

## Расчет геотермального теплообменника в программе ELCUT

Никитин А. А., Крылов В. А., Любимцев А. С.

Тепловой насос – современный источник энергии, используемой для работы систем кондиционирования, отопления горячего водоснабжения. В отличие от других теплогенераторов (газовых, дизельных, электрических), тепловой насос "выкачивает" накопленную за теплое время года энергию из окружающей среды – грунта, скальной породы, водоёма.

Геотермальные теплообменники, применяемые в тепловых насосах, бывают двух видов:

- горизонтальные
- вертикальные

Главное их отличие в способе монтажа.

Горизонтальный теплообменник укладывают в траншею глубиной примерно 1.5 м это влечет за собой увеличение площади используемой земли. Таким образом под горизонтальный геотермальный теплообменник необходима большая не застроенная площадь, так как грунт будет непригоден для размещения на нем зданий и сооружений, а так же не будет доступа к самому теплообменнику.

Вертикальный теплообменник укладывается в скважины глубиной от 50 м. Для такого монтажа не требуется не застроенной площади, так как весь теплообменник укладывается за глубину скважины.

Для расчета теплового потока к геотермальному теплообменнику была выбрана тепловая модель, представленная на рис. 1.

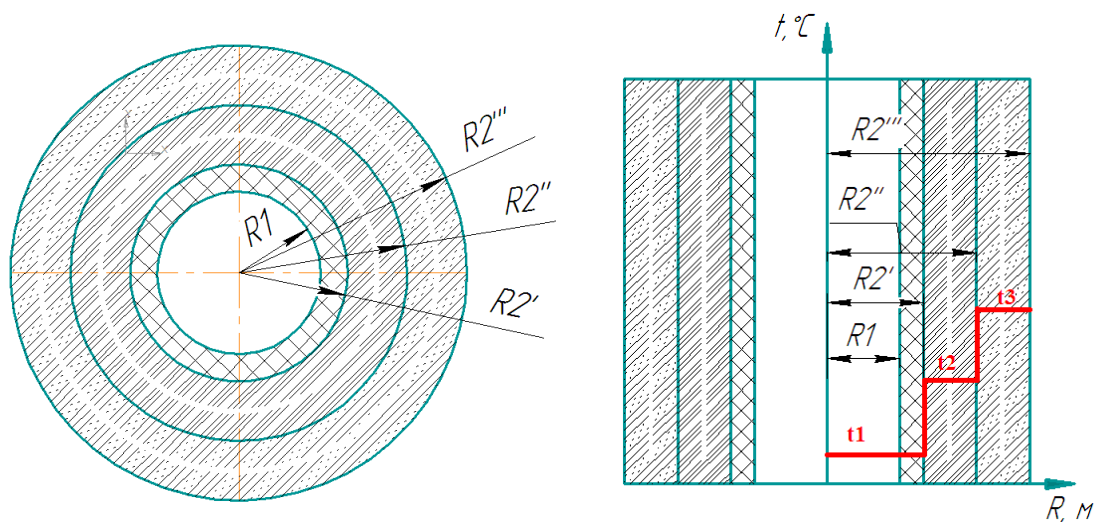


Рис. 1 Тепловая модель

Где:

$R_2$  – радиус изотермической поверхности, м;

$R_1$  – внутренний радиус обсадной трубы, м.

Для данной тепловой модели принимаем следующие допущения:

1. Температура грунта уменьшается ступенчато по мере удаления от теплообменника.
2. Слои охлаждаются последовательно до температуры равной температуре теплообменника. При этом, после того как первый слой израсходует свой тепловой потенциал, он препятствует тепловому потоку от следующего слоя грунта к теплообменнику и в формулу расчета теплового потока входит в качестве термического сопротивления.

Для исследования зависимости удельного теплового потока к геотермальному теплообменнику от типа грунта был выбран следующий тип почвы:

**1. Суглинки и глины, с параметрами грунта:**

Влажность  $\varphi = 25\%$ ;

Плотность  $\rho_{гр} = 1,6 \text{ т/м}^3$ ;

Теплопроводность  $\lambda_{гр} = 1,51 \text{ Вт/(м*К)}$ ;

Объемная теплоемкость  $C_v = 3150000 \text{ Дж/(м}^3 \cdot \text{°C)}$ .

