

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ И ТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ (материалы конгресса CIMAC 2013)

Обзор, включенный в этот выпуск, содержит перевод двух докладов, сделанных на Конгрессе CIMAC 2013.

Тематика первого из них относится к альтернативным экологически чистым источникам энергии на основе твердооксидных топливных элементов, которым свойственна высокая эффективность преобразования химической энергии в электрическую. Дальнейшее увеличение общего КПД системы возможно за счет использования тепла отработавших газов в газовой микротурбине. Общий КПД гибридной установки согласно результатам математического моделирования достигает 66,8 %. Данная установка была задумана как прототип силовой установки судна с электродвижением. Одним из недостатков топливных элементов является относительно большая инерционность процессов. В то же время судовая силовая установка должна обеспечить хорошую приемистость и, следовательно, маневренность судна. С учетом этих требований авторами разработана схема синхронного управления обоими источниками энергии — топливными элементами и микротурбиной — поддерживаемыми аккумуляторной батареей.

Второй доклад посвящен дизель-генераторам (АДГ) как источникам аварийного энергоснабжения атомных электростанций (АЭС). Отмечается, что атомными электростанциями производится от 13 до 18 % электроэнергии во всем мире. Срок эксплуатации АЭС, обычно составляющий 40 лет, по большей части продлевается по специальному разрешению. При этом, как правило, возникает необходимость модернизации или замены АДГ в связи с тем, что энергоемкость аварийных потребителей в ходе эксплуатации станции постепенно растет вследствие ее модернизации. В докладе подробно рассматриваются технические и организационные аспекты работы по форсировке или замене существующих АДГ. Нередко оказывается, что за время работы АЭС многие производители АДГ уже ушли с рынка, поэтому техническая поддержка существующих АДГ становится проблематичной. Вместе с тем все операции по форсировке или замене существующих АДГ необходимо провести в период перегрузочного простоя энергоблока, что обуславливает необходимость тщательного планирования такой работы.

Перевод докладов выполнен к.т.н. Г. Мельником

МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ СУДОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ГАЗОВОЙ МИКРОТУРБИНЫ

*Jiqing He, PL Zhou, David Clelland,
University of Strathclyde, Великобритания*

Реферат

Для удовлетворения постоянно растущих требований международных нормативных документов, регламентирующих допустимый уровень вредных выбросов в атмосферу исследователи затрачивают огромные усилия для создания высокоэффективных и экологически чистых судовых силовых установок. В качестве одного из вариантов таких установок могут рассматриваться топливные элементы, отличающиеся высоким КПД и практически нулевым уровнем вредных выбросов. В настоящем докладе описана гибридная судовая силовая установка, представляющая собой комбинацию твердооксидного топливного элемента (solid oxide fuel cell — SOFC) и газовой микротурбины (micro gas turbine — MGT). В топливном элементе типа SOFC химическая энергия топлива преобразуется непосредственно в электрическую энергию и тепловую энергию горячих отработавших газов, которая может быть превращена в электричество с помощью газовой микротурбины. Общий КПД

такой установки может достигать 80 %, при чрезвычайно низком уровне вредных выбросов. В то же время специфика судового применения, помимо выполнения основных функциональных требований, связанных с работой установки в качестве главного судового двигателя, вызывает необходимость разработки концепции управления гибридной системой. Такая концепция определяет характер взаимодействия и баланс между двумя источниками энергии — химической реакцией, протекающей в SOFC, и вращением ротора MGT. В настоящем исследовании с помощью программного пакета Matlab/Simulink было выполнено моделирование взаимодействия топливных элементов SOFC и MGT. При этом моделировались электрохимические процессы в SOFC и в установке реформинга топлива (природного газа), а также работа теплообменника и турбины. На основе разработанных математических моделей были предложены способы регулирования мощности гибридной системы, а также методы определения основных параметров и распределения вырабатываемой мощности между SOFC и MGT. Результаты моделирования подтвердили, что предложенные методы способны обеспечить эффективную и безопасную работу подсистем SOFC и MGT в судовых условиях.

Введение

В настоящем докладе рассматривается силовая установка нового типа, предназначенная для судовых условий и представляющая собой комбинацию топливных элементов SOFC газовой микротурбины. Система SOFC вырабатывает электрическую энергию в ходе химической реакции, в которой расходуется природный газ. Тепловая энергия отработавших газов SOFC утилизируется в MGT для производства дополнительной электроэнергии, увеличивая тем самым общий КПД установки.

Модель гибридной установки SOFC–MGT

Описание системы SOFC

Гибридная система SOFC–MGT (рис. 1) разработана на основе топливных элементов, которые производят электричество и тепловую энергию отходящих газов SOFC [2]. В данной системе циркулирует природный газ (метан) 1, который через клапаны 2 и 6 и десульфуратор 3 подается в установку реформинга газа 9, где протекает соответствующая химическая реакция. В ходе этой реакции вырабатывается водород, поступающий в окружающее топливный элемент пространство (11). С другой стороны в топливную сборку подается воздух 20 при помощи воздуходувки 18. В рекуператоре 16 воздух нагревается за счет тепла отработавших газов SOFC. Далее

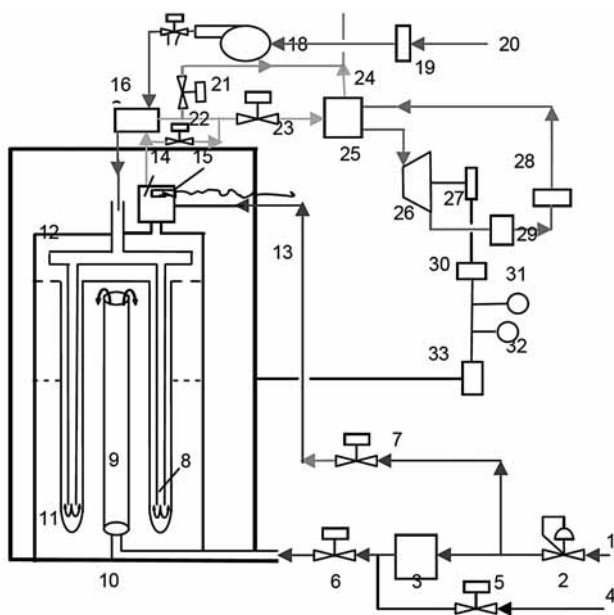
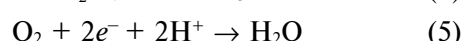
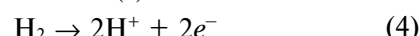


Рис. 1. Гибридная система SOFC и газовой микротурбины: 1 — природный газ; 2 — регулятор; 3 — десульфуратор; 4 — продувочный газ; 5–7, 17, 20–22 — регулирующие газовые клапаны; 8 — трубка подачи воздуха; 9 — установка реформинга топлива; 10 — топливная сборка; 11 — топливный элемент; 12 — воздушная емкость; 14 — камера сгорания; 15 — устройство зажигания; 16 — рекуператор; 18 — воздуходувка; 19 — воздушный фильтр; 20 — воздух; 21 — выход отработавших газов; 25 — теплообменник; 26 — турбина MGT; 27 — генератор; 28 — компрессор; 29 — охладитель; 30, 33 — инверторы; 31, 32 — нагрузка

нагретый воздух поступает в воздушный ресивер 12, а оттуда через воздушные трубки (air supply tubes — ast) 8 — в пространство, окружающее топливные элементы, размещенные в стойке (топливной сборке). При этом внутри топливной сборки происходит химическая реакция между кислородом, содержащимся в воздухе, и водородом, в результате которой возникает электрический ток. Одновременно из топливного элемента выделяется тепло, отводимое отработавшими газами (24). Установка включает в себя также камеру сгорания, в которой, при необходимости, сжигаются излишки водорода и частично — поступающего природного газа. Смесь продуктов сгорания и отходящих газов является источником дополнительной энергии для газовой турбины или для поддержания температуры топливной сборки на необходимом уровне. Для выработки дополнительной электроэнергии используется MGT система, работающая по циклу Рэнкина [3]. Тепло отработавших газов поступает в систему не напрямую, а через теплообменник 25.

Модель SOFC

Модель SOFC состоит из двух основных компонентов — блока реформинга и электрохимического блока. Первый блок служит для преобразования природного газа (метана) в водород, окись углерода и двуокись углерода, которое описывается уравнениями (1–3). Образовавшийся водород поступает во второй блок, где реагирует с кислородом воздуха (уравнения 3–5), в результате чего вырабатывается электрический ток.



где x , y и z — величины скорости преобразования (молярных расходов) CH_4 , CO и H_2 соответственно.

При разработке системы SOFC были приняты следующие допущения.

➤ Все газы являются идеальными. В ходе реакций фазовые превращения отсутствуют.

➤ Утечки тепла через наружные стенки топливных элементов отсутствуют, отсутствует теплообмен между топливными элементами.

➤ Газ распределяется равномерно как внутри топливного элемента, так и между топливными элементами.

➤ Потoki среды описываются одномерной моделью.

На основании указанных допущений, при известных характеристиках химических и физических реакций в рабочих диапазонах температур и давлений, по уравнениям (1 и 2)

можно рассчитать выход водорода из установки реформинга газа. В реакции диссоциации водорода возникает электрический заряд и образуется электрическая энергия, при этом образуется ряд новых химических соединений, включая H_2 , CO , CO_2 и H_2O . С использованием упомянутых выше уравнений и программного пакета «Matlab–Simulink» можно промоделировать электрохимические реакции и процессы реформинга [2]. Основные уравнения для вычисления электрического напряжения и тока топливного элемента имеют вид:

$$V = E_0 + \frac{RT}{2F} \ln \frac{p_{H_2} p_{O_2}^{1/2}}{p_{H_2O}} - \eta_{act} - \eta_{conc,a} - \eta_{conc,c} - \eta_{\Omega}; \quad (6)$$

$$I = 2\dot{n}_{H_2} F, \quad (7)$$

где E_0 — потенциал, практически линейно зависящий от температуры T ; R и F — соответственно газовая постоянная и постоянная Фарадея; η_{act} , η_{conc} , η_{Ω} — активационные, концентрационные и омические потери соответственно; n — молярный расход.

