

## **К вопросу расчета электроводонагревателей накопительного типа для нужд горячего водоснабжения**

Поиск оптимальных решений всегда сопровождал практическую деятельность инженера. К проектируемым объектам, обычно предъявляются следующие требования, определяющие оптимальность решения:

**Эффективность** – наиболее полное соответствие цели, для которой создается объект.

**Надежность** – безотказность при эксплуатации.

**Долговечность** – способность к выполнению своих функций в течение предусмотренного проектом времени.

**Технологичность** – удобство изготовления элементов объекта, их транспортировки, монтажа.

**Экономичность.** Затраты на возведение и эксплуатацию объекта не должны выходить за определенные рамки. Обычно их стремятся свести к минимуму.

**Эстетичность.** Изделия, не обладающие привлекательным внешним видом, неконкурентоспособны.

**Особые (конъюнктурные) требования.** Имеются в виду специфические требования заказчика, контролирующих органов и пр.

Возможности современной вычислительной техники и достижения отраслевых наук позволяют существенно повысить качество проектов инженерных систем в смысле оптимальности решений. Между тем, в действующих нормативных документах, учебно-методической и справочной литературе предлагается производить поверочные расчеты и осуществлять подбор оборудования по упрощенным формулам, приблизительно описывающим характер функционирования инженерных систем. Подобные методики, рассчитанные на «ручной счет», позволяют лишь в первом приближении оценить возможности проектируемой системы. Ни о какой оптимизации здесь говорить не приходится.

В качестве конкретного примера рассмотрим здесь проблему выбора оптимального электроводонагревателя накопительного типа для нужд горячего водоснабжения. В целях более подробного знакомства с историей вопроса мы обратились к анализу реальных проектов, а также поинтересовались мнением специалистов на этот счет.

Как выяснилось, единый подход к расчету параметров водонагревателей накопительного типа отсутствует. Наиболее часто подбор оборудования производится «на глаз», в лучшем случае с учетом представлений о расходах на сантехнический прибор за один сеанс использования. В действующем нормативном документе СНиП 2.04.01-85\* имеется раздел 13, в котором приводятся формулы для определения объемов накопительных емкостей. В качестве расчетных параметров, от которых зависит объем аккумулятора, принимается максимальный расчетный часовой расход горячей воды. Вероятность превышения этого расхода мала и, следовательно, объемы накопительных емкостей полученных таким образом ориентированы на пиковую нагрузку, физическая реализуемость которой сомнительна. Таким образом, отечественные проектировщики вынуждены самостоятельно «придумывать» методики подбора водогрейного оборудования, ориентируясь только на собственный опыт и здравый смысл.

За рубежом существует целая серия подробных руководств, описывающих процесс выбора оптимального оборудования для нагрева воды. Одним из них является знакомый российским специалистам UNI9182. Существующий русский перевод при желании несложно найти в сети Интернет. В данном руководстве приводятся технологические параметры оборудования, необходимые для обслуживания различных категорий водопользователей.

Предлагаем вашему вниманию программу Boiler, реализующую методику регламента UNI9182 для определения оптимальных параметров накопительных водонагревателей.

В основе подхода лежат известные из теплотехники соотношения:

$$V_c = \frac{q_m \times d_p \times (T_m - T_f)}{d_p + P_r},$$

$$W = \frac{q_m \times d_p \times (T_m - T_f)}{d_p + P_r} \times 1.163,$$

где  $q_m$  - максимальный расчетный одновременный часовой расход горячей воды,  $d_p$  - продолжительность пикового периода максимального водопотребления,  $T_m$  - средняя температура горячей воды, расходуемой в пиковый период,  $T_f$  - температура холодной воды на входе в сеть,  $P_r$  - продолжительность периода предварительного нагрева воды в накопительном баке,  $T_c$  - температура горячей воды в накопительном баке,  $V_c$  - объем накопительной емкости водонагревателя,  $W$  - тепловая (полезная) мощность змеевика водонагревателя.

