населения, отнесенная на 1000 м<sup>2</sup> отапливаемой площади. Система теплоснабжения включает в себя три основных участника взаимоотношений: источник теплоты (котельные или ТЭЦ), тепловые сети и потребитель. Невозможность технологического разрыва между ними определяет перечень показателей, которые характеризуют не только энергетические, но и социально-экономические параметры.

В данной работе рассматриваются схемы теплоснабжения городов, как правило, региональных центров, для которых отдельно в официальных документах не представлена информация об объеме валового продукта. В Российском статистическом ежегоднике за 2011–2015 гг. [25] представлена информация по объему валового регионального продукта на душу населения. Поэтому объем валового продукта рассматриваемых городов определялся как произведение числа жителей города на значение валового регионального продукта на душу населения.

Согласно [26], ГСОП используется в следующих целях:

Разделение городов по числу жителей

№	Численность населения	Название города	Плотность населения, чел./км <sup>2</sup>	ГСОП*, °С·сут
1	Более 1 000 000 чел.	Новосибирск	3061,588	6210,10
2		Екатеринбург	2876,468	5843,24
3		Нижний Новгород	2709,267	5567,10
4		Самара	3068,974	4060,00
5		Омск	2035,065	6069,60
6		Пермь	1283,61	5737,50
7		Волгоград	1184,53	3907,20
8		Воронеж	1688,203	4275,00
9	От 500 000 до 1 000 000 чел.	Томск	1874,761	5942,70
10		Хабаровск	1557,106	6018,00
11		Владивосток	1821,389	4811,40
12		Иркутск	2210,074	6840,00
13		Барнаул	1965,777	7782,50
14		Краснодар	1090,866	2607,50
15	До 500 000 чел.	Южно-Сахалинск	1176,175	5612,00
16		Тамбов	3135,35	4763,70
17		Мурманск	1937,487	6435,00
18		Волжский	2178,94	3924,80
19		Смоленск	1989,546	4598,00
20		Калуга	1960,065	4809,00
21		Архангельск	1190,109	6125,00
22		Иваново	3934,837	5234,10
23		Чебоксары	1868,398	5403,30

1) для расчета нормируемых значений сопротивления теплопередаче наружных ограждений зданий, сооружаемых в разных регионах страны;

2) для расчета потребности тепловой энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период;

3) для сопоставления удельного годового расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию аналогичного по назначению и этажности здания, построенного в разных климатических условиях.

ГСОП является своего рода климатической поправкой, которая позволяет сравнивать между собой различные по мощности и потреблению системы теплоснабжения, находящиеся в различных климатических условиях. ГСОП не несет в себе информацию о структуре системы теплоснабжения, ее конфигурации, состоянии и т. д. Введение ГСОП в удельные показатели позволяет проводить сравнение между собой энергоэффективность зданий различного типа, находящихся в существенно отличающихся климатических условиях.

Проведенный анализ показал, что описание развития схемы теплоснабжения города абсолютными величинами является некорректным ввиду различных конфигураций и условий работы систем теплоснабжения. Представляется, что основными факторами, оказывающими влияние на развитие системы теплоснабжения, являются перечисленные ниже.

1. Удельная величина годового потребления теплоты на  $1 \text{ м}^2$  жилой отапливаемой площади,

снижение которой свидетельствует об улучшении тепловой защиты здания, т. е. о повышении энергоэффективности здания (рис. 1). Чем ниже показатель, тем выше общая устойчивость городской энергосистемы.

2. Удельная величина годового потребления теплоты на 1 человека, увеличение которого указывает на рост тепловых потерь в теплосетях, что снижает энергетическую устойчивость города (см. рис. 1). Кроме того, увеличение показателя косвенно говорит о снижении численности населения. С другой стороны, снижение показателя может говорить об увеличении плотности населения и отставании темпов строительства от роста численности населения. Набор точек рис. 1 демонстрирует несущественную возможность формирования усредненного линейного уравнения. Математическая обработка показала возможность использования только уравнений второго порядка с крайне низким коэффициентом детерминации. Рассмотренная пара показателей в дальнейших расчетах не используется.

3. Удельная величина протяженности тепловой сети в расчете на  $1 \text{ м}^2$  жилой отапливаемой площади (рис. 2). Показатель характеризует в первую очередь этажность города, то есть плотность населения в застроенной территории. Для городов с преобладанием малоэтажной застройки этот показатель будет выше. Снижение показателя связано с увеличением этажности зданий и, соответственно, повышением энергоэффективности. Таким образом, при прочих равных условиях тепловая

Удельное значение отпуска тепловой энергии на 1 человека (Гкал/чел)

