

ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ ТЕПЛОНАСОСНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ (ГТСТ) И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ РОССИИ

Горнов В.Ф.

Лесков В.А.

Шапкин П.В.

ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ»

В отличие от «прямого» использования высокопотенциального геотермального тепла (гидротермальные ресурсы), использование грунта поверхностных слоев Земли как источника низкопотенциальной тепловой энергии для геотермальных теплонасосных систем теплоснабжения (ГТСТ) возможно практически повсеместно. В настоящее время в мире это одно из наиболее динамично развивающихся направлений использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии [1,2].

Грунт поверхностных слоев Земли фактически является тепловым аккумулятором неограниченной мощности. Тепловой режим грунта формируется под действием двух основных факторов – падающей на поверхность солнечной радиации и потоком радиогенного тепла из земных недр. Сезонные и суточные изменения интенсивности солнечной радиации и температуры наружного воздуха вызывают колебания температуры верхних слоев грунта. Глубина проникновения суточных колебаний температуры наружного воздуха и интенсивности падающей солнечной радиации в зависимости от конкретных почвенно-климатических условий колеблется в пределах от нескольких десятков сантиметров до полутора метров. Глубина проникновения сезонных колебаний температуры наружного воздуха и интенсивности падающей солнечной радиации не превышает, как правило, 15–20 м [3].

Тепловой режим слоев грунта, расположенных ниже этой глубины («нейтральной зоны»), формируется под воздействием тепловой энергии, поступающей из недр Земли и практически не зависит от сезонных, а тем более суточных изменений параметров наружного климата (рис. 1). С увеличением глубины температура грунта также увеличивается в соответствии с геотермическим градиентом (примерно 3°C на каждые 100 м). Величина потока радиогенного тепла, поступающего из земных недр, для разных местностей различается. Как правило эта величина составляет 0,05–0,12 Вт/м².

При эксплуатации ГТСТ грунтовый массив, находящийся в пределах зоны теплового влияния регистра труб грунтового теплообменника системы сбора низкопотенциального тепла грунта (системы теплосбора), вследствие сезонного изменения параметров наружного климата, а также под воздействием эксплуатационных нагрузок на систему теплосбора, как правило, подвергается многократному замораживанию и оттаиванию [4]. При этом, естественно, происходит изменение агрегатного состояния влаги, заключенной в порах грунта и находящейся в общем случае, как в жидкой, так и в твердой и газообразной фазах

одновременно. При этом в капиллярно-пористых системах, каковой является грунтовый массив системы теплосбора, наличие влаги в поровом пространстве оказывает заметное влияние на процесс распространения тепла. Корректный учет этого влияния на сегодняшний день сопряжен со значительными трудностями, которые, прежде всего, связаны с отсутствием четких представлений о характере распределения твердой, жидкой и газообразной фаз влаги в той или иной структуре системы. При наличии в толще грунтового массива температурного градиента молекулы водяного пара перемещаются к местам, имеющим пониженный температурный потенциал, но в то же время под действием гравитационных сил возникает противоположно направленный поток влаги в жидкой фазе. Кроме этого, на температурный режим верхних слоев грунта оказывает влияние влага атмосферных осадков, а также грунтовые воды [5,6].

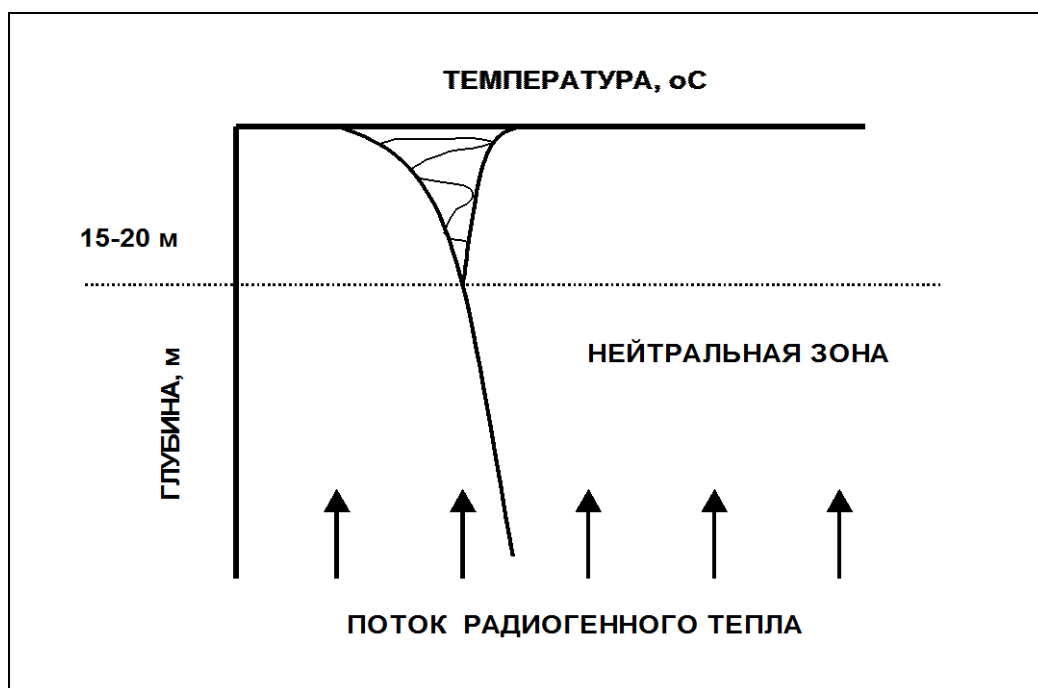


Рис. 1. График изменения температуры грунта в зависимости от глубины

К характерным особенностям теплового режима систем сбора тепла грунта как объекта проектирования также следует отнести и так называемую «информативную неопределенность» математических моделей, описывающих подобные процессы, или, иначе говоря, отсутствие достоверной информации о воздействиях на систему окружающей среды (атмосферы и массива грунта, находящихся вне зоны теплового влияния грунтового теплообменника системы теплосбора) и чрезвычайную сложность их аппроксимации. Действительно, если аппроксимация воздействий на систему наружного климата, хотя и сложна, но все же при определенных затратах «машинного времени» и использовании существующих моделей (например, «типового климатического года») может быть реализована, то проблема учета в модели влияния на систему атмосферных воздействий (роса, туман, дождь, снег и т.д.), а также аппроксимация теплового влияния на грунтовый массив системы теплосбора подстилающих и окружающих

его слоев грунта на сегодняшний день практически не разрешима и могла бы составить предмет отдельных исследований. Так, например, малая изученность процессов формирования фильтрационных потоков грунтовых вод, их скоростного режима, а также невозможность получения достоверной информации о тепловлажностном режиме слоев грунта, находящихся ниже зоны теплового влияния грунтового теплообменника, значительно осложняет задачу построения корректной математической модели теплового режима системы сбора низкопотенциального тепла грунта.

Для преодоления описанных сложностей, возникающих при проектировании ГТСТ, могут быть рекомендованы созданные в ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ» и апробированные на практике метод математического моделирования теплового режима систем сбора тепла грунта и методика учета при проектировании ГТСТ фазовых переходов влаги в поровом пространстве грунтового массива систем теплосбора.

