

## Концепция системы нагрева горячей воды и подогрева бассейна для детских садиков.

### ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА.

По заданию солнечная система горячего водоснабжения должна обеспечить производство горячей воды без дублирования или с дублированием тепловым насосом воздух- вода вне отопительного сезона. Решение сравнить с системой без солнечных коллекторов использующую тепловой насос, сравнить системы по приведенным затратам и эффективности капиталовложений.

Период вне отопительного сезона определен постановлением кабинета министров Украины №74 от 2.03.2015 с 1.05 по 30.09

Установки солнечного горячего водоснабжения для систем без дублирования рассчитывается по данным месяца с наименьшей суммой солнечной радиации за расчетный период работы (ВСН 52-86) – для проекта это сентябрь.

Интенсивность падающей солнечной радиации для любого пространственного положения солнечного коллектора и каждого часа светового дня,  $q_i$  Вт/м<sup>2</sup>:

$$q_i = P_s I_s + P_D I_D, \text{ где } I_s, I_D - \text{интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации, Вт/м}^2;$$
$$P_s, P_D - \text{коэффициенты положения солнечного коллектора}$$

Данные об интенсивности прямой и рассеянной радиации по рекомендованному ВСН 52-86 источнику «Справочник по климату СССР» выпуск 10, часть 1 Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние.

Минимальная интенсивность для Киева при угле установки 45° и ориентации 0° из расчетного периода выпадает на сентябрь и составляет  $q_i = 3239$  Вт/м<sup>2</sup> в сутки

Максимальная интенсивность для Киева при угле установки 45° и ориентации 0° из расчетного периода выпадает на июль и составляет  $q_i = 6019$  Вт/м<sup>2</sup> в сутки.

Самый интенсивный по солнечной радиации дневной час в 11.00-12.00 в июле  $q_i = 1680$  Вт/м<sup>2</sup> в час

Расчет площади солнцепоглощающей поверхности солнечных коллекторов для солнечной системы горячего водоснабжения произведен в соответствии с ВСН 52-86 «УСТАНОВКИ СОЛНЕЧНОГО ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ. Нормы проектирования.»

Расход горячей воды рассчитан по ДБН В.2.5-64:2012 «Внутренний водопровод и канализация.»

Для садика на 300 детей с приготовлением пищи из свежих продуктов

$$300 \times 30 = 9000 \text{ л воды в сутки}$$

Площадь м<sup>2</sup> солнечных коллекторов для работы без дублирования рассчитывается по формуле:

$$A = G / \sum_i g_i$$

Где:  $G$  - суточный расход горячей воды  $G$ , кг, принимается по ДБН В.2.5-64:2012;

$g_i$  - производительность установки, отнесенная к 1 м<sup>2</sup> поверхности солнечного коллектора, кг/м<sup>2</sup>;

При расчете солнечных систем без дублирования

Количество теплоты для нагрева 9000 л воды в сутки на 30°

$$Q = 9000 \times 4190 \times 30 / 3600 = 314250 \text{ Вт в сутки}$$

Площадь солнцепоглощающей поверхности коллекторов без дублирования рассчитывается по минимальной инсоляции за период вне отопительного сезона:

$$A = 314250 \text{ Вт в сутки} / 3239 \text{ Вт/м}^2 \text{ в сутки} = \mathbf{97,02 \text{ м}^2}$$

Площадь солнцепоглощающей поверхности коллекторов с дублированием рассчитывается по максимальной инсоляции за период вне отопительного сезона:

$$A = 314250 \text{ Вт в сутки} / 6214 \text{ Вт/м}^2 \text{ в сутки} = \mathbf{50,57 \text{ м}^2}$$

#### Расчет объемного расхода теплоносителя солнечного контура.

Объемный расход (л/с) теплоносителя солнечного греющего контура рассчитан для площади солнцепоглощающей поверхности коллекторов  $A = 97,02 \text{ м}^2$  во время максимальной интенсивности солнечной радиации  $q_i = 1680 \text{ Вт/м}^2 \text{ в час}$  - расчет произведен для двух разных по физико-химическим свойствам теплоносителей для сравнения и выбора:

1. **Пропилен гликоль 40% водный раствор.** Максимальной температуры нагрева  $T_{н \text{ макс}} = 87^\circ\text{C}$ , максимальной температуры использования теплоносителя на основе пропиленгликоля  $T_{\text{макс}} = 107^\circ\text{C}$ , теплоемкости 30% раствора пропилен гликоля  $3670 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$  и плотности 40% водного раствора пропилен гликоля при  $90^\circ\text{C} = 997 \text{ кг/м}^3$  (ГОСТ 19774):

$$Q_{\text{бд}} = 97,02 \text{ м}^2 \times 1680 \text{ Вт/м}^2 \text{ в час} = 163034 \text{ Вт (Дж/с)}$$

$$Q_d = 50,57 \text{ м}^2 \cdot 1680 \text{ Вт/м}^2 \text{ в час} = 84957,6 \text{ Вт (Дж/с)}$$

$$T_{\text{макс}} - T_{\text{н макс}} = 107 - 87 = 20 \text{ }^\circ\text{C (К)}$$

$$\text{Объемный расход теплоносителя (л/с)} = 163034 \text{ Вт} / 3670 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)} / 20\text{К} / 0,998 \text{ кг/л} = 2,23 \text{ л/с}$$

$$\text{Объемный расход теплоносителя (л/с)} = 84957,6 \text{ Вт} / 3670 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)} / 20\text{К} / 0,998 \text{ кг/л} = 1,16 \text{ л/с}$$

2. **Полиметилсилоксан - полимер.** Максимальной температуры нагрева  $T_{\text{н макс}} = 95^\circ\text{C}$ , максимальной температуры использования теплоносителя  $T_{\text{макс}} = 235^\circ\text{C}$ , теплоемкость 1632 Дж/(кг·К) и 997 кг/м<sup>3</sup> (ГОСТ 13032-77):

$$Q_{\text{бд}} = 97,02 \text{ м}^2 \cdot 1680 \text{ Вт/м}^2 \text{ в час} = 163034 \text{ Вт (Дж/с)}$$

$$Q_d = 50,57 \text{ м}^2 \cdot 1680 \text{ Вт/м}^2 \text{ в час} = 84957,6 \text{ Вт (Дж/с)}$$

$$T_{\text{макс}} - T_{\text{н макс}} = 235 - 95 = 140 \text{ }^\circ\text{C (К)}$$

$$\text{Объемный расход теплоносителя (л/с)} = 163034 \text{ Вт} / 1632 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)} / 140\text{К} / 0,997 \text{ кг/л} = 0,72 \text{ л/с для } 97,02 \text{ м}^2$$

$$\text{Объемный расход теплоносителя (л/с)} = 84957,6 \text{ Вт} / 1632 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)} / 140\text{К} / 0,997 \text{ кг/л} = 0,37 \text{ л/с для } 50,57 \text{ м}^2$$

#### Выбор бака-теплоаккумулятора.

В соответствии с ВСН 52-86 «Установки Солнечного Горячего Водоснабжения. Нормы проектирования»:

V - удельный объем бака-аккумулятора (объем бака на 1 м<sup>2</sup> площади солнечного коллектора), принимается равным 0,06 для II, 0,07 - для III и 0,08 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> - для IV климатического района.

#### Объем бака-аккумулятора

$$V \text{ м}^3 = 97,02 \text{ м}^2 \cdot 0,07 \text{ м}^3/\text{м}^2 = 6,7914 \text{ м}^3 = 6791,4 \text{ л}$$

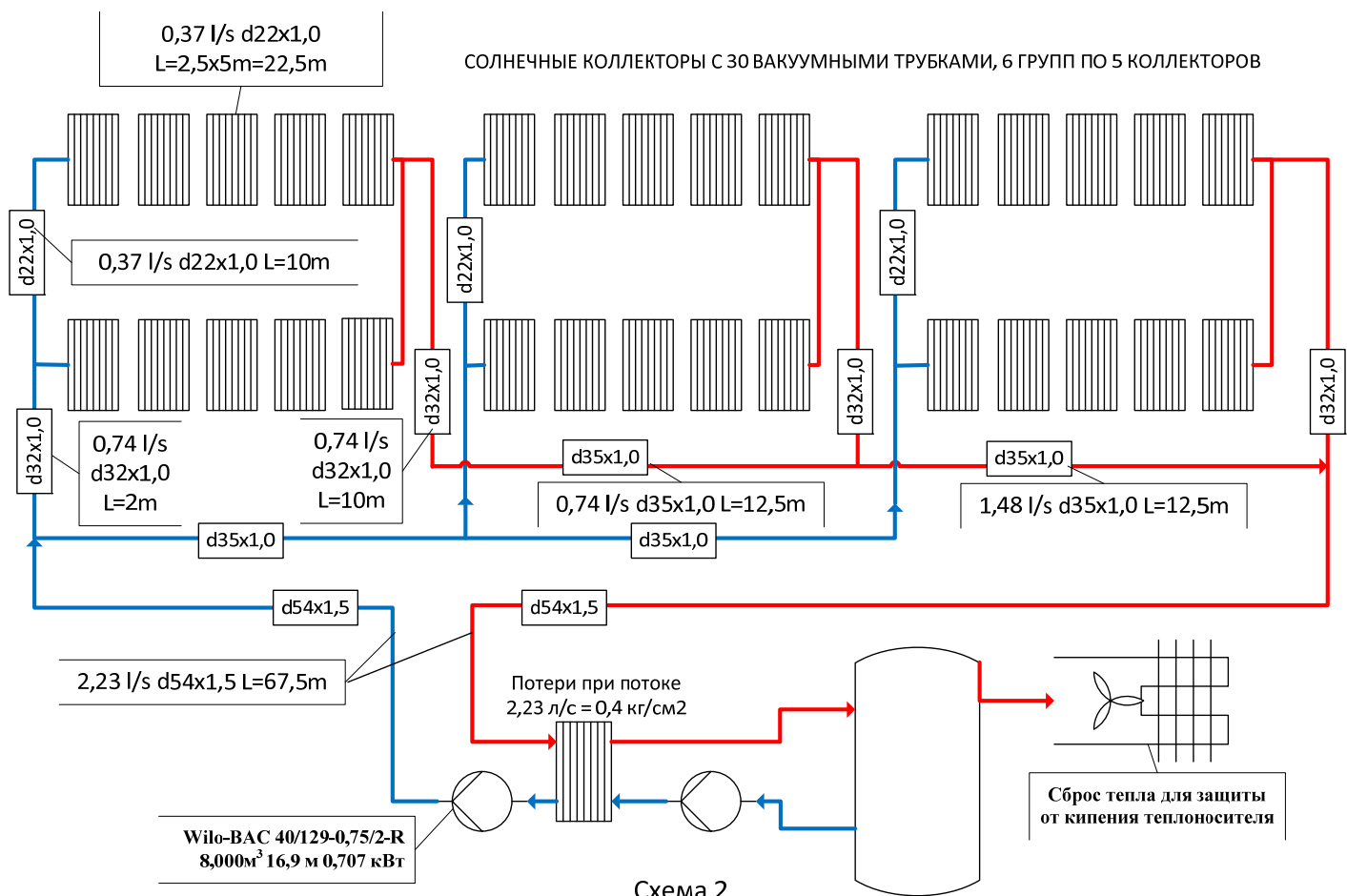
#### Применяемая арматура.

Арматура соответствующая условиям эксплуатации солнечной системы Broen Ballomax для пара.