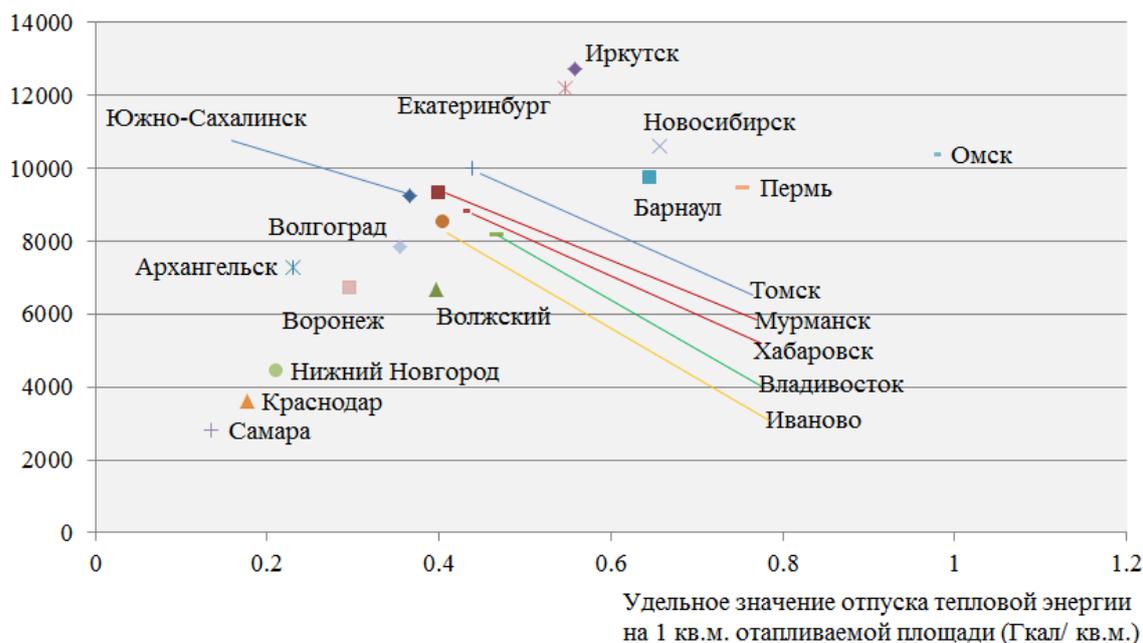


Рис. 1. Зависимость удельного значения отпуска тепловой энергии на 1 человека (Гкал/чел.) от удельного значения отпуска тепловой энергии на 1 кв. м отапливаемой площади (Гкал/ кв. м)

Удельная длина тепловой сети на 1 кв.м.  
отапливаемой площади, м/кв.м.

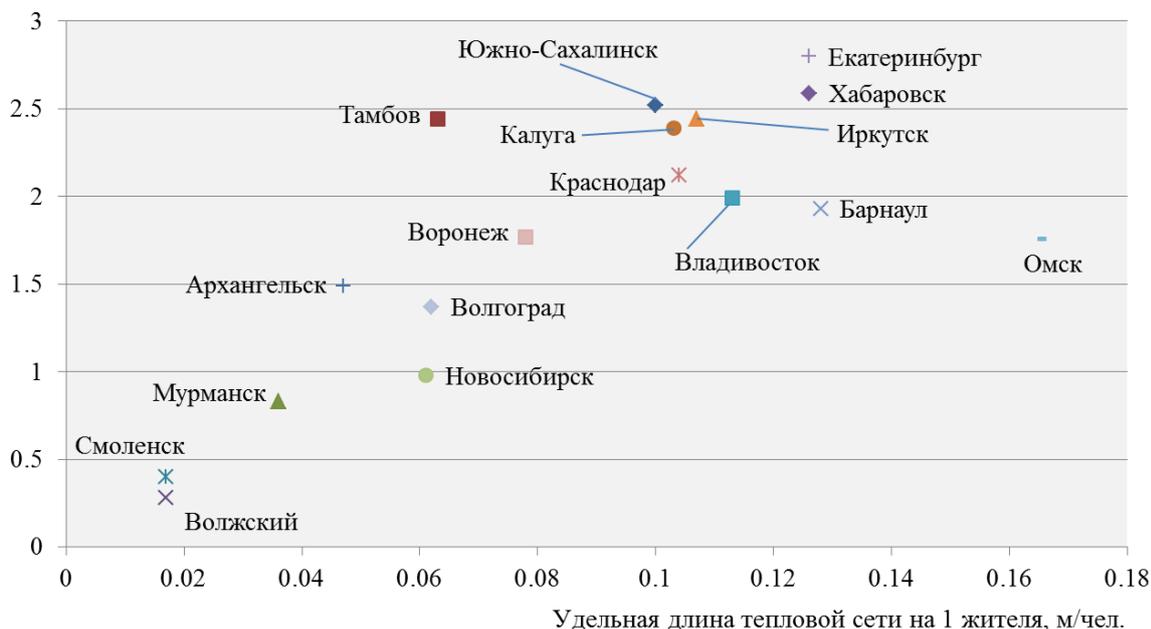


Рис. 2. Зависимость удельного значения длины тепловой сети на 1 кв. м отапливаемой площади (м/кв. м) от удельного значения длины тепловой сети на 1 жителя (м/чел.)

сеть имеет большую удельную тепловую нагрузку на 1 м, что характеризует городскую энергосистему как устойчиво развивающуюся до достижения предельной пропускной способности трубопроводов. Увеличение связано со снижением этажности зданий и, соответственно, снижением энергоэффективности за счет необходимости строительства новых тепловых сетей для обеспечения теплотой малоэтажной застройки, что приведет к снижению устойчивости городской энергосистемы.

4. Удельная величина протяженности тепловой сети в расчете на одного человека (рис. 2) условно показывает удельную длину тепловой сети для обеспечения теплотой потребности одного человека. Показатель характеризует в первую очередь этажность города. Для городов с преобладанием малоэтажной застройки этот показатель будет выше. При сохранении конфигурации тепловой сети снижение показателя означает увеличение плотности населения. Увеличение рассматриваемого параметра однозначно рассматривается как снижение устойчивости городской энергосистемы. Набор точек рис. 2 демонстрирует несущественную возможность формирования усредненного линейного уравнения. Относительно линейное распределение верхней части графика включает овалообразное скопление величин, математическое описание которых уравнениями ниже второго порядка характерно крайне низким коэффициентом детерминации. Рассмотренная пара показателей в дальнейших расчетах не используется.