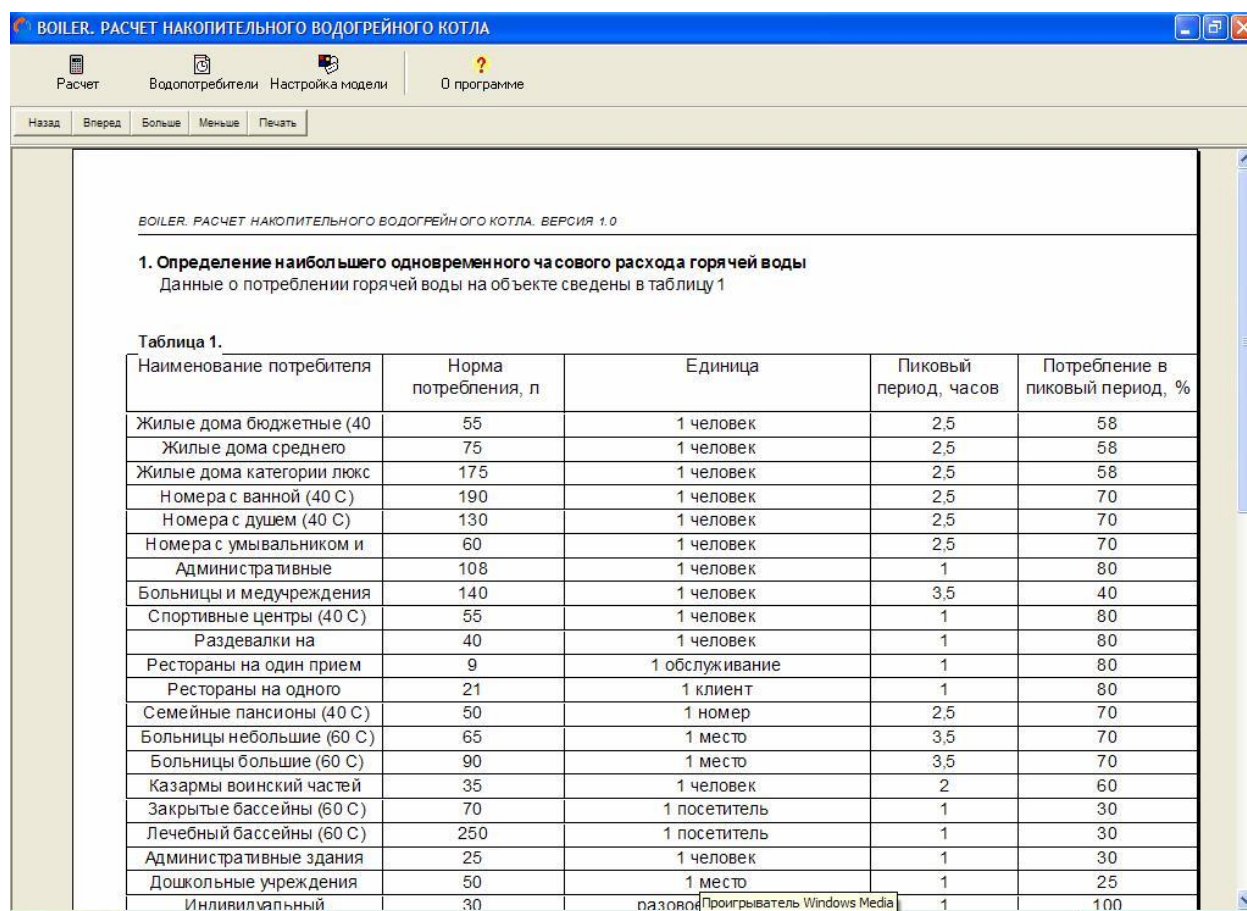
Главная проблема при использовании этих соотношений заключается в определении величины максимального расчетного часового расхода воды  $q_m$ . Методика СНиП 2.04.01-85\* здесь даст заведомо завышенный результат, поскольку при определении расчетного расхода используется высокая вероятность непревышения расхода. В данном случае целесообразно ориентироваться на доверительные интервалы с другой (менее высокой) доверительной вероятностью. Такая информация может быть получена экспериментально, на основе метода анализа временных рядов водопотребления. В другом случае можно воспользоваться результатами зарубежных исследований. В частности подробная информация о способах определения максимальных расчетных расходов (в зависимости от типа учреждения, степени комфортабельности, количестве потребителей и т.д.) для выбора накопительных емкостей приводятся в UNI9182. Базовые параметры, установленные регламентом UNI9182, внесены в справочник программы и при необходимости могут быть откорректированы.