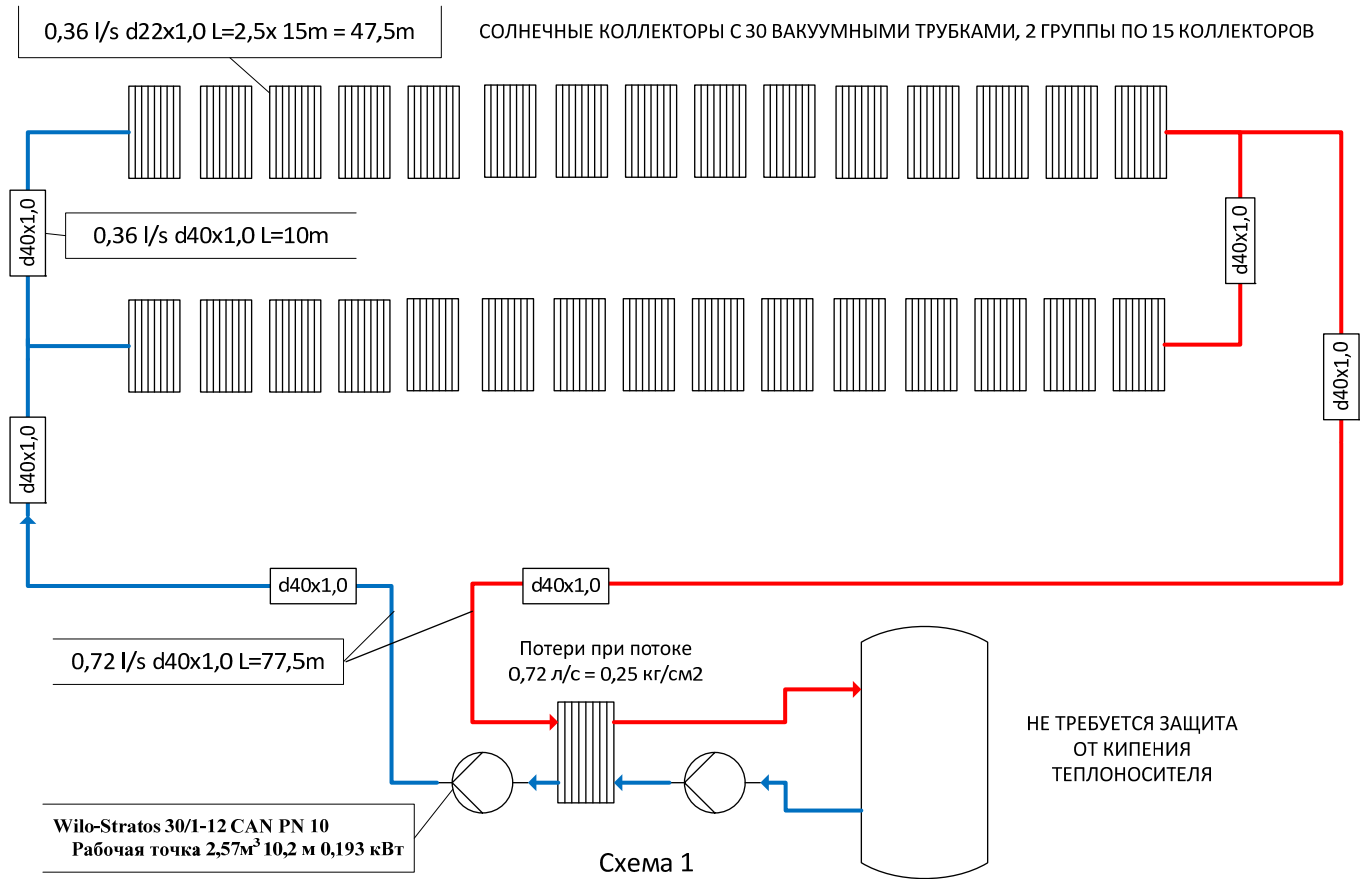
Рабочие температуры  $-40^\circ\text{C} + 250^\circ\text{C}$

## Схемы подключения солнечных коллекторов в тепловых солнечных системах более 25 м<sup>2</sup> в зависимости от характеристик теплоносителя.

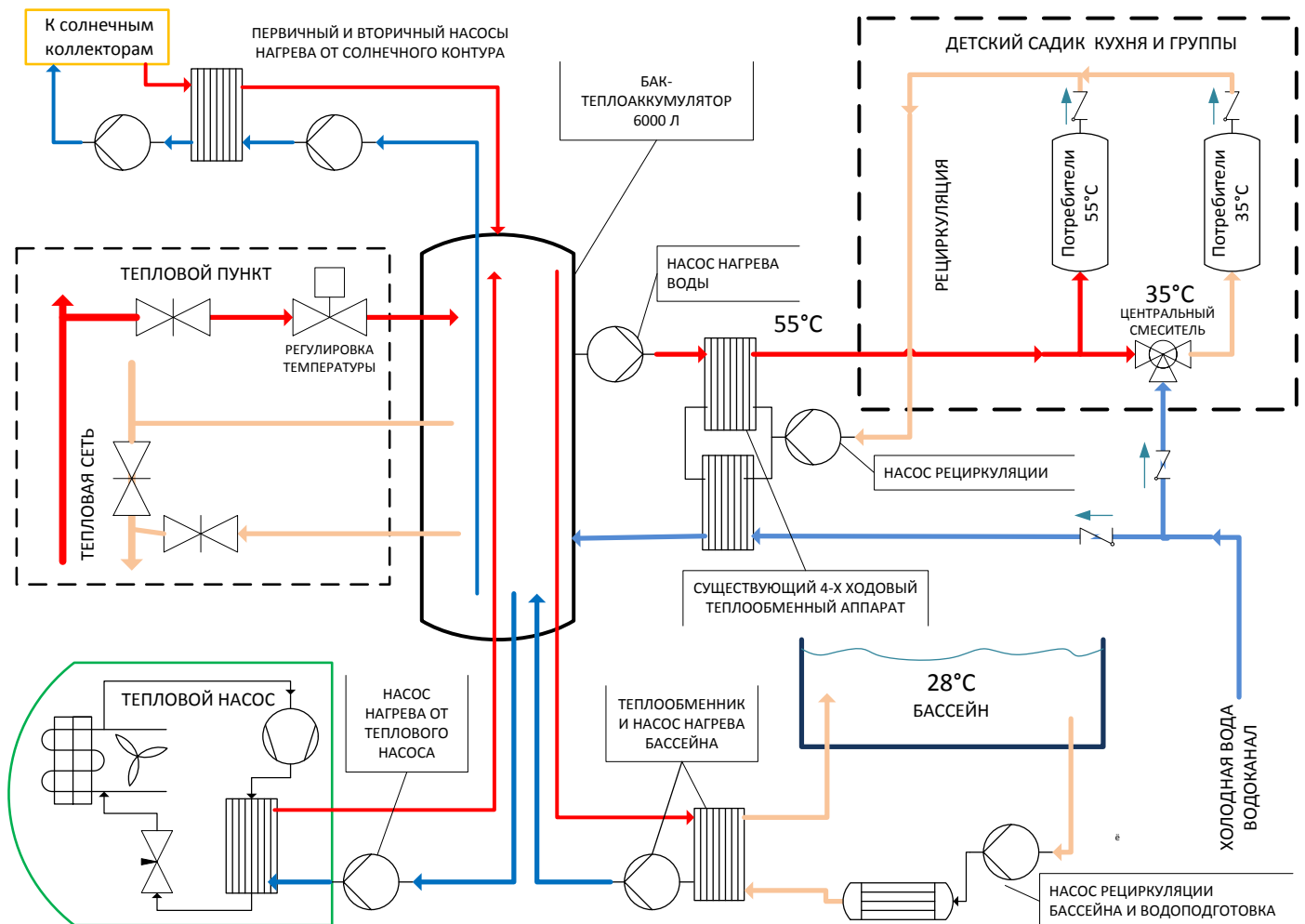
### Схема 2



# Схема 1



## Подключение источников и потребителей тепла



**Моделирование системы для горячего водоснабжения детского садика на 300 детей по погодным условиям г. Киева для проверки показателей эффективности:**

Конфигурация поля солнечных коллекторов (поглощающая площадь коллекторов м <sup>2</sup> / параллельные группы+ дублирование)	Объем бака-аккумулятора (л) мощность дублирования(кВт)	Годовой КПД (полученная энергия /затраченную энергию) %	Затраты энергии кВт*ч стоимость эл.энергии 1кВт*ч = 1,80грн	Количество использованной энергии кВт*ч 1 Гкал =1632 грн стоимость тепла 1кВт*ч = 1,40 грн
<b>Моделирование системы без дублирования - солнечные коллекторы</b>				
97 м <sup>2</sup> - 2 (схема 1)	2000 л Дублирования нет	241	17552	<b>45004</b> <b>(не обеспечиваются потребности в ГВС)</b>
97 м <sup>2</sup> - 6 (схема 2)	2000 л Дублирования нет	232	17876	<b>43600</b> <b>(не обеспечиваются потребности в ГВС)</b>
97 м <sup>2</sup> - 6 (схема 1)	6000 л	543	13528	73360
97 м <sup>2</sup> - 6 (схема 2)	6000 л	389	18792	73039
<b>Моделирование системы с дублированием – солнечные коллекторы + тепловой насос воздух-вода</b>				
97 м <sup>2</sup> -2 + Тепловой насос воздух-вода DVM-III ECO A2/W35 COP=4,7	6000 л + ТН 19кВт (среднегодовой COP=3,05)	1798	4169	74950
50 м <sup>2</sup> -1 + Тепловой насос воздух-вода DVM-III ECO A2/W35 COP=4,7	6000 л +ТН 19кВт (среднегодовой COP=3,3)	787	9480	74595
<b>Моделирование системы без солнечных коллекторов - тепловой насос воздух-вода</b>				
Тепловой насос воздух-вода DVM-III ECO A2/W35 COP=4,7	19кВт (среднегодовой COP=3,05)	197	37164	73267

**Моделирование солнечной системы для детского садика на 300 детей с бассейном 18 м<sup>3</sup> (3м x 5м) по погодным условиям г. Киева для проверки показателей эффективности:**

Конфигурация системы и поля солнечных коллекторов (поглощающая площадь коллекторов м <sup>2</sup> / параллельные группы + дублирование)	Объем бака-аккумулятора (л) мощность дублирования(кВт)	Годовой КПД (полученная энергия /затраченную энергию) %	Затраты энергии кВт*ч стоимость эл.энергии 1кВт*ч = 1,80грн	Количество использованной энергии кВт*ч 1 Гкал =1632 грн стоимость тепла 1кВт*ч = 1,40 грн
<b>Моделирование системы без дублирования</b>				
97 м <sup>2</sup> - 6 (схема 1)	2000 л Дублирования нет	312	14790	<b>54777</b> <b>(не обеспечиваются потребности в ГВС)</b>
97 м <sup>2</sup> - 6 (схема 2)	2000 л Дублирования нет	265	19440	<b>54375</b> <b>(не обеспечиваются потребности в ГВС)</b>
97 м <sup>2</sup> - 6 (схема 1)	6000 л	564	13528	76360
97 м <sup>2</sup> - 6 (схема 2)	6000 л	404	18792	76039
<b>Моделирование системы с дублированием (тепловой насос воздух-вода)</b>				
97 м <sup>2</sup> – 2 + Тепловой насос воздух-вода DVM-III ECO A2/W35 COP=4,7	6000 л + ТН 19кВт (среднегодовой COP=3,05)	1845	4169	76950
50 м <sup>2</sup> – 1 + Тепловой насос воздух-вода DVM-III ECO A2/W35 COP=4,7	6000 л + ТН 19кВт (среднегодовой COP=3,05)	807	9480	76595
<b>Моделирование системы без солнечных коллекторов – тепловой насос воздух-вода</b>				
Тепловой насос воздух-вода DVM-III ECO A2/W35 COP=4,7	19кВт (среднегодовой COP=3,15)	199	38164	76264

**Сравнительный анализ конструктивного решения, выбора материалов, схемы поля коллекторов, условий применения, эффективности и надежности.**