5. Удельная величина потребления условного топлива на 1 м<sup>2</sup> жилой отапливаемой площади

(рис. 3). Данный показатель отображает количество условного (натурального) топлива, ежегодно затрачиваемого на поддержание температуры воздуха внутри помещений жилых зданий на уровне 20 °С при соответствующей средней отопительной температуре окружающего воздуха и подготовку холодной воды на нужды системы горячего водоснабжения. При фиксированной выработке теплоты источниками данный показатель характеризует также эффективность работы оборудования.

Увеличение фактора означает ухудшение тепловой защиты зданий, увеличение тепловых потерь в теплосетях, снижение эффективности выработки теплоты источниками, т. е. снижение общей устойчивости городской системы теплоснабжения. Снижение показывает, что в городе внедряются энергоэффективные технологии, позволяющие на всех стадиях производства, распределения и потребления теплоты снизить ее потребление, то есть общая устойчивость городской энергосистемы повышается. Набор точек рис. 3 возможно описать посредством линейного уравнения

$$B = 78,33 \cdot 0,99F,$$

где  $F$  – отапливаемая площадь здания, тыс. кв. м;  $B$  – потребление условного топлива, т.у.т.

Коэффициент детерминации уравнения  $R^2 \approx 0,68$ .

6. Удельная величина потребления условного (натурального) топлива в расчете на 1 человека (рис. 4). Увеличение показателя означает ухудшение тепловой защиты зданий, увеличение тепловых потерь в теплосетях и снижение эффективности выработки теплоты энергоисточниками.

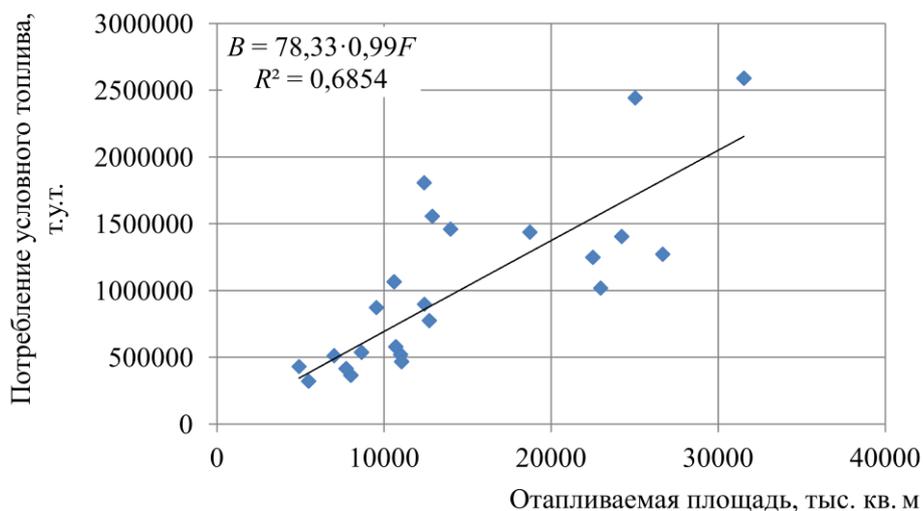


Рис. 3. Изменение потребления условного топлива в зависимости от отапливаемой площади городов

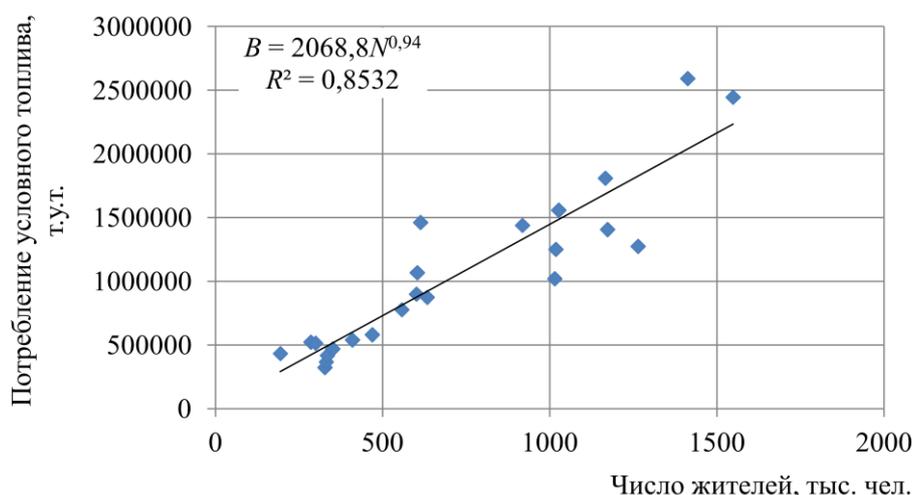


Рис. 4. Изменение потребления условного топлива в зависимости от числа жителей городов

Описанная зависимость означает снижение энергоэффективности системы теплоснабжения и общей устойчивости городской энергосистемы. Набор точек рис. 3 возможно описать посредством степенного уравнения

$$B = 2068,8N^{0,94},$$

где  $N$  – число жителей, тыс. чел.

Коэффициент детерминации  $R^2 \approx 0,85$ .