**Исходные данные для расчета:**

$T_{\text{грунта}} = 10 \text{ °C}$

$T_{\text{теплообменника}} = T_{\text{этиленгликоля}} = (\Delta t_{\text{с}} - \Delta t_{\text{м}}) / \ln(\Delta t_{\text{с}} / \Delta t_{\text{м}}) = (10 - 5) / \ln(10/5) = 7,21 \text{ °C}$

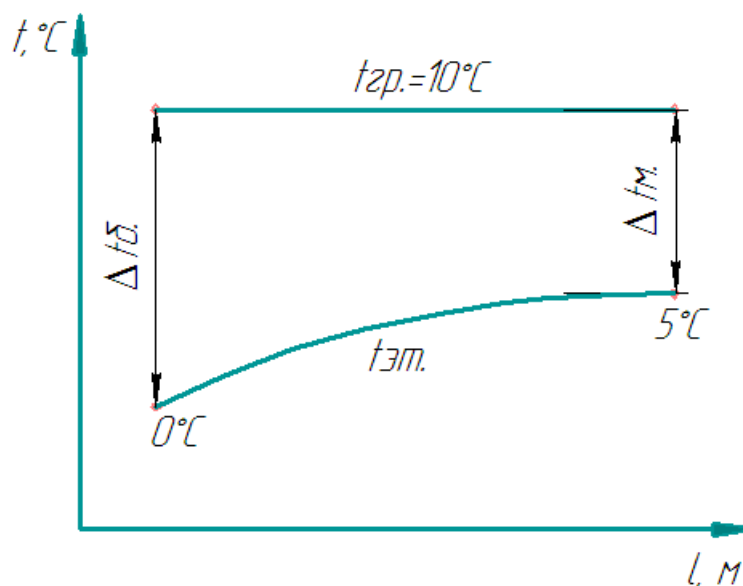


Рис. 2 Среднелогарифмическая разность температур.

На основе произведенного расчета был построен график зависимости теплового потока от длины изотермической поверхности.

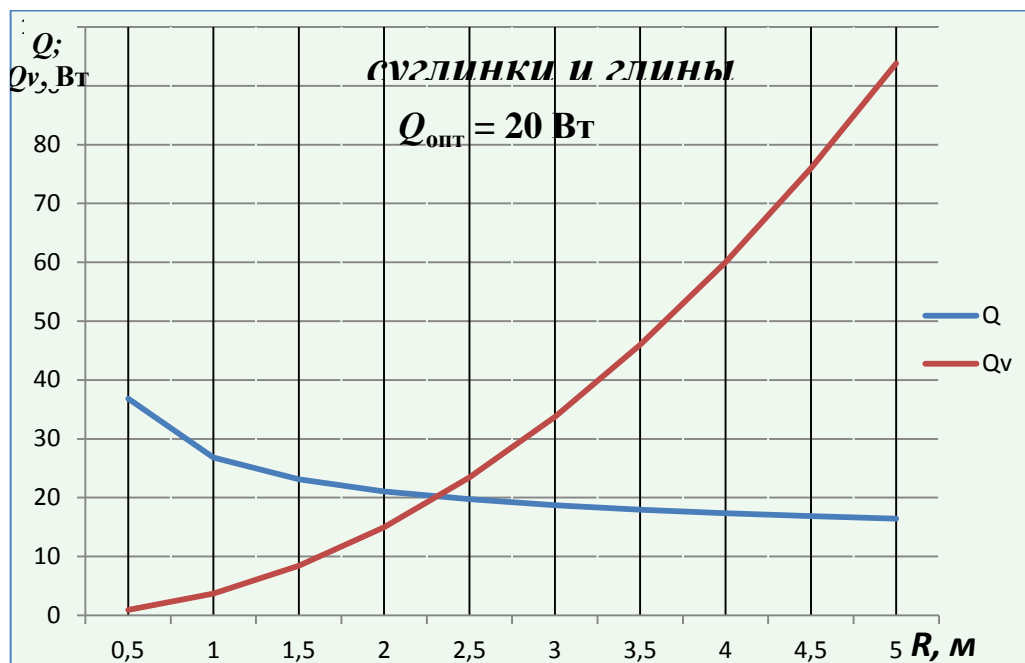


Рис 3. Зависимости теплового потока от длины изотермической поверхности.