Схема 1 – теплоноситель ПМС (ЕСО-НТ)	Схема 2 – теплоноситель Пропиленгликоль 40%
<p align="center"><b>Теплопотери при мах инсоляции</b> <b>163 кВт в час (dT) = 240 К</b></p> <p>Удельные теплопотери коллекторов Без ветра 0,681 Вт/м<sup>2</sup>*К С учетом ветра 0,749 Вт/м<sup>2</sup>*К Общая площадь коллекторов 4,7м<sup>2</sup>*30=141м<sup>2</sup> Мах теплопотери (кВт) 141*240*0,749 = <b>25,4 кВт</b> Мах теплопотери (%) 25,4 / 163*100 = <b>15,5%</b> Теплопотери трубопроводов при dT = 240 С Площадь поверхности трубопроводов 0,04*3,14*97,5=12,25 м<sup>2</sup> Теплоизоляция λ min = 0,032 Вт/(м*К) толщина 40мм (dT)*S*R= dT*S*d/λ [(м<sup>2</sup>*К)/Вт], d– толщина в метрах 240К*12,25м<sup>2</sup>*0,04/0,032(м<sup>2</sup>*К)/Вт = <b>3,675 кВт</b> Мах теплопотери труб(%) 3,675 / 163*100 = <b>2,25%</b></p> <p align="center">Мах теплопотери при (dT) = 240 К =&gt; <b>17,8%</b></p> <p align="center"><b>Теплопотери при среднегодовой инсоляции</b> <b>69,84 кВт в час (dT) = 60 К</b></p> <p>теплопотери коллекторов 141*60*0,749 = <b>4,7кВт</b> трубопроводов 60К*12,25м<sup>2</sup>*0,04/0,032(м<sup>2</sup>*К)/Вт = <b>0,9кВт</b> 4,7+0,9=<b>5,6кВт</b></p> <p align="center">Среднегодовые потери (dT = 60К) 5,6/69,8*100 = <b>8%</b></p> <p><b>Теплопотери учтены при моделировании</b></p>	<p align="center"><b>Теплопотери при мах инсоляции</b> <b>163 кВт в час (dT) = 240 К</b></p> <p>Удельные теплопотери коллекторов Без ветра 0,681 Вт/м<sup>2</sup>*К С учетом ветра 0,749 Вт/м<sup>2</sup>*К Общая площадь коллекторов 4,7м<sup>2</sup>*30=141м<sup>2</sup> Мах теплопотери (кВт) 141*110*0,749 = <b>11,6кВт</b> Мах теплопотери (%) 11,6 / 163*100 = <b>7,1%</b> Теплопотери трубопроводов при dT = 110 К Площадь поверхности трубопроводов 3,14*(0,054*76+0,035*50+0,032*42+0,022*30)=24,7 м<sup>2</sup> Теплоизоляция λ min = 0,032 Вт/(м*К) толщина 40мм (dT)*S*R= dT*S*d/λ [(м<sup>2</sup>*К)/Вт], d– толщина в метрах 110К*24,7м<sup>2</sup>*0,04/0,032(м<sup>2</sup>*К)/Вт = <b>3,399 кВт</b> Мах теплопотери труб(%) 3,399 / 163*100 = <b>2,08%</b></p> <p align="center">Мах теплопотери при (dT) = 110 К =&gt; <b>9,2%</b></p> <p align="center"><b>Теплопотери при среднегодовой инсоляции</b> <b>69,84 кВт в час (dT) = 60 К</b></p> <p>Средние теплопотери коллекторов 141*40*0,749 = <b>4,2кВт</b> Трубопроводов 40К*24,7м<sup>2</sup>*0,04/0,032(м<sup>2</sup>*К)/Вт = <b>1,2кВт</b> 4,2+1,2=<b>5,4кВт</b></p> <p align="center">Средние потери (dT = 40К) 5,4/69,8*100 = <b>7,7%</b></p> <p><b>Теплопотери учтены при моделировании</b></p>
<p><b>Теплоноситель (ПМС-10) ЕСО-НТ</b> <b>Гидрогелиевый полимер Полиметилсилоксан</b> <b>Si-O-Si-O-Si-O-Si-O</b> ГОСТ 13032-77 Химически инертен. При производстве не выделяются вредные вещества. Экологически безвреден. Малоопасное вещество кл 4, не раздражает слизистые оболочки и кожу.</p>	<p><b>Теплоноситель Пропилен гликоль (спирты)</b> <b>С<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub> CH<sub>2</sub>(ОН)-СН(ОН)-СН<sub>3</sub></b> В процессе окисления 1,2-пропиленгликоля продуктами реакции являются ацетон, пропионовый альдегид, молочная кислота, формальдегид, ацетальдегид и др. в больших дозах угнетает центр. нервную систему. Употребление продуктов питания (избыточное), содержащих добавку пропилен гликоль Е1520, может привести к повреждению почек.</p>
<p><b>Удельная теплоемкость 1632 Дж/(кг·К)</b> <b>Не содержит воды</b> <b>Термически стабилен</b></p>	<p><b>Удельная теплоемкость п-гликоля 2890 Дж/(кг·К)</b> <b>Разлагается при T&gt;107°С</b> <b>Теплоемкость 40% раствора</b> <b>4190(вода)*0,6+2890(гликоль)*0,4 = 3670 Дж/(кг·К)</b></p>
<p align="center"><b>Надежна</b> <b>( не требуется бесперебойное питание, сброс тепла)</b> <b>dT=140С мах рабочая T=240С выдерживает T=350С</b> <b>Мах количество получаемого тепла</b> <b>Q=2570*1,632 кДж/кг·К*140/3600= 163кВт*ч</b></p>	<p align="center"><b>Необходима защита от перегрева теплоносителя</b> <b>(бесперебойное питание, сброс тепла)</b> <b>dT=20С мах рабочая T=95С</b> <b>Мах количество получаемого тепла</b> <b>Q=8000*3,67 кДж/кг·К*20/3600= 163кВт*ч</b></p>
<p><b>Схема 1</b> Поле из 2-х групп по 15 коллекторов в каждой. Группы расположены в два ряда на плоской кровле. Расстояние между рядами 10м. Затенение коллекторов отсутствует, ориентация 0° угол наклона к горизонту 45°</p>	<p><b>Схема 2</b> (схема защищена от перегрева при условии бесперебойного питания насосов и вентилятора контура отвода тепла) Поле из 6 групп по 5 коллекторов в каждой Группы расположены в два ряда на плоской кровле. Расстояние между рядами 10м. Затенение коллекторов отсутствует, ориентация 0° угол наклона к горизонту 45°</p>
<p align="center"><b>2,570м<sup>3</sup>/ч dT = 140С</b></p> <p><b>Трубы, скорости, объем:</b> d 40x1,0 =&gt; 97,5м ; 0,72 л/с ; 0,626 м/с; 110,58 л солнечные коллекторы (d22x1,0x2,5м) 0,36л/с; 30шт 27,4 л; теплообменник 0,72 л/с; 2,5 л объем солнечного контура <b>140,48л</b></p> <p><b>Гидравлический расчет (схема 1):</b> Рабочая точка =&gt; 2,570м<sup>3</sup> 10,2 м В.С. Насос Wilo-Stratos 30/1-12 CAN PN 10</p> <p><b>Мощность в рабочей точке <b>0,193 кВт</b></b> * Разница а энергопотреблении не учтена в сравнительной таблице годовых показателей.</p>	<p align="center"><b>8,000м<sup>3</sup>/ч dT = 20С</b></p> <p><b>Трубы, скорости, объем:</b> d 54x1,5 =&gt; 76м ; 2,23 л/с ; 1,091 м/с 155,25 л d 35x1,0 =&gt; 50м ; 1,48 л/с ; 1,73м/с 42,76 л d 32x1,0 =&gt; 42м ; 0,74 л/с ; 1,047 м/с 29,69 л d 22x1,0 =&gt; 30м ; 0,37 л/с ; 1,178 м/с 9,42 л коллекторы (d22x1,0x2,5м) 30шт 27,4 л теплообменник 2,23 л/с 2,5 л объем солнечного контура <b>267,02 л</b></p> <p><b>Гидравлический расчет (схема 2):</b> Рабочая точка =&gt; 8,000м<sup>3</sup> 16,9 м В.С. Насос Wilo-BAC 40/129-0,75/2-R</p> <p><b>Мощность в рабочей точке <b>0,707 кВт</b></b></p>

## Сравнение эффективности капиталовложений (система нагрева горячей воды)

Оборудование	цена монтажа	цена единицы	солнечные коллекторы 30 шт Схема 1		солнечные коллекторы 30 шт Схема 2		солнечные коллекторы 30 шт + тепловой насос		солнечные коллекторы 15 шт + тепловой насос		тепловой насос		
1	Вакуумные солнечные коллекторы по 30 трубок 1850x58	150	790	30	28200	30	28200	30	28200	15	14100	0	0
2	тепловой насос (ТН) 19 кВт	700	8620	0	0	0	0	1	9320	1	9320	1	9320
3	бак-аккумулятор 2000 л / 6000 л	400	2580	1	2980	1	2980	1	2980	1	2980	1	2980
4	насосы контура солнца	100	800	1	900	1	900	1	900	1	900	0	0
5	трубопроводы солнца с изоляцией и арматурой Схема 1	900	2400	1	3300	0	0	1	3300	1	1650	0	0
6	трубопроводы солнца с изоляцией и арматурой Схема 2	1700	4400	0	0	1	6100	0	0	0	0	0	0
7	циркуляционный насос нагрева от ТП	100	400	1	500	1	500	1	500	1	500	1	500
8	насос циркуляции ГВС	100	400	1	500	1	500	1	500	1	500	1	500
9	теплообменный аппарат солнца	200	1000	1	1200	1	1200	1	1200	1	1200	0	0
10	циркуляционный насос нагрева от ТН	100	400		0		0	1	500	1	500	1	500
11	Автоматика, материалы, теплоноситель		1550	1	1550	1	1550	1	1550	1	1550	1	1550
Общая стоимость в USD					39130,00		41930,00		48950,00		33200,00		15350,00
Общая стоимость (гривна)			курс USD	24	939120,00		1006320,00		1174800,00		796800,00		368400,00
КПД					542		389		1798		787		197
снижение выбросов CO <sub>2</sub> , кг в год					19273		18457		35757		25623		20399
Произведенная тепловая энергия, 1кВт = 1,4 грн				1,4	73360		73039		74950		74595		73267
Произведенная тепловая энергия Гкал ( Гкал=1632 грн)					63,0896		62,8136		64,4570		64,1517		63,0097
Затраченная электро энергия, 1кВт = 1,8 грн				1,8	13528		18792		4169		9480		37164
ежегодная экономия (грн) <small>сравнение с Тепловыми сетями</small>					78353,60		68429,00		97425,80		87369,00		35678,60
ежегодная экономия (%)					81,56		74,27		94,44		87,29		49,28
Прямой возврат инвестиций за счет экономии цены Гкал, лет					11,99		14,71		12,06		9,12		10,33
Срок службы					25,00		25,00		25,00		25,00		25,00
Окупаемость оборудования с учетом полученной прибыли в течении срока службы, лет					5,75		8,65		5,82		3,33		4,26
цена Гкал тепла <small>до и после</small>					1626,80		1626,80		1626,80		1626,80		1626,80
					299,99		418,55		90,49		206,74		825,18
Сравнение проектных решений по ПРИВЕДЕННЫМ ЗАТРАТАМ													
Приведенные затраты - (норматив эффективности капиталовложений Ен=0,12)			0,12		137044,80		154584,00		148480,20		112680,00		111103,20
Сравнение проектных решений по ЭФФЕКТИВНОСТИ КАПИТАЛОВЛОЖЕНИЙ													
Эффективность капиталовложений на 1 000 000 грн			1 000 000		83433,00		67999,24		82929,69		109649,85		96847,45