7. Удельные потери в тепловых сетях на единицу длины тепловой сети (рис. 5). Динамика фактора однозначно определяется следующим образом: увеличение – снижение общей устойчивости городской энергосистемы, снижение – увеличение общей устойчивости городской энергосистемы.

Набор точек рис. 5 демонстрирует несущественную возможность формирования усредненного линейного уравнения. Индицируемые величины сгруппированы в верхней правой части графика в виде овалообразного скопления, математическое описание которого уравнениями ниже второго по-

рядка характеризуется крайне низким коэффициентом детерминации. Рассмотренная пара показателей в дальнейших расчетах не используется.

8. Удельная величина жилой отапливаемой площади в расчете на 1 человека (см. рис. 5). Снижение параметра означает отставание темпов роста жилой площади от темпов роста численности населения города. Причинами могут быть различные факторы, в том числе связанные с городской энергосистемой. На федеральном уровне в России принято, что минимальная санитарная норма жилой площади на одного человека равна  $6 \text{ м}^2$ . До снижения указанной величины до указанного порога в  $6 \text{ м}^2/\text{чел.}$  считается, что город устойчиво развивается и городская энергосистема обеспечивает потребности жителей города. Сохранение постоянной величины указывает на устойчивое развитие города, так как в условиях увеличения численности населения обеспечивает необходимый прирост жилого фонда при соответствующем

Удельная величина жилой отапливаемой площади в расчете на 1 человека, кв.м/чел

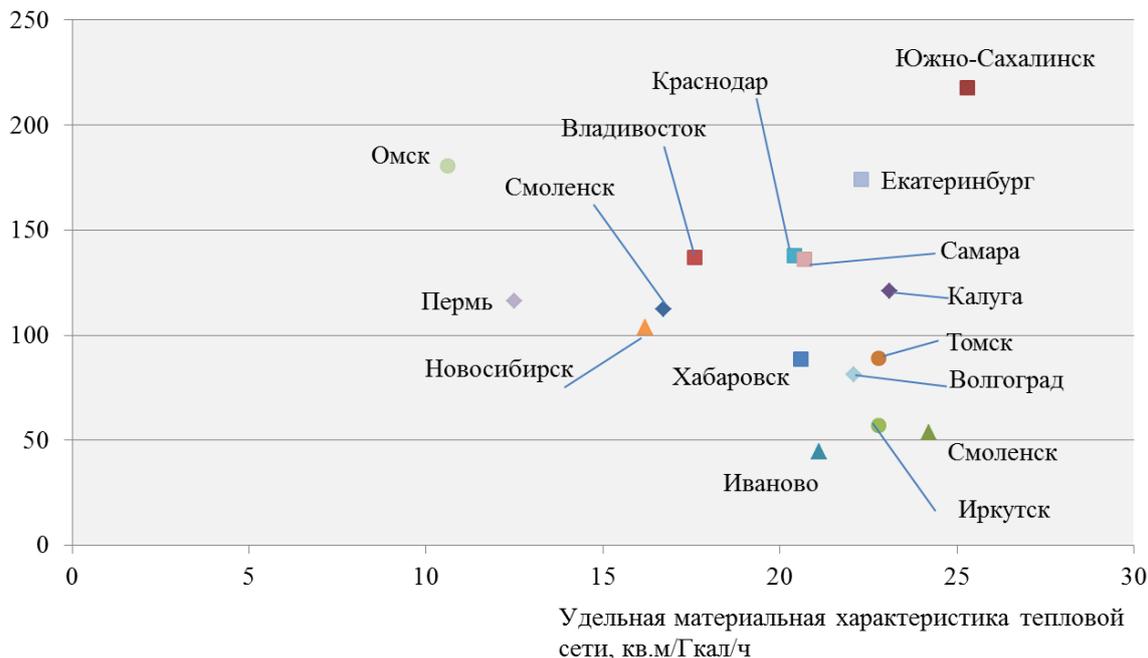


Рис. 5. Зависимость удельного значения жилой отапливаемой площади в расчете на 1 человека (кв. м/чел.) от удельной материальной характеристики тепловой сети (кв. м/Гкал/ч)

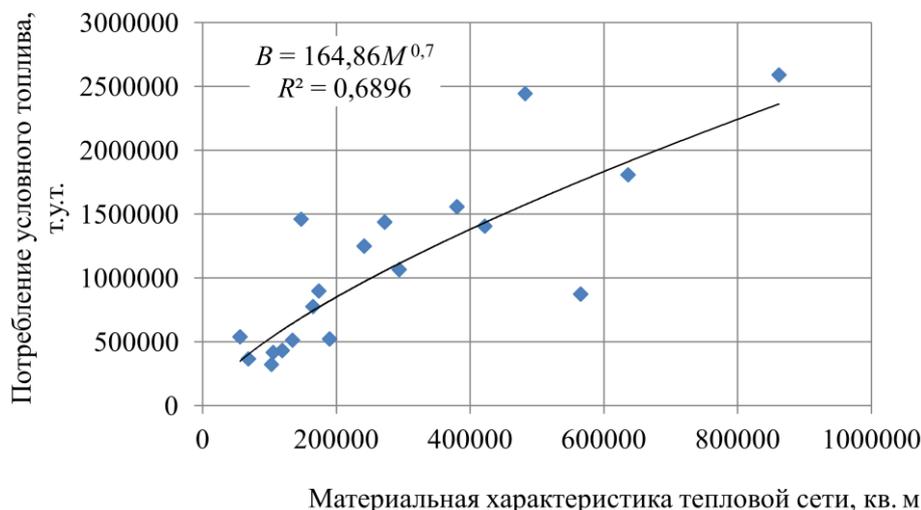


Рис. 6. Изменение потребления условного топлива в зависимости от материальной характеристики тепловых сетей городов

развитии городской энергосистемы. Рост величины показывает опережение темпом роста жилой площади темпов роста численности населения города. При этом считается, что город устойчиво развивается и городская энергосистема обеспечивает потребности жителей города.

