

Особенности применения термомасел в судовых системах обогрева



И. И. Костылев,
докт. техн. наук,
профессор, советник
ректора Государственного
университета морского
и речного флота (ГУМРФ)
им. адмирала
С. О. Макарова



В. А. Петухов,
докт. техн. наук,
профессор ГУМРФ
им. адмирала
С. О. Макарова

Для судов, работающих в суровых климатических условиях, одним из важнейших компонентов бортового оборудования является надежная система теплоснабжения с применением высокотемпературных незамерзающих органических жидкостей. По сравнению с альтернативными паровыми агрегатами термомасляные нагревательные установки позволяют существенно сократить энергозатраты и повысить коэффициент полезного действия тепловых систем.

Перспективы масштабного освоения арктического шельфа России и Северного морского пути как транспортного коридора определяют развитие современного флота. Крупнотоннажные специализированные суда успешно строятся как на отечественных верфях, так и за рубежом. Однако при обеспечении этих эпохальных проектов не обойтись и без судов меньших размеров, включая суда-снабженцы, буксиры, танкеры-челноки для работы в прибрежных и устьевых акваториях. С учетом климатических условий весьма существенным для энергетической установки является наличие надежной системы теплоснабжения с применением высокотемпературных незамерзающих органических жидкостей.

Применение органических теплоносителей в судовых системах обогрева является альтернативой паровому отоплению и эффективным решением благодаря повышенным температурам термомасел в пределах 150–350 °С при низком рабочем давлении. Это позволяет широко применять термомасла для разных потребителей тепла в судовой энергетике.

В термомасляных нагревательных системах органический теплоноситель циркулирует в замкнутых контурах обогрева с использованием циркуляционных насосов. Свойства термомасел сохраняются в течение многих лет работы практически без потерь (при условии соблюдения температурного режима его эксплуатации). Это приводит к низкой стоимости обслуживания и меньшим расходам на эксплуатацию всей термомасляной системы.

Для сравнения: в судовых паровых котлах безвозвратные потери пара и воды (в качестве теплоносителя) даже при надлежащем соблюдении всех норм и правил составляют свыше 5 %.

Паровые системы имеют и существенные недостатки. Так, с повышением требуемой температуры необходимо увеличивать давление пара в котле. При использовании парового отопления обязательно предусматривается система водоподготовки. Кроме того, для паровых технологий характерны коррозионно-активная среда и система размораживания трубопроводов при низких температурах.

Типы котлов

Использование органических теплоносителей на основе минеральных масел в береговых установках известно с 30-х годов XX века. Это были установки в химической промышленности, где требовался подвод тепла для химических и технологических процессов с температурой выше 100 °С без повышенного давления в системе. Помимо этого применению термомасел отдавалось предпочтение в связи с возможностью соблюдения более равномерного и точно регулируемого температурного режима.

В судовой энергетике органические теплоносители на основе минеральных масел нашли применение значительно позже. В 60-х годах прошлого столетия термомасла начали использовать в котельных установках на судах в Дании, Финляндии, Франции, Норвегии, Швеции, а позже их стали применять в Испании и Японии.

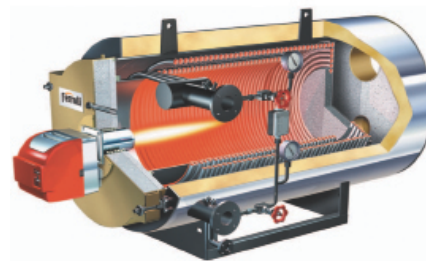


Рис. 1. Разрез топочного пространства котла типа ELICOIL



Рис. 2. Вертикальная компоновка термомасляного котла

Такие котлы существуют как в горизонтальной (рис. 1), так и в вертикальной компоновке с потолочным расположением топочного устройства (рис. 2).

Предопределяющих факторов в пользу таких систем довольно много. Система циркуляции термомасла имеет замкнутый контур. Теплоноситель в системе имеет более высокую температуру при атмосферном давлении. Рабочая температура достигает 300 °С; перепад между начальной и конечной температурами термомасла – около 40 °С. Возможны технологии с повышенным давлением теплоносителя, зависящим от гидравлического сопротивления системы и количества подключаемых потребителей.

