

УДК 629.123

Малахов А.В.

Национальный университет «Одесская морская академия»

Колезаев М.А.

Национальный университет «Одесская морская академия»

Бражник И.Д.

Национальный университет «Одесская морская академия»

МЕТОД ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ТРЮМОВ НА ТАНКЕРАХ

В работе дано описание разработанного метода принудительной вентиляции трюмов на танкерах. Сформулированы основные пути модернизации судовых систем инертных газов. Показаны преимущества технологии принудительной вентиляции. На основе результатов исследований показаны основные преимущества разработанного метода. В ходе натурных исследований подтверждена адекватность научных гипотез, математической модели и установлены показатели эффективности разработанного метода.

Ключевые слова: грузовой трюм, танкер, система инертных газов, концентрация кислорода, скорость вентиляции, поле давления.

Постановка проблемы. На всех танкерах в мире используется контур производства и подачи инертных газов (далее – ИГ). Он включается в работу при использовании линий подачи груза в трюм танкера и при работе систем очистки трюмов. Его использование на судне обычно является предварительной стадией при операции получения новых грузов. Использование на танкерах системы ИГ является обязательным, что, начиная с 1978 г., регламентируется решением ИМО [1, с. 118].

При заполнении трюма ИГ вытесняют воздух. Концентрация кислорода в трюме должна снижаться до значений менее 8%. В этом случае микроатмосфера внутри трюма с точки зрения возникновения пожаров или взрывов считается безопасной.

Все судовые контуры производства, обработки и подачи ИГ, входящие в систему ИГ танкеров, являются универсальными и содержат однотипное оборудование и магистрали. При анализе возникающих на них судовых проблем установлено, что чаще всего они связаны с техническими недостатками системы ИГ.

Анализ технологических недостатков в работе систем ИГ на танкерах показал, что основным недостатком является завышенная продолжительность процесса вентиляции. В конечном

итоге, при работе танкера это приносит большие убытки.

Главной причиной длительной вентиляции трюмов танкера ИГ является несовершенство используемых технологий. Вытеснение воздуха из всего рабочего объема трюма происходит только за счет процессов естественной конвекции и диффузии без использования каких-либо принудительных механизмов увеличения скорости процесса массообмена воздуха и ИГ.

Анализ последних исследований и публикаций. Вынужденный подъем воздуха в трюме вызывается действием выталкивающей силы от подаваемых в трюм ИГ. Эта сила появляется из-за изменения плотности вследствие взаимосвязанных между собой процессов теплопереноса и передачи массы из-за различных концентраций ИГ и воздуха. Температурная стратификация потока ИГ в смеси с воздухом по высоте трюма также является одним из факторов, влияющих на скорость вытеснения воздуха из трюма судна [2, с. 42]. Именно она реализует механизм передачи энергии от ИГ к воздуху. В работе [3, с. 118] показано, что при изменении температуры от 20 до 800С плотность воздуха изменяется на 20%, от 1,2 до 0,99 кг/м³.

В работе [2, с. 81] показано, что в случае вынужденной конвекции поле течения в замкну-

том объеме перестает зависеть от механизмов теплопередачи и текущего поля температур.

В применении к вентиляции грузового трюма ИГ наиболее близкими являются результаты работ [4; 5], в которых рассмотрена тепловая конвекция в трехмерном прямоугольном объеме с открытым верхом. Эксперименты проводились в диапазоне чисел Рэлея от 100 до 108. Для случая передачи тепла от одной нагретой стенки к другой были получены безразмерные профили температуры и скорости. В результате установлено, что:

- при числах Рэлея $Ra < 10^3$ в прямоугольном объеме возникает одна ячейка со слабой стационарной циркуляцией. Жидкость, нагретая у стенки, поднимается вверх, а затем опускается вниз около холодной стенки. По ширине всего объема течение направлено только вертикально;

- при числах Рэлея $10^3 < Ra < 10^5$ градиент температуры вблизи стенок возрастает, а во внутренней области течения остается постоянным;

- распределение скорости в диапазоне чисел Рэлея от $3 \cdot 10^4$ до $3,6 \cdot 10^6$ характеризуется симметричностью относительно вертикальной оси симметрии рассматриваемого объема. Рост числа Рэлея свидетельствует о пространственном увеличении по ширине зоны ядра потока с небольшими значениями скорости локализации. Также возникает концевая область течения с высокими значениями скорости потока вблизи жестких вертикальных стенок.

В работах [2; 4; 5] в качестве нижней границы возникновения вторичных течений в замкнутом прямоугольном объеме приводятся различные числа Рэлея. Общий диапазон разброса полученных значений составляет от $Ra = 2,1 \cdot 10^5$ до $Ra = 3,9 \cdot 10^5$. Более сложные структуры потока возникают согласно данным работы [4, с. 107] при числах Рэлея $Ra > 10^6$. В этом случае наблюдается возникновение многоячеистых структур со слабыми сдвиговыми течениями на их границах.