## Сравнение эффективности капиталовложений (система нагрева горячей воды и нагрев бассейна)

Оборудование	цена монтажа	цена единицы	солнечные коллекторы 30 Схема 1		солнечные коллекторы 30 Схема 2		солнечные коллекторы 30 + тепловой насос		солнечные коллекторы 15 + тепловой насос		тепловой насос		
1	Вакуумные солнечные коллекторы по 30 трубок 1850x58	150	790	30	28200	30	28200	30	28200	15	14100	0	0
2	тепловой насос (ТН) 19 кВт	700	8620	0	0	0	0	1	9320	1	9320	1	9320
3	бак-аккумулятор 2000 л / 6000 л	400	2580	1	2980	1	2980	1	2980	1	2980	1	2980
4	насосы контура солнца	100	800	1	900	1	900	1	900	1	900	0	0
5	трубопроводы солнца с изоляцией и арматурой Схема 1	900	2400	1	3300	0	0	1	3300	1	1650	0	0
6	трубопроводы солнца с изоляцией и арматурой Схема 2	1700	4400	0	0	1	6100	0	0	0	0	0	0
7	циркуляционный насос нагрева от ТП	100	400	1	500	1	500	1	500	1	500	1	500
8	насос циркуляции ГВС	100	400	1	500	1	500	1	500	1	500	1	500
9	теплообменный аппарат солнца	200	1000	1	1200	1	1200	1	1200	1	1200	0	0
10	теплообменный аппарат и насос нагрева бассейна	200	800	1	1000	1	1000	1	1000	1	1000	1	1000
11	циркуляционный насос нагрева от ТН	100	400		0		0	1	500	1	500	1	500
12	Автоматика, материалы, теплоноситель		1550	1	1550	1	1550	1	1550	1	1550	1	1550
Общая стоимость (USD)					40130		42930		49950		34200		16350
Общая стоимость (гривна)			курс USD	24	963120		1030320		1198800		820800		392400
ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ													
КПД					564		404		1845		807		199
снижение выбросов CO <sub>2</sub> , кг в год					19273		18457		35757		25623		20399
Произведенная тепловая энергия, 1кВт = 1,4 грн				1,4	76360		76039		76950		76595		76267
Произведенная тепловая энергия Гкал ( Гкал=1632 )					65,6696		65,3936		66,1770		65,8717		65,5897
Затраченная электро энергия, 1кВт = 1,8 грн				1,8	13528		18792		4169		9480		38164
ежегодная экономия (грн) <small>сравнение с Тепловыми сетями</small>					82554		72629		100226		90169		38079
ежегодная экономия (%)					82,28		75,29		94,58		87,62		49,96
Возврат инвестиций за счет экономии цены Гкал, лет					11,67		14,19		11,96		9,10		10,31
Срок службы					25,00		25,00		25,00		25,00		25,00
Окупаемость оборудования с учетом полученной прибыли в течении срока службы, лет					5,44		8,05		5,72		3,31		4,25
цена Гкал тепла <small>до и после</small>					1626,80		1626,80		1626,80		1626,80		1626,80
					288,21		402,04		88,14		201,35		814,05
Сравнение проектных решений по ПРИВЕДЕННЫМ ЗАТРАТАМ													
Приведенные затраты - (норматив эффективности капиталовложений Ен=0,12)			0,12		139925		157464		151360		115560		115783
Сравнение проектных решений по ЭФФЕКТИВНОСТИ КАПИТАЛОВЛОЖЕНИЙ													
Эффективность капиталовложений на 1 000 000 грн			1 000 000		85715		70492		83605		109855		97040

## Рекомендуемые технические решения и концептуальные схемы:

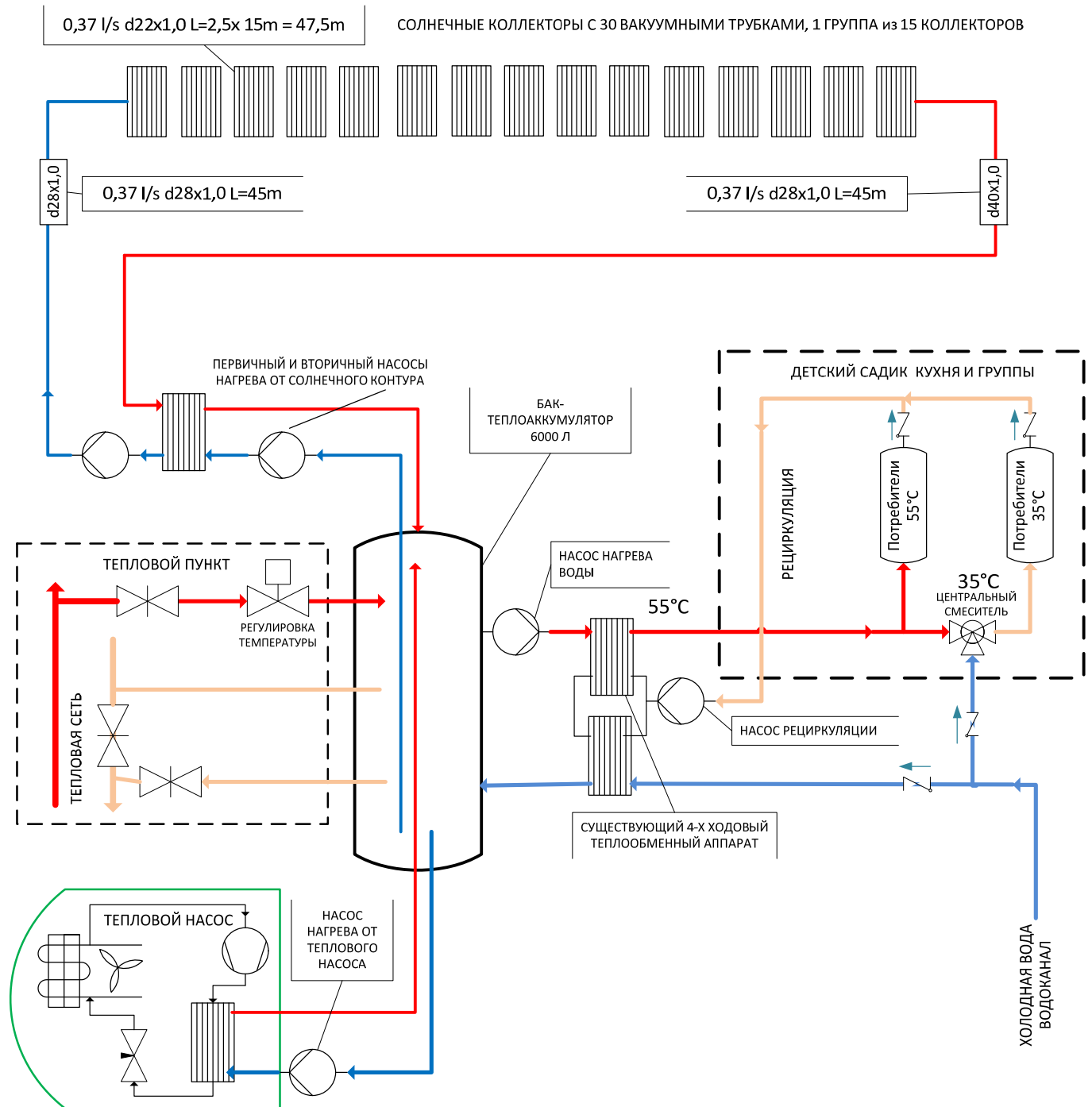
### Нагрев горячей воды:

Солнечная система с дублированием тепловым насосом воздух-вода, баком-теплоаккумулятором 6000л в зависимой схеме подключения к тепловой сети.

Стоимость Гкал тепла = 206,74 гривны с НДС

Ежегодная экономия 87369 гривен

Экономия в сравнении с существующей системой 87%



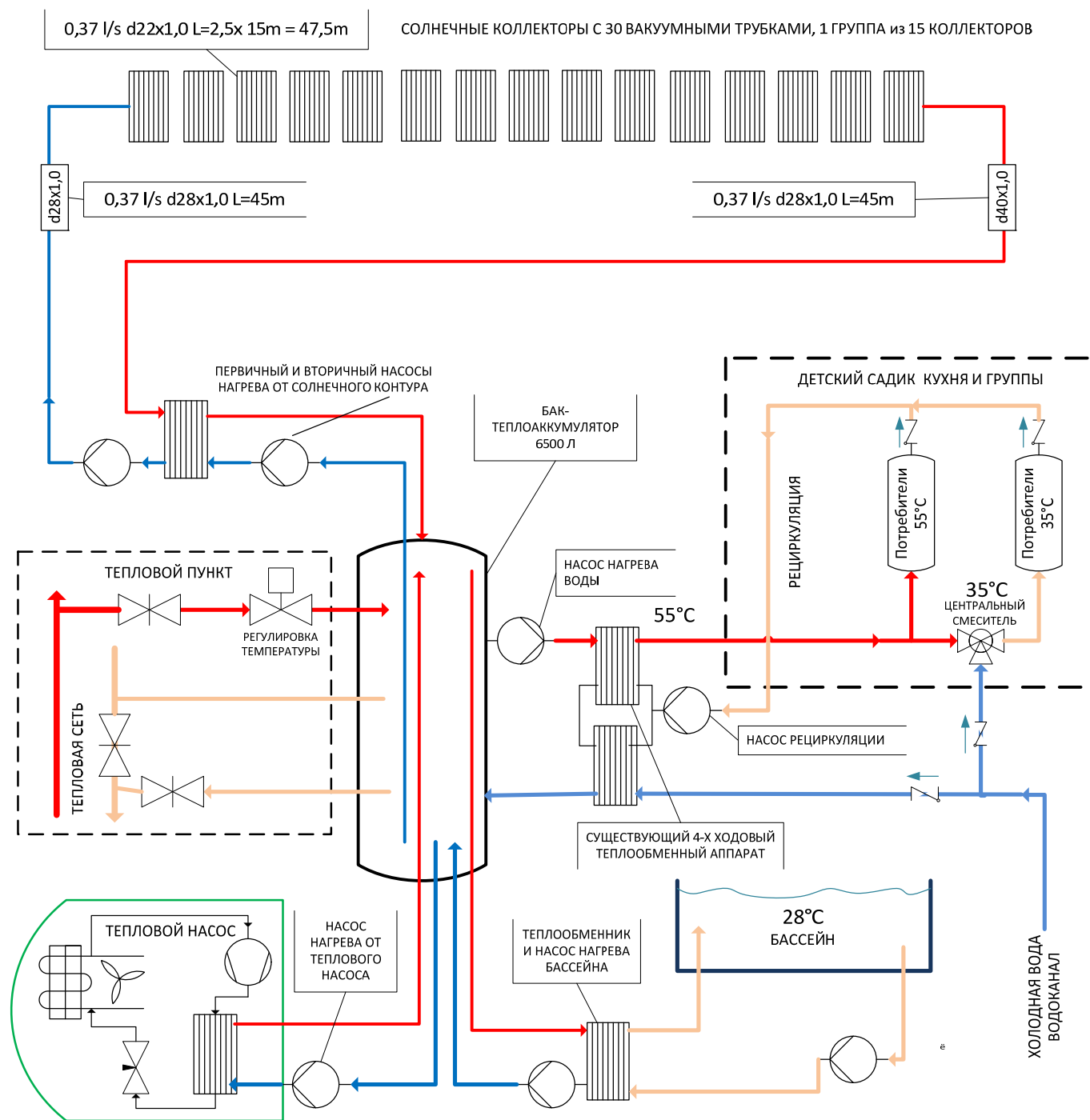
## Нагрев горячей воды и подогрева бассейна.

Солнечная система с дублированием тепловым насосом воздух-вода, баком-теплоаккумулятором 6000л в зависимой схеме подключения к тепловой сети.