Модель MGT

Энергоотдача MGT может быть рассчитана по изменению энтальпии и расходу отработавших газов SOFC. Адиабатическая мощность W_{ise} , фактическая выходная мощность W_{act} и температура на выходе турбины T_t могут быть рассчитаны соответственно по уравнениям:

$$W_{ise} = \dot{m}(\bar{h}_{t,in} - \bar{h}_{t,out}) = \dot{m} c_{t,p} T_{t,in} \left[1 - \frac{1}{(p_{t,in} / p_{t,out})^{\frac{1-r}{r}}} \right]; \quad (8)$$

$$W_{act} = \eta_t \cdot W_{ise}; \quad (9)$$

$$T_{t,out} = T_{t,in} \left[1 - \eta_t \left(1 - (p_{t,in} / p_{t,out})^{\frac{1-r}{r}} \right) \right], \quad (10)$$

где m — массовый расход отработавших газов SOFC; $h_{t,in}$, $h_{t,out}$ — энтальпия соответственно на входе и на выходе из газовой турбины; $c_{t,p}$ — средняя удельная теплоемкость газа; $T_{t,in}$, $T_{t,out}$, $p_{t,in}$, $p_{t,out}$ — значения температур и давлений соответственно на входе и выходе из газовой турбины; r — коэффициент объемного расширения газа, и η_t — адиабатический КПД турбины.

Управление гибридной системой SOFC/MGT Алгоритмы пуска и останова

Одной из важнейших задач проекта является создание системы регулирования, которая бы по-

зволила обеспечить значения расходов топлива и воздуха, необходимых для поддержания заданной мощности. Перед запуском гибридной установки необходимо выполнить проверку подсистем SOFC и MGT, а также других компонентов, которые должны находиться в соответствующих состояниях или положениях. Проверка может проводиться как в ручном, так и в автоматическом режимах. В числе прочего должны проверяться: топливная сборка, газовый баллон для продувки, положение топливного клапана, фильтр, воздуходувка, насос и аккумуляторная батарея, а также смазочное масло и охлаждающая вода (или масло).

В процессе запуска сборка SOFC должна быть сначала медленно прогрета до температуры, достаточной для того, чтобы в установке реформинга газа началась реакция между CH_4 и H_2O . Для достижения нужной температуры SOFC может потребоваться включение камеры сгорания, работающей на дополнительном топливе. Запуск гибридной установки должен осуществляться в следующем порядке.

1. Запуск инициируется пусковой кнопкой.

2. Медленно (с заданным темпом) закрываются клапаны байпаса топлива, уменьшается подача дополнительного топлива (через регулирующий клапан 7). Температура топливной сборки должна быть увеличена примерно до 1273 К. Для этого нужно обеспечить подачу топлива (воздействуя на клапан 23) и воздуха в необходимых количествах.

3. Закрывается продувочный клапан 5, при этом прекращается подача инертного газа.

4. При достижении необходимой температуры топливной сборки подача топлива и воздуха к горелке плавно снижается до нуля. К этому моменту коэффициент использования топлива в топливной сборке должен соответствовать значению $\sim 0,85$.

5. За счет увеличения подачи CH_4 мощность на выходе топливного элемента будет постепенно возрастать.

6. При достижении установившегося режима работы SOFC запускается турбина (MGT).

Процесс останова осуществляется в обратном порядке, т. е. сначала отключается подсистема MGT, а затем постепенно останавливается подсистема SOFC. Этот процесс должен происходить в следующем порядке.

1. Снижается выходная мощность MGT за счет уменьшения расхода и давления отработавших газов. Для этого плавно закрывается дроссельный клапан байпаса (21), пока выходная мощность MGT не снизится до нуля. Затем от электрических шин установки отсоединяется инвертор 30.

2. Далее снижается мощность системы SOFC,

отключается камера сгорания, обесточивается инвертор 33 и закрываются топливные клапаны 6 и 1. Начинается охлаждение топливной сборки инертным газом через продувочный клапан 5, чтобы предотвратить окисление анодов из-за повышенной температуры реагентов.

3. Выходной дроссельный клапан 21 открывается постепенно, пока не переместится в полностью открытое положение. Для дальнейшего охлаждения топливной сборки постепенно открывается клапан 22 в байпасе системы рекуперации 16.

4. После достижения заданной температуры топливной сборки подсистема SOFC переводится в режим холостого хода.

Работа на частичных нагрузках

Рассмотрены два возможных способа управления расходом топлива и воздуха на частичных нагрузках [4].

Способ 1: подстраивать расход воздуха под расход топлива таким образом, чтобы поддерживалось постоянство температуры топливной сборки.

Способ 2: подстраивать расход воздуха под расход топлива таким образом, чтобы поддерживалось постоянство соотношения воздух—топливо.

В обоих случаях расход топлива регулируется с помощью топливного клапана, а расход воздуха — с помощью воздушной заслонки.

Управление мощностью в переходных режимах

Цель управления мощностью в переходных режимах состоит в том, чтобы обеспечить установившийся режим работы подсистемы SOFC или, по крайней мере, ограничить скорость изменения режима во избежание внезапного останова системы из-за перегрузки. Как только внешняя нагрузка начинает расти, контроллер подключает аккумуляторную батарею или суперконденсатор к распределительному устройству, как показано на рис. 2. Это позволяет системе быстро принять наброс нагрузки и затем плавно увеличивать мощность SOFC до заданного значения в течение достаточно короткого времени. Остальная часть необходимой мощности будет обеспечиваться MGT.

Дефицит мощности в переходном процессе покрывается за счет энергии аккумуляторной батареи. При снижении нагрузки мощность MGT должна быть сброшена мгновенно за счет открытия байпасного клапана 21 в линии выпуска, чтобы снизить количество отработавших газов, поступающих в MGT. Это позволит снижать мощность SOFC постепенно, после чего байпасный клапан начнет медленно закрываться, обеспечивая тем самым плавное повышение мощности MGT до тех пор, пока не будет достигнуто новое установившееся состояние. Контроллер выполняет расчет падения выходной

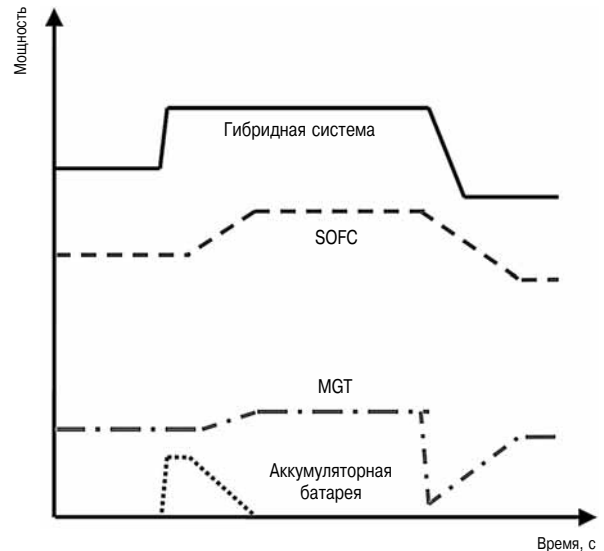


Рис. 2. Изменение мощности компонентов системы во времени

мощности системы SOFC, степени открытия байпасного клапана, необходимого замедления регулирующего воздействия для SOFC и MGT при внезапном падении нагрузки. Для простоты переходный процесс на рис. 2 изображен как линейный.

Разработка системы управления мощностью гибридной системы SOFC/MGT

Структура системы SOFC/MGT достаточно сложна. В SOFC происходят химические реакции при высоких температурах, в MGT происходит утилизация энергии отработавших газов SOFC и с большой скоростью вращается ротор. Поэтому организовать совместное управление обеими подсистемами оказывается далеко не простым делом. В работе [5] исследовали модели MGT и топливных ячеек сначала по отдельности, а затем — при совместной работе в составе гибридной системы. В работах [6–8] представлены методы управления SOFC и MGT по отдельности. Управление распределением генерируемой мощности в гибридной системе SOFC—MGT при изменении нагрузки никогда прежде не исследовалось. Система управления мощностью установки (SOFC—MGT) была разработана авторами настоящего доклада на основании собственной концепции. Как следует из рис. 3, система управления включает в себя три основных контроллера, управляющих соответственно температурой, использованием топлива и мощностью.

Управление температурой

Одна из главных задач контура управления температурой — поддержание постоянной (в определенных пределах) температуры SOFC. Превышение допустимого температурного уровня

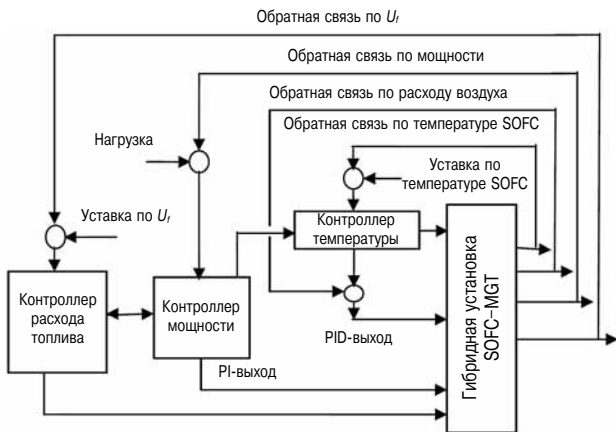


Рис. 3. Система управления гибридной установкой SOFC–MGT

или слишком быстрый рост температуры могут привести к увеличению термических напряжений и термической усталости материала топливного элемента, в результате чего ухудшаются его показатели, включая срок службы. Стабилизация температуры топливных элементов достигается регулированием расхода воздуха через систему и производительности горелки камеры сгорания. Уставка по температуре составляет порядка 1000 °С, допустимый максимум — 1050 °С. Как следует из рис. 3, при отклонении температуры от заданного значения сигнал отклонения поступает в контроллер, на выходе которого формируется PID-сигнал, корректирующий расход воздуха через топливную сборку, причем последний будет зависеть также от сигнала контроллера мощности. Сигнал контроллера мощности зависит от соотношения между выходной мощностью SOFC и соответствующим расходом воздуха. Если температура топливной сборки недостаточна, контроллер температуры может дать сигнал на включение дополнительной камеры сгорания.

Управление мощностью

и коэффициентом использования топлива

В гибридной системе SOFC–MGT до 75 % общей мощности системы генерируется в подсистеме SOFC в виде электрической мощности. Выходная мощность SOFC оказывает влияние также на мощность MGT. Таким образом, управление мощностью в гибридной системе сводится, главным образом, к управлению мощностью SOFC. Основная функция контроллера мощности — это управление расходом топлива. Однако при этом необходимо управлять также и коэффициентом использования топлива (fuel utilization — U_f) [8], поскольку одна и та же мощность в SOFC может генерироваться при разных значениях расхода топлива и U_f . Как видно из рис. 3, уставка по заданной нагрузке

сравнивается с генерируемой мощностью (обратная связь), и сигнал их разности поступает в контроллер мощности. На выход контроллера поступают три сигнала:

- первый сигнал поступает в контроллер расхода топлива, где он совместно с сигналом по разности между сигналами уставки U_f и обратной связи по U_f формирует PID-сигнал управления топливоподачей;
- второй сигнал поступает в контроллер температуры;
- третий сигнал (PI) регулирует напряжение топливного элемента SOFC и тем самым задает мощность на выходе SOFC.

