



# РАЦИОНАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ЭКОНОМИЧЕСКОМ ОБОСНОВАНИИ ТЕПЛОЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ

И. Н. Ковалев, канд. техн. наук, доцент РГУПС (Ростов-на-Дону)

Среди специалистов неоднократно поднимался вопрос о целесообразности повышения тепловой защиты зданий, выборе толщины утеплителя. С точки зрения теплотехники можно определить минимально допустимую толщину теплоизоляции. Дальнейшее решение задачи определения оптимальной толщины утеплителя лежит в области экономических расчетов. Опыт других стран здесь не имеет решающего значения, поскольку реальная экономическая динамика, стоимость энергии уникальна для каждой страны. Рассмотрим некоторые принципы принятия рациональных решений при внедрении энергосберегающих технологий.

## Математическая модель оптимизации

На примере выбора оптимальной толщины утепляющего слоя для строящихся и существующих зданий рассмотрено несколько общих принципов формирования математической модели оптимизации в условиях особенностей экономической динамики. Взятая в качестве примера задача не имеет методической завершенности [1–4]. Делается попытка высветить некоторые нерешенные стороны проблемы и дать определенные рекомендации.

В основе проблемы – поиск минимума приведенных затрат относи-

тельно варьируемой толщины утепляющего слоя  $\delta$ , м, по формуле (1).

Несмотря на некоторую идеализацию модели, пренебрегающей возможным кусочно-непрерывным характером изменения параметра  $\delta$  (что, вообще говоря, свойственно практически всем аналогичным «непрерывным» задачам), полученные с ее помощью решения могут дать полезную информацию при выборе окончательного варианта утепления.

Минимуму (1) отвечает условие (2).

Поскольку по субъектам РФ обычно задаются обобщенные показатели (градусо-сутки отопительного периода, ГСОП), то (2) предста-

вим в виде (3), введя обобщенную константу (4). Цифры в (4) соответствуют переводу тепловой энергии (Гкал) в электрическую (кВт•ч) и переводу стоимости руб./кВт•ч в стоимость руб./Вт•год.

Имеем типичную задачу с различными по характеру неопределенностями, что предполагает множество решений при варьировании различных исходных показателей. Возможны иные подходы: например, очерчивание области решений путем оценки диапазона возможного изменения значений  $\delta$ , от максимума до минимума, или получение минимального значения  $\delta$ , что заведомо экономически эффективно,

с последующим анализом. В работе делается акцент именно на эту постановку вопроса.

Выражение (3) содержит более или менее однозначные цифры лишь в части ГСОП и константы  $a$ . Тарифы же на тепловую энергию  $C_T$ , регулярно задаваемые соответствующей федеральной службой для всех региональных субъектов, содержат по крайней мере два не до конца решенных вопроса:

- неизвестен срок действия заниженных в разы внутренних цен на природный газ;
- неизвестна соответствующая ценовая динамика, стремящаяся к достижению паритета с экспортным уровнем цен.

### Коэффициент экономической эффективности инвестиций

Коэффициенту экономической эффективности инвестиций  $E$  свойственен в рыночных условиях, как оказалось, иной экономический смысл. Здесь приходится учитывать фактор дисконтирования будущих доходов [2, 5, 6], равно как и зависимость усредненной нормы дисконта  $r$  от инфляции. Экзогенная же переменная  $r$  является своеобразным нервным центром экономической динамики, связывая решение технических вопросов с общим состоянием общественно-экономической жизни страны. Содержащееся в современной литературе общее указание на то, что коэффициент эффективности инвестиций определяется процентной ставкой (или даже примерно равен ей), не выдерживает никакой критики ввиду чрезвычайной расплывчатости данной формулировки по одному из ключевых вопросов. Достаточно сказать, что коэффициент  $E$  в зависимости от указанных долгосрочных условий работы инвестиционного оборудования может меняться в диапазоне 0,2–0,5 [5, 6].

