

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ

Д. И. Амдаев

*Астраханский инженерно-строительный институт,
г. Астрахань (Россия)*

Большую долю в сфере теплоснабжения занимает централизованные системы теплоснабжения, как геотермальные так и традиционные. Но к сожалению системы распределения и транспортировки теплоносителей таких систем достаточно сложны (десятки, сотни и более элементов) и имеют большую протяженность (десятки километров) в связи с большой удаленностью геотермальных источников теплоты (скважины) от потребителей.

Обеспечение эффективности систем распределения теплоносителей с точки зрения уменьшения потерь энергии и эксергии особенно важно для низкопотенциальных систем: теплоснабжения, геотермального теплоснабжения, прибрежных океанических систем, использующих морскую воду и др.

Потери энергии и эксергии в основном складываются за счет тепловых потерь и потерь вследствие гидравлических сопротивлений.

Автором получены расчетные формулы для эксергетического к.п.д. систем различной конфигурации, структуры, сложности [1].

Результаты анализа представлены ниже в виде графических зависимостей (рис. 1–6).

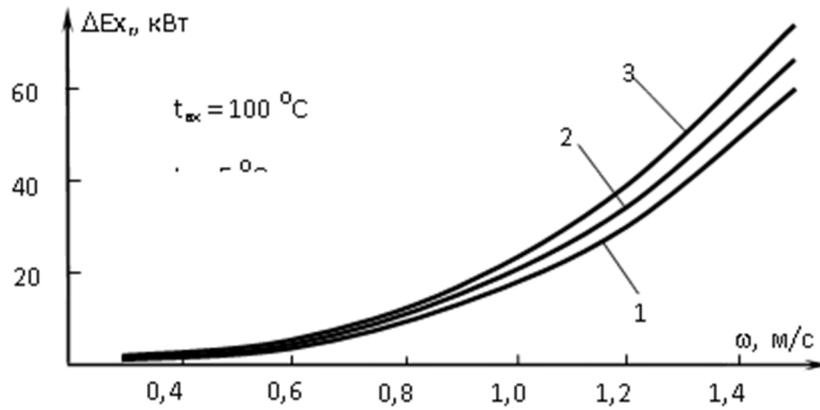


Рис. 1. Зависимость потерь эксергии вследствие гидравлических потерь при различных суммах коэффициентов местных сопротивлений ($\Sigma\xi$) в теплопроводе диаметром 150 мм и протяженностью 10 км от скорости движения теплоносителя для условий: $q_L = \text{нормативные}$: 1 – $\Sigma\xi = 50$; 2 – $\Sigma\xi = 250$, 3 – $\Sigma\xi = 500$

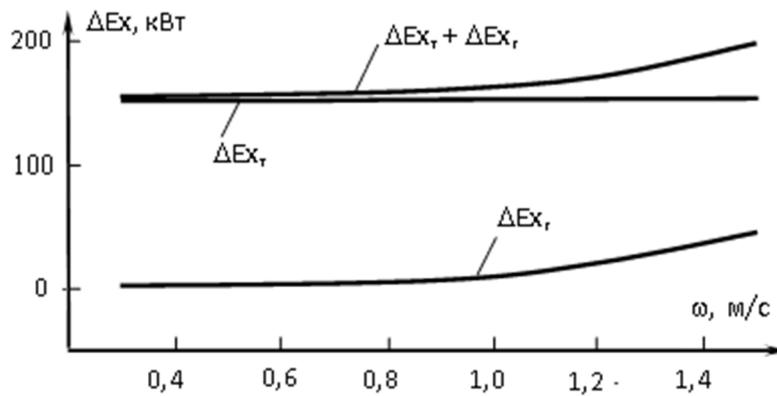


Рис. 2. Зависимость изменения потерь эксергии в теплопроводе диаметром 250 мм, протяженностью 5 км от скорости движения теплоносителя:
 ΔEx_r – потери эксергии вследствие гидравлических сопротивлений, кВт,
 ΔEx_t – потери эксергии вследствие тепловых потерь, кВт