9. Удельная материальная характеристика тепловой сети (рис. 6) представляет собой отношение материальной характеристики тепловой сети, образующей зону действия источника теплоты, к присоединенной к этой сети тепловой нагрузке.

Описанная зависимость означает снижение энергоэффективности системы теплоснабжения и общей устойчивости городской энергосистемы. Набор точек рис. 3 возможно описать посредством уравнения второго порядка, приближенного на рассматриваемом участке к линейному,

$$B = 164,86M^{0,7},$$

где  $M$  – материальная характеристика тепловой сети, кв. м.

Коэффициент детерминации  $R^2 \approx 0,69$ .

Удельная материальная характеристика отражает основное правило построения системы цен-

трализованного теплоснабжения: ее величина всегда ниже в системах теплоснабжения, работающих на высокую плотность тепловой нагрузки. При уменьшении величины удельной материальной характеристики увеличивается эффективность системы централизованного теплоснабжения. Снижение означает развитие городской энергосистемы в сторону увеличения эффективности централизованного теплоснабжения. Увеличение означает снижение эффективности централизованного теплоснабжения.

### Выводы

В настоящей работе осуществлена выборка и выполнен анализ городов, характеризующихся различным количеством населения и находящихся в различных климатических зонах, что позволяет применять полученные зависимости для групп аналогичных населенных пунктов.

Рассмотрены девять удельных характеристик, характеризующих состояние устойчивости и эффективность эксплуатации систем городского теплоснабжения. Показаны диапазоны величин, влияющих на увеличение устойчивости функционирования рассматриваемых систем.

Определены коэффициенты детерминации для анализируемых пар удельных характеристик. Чем ближе значение  $R^2$  к 1, тем теснее анализируемая взаимосвязь между рассматриваемыми факторами и результатом. Таким образом, при первичном определении и обобщении ключевых доминирующих факторов, определяющих устойчивое развитие городских систем теплоснабжения, наиболее целесообразно рассматривать функцию изменения потребления условного топлива в зависимости от числа жителей городов. Точность такого анализа составляет около 85 %. Целесообразно рассмотрение функций:

- изменения потребления условного топлива в зависимости от отапливаемой площади городов;
- изменения потребления условного топлива в зависимости от материальной характеристики тепловых сетей городов.

Ожидаемая точность данного анализа составляет не ниже 68 %.

Статья подготовлена при поддержке гранта РФФИ № 16-19-10568 «Исследование общих закономерностей и особенностей развития городских энергосистем в различных социально-экономических и природно-климатических условиях».

### Литература

1. Схема теплоснабжения города Волжский. Обосновывающие материалы / ООО «Тэтра Электрик». – 2013. – <http://admvol.ru/departments/KOZhG/docs/Схема%20теплоснабжения%20-%20Обосновывающие%20материалы.pdf> (дата обращения: 15.07.2016).
2. Схема теплоснабжения города Архангельск. Обосновывающие материалы / ЗАО «Межрегионсоюз-энерго». – 2012. – <http://www.arhcity.ru/data/1216/Glava%201.pdf> (дата обращения 20.07.2016).
3. Схема теплоснабжения города Екатеринбург. – <http://екатеринбург.рф/file/23bc52ffad286c130c361a857cf5e5c2> (дата обращения: 10.07.2016).
4. Схема теплоснабжения города Пермь. Обосновывающие материалы. – [http://www.gorodperm.ru/upload/pages/16192/Skhema\\_teplosnabzhenija\\_obosnovyvajushhije\\_materialy.pdf](http://www.gorodperm.ru/upload/pages/16192/Skhema_teplosnabzhenija_obosnovyvajushhije_materialy.pdf) (дата обращения: 01.07.2016).
5. Схема теплоснабжения города Нижний Новгород. – 2015. – <http://нижнийновгород.рф/zastrojka/teplo/proekt2016.pdf> (дата обращения: 05.07.2016).
6. Схема теплоснабжения города Иваново. Обосновывающие материалы / ОГУП «Ивановский центр энергосбережения». – <http://ivgoradm.ru/ugkh/proektteplosnab.htm> (дата обращения: 05.07.2016).
7. Схема теплоснабжения города Краснодар. Обосновывающие материалы. – 2015. – <https://krd.ru/uploads/files/2016/05/11/25485-03401.st-pst.000.000.pdf> (дата обращения: 03.07.2016).
8. Схема теплоснабжения города Новосибирск. Обосновывающие материалы. – 2016. – [http://www.degkh.ru/shema-ts/content3/shema\\_2017.pdf](http://www.degkh.ru/shema-ts/content3/shema_2017.pdf) (дата обращения: 07.07.2016).
9. Схема теплоснабжения города Хабаровск. Обосновывающие материалы / ООО «ЭнергоЦентр». – [http://dasiz.khabarovskadm.ru/engineering\\_infrastructure/engineering\\_schemes/project\\_teplo2028/ProjectTeplo\\_g1Part3.pdf](http://dasiz.khabarovskadm.ru/engineering_infrastructure/engineering_schemes/project_teplo2028/ProjectTeplo_g1Part3.pdf) (дата обращения: 08.07.2016).
10. Схема теплоснабжения города Хабаровск. Обосновывающие материалы. – 2016. – <http://www.adtomsk.ru/web/guest/government/divisions/35/heat-supply-scheme> (дата обращения 08.07.2016).
11. Схема теплоснабжения города Южно-Сахалинск. Обосновывающие материалы. – 2013. – <http://yuzhno-sakh.ru/files/docs/f/0/f09f91b15a798f10460395ea46af3bc3dd6301e7.pdf> (дата обращения: 02.07.2016).
12. Схема теплоснабжения города Чебоксары. Обосновывающие материалы. – 2014. – [http://gov.cap.ru/info.aspx?gov\\_id=81&type=main&id=2723392](http://gov.cap.ru/info.aspx?gov_id=81&type=main&id=2723392) (дата обращения: 06.07.2016).
13. Схема теплоснабжения города Томск. Обосновывающие материалы. – 2014. – <http://www.admin.tomsk.ru/pgs/4ew> (дата обращения: 04.07.2016).