Термомасляные системы предусматривают:

- повышенное значение КПД котла за счет снижения тепловых потерь на деаэрацию и потери при продувках;
- простоту эксплуатации и обслуживания (полная автоматизация системы, не требующая постоянного присутствия обслуживающего персонала);
- отсутствие необходимости в химической подготовке теплоносителя;
- защиту от замерзания при длительных зимних остановках;
- меньший срок окупаемости за счет исключения недостатков (потерь), присущих схемам с паровыми котлами;
- отсутствие коррозионных разрушений внутри системы;
- возможность производства пара с помощью включенного в установку парогенератора с подогревом от органического теплоносителя.

На рис. 3 показан котел с органическим теплоносителем горизонтальной компоновки, установленный на единой раме с группой насосов. Котлы типа ELICOIL No используют в качестве теплоносителя термомасло. Они создаются из стандартных труб с одним или несколькими рядами концентрических колец в цилиндрическом герметичном корпусе, изготовленном из листовой стали, генерируют насыщенный пар низких параметров.

Такой котел имеет максимальную температуру теплоносителя 300 °С (ми-

неральное масло ELICOIL No) или 350 °С (синтетическое масло) и перепад температур между подачей и возвратом теплоносителя около 40 °С. Котлы ELICOIL No могут быть оснащены горелками на природном газе, на сжиженном газе или на дизельном топливе.

Особенности масел

Коэффициент полезного действия термомасляного котла в стандартной конфигурации составляет около 89 % без экономайзера и воздухоподогревателя. Оснадив котел встроенным или отдельно стоящим воздухоподогревателем, можно повысить КПД на 3... 5 %.

В качестве органического теплоносителя могут применяться масла разных марок и производителей, но следует учитывать, что каждая марка масла имеет свое узкое назначение и присущие ему свойства. Например: масла с одинаковой рабочей температурой могут значительно отличаться по вязкости и теплоемкости. Вязкость масла влияет на выбор мощности насоса. При «холодном» запуске котла неправильно выбранная мощность насоса может вызвать перегрев теплоносителя в трубах котла вследствие низкой скорости потока. Перегрев приводит к выпадению твердых фракций, закоксовыванию поверхностей.

Термомасло является экологически чистым теплоносителем, так как весь технологический цикл является закрытым, отсутствуют выбросы в окружающую среду. Комбинированное использование в термомасляных системах парогенераторов представляет собой один из простых способов получения насыщенного пара низких параметров, иногда необходимого для судовых нужд.

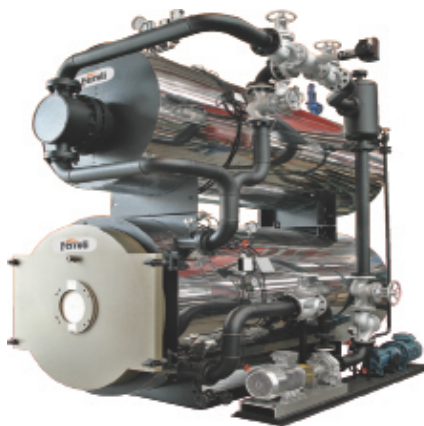


Рис. 3. Внешний вид и компоновка котла типа ELICOIL+ EVA с встроенным парогенератором

Наиболее распространенными органическими теплоносителями являются дифенильные смеси, дитоллилметан и теплоносители на основе минеральных масел. Последние применяются зарубежными судостроительными фирмами и в установках теплоснабжения.

Минеральные масла состоят из высокомолекулярных углеводородов (парафинового, ароматического и нафтоароматического рядов), которые получают из нефти.

Химический состав масла, получаемого из нефтей различных месторождений, колеблется в широких пределах, а именно: 2,7–12,9 % ароматических, 26,0–35,8 % нафтоновых и 51,0–71,0 % парафиновых колец. Парафиновые углеводороды, имеющие высокую температуру плавления, присутствуют в маслах в малых количествах, так как при очистке их обычно удаляют. Выпускаемые товарные масла в основном состоят из нафтоароматических соединений.