С одной стороны с увеличением объема грунта, увеличивается количество собираемого тепла, но с другой стороны с увеличением объема грунта увеличивается термическое сопротивление грунта, которое приводит к снижению теплового потока от грунта к теплоносителю. Для выбора оптимального объема грунта, участвующего в теплообмене с теплоносителем на основе полученных численных значений был построен график зависимости теплового потенциал скважины ( $Q$ ) и грунта ( $Q_v$ ) от радиуса изотермической поверхности. Оптимальный тепловой поток получился равен 20 Вт.

Расчет нестационарной теплопроводности выполнялся с помощью пакета ELCUT, распространяемого фирмой "Тор" г. Санкт Петербурга [3]. Для заданной геометрии, начальных и граничных условий задача решается методом конечных элементов, причем шаг разбивки сечения выбирается автоматически в зависимости от требуемой точности решения (примерный расчет, обычный расчет, прецизионный расчет). Пакет очень удобен и прост для использования. Теплофизические свойства блоков (так называют в этом пакете отдельные тела, составляющие тепловую систему) задаются в диалоговом режиме с помощью специальных меню со строками ввода, рис 3.

Так как рассматриваемая физическая модель является цилиндрической, в программе ELCUT в классе модели задается то, что модель осесимметричная, затем поворачиваем её на 90 градусов относительно координатных осей. Тогда геометрия тепловой модели будет иметь вид рис 4.

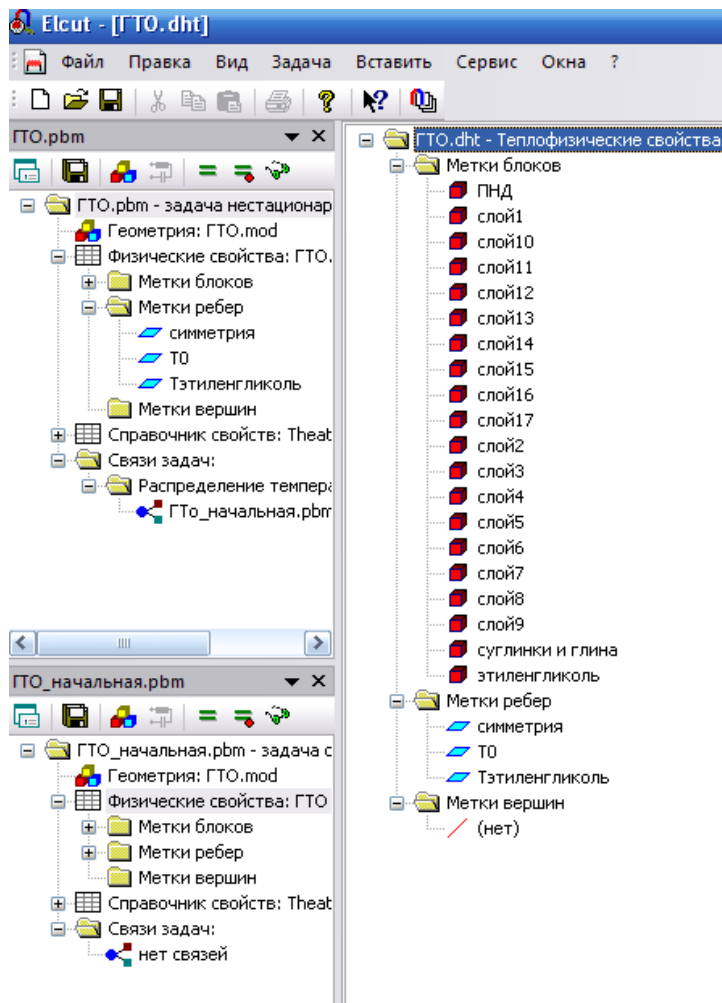


Рис 3. Теплофизические свойства блоков.