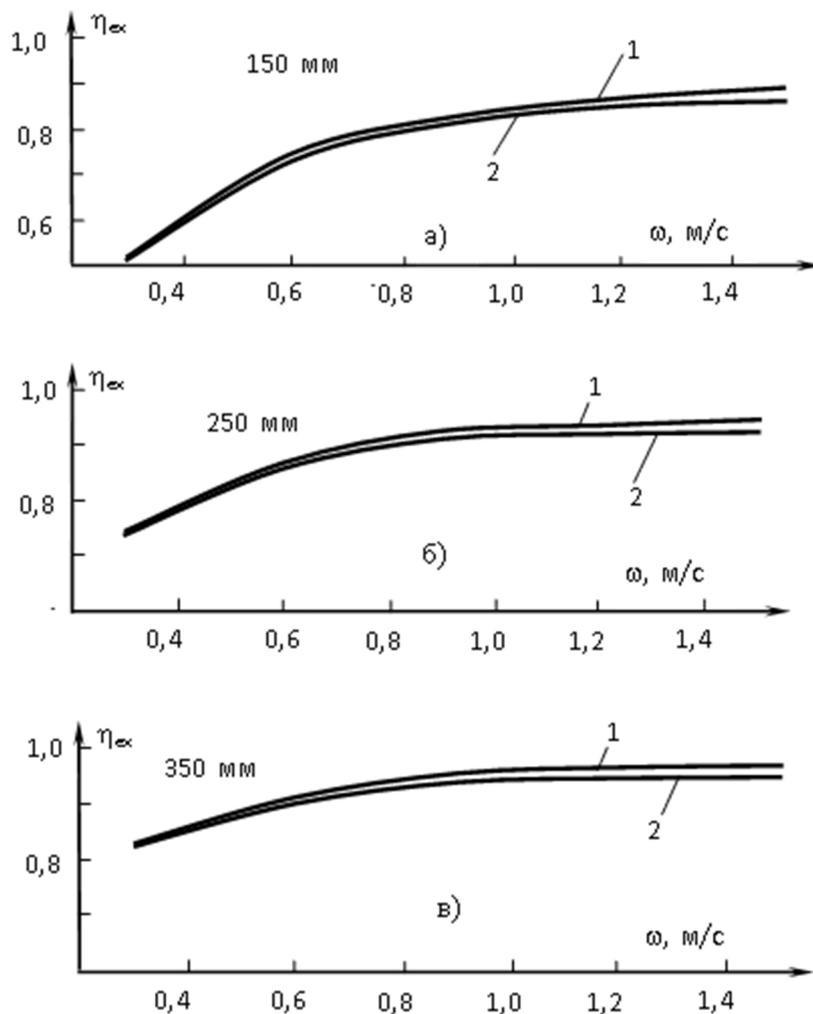


Рис. 3. Зависимость эксергетического к.п.д. теплопровода диаметром:
 а) 150 мм, б) 250 мм, в) 350 мм, с протяженностью 10 км
 от скорости движения теплоносителя для условий: $t_{вх} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_0 = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$,
 $q_L = \text{нормативные}$. 1 – с учетом только потерь эксергии вследствие тепловых потерь,
 2 – с учетом потерь эксергии вследствие тепловых и гидравлических потерь ($\sum \xi = 250$)

Выполнена оценка эффективности сложной действующей системы распределения теплоносителя (воды) (рис. 4) с температурой на входе $90\text{ }^{\circ}\text{C}$, расходом 80 кг/с и при температуре окружающей среды минус $16\text{ }^{\circ}\text{C}$. Количество уровней (разветвлений) в системе – 11, количество групп потребителей 27, общая длина теплопроводов $8,6\text{ км}$, количество участков: 1 – с диаметром теплопровода 300 мм , 2 – 250 мм , 3 – 150 мм , 5 – 125 мм , 18 – 100 мм , 16 – 80 мм , 8 – 70 мм .