### Стоимость электроэнергии

Еще одна экзогенная переменная, причем ключевая – расчетная величина стоимости электроэнергии  $\beta$ , так же как и  $C_T$ , – также не отличается определенностью тарифов, как на тепловую, так и на электрическую энергию. Причина хорошо известна: обеспечивая платежеспособность малоимущего населения, государство регулирует внутренние цены на газ, регулируя тем самым плату за электроэнергию. Постепенно разница экспортных и внутренних цен медленно, но сокращается за счет опережающего роста тарифов на электроэнергию. Но сколь долго это продлится,

## РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

Нумерация формулы в тексте	Формула
(1)	$Z = k \cdot \delta \cdot E + (t_b - t_n) \cdot \lambda \cdot C_T / \delta$
(2)	$\delta = \sqrt{\lambda \cdot \Delta u \cdot C_T / k \cdot E}$
(3)	$\delta = a \sqrt{\text{ГСОП} \cdot C_T / k \cdot E}$
(4)	$a = \sqrt{\lambda \frac{0,024}{1164}}$
(5)	$m = \frac{\beta}{k}$
(6)	$\beta_{cp} = \frac{\beta_0}{T} \int_0^T e^{it} dt = \frac{\beta_0}{i \cdot T} \left[ e^{iT} - 1 \right] = \frac{\beta_0}{i \cdot T} (e^{iT} - 1)$
(7)	$m_{cp} = \frac{\beta_0}{k_0} \cdot \frac{i_k}{i_b} \cdot \frac{(e^{i_b T} - 1)}{(e^{i_k T} - 1)} = \frac{\beta_0}{k_0} \cdot I_{\beta k}$
(8)	$I_{\beta k} = \frac{0,075}{0,15} \cdot \frac{(2,72^{0,15 \cdot 20} - 1)}{(2,72^{0,075 \cdot 20} - 1)} = 2,7$
(9)	$T_{ок} = - \frac{\ln(1 - T_0 i)}{\ln(1 + i)}$
(10)	$ИД^* = 1 - \frac{1}{r \cdot T_0} [1 - (1 + r)^{-T_{ок,н}}]$
(11)	$E = r \cdot (ИД + 1)$
(12)	$\delta = \sqrt{\lambda \frac{0,024}{1164} \sqrt{I_{\beta k} \text{ГСОП} \frac{C_T}{k \cdot E}}}$
(13)	$\delta = 34 \cdot 10^{-6} \sqrt{\text{ГСОП} \cdot C_T / E}$

### Обозначения в формулах

- $\beta$  – стоимость электроэнергии, руб./кВт·ч
- $\delta$  – варьируемая толщина утепляющего слоя, м
- $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
- $\Delta u$  – разность  $t_b$  и  $t_n$ , °С
- $C_T$  – стоимость тепловой энергии, руб./Гкал
- $E$  – коэффициент экономической эффективности инвестиций
- $k$  – удельная стоимость утепляющего слоя, руб./м<sup>2</sup>; удельная стоимость оборудования, руб./ед.
- $K$  – заемный капитал, руб.
- $i$  – норма процента
- $i_b$  – прирост тарифов на электроэнергию
- $i_k$  – инфляционная составляющая цен на утеплители
- $I_{\beta k}$  – коэффициент, показывающий, во сколько раз средняя стоимость электроэнергии за интервал  $T$  лет возросла по отношению к средней стоимости утеплителя
- $r$  – норма дисконта
- $t_b, t_n$  – расчетные температура соответственно внутреннего и наружного воздуха, °С
- $T_0$  – линейный (бездисконтный) срок окупаемости инвестиций за счет номинальной величины дохода, руб.
- $T_{ок}$  – срок окупаемости, лет
- $T_{ок,н}$  – срок окупаемости при наращении поступающих доходов, лет;
- $\Delta$  – ежегодный доход, руб./год
- $ИД$  – индекс доходности
- $ИД^*$  – относительное увеличение ИД
- $ЧДД$  – чистый дисконтированный доход, руб.

**Таблица 1 Основные экономические показатели**

Экономические показатели	Вариант 1	Вариант 2
Инфляция $i$ , %	7,5	12,0
Норма дисконта $r$ , %	15	22
Индекс доходности (ИД)	0,5	1,0
Коэффициент эффективности $E$	0,23	0,45
Тарифный коэффициент $I_{\text{БК}}$	2,7	2,7
Стоимость утеплителя, руб./м <sup>3</sup>	2 000	2 000

неизвестно. «Газпром» неоднократно указывал, что данный диспаритет цен наносит существенный ущерб экономике, как и вообще любое отклонение от равновесных ценовых состояний. Но главное – такой временный ценовой перекоп часто создает видимость неэффективности энергосбережения.

