

# Высокоэффективные решения для систем охлаждения с использованием фрикуллинга и рекуперации тепла на базе оборудования Climaveneta

**А.А. СПАССКИЙ**, anatoly.spasskiy@climaveneta.ru

**А.В. СУШЕНЦЕВА**, аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана, annasushentseva@gmail.com, anna.sushentseva@climaveneta.ru  
ООО «Климавенета»

*Рассматриваются вопросы рационального холодоснабжения и утилизации тепловыделений крупных центров обработки данных. В начале статьи приводятся примеры различных способов теплоснабжения, обосновываются необходимость и экономическая выгода утилизации тепла от работающих холодильных установок. Затем на примере центра обработки данных мощностью 1 МВт сравниваются различные способы холодоснабжения по величине годовых затрат на электроэнергию.*

*Выполнен анализ эффективности работы крупного центра обработки данных с расчетом коэффициента PUE.*

*Представлены схемы и примеры использования утилизированного тепла согласно действующим тарифам и нормативам на потребление услуг жилищно-коммунального хозяйства.*

*В заключение приводится краткий список холодильных установок производства компании Climaveneta S.p.A. с функцией фрикуллинг и возможностью рекуперации тепла, пригодных для круглогодичного холодоснабжения центров обработки данных.*

*Таким образом, в статье убедительно доказана рациональность использования предлагаемой схемы холодоснабжения с системой рекуперации тепловыделений для крупного центра обработки данных.*

**Ключевые слова:** эффективное холодоснабжение ЦОД; чиллер; рекуператор; фрикуллинг; теплоснабжение.

---

## HIGH EFFICIENT SOLUTIONS FOR REFRIGERATION SYSTEMS USING FREE COOLING TECHNOLOGY AND HEAT RECUPERATION ON THE BASIS OF THE CLIMAVENETA FACILITIES

**A.A. SPASSKIY**, anatoly.spasskiy@climaveneta.ru

**A.V. SUSHENTSEVA**, postgraduate student, MSTU n.a. N.E. Bauman annasushentseva@gmail.com, anna.sushentseva@climaveneta.ru  
"Climaveneta" Ltd.

*The problems of the efficient cold supply and recovery of heat release of large data handling centers are examined. In the beginning of the paper the examples of different methods of cold supply are cited, the necessity and economic benefit of heat recovery of refrigeration plants are grounded. Further different methods of cold supply are compared in terms of electric power annual costs using a data handling center at 1 megawatt capacity as an example.*

*The efficiency of the large data handling center operation is analyzed with calculation of the PUE coefficient.*

*The schemes and examples of using recovered heat according to current rates and norms on consumption of services in the housing and municipal sector are given.*

*In conclusion a short list of Climaveneta S.p.A. refrigerating plants with free cooling technology and possible heat recuperation that may be used for a twelve-month cold supply of data handling centers is cited.*

*So, the article proves with convincing arguments the efficiency of using the scheme with heat recuperation offered for a large data handling center.*

**Keywords:** efficient cold supply for a data handling center; chiller; recuperator; free cooling; heat supply.

Поиск дешевых и надежных источников теплоснабжения во все времена являлся важнейшей задачей. Почти на всей территории России отопительный сезон длится более полугода. При проектировании и строительстве инфраструктурных, промышленных и жилых объектов чаще используются традиционные источники тепла, базирующиеся на сжигании углеводородов. В нашей стране самыми дешевыми, распространенными и перспективными источниками теплоснабжения служат газовые тепловые станции. Это определяется уровнем капитальных затрат на их сооружение, возможностью автоматизации технологических процессов и соотношением стоимости природного газа и других энергоносителей. Наиболее близкими к показателям газовых тепловых станций с учетом этих критериев обладают источники теплоснабжения, использующие сетевую электроэнергию. По первым двум критериям такие источники имеют значительное преимущество перед газовыми тепловыми станциями, но по критерию тарифной стоимости значительно проигрывают. Так, в Подмосковье в последнее время тариф на газ составляет 5,3 руб./м<sup>3</sup> [4], тариф на электроэнергию для жилых объектов без газоснабжения – 3,2 руб./кВт·ч [3]. При сжигании 1 м<sup>3</sup> газа в современных котельных установках теплотребляющий объект получает