Обычно уставка по U_f составляет порядка 85 %. Исходя из этого контроллер мощности управляет расходом топлива пропорционально меняющейся нагрузке.

Результаты исследования

На рис. 4 показана зависимость электрического КПД гибридной системы SOFC–MGT от нагрузки при использовании первого способа управления. Электрический КПД начинает расти, начиная со значения порядка 57,5 % (при 20 % нагрузке) до максимальной величины 66,8 % (при нагрузке около 55 %), затем уменьшается примерно до 63 % (при полной нагрузке). Когда используется второй способ управления, общий КПД гибридной системы падает — от 66 (при 80 % мощности) до 64 % (при полной нагрузке). Из данных рис. 4 также следует, что при одинаковой мощности на выходе второй способ управления по сравнению с первым способом обеспечивает несколько более высокий КПД. Однако второй способ управления применим только в небольшой части рабочего диапазона, что не позволяет системе работать при относительной электрической мощности менее 80 %. Причиной является ограничение по максимальной температуре топливной сборки и по минимальной температуре

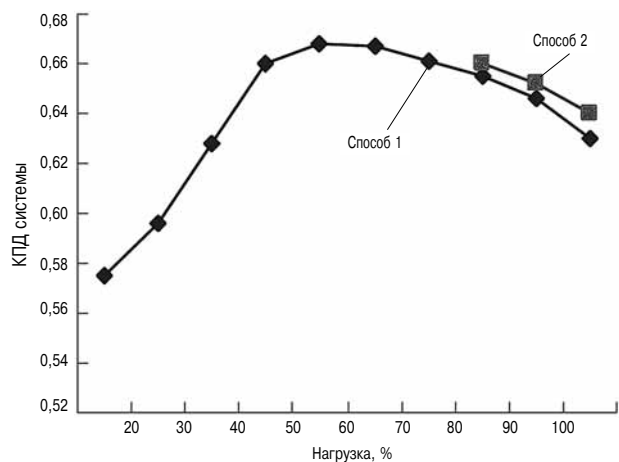


Рис. 4. КПД гибридной системы SOFC–MGT при разных способах управления мощностью

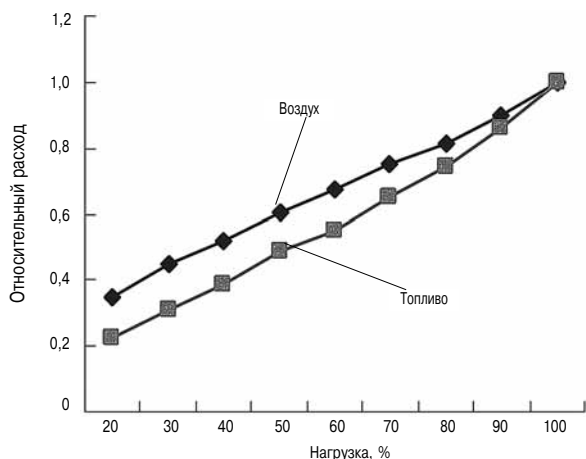


Рис. 5. Изменение расхода воздуха и топлива в зависимости от мощности

газов на входе в турбину. В случае использования второго способа управления (предполагающего поддержание постоянного соотношения воздух–топливо) при электрической нагрузке менее 80 % установка не может вырабатывать тепло в количестве, достаточном для поддержания температуры топливной сборки на необходимом уровне. Поэтому в настоящем исследовании за основу был принят первый способ управления.

На рис. 5 показано изменение расхода топлива и воздуха в зависимости от нагрузки, а рис. 6 — температура топливной сборки (SOFC), а также температура отходящих газов на входе (turbine inlet — TIT) и на выходе (turbine outlet — TOT) из турбины в функции нагрузки. Как видно из рисунка, температура SOFC остается практически неизменной, в то время как температура на входе в турбину по мере увеличения мощности растет. Однако температура на выходе из турбины при этом падает, так как рост мощности происходит за счет роста КПД турбины. На рис. 7 показано соотношение вырабатываемых мощностей SOFC и MGT на установившихся режимах

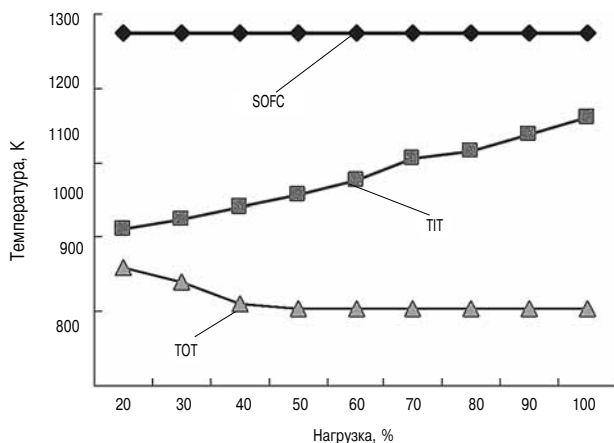


Рис. 6. Температуры SOFC и отходящих газов на входе (TIT) и выходе из турбины (TOT)

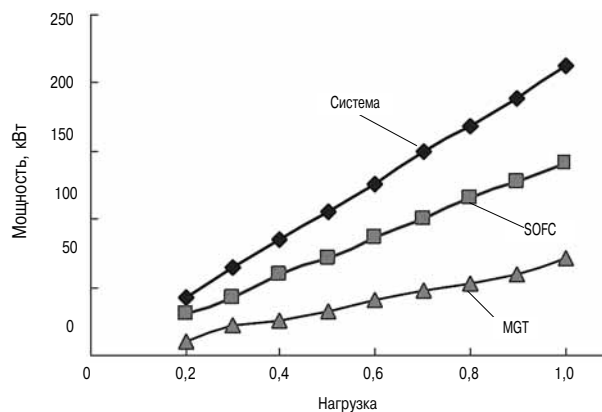


Рис. 7. Мощность гибридной системы, SOFC и MGT в зависимости от нагрузки

при различных нагрузках. При номинальной (расчетной) нагрузке электрическая мощность гибридной системы составляет 210 кВт, из которых порядка 150 кВт вырабатывается SOFC, а остальные 60 кВт — MGT.

Кривые на рис. 8 и 9 характеризуют динамику компонентов системы (SOFC и MGT) на неустановившихся режимах работы. При мгновенном сбросе нагрузки на 10-й секунде выходная мощность MGT снижается примерно через одну секунду за счет открытия байпасного клапана между SOFC и MGT по сигналу контроллера. В то же время мощность SOFC снижается постепенно и практически линейно и заканчивается примерно на 110 секунд. В случае резкого увеличения нагрузки (см. рис. 9) недостаток мощности SOFC менее чем через секунду будет восполнен за счет подключения аккумуляторной батареи, что дает SOFC достаточно времени (порядка 100 секунд) для медленного увеличения вырабатываемой мощности до тех пор, пока не будет достигнуто новое равновесное состояние. Данный способ регулирования мощности благодаря медленному и плавному изменению нагрузки обеспечивает защиту топливной сборки от

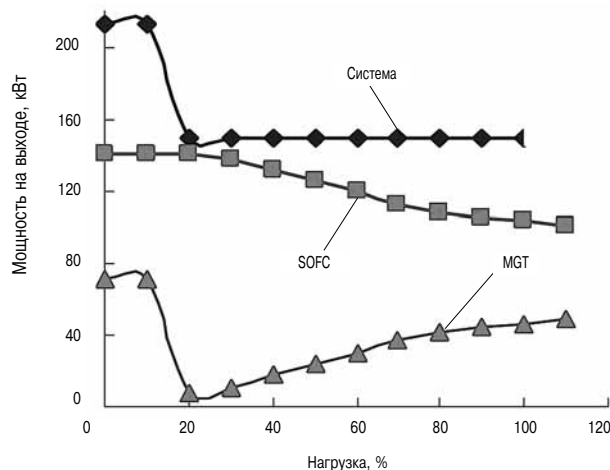


Рис. 8. Изменение мощности при снижении нагрузки

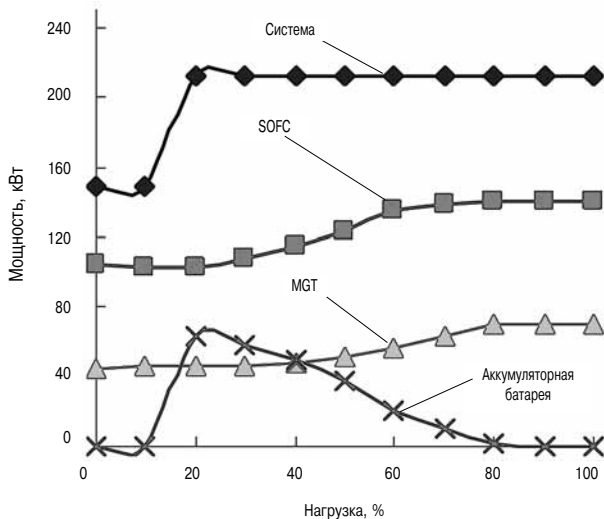


Рис. 9. Изменение мощности при увеличении нагрузки

тепловой перегрузки и согласованное распределение вырабатываемой мощности между SOFC и MGT как на установившемся, так и на переходном режимах.

Выводы

Настоящая работа посвящена исследованию компонентов гибридной системы SOFC–MGT, предназначенной для использования в качестве судовой силовой установки, в том числе такие ее элементы, как установка реформинга газа и топливная сборка. Разработаны и апробированы динамические модели гибридной системы, а также способы управления совместной работой ее элементов. Показано, что эти способы обеспечивают защиту топливной сборки от перегрузок во время пуска, останова и работы системы на неустановившихся режимах.

Алгоритмы регулирования расходов топлива и воздуха, температуры SOFC, а также температур на входе и на выходе турбины позволяют обеспечить высокий КПД гибридной системы, превышающий 60 %.