Формула для определения эксергетического к.п.д. системы распределения теплоносителя, в обозначениях работы [1]:

$$\eta_{ex} = \eta_{ex\text{ н}1.1.1} \cdot \{ \eta_{ex\text{ 1.1.1-1.2.1}} \cdot \Phi_{1.2.1} \cdot [1 \cdot \eta_{ex\text{ 1.2.1-1.3.1}} \cdot \Phi_{1.3.1} \cdot \langle \eta_{ex\text{ 1.3.1-1.4.2}} \cdot \Phi_{1.4.2} + \eta_{ex\text{ 1.3.1-1.4.1}} \cdot \Phi_{1.4.1} \cdot (\eta_{ex\text{ 1.4.1-1.5.2}} \cdot \Phi_{1.5.2}) \rangle + \eta_{ex\text{ 1.2.1-1.3.2}} \cdot \Phi_{1.3.2} \times (\eta_{ex\text{ 1.3.2-1.4.3}} \cdot \Phi_{1.4.3} + \eta_{ex\text{ 1.3.2-1.4.4}} \cdot \Phi_{1.4.4})] + \eta_{ex\text{ 1.1.1-1.2.2}} \cdot \Phi_{1.2.2} \times$$

$$\begin{aligned}
& \times [2 \eta_{\text{ex}1.2.2-1.3.3} \cdot \varphi_{1.3.3} \cdot [3 \eta_{\text{ex}1.3.3-1.4.5} \cdot \varphi_{1.4.5} + \eta_{\text{ex}1.3.3-1.4.6} \cdot \varphi_{1.4.6} \times \\
& \times [4 \eta_{\text{ex}1.4.6-1.5.3} \cdot \varphi_{1.5.3} \cdot [5 \eta_{\text{ex}1.5.3-1.6.1} \cdot \varphi_{1.6.1} + \eta_{\text{ex}1.5.3-1.6.2} \cdot \varphi_{1.6.2} \times \\
& \times [6 \eta_{\text{ex}1.6.2-1.7.2} \cdot \varphi_{1.7.2} \cdot (\eta_{\text{ex}1.7.2-1.8.3} \cdot \varphi_{1.8.3} + \eta_{\text{ex}1.7.2-1.8.4} \cdot \varphi_{1.8.4}) + \\
& + \eta_{\text{ex}1.6.2-1.7.1} \cdot \varphi_{1.7.1} \cdot [7 \eta_{\text{ex}1.7.1-1.8.1} \cdot \varphi_{1.8.1} \cdot (\eta_{\text{ex}1.8.1-1.9.1} \cdot \varphi_{1.9.1} + \\
& + \eta_{\text{ex}1.8.1-1.9.2} \cdot \varphi_{1.9.2}) + \eta_{\text{ex}1.7.1-1.8.2} \cdot \varphi_{1.8.2} \cdot [8 \eta_{\text{ex}1.8.2-1.9.4} \cdot \varphi_{1.9.4} \times \\