Суть метода состоит в рассмотрении при построении математической модели разности двух задач: «базовой» задачи, описывающей тепловой режим грунта в естественном состоянии (без влияния грунтового теплообменника системы теплосбора), и решаемой задачи, описывающей тепловой режим грунтового массива со стоками (источниками) тепла. В итоге, метод позволяет получить решение относительно некоторой новой функции, представляющей собой *функцию влияния стоков тепла на естественный тепловой режим грунта* и равной разности температуры массива грунта в естественном состоянии и массива грунта со стоками (источниками тепла)- с грунтовым теплообменником системы теплосбора. Использование этого метода при построении математических моделей теплового режима систем сбора низкопотенциального тепла грунта позволило не только обойти трудности, связанные с аппроксимацией внешних воздействий на систему теплосбора, но и использовать в моделях экспериментально полученную метеостанциями информацию о естественном тепловом режиме грунта позволяет частично учесть весь комплекс факторов (таких, как наличие грунтовых вод, их скоростной и тепловой режимы, структура и расположение слоев грунта, «тепловой» фон Земли, атмосферные осадки, фазовые превращения влаги в поровом пространстве и многое другое), существеннейшим образом влияющих на формирование теплового режима системы теплосбора и совместный учет которых в строгой постановке задачи практически не возможен.

Методика учета при проектировании ГТСТ фазовых переходов влаги в поровом пространстве грунтового массива базируется на новом понятии «эквивалентной» теплопроводности грунта, которая определяется путем замены задачи о тепловом режиме замерзшего вокруг труб грунтового теплообменника цилиндра грунта «эквивалентной» квазистационарной задачей с близким температурным полем и одинаковыми граничными условиями, но с другой «эквивалентной» теплопроводностью.

Важнейшей задачей, решаемой при проектировании геотермальных систем теплоснабжения зданий, является детальная оценка энергетических возможностей климата района строительства и на этой основе составление заключения об эффективности и целесообразности применения того или иного схемного решения

ГТСТ. Расчётные значения климатических параметров, приводимые в действующих нормативных документах не дают полной характеристики наружного климата, его изменчивости по месяцам, а так же в отдельные периоды года - отопительный сезон, период перегрева и др. Поэтому при решении вопроса о температурном потенциале геотермального тепла, оценки возможности его сочетания с другими естественными источниками тепла низкого потенциала, оценки их (источников) температурного уровня в годовом цикле необходимо привлечение более полных климатических данных, приводимых, например, в Справочнике по климату СССР (Л. Гидрометиздат. Вып. 1-34),

Среди такой климатической информации, в нашем случае следует выделить прежде всего:

-данные о среднемесячной температуре почвы на разных глубинах;

-данные о поступлении солнечного излучения на различно ориентированные поверхности.

В таблицах 1 -5 приведены данные о среднемесячных температурах грунта на различных глубинах для некоторых городов России. В таблице 1 приведены среднемесячные температуры грунта по 23 городам РФ на глубине 1,6 м, которая представляется наиболее рациональной, с точки зрения температурного потенциала грунта и возможностей механизации производства работ по заложению горизонтальных грунтовых теплообменников.

Таблица 1

Среднемесячные температуры грунта

СРЕДНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ГРУНТА ПО МЕСЯЦАМ НА ГЛУБИНЕ 1,6 М ДЛЯ НЕКОТОРЫХ ГОРОДОВ РОССИИ												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Архангельск	4	3,5	3,1	2,7	2,5	3	4,5	6	7,1	7	6,1	4,9
Астрахань	7,5	6,1	5,9	7,3	11	14,6	17,4	19,1	19,1	16,7	13,6	10,2
Барнаул	2,6	1,7	1,2	1,4	4,3	8,2	11	12,4	11,6	9,2	6,2	3,9
Братск	0,4	-0,2	-0,6	-0,5	-0,2	0	3	6,8	7,2	5,4	2,9	1,4
Владивосток	3,7	2	1,2	1	1,5	5,3	9,1	12,4	13,8	12,7	9,7	6,4
Иркутск	-0,8	-2,8	-2,7	-1,1	-0,5	-0,2	1,7	5	6,7	5,6	3,2	1,2
Комсомольск на Амуре	0,8	-0,4	-0,9	-0,4	0	1,9	6,7	10,5	11,3	9	5,5	2,7
Магадан	-6,5	-8	-8,8	-8,7	-3,9	-2,6	-0,8	0,1	0,4	0,1	-0,2	-2
Москва	3,8	3,2	2,7	3	6,2	9,6	12,1	13,4	12,5	10,1	7,3	5
Мурманск	0,7	0,3	0	-0,3	-0,3	0,2	4	6,7	6,6	4,2	2,7	1
Новосибирск	2,1	1,2	0,6	0,5	1,3	5	9,1	11,3	10,9	8,8	5,8	3,6
Оренбург	4,1	2,6	1,9	2,2	4,9	8	10,7	12,4	12,6	11,2	8,6	6
Пермь	2,9	2,3	1,9	1,6	3,4	7,2	10,5	12,1	11,5	9	6	4
Петропавловск-Камчатский	2,6	1,9	1,5	1,1	1,2	3,4	6,7	9,1	9,6	8,3	5,6	3,8
Ростов на дону	8	6,6	5,9	6,8	9,9	12,9	15,5	17,3	17,5	15,8	13	10
Салехард	1,6	1	0,7	0,5	0,4	0,9	3,9	6,8	7,1	5,6	3,5	2,3
Сочи	11,2	9,8	9,6	11	13,4	16,2	18,9	20,8	21	19,2	16,8	13,5
Туруханск	0,9	0,5	0,2	0	0	0,1	1,6	6,2	6,4	4,5	2,8	1,8
Тура	-0,9	-0,3	-5,2	-5,3	-3,2	-1,6	-0,7	1,2	2	0,7	0	-0,2
Уэлен	-6,9	-8	-8,6	-8,7	-6,3	-1,2	-0,4	0,1	0,2	0	-0,8	-3,7
Хабаровск	0,3	-1,8	-2,3	-1,1	-0,4	2,5	9,5	13,3	13,5	10,9	6,7	3

Якутск	-5,6	-7,4	-7,9	-7	-4,1	-1,8	0,3	1,5	1,1	0,1	-0,1	-2,4
Ярославль	2,8	2,2	1,9	1,7	3,9	7,8	10,7	12,4	11,5	9,5	6,3	3,9

Таблица 2

Температура грунта в г.Ставрополь (почва - чернозём)

Глуб., (м)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,4	1,2	1,3	2,7	7,7	13,8	17,9	20,3	19,6	15,4	11,4	6	2,8
0,8	3	1,9	2,5	6	11,5	15,4	17,6	17,6	15,3	12,2	7,8	4,6
1,6	5	4	3,8	5,3	8,8	12,2	14,4	15,7	15,1	12,7	9,7	6,8
3,2	8,9	8	7,4	7,4	8,4	9,9	11,3	12,6	13,2	12,7	11,6	10,1

Таблица 3

Температуры грунта в г. Якутске(почва илисто-песчаная с примесью перегноя, ниже - песок)

глуб.(м)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,2	-19,2	-19,4	-16,2	-7,9	4,3	13,4	17,5	15,5	7	-3,1	-10,8	-15,6
0,4	-16,8	17,4	-15,2	-8,4	2,5	11	15	13,8	6,7	-1,9	-8	-12,9
0,6	-14,3	-15,3	-13,7	-8,5	0,2	7,9	12,1	11,8	6,2	-0,5	-5,2	-10,3
0,8	-12,4	-14,1	-12,7	-8,4	-1,4	5	9,4	9,6	5,3	0	-3,4	-8,1
1,2	-8,7	-10,2	-10,2	-8	-3,3	0,1	4,1	5	2,8	0	-0,9	-4,9
1,6	-5,6	-7,4	-7,9	-7	-4,1	-1,8	0,3	1,5	1,1	0,1	-0,1	-2,4
2,4	-2,6	-4,4	-5,4	-5,6	-4,4	-3	-2	-1,4	-1	-0,9	-0,9	-1
3,2	-1,7	-2,6	-3,8	-4,4	-4,2	-3,4	-2,8	-2,3	-1,9	-1,8	-1,6	-1,5