Выбор теплоносителя на основе масла

Чтобы выбрать масло в качестве теплоносителя, необходимо знать все его эксплуатационные свойства как теплопередающей жидкости. К их числу, прежде всего, следует отнести: максимально допустимую температуру применения; интенсивность теплообмена в нагревательных установках; максимально допустимые удельные тепловые потоки при эксплуатации.

Теплоносители на основе минеральных масел обладают низкой термической стойкостью. Мерой термической стойкости является температура, при которой начинается разложение теплоносителя, а показателями относительной стойкости обычно служат скорости формирования газообразных, низкокипящих и высококипящих продуктов. Процесс разложения теплоносителя (крекинг) под воздействием температуры приводит к образованию твердых углеродистых и газообразных продуктов. Твердые продукты выпадают в осадок, создавая на горячих поверхностях плотные пленки кокса. В процессе термического крекинга вязкость масляных теплоносителей вначале уменьшается, а затем возрастает.

Одним из основных критериев при выборе теплоносителя для судовых систем является температура вспышки. Ее величина определяет степень безопасности, что для судовых условий очень

Таблица. Основные физико-химические характеристики масла MobilTherm 594, 603, 605

MobilTherm	594	603	605
Вязкость, сСт при 40 °С	4,8	20	29
Вязкость, сСт при 100 °С	–	4,0	5,1
Плотность, г/см ³	0,845	0,865	0,872
Температура вспышки, °С	120	160	210
Температура застывания, °С	–42	–15	–15
Макс. допустимая температура масла, °С	205	290	320

важно. Пока еще нет такого отечественного теплоносителя на основе минеральных масел, который удовлетворял бы этому требованию полностью. Диапазон рабочих температур для термомасла выявляется по верхним и нижним пределам. Ограничение максимальной рабочей температуры определяют два фактора: температура разложения и температура дистилляции.

Температура разложения практически не зависит от давления. Структурное разрушение обычного термомасла происходит при температуре около 360 °С. Для хорошей работы установки и для предотвращения разрушения масла максимальная рабочая температура должна быть всегда на 30 °С ниже, чем его температура разложения.

Температура дистилляции предполагает разделение многокомпонентных жидких смесей на отличающиеся по составу фракции. Это происходит путем частичного испарения смеси и конденсации образующихся паров. Температура значительно зависит от давления и увеличивается по мере его повышения. Например, если температура дистилляции термомасла составляет 310 °С при атмосферном давлении, то она повышается до 340 °С при 3 барах. Кроме этого, для того чтобы избежать чрезмерного образования масляных паров, которые увеличивают проблемы циркуляции теплоносителя в котле (образованием паровых карманов, перегревом трубопроводов блока и т. д.), рабочая температура масла должна быть несколько ниже, чем температура дистилляции.

Таким образом, рабочая температура масла в герметичном котле может повышаться до значений, по крайней мере, на 30 °С ниже, чем температура разложения. Иными словами, ограничительным фактором является скорее температура разложения, а не температура дистилляции.

Необходимо подчеркнуть, что температура воспламенения масла не является таким важным фактором для выбора максимальной рабочей температу-

ры, так как в котле используется масло, имеющее рабочую температуру выше его температуры воспламенения. Органические теплоносители обязательно имеют высокую сопротивляемость на разложение и, следовательно, обеспечивают высокую тепловую устойчивость. Кроме этого, они имеют высокую сопротивляемость факторам старения. Хорошее масло может эксплуатироваться в течение длительного времени (более 3 лет).

Для примера основные физико-химические характеристики масла типа MobilTherm 594, 603, 605 приведены в таблице.

Эксплуатация термомастных котлов

Особенности эксплуатации систем теплоснабжения с органическим теплоносителем сводятся к следующим положениям.