& \times (\eta_{\text{ex}1.9.4-1.10.3} \cdot \varphi_{1.10.3} + \eta_{\text{ex}1.9.4-1.10.4} \cdot \varphi_{1.10.4}) + \eta_{\text{ex}1.8.2-1.9.3} \cdot \varphi_{1.9.3} \times \\
& \times [9 \eta_{\text{ex}1.9.3-1.10.2} \cdot \varphi_{1.10.2} + \eta_{\text{ex}1.9.3-1.10.1} \cdot \varphi_{1.10.1} \cdot (\eta_{\text{ex}1.10.1-1.11.1} \cdot \varphi_{1.11.1} + \\
& + \eta_{\text{ex}1.10.1-1.11.2} \cdot \varphi_{1.11.2})]9]8]7]6]5 + \eta_{\text{ex}1.4.6-1.5.4} \cdot \varphi_{1.5.4} \cdot [10 \eta_{\text{ex}1.5.4-1.6.3} \times \\
& \times \varphi_{1.6.3} + \eta_{\text{ex}1.5.4-1.6.4} \cdot \varphi_{1.6.4} \cdot [11 \eta_{\text{ex}1.6.4-1.7.3} \cdot \varphi_{1.7.3} + \eta_{\text{ex}1.6.4-1.7.4} \times \\
& \times \varphi_{1.7.4} \cdot [12 \eta_{\text{ex}1.7.4-1.8.5} \cdot \varphi_{1.8.5} + \eta_{\text{ex}1.7.4-1.8.6} \cdot (\eta_{\text{ex}1.8.6-1.9.5} \cdot \varphi_{1.9.5} + \\
& + \eta_{\text{ex}1.8.6-1.9.6} \cdot \varphi_{1.9.6})]12]11]10]4]3 + \eta_{\text{ex}1.2.2-1.3.4} \cdot \varphi_{1.3.4} \cdot [13 \eta_{\text{ex}1.3.4-1.4.7} \times \\
& \times \varphi_{1.4.7} \cdot [14 \eta_{\text{ex}1.4.7-1.5.5} \cdot \varphi_{1.5.5} + \eta_{\text{ex}1.4.7-1.5.6} \cdot \varphi_{1.5.6} \cdot [15 \eta_{\text{ex}1.5.6-1.6.6} \times \\
& \times \varphi_{1.6.6} + \eta_{\text{ex}1.5.6-1.6.5} \cdot \varphi_{1.6.5} \cdot (\eta_{\text{ex}1.6.5-1.7.5} \cdot \varphi_{1.7.5} + \eta_{\text{ex}1.6.5-1.7.6} \times \\
& \times \varphi_{1.7.6})]15]14 + \eta_{\text{ex}1.3.4-1.4.8} \cdot \varphi_{1.4.8} \cdot (\eta_{\text{ex}1.4.8-1.5.7} \cdot \varphi_{1.5.7} + \eta_{\text{ex}1.4.8-1.5.8} \times \\
& \times \varphi_{1.5.8})]13]2\}.
\end{aligned}
\tag{1}$$