Таблица 4

Температуры грунта в г. Пскове (дно), (почва суглинистая, подпочва- глина)

глуб.(м)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,2	-0,8	-1,1	-0,3	3,3	11,4	15,1	19	17,2	12,3	6,7	2,6	0,2
0,4	0,6	0	0	2,4	9,6	13,5	16,9	16,5	12,9	7,8	4,2	1,7
0,8	1,7	0,9	0,8	2	7,8	11,6	15	15,6	13,2	8,8	5,4	2,9
1,6	3,2	2,4	1,9	2,2	5,6	9,2	11,9	13,2	12	9,7	6,9	4,6

Таблица 5

Температура грунта в г.Владивостоке (почва бурая каменистая, насыпная)

глуб.(м)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,2	-6,1	-5,5	-1,3	2,7	9,3	14,8	18,9	21,2	18,4	11,6	3,2	-2,3
0,4	-3,7	-3,8	-1,1	1	7,3	12,7	16,7	19,5	17,5	12,3	5,2	0,2
0,8	-0,1	-1,4	-0,6	0	4,4	10,4	14,2	17,3	17	13,5	7,8	2,9
1,6	3,6	2	1,3	1,1	2,9	7,7	11	14,2	15,4	13,8	10,2	6,4
3,2	8	6,4	5,2	4,4	4,2	5,5	7,5	9,4	11,3	12,4	11,7	10

Представленная в таблицах информация в естественном ходе температур грунта на глубине до 3,2 м (т.е. в «рабочем» слое грунта для ГТСТ с горизонтальным расположением грунтового теплообменника) наглядно иллюстрирует возможности использования грунта как источника тепла низкого потенциала. Очевидным является сравнительно небольшой интервал изменения на территории России температуры слоев расположенных на одинаковой глубине. Так, например минимальная температура грунта на глубине 3,2 м от поверхности в г. Ставрополь составляет 7,4 °С, а в г.Якутск - (-4,4 °С); соответственно интервал изменения температуры грунта на данной глубине составляет 11,8 градуса. Этот факт позволяет рассчитывать на создание в достаточной степени унифицированного теплонасосного оборудования пригодного к эксплуатации практически на всей территории России.

Как видно из представленных таблиц, характерной особенностью естественного температурного режима грунта, является запаздывание минимальных температур грунта, относительно времени поступления минимальных температур наружного воздуха. Минимальные температуры наружного воздуха повсеместно наблюдаются в январе, минимальные температуры в грунте на глубине 1,6 м в г.Ставрополь наблюдаются в марте, в г.Якутск – в марте; в г. Сочи - в марте, в г. Владивосток – в апреле;. Таким образом, очевидно, что к моменту наступления минимальных температур в грунте, нагрузка на теплонасосную систему теплоснабжения (теплопотери здания) снижается. Этот момент открывает достаточно серьезные возможности для снижения установочной мощности ГТСТ (экономии капитальных затрат) и обязательно должен учитываться при проектировании.

Для оценки эффективности применения геотермальных теплонасосных систем теплоснабжения в климатических условиях России в ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ» было выполнено районирование территории РФ по эффективности использования геотермального тепла низкого потенциала для целей теплоснабжения. Районирование выполнялось на основе результатов численных экспериментов по моделированию эксплуатационных режимов ГТСТ в климатических условиях различных регионов территории РФ. Численные эксперименты проводилось на примере гипотетического двухэтажного коттеджа с отапливаемой площадью 200 кв. метров, оборудованного геотермальной теплонасосной системой теплоснабжения. Наружные ограждающие конструкции рассматриваемого дома имеют следующие приведенные сопротивления теплопередаче:

- наружные стены – $3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;
- окна и двери - $0,6 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;
- покрытия и перекрытия – $4,2 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

При проведении численных экспериментов рассматривались:
 - система сбора тепла грунта с низкой плотностью потребления геотермальной энергии -горизонтальная система теплосбора из полиэтиленовых труб диаметром 0,05 м и длиной 400 м .

- система сбора тепла грунта с высокой плотностью потребления геотермальной энергии -вертикальная система теплосбора из одной термоскважины диаметром 0,16 м и длиной 40 м .

Исследования, проведенные в ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ», показали, что потребление тепловой энергии из грунтового массива к концу отопительного сезона вызывает вблизи регистра труб системы теплосбора понижение температуры грунта, которое в почвенно-климатических условиях большей части территории РФ не успевает компенсироваться в летний период года, и к началу следующего отопительного сезона грунт выходит с пониженным температурным потенциалом. Потребление тепловой энергии в течение следующего отопительного сезона вызывает дальнейшее снижение температуры грунта, и к началу третьего отопительного сезона его температурный потенциал еще больше отличается от естественного. И так далее..... . Однако, огибающие теплового влияния многолетней эксплуатации системы теплосбора на естественный температурный режим грунта имеют ярко выраженный экспоненциальный характер, и к пятому году эксплуатации грунт выходит на новый режим, близкий к периодическому, то есть, начиная с пятого года эксплуатации, многолетнее потребление тепловой энергии из грунтового массива системы теплосбора сопровождается периодическими изменениями его температуры. Таким образом, при проведении районирования территории РФ необходимо было учитывать падение температур грунтового массива, вызванного многолетней эксплуатацией системы теплосбора, и использовать в качестве расчетных параметров температур грунтового массива, температуры грунта ожидаемые на 5-ый год эксплуатации ГТСТ [7,8]. Учитывая это обстоятельство, при проведении районирования территории РФ по эффективности применения ГТСТ **в качестве критерия эффективности геотермальной теплонасосной системы теплоснабжения был выбран средний за 5-ый год эксплуатации коэффициент трансформации теплоты $K_{тр}^p$ [9], представляющий собой отношение вырабатываемой ГТСТ полезной тепловой энергии к энергии, затрачиваемой на ее привод и определяемый для идеального термодинамического цикла Карно следующим образом:**

$$K_{тр} = \frac{T_o}{T_o - T_{и}} \quad , \quad (1)$$

где:

T_o —температурный потенциал тепла, отводимого в систему отопления или теплоснабжения, К;

$T_{и}$ —температурный потенциал источника тепла , К.

Коэффициент трансформации теплонасосной системы теплоснабжения $K_{тр}$ представляет собой отношение полезного тепла, отводимого в систему

теплоснабжения потребителю, к энергии, затрачиваемой на работу ГТСТ, и численно равен количеству полезного тепла, получаемого при температурах T_0 и T_n , на единицу энергии, затраченной на привод ГТСТ. Реальный коэффициент трансформации отличается от идеального, описанного формулой

(1), на величину коэффициента η , учитывающего степень термодинамического совершенства ГТСТ и необратимые потери энергии при реализации цикла.

Численные эксперименты проводились с помощью созданной в ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ» программы «HeatPump», обеспечивающей определение оптимальных параметров системы теплосбора в зависимости от климатических условий района строительства, теплозащитных качеств здания, эксплуатационных характеристик теплонасосного оборудования, циркуляционных насосов, нагревательных приборов системы отопления, а также режимов их эксплуатации. Программа базируется на описанном ранее методе построения математических моделей теплового режима систем сбора низкопотенциального тепла грунта, который позволил обойти трудности, связанные с информативной неопределенностью моделей и аппроксимацией внешних воздействий, за счет использования в программе экспериментально полученной информации о естественном тепловом режиме грунта, которая позволяет частично учесть весь комплекс факторов (таких, как наличие грунтовых вод, их скоростной и тепловой режимы, структура и расположение слоев грунта, «тепловой» фон Земли, атмосферные осадки, фазовые превращения влаги в поровом пространстве и многое другое), существеннейшим образом влияющих на формирование теплового режима системы теплосбора и совместный учет которых в строгой постановке задачи на сегодняшний день практически не возможен. В качестве решения «базовой» задачи использовались данные Справочника по климату СССР (Л. Гидрометиздат. Вып. 1-34).