Приведем пример использования программы для определения параметров электроводонагревателя для обеспечения потребностей в горячей воде.

Данный расчетный пример взят из статьи «Расчет параметров накопительной емкости: горячее водоснабжение», опубликованной в журнале «Сантехника» №5/2003.

Требуется подобрать электронагреватель для 18-квартирного жилого дома. Квартиры 4-комнатные, в них проживают семьи со средним достатком в составе четырех человек каждая.

После запуска программы появиться главное окно программы с результатами последнего выполненного расчета (см. рисунок 1).



BOILER. РАСЧЕТ НАКОПИТЕЛЬНОГО ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА. ВЕРСИЯ 1.0

**1. Определение наибольшего одновременного часового расхода горячей воды**  
Данные о потреблении горячей воды на объекте сведены в таблицу 1

Таблица 1.

| Наименование потребителя    | Норма потребления, л | Единица        | Пиковый период, часов | Потребление в пиковый период, % |
|-----------------------------|----------------------|----------------|-----------------------|---------------------------------|
| Жилые дома бюджетные (40 С) | 55                   | 1 человек      | 2,5                   | 58                              |
| Жилые дома среднего         | 75                   | 1 человек      | 2,5                   | 58                              |
| Жилые дома категории люкс   | 175                  | 1 человек      | 2,5                   | 58                              |
| Номера с ванной (40 С)      | 190                  | 1 человек      | 2,5                   | 70                              |
| Номера с душем (40 С)       | 130                  | 1 человек      | 2,5                   | 70                              |
| Номера с умывальником и     | 60                   | 1 человек      | 2,5                   | 70                              |
| Административные            | 108                  | 1 человек      | 1                     | 80                              |
| Больницы и медучреждения    | 140                  | 1 человек      | 3,5                   | 40                              |
| Спортивные центры (40 С)    | 55                   | 1 человек      | 1                     | 80                              |
| Раздевалки на               | 40                   | 1 человек      | 1                     | 80                              |
| Рестораны на один прием     | 9                    | 1 обслуживание | 1                     | 80                              |
| Рестораны на одного         | 21                   | 1 клиент       | 1                     | 80                              |
| Семейные пансионы (40 С)    | 50                   | 1 номер        | 2,5                   | 70                              |
| Больницы небольшие (60 С)   | 65                   | 1 место        | 3,5                   | 70                              |
| Больницы большие (60 С)     | 90                   | 1 место        | 3,5                   | 70                              |
| Казармы воинский частей     | 35                   | 1 человек      | 2                     | 60                              |
| Закрытые бассейны (60 С)    | 70                   | 1 посетитель   | 1                     | 30                              |
| Лечебный бассейны (60 С)    | 250                  | 1 посетитель   | 1                     | 30                              |
| Административные здания     | 25                   | 1 человек      | 1                     | 30                              |
| Дошкольные учреждения       | 50                   | 1 место        | 1                     | 25                              |
| Индивидуальный              | 30                   | позволяет      | 1                     | 100                             |

Рисунок 1

Для определения емкости накопительного резервуара необходимо ввести информацию о водопотреблении по объекту (см. рисунок 2) в окне **Водопотребление**. Окно **Водопотребление** открывается после выбора команды **Водопотребители** в главном окне программы.