приблизительно 5 кВт·ч тепла. Таким образом, при существующих расценках 1 кВт·ч тепла, полученный от газовой тепловой станции, обойдется потребителю в 1,06 руб., а 1 кВт·ч тепла от электрического источника – в 3,2 руб., т.е. газовое отопление в 3 раза выгоднее электрического по стоимости энергоносителя. Эта цифра практически совпадает с COP современных тепловых насосов, работающих при температурах кипения хладагента на уровне 0...+5°C и температурах конденсации 45...50°C. Таким образом, при наличии источника низкопотенциального тепла с температурами 5...10°C затраты на теплоснабжение от теплового насоса сравнятся с затратами на теплоснабжение от тепловой станции, использующей магистральный природный газ (при современных тарифах). Однако в большинстве случаев применение тепловых насосов на территории России ограничено отсутствием источников низкопотенциального тепла (ИНТ). В более теплых странах ИНТ в 90% случаев использования тепловых насосов служит окружающий воздух. В условиях России это возможно только в переходные осенний и весенний периоды, когда температура не опускается ниже 0°C. Применение в качестве ИНТ геотермального тепла связано со значительными капитальными затратами и сложностью эксплуатации таких систем.

### Фрикуллинг или рекуперация?

Тепловой насос технически представляет собой холодильную машину и работает по циклу Карно, т.е. отводит тепло от менее нагретых тел к более нагретым с затратой работы, поэтому любая парокompрессионная машина может считаться тепловым насосом, однако основная цель холодильной машины – получение холода, а отводимое тепло может выбрасываться в окружающую среду, но может и использоваться перед этим на «благие цели» [1]. В силу вышесказанного в наших климатических условиях целесообразно говорить о рекуперации тепла от работающих холодильных установок и направлении его на «благие цели».

В развитых европейских странах, на которые у нас очень часто ориентируются (иногда не совсем оправданно, как в случаях оценки эффективности чиллеров по европейским коэффициентам ESEER, сертификации энергоэффективности зданий по LEED и т.д., не учитывая, что у нас отопительный сезон 7 мес в году, а охлаждающий – 3, а у них наоборот), более 80 % круглогодично работающих холодильных установок оснащаются рекуператорами (утилизаторами) тепла, которое используется для нагрева санитарной воды или для отопления помещений. У нас этой проблемой мало кто озадачивается, и гигаватты тепла выбрасываются на улицу даже там, где его можно легко и дешево утилизировать. Это относится к супермаркетам, холодильным складам, технологическим производствам, искусственным каткам и др. Особо стоит выделить такую расточительность при проектировании и строительстве

крупных центров обработки данных, где выделяемое тепло исчисляется мегаваттами, и все ломают голову над тем, как его подешевле выкинуть.

При этом эффективность такого «выкидывания» определяется коэффициентом PUE, упрощенно представляющим собой отношение общего количества потребляемой электроэнергии (серверы + система охлаждения) к количеству электроэнергии, потребляемой серверами.

При использовании холодильных установок, оснащенных функцией фрикуллинг, где в теплый период года теплота отводится холодильной машиной, а с понижением температуры окружающего воздуха ниже температуры хладоносителя – через теплообменник «вода–воздух» минимальное значение этого коэффициента составит 1,3.

При использовании вентиляционных установок, когда тепло выкидывается на улицу напрямую, минуя холодильный цикл, PUE составит 1,2.

Естественно, всех заинтересованных лиц мучает вопрос снижения коэффициента PUE.

### Годовые затраты на электроэнергию

Реального и значительного снижения коэффициента PUE можно добиться только при использовании рекуперации тепла и направлении этого тепла на «благие цели»: обслуживание нужд инфраструктуры самого ЦОД или продажу тепла сторонним потребителям. Рассмотрим гипотетический ЦОД мощностью 1 МВт, расположенный в средней климатической зоне, с тремя вариантами отвода тепла от основного оборудования.