Программа «HeatPump» фактически позволяет решить задачу многопараметральной оптимизации конфигурации ГТСТ для конкретного здания и района строительства. При этом целевой функцией оптимизационной задачи является минимум годовых энергетических затрат на эксплуатацию ГТСТ, а критериями оптимизации, являются радиус труб грунтового теплообменника, его (теплообменника) длина и глубина заложения.

Результаты численных экспериментов и районирование территории России по эффективности использования геотермального тепла низкого потенциала для целей теплоснабжения зданий представлены в графическом виде на рисунках 2-9.

Рис.2. РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ПО ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ЗЕМЛИ ДЛЯ ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ (ИЗОЛИНИИ НА КАРТЕ – ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТРАНСФОРМАЦИИ ЭНЕРГИИ ДЛЯ «ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ» ГТСТ, ЧИСЛЕННО РАВНЫЕ КОЛИЧЕСТВУ ПОЛЕЗНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ВЫРАБАТЫВАЕМОЙ ГТСТ НА 1 кВт ЭНЕРГИИ, ЗАТРАЧИВАЕМОЙ НА ЕЕ ПРИВОД, ДОЛИ ЕДИНИЦЫ)

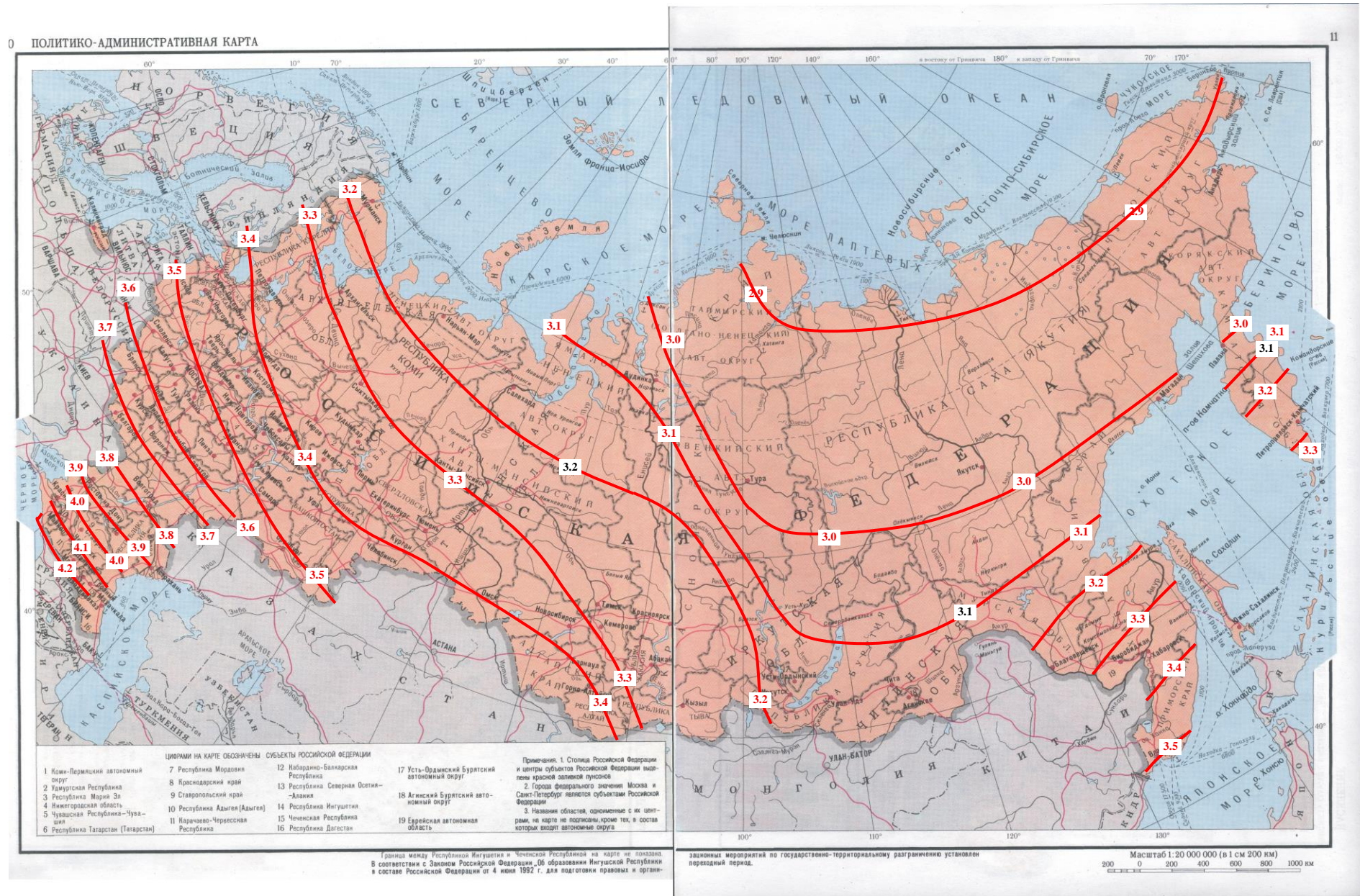
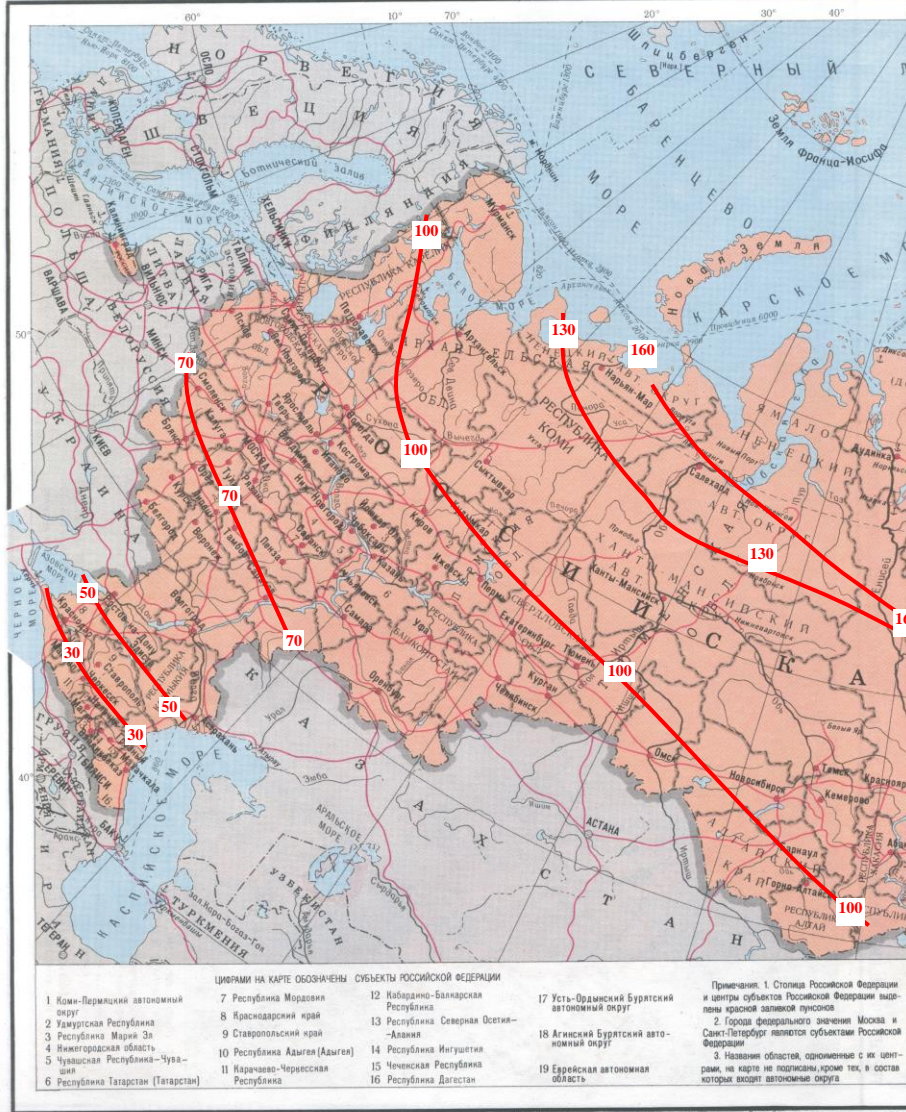