Постановка задания. Исследования механизма использования подачи струй ИГ в грузовой трюм судна проводятся для решения задачи о сокращении времени вентиляции грузового трюма танкера. Цель исследований заключается в разработке новых принципов функционирования системы генерирования и подачи ИГ в грузовые трюмы танкеров, обеспечивающих существенное повышение качества эксплуатации судна за счет изменения технологии вентиляции трюмов и снижения вероятности аварий, связанных с качеством и длительностью работы таких систем.

Изложение основного материала исследований. Метод принудительной подачи ИГ в грузовой

трюм танкера основан на структуре движущихся с малыми скоростями потоков воздуха и ИГ внутри ограничивающих жестких стенок. Существенные изменения эпюр скорости, завихренности и температуры имеют место только в угловых зонах трюма. По этой причине очень важно подавать струи ИГ именно в ядро восходящего воздушного потока. В этом случае турбулизация устойчивого течения в средней части грузового трюма танкера будет приводить только к сокращению времени процесса его вентиляции.

Важным вопросом является количество источников струй ИГ и угол раскрытия – их факела. Меньшие углы раскрытия будут приводить к удлинению струи ИГ и увеличивать зону турбулизации ядра потока воздуха по высоте трюма. Большие углы будут влиять на интенсификацию процесса тепло- и массопереноса в угловых зонах нижней части грузового трюма. По этой причине на стадии экспериментального изучения процесса принудительной вентиляции грузового трюма при помощи ИГ были использованы три технологические схемы, изображенные на рисунке 1.

Первая схема содержала только один источник струи ИГ. Он располагался в центральной точке грузового трюма. В ходе экспериментов использовалось три сопла с углами раскрытия конуса факела вытекающей струи α соответственно равными 160° , 90° и 30° .

Вторая схема содержала четыре источника струй ИГ. Сопла устанавливались по диагонали в центрах четырех одинаковых прямоугольных зон на дне трюма. Использовались сопла с углом раскрытия конуса факела струи 30° . Этот угол применялся для исключения взаимного влияния струй ИГ при их истечении в воздушное пространство.

Третья схема – комбинированная. В ней было пять источников струй ИГ с углом раскрытия факела струи 30° . В начале процесса подачи ИГ использовались краевые сопла, а при снижении исходного значения концентрации кислорода в воздухе на 30% подача ИГ происходила только из центрального сопла.

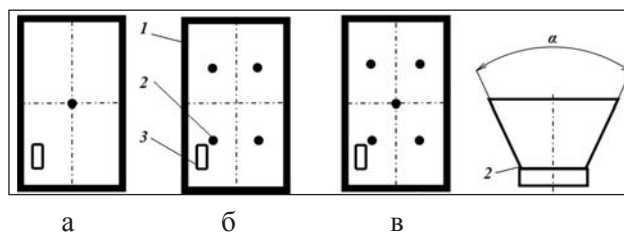


Рис. 1. Схемы подачи струй ИГ в грузовой трюм
а – первая схема; б – вторая схема;
в – третья схема. 1 – грузовой трюм;
2 – сопло подачи ИГ;
3 – выходное люковое отверстие

В соответствии с тремя схемами подачи ИГ в грузовой трюм, были измерены значения величины концентрации кислорода. Измерения проводились одновременно на различных высотах в шести грузовых трюмах. Поскольку при проведении экспериментов главным вопросом являлся выбор наиболее результативной схемы подачи ИГ, то длительность работы газоанализатора была ограничена периодом в 5 часов.

В ходе экспериментов установлено, что самый лучший угол распыла ИГ соответствует величине 30°. Получаемые в этом случае значения концентрации кислорода были наименьшими. Это объясняется большей дальностью действия струи вдуваемых ИГ и соответственным увеличением зоны конвективного взаимодействия ИГ с воздухом.

Качество работы всех трех технологических схем подачи ИГ хорошо видно на рисунке 2. Наилучший результат сокращения времени работы системы был достигнут с использованием третьей технологической схемы. Изменения в лучшую сторону при прочих равных условиях привели к дополнительному уменьшению концентрации кислорода на 3,1%. Как видно из графиков, использование принудительной подачи приводило к количественному, но не качественному расхождению в изменениях во времени концентрации кислорода внутри трюма.