### Вариант 1.

Охлаждение холодильной машиной с опцией фрикулинг. В этом случае расход электрической мощности на охлаждение основного оборудования будет складываться из ее расхода на обеспечение вентиляции серверного оборудования (приблизительно 70 кВт) и на работу холодильной машины (в режиме машинного охлаждения — приблизительно 300 кВт, в режиме фрикулинга — 30 кВт). В средней полосе России при температуре хладоносителя 10/15°C режим фрикулинга можно использовать в течение приблизительно 4500 ч в год. Таким образом, годовое потребление электроэнергии  $N$  для охлаждения основного серверного оборудования может быть рассчитано с достаточной степенью точности по формуле

$$N = T_1(N_{\text{вент}} + N_{\text{ХМ}}) + T_2(N_{\text{вент}} + N_{\text{ФК}}),$$

где  $T_1$  — время охлаждения в машинном режиме в течение года;

$T_2$  — время охлаждения в режиме фрикулинга;  
 $N_{\text{вент}}$  — потребляемая мощность вентиляторов прецизионных кондиционеров;

$N_{\text{ХМ}}$  — потребляемая мощность холодильной машины в режиме машинного охлаждения;

$N_{\text{ФК}}$  — потребляемая мощность холодильной машины в режиме фрикулинга.

$$N = 4260(70 + 300) + 4500(70 + 30) = 2026200 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

При тарифе 3,2 руб/(кВт·ч) годовые затраты на электроэнергию для охлаждения основного серверного оборудования составят

$$S_1 = 3,2 \cdot 2026200 = 6483840 \text{ руб}.$$

### Вариант 2.

Охлаждение вентиляционной установкой. В этом случае электрическая мощность будет расходоваться на привод вентиляторов и даже в случае отсутствия дополнительной обработки воздуха (осушение, увлажнение, рекуперация и т. д.) будет не менее 200 кВт, т.е. годовые затраты составят

$$N = TN_{\text{вент}},$$

где  $T$  — время работы за год;  
 $N_{\text{вент}}$  — потребляемая мощность вентиляционной установки,

$$N = 8760 \cdot 200 = 1752000 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Затраты на электроэнергию для системы охлаждения достигнут

$$S_2 = 3,2 \cdot 1752000 = 5606400 \text{ руб}.$$

### Вариант 3.

Охлаждение холодильной машиной с рекуперацией тепла на уровне 55°C и реализацией этого тепла сторонним потребителям по средним расценкам. В этом случае потребляемая мощность на охлаждение основного серверного оборудования будет складываться из расхода

электрической мощности на обеспечение вентиляции основного серверного оборудования (70 кВт) и потребляемой мощности холодильной машины (360 кВт):

$$N = T(N_{\text{вент}} + N_{\text{ХМ}}),$$

$$N = 8760(70 + 360) = 3766800 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

При тарифе 3,2 руб/(кВт·ч) годовые затраты на электроэнергию для охлаждения основного серверного оборудования составят

$$S_3 = 3,2 \cdot 3766800 = 12053760 \text{ руб}.$$

При этом общее количество рекупируемого тепла:

$$Q = T(N_{\text{серв}} + N_{\text{ХМ}} + N_{\text{вент}}),$$

где  $T$  — время работы;

$N_{\text{серв}}$  — потребляемая мощность серверного оборудования,

$$Q = 8760(1000 + 360 + 70) = 12526800 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

При тарифе на тепловую энергию 1,3 руб/(кВт·ч) годовая выручка от продажи рекуперированного теплопотерь ЦОД составит:

$$S' = 1,3 \cdot 12526800 = 16284840 \text{ руб}.$$

Рекупируемое тепло может быть легко использовано на следующие цели: нагрев воды, отопление помещений, теплиц, сельскохозяйственных объектов и пр.

Рекуператор в этом случае представляет собой относительно недорогой пластинчатый теплообменник (рис. 1).

Коэффициент PUE для различных вариантов охлаждения в стоимостном выражении может быть рассчитан по следующей формуле:

$$PUE = (S_{\text{осн}} + S) / S_{\text{осн}},$$

где  $S_{\text{осн}}$  — годовые затраты на электроэнергию для основного серверного оборудования,

$S$  — годовые затраты на электроэнергию для охлаждения основного серверного оборудования.