Литература

1. US DOE, 2004, Fuel Cell Handbook 7th ed. DOE/NETL., Morgantown, WV.
2. He J et al., 2011, Thermal analysis of integrated solid oxide fuel cell and micro gas turbine system for marine application, Proceedings of the International Symposium on Marine Engineering (ISME) October 17–21, Kobe, Japan Paper ISME503
3. Al-Sulaiman F.A. et al., Exergy analysis of an integrated solid oxide fuel cell and organic Rankine cycle for cooling, heating and power production, Journal of Power Sources 195 (2010) 2346–2354
4. Li Y et al., 2011, Part-load, startup, and shutdown strategies of a solid oxide fuel cell-gas turbine hybrid system, Front. Energy 2011, 5(2): 181–194 DOI 10.1007/s11708-011-0149-7
5. Zhu Y., and Tomsovic K., 2002, Development of models for analyzing the load following performance of microturbines and fuel cells, Electric Power Syst. Res. 62 (2002) 1–11.
6. Stiller C et al., 2006, Control strategy for a solid oxide fuel cell and gas turbine hybrid system, Journal of Power Sources 158 (2006) 303–315
7. Jiang W et al., 2010, Control Strategies for Start-Up and Part-Load Operation of Solid Oxide Fuel Cell/Gas Turbine Hybrid System, DOI10.1115/1.3006197.
8. Milewski J et al., 2010, The control strategy for high temperature fuel cell hybrid systems, The Online Journal on Electronics and Electrical Engineering (OJEEE) Vol. (2) № 4)
9. Larminie J., and Dicks A., 2003, Fuel Cell Systems Explained, Second Edition, John Wiley & Sons Ltd.

ЮБИЛЕЙ!

Леониду
Васильевичу
Тузову 85 лет!

2 января 2016 года исполняется 85 лет
заслуженному машиностроителю РФ,
академику РАТ, лауреату премии Совета Министров РСФСР,
д.т.н., профессору Санкт-Петербургского Государственного
Университета морского и речного флота им. С.О. Макарова
члену редакционной коллегии журнала «Двигателестроение»
Тузову Леониду Васильевичу.



Редакция журнала «Двигателестроение»,
коллеги и друзья поздравляют Леонида Васильевича
с юбилеем и желают здоровья, долгих лет жизни, счастья, дальнейших успехов.

ОБНОВЛЕНИЕ ПАРКА АВАРИЙНЫХ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Arthur G. Killinger, Mark J. O'Connell,
MPR Associate, Inc., США

Реферат

В мире существует большое количество атомных электростанций, которые уже получили или получают в ближайшем будущем разрешение на продление 40-летнего срока их эксплуатации. Системы безопасности. Станции стареют и нуждаются в модернизации (апгрейде) или замене, что позволило бы продлить их ресурс еще на срок не менее 20 лет. Аварийные дизель-генераторы (АДГ) атомных электростанций относятся к числу систем, критичных для безопасности и необходимых для смягчения последствий аварии. На протяжении большей части своего срока службы АДГ атомной электростанции находятся в состоянии горячего резерва, т. е. готовности обеспечить пуск и работу оборудования станции, необходимого для безопасной остановки реактора. В течение 40-летнего срока эксплуатации станции такой агрегат работает менее 4000 часов, что по выражению специалистов «даже не обкатка». В ряде случаев подобный агрегат имеет лишь незначительный запас мощности по отношению к аварийным потребителям электроэнергии, поскольку энергоемкость таких потребителей в ходе эксплуатации станции постепенно растет вследствие ее модернизации. Многие производители АДГ за это время успевают уйти с рынка, поэтому приобретение запчастей и техническая поддержка со стороны производителя становятся проблемой. Все АДГ атомных электростанций должны удовлетворять весьма жестким требованиям в части обеспечения качества, а также специальным требованиям к их конструкции, что определяется нормативными документами и стандартами [1–4]. В настоящем докладе рассматриваются технические и юридические аспекты, связанные с заменой двух существующих АДГ атомной электростанции в Южной Корее на новые, которые ранее не были сертифицированы для работы в составе АЭС. Приводится описание всех стадий проекта модернизации существующих АДГ, в том числе:

- технико-экономическое обоснование замены существующих АДГ;
- разработка технических требований к новым АДГ;
- разработка закупочной спецификации;
- работа с поставщиком АДГ на предмет их сертификации (если они не были сертифицированы ранее для данного применения);
- разработка требований к проведению заводских испытаний новых АДГ и проведению испытаний на месте установки;

- разработка проекта модернизации станции, связанной с установкой новых АДГ;
- демонтаж старых АДГ и установка вместо них новых;
- проведение испытаний новых АДГ на месте установки.

Введение

По данным Всемирной Ядерной Ассоциации (World Nuclear Association — WNA), атомными электростанциями производится от 13 до 18 % электроэнергии во всем мире [5]. Общая электрическая мощность 430 промышленных ядерных реакторов, эксплуатируемых в 31 стране мира, составляет 372 000 МВт. Особенно быстро растет потребление электроэнергии в развивающихся странах. В настоящее время идет строительство более 60 ядерных реакторов в 14 странах, в первую очередь — в Китае, Южной Корее и России [6].

Как правило, расчетный срок службы атомной электростанции составляет от 25 до 40 лет. Однако, как показали недавние обследования технического состояния действующих станций, многие из них вполне пригодны для эксплуатации и по истечении указанного срока.

Более чем 60 реакторам в США их проектный 40-летний срок службы был продлен до 60 лет. Поданы ходатайства об аналогичном продлении ресурса по целому ряду энергоблоков, работающих в различных странах мира.

Каждый энергоблок должен быть оборудован источником аварийного питания для обеспечения возможности срочного останова реактора в случае серьезной аварии или потери внешнего энергоснабжения станции (loss of off-site power — LOOP). В качестве источников аварийного питания для АЭС традиционно используются среднеоборотные дизель-генераторы мощностью от 2 до 8 МВт (рис. 1). Как правило, каждый энергоблок должен быть снабжен двумя АДГ, каждый из которых работает на собственные шины системы безопасного аварийного останова. В процессе нормальной эксплуатации станции

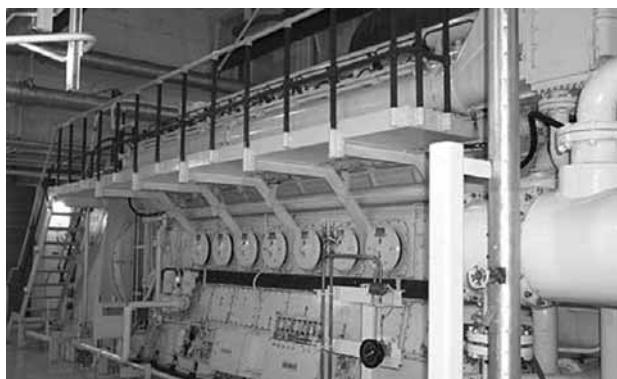


Рис. 1. АДГ на атомной электростанции в США

АГД включаются в работу только при проведении их периодических (ежемесячных) контрольных испытаний. Цель таких испытаний — проверка способности АДГ к запуску и выходу на расчетную нагрузку в соответствии с проектными требованиями. В результате фактическая АДГ наработки редко превышает 100–150 часов в год. Даже после 30–40 лет работы станции наработка АДГ редко превышает 5000 моточасов.

Чаще всего необходимость замены АДГ вызывается форсировкой реактора по тепловой мощности. При этом растет размерность и, соответственно, потребляемая мощность таких компонентов систем безопасности, как насосы, вентиляторы, клапаны и электродвигатели. Это означает, что мощность существующих АДГ может оказаться недостаточной в таких ситуациях, как LOOP или авария с потерей теплоносителя (Loss of Coolant Accident — LOCA). Износ АДГ по сути дела отсутствует, однако владельцы АЭС сталкиваются с рядом других проблем, одна из которых состоит в том, что за время, прошедшее с момента установки АДГ, его производитель мог уйти с рынка. Следствием этого может быть дефицит запчастей и прекращение технической поддержки. Еще одна возможная причина для замены АДГ — моральный износ, что опять-таки затрудняет техобслуживание и поиск запчастей. Поэтому многие атомные электростанции в предстоящие 5–10 лет окажутся перед необходимостью апгрейда или замены установленных АДГ. Наконец, в последнее время атомные электростанции во всем мире получают от соответствующих надзорных органов требования усовершенствовать системы аварийного питания после аварии 2011 г. на японской АЭС Фукусима, вызванной приливной волной. Подобного рода апгрейд сейчас проводится ускоренными темпами на многих АЭС, при этом модернизацию проходят системы и оборудование всех уровней. В некоторых случаях оказывается достаточным на основании соответствующих расчетов, форсировать существующие АДГ путем их модернизации и замены отдельных компонентов. Однако для проведения подобных расчетов обычно требуются такие характеристики деталей и узлов, которые не всегда удается получить от проектанта АДГ. К тому же возможности форсировки, как правило, ограничены пятью-десятью процентами длительной мощности двигателя, которых может не хватить для покрытия увеличившейся мощности аварийных потребителей. Поэтому в большинстве случаев владельцы АЭС приходят к необходимости установки новых, более мощных аварийных источников энергии.

Технико-экономическое обоснование

Первое, что должен сделать владелец АЭС, столкнувшийся с необходимостью увеличить мощность источников аварийного питания — это составить технико-экономическое обоснование, рассмотрев несколько возможных вариантов форсирования или замены существующего оборудования. При этом обычно рассматриваются три основных варианта, каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки (табл. 1).

Технико-экономическое обоснование — это сравнительная оценка трех имеющихся вариантов, а именно:

- > форсировать существующие АДГ;
- > демонтировать существующие АДГ и в достаточно короткое время установить на их место новые в тех же помещениях;
- > построить новое здание для новых АДГ.

Поскольку технико-экономическое обоснование является лишь предварительной оценкой рассматриваемых вариантов, представлять его надзорному органу для утверждения нет необходимости.

Таблица 1

Варианты реконструкции АДГ: потенциальные достоинства и недостатки / ограничения

Вариант	Потенциальные достоинства	Потенциальные недостатки / ограничения
Форсировка существующих АДГ	Это вариант, как правило, самый дешевый. Требуется немного времени — при наличии новых компонентов, идущих на замену старым	Возможности форсировки по мощности ограничены
Установка новых АДГ на место существующих	Этот вариант по стоимости является промежуточным между первым и третьим вариантами. Не связан с существенным увеличением площади станции и места, необходимого для установки	Данная операция — самая длительная из всех, проводимых во время перегрузочного простоя. Новые АДГ должны поместиться в существующие машинные помещения
Постройка нового здания для новых АДГ	Основная часть работ может выполняться без остановки реактора. Размеры и мощность новых АДГ практически не ограничиваются	Самый дорогостоящий вариант. Могут потребоваться новые хранилища дизельного топлива. Скорее всего могут понадобиться новые электрические трансформаторы и кабели. Поскольку площадь энергоблока при этом увеличивается, для нового здания на станции может не хватить места

Если принято решение о форсировке установленных АДГ, то прежде всего необходимо детально проанализировать и рассчитать на новые нагрузки основные компоненты двигателя — подшипники, шатуны, коленвал и головки цилиндров с тем, чтобы оценить резерв увеличения мощности с точки зрения прочности. Мощность дизеля может быть увеличена за счет установки новых компонентов системы впрыска топлива и более эффективного турбокомпрессора. Кроме того, необходимо оценить готовность вспомогательных систем двигателя, генератора и системы его возбуждения к повышенной нагрузке. Если выяснится, что форсировки существующих АДГ недостаточно для обеспечения необходимой мощности, следует рассмотреть варианты их замены.