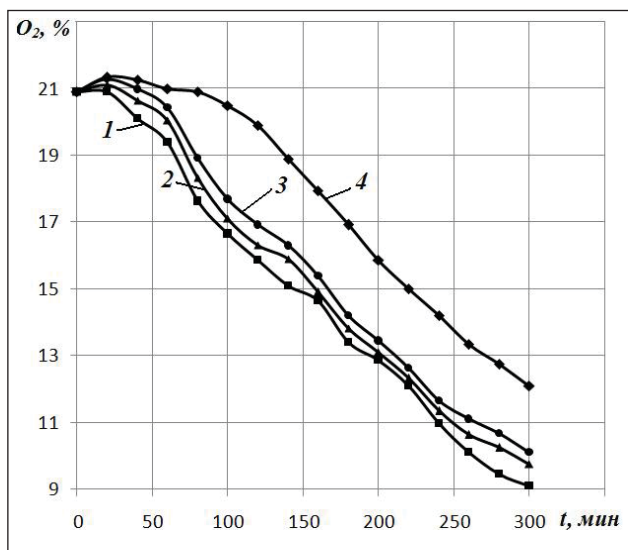


Рис. 2. Скорость изменения концентрации кислорода 1 – схема № 1; 2 – схема № 2; 3 – схема № 3; 4 – стандартная подача ИГ

Полученные результаты показывают, что метод принудительной подачи ИГ внутрь трюма приводит к получению основного результата – сокращению времени вентиляционной обработки трюмов танкера перед получением нового груза.

Экспериментально установлено, что в процентном соотношении улучшение процесса вентиляции трюма при переходе от естественной к принудительной вентиляции трюма составило 13,5%, а сокращение затраченного времени при прочих равных условиях составило 56,47%.

В ходе вытеснения воздуха при помощи ИГ температура внутри грузового трюма танкера постоянно изменяется. Процесс ее изменения во времени по высоте танка был также изучен. В результате, было установлено, что по аналогии с процессом изменения концентрации кислорода внутри пространства трюма также наблюдается стабилизация температуры воздуха и ИГ.

При сравнении результатов измерений температуры на выходе из трюма при стандартной и принудительной вентиляции установлено, что стабилизация в последнем случае также наступает ранее. Температурный градиент, составляющий – 17°С, достигался за время, меньшее на 38,18% по сравнению со стандартной операцией вентиляции грузового трюма танкера.

Все дальнейшие исследования судовой системы принудительной подачи ИГ должны быть направлены на получение данных о характере изменения концентрации кислорода в зависимости от механизмов интенсификации конвективного переноса. Одним из технических решений в этом случае может быть изменение уровня подачи ИГ внутрь грузовых трюмов танкера по высоте в зависимости от степени вытеснения кислорода из рабочего объема трюма.

Выводы:

1. Анализ технологических недостатков в работе систем ИГ на танкерах показал, что основным недостатком является завышенная продолжительность процесса вентиляции, что приносит убытки.

Решением этой проблемы может стать использование процесса принудительного вдува ИГ внутрь трюма с интенсификацией процессов конвективного массопереноса.

2. Наилучшие результаты по снижению концентрации кислорода внутри трюма были получены при использовании величины угла распыла ИГ равной 30°. Это объясняется большей дальностью действия струи вдуваемых ИГ и соответственным увеличением зоны взаимодействия ИГ с воздухом.

3. Переход от естественной к принудительной вентиляции ИГ грузовых трюмов танкера дает сокращение времени технологического цикла на 56,47%. В этом случае температурный градиент между воздухом и ИГ, составляющий – 17°С, достигается также раньше на 38,18%.

Список литературы:

1. Международная конвенция MARPOL 73/78.
2. Джагурия Й. Естественная конвекция. Тепло- и массообмен. М.: Мир, 1983. 400 с.
3. Теплофизические свойства технически важных газов при высоких температурах и давлениях: справочник / В. Зубарев, А. Козлов, В. Кузнецов и др. М.: Энергоатомиздат, 1989. 232 с.
4. Elder J. Turbulent free convection in a vertical slot. Journal of fluid mechanics. March 2006. Volume 23. Issue 1. P. 99–111.
5. Eckert E., Carlson W. Natural convection in an air enclosed between two vertical plates with different temperatures. International Journal of Heat and Mass Transfer. 1961. № 2. P. 106–120.

МЕТОД ПРИМУСОВОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТРЮМІВ НА ТАНКЕРАХ

У роботі описаний розроблений метод примусової вентиляції трюмів на танкерах. Сформульовані основні шляхи модернізації суднових систем інертних газів. Показані переваги технології примусової вентиляції. На основі результатів досліджень показані основні переваги розробленого методу. Під час натурних досліджень підтверджена адекватність наукових гіпотез, математичної моделі та встановлені показники ефективності розробленого методу.

Ключові слова: вантажний трюм, танкер, система інертних газів, концентрація кисню, швидкість вентиляції, поле тиску.

METHOD OF ARTIFICIAL VENTILATION FOR TANKER'S HOLDS

In the very article was described a developed method of artificial ventilation for tanker's holds. There were formulated main directions for ship's inert gas system modernization. Advantages of forced ventilation technology were shown. On the basis of investigation results main advantages of the developed method were shown. During experimental investigations has been confirmed an adequacy of scientific hypothesis, mathematical model and had been depicted main effectiveness indexes for the method developed.

Key words: cargo hold, tanker, inert gas system, oxygen concentration, ventilation speed, pressure field.