

Компактная система охлаждения мощных газовых лазеров

А. И. УЛИТЕНКО, В. В. ПРАДЕД

Рязанская государственная радиотехническая академия

В. А. ПУШКИН

Рязанское муниципальное предприятие тепловых сетей

Проектирование современного технологического оборудования на основе мощных газовых лазеров неразрывно связано с разработкой компактных систем охлаждения лазеров, обеспечивающих эффективный отвод теплоты при минимальном расходе охлаждающей воды. Для этого необходима интенсификация процессов конвективного теплообмена, что достигается применением теплообменников с каналами в форме плоского зазора с малым гидравлическим диаметром, а также переводом системы на более эффективный переходный режим течения жидкостей (взамен ламинарного).

При переходном режиме течения жидкости рост коэффициента теплоотдачи с увеличением скорости более значителен, чем при ламинарном, например в промышленных системах с кожухотрубными теплообменниками. Это объясняется меньшей толщиной пограничного слоя и, что более важно, зарождением турбулентности в потоке жидкости [1]. Однако ввиду неустойчивости этого процесса и значительной зависимости коэффициента теплоотдачи от геометрии системы рекомендуемые в литературе критериальные соотношения дают существенную погрешность и нуждаются в дополнительных проверке и уточнении [3]. В связи с этим была проведена серия модельных экспериментов на отдельных образцах плоских каналов, геометрические размеры которых максимально приближены к размерам проектируемого теплообменника.

Исследование теплообмена проводили по общепринятой методике [3] на установке, включающей набор контрольно-измерительных приборов для определения массовых расходов теплоносителей, их начальных и конечных температур и продольного распределения температуры по поверхности теплообмена. Ширину исследуемых каналов меняли в пределах 8...20 мм, высоту – 1...2 мм, длину – 0,5...1 м. В качестве теплоносителя использовали воду, температура которой изменялась от 10 до 60 °С, а скорость задавалась в пределах, соответствующих значениям критерия Рейнольдса $1,9 \cdot 10^3 \leq Re \leq 1,15 \cdot 10^4$.

Результаты проведенных экспериментов, обработанных методом теории подобия [4], представлены на рис. 1. Приведенная здесь же обобщенная кривая, построенная методом наименьших квадратов,

Results of studies of heat transfer in flat long-run channels in transient conditions of liquid flow are considered. Methods of the experiments and generalization of experimental data are described. Based on the obtained calculation relationship an easily knock-down liquid heat exchanger with heat load up to 40kW was designed. The design of the compact system of refrigeration of powerful gas lasers as used in scientific research, in holographic installations and also in medical apparatuses for diagnostics and photodynamic therapy of some oncological diseases is presented.

представляет собой логарифмическую зависимость модифицированного числа Нуссельта от критерия Рейнольдса (Re):

$$Nu_m = Nu/Pr^{0,43}$$

где Nu – критерий Нуссельта;

Pr – критерий Прандтля (параметр $Pr^{0,43}$ учитывает зависимость теплофизических свойств жидкости от температуры).