Технико-экономическое обоснование нового проекта должно учитывать такие факторы, как:

- площадь свободной территории вокруг энергоблока, где можно было бы разместить новое здание для АДГ большего размера;
- пригодность данного земельного участка для сооружения фундамента достаточной глубины, чтобы выдержать нагрузки от новых АДГ;
- возможность размещения новых АДГ на месте существующих:
 - эффективность противопожарной защиты в машинном помещении;
 - пригодность существующих вспомогательных систем для обслуживания новых АДГ;
 - адекватность систем управления и вспомогательного оборудования в машинных помещениях;
- реалистичность намеченного графика работ;
- анализ пригодности имеющихся систем, конструкций и компонентов, которые предполагается оставить для поддержки новых АДГ;
- анализ необходимости приобретения новых компонентов для реализации проекта по замене АДГ.

Одна из целей технико-экономического обоснования — анализ возможных рисков, связанных с выполнением проекта, который должен показать, что эти риски являются управляемыми, а план-график работ предусматривает запас времени, достаточный для завершения работ за время перегрузочной стоянки реактора.

В случае с южнокорейской АЭС ожидаемая пиковая аварийная нагрузка превышала длительную мощность АДГ. Кроме того, учитывая фактор устаревания установленных АДГ, отсутствие запчастей к ним и недоступность технической поддержки со стороны изготовителя, было принято решение об их замене. Технико-экономическое обоснование показало, что есть возможность установить новые, более мощные

АДГ в существующих машинных помещениях. При этом был определен ряд моделей АДГ, имеющих на рынке и пригодных для данной цели.

Техническое задание

Целью замены или модернизации АДГ является совершенствование конструкции, улучшение эксплуатационных параметров, удобства обслуживания и надежности системы аварийного энергоснабжения АЭС с учетом продления срока службы станции. Техническое задание устанавливает технико-экономические показатели (критерии), которые должны быть достигнуты при замене АДГ, и касается следующих компонентов и систем:

- хранилища дизельного топлива;
- здание АДГ (если оно строится заново);
- вспомогательные системы и системы управления, обеспечивающие функционирование АДГ в режиме резерва и при работе на нагрузку.

В случае с южнокорейской АЭС было установлено, что существующие хранилища дизельного топлива и здание АДГ соответствуют требованиям проектной документации и могут быть сохранены для дальнейшего использования.

Закупочная ведомость

Закупочная ведомость определяет все, что связано с конфигурацией, расчетом, поставками оборудования, его установкой, испытаниями и вводом в эксплуатацию при замене АДГ и их вспомогательных систем. В ней должны быть указаны стандарты и технические условия, содержащие требования, обязательные для выполнения, а также требования к обеспечению качества инженерных расчетов и поставляемых компонентов.

В закупочную ведомость включаются требования к конструкции, материалам, изготовлению, доставке, снятию и установке оборудования, пуско-наладке и сдаче в эксплуатацию оборудования, получаемого от сертифицированного поставщика дизель-генераторов. Если покупаемые АДГ предназначены для установки в новом здании, в техническую спецификацию закупок включаются конструктивные и функциональные требования к вспомогательным системам АДГ.

План-график должен охватывать все этапы, проекта, т. е. инженерные разработки, поставки оборудования и материалы с длительным сроком изготовления, изготовление и сборка новых компонентов, деятельность субподрядчиков, все необходимые инспекции и измерения существующего оборудования на месте установки, изменения (в случае необходимости) существующих и сохраняемых компонентов, сборку на заводе и промежуточные испытания, заводские приемочные испытания и финальную инспекцию.

Закупочная ведомость в связи с заменой АДГ на южнокорейской АЭС была подготовлена силами персонала АЭС и внешних контрагентов.

Квалификационные требования к АДГ

АДГ должны иметь мощность, достаточную для пуска и вывода на номинальный режим (поддерживая при этом напряжение и частоту питания в допустимых пределах) потребителей, автоматически подключаемых при наступлении проектных событий, включая LOOP или LOOP в сочетании с проектной аварией LOCA.

В США АДГ должны соответствовать требованиям документа Комиссии ядерного надзора (U.S. Nuclear Regulatory Commission — NRC) Regulatory Guide 1.9, Revision 4 [4] и стандартам МЭК 323, 344 и 387 [1–3], а также другим нормам и стандартам, действующим на месте установки. В США проводится квалификация по сейсмостойкости всех компонентов АДГ, связанных с безопасностью. Выполнение требований к сейсмостойкости должно подтверждаться расчетами и испытаниями в соответствии с упомянутыми стандартами МЭК. Для АЭС, сооружаемых в других странах, могут применяться другие международные стандарты и нормативы.

МЭК-387 регламентирует следующие виды и аспекты квалификации:

- первоначальные типовые испытания, в том числе проверку параметров пуска и приема нагрузки, а также запаса по перегрузке;
- оценку старения;
- квалификацию сейсмостойкости;
- методы постоянного наблюдения, включая программу профилактического техобслуживания, инспекций и испытаний, а также ведение журналов наблюдения;
- оценку изменений, сделанных после предыдущей квалификации (если дизель-генератор проходил ее прежде);
- документацию по всем проводимым видам квалификации.

Производитель АДГ обязан обеспечить квалификацию не только дизеля, но и всех остальных компонентов агрегата, включая турбокомпрессор(ы), генератор, клапаны, трубопроводы, теплообменники, воздушные ресиверы, радиаторы, глушители выпуска, системы регулирования скорости, системы возбуждения и регулирования напряжения, расходные топливные баки, а также аппаратуру управления, автоматики, сигнализации и защиты.

Производитель двигателя должен выполнить оценку старения всех компонентов АДГ и вспомогательных систем, обращая особое внимание на неметаллические компоненты, такие, как прокладки и шланги.

АДГ и их вспомогательные системы должны иметь категорию сейсмостойкости. Производитель двигателя должен выполнить или потребовать от своих субподрядчиков выполнения сейсмической классификации всех компонентов АДГ и вспомогательных систем. На рис. 2 показан пример упрощенной модели для расчета дизельного двигателя на сейсмостойкость, разработанной для южнокорейской АЭС.

Сегодня многие производители двигателей выпускают крупные дизель-генераторы, предназначенные для установки на виброизоляторы, которые отделяют их от пола машинного помещения. АДГ предыдущего поколения, как правило, поставлялись на раме, которая крепилась непосредственно к фундаменту. Такое изменение конструкции влияет на сейсмическую квалификацию двигателя и генератора. Системы виброизоляции (СВ) смягчают воздействие землетрясения на АДГ, уменьшая амплитуду максимального ускорения. На рис. 3 показано, что рама агрегата лежит на пружинных блоках СВ.

Помимо упомянутых выше оценок, окончательный отчет о квалификации должен содержать

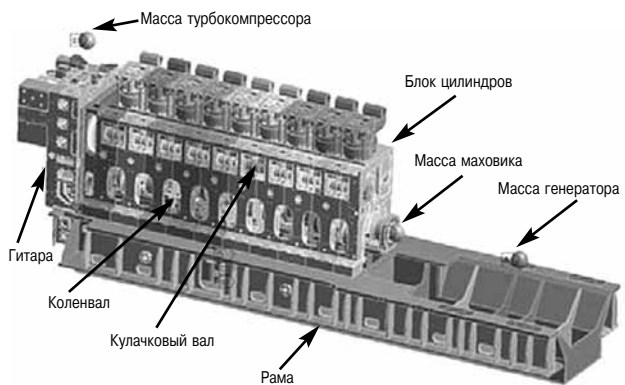


Рис. 2. Модель для расчета АДГ на сейсмостойкость

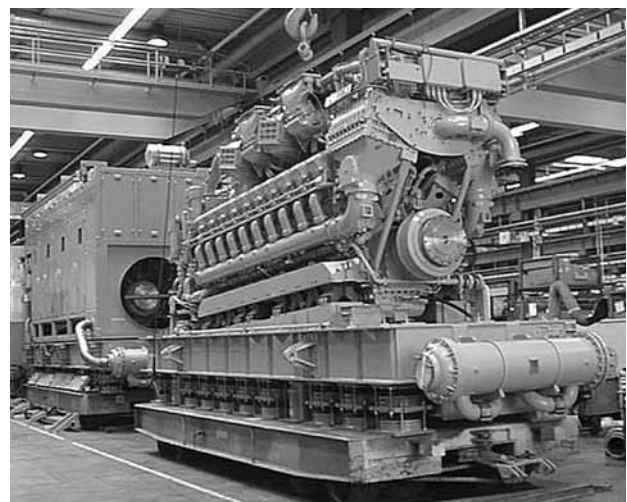


Рис. 3. Дизель-генератор, устанавливаемый на СВ [7]

жать подробную информацию о конструкции и испытаниях, представленную производителем двигателя и его контрагентами, в том числе:

- результаты испытаний пультов управления и возбuditеля/регулятора напряжения (в том числе на сейсмические воздействия);
- результаты испытаний генератора;
- результаты испытаний изоляции;
- результаты испытаний на сейсмостойкость всех компонентов, устанавливаемых на раме.

При квалификации дизель-генератора для южнокорейской АЭС расчеты на сейсмостойкость велись методом конечных элементов по схеме, показанной на рис. 2, поскольку создание специального полноразмерного вибростенда для натурных испытаний в данном случае нецелесообразно.

Заводские испытания

Характер испытаний оборудования должен соответствовать содержанию текущего этапа изготовления АДГ. Квалификация оборудования должна включать испытания на сейсмостойкость, атмосферные воздействия и электромагнитную совместимость (ЕМС). При этом для АЭС, расположенных в регионах с жаркой погодой, испытания должны подтвердить, что при максимально возможной температуре окружающей среды мощность АДГ не снизится. Требования к квалификационным испытаниям АДГ, типовым испытаниям и заводским приемочным испытаниям детально изложены в документе МЭК-387, разделы 5 и 6 [3].

Для южнокорейской АЭС все перечисленные испытания были проведены до отгрузки АДГ заказчику.