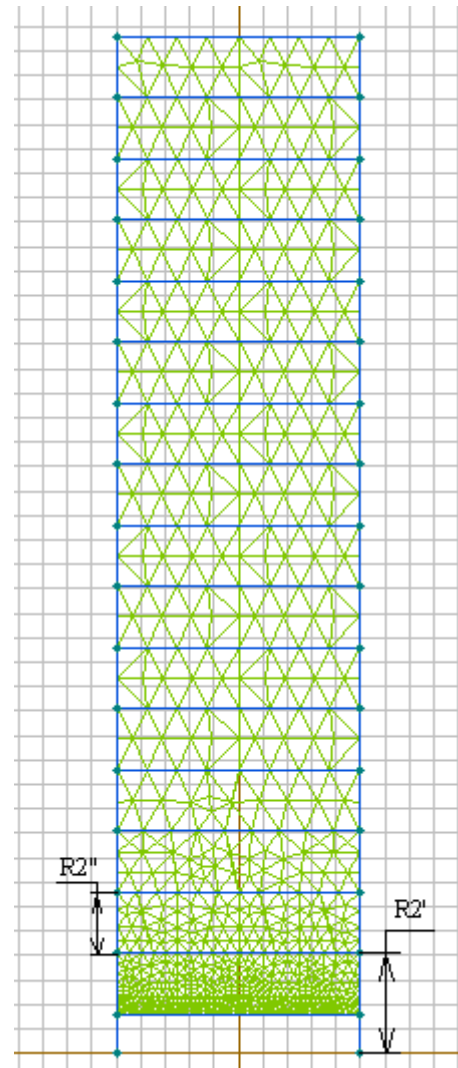


Рис 4. Геометрия тепловой модели.  
Где:  $R_2$  – радиус изотермической поверхности, м;

Аналогично вводятся начальные условия для каждого блока и граничные условия для каждой грани (так называют в этом пакете поверхности соприкосновения тел системы друг с другом или с окружающей средой) рис. 5.

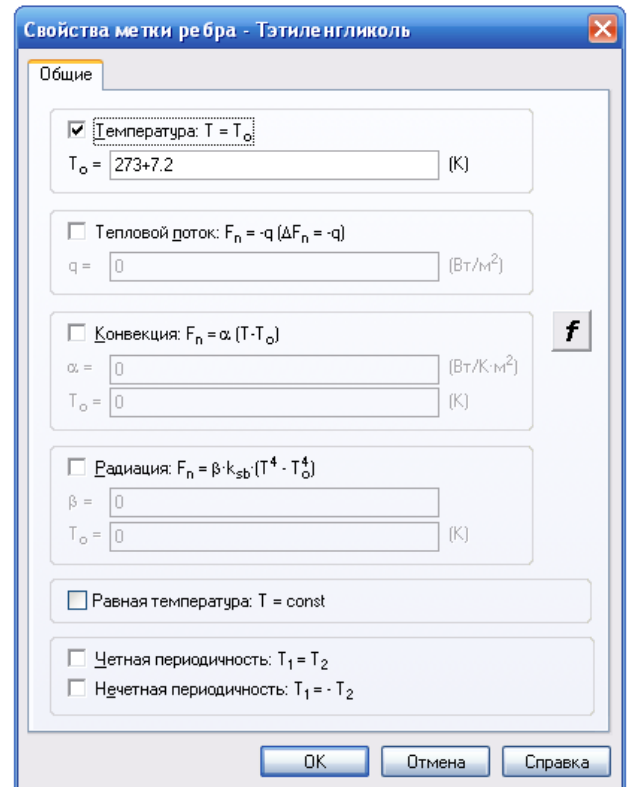
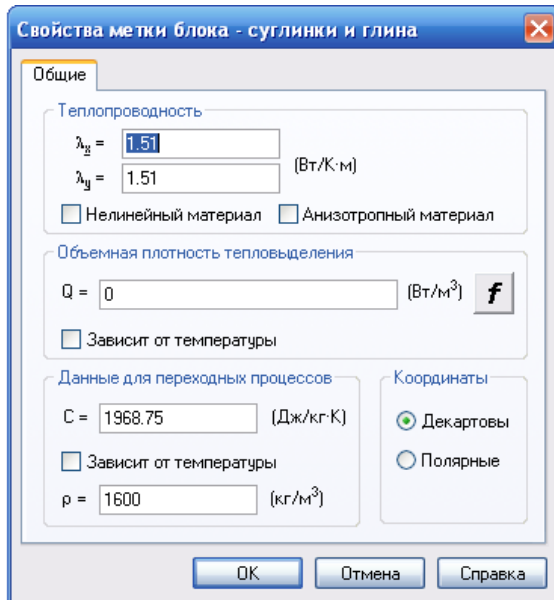


Рис. 5. Начальные условия для каждого блока и граничные условия для каждой грани.