$$S_{\text{осн}} = 3,2 \cdot 8760 \cdot 1000 = 28032000 \text{ руб}.$$

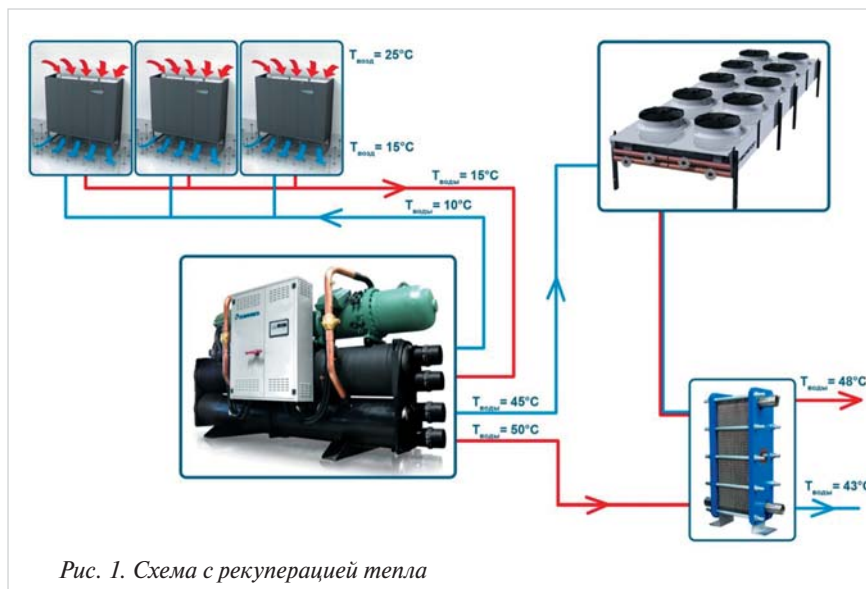


Рис. 1. Схема с рекуперацией тепла



В первом варианте

$$PUE_1 = (28032000 + 6483840) / 28032000 = 1,23.$$

Во втором варианте

$$PUE_2 = (28032000 + 5606400) / 28032000 = 1,2.$$

В третьем варианте

$$PUE_3 = (S_{\text{осн}} + S_3 - S') / S_{\text{осн}},$$

$$PUE_3 = (28032000 + 12053760 - 16284840) / 28032000 = 0,85.$$

### Утилизация тепловыделений

Разумеется, приведенные расчеты являются ориентировочными и в каждом конкретном случае должны уточняться и проверяться для выбора наиболее оптимальной схемы охлаждения конкретного объекта. Однако стоит отметить, что помимо экономического существует еще и экологический фактор. Так, на сегодняшний день в России суммарная установленная мощность серверного оборудования коммерческих ЦОД составляет порядка 600000 кВт [5], т.е. в год в окружающую среду просто так выбрасывается порядка 6832800000 кВт·ч тепловой энергии, что эквивалентно сжиганию 1366560000 м<sup>3</sup> природного газа. И это только коммерческие ЦОД. Если считать, что корпоративные ЦОД в России выбрасывают приблизительно такое же количество тепла, то речь идет о цифре порядка 3000000000 м<sup>3</sup>, что равно годовому потреблению газа такими странами, как Молдова, Литва, Хорватия, Словения, Болгария, Сербия.

По существующим нормативам потребления тепловой энергии на отопление жилых помещений (0,015 Гкал/м<sup>2</sup> в месяц [2], что эквивалентно 17,5 кВт·ч/м<sup>2</sup> в месяц), отведенной теплотой мегаваттного ЦОД можно (рис. 2):

- ✓ отапливать до 60 тыс. м<sup>2</sup> площади жилых и офисных зданий;
- ✓ или подогреть до 30 м<sup>3</sup>/ч воды с температуры +10 до температуры +50 °С;
- ✓ или обогреть теплицы площадью до 1,5 га (усредненный норматив – 75 кВт·ч/м<sup>2</sup> в месяц).

### Оборудование для охлаждения ЦОД

Специалисты компании «Климавенета» могут оперативно рассчитать и предложить оптимальные схемы охлаждения крупных дата-центров на базе выпускаемого компанией оборудования.