Пакет документации по модификации энергоблока

Работы по замене существующих АДГ на новые выполняются на основании соответствующих чертежей, расчетов и методик. Совокупность указанных документов образует пакет документации по установке новых АДГ.

При замене АДГ на более мощные иногда можно использовать некоторые из существующих вспомогательных систем, целиком или с незначительными изменениями. В качестве примера можно привести систему отопления, вентиляции и кондиционирования (HVAC) машинных помещений, для которой потребуется большой, по сравнению с существующей, расход воздуха. В этом случае АЭС и организация, выполняющая проект, должны быть в состоянии расчетным или экспериментальным путем подтвердить способность системы HVAC справиться с обслуживанием новых АДГ.

Еще одна возможная проблема — способность старого фундамента под дизель-генератором вы-

держивать нагрузки от нового агрегата, обычно превосходящего старый по размерам и весу. Если новые АДГ устанавливаются на место старых, этому должна предшествовать детальная инженерная оценка. Подобная инженерная оценка должна учитывать сейсмостойкость других компонентов, таких как, например, воздушные компрессоры и емкости, шкафы управления, баки, насосы и трубопроводы охлаждающей воды, топливные баки (основные и расходные), подкачивающие насосы и трубопроводы. Очевидно, что в случае постройки нового здания для новых АДГ все упомянутые компоненты должны быть подвергнуты столь же тщательной инженерной оценке.

Снятие со своих мест двигателя, генератора и вспомогательных устройств — это, по существу, повторение процессов их установки в обратном порядке, однако монтажная документация 40-летней давности может и не сохраниться.

Например, может возникнуть необходимость частичной разборки новых АДГ, чтобы их можно было завозить в помещение через имеющиеся дверные проемы или люки.

Если генератор изначально не был собран с двигателем на общей раме, лучше отсоединить его от маховика двигателя с тем, чтобы каждый из этих агрегатов можно было выносить из помещения по отдельности.

При установке новых АДГ в прежнее помещение их размеры следует сопоставить с имеющимися чертежами помещения. При этом необходимо обеспечить достаточные просветы между новым оборудованием и окружающими конструкциями с указанием размеров самого широкого и самого длинного компонентов, как показано на рис. 4.

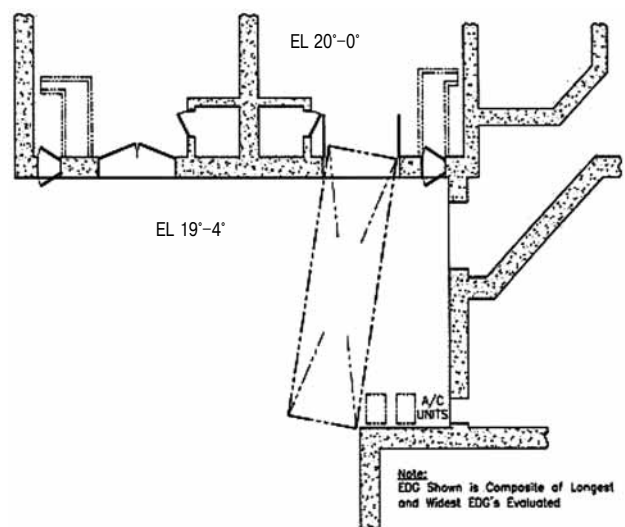


Рис. 4. Пример ограничения при установке АДГ (наихудший случай)

Одним из способов облегчить установку новых АДГ является перемещение тяжелого и громоздкого оборудования с помощью платформ на воздушной подушке. Такие платформы используются некоторыми двигателестроительными предприятиями для транспортировки новых машин по цехам. Подобный метод требует, чтобы пол в помещении имел достаточно ровную поверхность.

Применительно к южнокорейской АЭС, о которой было упомянуто, соответствующие чертежи, расчеты и методики были подготовлены своевременно.

Испытания АДГ на месте установки

Процесс замены АДГ сопровождается большим объемом испытаний. После каждого конструктивного изменения должно проводиться соответствующее тестирование. По результатам этих тестов принимается решение о готовности изделия к приемочным испытаниям на месте установки. Эти испытания достаточно сложные и занимают значительную часть времени, отведенного для перегрузочной стоянки реактора. Поэтому после завершения установки АДГ на фундамент готовность к испытаниям становится критичным показателем, определяющим длительность испытаний. Требования к приемочным испытаниям на месте установки подробно изложены в документе МЭК-387, раздел 7 [3].

Для упоминавшейся выше южнокорейской АЭС испытания ДГУ были выполнены в течение времени, отведенного для перегрузочной стоянки реактора. [9].

Выводы и заключение

Технические вопросы и проблемы, связанные с апгрейдом аварийных дизель-генераторов атомных электростанций, приобрели особую значимость в связи с широкой кампанией по форсированию АДГ, проводимой в разных странах мира, и с относительно недавними событиями на АЭС Фукусима. Надзорные органы в области атомной энергетики все большее внимание уделяют технологиям и решениям, связанным с

апгрейдом АДГ АЭС. Апгрейд АДГ — это сложный и длительный процесс, требующий скрупулезного планирования и исполнения. В случае с апгрейдом АДГ южнокорейской АЭС время, необходимое для осуществления проекта, считая от начала работ над технико-экономическим обоснованием и до завершения испытаний и объявления о готовности к эксплуатации, оценивалось приблизительно в пять лет. Как правило, производителю двигателей для изготовления АДГ нужно не менее 12 месяцев с момента получения заказа до поставки готового АДГ. Ожидается, что со временем апгрейд АДГ на существующих АЭС будет становиться все более обычным делом. Особенно важно, чтобы при реализации таких проектов первоочередное внимание уделялось безопасности как главному условию жизнеспособности ядерной энергетики в длительной перспективе.

Литература

1. «IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations», IEEE-Std 323.
2. «IEEE Recommended Practice for Seismic Qualification of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations», IEEE-Std 344.
3. «IEEE Standard Criteria for Diesel-Generator Units Applied as Standby Power Supplies for Nuclear Power Generating Stations», IEEE-Std 387.
4. «Application and Testing of Safety-Related Diesel Generators in Nuclear Power Plants», U.S. Nuclear Regulatory Commission Regulatory Guide 1.9, Revision 4, March 2007.
5. World Nuclear Association, Nuclear Power in the World Today, April 2012.
6. World Nuclear Association, Plans For New Reactors Worldwide, February 2012.
7. GERB Vibration Control Systems, <http://www.gerb.com/en/photogalerie/bildbet_rachten.php?ID=171>, July 26, 2012.
8. «Qualification (Commercial Grade Dedication) of an ALCO 251 Diesel Engine for Nuclear Standby Service», SAE Technical Paper 941809, September 1994.
9. Hyundai Heavy Industries Co., Ltd., HHI-EMD News, Vol. 26, December 2010.

**7 мая 2015 года ушел из жизни
крупный специалист в области малолитражных
двигателей внутреннего сгорания,
кандидат технических наук,
почетный Ветеран автомобильного и сельскохозяйственного
машиностроения Российской Федерации,**

Валерий Иванович Панин



Валерий Иванович родился 3 июля 1939 г. в г. Серпухове. Окончив в 1963 г. Московский Автомеханический Институт (МАМИ), с 1968 по 1970 г. работал начальником бюро гоночных мотоциклов. Под его руководством был создан двигатель С-565 мотоцикла «Восток» для участия в шоссейно-кольцевых гонках. Этот четырехцилиндровый силовой агрегат рабочим объемом 500 см³ развивал 80 л.с. при 12,5 тыс. об/мин и был вершиной инженерной мысли. На мотоциклах «Восток» были завоеваны призовые места на чемпионатах мира 1969–70 гг.

В 1970–1980 гг. Валерий Иванович возглавлял отдел двигателей во ВНИИМотопром, где под его руководством создавались новые образцы поршневых мотоциклетных и малолитражных ДВС для Ковровского завода им. Дегтярева, Ирбитского, Минского, Серпуховского, Вятско-Полянского мотозаводов, Шауляйского завода «Вайрас». Тогда же было создано семейство мотоциклов с роторно-поршневыми двигателями, успешно прошедшими испытания. Во ВНИИМотопроме под руководством Панина В.И. было организовано

серийное производство двигателя эскортного мотоцикла для сопровождения правительственных кортежей.

В декабре 1986 г. постановлением ГКНТ СССР Панин В.И. был назначен руководителем проекта «КОМПОЗИТ» в составе ГНТП «Экологически чистый транспорт». В результате выполнения НИОКР по проекту были изготовлены экспериментальные модели двигателя на базе силовых агрегатов ВАЗ-1111 (для автомобиля «Ока») с деталями из композитов. Эта разработка в 1993 г. как лучшая, была отмечена дипломом Международной конференции по малолитражным двигателям SETC'93 (Пиза, Италия), организованной SAE (Int.) и SAE (Japan).

В 1998 г. в должности Генерального директора ОАО МОТОПРОМ, Валерий Иванович руководил совместным проектом с ГНЦ ВНИИИМ им. А.А. Бочвара и «KRICT» (R.Korea) по разработке жаропрочных клапанов и легких шатунов из сплавов на основе интерметаллидов системы Ti-Al.

В начале 2000-х В.И. Панин выступил инициатором создания частной инжиниринговой компании «Compdvig LLC», где под его руководством были созданы и сертифицированы клапаны из жаропрочного титанового сплава, а с 2004 г. компания «Compdvig LLC» начала серийное производство клапанов и деталей ГРМ из титановых сплавов для АО «АвтоВАЗ».

В 2006 г. компания «Compdvig LLC» стала экспортером серийных клапанов газораспределения из титановых сплавов и вошла в пятерку ведущих компаний в мире в этом сегменте рынка. В сезоне 2007–2008 гг. под руководством В.И. Панина компания «Compdvig LLC» вышла на самый элитный рынок в мировом автомобильном спорте — FIA Formula One World Championship (F1) и стала поставщиком таких грандов мирового автоспорта как RENAULT F1, HONDA F1 и MERSEDES-BENS F1.

Всегда находясь на передовой линии науки и техники, Валерий Иванович передавал свой обширный опыт и знания соратникам и коллегам. Созданное В.И. Паниным научное направление по применению композитов в ДВС и совершенствованию их конструкции получило национальное и международное признание и включает плеяду последователей, которые своим трудом вносят весомый вклад в развитие двигателестроения в России.