Необходимо регулярно контролировать состояние масла, так как скорости изменения физико-химических показателей играют более важную роль, чем их абсолютные величины. Контролируемыми характеристиками масла являются: вязкость, кислотное число, температура вспышки (в открытом и закрытом тигле) и содержание нерастворимых веществ.

Качество масла-теплоносителя может ухудшиться по причине его нагрева в термомастном котле. Для того чтобы избежать возможных осложнений, используемый в системе циркуляционный насос (рис. 4) должен обладать способ-

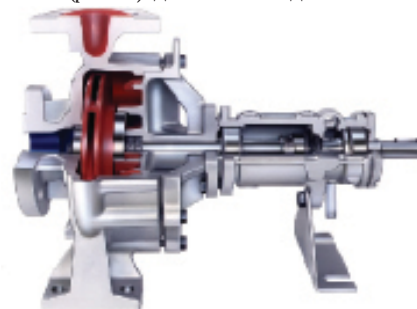


Рис. 4. Центробежный термомастный циркуляционный насос типа НТТ/СТТ

ностью создавать турбулентное течение масла через нагреватель со скоростью 2,00–3,55 м/с в зависимости от геометрии поверхности нагревателя.

В качестве одной из мер для предотвращения циркуляции теплоносителя через расширительную цистерну (рис. 5) может быть использовано U-образное колено, установленное ниже того места, где она соединяется с основной циркуляционной системой. В основной системе трубопроводов должна быть предусмотрена возможность вентиляции для уменьшения опасности возникновения паровых и воздушных пробок во время первоначального запуска системы. При необходимости создания повышенного давления следует избегать использования воды (например, при опрессовке систем), так как ее удаление из системы перед вводом в эксплуатацию является длительным и трудным процессом. Если даже незначительное количество влаги остается в системе, новое масло следует медленно нагреть до 110 °С при постоянном вентилировании. Затем температуру постепенно поднимают до рабочей температуры при периодическом выпуске паров.

Вся система в целом должна быть оснащена приборами для контроля над температурой масла и его расходом в критических точках, таких как боковые стенки котла. Котлы типа ТН имеют горизонтальную или вертикальную структуру, оснащены устройством предварительного нагрева воздуха дымовыми газами для повышения КПД и предназначены для мощности от 420 до 3000 кДж/ч.

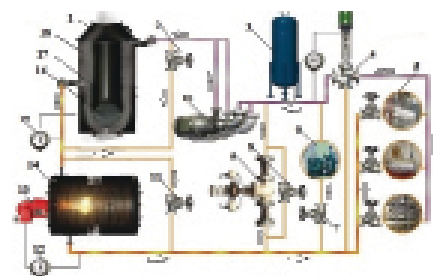


Рис. 5. Схема судовой термомастной циркуляционной системы:

- 1 – утилизационный котел; 2, 7, 8, 11 – клапан запорный; 3 – расширительная цистерна; 4 – пневматический клапан; 5 – потребители тепла; 6 – станция топливоподготовки; 9 – клапан контроля расхода теплоносителя; 10 – циркуляционный насос; 12, 15 – контрольно-измерительные приборы; 13 – горелка; 14 – вспомогательный котел; 16 – заслонка; 17 – коллектор выпускных газов о ГД; 18 – змеевик

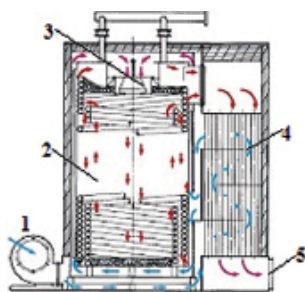


Рис. 6. Котел типа EPC-ES: а – поперечный разрез; б – внешний вид;
1 – воздуходувка; 2 – топка; 3 – форсунка; 4 – воздухоподогреватель; 5 – выход газов

Иногда требуется горячий воздух для бытовых нужд. Надежным и эффективным способом обогрева является использование воздухонагревателей с применением термомасла. Термомасло циркулирует в трубках, омываемых холодным воздухом. В результате нагрева получается горячий воздух, который затем используется в системах обогрева (калориферах) (рис. 6).