14. Схема теплоснабжения города Барнаул. Обосновывающие материалы. – 2014. – [http://barnaul.org/vlast/administraciya/komitet/arh/inaja\\_informacija\\_o\\_svoey\\_dejatel\\_2/skhema-teplosnabzheniya-v-administrativnykh-granitsakh-goroda-barnaula-do-2029-goda/](http://barnaul.org/vlast/administraciya/komitet/arh/inaja_informacija_o_svoey_dejatel_2/skhema-teplosnabzheniya-v-administrativnykh-granitsakh-goroda-barnaula-do-2029-goda/) (дата обращения: 04.07.2016).
15. Схема теплоснабжения города Владивосток. Обосновывающие материалы. Комплексные энергетические решения. – 2013. – [http://www.vlc.ru/news/site\\_news/104601/](http://www.vlc.ru/news/site_news/104601/) (дата обращения: 07.07.2016).
16. Схема теплоснабжения города Мурманск. – 2013. – [http://www.citymurmansk.ru/strukturnye\\_podr/?itemid=311#descr](http://www.citymurmansk.ru/strukturnye_podr/?itemid=311#descr) (дата обращения: 02.07.2016).
17. Схема теплоснабжения города Смоленск. Обосновывающие материалы / Белнипиэнергопром. – 2014. – [http://www.smoladmin.ru/spravocn/teplo/files/2015\\_02\\_01.pdf](http://www.smoladmin.ru/spravocn/teplo/files/2015_02_01.pdf) (дата обращения: 02.07.2016).
18. Схема теплоснабжения города Воронеж. Обосновывающие материалы. – 2015. – [http://www.voronezh-city.ru/communications/main\\_topics/detail/14182](http://www.voronezh-city.ru/communications/main_topics/detail/14182) (дата обращения: 08.07.2016).
19. Схема теплоснабжения города Тамбов. Обосновывающие материалы. – 2015. – [http://city.tambov.gov.ru/fileadmin/user\\_upload/org/kgf/%D0%A1%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B0\\_%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D1%81%D0%BD%D0%B0%D0%B1%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F\\_%D0%B3.\\_%D0%A2%D0%B0%D0%BC%D0%B1%D0%BE%D0%B2%D0%B0.pdf](http://city.tambov.gov.ru/fileadmin/user_upload/org/kgf/%D0%A1%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D1%81%D0%BD%D0%B0%D0%B1%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%B3._%D0%A2%D0%B0%D0%BC%D0%B1%D0%BE%D0%B2%D0%B0.pdf) (дата обращения: 08.07.2016).
20. ГОСТ 30494–2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – 2011. – <http://www.vashdom.ru/gost/30494-2011/>
21. IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / [T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner et al. (eds.)]. – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. – 1535 p.
22. *The Impact of North Atlantic-Arctic Multidecadal Variability on Northern Hemisphere Surface Air Temperature* / V.A. Semenov, M. Latif, D. Dommenges et al. // *J. Climate*. – 2010. – Vol. 23. – P. 5668–5677. DOI: 10.1175/2010JCLI3347.1
23. *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / [Core Writing Team, Pachauri, R. K and Reisinger, A. (eds.)]. – IPCC, Geneva, Switzerland. – 104 p.
24. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. – Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. – 582 p.
25. *Российский статистический ежегодник*. – 2017. – [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc\\_1135087342078](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1135087342078)
26. СП 131.13330.2012. *Строительная климатология*. – 2012. – <http://docs.cntd.ru/document/1200095546>

**Гашо Евгений Геннадьевич**, канд. техн. наук, доцент, кафедра «Промышленные теплоэнергетические системы», Московский энергетический институт, г. Москва; 290461@bk.ru.

**Гужов Сергей Вадимович**, канд. техн. наук, доцент, зам. начальника отдела энергоменеджмента, Московский энергетический институт, г. Москва; GuzhovSV@yandex.ru.

**Такташев Ринат Ниямянович**, канд. техн. наук, штатный работник, учебная часть, Московский энергетический институт, филиал в г. Волжский, г. Волжский; taktashev@mail.ru.