Редакция журнала «Двигателестроение», сотрудники кафедры двигателей МВТУ им. Баумана, его соратники и коллеги на долгие годы сохраняют светлую память о выдающемся ученом и организаторе производства Валерии Ивановиче Панине

УДК 621.431

Итоги и решение Всероссийской научно-технической конференции «Модернизация и импортозамещение ДВС в составе дизельных энергетических установок для объектов МО РФ» // Двигателестроение. — 2015. — № 4. — С. 3–7.

Ключевые слова: объекты военной инфраструктуры, дизель-генераторная установка, дизели отечественного производства, двигатели нового поколения, импортозамещение ключевых компонентов.

17 ноября 2015 г. в Санкт-Петербурге состоялась Всероссийская научно-техническая конференция «Модернизация и импортозамещение ДВС в составе дизельных энергетических установок для объектов МО РФ». Конференция наметила основные направления решения проблемы коренной модернизации систем автономного и резервного энергообеспечения специальных объектов и военных городков Министерства обороны РФ. Ил. 6

УДК 621.431

Сайданов В.О. Анализ номенклатуры, технического состояния и опыта эксплуатации ДГУ на объектах военной инфраструктуры // Двигателестроение. — 2015. — № 4. — С. 8–9.

Ключевые слова: дизель-генераторная установка, выработанный моторесурс, превышение нормативного срока службы, модернизация систем энергоснабжения, импортозамещение.

Представлен развернутый анализ номенклатуры и технического состояния ДЭУ на действующих объектах военной инфраструктуры. Определены типаж и потребность в силовых агрегатах и ДЭУ, подлежащих замене на новые двигатели отечественного производства в ближайшей и среднесрочной перспективе. Ил. 2.

УДК 621.431

Попов Д.В. Новые разработки ДЭУ для объектов МО РФ на ОАО «Волжский дизель имени Маминых» и предложения по участию в программе импортозамещения // Двигателестроение. — 2015. — № 4. — С. 10–11.

Ключевые слова: ОАО «Волжский дизель имени Маминых», дизель-генераторные установки, силовые агрегаты, ремонт, сервисное обслуживание.

Производителям ДЭУ и заказчикам в структурах МО РФ предложены образцы серийных двигателей производства ОАО «Волжский дизель имени Маминых» в диапазоне мощностей от 300 до 1000 кВт, включая их сервисное обслуживание на протяжении полного жизненного цикла. Ил. 3.

УДК 621.431

Усов М.С., Архипов А.О., Хильченко С.В. ДГУ производства ПАО «Звезда» на базе серийных двигателей типа 12ЧН18/20 и двигателей нового поколения 12ЧН15/17,5 // Двигателестроение. — 2015. — № 4. — С. 12–13.

Ключевые слова: ПАО «Звезда», автоматизированные дизель-генераторные установки, серийные двигатели типа ЧН18/20, двигатели нового поколения типа М150 (ЧН15/17,5).

Для модернизации силовых установок объектов военной инфраструктуры предложены образцы серийных двигателей типа ЧН18/20 и двигателей нового поколения типа М150 (ЧН15/17,5) производства ПАО «Звезда» в диапазоне мощностей от 500 до 1500 кВт. Приводится

описание конструкции двигателя нового поколения V12M150. Ил. 2.

УДК 621.431

Левкович А.В. Комплексные энергообъекты ОАО «Звезда-Энергетика» на базе дизельных энергетических установок (ДЭУ) для объектов МО РФ, созданные по программе импортозамещения // Двигателестроение. — 2015. — № 4. — С. 13–14.

Ключевые слова: ОАО «Звезда-Энергетика», комплексные автоматизированные энергообъекты, дизель-генераторные установки, двигатели двойного топлива, природный газ, биогаз, шахтный метан, мазут, сырая нефть, когенерация.

Представлен опыт ОАО «Звезда-Энергетика» изготовления и строительства «под ключ» энергообъектов различных видов сложности, работающих во всех климатических зонах при температурах воздуха от –60 до +40 °С. Энергетическое оборудование на базе двигателей отечественного производства работает на различных видах топлива, как газообразного (природный газ, биогаз, шахтный метан), так и жидкого (дизельное топливо, мазут, сырая нефть). На объектах внедрена система комплексной автоматизации и диспетчеризации процессов выработки, распределения и учета потребления электрической и тепловой энергии. Ил. 3.

УДК 621.431

Рудковский А.С. Семейство двигателей ДМ-21 и ДМ-185 нового поколения для объектов военной инфраструктуры // Двигателестроение. — 2015. — № 4. — С. 15–16.

Ключевые слова: ООО «Уральский дизель-моторный завод», автоматизированные дизель-генераторные установки, серийные двигатели типа ЧН21/21, двигатели нового поколения типа ЧН18,5/21.

Разработаны образцы автоматизированных дизель-генераторных установок на базе серийных двигателей ООО УДМЗ типа Д21 (ЧН21/21) и двигателей нового поколения типа Д185 (ЧН18,5/21) в диапазоне мощностей от 800 до 3200 кВт для модернизации силовых установок объектов военной инфраструктуры по программе импортозамещения. Сервисное обслуживание двигателей и дизель-генераторов выполняется заводом на всех стадиях полного жизненного цикла оборудования. Ил. 2.

УДК 621.431

Глазистов В.В. Электроагрегаты и электростанции производства ПАО «КамАЗ» // Двигателестроение. — 2015. — № 4. — С. 17–18.

Ключевые слова: ПАО «КамАЗ» дизели, газопоршневые двигатели, автоматизированные электроагрегаты, когенерация, передвижные электростанции.

В качестве автономных источников электроэнергии завод двигателей ПАО «КамАЗ» предлагает электроагрегаты мощностью от 60 до 200 кВт, способные обеспечить потребителей в системе МО РФ переменным трехфазным током напряжением 400 В частотой 50 Гц при температуре окружающей среды от –50 до +50 °С. Электроагрегатами на базе дизельных и газопоршневых двигателей комплектуются электростанции в блок-контейнерах (в том числе с системой когенерации), на автомобильном шасси КамАЗ, на шасси прицепов. Ил. 6.

УДК 621.431

Калиниченко В.В. Применение дизель-генераторов производства ОАО «Коломенский Завод» для объектов

МО РФ в целях импортозамещения // Двигателестроение. — 2015. — № 4. — С. 19–20.

Ключевые слова: ОАО «Коломенский Завод», автоматизированные дизель-генераторные установки, серийные двигатели типа Д49 (ЧН26/26), двигатели нового поколения типа Д500 (ЧН26,5/31).

Для модернизации силовых установок объектов военной инфраструктуры по программе импортозамещения предложены серийные двигатели типа Д49 (ЧН26/26) в диапазоне мощностей от 800 до 4000 кВт и двигатели нового поколения типа Д500 (ЧН26,5/31) мощностью до 6300 кВт. Вся продукция соответствует требованиям новых стандартов РФ, регламентирующих выбросы вредных веществ и дымность отработавших газов. Табл. 2. Ил. 2.

УДК 621.431

Антипов М.А., Михайлин А.Б. Опыт производства и модернизации ДЭУ на основе отечественных ДВС и автоматики собственной разработки // Двигателестроение. — 2015. — № 4. — С. 21–22.

Ключевые слова: ООО «Президент-Нева», комплексные автоматизированные энергообъекты, дизель-генераторные установки, ветрогенераторы, средства автоматики, контроллеры управления.

Представлен опыт ООО «Президент-Нева» изготовления и строительства «под ключ» комплексных энергообъектов различных видов сложности на базе дизель-генераторов российского производства, в том числе работающих совместно с ветрогенераторами. Системы комплексной автоматизации и диспетчеризации энергообъектов выполнены по программе импортозамещения на базе шкафов управления с контроллерами собственного производства. Ил. 2.

УДК 621.431

Новиков Л.А., Смирнов А.В. Обеспечение экологической безопасности и импортозамещение в новых проектах автономных источников энергии для объектов МО РФ // Двигателестроение. — 2015. — № 4. — С. 23–25.

Ключевые слова: промышленные дизели, нормы выбросов вредных веществ, дымность отработавших газов, технологии снижения вредных выбросов, альтернативные топлива.

Представлен анализ технического уровня серийных промышленных двигателей российского производства по показателям выбросов вредных веществ в атмосферу, выполненный на основании данных признанной в системе МАКО испытательной лаборатории. Показано, что значительная часть серийной продукции не соответствует требованиям новых стандартов ГОСТ 31967–2012 (выбросы вредных веществ с отработавшими газами) и ГОСТ 24028–2013 (дымность отработавших газов). Предложены технологии снижения вредных выбросов с целью их нормализации, в том числе за счет применения альтернативных видов топлива. Табл. 1. Ил. 1. Библ. 4.

УДК 621.43

Румб В.К. Прогнозирование долговечности деталей ДВС средствами имитационного моделирования // Двигателестроение. — 2015. — № 4. — С. 26–29.

Ключевые слова: поршневые двигатели, характеристики прочности деталей, усталостная долговечность, имитационное моделирование.

Рассмотрены методические основы прогнозирования усталостной долговечности деталей при их циклических

нагрузках с привлечением метода имитационного моделирования. Это позволяет точнее учитывать рассеяние характеристик прочности деталей и действующих в них напряжений, а также имитировать различные сценарии развития усталостных трещин. Табл. 1. Ил. 1. Библ. 7.

УДК 621.436

Ковальчук Л.И., Исаева М.В. Экспериментально-теоретические модели для диагностирования рабочих процессов в цилиндрах судовых дизелей // Двигателестроение. — 2015. — № 4. — С. 30–33.

Ключевые слова: судовые двигатели, модели диагностирования рабочего процесса, принципы построения, алгоритм и результаты диагностирования.

Применительно к судовым ДВС сформулированы принципы построения экспериментально-теоретических моделей диагностирования рабочего процесса, обладающих свойством инвариантности относительно характеристик винта и условий плавания. Приведен пример построения модели для многоцилиндрового двигателя. Выполнен анализ результатов диагностирования и диагностических возможностей предлагаемых моделей. Ил. 6. Библ. 2.

УДК 621.785

Иванов Д.А., Засухин О.Н. Сочетание закалки сталей с обработкой пульсирующими газовыми потоками // Двигателестроение. — 2015. — № 4. — С. 34–36.

Ключевые слова: термическая обработка деталей, закалочные напряжения и деформации, закалочная среда, пульсирующий газовый поток, изотропия свойств.

Рассмотрены результаты применения экономичной и экологически безопасной технологии закалки сталей с использованием в качестве закалочной среды пульсирующего воздушного потока. Показано, что предлагаемая технология обеспечивает сочетание высокой закалочной твердости деталей при наименьших закалочных напряжениях и деформациях. Табл. 2. Ил. 1. Библ. 9.