В специальном окне формулируется тип задачи и пределы интегрирования по времени с указанием шага интегрирования по времени и шага сохранения результатов расчета, рис 6.

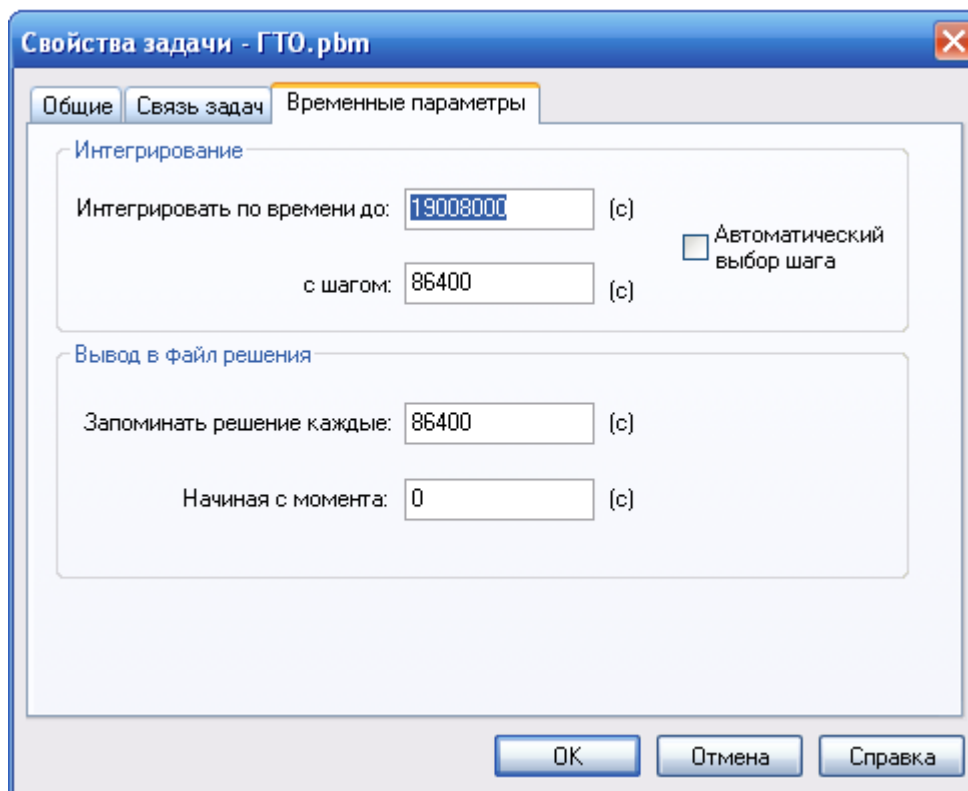


Рис 7. Пределы интегрирования по времени.

Результаты расчета могут быть выведены в числовой, табличной форме, графически в виде графика зависимости температуры для любой точки или в форме плоского температурного поля для всей системы тел, рис 8.