Рис.3.РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ПО ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ЗЕМЛИ ДЛЯ ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ (ИЗОЛИНИИ НА КАРТЕ –ЗНАЧЕНИЯ КОЭФИЦИЕНТА ТРАНСФОРМАЦИИ ЭНЕРГИИ ДЛЯ «ВЕРТИКАЛЬНЫХ» ГТСТ, ЧИСЛЕННО РАВНЫЕ КОЛИЧЕСТВУ ПОЛЕЗНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ВЫРАБАТЫВАЕМОЙ ГТСТ+ПД НА 1 кВт ЭНЕРГИИ, ЗАТРАЧИВАЕМОЙ НА ЕЕ ПРИВОД, ДОЛИ ЕДИНИЦЫ)



Рис.4.РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ПО ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ЗЕМЛИ ДЛЯ ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ (ИЗОЛИНИИ НА КАРТЕ – УДЕЛЬНЫЕ ГОДОВЫЕ ЗАТРАТЫ ЭНЕРГИИ НА ПРИВОД «ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ» ГТСТ+ПД, ВКЛЮЧАЮЩИЕ ОТОПЛЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЮ И ГОРЯЧЕЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ПРИВЕДЕННЫЕ К 1 кв. МЕТРУ ОТАПЛИВАЕМОЙ ПЛОЩАДИ, кВт*ч/год*кв.м.)

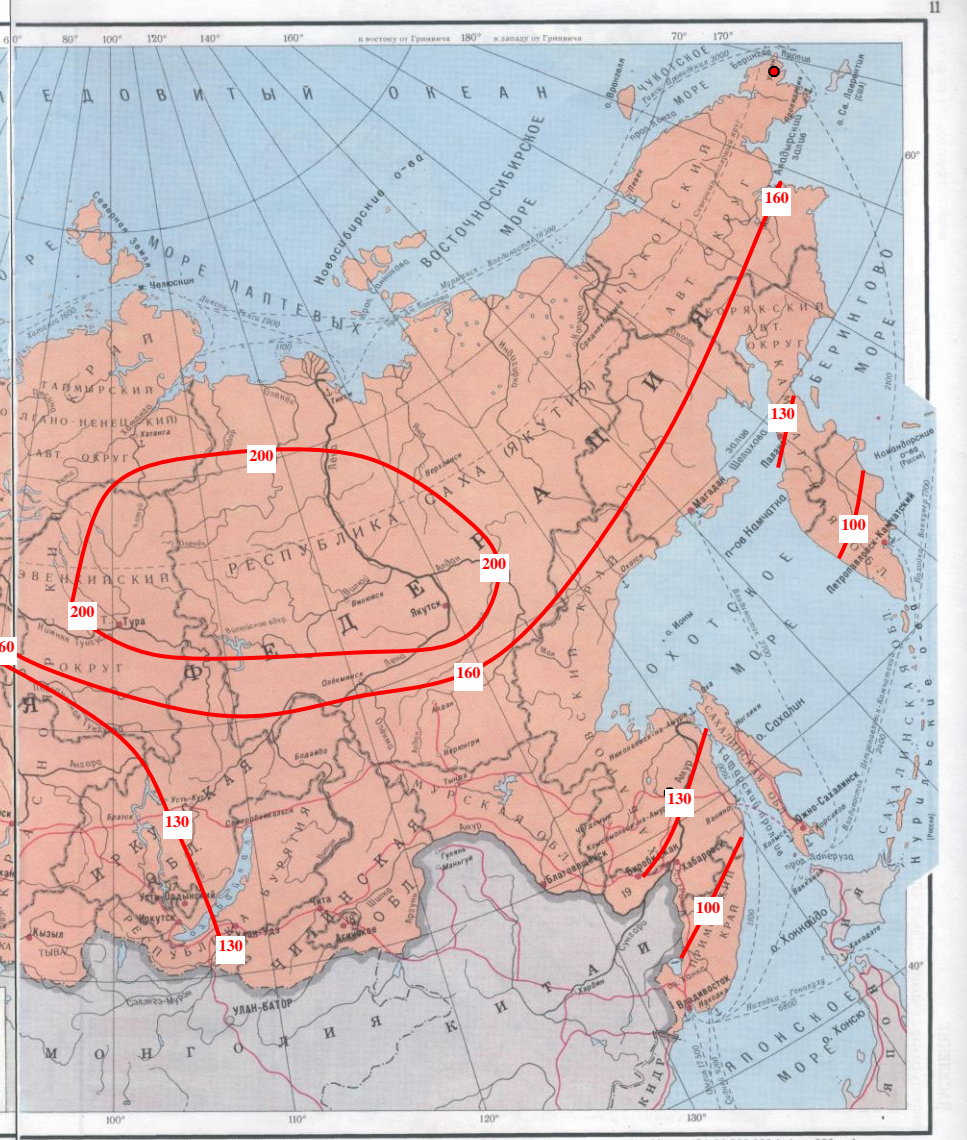
0 ПОЛИТИКО- АДМИНИСТРАТИВНАЯ КАРТА



- | | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--|
| 1 Коми-Пермичский автономный округ | 7 Республика Мордовия | 12 Кабардино-Балкарская Республика | 17 Усть-Ордынский Бурятский автономный округ |
| 2 Тамбовская Республика | 8 Краснодарский край | 13 Республика Северная Осетия-Алания | 18 Агинский Бурятский автономный округ |
| 3 Республика Марий Эл | 9 Ставропольский край | 14 Республика Ингушетия | 19 Еврейская автономная область |
| 4 Нижегородская область | 10 Республика Адыгея (Адыгeia) | 15 Чеченская Республика | |
| 5 Чувашская Республика-Чувашия | 11 Карачаев-Черкесская Республика | 16 Республика Дагестан | |
| 6 Республика Татарстан (Татарстан) | | | |

Примечания. 1. Столица Российской Федерации и центры субъектов Российской Федерации выделены красной звездочкой. 2. Города федерального значения Москва и Санкт-Петербург являются субъектами Российской Федерации. 3. Названия областей, синонимичные с их центрами, на карте не подписаны, кроме тех, в состав которых входят автономные округа.

Граница между Республикой Ингушетия и Чеченской Республикой на карте не показана. В соответствии с Законом Российской Федерации «Об образовании Ингушской Республики в составе Российской Федерации от 4 июня 1992 г. для подготовки правовых и организационных мероприятий по государственному-территориальному разграничению установлен переходный период.