| Водопотребление                     |                      |                   |   |                                 |                          |  |
|-------------------------------------|----------------------|-------------------|---|---------------------------------|--------------------------|--|
| Потребители горячей воды            |                      |                   |   |                                 |                          |  |
| Наименования водопотребителя        | Норма потребления, л | Единица           | Продолжительность пикового периода, час | Потребление в пиковый период, % | Количество пользователей |  |
| Жилые дома бюджетные (40 С)         | 55                   | 1 человек         | 2,5                                     | 58                              | 0                        |  |
| Жилые дома среднего класса (40 С)   | 75                   | 1 человек         | 2,5                                     | 58                              | 72                       |  |
| Жилые дома категории люкс (40 С)    | 175                  | 1 человек         | 2,5                                     | 58                              | 0                        |  |
| Номера с ванной (40 С)              | 190                  | 1 человек         | 2,5                                     | 70                              | 0                        |  |
| Номера с душем (40 С)               | 130                  | 1 человек         | 2,5                                     | 70                              | 0                        |  |
| Номера с умывальником и биде (40 С) | 60                   | 1 человек         | 2,5                                     | 70                              | 0                        |  |
| Административные помещения (40 С)   | 108                  | 1 человек         | 1                                       | 80                              | 0                        |  |
| Больницы и медучреждения (40 С)     | 140                  | 1 человек         | 3,5                                     | 40                              | 0                        |  |
| Спортивные центры (40 С)            | 55                   | 1 человек         | 1                                       | 80                              | 0                        |  |
| Раздевалки на производстве (40 С)   | 40                   | 1 человек         | 1                                       | 80                              | 0                        |  |
| Рестораны на один прием пищи (40 С) | 9                    | 1 обслуживание    | 1                                       | 80                              | 0                        |  |
| Рестораны на одного клиента (40 С)  | 21                   | 1 клиент          | 1                                       | 80                              | 0                        |  |
| Семейные пансионы (40 С)            | 50                   | 1 номер           | 2,5                                     | 70                              | 0                        |  |
| Больницы небольшие (60 С)           | 65                   | 1 место           | 3,5                                     | 70                              | 0                        |  |
| Больницы большие (60 С)             | 90                   | 1 место           | 3,5                                     | 70                              | 0                        |  |
| Казармы воинских частей (60 С)      | 35                   | 1 человек         | 2                                       | 60                              | 0                        |  |
| Закрытые бассейны (60 С)            | 70                   | 1 посетитель      | 1                                       | 30                              | 0                        |  |
| Лечебный бассейн (60 С)             | 250                  | 1 посетитель      | 1                                       | 30                              | 0                        |  |
| Административные здания (60 С)      | 25                   | 1 человек         | 1                                       | 30                              | 0                        |  |
| Дошкольные учреждения (60 С)        | 50                   | 1 место           | 1                                       | 25                              | 0                        |  |
| Индивидуальный умывальник (35 С)    | 30                   | разовое включение | 1                                       | 100                             | 0                        |  |
| Душевые установки (35 С)            | 50                   | разовое включение | 1                                       | 100                             | 0                        |  |
| Душевая кабина (35 С)               | 80                   | разовое включение | 1                                       | 100                             | 0                        |  |
| Ванна (35 С)                        | 250                  | разовое включение | 1                                       | 100                             | 0                        |  |

Рисунок 2

В данном случае в здании имеется  $18 \times 4 = 72$  потребителя для типа «Жилые дома среднего класса». Соответствующая запись имеется в окне **Водопотребление**.

После описания всех потребителей горячей воды необходимо установить параметры расчетной модели в окне **Расчетная модель**. Окно **Расчетная модель** открывается после выбора команды **Настройка модели**.

В окне **Расчетная модель** (см. рисунок 3) имеется возможность задать параметры, учитываемые при выборе водонагревателя (среднюю температуру горячей воды, расходуемой в пиковый период; температуру холодной воды на входе в сеть; продолжительность периода предварительного нагрева воды в накопительном баке; температуру горячей воды в накопительном баке). Кроме того, для жилых домов имеется возможность учитывать влияние на неравномерность потребления ряда факторов. Таких как: число квартир в здании, число комнат в квартирах, уровень жизни потребителей. Для учета этих факторов должен быть включен флажок **Учитывать повышающие коэффициенты для жилых домов**.

**Расчетная модель**

Параметры расчетной модели

Средняя температура горячей воды, расходуемой в пиковый период (градусов Цельсия)

Температура холодной воды на входе в сеть (градусов Цельсия)

Продолжительность периода предварительного нагрева воды в накопительном баке (часов)

Температура горячей воды в накопительном баке (градусов Цельсия)

☒ Учитывать повышающие коэффициенты для жилых домов

Число комнат в квартирах

Уровень жизни потребителей

Число квартир в здании

**Рисунок 3**

Результаты расчета по данным примера представлены на рисунках 4, 5. В соответствии с предложенным решением для получения требуемого расхода горячей воды необходим водонагреватель с объемом накопительной емкости 324 литра и мощностью 8499 Вт при времени нагрева воды 2 часа.