Для систем охлаждения с фрикуллингом могут быть предложены следующие чиллеры:

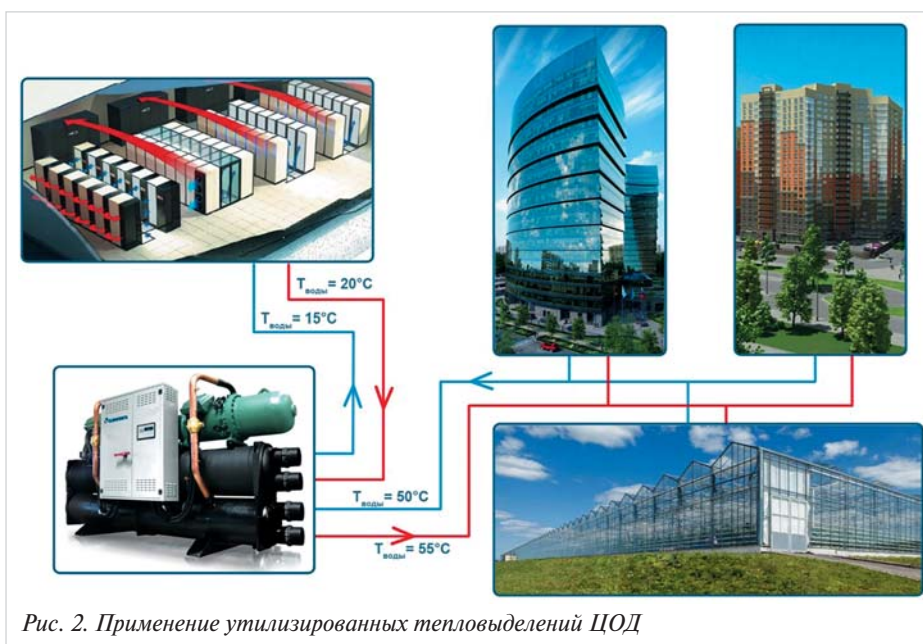


Рис. 2. Применение утилизированных тепловыделений ЦОД

- NECS-FC /B на базе спиральных компрессоров (рис. 3).



Рис. 3. Climaveneta NECS-FC /B

| Типоразмер | Холодопроизводительность, кВт | Потребляемая мощность, кВт | Холодильный коэффициент |
|------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 0152       | 43,6                          | 14,1                       | 3,09                    |
| 0182       | 51,0                          | 15,4                       | 3,31                    |
| 0202       | 61,9                          | 19,4                       | 3,19                    |
| 0252       | 68,0                          | 22,4                       | 3,04                    |
| 0302       | 88,5                          | 28,1                       | 3,15                    |
| 0352       | 104                           | 30,7                       | 3,39                    |
| 0412       | 115                           | 35,7                       | 3,22                    |
| 0452       | 131                           | 41,0                       | 3,20                    |
| 0512       | 149                           | 43,6                       | 3,42                    |
| 0552       | 166                           | 51,2                       | 3,25                    |
| 0612       | 187                           | 59,5                       | 3,14                    |
| 0604       | 177                           | 56,1                       | 3,16                    |
| 0704       | 207                           | 62,2                       | 3,32                    |
| 0804       | 234                           | 73,5                       | 3,19                    |
| 0904       | 268                           | 79,6                       | 3,36                    |
| 1004       | 293                           | 89,2                       | 3,29                    |
| 1104       | 336                           | 101                        | 3,33                    |
| 1204       | 377                           | 118                        | 3,21                    |
| 1404       | 430                           | 130                        | 3,32                    |
| 1604       | 477                           | 148                        | 3,22                    |

- **FX-FC/T+** на базе винтовых компрессоров (рис. 4).



Рис. 4. Climaveneta FX-FC/T+

| Типо-размер | Холодопроизводительность, кВт | Потребляемая мощность, кВт | Холодильный коэффициент |
|-------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 1502        | 335                           | 88,9                       | 3,77                    |
| 1702        | 372                           | 103                        | 3,63                    |
| 1902        | 433                           | 115                        | 3,77                    |
| 2002        | 481                           | 133                        | 3,62                    |
| 2202        | 530                           | 141                        | 3,77                    |
| 2602        | 619                           | 172                        | 3,59                    |
| 2702        | 665                           | 185                        | 3,60                    |
| 3002        | 695                           | 199                        | 3,49                    |
| 3202        | 753                           | 211                        | 3,57                    |
| 3402        | 826                           | 224                        | 3,69                    |
| 3602        | 881                           | 245                        | 3,59                    |
| 3902        | 944                           | 266                        | 3,55                    |
| 4202        | 1013                          | 277                        | 3,65                    |
| 4502        | 1093                          | 306                        | 3,57                    |
| 4802        | 1189                          | 318                        | 3,74                    |
| 5402        | 1325                          | 371                        | 3,57                    |
| 6002        | 1412                          | 416                        | 3,40                    |

- **TECS-FC/K** на базе безмасляных турбокомпрессоров (рис. 5).