*Поступила в редакцию 20 сентября 2017 г.*

## IDENTIFICATION OF KEY DOMINANT FACTORS DETERMINING SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF URBAN HEAT SUPPLY SYSTEM

**E.G. Gasho**<sup>1</sup>, [GuzhovSV@yandex.ru](mailto:GuzhovSV@yandex.ru),  
**S.V. Guzhov**<sup>1</sup>, [290461@bk.ru](mailto:290461@bk.ru),  
**R.N. Taktashev**<sup>2</sup>, [taktashev@mail.ru](mailto:taktashev@mail.ru)

<sup>1</sup> Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russian Federation,

<sup>2</sup> Moscow Power Engineering Institute, Branch in Volzhsky, Volzhsky, Russian Federation

Both in Russia and abroad the population is mainly concentrated in cities. The process of urbanization in the limit will be completed when the last person moves to the city. Now there is an increase in the number of cities and their population. The latter factor requires the city and its systems to be properly developed to ensure the needs of a man and the society including energy of various types. The search for optimal development of the city energy system in the conditions of centralized heat and power supply is an urgent task for Russian cities due to fundamental changes in the structure of energy consumption, equipment aging, climate change, etc.

The city power system is a set of generating objects, electric and heat networks connected with each other and interconnected by common modes in the continuous process of production, transformation, transmission and distribution of electric and thermal energy under the general management of this mode.

The city energy system is closely connected with the infrastructure, cultural, urban planning, socio-economic and environmental aspects of the city's life which have a certain impact on it. The task of forecasting the sustainable development of the urban heat supply system is to identify and summarize the key dominant factors that determine the sustainable development of the urban heat supply system.

*Keywords: development program, specific indicator, forecasting, development of the heat supply system.*

### References

1. *Skhema teplosnabzheniya goroda Volzhskiy. Obosnovyayushchie materialy* [Heat supply scheme of the city of Volzhsky. Substantiating materials], 2013. Available at: <http://admvol.ru/departments/KOZhG/docs/Scheme%20the%20supply%20of%20supplies%20-%20Fearing%20materials.pdf> (accessed 15.07.2016).
2. *Skhema teplosnabzheniya goroda Arkhangel'sk. Obosnovyayushchie materialy* [Diagram of heat supply of the city of Arkhangelsk. Substantiating materials], 2012. Available at: <http://www.arhcity.ru/data/1216/Glava%201.pdf> (accessed July 20.07.2016).
3. *Skhema teplosnabzheniya goroda Ekaterinburg* [Heat supply scheme of the city of Yekaterinburg]. Available at: <http://екатеринбург.рф/file/23bc52ffad286c130c361a857cf5e5c2> (accessed 10.07.2016).
4. *Skhema teplosnabzheniya goroda Perm'. Obosnovyayushchie materialy* [Heat supply scheme of the city of Perm. Substantiating materials]. Available at: [http://www.gorodperm.ru/upload/pages/16192/Skhema\\_teplosnabzheniya\\_obosnovyayushchie\\_materialy.pdf](http://www.gorodperm.ru/upload/pages/16192/Skhema_teplosnabzheniya_obosnovyayushchie_materialy.pdf) (accessed 01.07.2016).
5. *Skhema teplosnabzheniya goroda Nizhny Novgorod* [Heat supply scheme of Nizhny Novgorod], 2015. Available at: <http://unlock.gr./zastroyka/teplo/proekt2016.pdf> (accessed 05.07.2016).
6. *Skhema teplosnabzheniya goroda Ivanovo. Obosnovyayushchie materialy* [Heat supply scheme of the city of Ivanovo. Substantiating materials]. Available at: <http://ivgoradm.ru/ugkh/proektteplosnab.htm> (accessed 05.07.2016).
7. *Skhema teplosnabzheniya goroda Krasnodar. Obosnovyayushchie materialy* [Heat supply scheme of the city of Krasnodar. Substantiating materials], 2015. Available at: <https://krd.ru/uploads/files/2016/05/11/25485-03401.st-pst.000.000.pdf> (accessed 03.10.2016).
8. *Skhema teplosnabzheniya goroda Novosibirsk. Obosnovyayushchie materialy* [Heat supply scheme of the city of Novosibirsk. Substantiating materials], 2016. Available at: [http://www.degkh.ru/shema-ts/content3/shema\\_2017.pdf](http://www.degkh.ru/shema-ts/content3/shema_2017.pdf) (accessed 07.07.2016).
9. *Skhema teplosnabzheniya goroda Khabarovsk. Obosnovyayushchie materialy* [Heat supply scheme of the city of Khabarovsk. Substantiating materials]. Available at: [http://dasiz.khabarovskadm.ru/engineering\\_infrastructure/engineering\\_schemes/project\\_teplo2028/ProjectTeplo\\_g11Part3.pdf](http://dasiz.khabarovskadm.ru/engineering_infrastructure/engineering_schemes/project_teplo2028/ProjectTeplo_g11Part3.pdf) (accessed 08.07.2016).
10. *Skhema teplosnabzheniya goroda Khabarovsk. Obosnovyayushchie materialy* [Heat supply scheme of the city of Khabarovsk. Substantiating materials], 2016. Available at: <http://www.admomsk.ru/web/guest/government/divisions/35/heat-supply-scheme> (accessed 08.07.2016).
11. *Skhema teplosnabzheniya goroda Yuzhno-Sakhalinsk. Obosnovyayushchie materialy* [Diagram of heat supply of the city of Yuzhno-Sakhalinsk. Substantiating materials], 2013. Available at: <http://yuzhno-sakh.ru/files/docs/f/0/f09f91b15a798f10460395ea46af3bc3dd6301e7.pdf> (accessed 02.07.2016).