Во многих задачах оптимальное значение энергосберегающего параметра (толщина утеплителя, сечение линий электропередач, мощность энергосберегающих устройств и др.) зависит от соотношения стоимости электроэнергии  $\beta$  и удельной стоимости  $k$  самого устройства, как это имеет место и в формуле (1). Если обе эти стоимости соответствуют рыночным отношениям и со временем их ценовая динамика определяется инфляцией, то это соотношение может оставаться постоянным, в виде некоторой экономической константы.

Однако в задачах энергосбережения перспективный ценовой тренд на электроэнергию, как уже сказано, будет опережать таковой для инвестиционного оборудования примерно в два раза (это показывает статистика по тарифам за последние 15 лет). Возникает вопрос: какую цену за электроэнергию принимать в энергосберегающих расчетах теперь? Варианты использования нынешнего уровня цен  $\beta$ , равно как и перспективного  $\beta_p$ , равновесного, неправомерно. В [2] обоснована возможность применение средних значений изменяющихся

во времени параметров, таких как нормы дисконта и процента  $r$  и  $i$ , удельная стоимость  $k$ , ежегодные доходы  $D$  и др. В любом случае прогнозировать эти средние значения можно довольно точно, по крайней мере в виде рупора возможностей.

Таким образом, в рассматриваемой задаче предстоит оценить среднее за период времени  $T$  соотношение (5).

Обозначим в относительных единицах прирост тарифов на электроэнергию  $i_\beta$ , а инфляционную составляющую цен на утеплители  $i_k$ , причем  $i_\beta > i_k$ . Тогда среднее значение  $\beta$ , рассчитываемое по сложным процентам (для простоты – посредством экспоненциальной функции), имеет вид (6).

Аналогично рассчитав среднюю цену утеплителя и взяв отношение (5), получим (7). Здесь коэффициент  $I_{\text{БК}}$  показывает, во сколько раз средняя стоимость электроэнергии за интервал  $T$  лет возросла по отношению к средней стоимости утеплителя. Если предположить, что в ближайшие 20 лет средний уровень инфляции составит 7,5% (следовательно, и утеплители будут дорожать примерно в таких же размерах), а рост тарифов на электроэнергию будет принят удвоенным (15%), то данный коэффициент примет значение 2,7 (см. выражение (8), что свидетельствует о приближении через  $T = 20$  лет себестоимости электроэнергии к уровню мировых цен на первичные энергоносители.

Принятый уровень инфляции в 7,5% следует отнести к благополучному пути развития экономики, принимая во внимание складывающиеся реалии. Если же инфляция составит в среднем 12%, то рост тарифов предпочтительнее принять в 20% (вариант негативного развития, когда удваивать тариф может оказаться рискованным). В этом случае рассматриваемый коэффициент, как нетрудно убедиться, почти не меняется. Заметим, что к концу периода  $T$  цены в первом варианте возрастут соответственно в 16,4 и в 4,2 раза, во втором – в 38,3 и в 9,7 раза, соотношение между этими максимальными ценами почти 4 раза. Как видим, принятие среднего (интегрального) соотношения позволяет избежать необоснованной переоценки электроэнергии (см. справку на стр. 17).

### Соотношение между собственными и заемными средствами

Еще один нерешенный аспект, требующий ясности: влияет ли соотношение между заемными средствами и собственными (так называемый левверидж) на эффективность инвестиций. В [3, 4] рассмотрен вариант стопроцентного использования заемного капитала  $K$ , который при кредитной ставке и таком же банковском проценте  $i$  погашается за счет рефинансирования получаемых доходов  $D$  от работы инвестиционного оборудования. При этом в [3] получена формула для срока возврата кредита, то есть для срока окупаемости произведенных инвестиций (далее использованы иные обозначения) (9), где  $T_0 = K / D$  – линейный (бездисконтный) срок окупаемости инвестиций за счет номинальной величины дохода.