Стоимость Гкал тепла = 201,35 гривны с НДС

Ежегодная экономия 90169 гривен

Экономия в сравнении с существующей системой 88%





## Описание состава оборудования и технических решений.

### Рекомендуемые системы состоят из:

1. Буферного бака теплоносителя 6500л встраиваемого в модуль приготовления горячей воды теплового пункта. Буферный бак объединяет 3-и источника нагрева тепловые сети, тепловой насос воздух-вода и солнечную систему.
2. Теплового насоса воздух – вода как дублирующего солнечные коллекторы источника тепла вне отопительного периода.
3. Контур подогрева воды для умывальников, душей, сушителей детского сада подключен к общему контуру горячей воды 55<sup>o</sup>C через центральный термо-смесительный кран, настроенный на температуру подачи 35<sup>o</sup>C. Центральный термо-смесительный кран оборудован встроенной защитой от ожогов, которая автоматически закрывает подачу при отсутствии холодной воды. Циркуляционная магистраль контура горячей воды оборудована обратным и балансировочным кранами и подключена к общему циркуляционному контуру.
4. Контур подогрева воды до 55<sup>o</sup>C для кухни, прачечной с насоса циркуляции горячей воды и регулирующим краном с электроприводом получающим сигнал от центрального контролера
5. Солнечной системы состоящей из коллекторов с трубками имеющими селективное покрытие, вакуумную изоляцию и тепловые трубы для теплопередачи. Площадь солнцепоглощающей поверхности 48м<sup>2</sup>, рабочая температура 60 - 240<sup>o</sup>C. Солнечный контур замкнутого типа с пластинчатым паянным теплообменным аппаратом 150кВт и насосами первичного и вторичного контура. Первичный контур солнечных коллекторов заполнен высокотемпературным теплоносителем ПМС-10 (ЕСО-НТ) 140 л имеет в соответствии с нормами для солнечных систем с площадью более 25м<sup>2</sup> два насоса основной и дублирующий. Вторичный контур подключен к буферному баку 6500 л зависимого теплового пункта и заполнен подготовленная водой из тепловой сети. Солнечная система оборудована арматурой для сервиса и химической обработки и сервисной емкостью 200л для теплоносителя.
6. Системы управления, контролирующей температуры контуров теплоснабжения, нагрева горячей воды с удаленной диспетчеризацией через интернет. Общая система автоматики управляет:
  - нагревом буферного бака от солнечной системы, теплового насоса и тепловой сети определяя приоритеты источников по графику, тарифу и установленным лимитам энергопотребления,
  - насосом нагрева системы ГВС от буферного бака и циркуляционным насосом
  - подогревом бассейна
  - поддержанием температуры буферного бака
  - антибактериальной обработкой системы ГВС
  - дренажным насосом технического этажа, сигнализирует о протечках.

### Разработанная схема приготовления горячей воды и подогрева бассейна обеспечивает:

1. Нагрев необходимого количества воды в соответствии с санитарными нормами.
2. Безопасность детей и защиту от ожогов горячей водой и горячими поверхностями сушителей за счет применения центрального смесителя с установленной температурой подачи 35<sup>o</sup>C и с автоматическим закрытием подачи горячей воды при отсутствии холодной.
3. Санитарную безопасность и защиту от бактерий за счет применения термической обработки системы горячего водоснабжения.
4. Раздельное водоснабжение технологии кухни, прачечной горячей водой с температурой 55<sup>o</sup>C - 65<sup>o</sup>C и умывальников, душей, сушителей детского сада горячей водой с температурой 35<sup>o</sup>C.
5. Экономия ресурсов за счет использования солнечных коллекторов на 87% в год
6. Экономия воды за счет рециркуляции.
7. Более высокая эффективность солнечного контура за счет использования конструкторских решений и специального теплоносителя:
  - низкой теплоемкостью 1.632 кДж/кг·К
  - меньшими расходами 2570 л/час
  - Меньшими диаметрами труб и соответственно их меньшей массой и общей теплоемкостью.
  - Меньшим энергопотреблением насоса солнечного контура.
  - Меньшим количеством теплоносителя по 267л -140л =127 л.
  - Система достигает применимых температур при низкой солнечной инсоляции за счет установки 15-ти солнечных коллекторов последовательно в одну линию по схеме 1. Это делает возможным работу системы в более раннее и позднее время, а также в пасмурную погоду.
  - Неотъемлемая надежность и полная конструктивная защита от перегрева при стагнации - отсутствии циркуляции или теплосъема в контуре солнечных коллекторов достигается применением термостабильного теплоносителя не содержащего воду \*. (см примечания)
  - Сокращенное время разгона до рабочих температур при запуске за счет конструктивно низкой теплоемкости элементов солнечного контура выполненного по схеме 1 в 9 раз.

Недостаток повышенные теплотери связанные с высокими рабочими температурами в рекомендуемом варианте выше, чем у среднетемпературных систем:

- При максимальной инсоляции на  $17,8\% - 9,2\% = 8,6\%$ .
- При среднегодовой инсоляции на  $8\% - 7,7\% = 0,3\%$ .

Избыточные тепловые потери невелики, допустимы, а как видно по результатам моделирования такая конструкция системы обеспечивает большее время эффективной работы от солнечных коллекторов. (См. моделирование и графики ниже)

Дополнительные, неучтенные преимущества мы рассчитываем получить от размещения испарительного блока теплового насоса в тепловом пункте, это позволит утилизировать теплотери трубопроводов теплового пункта и трубопроводов, проложенных в цокольном этаже. Такое расположение позволит использовать тепловой насос круглогодично (в отопительный период тепловые сети станут резервным источником нагрева воды и бассейна) повысить среднегодовой COP с 3,30 до 4,45 и дополнительно сэкономить  $8667 - 6429 = 2238$  кВт\*ч электроэнергии, по действующему тарифу  $1\text{кВт}\cdot\text{ч} = 1,80$  грн это составит дополнительно в год 4017 гривен.

#### ПРИМЕЧАНИЯ:

\* Техническое решение проблемы стагнации.

#### ОСНОВНАЯ ПРОБЛЕМА СОЛНЕЧНЫХ СИСТЕМ УСТОЙЧИВОСТЬ К НАГРЕВУ ДО ТЕМПЕРАТУР СТАГНАЦИИ 280-330С

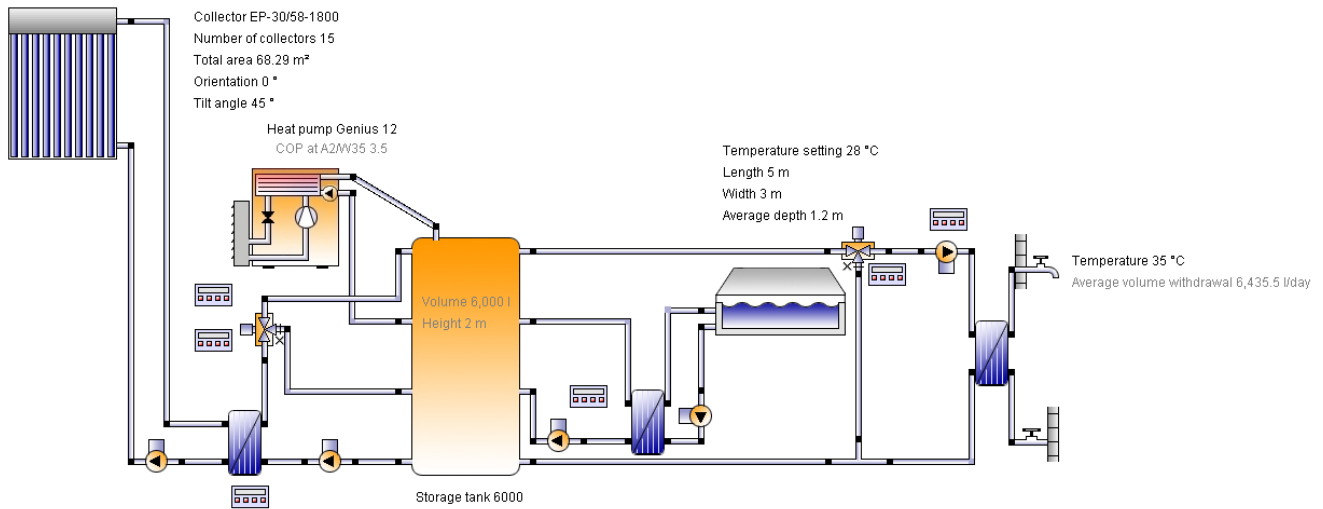
Что же с «традиционным» теплоносителем будет при таких температурах?

1. Теплоноситель 40% раствор пропиленгликоля в воде разлагается с выпадением твердого нерастворимого осадка, вода закипает
2. Объем пара 1500 раз превышает объем жидкости (при атмосферном давлении) при давлении в системе  $5\text{кг}/\text{см}^2$  на уровне коллекторов увеличение в 300 раз.
3. Объем парожидкостной смеси увеличится. С учетом объема жидкости в одном коллекторе  $0,8$  л на  $300\cdot 0,8=240\text{л}$ , => в 30 коллекторах  $240\cdot 30 = 7200\text{л}$  – компенсировать этот объем расширительный бак не сможет
4. Давление в системе объемом  $267\text{ л} + 7200\text{л}$  возрастет, сработает защита по давлению – теплоноситель будет вытеснен паром.
5. Необходимо снова будет заполнять систему. Это будет возможно только после того как коллекторы остынут – значит вечером. Если ситуация возникла утром то день потеряли. Есть вариант закрыть коллекторы непрозрачным материалом, если ветер не помешает и удастся заполнить систему - накрытие нужно будет снять – представьте, что это может случиться несколько раз в день и в выходные. КАК ВАМ ТАКИЕ ТРАДИЦИИ?
6. Еще вопрос как удалять воздух – воздухоотводчики должны выдерживать температуру стагнации также как и уплотнения их соединений – Пожалуйста, укажите модель «традиционного» воздухоотводчика выдерживающего  $350\text{ С}$ .
7. Часть теплоносителя, образовавшая нерастворимый осадок сократит или заблокирует сечение трубопроводов солнечных коллекторов – изменится гидравлическое сопротивление.
8. Каждый раз после перегрева понадобится сервисная группа, которая для заполнения и промывки системы использует насос, создающий высокое давление. Однако избавиться от нерастворимого осадка не удастся – придется менять заблокированные осадком части коллекторов.

ЭТИ ПРОБЛЕМЫ ИЗВЕСТНЫ И ТРАДИЦИОННО МЕШАЮТ ВНЕДРЯТЬ СОЛНЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ (СМ. приложенные документы и исследования)

Техническое решение, примененное в проекте (патент № 52623 от 10.08.2010 полевые испытания с 2007 года):

1. В проекте применен экологически нейтральный теплоноситель на основе кремний полимеров ПМС стойкий к температурам  $350\text{С}$  и не содержащий воду.
2. Теплоноситель ПМС при  $350\text{С}$  не разлагается и нерастворимых осадков не образуется => теплоноситель не требует охлаждения.
3. Теплоноситель не кипит, тепловое расширение  $2\%$  при нагреве компенсируется мембранным расширительным баком  $5-10\%$  объема системы, – в случае объема  $140\text{л}$  => бак  $15\text{ л}$ .
4. Система с ПМС не требует повторного заполнения после стагнации.
5. Система собирается с использованием сварных соединений, соединения выполняются аргоновой сваркой с продувкой свариваемых трубопроводов аргоном. Испытывается на герметичность азотом. В случае вероятности попадания воды в трубопроводы солнечного контура производится вакуумная сушка.
6. Для компенсации тепловых расширений труб применяются подвижные крепления и компенсационные петли.
7. Арматура отвода воздуха вынесена из зоны воздействия температуры  $350\text{С}$ . Для отвода воздуха используется медный трубопровод  $6\text{мм}$  присоединенный сваркой к верхней точке солнечного контура. Трубопровод удаления воздуха прокладывается к месту установки циркуляционных насосов в тепловом пункте и снабжен запорным краном с заглушкой. Удаление воздуха производится не на крыше, а в тепловом пункте. Такое устройство улучшает условия сервиса.
8. В системе используется паяный пластинчатый теплообменный аппарат, соединения трубопроводов сварные.



