

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАБОЧЕЙ СМЕСИ ЛАЗЕРА

Виноградский Л. М., Имамов Р. Ф., Кучерова О. Н., Мирошников В. Л., Соболев С. К., Шулаев А. С.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» ИЛФИ, г. Саров Нижегородской обл.

Одним из основных факторов, влияющих на параметры лазерной установки, является отсутствие вредных примесей (азот, кислород, влага) в рабочей смеси (Р.С.), которые могут накапливаться в процессе работы установки и приводят к необходимости её замены. В качестве основного компонента в камере лазерной используется He^4 . После проведения серии экспериментов или при проведении профилактических работ с лазером He^4 выбрасывается в атмосферу ввиду его невысокой стоимости (≈ 12 руб./л). В некоторых случаях для улучшения основных параметров лазерной установки в составе Р.С. могут быть использованы дорогостоящие газы. В этом случае отработанную Р.С. необходимо собрать в специальные баллоны для возможности её повторного использования. Для выбора оптимального способа перекачки газа, оценки чистоты Р.С. и потерь были исследованы два способа перекачки (удаления) газа из лазерного объёма (Л.О.) в баллоны (в качестве газовой среды использовался He^4):

Способ № 1

В данном случае сбор отработанной газовой среды проводится в предварительно отвакуумированные ($P \leq 5 \cdot 10^{-3}$ мм рт.ст.) баллоны ёмкостью 40 литров типа Vitkovice (Чехия). Перетекание газа происходит за счет разности давлений в Л.О. и баллонах. Ёмкость приёмного баллона (40 л) соизмерима с ёмкостью Л.О., что повышает эффективность удаления рабочей среды. Исходное давление газовой среды в Л.О. принимается равное $P = 4$ атм.

В данном способе рассмотрены три возможных варианта утилизации:

1. Сбор газа в один баллон.
2. Сбор газа в два баллона.
3. Сбор газа в три баллона.

Как следует из результатов расчетов и проведенных экспериментов наименьшие потери рабочей среды создаются при сборе газа в три баллона – 12,5 % (см. таблицу).

В первом и втором вариантах потери составляют 50 % и 25 % соответственно (см. таблицу). При увеличении Л.О. ($V > 40$ л) вследствие различных доработок лазерных камер потери Р.С. будут повышаться.

Кроме того, при рассмотренном способе перекачки повторное использование (напуск газа в Л.О. до необходимого рабочего давления) Р.С. невозможно.

Чистота Р.С. при перекачке определяется чистотой отработанной смеси и степенью подготовленности приёмных баллонов (вакуумирование, обезгаживание).

Способ № 2

В данном случае используется комбинированный способ, когда на первом этапе часть Р.С. удаляется по способу № 1, а затем перекачивается из Л.О. в приёмные баллоны с использованием вакуумного мембранного насоса НВМ-3, что позволяет повысить уровень давления в приёмных баллонах. Для реализации данного способа перекачки был создан макет устройства, который включает в себя предварительно отвакуумированные баллоны и насос НВМ-3 (рис. 1 и 2). За прототип устройства взят передвижной сервисный вакуумно-компрессорный комплекс [1, 2].

С использованием макета были исследованы два варианта удаления Р.С. из Л.О.:

Вариант № 1 – Р.С. перетекает в один баллон ёмкостью 40 литров, и затем после выравнивания давления проводится дополнительная перекачка Р.С. из Л.О. в приёмный баллон насосом НВМ-3. Как показали результаты экспериментальной отработки данного варианта в Л.О. можно

достичь уровень остаточного давления газа $P_{\text{ост}} \approx 115$ мм рт.ст., потери газа в этом случае будут составлять $\approx 4\%$ (см. таблицу). На выходе мембранного насоса НВМ-3 (в приёмном баллоне) было достигнуто максимальное давление на уровне $P_{\text{max}} = 3,3$ атм.

Вариант № 2 – рабочая среда перетекает сначала в один из приёмных баллонов и после выравнивания давления ($P \approx 2$ атм) в баллоне и Л.О. он отключается. Затем открывается второй приёмный баллон и давление газовой среды в Л.О. снижается до $P \approx 1$ атм. После этого проводится дополнительная перекачка газа из Л.О. в баллон №2 насосом НВМ-3. Как следует из экспериментальных результатов, в Л.О. при откачке достигается остаточное давление $P_{\text{ост}} \approx 60$ мм рт.ст., потери газа в этом случае будут составлять $\approx 2\%$ (см. таблицу). На выходе мембранного насоса НВМ-3 (в приёмном баллоне) было достигнуто максимальное давление на уровне $P_{\text{max}} = 3$ атм.