Но эта же формула (кстати, уже встречающаяся в финансовой математике и инвестиционном анализе)

была получена и использована в [2] для расчета срока окупаемости физических инвестиций за счет получаемых дисконтированных доходов  $D$ . Такая инвариантность срока окупаемости  $T_{ок}$  иллюстрируется потоковой диаграммой (рис. 1), составленной для  $K = 10$ , номинального дохода  $D = 3,3$  (бездисконтный срок окупаемости  $T_0 = 3$  года) и нормы дисконта  $r = 0,16$ . Кредитная ставка  $i = r = 0,16$  (это примерно отвечает реальности, однако по определению первая всегда несколько превышает вторую). Кривая 1 показывает рост суммарного дисконтированного дохода от работы инвестиционного оборудования [2], кривая 2 – наращение (рефинансирование) доходов от эксплуатации инвестиционного оборудования, кривая 3 – наращение кредитного долга. Здесь показано, что срок окупаемости взятого кредита (точка  $A_1$ ) и срок окупаемости инвестиций за счет собственных средств (точка  $A_2$ ) один и тот же и определяется формулой (9). На участке же эксплуатации оборудования  $T_{ок} \leq t \leq T$  нарабатываемый эффект (кривая 1) один и тот же, независимо от предыстории с финансированием инвестиционного проекта.

Другое дело, что вариант наращивания получаемых доходов, практически маловероятный для реализации на всем протяжении срока службы  $T$ , может успешно использоваться на начальной стадии работы оборудования с целью ускорения окупаемости собственных затраченных средств (рис. 2). Теперь срок окупаемости  $T_{ок,н}$  укорачивается по сравнению со сроком (9) и рассчитывается по формуле вида (9) с заменой знаков минус на знаки плюс [2]. В результате появляется возможность существенного увеличения ЧДД и ИД (рис. 2). Относительное увеличение индекса доходности ИД\*, как нетрудно убедиться, можно определить по формуле (10).

Современные тарифы на тепловую энергию, как показал анализ, ориентированы на регулируемые государством внутренние цены на газ. С другой стороны, эти тарифы не учитывают возможный КПД получения тепла, который составляет менее 100 %. В этом легко убедиться, если пересчитать величины  $C_T$  (табл. 2) на стоимость электрического эквивалента при КПД = 100 % (закон Джоуля – Ленца). Величину  $C_T$  следует умножить на 860 ккал (теплосодержание 1 кВт·ч) и убедиться, что получаемая стоимость 1 кВт·ч в разы меньше даже существующих тарифов на электроэнергию, которые также занижены.

Поэтому неудивительно, что часто экономические расчеты по оценке энергосберегающих мероприятий показывают их кажущуюся неэффективность.

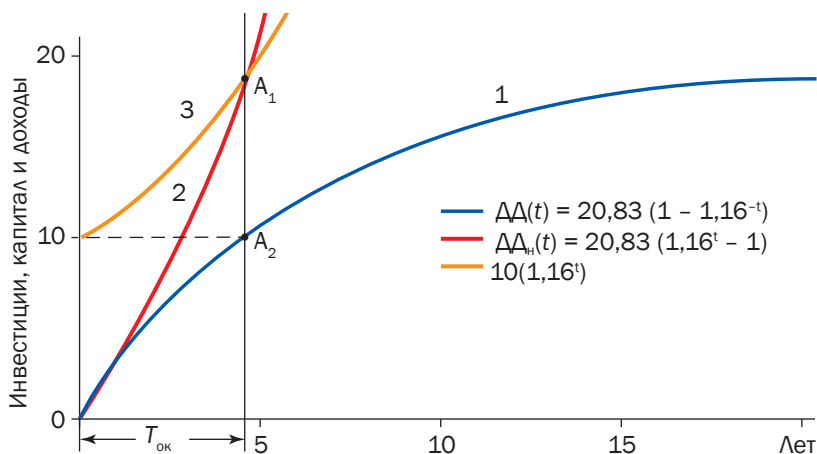
Таблица 2 Толщина утеплителя в двух вариантах развития экономики

Субъекты РФ	ГСОП*	$C_T$ , руб./Гкал	Толщина утеплителя**, δ, см	
Московская область	4 943	893	15	10
Костромская область	5 508	782	15	10
Белгородская область	4 183	593	10	10
Мурманская область	6 768	927	20	15
Калининградская область	4 072	699	10	10
Северная Осетия	3 410	665	10	10
Дагестан	2 632	665	10	5
Волгоградская область	4 006	763	10	10
Адыгея	2 619	763	10	5
Пермский край	6 363	718	15	10
Саратовская область	4 763	642	10	10
Ямало-Ненецкий округ	8 952	1 317	25	20
Челябинская область	5 777	590	15	10
Красноярский край	8 662	504	15	10
Алтай	6 264	525	15	10
Саха (Якутия)	10 850	724	20	15
Сахалинская область	6 197	742	15	10
Камчатский край	7 530	1 302	20	15
Магаданская область	9 815	2 523	35	25
Чукотский АО	8 949	2 796	35	25

\* Согласно СТО НОСТРОЙ 2.35.68–2012 «"Зеленое строительство". Здания жилые и общественные. Учет региональных особенностей в рейтинговой системе оценки устойчивости среды обитания».