**Location of the system**

Ukraine  
 KIEV  
 Longitude: 30.5°  
 Latitude: 50.42°  
 Elevation: 108 m

**System overview (annual values)**

Total fuel and/or electrical energy consumption of the system [Etot]	9,480.7 kWh
Total energy consumption [Quse]	74,595.1 kWh
System performance (Quse / Etot)	7.87
Comfort demand	Energy demand covered

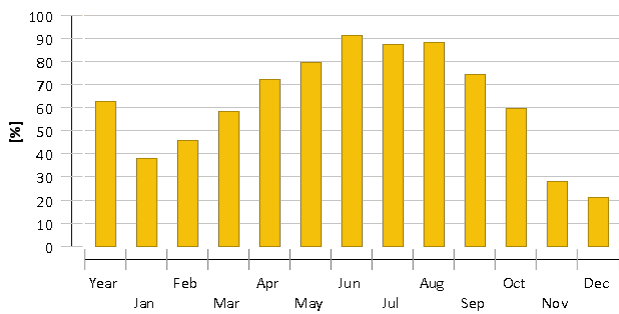
**Overview solar thermal energy (annual values)**

Collector area	68 m <sup>2</sup>
Solar fraction total	62.8%
Total annual field yield	47,769 kWh
Collector field yield relating to gross area	699 kWh/m <sup>2</sup> /Year
Collector field yield relating to aperture area	974 kWh/m <sup>2</sup> /Year
Max. energy savings	47,768.6 kWh
Max. reduction in CO2 emissions	25,623.1 kg

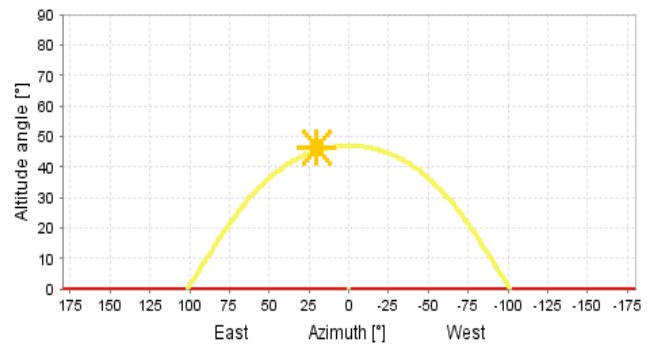
### Overview heat pump (annual values)

Seasonal performance factor for air-to-water heat pump	3.3
Total electrical energy consumption when heating [Eaux]	8,669.8 kWh
Total energy savings	19,610.3 kWh
Total reduction in CO2 emissions	10,519 kg

### Solar fraction: fraction of solar energy to system [SFn]



### Horizon line



### Meteorological data

Outdoor temperature 24h	8.4 °C
Annual global irradiance	1,177.4 kWh/m <sup>2</sup>
Annual diffuse irradiance	539.7 kWh/m <sup>2</sup>

### Component overview (annual values)

<b>Collector</b>		<b>EP-30/58-1800</b>
Data Source		SPF
Number of collectors		15
Number of arrays		1
Total area	m <sup>2</sup>	68.29
Total aperture area	m <sup>2</sup>	49.035
Tilt angle	°	45
Orientation	°	0
Collector field yield [Qsol]	kWh	47,768.6
Irradiance onto collector area [Esol]	kWh	69,024.6
CollectorEfficiency [Qsol / Esol]	%	69.2
Direct irradiance after IAM	kWh	40,753.6
Diffuse irradiance after IAM	kWh	30,112.6
<b>Heat pump</b>		<b>Samsung DVM-III</b>
Heating power at A2/W35	kW	19.6
Electrical power at A2/W35	kW	4.35
COP at A2/W35		4.5
DeltaT at A7/W35	K	3
Performance factor		3.26
Energy from/to the system [Qaux]	kWh	28,280.1
Fuel and electrical energy consumption [Eaux]	kWh	8,669.8
Energy savings solar thermal	kWh	47,768.6
CO <sub>2</sub> savings solar thermal	kg	25,623.1
Energy savings heat pump	kWh	19,610.3
CO <sub>2</sub> savings heat pump	kg	10,519
<b>Hot water demand</b>		<b>Constant</b>
Withdraw volume	l/d	6,188.7
Temperature setting	°C	35
Energy from/to the system [Quse]	kWh	74,590.2

<b>Pool Pool</b>	<b>Indoor pool</b>	
Pool type		Indoor pool
Length	m	5
Width	m	3
Energy from/to the system [Quse]	kWh	4.8
<b>External heat exchanger Solar loop heat exchanger</b>	<b>Plate heat exchanger, huge</b>	
Transfer capacity	W/K	30,000
<b>External heat exchanger Pool_HX</b>	<b>Plate heat exchanger, huge</b>	
Transfer capacity	W/K	30,000
<b>External heat exchanger Fresh water station heat exchanger</b>	<b>Plate heat exchanger, large</b>	
Transfer capacity	W/K	17,000
<b>Pump Solar loop pump 1</b>	<b>Pump, medium</b>	
Circuit pressure drop	bar	1.24
Flow rate	l/h	1332.5
Fuel and electrical energy consumption [Epar]	kWh	338.6
<b>Pump Pool pump 2</b>	<b>Pump, small</b>	
Circuit pressure drop	bar	0.005
Flow rate	l/h	600
Fuel and electrical energy consumption [Epar]	kWh	0.03
<b>Pump Solar loop pump 2</b>	<b>Pump, medium</b>	
Circuit pressure drop	bar	0.023
Flow rate	l/h	735.5
Fuel and electrical energy consumption [Epar]	kWh	338.6
<b>Pump Pool pump 1</b>	<b>Pump, small</b>	
Circuit pressure drop	bar	0.004
Flow rate	l/h	600
Fuel and electrical energy consumption [Epar]	kWh	0.03
<b>Pump Fresh water station pump</b>	<b>Pump, small</b>	
Circuit pressure drop	bar	0.007
Flow rate	l/h	748.9
Fuel and electrical energy consumption [Epar]	kWh	133.7

<b>Storage tank Potable water tank</b>	<b>6000</b>	
Volume	l	6,000
Height	m	2
Material		Steel
Insulation		Rigid PU foam
Thickness of insulation	mm	250
Heat loss	kWh	517.5
Connection losses	kWh	222.3

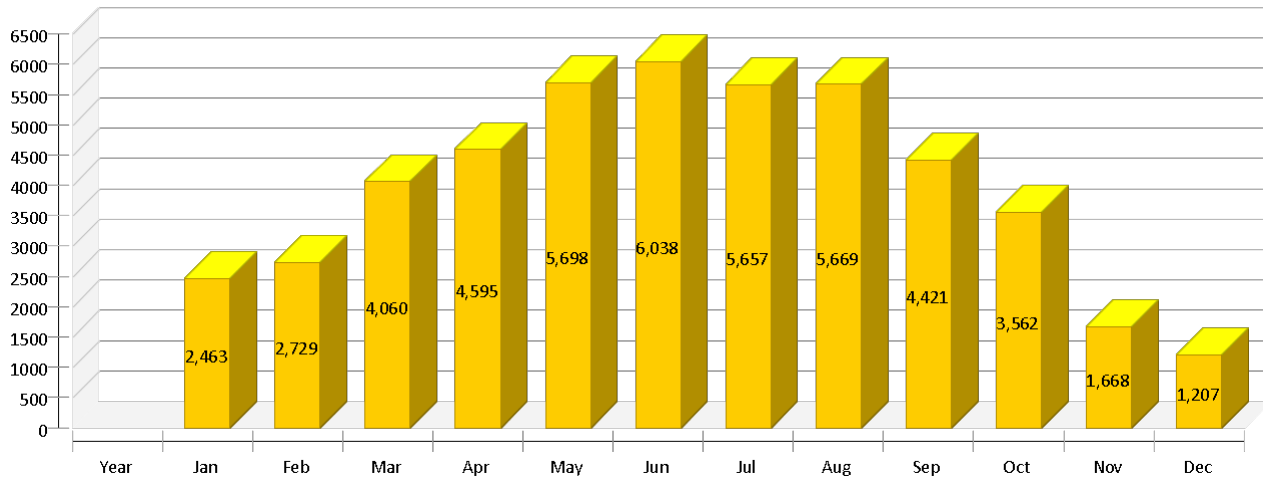
### Loop

---

<b>Solar loop</b>		
Fluid mixture		PMS-10 (ECO-HT)
Fluid concentration	%	100
Fluid domains volume	l	140
Pressure on top of the circuit	bar	4

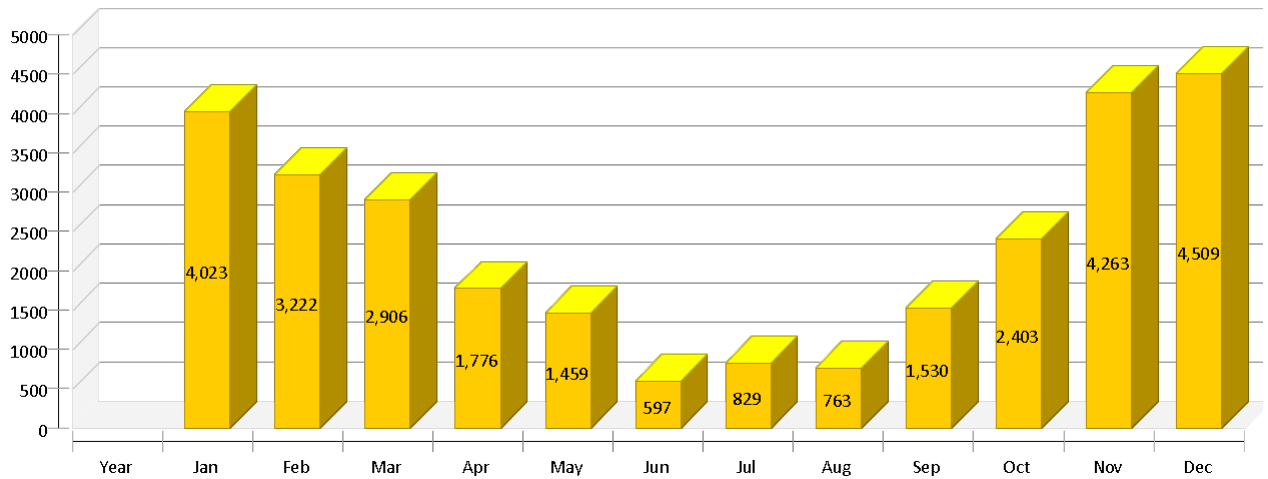
Solar thermal energy to the system [Qsol]

kWh



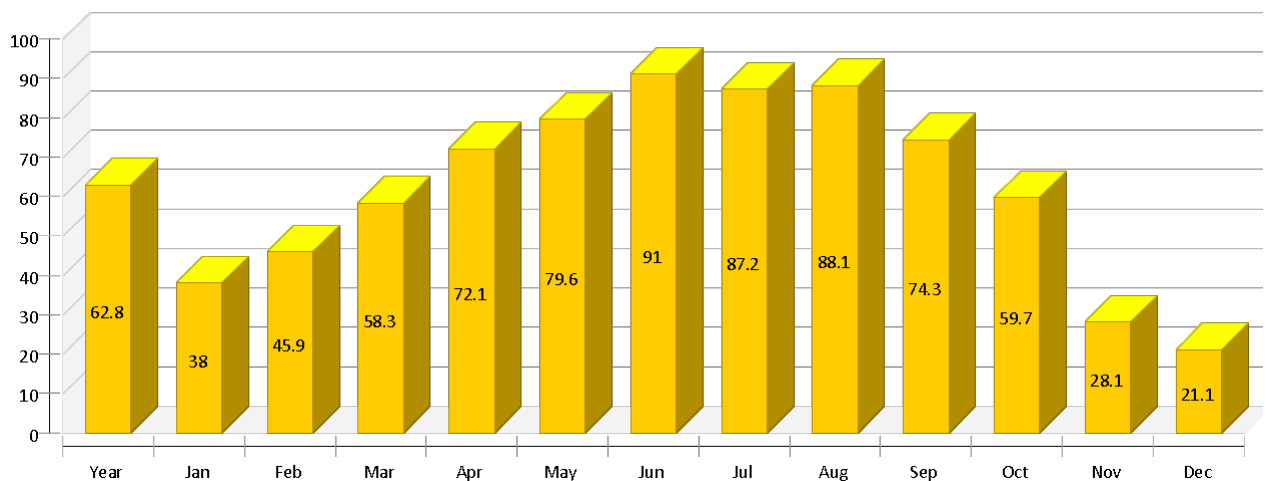
Heat generator energy to the system (solar thermal energy not included) [Qaux]

kWh



Solar fraction: fraction of solar energy to system [SFn]