Рис. 5. Climaveneta TECS-FC/K

| Типо-размер | Холодопроизводительность, кВт | Потребляемая мощность, кВт | Холодильный коэффициент |
|-------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 0211        | 302                           | 87,1                       | 3,47                    |
| 0351        | 483                           | 141                        | 3,43                    |
| 0452        | 594                           | 179                        | 3,33                    |
| 0552        | 689                           | 181                        | 3,81                    |
| 0652        | 943                           | 285                        | 3,31                    |
| 0712        | 980                           | 275                        | 3,56                    |
| 0903        | 1185                          | 320                        | 3,70                    |
| 0953        | 1253                          | 373                        | 3,36                    |
| 1003        | 1421                          | 425                        | 3,35                    |
| 1164        | 1578                          | 455                        | 3,47                    |
| 1204        | 1649                          | 461                        | 3,58                    |

Для систем с рекуперацией разработан и выпускается модельный ряд высокоэффективных тепловых насосов, позволяющих получать температуру теплоносителя на выходе до 60 °С, –

- **FOCS2-W/CA/H** на базе винтовых компрессоров (рис. 6).



Рис. 6. Climaveneta FOCS2-W/CA/H

| Типо-размер | Холодопроизводительность, кВт | Потребляемая мощность, кВт | Холодильный коэффициент |
|-------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 1301        | 306                           | 60,5                       | 5,06                    |
| 1401        | 348                           | 68,7                       | 5,07                    |
| 1601        | 422                           | 83,4                       | 5,06                    |
| 1801        | 477                           | 94,4                       | 5,06                    |
| 2101        | 538                           | 106                        | 5,07                    |
| 2401        | 607                           | 120                        | 5,07                    |
| 3602        | 957                           | 189                        | 5,07                    |
| 4202        | 1071                          | 212                        | 5,06                    |
| 4502        | 1145                          | 226                        | 5,06                    |
| 4802        | 1213                          | 240                        | 5,06                    |
| 6303        | 1604                          | 317                        | 5,05                    |
| 7803        | 1967                          | 389                        | 5,06                    |
| 9004        | 2278                          | 451                        | 5,05                    |
| 9604        | 2416                          | 478                        | 5,05                    |

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мааке В., Эккерт Г.Ю., Кошпен Польман Ж.Л. Учебник по холодильной технике. – М.: Изд-во МГУ, 1998 – 1145 с.
2. Постановление Правительства Москвы от 15 декабря 2015 г. № 889-ПП «Об утверждении цен, ставок и тарифов на жилищно-коммунальные услуги для населения».
3. Распоряжение Комитета по ценам и тарифам Московской области от 18.12.2015 г. № 168-Р «Об установлении на 2016 год цен (тарифов) на электрическую энергию для населения Московской области».
4. Распоряжение Комитета по ценам и тарифам Московской области от 16.06.2015 № 67-Р «Об установлении розничных цен на природный газ, реализуемый населению, а также жилищно-эксплуатационным организациям, организациям, управляющим многоквартирными домами, жилищно-строительным кооперативам и товариществам собственников жилья для бытовых нужд населения (кроме газа для арендаторов нежилых помещений в жилых домах)».
5. Материалы интернет-ресурса <http://www.iks-consulting.ru>

#### REFERENCES

1. Maake V., Ekkert G. Yu., Koshpen Polman J.L. Refrigeration engineering textbook. – Publishing house MGU, 1998 – 1145 p.
2. Decree of Moscow government of December 15, 2015 № 889-PP “On approval of prices, rates, tariffs on housing and communal services for populace”
3. Order of the Committee on prices and tariffs of Moscow region of December 18, 2015 №168-R “On fixing prices (tariffs) on electric power for inhabitants of Moscow region in 2016”
4. Order of the Committee on prices and tariffs of Moscow region of June 16, 2015 № 67-R “On fixing retail prices on natural gas supplied to inhabitants, to housing and maintenance organizations, to apartment houses managing companies, to building and loan associations as well as to housing habitation owners partnerships for consumer needs of populace (except gas supplied to leaseholders of uninhabited premises in apartment houses)”
5. Internet-resource <http://www.iks-consulting.ru>