\*\* Красным цветом показано значение для благоприятного варианта развития экономики, синим – для неблагоприятного.





**Рис. 1.** Срок окупаемости  $T_{ок}$  инвестиций  $K = 10$  и заемных средств при наращении доходов в период  $T_{ок}$

По данной формуле были рассчитаны все дополнительные величины ИД\* в диапазоне величин  $r$  от 10 до 25% и величины  $T_0$  от 2 до 5 лет. Соответствующие приросты доходности находятся в диапазоне 25–50%.

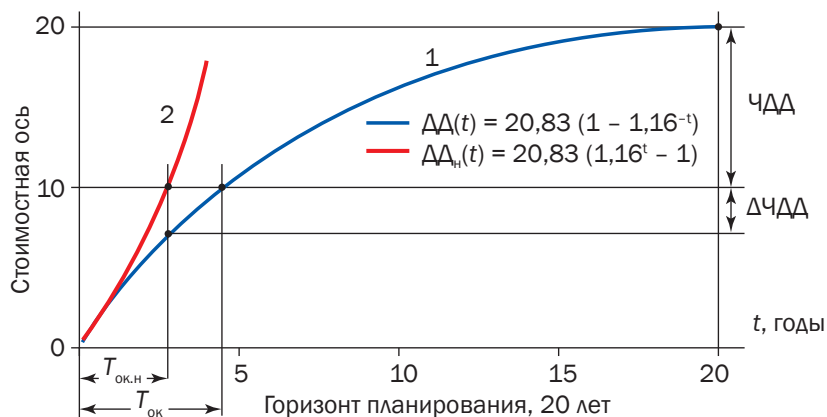
Если бы такая возможность была предусмотрена при расчетах табл. 2, то толщина утеплителей возросла бы в среднем на 25–30%.

### Постановка расчетных экспериментов

Далее по формуле (3) рассчитаны два предполагаемых предельных случая экономического развития:

1) благоприятное и 2) стагнирующее. В табл. 1 приведены основные экономические показатели, прямо или косвенно участвующие в формуле (3).

Принятые показатели нуждаются в пояснениях. Значения норм дисконта принимались исходя из примерно удвоенной инфляции. Именно такой поход предопределил значение  $r = 0,1$  в расчете на инфляцию в 5% в [2], поскольку к 2005 году акцент на амбициозные экономические прорывы развития имел основания. Сейчас ситуация изменилась, и приходится считаться с возможностью существенного инфляционного роста.



**Рис. 2.** Укороченный срок окупаемости инвестиций  $K = 10$  за счет наращивания доходов в период и дополнительный чистый доход ЧДД

В варианте 2 норма дисконта несколько занижена по сравнению с удвоением, принятым в варианте 1, в качестве стимула к инвестициям. По этой же причине индекс доходности повышен до 1.

Значение коэффициента  $E$  в обоих вариантах принималось по формуле (11) [5, 6]. Для благоприятного варианта 1 это означает не превышение срока окупаемости последней порции утеплителя 6–7 лет. В варианте 2 этот срок снижается до 4 лет. Напомним, что окупаемость утеплителя в целом примерно в полтора–два раза меньше указанных предельных сроков. Именно это обстоятельство позволяет для непрерывно растущего параметра  $\delta$  задавать иногда индекс доходности меньше 1, вопреки рекомендациям [6], и получать сроки окупаемости, несколько превышающие 4–5 лет.

Нужно предостеречь от желания всячески снижать норму дисконта, принимая ее, например, на уровне процентной ставки рефинансирования Центробанка, что противоречит элементарным положениям финансовой системы и целевому назначению этой ставки.