В соответствии с (1) определены эксергетические к.п.д. всех участков системы для условий, указанных выше и на рис. 4. К.п.д. в целом системы $\eta_{\text{ex}} = 0,94$, по участкам – см. на рис. 6. Результаты расчетов представлены ниже на рис. 5, 6 и 7.

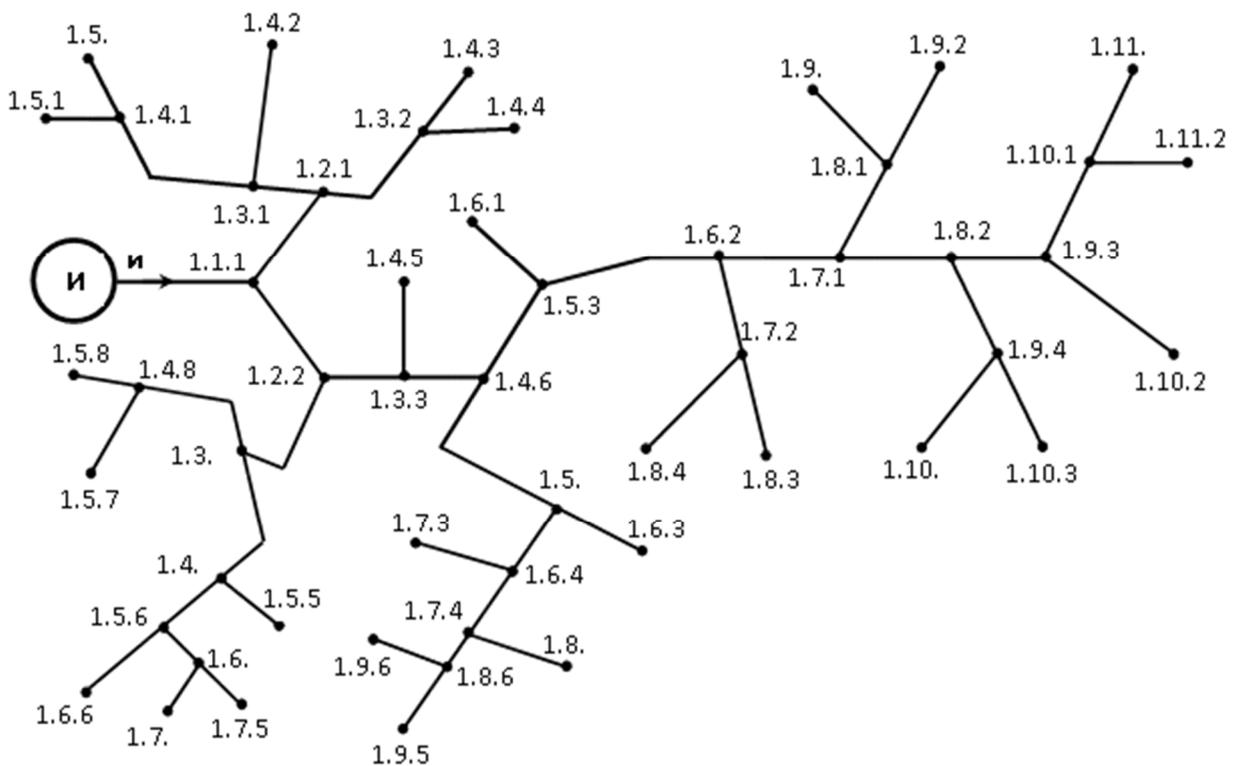


Рис. 4. Схема распределения теплоносителя системы теплоснабжения г. Знаменск.
Цифры на схеме – номера участков