Данная кривая достаточно хорошо аппроксимируется критериальным уравнением

$$\text{Nu} = 0,37(\text{Re}^{0,5} - 27)\text{Pr}^{0,43},$$

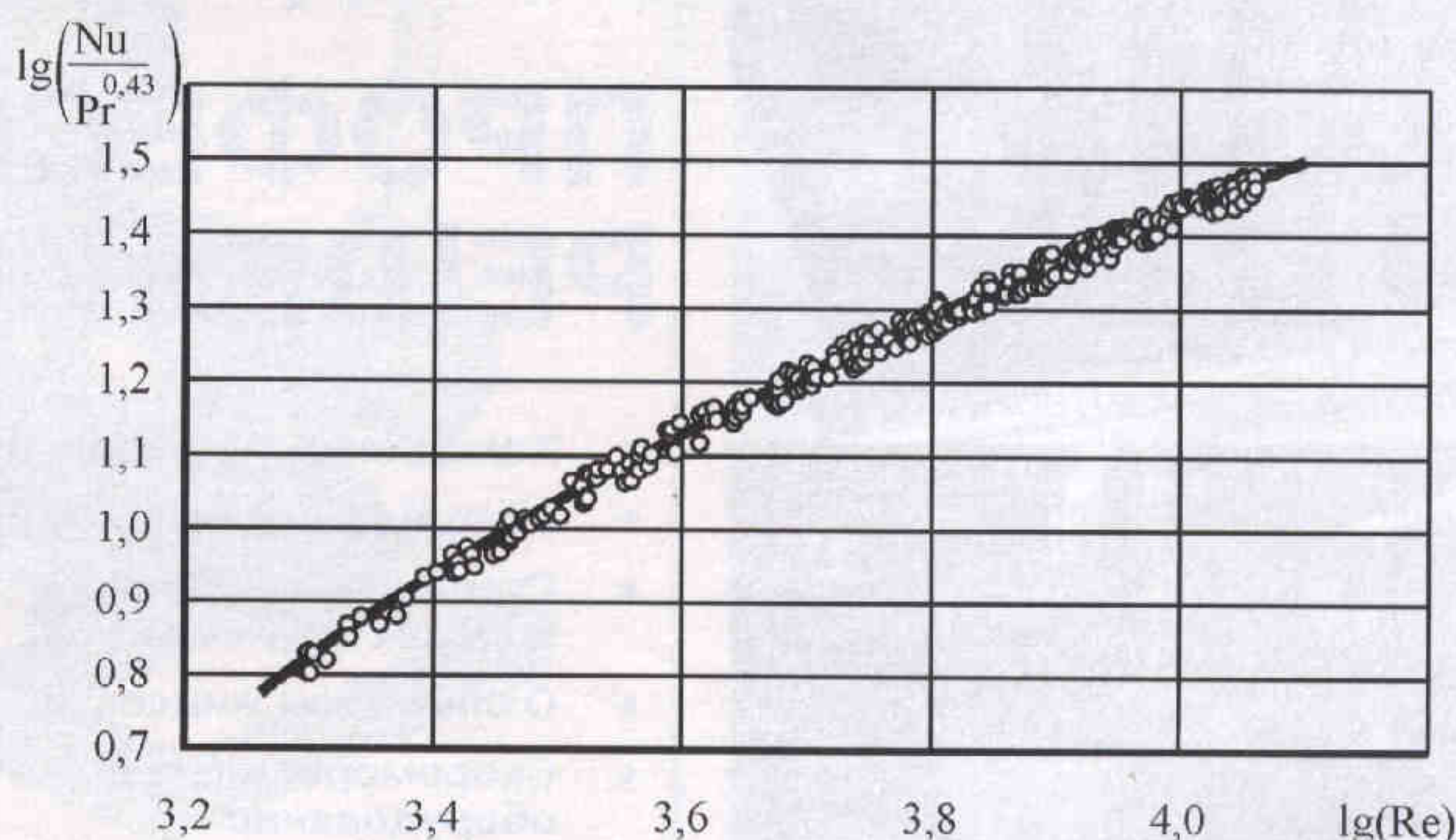


Рис. 1. Зависимость модифицированного критерия Нуссельта от критерия Рейнольдса

описывающим среднюю теплоотдачу в плоских каналах большой протяженности при переходном режиме течения с погрешностью, не превышающей $\pm 15\%$.

При установлении вида данного соотношения в качестве характерного размера системы принимали эквивалентный диаметр, равный учетверенной площади поперечного сечения канала, деленной на его смачиваемый периметр, а в качестве определяющей температуры — среднюю температуру жидкости.

Результаты проведенных исследований были использованы при разработке компактной системы охлаждения активных элементов газовых лазеров с рассеиваемой мощностью до 40 кВт (рис. 2). Система состоит из легкоразборного жидкостного теплообменника 1, нагнетателя низкого давления 2, нагнетателя высокого давления 3, стабилизатора пульсаций потока жидкости 4 и резервуара с запасом теплоносителя 5. В ее состав также входит электронный блок управления (на рисунке не показан), контролирующий работу системы и обеспечивающий отключение лазера 6 при возникновении аварийных ситуаций.

При разработке теплообменника 1 учитывали особенности технологии изготовления в условиях мелкосерийного производства, а также необходимость обеспечения свободного доступа ко всей поверхности теплообмена для устранения неизбежных отложений в каналах.

Активная поверхность теплообмена (рис. 3) выполнена в виде меандра, разделяющего две системы параллельных каналов 3 и 4, равномерно распределенных по обеим сторонам плоского алюминиевого блока 1 размерами $180 \times 580 \times 20$ мм (ширина $\times$ высота $\times$ толщина). Каналы шириной 1 мм и глубиной 18 мм образуют внутренний и внешний контуры теплообменника, каждый из которых загерметизирован плоскими крышками 2 с резиновым уплотнением 5. Коллекторы 6 и поворотные камеры 7, выполненные в виде поперечных пазов на внутренних поверхностях обеих герметизирующих крышек, предназначены для равномерного распределения потоков теплоносителей по каналам, а также для организации противоточной схемы движения жидкостей.

Система охлаждения выполнена в виде моноблока с габаритными размерами $640 \times 680 \times 280$ мм (ширина $\times$ высота $\times$ толщина) и массой 57 кг. Энергопотребление на прокачку теплоносителя внутреннего контура не превышает 800 Вт.