Масштаб 1:20 000 000 (в 1 см 200 км)
 200 0 200 400 600 800 1000 км

Рис.5.РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ПО ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ЗЕМЛИ ДЛЯ ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ (ИЗОЛИНИИ НА КАРТЕ – УДЕЛЬНЫЕ ГОДОВЫЕ ЗАТРАТЫ ЭНЕРГИИ НА ПРИВОД «ВЕРТИКАЛЬНЫХ» ГТСТ+ПД, ВКЛЮЧАЮЩИЕ ОТОПЛЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЮ И ГОРЯЧЕЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ПРИВЕДЕННЫЕ К 1 кв. МЕТРУ ОТАПЛИВАЕМОЙ ПЛОЩАДИ, кВт*ч/год*кв.м)



Рис.6.РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ПО ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ЗЕМЛИ ДЛЯ ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ (ИЗОЛИНИИ НА КАРТЕ – РАЦИОНАЛЬНОЕ СООТНОШЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ ПИКОВОГО ДОВОДЧИКА И УСТАНОВЛЕННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ «ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ» ГТСТ, ДОЛИ ЕДИНИЦЫ)

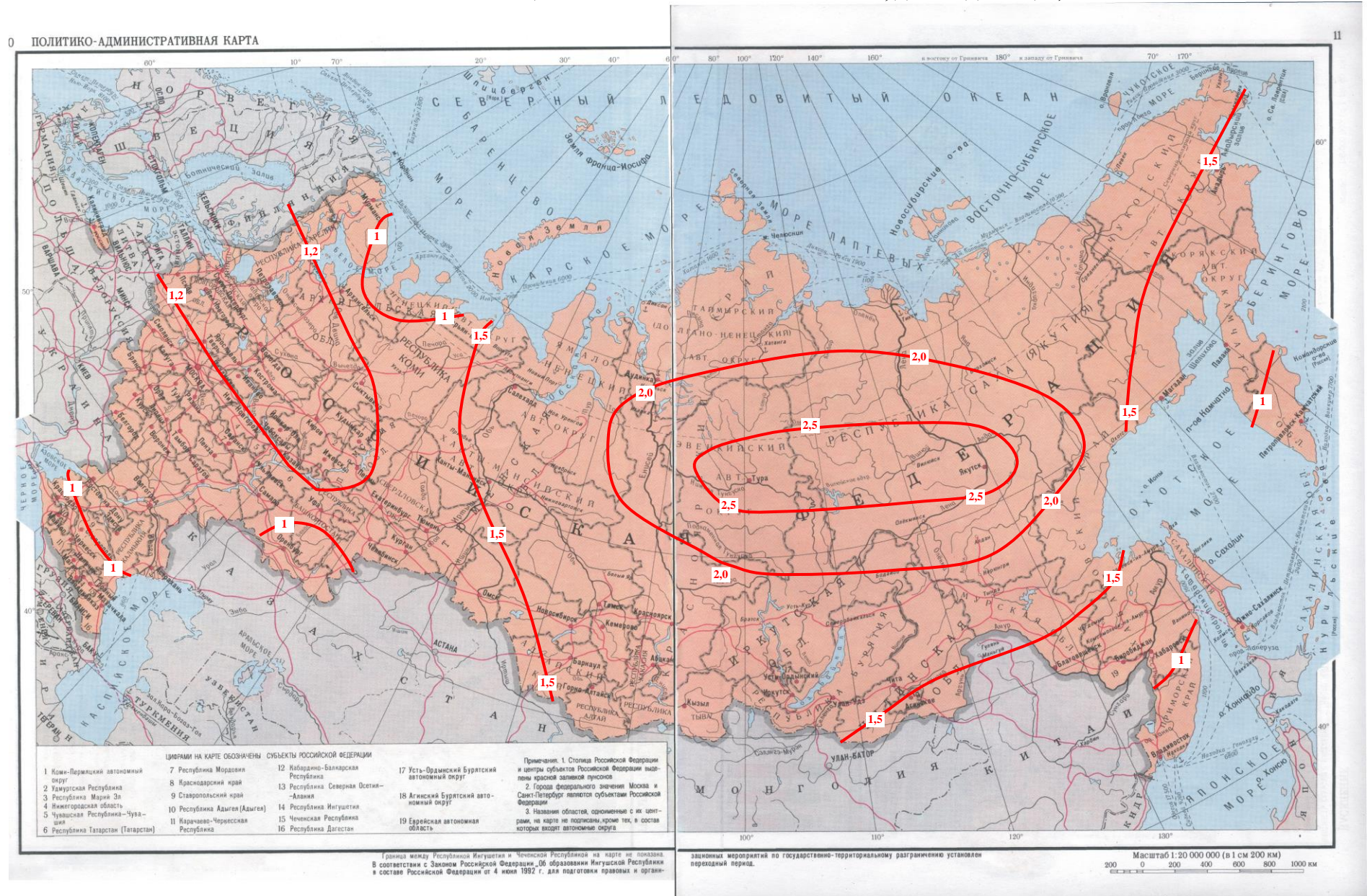


Рис.7.РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ПО ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ЗЕМЛИ ДЛЯ ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ (ИЗОЛИНИИ НА КАРТЕ – РАЦИОНАЛЬНОЕ СООТНОШЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ ПИКОВОГО ДОВОДЧИКА И УСТАНОВЛЕННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ «ВЕРТИКАЛЬНЫХ» ГТСТ, ДОЛИ ЕДИНИЦЫ)