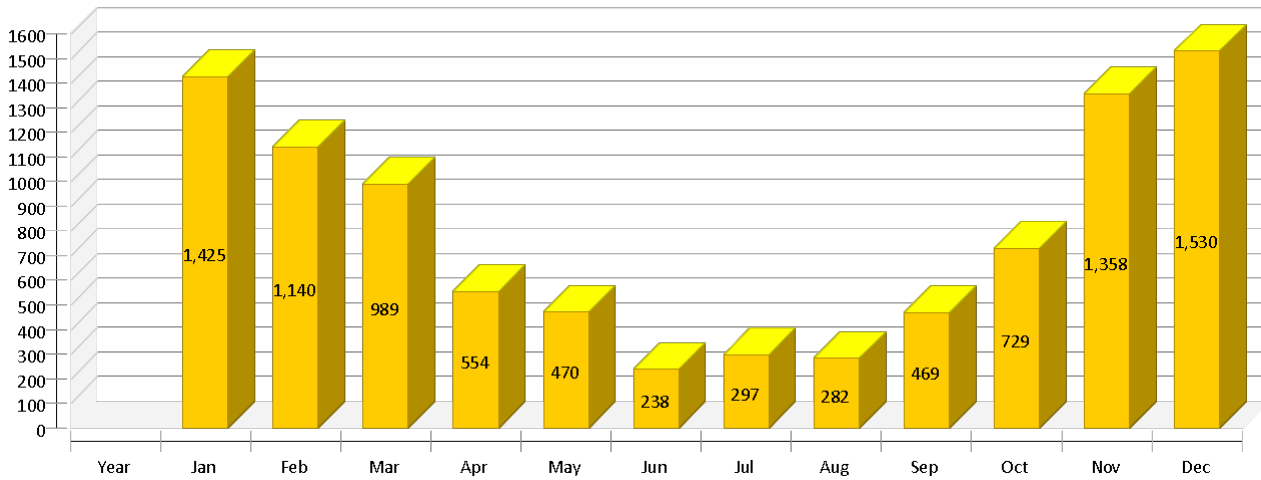
%





**Total fuel and/or electrical energy consumption of the system [Etot]**

**kWh**



Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

**Solar thermal energy to the system [Qsol]**

kWh	47769	2463	2729	4060	4595	5698	6038	5657	5669	4421	3562	1668	1207
-----	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

**Heat generator energy to the system (solar thermal energy not included) [Qaux]**

kWh	28280	4023	3222	2906	1776	1459	597	829	763	1530	2403	4263	4509
-----	-------	------	------	------	------	------	-----	-----	-----	------	------	------	------

**Heat generator fuel and electrical energy consumption [Eaux]**

kWh	8670	1379	1085	921	475	379	149	208	193	399	664	1319	1497
-----	------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------

**Solar fraction: fraction of solar energy to system [SFn]**

%	62.8	38	45.9	58.3	72.1	79.6	91	87.2	88.1	74.3	59.7	28.1	21.1
---	------	----	------	------	------	------	----	------	------	------	------	------	------

**Total fuel and/or electrical energy consumption of the system [Etot]**

kWh	9481	1425	1140	989	554	470	238	297	282	469	729	1358	1530
-----	------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------

**Irradiance onto collector area [Esol]**

kWh	69025	3462	4080	5988	6641	8289	8235	8154	8053	6723	5058	2417	1925
-----	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

**Electrical energy consumption of pumps [Epar]**

kWh	811	46	55	68	80	90	89	89	89	69	65	38	33
-----	-----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

**Heat loss to indoor room (including heat generator losses) [Qint]**

kWh	2003	113	110	141	180	211	223	243	225	196	167	101	91
-----	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----

**Heat loss to surroundings (without collector losses) [Qext]**

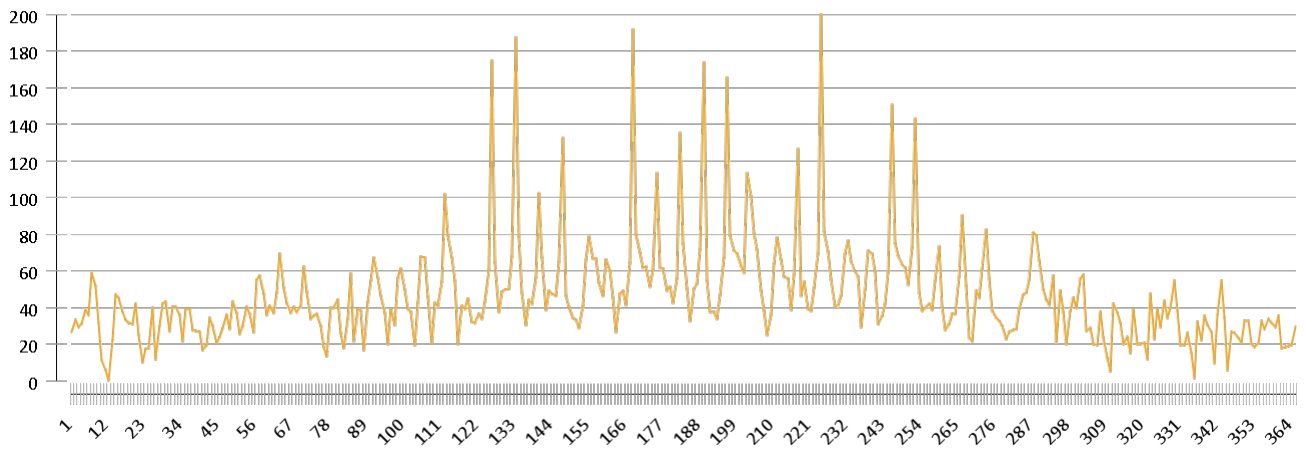
kWh	262	26	25	26	25	20	22	18	19	24	22	16	19
-----	-----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

**Total energy consumption [Quse]**

kWh	74595	6382	5879	6642	6466	7013	6261	6348	6426	5462	6214	5871	5631
-----	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

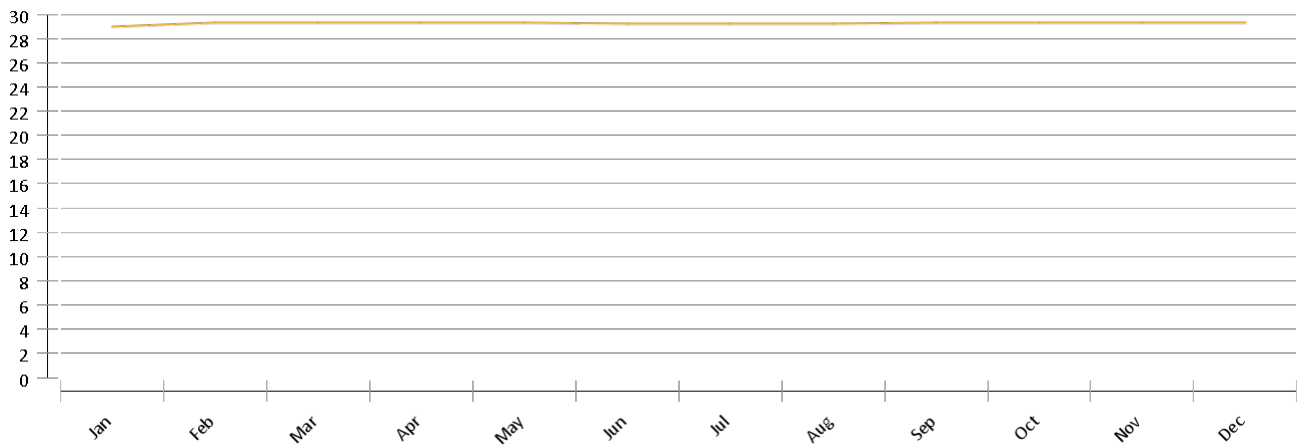
## Collector

Daily maximum temperature [ °C]



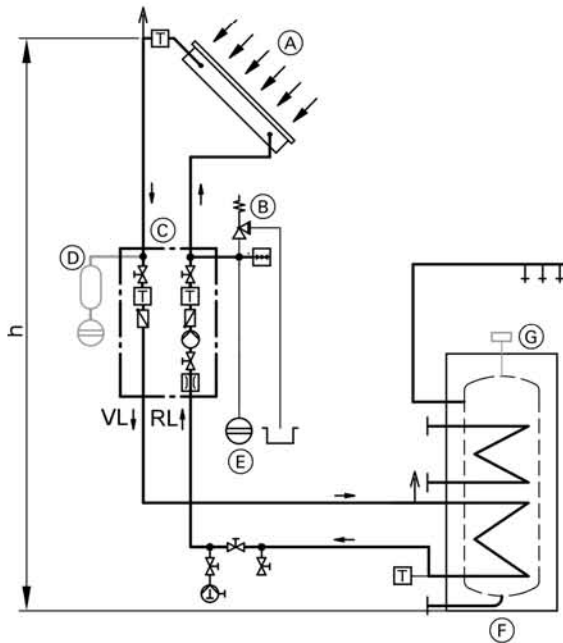
## Pool Pool

Monthly average - Temperature [ °C]



## Information regarding design and operation (cont.)

### 3.5 Safety equipment



- (A) Collector
- (B) Safety valve
- (C) Solar-Divicon
- (D) Pre-cooling vessel
- (E) Diaphragm expansion vessel
- (F) Dual-mode DHW cylinder
- (G) High limit safety cut-out (see page 34)
- h Static head
- RL Return
- VL Flow

The solar heating system must be protected to DIN EN 12975 and 12976 [or local regulations].

Protect the collector circuit so that, at the highest possible collector temperature (= Idle temperature), no heat transfer medium can escape from the safety valve.

This is achieved through the appropriate sizing of the expansion vessel and matching of the system pressure.

For total pipework lengths up to 10 m or attic heating centres, we recommend the installation of a pre-cooling vessel and diaphragm expansion vessel into the flow and only the safety equipment into the return.

### Information regarding the heat transfer medium

After completing the installation, thoroughly flush out the system. The heat transfer medium "Tyfocor-G-LS" must not be subjected to continuous temperatures in excess of 170 °C. Higher temperatures result in a slow thermal disintegration of the 1,2 propylene glycol, which can be recognised by the darkening of the heat transfer medium. This can severely reduce the service life of the medium.

Furthermore, it can result in the solar circuit suffering from sludge and hard deposits, particularly in conjunction with other contaminants (clinder, swarf).

After filling the system with the heat transfer medium, ensure that the system is properly vented and that heat is transferred inside the system, i.e. that longer periods of stagnation are avoided. When the following conditions are observed, "Tyfocor-G-LS" can be used in solar heating systems with high Idle temperatures:

- In case of system idle times, safeguard the following through a corresponding implementation of the system hydraulics:
  - When the boiling point is reached, the heat transfer medium must be able to be expelled from the collectors as completely as possible by the first steam bubbles created by boiling the medium.
  - The heat transfer medium must be able to be accommodated by the diaphragm expansion vessel.
- Check the heat transfer medium every 5 years.