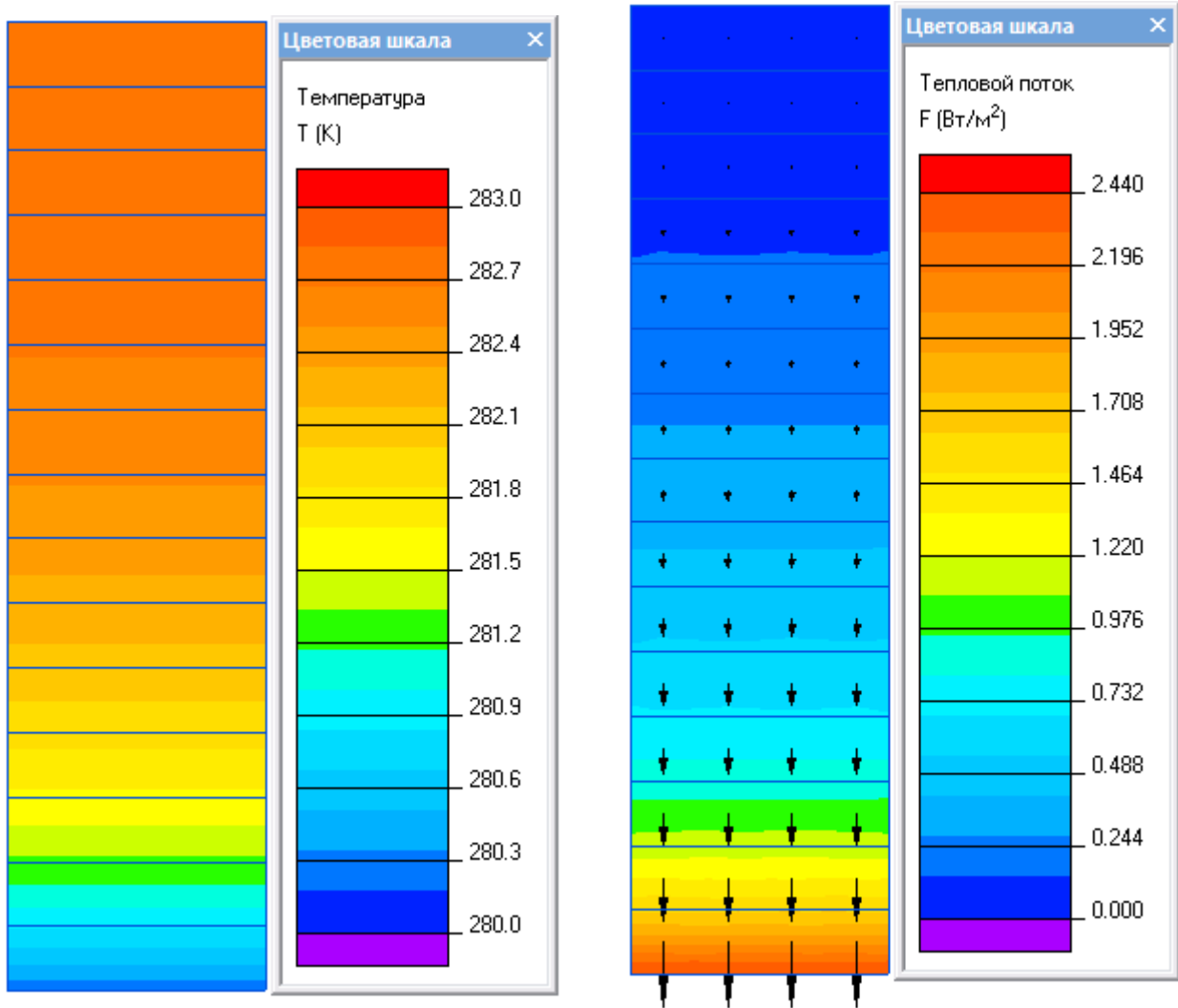


Рис 8. Результаты расчета в графической форме.

Так как расчетная тепловая модель является осесимметричной и она повернута на 90 градусов относительно координатных осей, тепловой поток будет иметь вертикальное направление.

В результате произведенного расчета было получено численные значения теплового потока, равное 24,866 Вт. Это суммарное значение теплового потока со всего контура тепловой модели и оно отличается от теоретического значения, равного 20. Значение теплового потока рассчитанное в программе ELCUT является более точным, так как допущения использованные в теоретическом расчете отсутствуют, за исключением того, что мы так же принимаем температуру внешней поверхности ПНД трубы равной температуре этиленгликоля.

## **Список использованной литературы**

1. Васильев Г.П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоёв земли. Москва, издательский дом «Граница», 2006г.
2. Теоретические основы хладотехники , часть 2, тепломассообмен, под редакцией д-ра техн. наук, проф. Э. И. Гуйго, Москва «Колос» 1994 г.
3. ELCUT. Руководство пользователя. СПб., 200. 185 с.

## **Авторы**

Доцент СПбГУНиПТ, Россия, Санкт-Петербург, кафедра кондиционирования воздуха,  
Никитин Андрей Алексеевич

Аспирант СПбГУНиПТ, Россия, Санкт-Петербург, кафедра холодильных машин и  
низкопотенциальной энергетики, Крылов Василий Александрович

Старший инженер технической поддержки ООО «Тор», Любимцев Александр Сергеевич.