BOILER. РАСЧЕТ НАКОПИТЕЛЬНОГО ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА

Расчет Водопотребители Настройка модели О программе

Назад Вперед Больше Меньше Печать

BOILER. РАСЧЕТ НАКОПИТЕЛЬНОГО ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА. ВЕРСИЯ 1.0 15.01.2008 17:11:13 1

**1. Определение наибольшего одновременного часового расхода горячей воды**  
Данные о потреблении горячей воды на объекте сведены в таблицу 1

**Таблица 1.**

| Наименование потребителя   | Норма потребления, л | Единица           | Пиковый период, часов | Потребление в пиковый период, % | Количество пользователей | Расход, л/час |
|----------------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------------|---------------|
| Жилые дома бюджетные (40)  | 55                   | 1 человек         | 2,5                   | 58                              | 0                        |               |
| Жилые дома среднего        | 75                   | 1 человек         | 2,5                   | 58                              | 72                       | 1252,8        |
| Жилые дома категории люкс  | 175                  | 1 человек         | 2,5                   | 58                              | 0                        |               |
| Номера с ванной (40 С)     | 190                  | 1 человек         | 2,5                   | 70                              | 0                        |               |
| Номера с душем (40 С)      | 130                  | 1 человек         | 2,5                   | 70                              | 0                        |               |
| Номера с умывальником и    | 60                   | 1 человек         | 2,5                   | 70                              | 0                        |               |
| Административные           | 108                  | 1 человек         | 1                     | 80                              | 0                        |               |
| Больницы и медучреждения   | 140                  | 1 человек         | 3,5                   | 40                              | 0                        |               |
| Спортивные центры (40 С)   | 55                   | 1 человек         | 1                     | 80                              | 0                        |               |
| Раздевалки на              | 40                   | 1 человек         | 1                     | 80                              | 0                        |               |
| Рестораны на один прием    | 9                    | 1 обслуживание    | 1                     | 80                              | 0                        |               |
| Рестораны на одного        | 21                   | 1 клиент          | 1                     | 80                              | 0                        |               |
| Семейные пансионаты (40 С) | 50                   | 1 номер           | 2,5                   | 70                              | 0                        |               |
| Больницы небольшие (60 С)  | 65                   | 1 место           | 3,5                   | 70                              | 0                        |               |
| Больницы большие (60 С)    | 90                   | 1 место           | 3,5                   | 70                              | 0                        |               |
| Казармы воинских частей    | 35                   | 1 человек         | 2                     | 60                              | 0                        |               |
| Закрытые бассейны (60 С)   | 70                   | 1 посетитель      | 1                     | 30                              | 0                        |               |
| Лечебный бассейн (60 С)    | 250                  | 1 посетитель      | 1                     | 30                              | 0                        |               |
| Административные здания    | 25                   | 1 человек         | 1                     | 30                              | 0                        |               |
| Дошкольные учреждения      | 50                   | 1 место           | 1                     | 25                              | 0                        |               |
| Индивидуальный             | 30                   | разовое включение | 1                     | 100                             | 0                        |               |
| Душевые установки (35 С)   | 50                   | разовое включение | 1                     | 100                             | 0                        |               |
| Душевая кабина (35 С)      | 80                   | разовое включение | 1                     | 100                             | 0                        |               |
| Ванна (35 С)               | 250                  | разовое включение | 1                     | 100                             | 0                        |               |