Вышеперечисленные варианты также не позволяют повторно провести перекачку Р.С. из приёмных баллонов в Л.О. до необходимого рабочего давления на уровне $P_p = 4,0$ атм. Возможность достижения требуемого рабочего давления ограничивается перекачивающим устройством (мембранный насос НВМ-3) – $P_{\text{max}} = 3,0 \dots 3,3$ атм [3]. В данном случае достичь требуемый уровень давления в Л.О. можно только за счёт дополнительного напуска He^4 из стандартного баллона.

В таблице представлен сравнительный анализ различных способов перекачки дорогостоящего газа из Л.О. в специальные баллоны.

Сравнительный анализ различных способов перекачки Р.С.

| Способ утилизации | Варианты утилизации | Остаток газа в лазерном объёме, л при н.у | % потерь |
|-------------------|---------------------------|---|----------------|
| Способ № 1 | Вариант № 1 (один баллон) | ≈ 80 | ≈ 50 |
| | Вариант № 2 (два баллона) | ≈ 40 | ≈ 25 |
| | Вариант № 3 (три баллон) | ≈ 20 | $\approx 12,5$ |
| Способ № 2 | Вариант № 1 (один баллон) | $\approx 6,4$ | ≈ 4 |
| | Вариант № 2 (два баллон) | $\approx 3,2$ | ≈ 2 |

Анализ полученных результатов показал, что наиболее оптимальным является использование для перекачки Р.С. способа № 2 (вариант № 2). Исходя из этого был разработан макет устройства, с использованием которого была проведена серия экспериментов. Пневматическая схема макета и его внешний вид представлены на рис. 1 и 2 соответственно.

Экспериментальная отработка макета устройства проводилась с использованием He^4 марки 6.0, чистота которого контролировалась на всех этапах технологического процесса заполнения Л.О. газом и его последующего удаления в баллоны «Vitkovice» емкостью 40 л. Хроматографический анализ утилизированного газа после его перекачки насосом НВМ-3 показал, что содержание кислорода и азота в нем находится на уровне $0,7 \cdot 10^{-3}\%$ об., что соответствует содержанию этих примесей в баллонах с особо чистым гелием марки 6.0. Из этого можно сделать вывод, что насос НВМ-3 не вносит в состав газа примеси по кислороду и азоту на заметном уровне.

С использованием макетного образца была проведена перекачка отработанной Р.С. из Л.О. в приёмные баллоны после проведения серии экспериментов с лазерной установкой. Полученные результаты подтвердили работоспособность принятой схемы утилизации Р.С. и показали возможность реализации замкнутой схемы использования Р.С. Потери газа составили $\approx 5\%$, при этом остаточное давление в Л.О., составило $P_{\text{ост}} = 150$ мм рт. ст. После перекачки Р.С. в приёмные баллоны был проведен её хроматографический анализ, по результатам которого было определено содержание примесей, составило на уровне $\text{N}_2 = 3,5 \cdot 10^{-3}\%$ об., $\text{O}_2 = 2,8 \cdot 10^{-3}\%$ об., что практически совпадает с чистотой исходного газа.

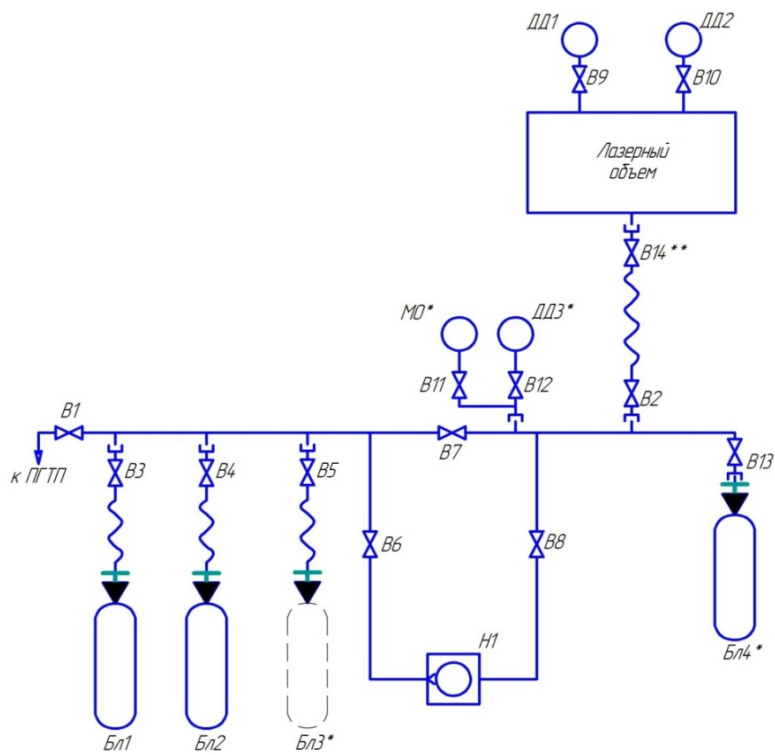


Рис. 1. Пневматическая схема макета устройства для перекачки Р.С.