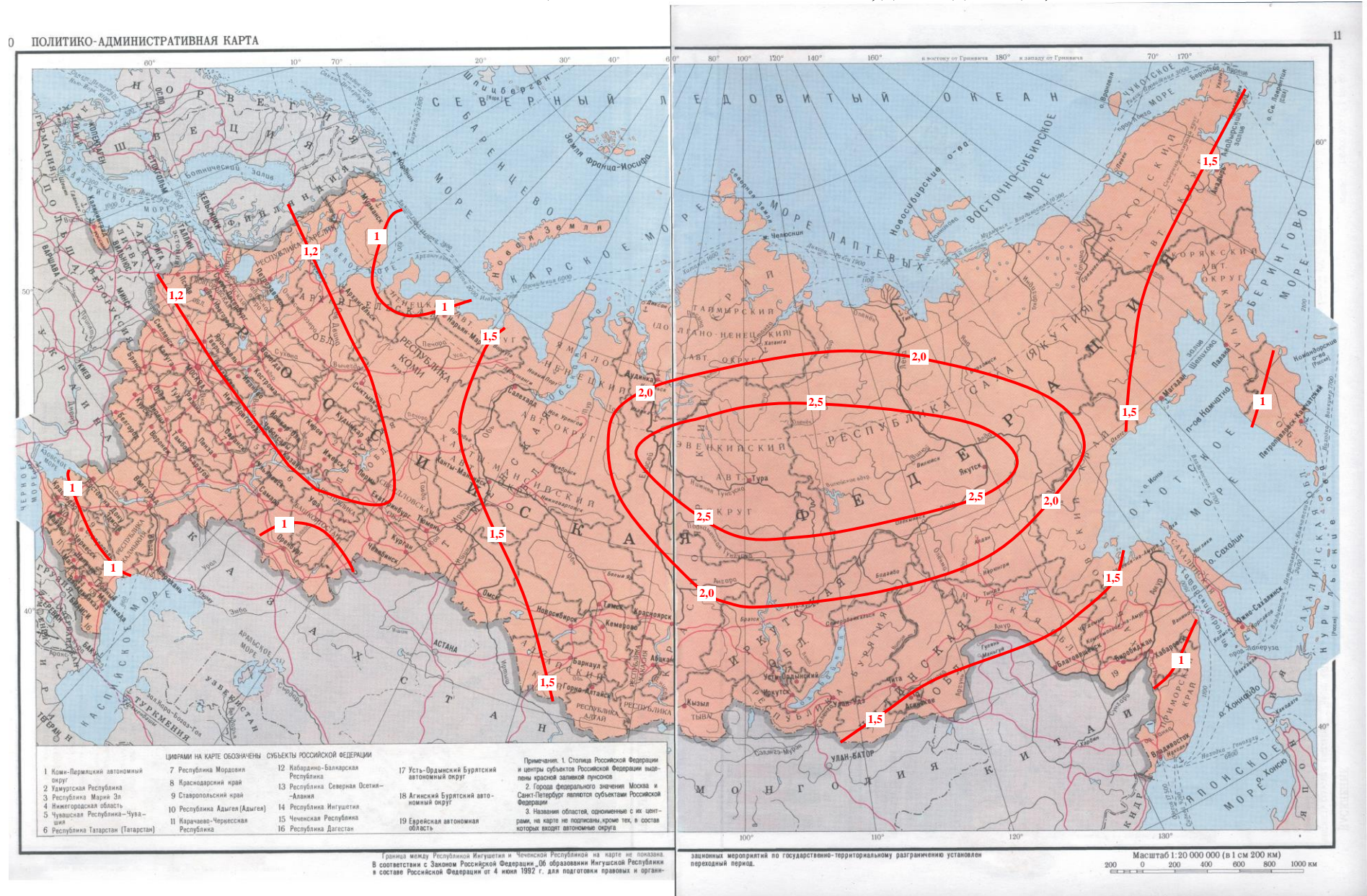


Рис.8.РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ПО ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ЗЕМЛИ ДЛЯ ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ (ИЗОЛИНИИ НА КАРТЕ – УДЕЛЬНЫЙ ВЕС ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ВЫРАБАТЫВАЕМОЙ В ТЕЧЕНИЕ ГОДА ПИКОВЫМ ДОВОДЧИКОМ (ПД) В СУММАРНЫХ ГОДОВЫХ ЭНЕРГОЗАТРАТАХ СИСТЕМЫ «ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ» ГТСТ +ПД, ПРОЦЕНТЫ)

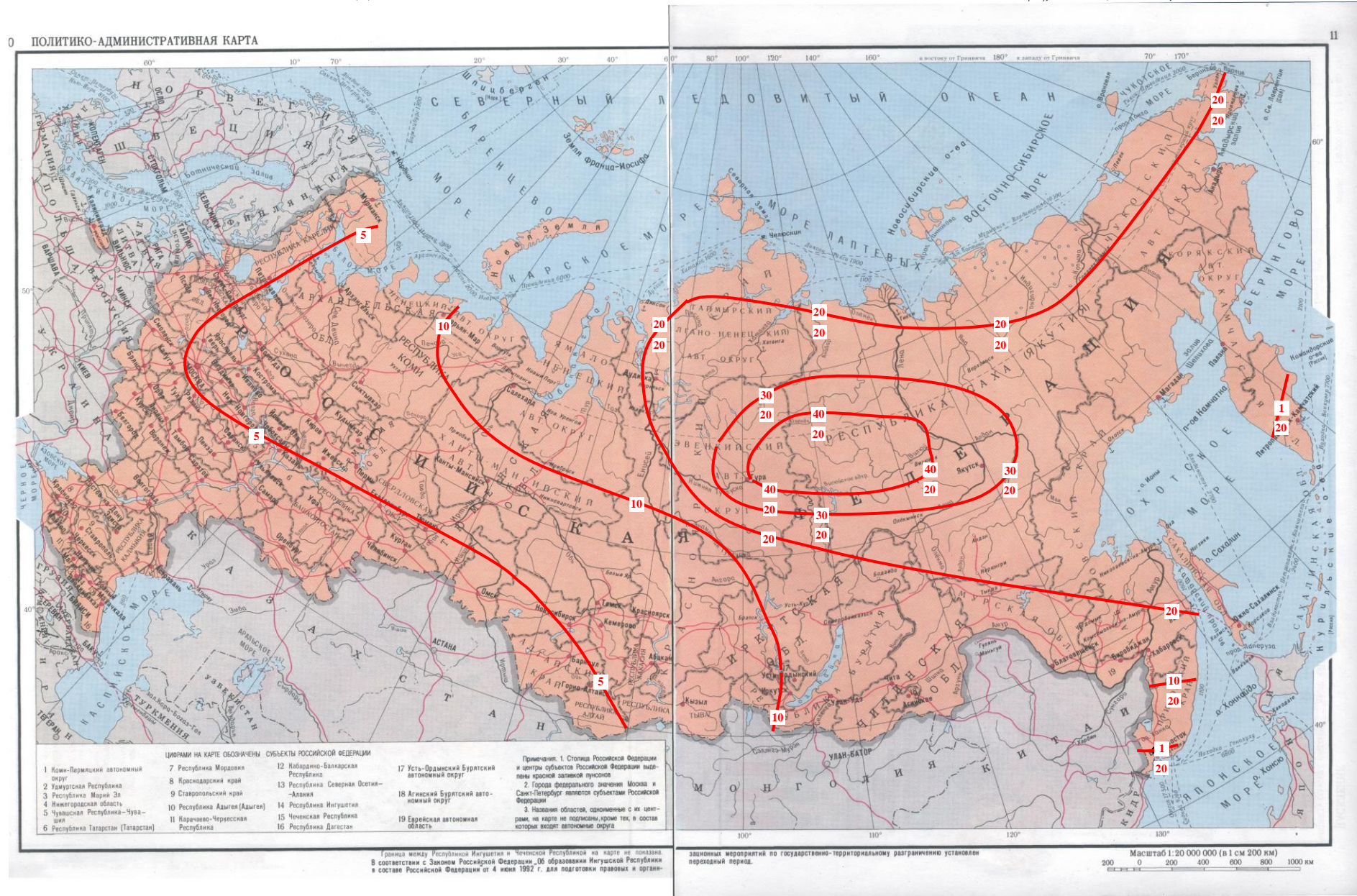


Рис.9.РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ПО ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ЗЕМЛИ ДЛЯ ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ (ИЗОЛИНИИ НА КАРТЕ – УДЕЛЬНЫЙ ВЕС ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ВЫРАБАТЫВАЕМОЙ В ТЕЧЕНИЕ ГОДА ПИКОВЫМ ДОВОДЧИКОМ (ПД) В СУММАРНЫХ ГОДОВЫХ ЭНЕРГОЗАТРАТАХ СИСТЕМЫ «ВЕРТИКАЛЬНАЯ» ГТСТ +ПД, ПРОЦЕНТЫ)



На рисунке 2 представлены значения и изолинии коэффициента трансформации геотермальных теплонасосных систем теплоснабжения с горизонтальными системами теплосбора, а на рисунке 3 – для ГТСТ с вертикальными системами теплосбора. Как видно из рисунков, максимальные значения $K_{тр}^P$ 4,24 для горизонтальных систем теплосбора и 4,14 – для вертикальных можно ожидать на Юге территории России, а минимальные значения, соответственно, 2,87 и 2,73 на Севере, в Уэлене. Для Средней полосы России значения $K_{тр}^P$ для горизонтальных систем теплосбора находятся в пределах 3,4-3,6, а для вертикальных систем, в пределах – 3,2 -3,4. Обращают на себя достаточно высокие значения $K_{тр}^P$ (3,2-3,5) для районов Дальнего Востока, районов с традиционно сложными условиями топливоснабжения. По-видимому, Дальний Восток является регионом приоритетного внедрения ГТСТ.