Как показали испытания, а также опыт длительного использования таких систем для охлаждения лазера ЛГ-510 с полной рассеиваемой мощностью 40 кВт, температура теплоносителя на входе активного элемента лазера соответствует расчетной и составляет 35°C . При этом расход охлаждаю-

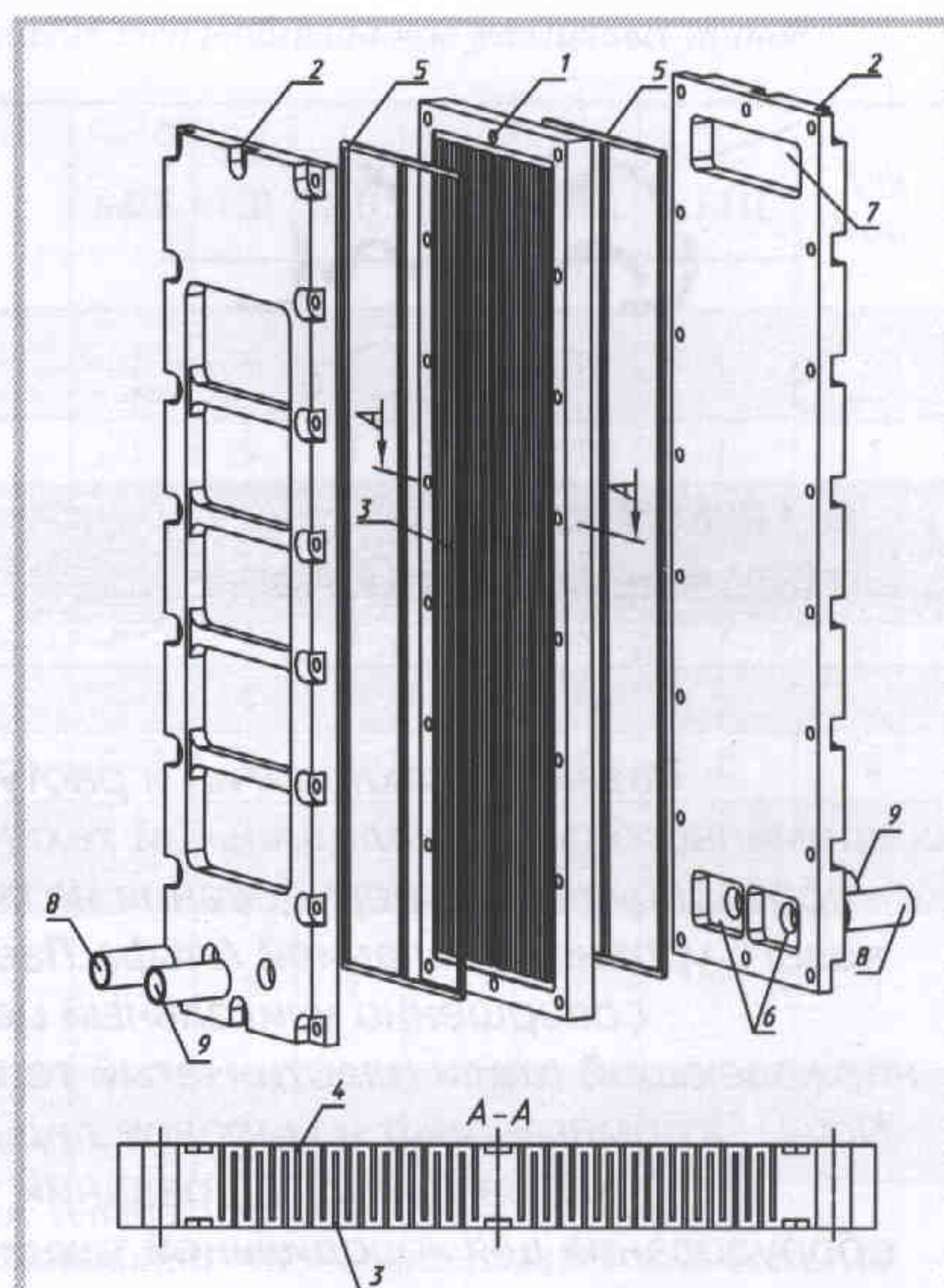


Рис. 3. Жидкостный теплообменник: 1 — алюминиевый блок; 2 — крышки; 3, 4 — жидкостные каналы; 5 — резиновое уплотнение; 6 — коллекторы; 7 — поворотные камеры; 8, 9 — соединительные патрубки

щей воды не превышает 10 л/мин, что свидетельствует о достаточно высокой эффективности системы.