Рисунок 4

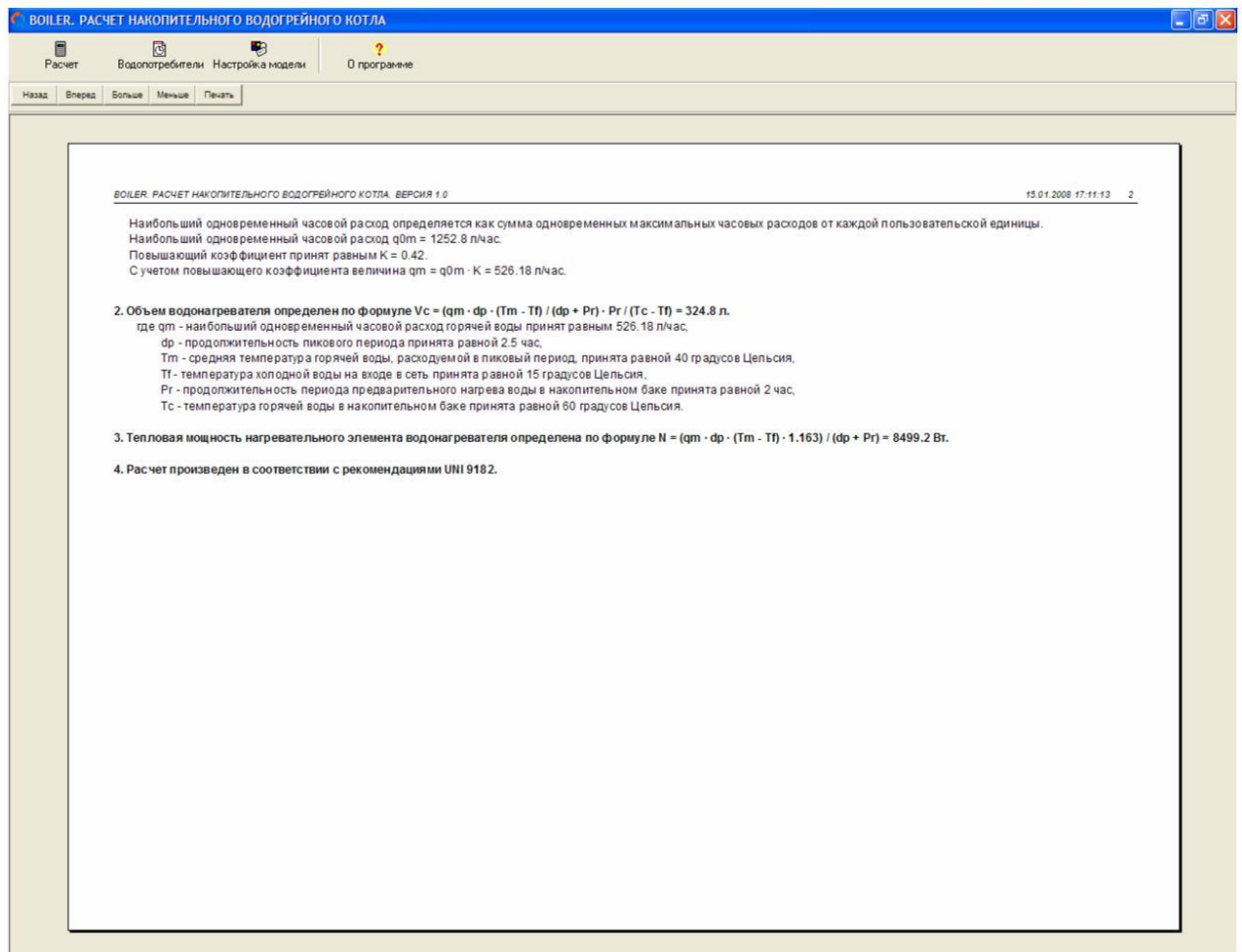


Рисунок 5

На следующем этапе проектировщику предстоит подобрать конкретный водонагреватель с параметрами близкими к расчетным. Как показывает анализ, эта задача не является тривиальной и требует специальных методов для своего решения. Что эффективнее, подобрать оборудование, наиболее близко отвечающее расчетному параметру по объему накопительной емкости или тепловой мощности водогрейного элемента? Может быть целесообразно варьировать продолжительность периода предварительного нагрева воды в накопительном баке, как это отразится на надежности системы? Каким образом формализовать выбор оптимального решения из жестко заданного списка имеющегося оборудования? Ответы на эти вопросы могут быть получены при использовании принципиально новых методов расчета, основанных на теории принятия решений в специальных условиях.



Возможный путь решения подобных проблем мы планируем описать на примере программы расчета теплопотребления жилых зданий.

Демонстрационную версию программы Boiler можно скачать на нашем сайте.