Анализ опыта эксплуатации применения термомасел в судовых котлах выявил некоторые недостатки, связанные в основном с низким качеством монтажных работ: протечки в уплотнениях соединительных устройств систем, загрязнения оребренных поверхностей, неисправности в системах автоматического управления котлом.

Преимущественное применение термомасляных котлов на судах ледового класса в последние годы обусловлено увеличением активности судоходства в районах Арктики и северного шельфа, что повышает их актуальность и заставляет более глубоко изучать их, а также повышать эффективность их технической эксплуатации. В связи с этим важным направлением повышения эффективности таких котлов является широкое внедрение двухтопливных (газ, мазут) топочных устройств. КПД таких котлов может достигать 92...93 %.

Термомасляный котел представляет собой совокупность параллельных змеевиков, соединенных входным и выходным коллекторами. Камера сгорания в нем – большого объема, с низкой удельной тепловой нагрузкой. Использование термомасляного котла оптимизирует потери напора и скорости масла в масляной системе, а также конвективного теплообмена в конвективном пространстве.

Автоматическое управление котельной установкой проводится контроллерами, один из которых в качестве примера приведен на рис. 7. Контроллер

GEFRAN типа 800V имеет следующие особенности:

- универсальный вход настраивается с лицевой панели;
- два выхода управления: реле, логика или аналоговый с функцией «тепло / холод»;
- 3 настраиваемых сигнализатора;
- 2 аналоговых выхода;
- 2 цифровых порта с настраиваемой функцией;
- дополнительный вход для трансформатора тока или дистанционной уставки;
- сигнализатор прерывателя нагревателя или короткого замыкания пробника;
- плавный пуск;
- автонастройка;
- ручной режим / авторежим;
- уставка, локальное/дистанционное управление.

Своевременная сажеобдувка конвективных змеевиков и оптимальное регулирование температуры органического теплоносителя на входе и выходе из котла могут дополнительно повысить КПД на 3...4%.

Для повышения эффективности котел необходимо оборудовать автоматическим воздушным байпасом, включающим воздухоподогреватель. Он должен использовать энергию выпускных газов и две заслонки, приводимые в действие сервоприводом с микропроцессорным управлением с датчиками контроля температуры точки росы и содержания серы в топливе, чтобы предотвратить выпадение конденсата и исключить возможность возникновения коррозии.

Опыт эксплуатации судовых систем теплоснабжения с органическим теплоносителем показал неоспоримые преимущества по сравнению с паровыми системами. Основное преимущество заключается в возможности получения теплоносителя в термомасляных



Рис. 7. Внешний вид контроллера GEFRAN типа 800

котлах с более высокой температурой в широком диапазоне эксплуатационных значений практически при атмосферном давлении, что позволяет повысить тепловой напор в подогревателях, и, соответственно, значительно уменьшить их массогабаритные характеристики.

При теплоснабжении с органическим теплоносителем повышается надежность всех элементов термомасляных систем (соединительных фланцев, сальников, прокладок и т.п.), исключается коррозия внутри труб и аппаратов. Кроме того, предотвращается замерзание систем при нахождении судов в условиях низких температур и тем самым значительно уменьшаются затраты на техническое обслуживание теплопередающих аппаратов в системе обогрева.

Повышенный температурный напор позволяет уменьшить поверхность подогревателей и получать насыщенный пар для всех судовых нужд при большем коэффициенте теплопередачи и меньших энергетических затратах, что широко используется для обогрева груза на танкерах. ■

Литература

1. Костылев И. И., Петухов В. А. Судовые системы: Учеб. пос. / ГМА им. адм. С. О. Макарова. СПб., 2010.
2. Руководство по техническому использованию судового термомасляного котла типа «ТН» итальянской фирмы «GARIONI NAVAL». [S.L.] 2004.
3. Инструкция, описание котельных установок типа ТН/V, ТН/AR, ТН/CP, ТНV, ТНM/V. [Б.м.] 2009.
4. Инструкция, описание котельных установок серии «TPC» фирмы «Babcock Wanson», Италия. [S.L.] 2011.