Расчетное выражение для толщины утеплителя на основе формуле (3) с учетом (4) и после введения поправочного тарифного коэффициента (9) приведено в формуле (12). Приняв  $\lambda = 0,04$ , а значения  $I_{вк}$  и «К» из табл. 1, получаем числовой вид расчетного выражения (13).

В каждом из регионов РФ рассматривались два субъекта: наиболее и наименее холодные – и для них рассчитывались толщины утеплителей  $\delta$  (табл. 2). Кроме того, дополнительно рассмотрены Камчатский край, Магаданская область и Чукотский автономный округ по причине неблагоприятного сочетания значительных ГСОП и цен на тепловую энергию. В Центральном же

федеральном округе дополнительно рассмотрена Московская область. Величины тарифов на тепловую энергию приняты согласно приказу Федеральной службы по тарифам от октября 2013 года.

### Анализ результатов расчета

Итак, в табл. 2 даются округленные с кратностью 5 см решения для вариантов благоприятного и неблагоприятного экономического развития (см. выше).

Во-первых, выявляется существенное регулирование внутренних цен на природный газ в сторону занижения. Во-вторых, становится очевидным, что при обосновании величин  $C_T$  не учитывались особенности получения тепловой отопительной энергии от электростанций (например, ТЭЦ) с КПД, значительно меньшим, чем 1. Если первый фактор в расчетах табличных значений  $\delta$  удастся учитывать введением коэффициента  $I_{\text{БК}}$  (формулы (7) и (8)), то второй фактор, хотя реально присутствует, пока не поддается учету. Во всяком случае, нужно иметь в виду, что понижение расчетного КПД может повлечь увеличение толщины утеплителей  $\delta$  на 20–40% по сравнению с полученными значениями табл. 2.

Таким образом, повышение инфляции в неблагоприятном варианте экономического развития 2 и возникновение естественного при этом инвестиционного дефицита (это и обусловило переход от ИД = 0,5 в варианте 1 к заданию ИД = 1,0 в варианте 2) влечет снижение толщины утеплителей примерно в полтора раза. Полученные результаты не претендуют на категоричность, но дают повод проигрывать в расчетах иные варианты условий эксплуатации энергосберегающего оборудования.

### Выводы

■ Математическая модель непрерывного наращивания толщины утеплителей позволяет сформировать достаточно надежную базу для принятия решений с учетом реальной экономической динамики.

■ Соответствующие расчеты можно упрощать, не рассматривая схемы погашения возможных кредитов, и считать инвестиции как вложения собственных средств предприятия.

■ Расчетную стоимость энергии (электрической и тепловой) следует представлять средним ценовым значением за предстоящий период работы инвестиционного оборудования, рассчитываемым по предложенной методике.

■ Полученные результаты для варианта неблагоприятного экономического развития следует рассматривать как минимально допустимые и заведомо целесообразные. В пользу такого утверждения свидетельствуют и иные допущения, отмеченные в статье.

### Литература

1. Табунщиков Ю. А. В поисках истины // АВОК. 2014. № 6.
2. Дмитриев А. Н., Ковалев И. Н., Табунщиков Ю. А., Шилкин Н. В. Руководство по оценке эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия. М. : АВОК-ПРЕСС, 2005.
3. Гагарин В. Г. Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий // АВОК. 2009. №№ 1–3.
4. Горшков А. С. Об окупаемости инвестиций на утепление фасадов существующих зданий // Энергосбережение. 2014. № 4.
5. Ковалев И. Н. Инвестиционная оптимизация технических систем с непрерывно изменяемыми параметрами при проектировании // Энергосбережение. 2013. № 6.
6. Ковалев И. Н. Об окупаемости и рентабельности долгосрочных инвестиций // Энергосбережение. 2014. № 6. ■

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ «ПУЛЬСАР»**

**ДИСПЕТЧЕРСКАЯ**

Счетчик воды «Пulsar» с радио-выходом

Квартирный теплосчетчик «Пulsar»

Радиоканал

RS485

Радиоканал

Радиоканал

Радиоканал

GSM/GPRS

Распределитель тепла «Пulsar»

GSM/GPRS модем «Пulsar»

ООО НПП «ТЕПЛОДОХРАН» 390027, г. Рязань, ул. Новая, д. 51В.  
Тел./факс: (4912) 24-02-70. E-mail: info@teplvodokhran.ru  
www.teplvodokhran.ru

Реклама