На рисунке 4 представлены значения и изолинии удельных годовых затрат энергии на привод «горизонтальных» ГТСТ+ПД (пиковый доводчик), включающих энергозатраты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение, приведенные к 1 кв. метру отапливаемой площади, а на рисунке 5 – для ГТСТ с вертикальными системами теплосбора. Как видно из рисунков, годовые удельные энергозатраты на привод горизонтальных ГТСТ, приведенные к 1 кв. м отапливаемой площади здания изменяются от 28,8 кВт*ч/(год*м²) на Юге России до 241 кВт*ч/(год*м²) в Якутске, а для вертикальных ГТСТ – соответственно от 28,7 кВт*ч/(год*м²) на Юге и до 248 кВт*ч/(год*м²) в Якутске. Если мы умножим представленное на рисунках для конкретной местности значение годовых удельных энергозатрат на привод ГТСТ на значение для этой местности $K_{тр}^P$, уменьшенное на 1, то получим количество энергии, сэкономленное ГТСТ с 1 кв. метра отапливаемой площади за год. Например, для Москвы для вертикальной ГТСТ это значение составит 189,2 кВт*ч с 1 кв. м в год. Для сравнения можно привести значения удельных энергозатрат, установленные московскими нормами по энергосбережению МГСН 2.01-99 для малоэтажных зданий на уровне 130, а для многоэтажных зданий 95 кВт*ч/(год*м²) [10,11]. При этом в нормируемые МГСН 2.01-99 энергозатраты входят только затраты энергии на отопление и вентиляцию, в нашем же случае в энергозатраты включены и затраты энергии на горячее водоснабжение. Дело в том, что существующий в действующих нормах подход к оценке энергозатрат на эксплуатацию здания выделяет в отдельные статьи затраты энергии на отопление и вентиляцию здания и затраты энергии на его горячее водоснабжение. При этом энергозатраты на горячее водоснабжение не нормируются. Такой подход не кажется правильным, поскольку затраты энергии на горячее водоснабжение, зачастую соизмеримы с затратами энергии на отопление и вентиляцию.

На рисунке 6 представлены значения и изолинии рационального соотношения тепловой мощности пикового доводчика (ПД) и установленной электрической мощности «горизонтальных» ГТСТ в долях единицы, а на рисунке 7 – для ГТСТ с вертикальными системами теплосбора. Критерием рационального соотношения тепловой мощности пикового доводчика и установленной электрической мощности ГТСТ (исключая ПД) является минимум

годовых затрат электроэнергии на привод ГТСТ+ПД. Как видно из рисунков рациональное соотношение мощностей тепловой ПД и электрической ГТСТ (без ПД) изменяется от 0 на Юге России, до 2,88 - для горизонтальных ГТСТ и 2,92 для вертикальных систем в Якутске. В центральной Полосе территории РФ рациональное соотношение тепловой мощности доводчика и установленной электрической мощности ГТСТ-ПД находится как для горизонтальных, так и вертикальных ГТСТ в пределах 1,1-1,3. На этом моменте нужно остановиться более подробно. Дело в том, что при замещении, например, электроотопления в Центральной полосе России мы фактически имеем возможность на 35-40% сократить мощность, установленного в отапливаемом здании электрооборудования и, соответственно, сократить электрическую мощность, запрашиваемую у РАО «ЕЭС», которая сегодня «стоит» около 50 тыс. рублей за 1 кВт установленной в доме электрической мощности. Так, например, для коттеджа с расчетными теплопотерями в наиболее холодную пятидневку равными 15 кВт, мы сэкономим 6 кВт установленной электрической мощности и, соответственно, около 300 тыс. рублей или $\approx 11,5$ тыс. \$ США. Эта цифра практически равна стоимости ГТСТ такой тепловой мощности.

Таким образом, если корректно учитывать все издержки, связанные с подключением здания к централизованному электроснабжению, оказывается при существующих сегодня тарифах на электроэнергию и подключение к сетям централизованного электроснабжения в Центральной полосе территории РФ даже по единовременным затратам ГТСТ оказывается выгоднее электроотопления, не говоря уже о 60%-ой экономии энергии.

На рисунке 8 представлены значения и изолинии удельный вес тепловой энергии вырабатываемой в течение года пиковым доводчиком (ПД) в суммарных годовых энергозатратах системы «горизонтальная» ГТСТ +ПД в процентах, а на рисунке 9 – для ГТСТ с «вертикальными» системами теплосбора. Как видно из рисунков, удельный вес тепловой энергии вырабатываемой в течение года пиковым доводчиком (ПД) в суммарных годовых энергозатратах системы «горизонтальная» ГТСТ +ПД изменяется от 0 % на Юге России до 38-40% в Якутске и Туре, а для вертикальных ГТСТ+ПД – соответственно от 0% на Юге и до 48,5% в Якутске. В Центральной полосе России эти значения составляют и для вертикальных и горизонтальных ГТСТ около 5-7 %. Это небольшие энергозатраты и, в связи с этим, нужно внимательно относиться к выбору пикового доводчика. Наиболее рациональным как с точки зрения удельных капложений в 1 кВт мощности, так и автоматизации являются пиковые электродоводчики. Заслуживает внимание использование котлов, работающих на пеллетах.

В завершении хотелось бы остановиться на очень важном вопросе: проблеме выбора рационального уровня теплозащиты зданий[12]. Эта проблема представляет сегодня очень серьезную задачу, для решения которой необходим серьезный численный анализ, учитывающий и специфику нашего климата и особенности применяемого инженерного оборудования, инфраструктуры централизованных сетей, а также и экологическую ситуацию в городах, ухудшающуюся буквально на глазах, и многое другое. Очевидно, что

сегодня уже не корректно формулировать какие-либо требования к оболочке здания без учета его (здания) взаимосвязей с климатом и системой энергоснабжения, инженерными коммуникациями и пр.. В итоге, в самом ближайшем будущем, решение проблемы выбора рационального уровня теплозащиты будет возможно только на основе **рассмотрения комплекса здание+система энергоснабжения+климат +окружающая среда как единой экоэнергетической системы**, а при таком подходе конкурентные преимущества ГТСТ на отечественном рынке трудно переоценить.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sanner B. Ground Heat Sources for Heat Pumps (classification, characteristics, advantages). Course on geothermal heat pumps, 2002.
2. Васильев Г.П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли (Монография). Издательский дом «Граница». М., «Красная звезда» – 2006. – 220 С.
3. Васильев Г.П. Геотермальные теплонасосные системы теплоснабжения и эффективность их применения в климатических условиях России. // АВОК –2007. – № 5. – С. 58-68.
4. Васильев Г.П., Хрустачев Л.В., Розин А.Г., Абуев И.М. и др. Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов и нетрадиционных возобновляемых источников энергии // Правительство Москвы Москомархитектура, ГУП «НИИЦ», 2001. – 66 С.
5. Васильев, Г. П. "Результаты натурных исследований теплового режима экспериментального энергоэффективного дома." Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века 6 (2002): 3-5
6. Васильев, Г. П. "Эффективность и перспектива использования тепловых насосов в городском хозяйстве Москвы." Энергосбережение 8 (2007): 63-65.
7. Васильев, Г. П. "Энергоэффективные здания с теплонасосными системами теплоснабжения." Журнал «ЖКХ» 12 (2002)
8. Васильев, Г. П. "Теплонасосные системы теплоснабжения (ТСТ) для потребителей тепловой энергии в сельской местности." Теплоэнергетика 4 (1997): 24-27.
9. Васильев Г.П. Применение ГТСТ в России // Энергия (Экономика, техника, экология ISSN 0233-3619).- 2009 - №7 - С. 22-29
10. Васильев Г.П. Энергоэффективный экспериментальный жилой дом в микрорайоне Никулино-2. //АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. - 2002-№4. С.10. (5)

11. Васильев Г.П., Крундышев Н.С. Энергоэффективная сельская школа в Ярославской области. АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2002. № 5. С. 22.

12. Васильев Г.П. Экономически целесообразный уровень теплозащиты зданий // Энергосбережение. – 2002. – № 5. – С.48-51.