В настоящее время данная конструкция широко применяется для охлаждения мощных газовых лазеров, применяемых при проведении научных исследований, в голографических установках, а также в медицинском оборудовании для диагностики и фотодинамической терапии онкологических заболеваний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конвективный тепло- и массоперенос /В. Каст, О. Кришер, Г. Райнике, К. Винтермантель; Пер. с нем. — М.: Энергия, 1980.
2. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. — М.: Энергия, 1977.
3. Справочник по теплообменникам. Т. 1 / Пер. с англ.; Под ред. В. С. Петухова, В. К. Шикова. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 560 с.
4. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: Справочник / Под ред. В. А. Григорьева, В. М. Зорина. — М.: Энергоиздат, 1982. — 512 с.

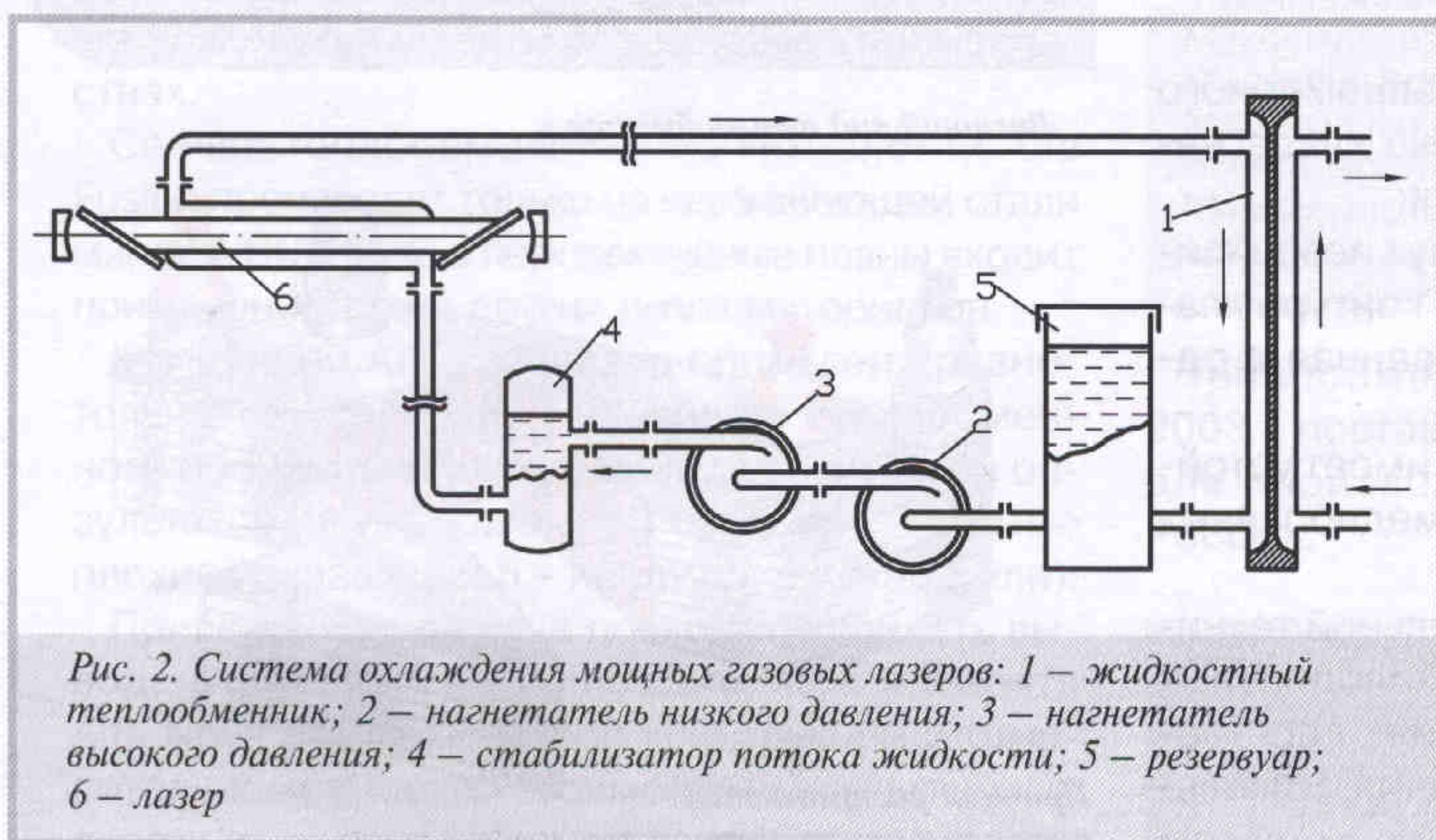


Рис. 2. Система охлаждения мощных газовых лазеров: 1 — жидкостный теплообменник; 2 — нагнетатель низкого давления; 3 — нагнетатель высокого давления; 4 — стабилизатор потока жидкости; 5 — резервуар; 6 — лазер