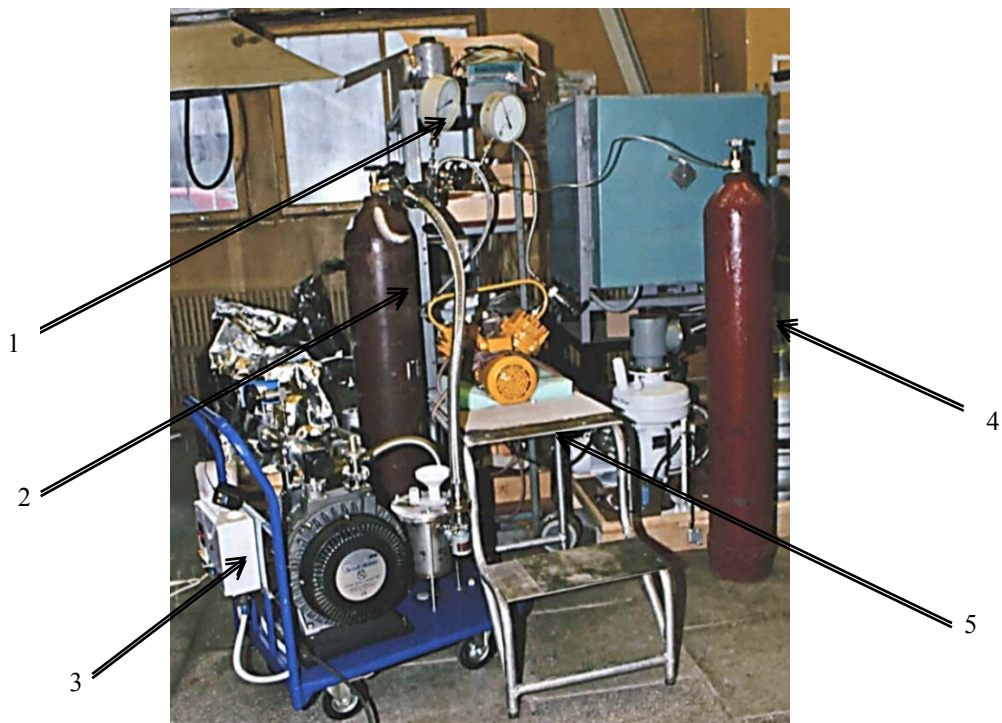


Рис. 2. Внешний вид макета устройства для перекачки Р.С.: 1 – средства измерения, 2 – имитатор Л.О., 3 – передвижной вакуумный пост, 4 – приёмный баллон, 5 – мембранный вакуумный насос НВМ-3

После проведения отработки различных вариантов перекачки Р.С. можно сделать вывод о необходимости оптимизации процесса удаления Р.С. из Л.О. Для этого необходимо подобрать оборудование, которое позволит снизить остаточное давление Р.С. в кювете при перекачке (для уменьшения потерь) и повысить максимальное давление в приемных баллонах. Для используемых в настоящее время Л.О. и имеющегося оборудования оптимальным вариантом может быть достижение остаточного давления в Л.О. на уровне $P_{\text{ост}} = 5$ мм рт.ст. и максимального давления в приёмных баллонах на уровне $P = 50$ атм. Также необходимо предусмотреть фильтрующие устройства, позволяющие очищать Р.С. (удалять вредные примеси) при последующем напуске её в Л.О. Это позволит реализовать замкнутый цикл использования дорогостоящих газов с потерями на уровне $\approx 0,2$ %. На основе проведенных экспериментов будет разрабатываться техническое задание на изготовление данного устройства.

Список литературы

1. Виноградский Л. М., Григорович С. В., Мазурин И. М. и др. Свидетельство на полезную модель № 51168, заявка 200512212422 от 12.07.2005 г.
2. Девятая Всероссийская школа для студентов, аспирантов, молодых учёных и специалистов по лазерной физике и лазерным технологиям: сборник докладов / Под общ. ред. С. Г. Гаранина.– Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2015. С. 250.
3. Фролов Е. С., Минайчев В. Е., Александрова А. Т. и др.: Вакуумная техника: Справочник / Под общ. ред. Е. С. Фролова, В. Е. Минайчева. М.: Машиностроение, 1992. С. 480: ил.