#### Note

Excess temperatures are particularly critical in conjunction with oxygen. Therefore vent the solar heating system prior to commissioning.

### Information about stagnation

System idle times, e.g. through faults or incorrect operation, can never be completely ruled out. For that reason, solar heating systems must be protected according to the current technical standards against the potential difficulties that can arise from idle periods, i.e. systems cannot be damaged or cause damage if idle periods occur.

5822 135-8 GB

# THE BEHAVIOUR OF HEAT TRANSFER MEDIA IN SOLAR ACTIVE THERMAL SYSTEMS IN VIEW OF THE STAGNATION CONDITIONS

Frank Hillerns, Ph.D, TYFOROP GmbH, Hamburg

This paper was presented at the *IEA-SHC Task 26 Industry Workshop* in Borlänge, Sweden, April 3, 2001. It is based on a presentation given at *9<sup>th</sup> Symposium Thermal Solar Energy* in Staffelstein, Germany, May 5-7, 1999.

## Abstract

On-going technical development of solar collectors significantly raise the demands to the heat transfer medium regarding its ability to take thermal stress.

However, stagnation temperatures of up to 200 °C in flat plate collector systems still can be mastered by *conventionally inhibited* solar fluids. In contrast to this, absorber temperatures of up to 300 °C as reached in evacuated tubular collectors require the application of a more advanced medium containing *reversibly evaporizable* corrosion inhibitors. Practical application experiences concerning such a recently developed fluid are in the meantime available.

## Introduction

*Water* is predestined to function as a heat transfer medium in solar active thermal systems. This is on the one hand due to its outstanding thermophysical properties, e.g. highest specific heat and thermal conductivity, and lowest viscosity of all the fluids considered for heat carriers. On the other hand, water is non-toxic, non-flammable, cheap, and easily available. However, parameters that reduce its general suitability are: corrosivity to metals and alloys, precipitation of hardness constituents at higher temperatures, and a relatively small temperature range of operation determined by its freezing and boiling point, respectively.

It is well known that this application range can be extended when aqueous solutions of inorganic salts, monohydric alcohols, or dihydric alcohols (glycols) are used. In spite of very effective freezing-point depression and good thermal transport properties, salt solutions are not applicable for solar systems due to uncontrollable corrosivity at temperatures > 0 °C. On account of better material compatibility, favorable viscosity, and low costs, methyl and ethyl alcohol solutions have been widely used since 1920 till the early seventies in automotive cooling as well as in many other applications.

Unfortunately, methanol and ethanol are toxic and readily volatile due to low boiling points (meth: 64 °C, eth: 78 °C) [1], hence depressing the boiling points of its aqueous solutions.

In comparison with monoalcohols, ethylene and propylene glycol (b.p. 197 °C, 188 °C) [2], cause similar freezing-point depressions, but simultaneously raise the boiling points of its mixtures with water. Regardless higher costs and inferior thermophysical properties, nowadays non-toxic propylene glycol is exclusively used as the basic compound for solar heat transfer media instead of „injurious-to-health“ classified ethylene glycol.

## Solar Fluids - Demands and Composition

Heat transfer media have to meet a variety of challenging requirements to ensure trouble-free operation of the solar system over a long period of time:

- Frost resistance down to -50 °C maximum
- Thermophysical properties equivalent to water
- Non-inflammability
- Corrosion protection for metals and alloys
- Compatibility with sealing materials
- Endurance under thermal stress conditions
- Prevention of deposits and foaming
- Low ecotoxic potential, bio-degradability
- Long-term stability
- Reasonable price

As already stated above, water is in general corrosive to metals. Factors that strongly govern the grade of corrosivity are the content of oxygen, the pH value, the temperature, and the presence and concentration of dissolved chemical substances. The latter point is of great importance regarding the practical use of „pure“ propylene glycol / water solutions: compared to neat water as well as to neat propylene glycol, the corrosivity of those mixtures is significantly enhanced - in inverse proportion to the glycol concentration. Hence this effect must be compensated by addition of inhibitors, which predomi-

nantly prevent corrosive attack by forming thin protective layers on the metal surfaces.

Solar systems typically consist of different materials like copper, brass, solder, steel, grey cast iron, and (rarely nowadays) aluminium. Unfortunately there is no universal inhibitor available hitherto. Thus several organic and inorganic compounds possessing metal-specific protective potentials have to be combined to an efficient, low-toxic and environmentally friendly *inhibitor package*.

Table 1 displays the composition of a conventional solar fluid concentrate based on propylene glycol, suitable for common solar installations (equipped with flat plate collectors, stagnation temperature 200 °C max.).

Compound	% w/w	Function
Propylene Glycol	92 – 94	Frost Resistance
Salts of Organic Acids	3 – 4	Ferrous Metal protection
Silicates	< 1	Aluminium protection
Triazoles	≤ 0.2	Yellow Metal protection
Borax	1 –1.5	Reserve Alkalinity
Potassium Hydroxide	< 1	Reserve Alkalinity
Water	3 – 4	Solvent for Inhibitors
Stabilizer, Dispersant, Defoamer, Dye	0.1 – 0.3	Stabilization of water hardness, Anti-foam, Coloration

## Conception and Design of Solar Systems

The life-span of thermal solar systems strongly depends on the grade of corrosion stress the several components are subjected to. To minimize corrosion problems and hence reach the aim of long-term and trouble-free operation, both installation and fluid must be optimally adapted to each other. Assuming correct application and performance of the heat transfer medium, important plant technology parameters in this respect are the operation temperature, the heat flux, the flow conditions, and furthermore electrochemical effects caused by mixed installations or external voltages.

Special attention is to be paid to keep the internal metal surfaces free of encrustation or scaling. Inhomogeneously covered surfaces implicate lower heat transfer efficiency, giving rise to locally increased temperatures, which cause thermal stress to the medium and accelerate corrosion in those areas. Explicitly to be mentioned in this context is black cupric oxide - as shown by Figure 1 - which forms at high temperatures in the course of component production or system assembly (hard-soldering) due to local overheating of copper surfaces in presence of oxygen. Such insoluble scale can be mechanically detached by the hot solar fluid, but this occurs slowly and incompletely in most cases. Sub-

sequently, those dispersed particles often sedimentate in low flow areas and may lead to blocking of collector tubes and filter elements as well as to pump malfunction



Figure 1: Copper Scale collected from a Solar Plant

## Increased Collector Efficiency - Increased Thermal Stress to Solar Fluids

### Systems equipped with Flat Plate Collectors

Dynamic development of solar technology over the last decade has led to improved corrosion resistance of components like pumps, membrane expansion vessels, and of course collectors. Consequently, corrosion damages in flat plate collector systems are nowadays rarely to be observed. Simultaneously achieved enhancement of collector efficiency on the other hand causes remarkably increased thermal stress to the heat transfer medium due to now possible stagnation temperatures of up to 200 °C.

Propylene glycol / water based solar fluids are subject to premature aging at such temperatures, indicated by darkening of the fluid and a slowly decreasing pH value.



Figure 2: Un-used Solar Fluid (left, pH 8.2), compared to overheated Fluid (pH 6.8)

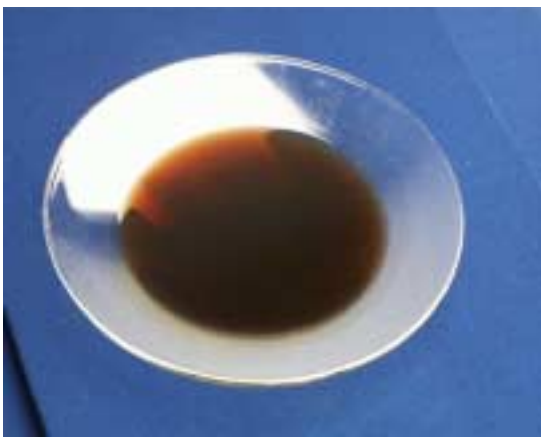
Chemically speaking, propylene glycol then undergoes decomposition in the course of oxidation reactions. Acidifying organic compounds, e.g. lactic, oxalic, acetic,



or formic acid [3] are formed, which initially can be neutralized by the reserve alkalinity (ref. table 1) to a certain extent. But due to limited concentration of buffering substances, repeated overheating finally brings the pH of the fluid down to values  $< 7$ , hence the system is not protected against corrosion anymore. It can be said in general that the velocity of propylene glycol degradation is proportional to temperature stress and oxygen concentration. Further acceleration effects caused by the presence of unprotected copper surfaces and heavy metal ions have been reported [3].

Taking the above mentioned facts into consideration, it becomes essential to prevent the medium from exposure to excessive temperatures over longer periods of time, especially during stagnation state of the system. A precautionary measure proven to be worthwhile in practice is to install expansion vessels of suitable size to ensure that all of the medium can drain out of the collector when stagnation temperature is reached.

The „stagnation scenario“ can be described in a simplified way as follows: locally formed vapour bubbles - in fact a small quantity of vaporized propylene glycol / water - are pushing the main quantity of still liquid medium out of the collector when evaporation starts. Recalling that conventional heat transfer fluids consist of water, propylene glycol *and* dissolved solid inhibitors, it is evident that small amounts of those non-evaporizable components will remain on the hot tube walls. Hence another important quality feature of conventional heat transfer fluids is the *reversible dissolvability* of such inhibitors/residues when stagnation has terminated and cooled fluid streams through the collectors again. Figure 3 shows the appearance of a slightly overheated conventional fluid equipped with a suitable inhibitor system.



**Figure 3: Slightly overheated conventional fluid with redissolvable inhibitors**

Insufficient or lacking re-dissolvability may incur deteriorated performance up to blocking of the collector. Obviously, corrosion risk will be significantly enhanced due to depletion of inhibitor concentration in the fluid.

#### Systems equipped with Evacuated Tube Collectors

Stagnation conditions in flat plate collectors still can be mastered by using conventional solar fluids with suitably

formulated inhibitor packages to meet the above described requirements. Anyway, conventional media reach its limits when it comes to evacuated tube collectors. Absorber temperatures of up to 300 °C lead to strongly accelerated propylene glycol degradation, indicated by darkening and pH drop already after several hours. Under permanent stagnation conditions, irreversible fluid damage takes place within 2-3 weeks, meanwhile considerable amounts of dark insoluble residues are formed, as displayed by Figure 4.



**F4: Seriously damaged fluid, residues non-redissolvable**

It became evident that further improvement of the inhibitor package was necessary to avoid formation of deposits as well as to offer enhanced buffer capacity to control the glycol decomposition even under such extraordinary thermal stress. A theoretically simple, but in view of its development nevertheless sophisticated remedy is the use of a *liquid* inhibitor package. In case of stagnation those components evaporize together with propylene glycol and water, thus the collector remains completely empty, and no damaging insoluble residues may lead to any flow obstruction or blocking.

In practice, recent experiences obtained from properly designed solar systems equipped with evacuated tubular collectors show that even standstill temperatures of up to 300 °C can be mastered with this new medium (Brand name: TYFOCOR<sup>®</sup> LS). Nevertheless it must be emphasized again that under those conditions the fluid lifetime will be generally reduced. Annual lab check of e.g. density, concentration, inhibitors, and pH value is therefore highly recommended. Supposing that one of the mentioned parameters is found to deviate from the required values during analysis, the solar fluid must be replaced immediately.

#### References

- [1] Ullmanns Enzyklopädie der techn. Chemie, 3. Aufl. Bd. 8, München, Berlin, Wien: Urban; Schwarzenberg 1957, S.1
- [2] Ullmanns Encyclopedia of Industrial Chemistry, 5th ed. Weinheim, Vol A 10 (1987) 101, Vol A 22 (1993) 163
- [3] W.J. Rossiter Jr, P. W. Brown, McClure Godette, The determination of acidic degradation products in aqueous ethylene glycol and propylene glycol solutions using ion chromatography. Solar Energy Materials 9, 1983