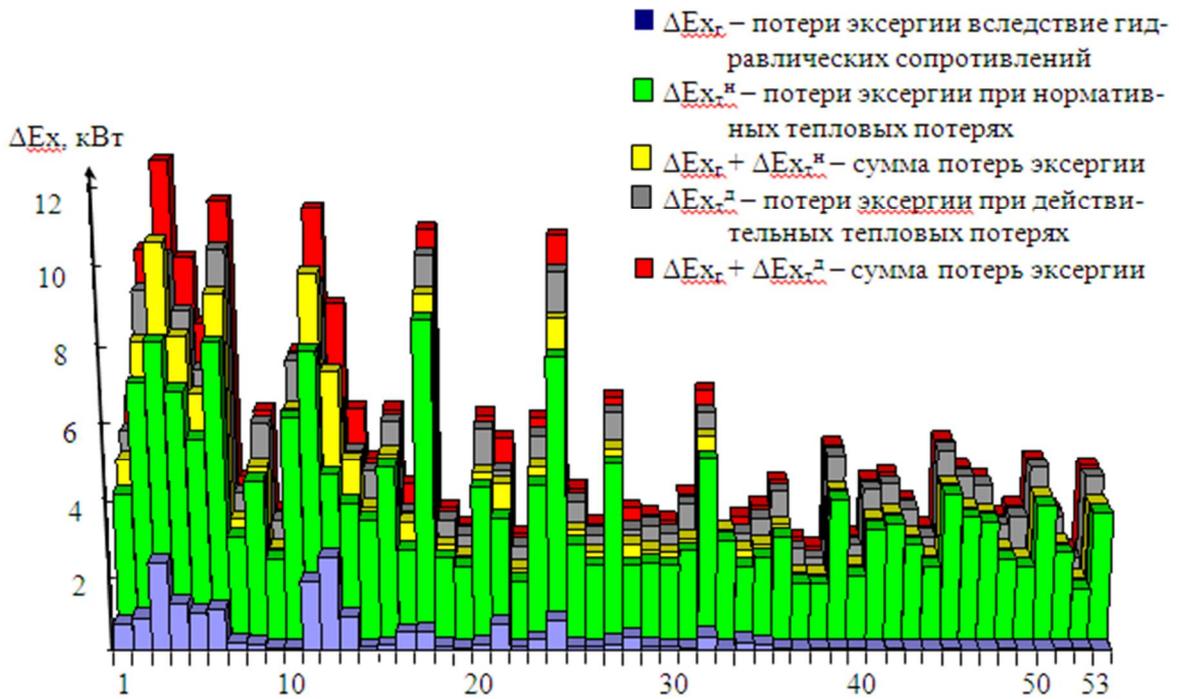


Рис. 5. Потери эксергии на участках системы распределения теплоносителей г. Знаменска. Обозначения ΔE_x указаны для величин от плоскости листа

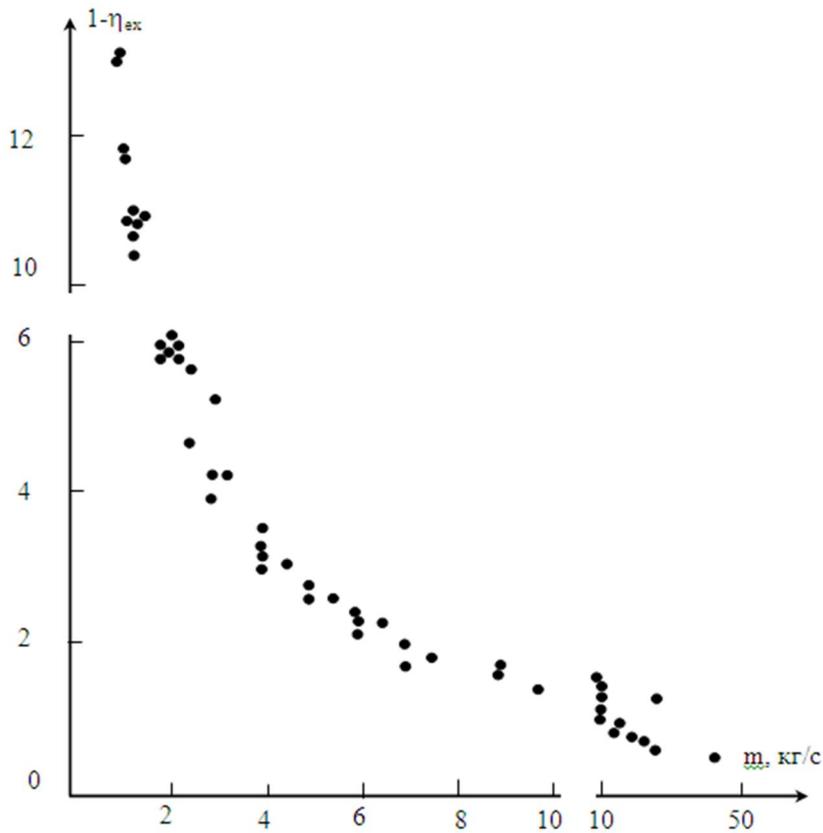


Рис. 6. Зависимость коэффициента потерь эксергии всех участков теплопроводов разных диаметров системы г. Знаменск от расхода теплоносителя в них

Литература

1. Ильин, А. К. Термодинамическая эффективность систем распределения геотермальных теплоносителей / А. К. Ильин, Д. И. Агдаев. – Ростов-на-Дону : ЮНЦ РАН, 2005. – 110 с.
2. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети / Е. Я. Соколов. – Изд-е 6-е. – М. : Изд-во МЭИ, 1999. – 472 с.
3. Эксергетические расчеты технических систем : справ. пособие / под ред. А. А. Долинского и В. М. Бродянского. – Киев : Наукова думка, 1991. – 359 с.