12. *Skhema teplosnabzheniya goroda Cheboksary. Obosnovyvyayushchie materialy* [Diagram of heat supply of the city of Cheboksary. Substantiating materials], 2014. Available at: [http://gov.cap.ru/info.aspx?gov\\_id=81&type=main&id=2723392](http://gov.cap.ru/info.aspx?gov_id=81&type=main&id=2723392) (06.07.2016).
13. *Skhema teplosnabzheniya goroda Tomsk. Obosnovyvyayushchie materialy* [Heat supply scheme of Tomsk. Substantiating materials], 2014. Available at: <http://www.admin.tomsk.ru/pgs/4ew> (accessed 04.07.2016).
14. *Skhema teplosnabzheniya goroda Barnaul. Obosnovyvyayushchie materialy* [Heat supply scheme of the city of Barnaul. Substantiating materials], 2014. Available at: [http://barnaul.org/vlast/administraciya/komitet/arh/inaja\\_informacija\\_o\\_svoey\\_dejatel\\_2/skhema-teplosnabzheniya-v-administrativnykh-granitsakh-goroda-barnaula-do-2029-goda/](http://barnaul.org/vlast/administraciya/komitet/arh/inaja_informacija_o_svoey_dejatel_2/skhema-teplosnabzheniya-v-administrativnykh-granitsakh-goroda-barnaula-do-2029-goda/) (accessed 04.07.2016).
15. *Skhema teplosnabzheniya goroda Vladivostok. Obosnovyvyayushchie materialy. Kompleksnye energeticheskie resheniya* [Heat supply scheme of the city of Vladivostok. Substantiating materials], 2013. Available at: [http://www.vlc.ru/news/site\\_news/104601/](http://www.vlc.ru/news/site_news/104601/) (accessed 07.07.2016).
16. *Skhema teplosnabzheniya goroda Murmansk* [Heat supply scheme of the city of Murmansk. Substantiating materials], 2013. Available at: [http://www.citymurmansk.ru/strukturnye\\_podr/?itemid=311#descr](http://www.citymurmansk.ru/strukturnye_podr/?itemid=311#descr) (accessed 02.07.2016).
17. *Skhema teplosnabzheniya goroda Smolensk. Obosnovyvyayushchie materialy* [Diagram of heat supply of the city of Smolensk. Substantiating materials], 2014. Available at: [http://www.smoladmin.ru/spravocn/teplo/files/2015\\_02\\_01.pdf](http://www.smoladmin.ru/spravocn/teplo/files/2015_02_01.pdf) (accessed 02.07.2016).
18. *Skhema teplosnabzheniya goroda Voronezh. Obosnovyvyayushchie materialy* [Diagram of heat supply of the city of Voronezh. Substantiating materials], 2015. Available at: [http://www.voronezh-city.ru/communications/main\\_topics/detail/14182](http://www.voronezh-city.ru/communications/main_topics/detail/14182) (accessed 08.07.2016).
19. *Skhema teplosnabzheniya goroda Tambov. Obosnovyvyayushchie materialy* [Heat supply scheme of the city of Tambov. Substantiating materials], 2015. Available at: [http://city.tambov.gov.ru/fileadmin/user\\_upload/org/kgf/%D0%A1%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B0\\_%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D1%81%D0%BD%D0%B0%D0%B1%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F\\_%D0%B3\\_%D0%A2%D0%B0%D0%BC%D0%B1%D0%BE%D0%B2%D0%B0.pdf](http://city.tambov.gov.ru/fileadmin/user_upload/org/kgf/%D0%A1%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D1%81%D0%BD%D0%B0%D0%B1%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%B3_%D0%A2%D0%B0%D0%BC%D0%B1%D0%BE%D0%B2%D0%B0.pdf) (accessed 08.07.2016).
20. *GOST 30494–2011*. [Buildings are residential and public. Microclimate parameters in the premises], 2011. Available at: <http://www.yourdom.ru/gost/30494-2011/> (in Russ.).
21. IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
22. Semenov V.A., Latif M., Dommengot D., Keenlyside N.S., Strehz A., Martin T., Park W. The Impact of North Atlantic-Arctic Multidecadal Variability on Northern Hemisphere Surface Air Temperature. *J. Climate*, 2010, vol. 23, pp. 5668–5677. DOI: 10.1175/2010JCLI3347.1
23. *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri R.K and Reisinger A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 104 p.
24. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. 582 p.
25. *Rossiyskiy statisticheskiy ezhegodnik* [Russian Statistical Yearbook], 2017. Available at: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/en/statistics/publications/catalog/doc\\_1135087342078](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/en/statistics/publications/catalog/doc_1135087342078)
26. *JV 131.13330.2012*. [Construction climatology], 2012. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200095546> (in Russ.).

Received 20 September 2017

---

#### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Гашо, Е.Г. Выявление ключевых доминирующих факторов, определяющих устойчивое развитие системы городского теплоснабжения / Е.Г. Гашо, С.В. Гужов, Р.Н. Такташев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2017. – Т. 17, № 4. – С. 14–23. DOI: 10.14529/power170402

#### FOR CITATION

Gasho E.G., Guzhov S.V., Taktashev R.N. Identification of Key Dominant Factors Determining Sustainable Development of Urban Heat Supply System. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2017, vol. 17, no. 4, pp. 14–23. (in Russ.) DOI: 10.14529/power170402