УДК 621.43

Альтернативные и традиционные источники энергии (материалы конгресса СИМАС 2013) // Двигателестроение. — 2015. — № 4. — С. 37–49.

Ключевые слова: гибридная судовая установки, твердооксидные топливные элементы, микротурбина, рабочие параметры, переходные процессы, атомные электростанции, аварийные дизель-генераторы, модернизация, ремоторизация.

Обзор содержит два доклада. В первом рассмотрены результаты моделирования рабочих параметров гибридной судовой силовой установки модульного типа для судов с электродвижением. Показано, что при работе на природном газе электрический КПД гибридной установки достигает 66,8 % при практически полном отсутствии выбросов вредных веществ в атмосферу. Для улучшения динамических показателей гибридной установки применяется аккумуляторная батарея.

Во втором докладе рассмотрены технология модернизации и возможные проблемы при замене (ремоторизации) мощных промышленных дизелей в составе дизель-генераторов, предназначенных для аварийного энергоснабжения атомных электростанций. Перевод докладов выполнен к.т.н. Г. Мельником. Табл. 1. Ил. 13. Библ. 18.

UDC 621.431

National Conference «Reciprocating Engines of Military Generator Sets. Modernization and Replacement of Imported Engines by Domestic Ones». Resume and Resolution // Dvigatelistroyeniye. — 2015. — № 4. — P. 3–7.

Keywords: military infrastructure components, diesel-generator, domestic make diesel engines, replacement of imported sensitive components.

National Conference «Reciprocating Engines of Military Generator Sets. Modernization and Replacement of Imported Engines by Domestic Ones» was held in Saint-Petersburg on November 17, 2015. The Conference drew up guidelines on radical modernization of self-contained and backup power supplies for Russian military facilities and settlements. 6 ill.

UDC 621.431

Saidanov V.O. Diesel-Generators of Military Facilities: Analysis of Nomenclature, Technical State and Field Experience // Dvigatelistroyeniye. — 2015. — № 4. — P. 8–9.

Keywords: diesel-generator set, excessive run hours, exceeding design lifetime, modernization of power supplies, replacement of imported items by domestic ones.

The paper contains detailed analysis of nomenclature and technical state of diesel-generators used in existing military facilities. Furthermore, it identifies types and quantity of diesel-generator sets and power packages to be replaced by domestic analogs in the short- and the medium terms. 2 ill.

UDC 621.431

Popov D.V. Newly-Developed Diesel-Generator Sets for Military Infrastructure Components from JSC Mamin Brothers Volzhsky Diesel, and Proposals for Replacement Program // Dvigatelistroyeniye. — 2015. — № 4. — P. 10–11.

Keywords: JSC Mamin Brothers Volzhsky Diesel diesel-generator sets, power packages, repair, servicing.

Proposed are commercially available engines from JSC Mamin Brothers Volzhsky Diesel, rated at 300 to 1000 kW, including their lifetime servicing. 3 ill.

UDC 621.431

Usov M.S., Arkhipov A.O. and Khilchenko S.V. Diesel-Generator Sets from Zvezda Works, Powered by Serial Engines Type 12CHN18/20 and New-Generation Engines Type 12CHN15/17,5 // Dvigatelistroyeniye. — 2015. — № 4. — P. 12–13.

Keywords: Zvezda Works, automatic power packages, serial engines type 12ChN18/20 and new-generation engines type M150 (12ChN15/17,5).

Commercially available engines type 12ChN18/20 and new-generation engines type M150 (12ChN15/17,5 from Zvezda Works are proposed for modernization of power packages for military facilities. Design features of type V12M150 engine are described. 2 ill.

UDC 621.431

Levkovich A.V. Integrated Power Packages from JSC Zvezda-Energetica, Based on Diesel-Generator Sets for Military Facilities, Developed under Import-Replacement Program // Dvigatelistroyeniye. — 2015. — № 4. — P. 13–14.

Keywords: JSC Zvezda-Energetica, integrated power packages, diesel-generator sets, dual-fuel engines, natural gas, biogas, mine methane, heavy fuel, crude oil,

co-generation.

The paper presents the experience of JSC Zvezda-Energetica in producing and turnkey-basis erection of various power plants, operating in wide climatic range, at ambient air temperature –60 to +40 °C. The units powered by Russian make engines fire a variety of fuels, both gaseous (such as natural gas, biogas, mine methane) and liquid (diesel, heavy fuel, crude oil). The power units feature comprehensive automation systems in charge of producing, distribution and consumption records of electric and thermal energy. 3 ill.

UDC 621.431

Rudkovsky A.S. Engines Type DM-21 and DM-185 (New Generation) for Military Facilities // Dvigatelistroyeniye. — 2015. — № 4. — P. 15–16.

Keywords: JSC Urals Diesel Works, automated power packages, engine family ChN-21, engine family ChN-18,5/21.

The paper presents newly-developed automated units powered by engines from JSC Urals Diesel Works, i. e. commercially available engines type DM21 (ChN21/21) and new-generation engines type DM185 (ChN18,5/21). Power units rated at 800 to 3200 kW will expectedly be used in modernization of military facilities under import-replacement program. JSC Urals Diesel Works offers servicing engines and diesel-generator sets for the whole life cycle. 2 ill.

UDC 621.431

Glazistov V.V. Diesel-Generator Sets and Power Plants from JSC KamAZ // Dvigatelistroyeniye. — 2015. — № 4. — P. 17–18.

Keywords: JSC KamAZ, diesel engines, gas engines, automated power units, cogeneration, portable electrical power plants.

JSC Kamaz offers power units rated at 60 to 200 kW producing 3-phase current at 400 VAC, 50 Hz, operable at ambient temperature of –50 to +50 °C. Self-contained power plants (including those complete with cogeneration systems) are powered by diesel or gas engines and may be truck- or trailer-mounted. 6 ill.

UDC 621.431

Kalinichenko V.V. Diesel-Generators from JSC Kolomna Works for Military Facilities // Dvigatelistroyeniye. — 2015. — № 4. — P. 19–20.

Keywords: JSC Kolomna Works, automated power packages, commercially available engine family D49 (ChN26/26), new-generation engine family D500 (ChN26,5/31).

JSC Kolomna Works offers commercially available engines type D49 (ChN26/26) rated at 800 to 4000 kW, and new-generation engines type D500 (ChN26,5/31) rated at up to 6300 kW for power plants modernization under import-replacement program. All the above items are compliant with new national emission regulations. 2 ill., 2 tables.

UDC 621.431

Antipov M.A. and Mikhailin A.B. Experience of Producing And Modernization of Diesel Engine Sets Using Domestic Make Engines and Proprietary Control Systems // Dvigatelistroyeniye. — 2015. — № 4. — P. 21–22.

Keywords: JSC President-Neva, automated power packages, diesel-generator sets, windmills, controls, controllers.

The paper describes JSC President-Neva activities in producing and turnkey-basis erection of various power units featuring Russian make diesel-generators, optionally operating in parallel with windmills. Power units in question feature comprehensive automation systems featuring control cabinets based on President-Neva proprietary controllers. 2 ill.

UDC 621.431

Novikov L.A. and Smirnov A.V. Environmental Safety and Import Replacement Aspects in Development of New Power Supplies for Military Facilities // Dvigatelistroyeniye. — 2015. — № 4. — P. 23–25.

Keywords: industrial diesel engines, emission regulations, exhaust opacity, emission reduction technologies, alternative fuels.

Russian make serial diesel engines were tested for environmental performance in IACS-attested laboratory. Considerable share of commercially available engine families are shown to be non-compliant with new national standards GOST 31967–2012 (gaseous exhaust emissions) and GOST 24028–2013 (exhaust gas smoke emissions). Emission reduction technologies are offered, including, in particular, use of alternative fuels. 1 ill., 1 table.

UDC 621.43

Rumb V.K. Prediction of Engine Parts' Lifetime through Simulation Modeling // Dvigatelistroyeniye. — 2015. — № 4. — P. 26–29.

Keywords: reciprocation engines, part strength characteristics, fatigue life, simulation modeling.

The article discusses basics of fatigue life prediction using simulation modeling method. Such an approach enables more accurate account of part strength characteristics and strains dissipation, and imitation of various modes of fatigue crack propagation. 1 ill., 1 table, 7 ref.

UDC 621.436

Kovalchuk L.I. and Isaeva M.V. Experimental-Theoretical Models for Combustion Diagnostics in Marine Diesel Engine // Dvigatelistroyeniye. — 2015. — № 4. — P. 30–33.

Keywords: marine diesel engines, combustion diagnos-

tic models, analysis basics, diagnostic algorithm and results.

Basics are set forth of drawing up experimental-theoretical models for combustion diagnostics, invariant to propeller characteristics and navigation conditions. An example is given of drawing up a model for multi-cylinder engine. Analyses of diagnostic results and capacities of models in question are carried out. 6 ill., 2 ref.

UDC 621.785

Ivanov D.A. and Zasukhin O.N. Combined Treatment of Parts with Pulsating Gas Flows and Heat // Dvigatelistroyeniye. — 2015. — № 4. — P. 34–36.

Keywords: thermal treatment, brinelling stresses and strains, hardening medium, pulsating gas flow, isotropy. Cost-efficient and environmentally-safe steel treatment technology is described, where pulsating gas flow is used as a hardening medium. Method in question is shown to ensure high quench hardness with minimum brinelling stresses and strains. 1 ill., 2 tables, 9 ref.

UDC 621.43

Conventional and Alternative Energy Sources (based on CIMAC 2013 papers) // Dvigatelistroyeniye. — 2015. — № 4. — P. 37–49.

Keywords: hybrid power system for ship application, solid oxide fuel cell, microturbine, operating values, transients, nuclear power plants, emergency diesel-generators, modernization, engine replacement.

The review contains two papers. One of them discusses the results of simulation of modular hybrid power system for ship application. It is shown that electric efficiency of hybrid system firing natural gas reaches 66,8 % at part load, while noxious emissions are next to zero. A battery or super-capacitor is used to compensate for high thermal inertia of cell stack, so as to improve system transient characteristics.

Another paper discusses issues involved in upgrades or replacement of emergency diesel-generators of nuclear power plants. The CIMAC papers are translated into Russian by G.Melnik, PhD. 13 ill., 1 tables, 18 ref.

Перечень статей, опубликованных в журнале «Двигателестроение» за 2015 год

ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЕ В РОССИИ

1. **Итоги и решение** Всероссийской научно-технической конференции «Модернизация и импортозамещение ДВС в составе дизельных энергетических установок для объектов МО РФ» (№ 4. С. 3–7).
2. **Сайданов В.О.** Анализ номенклатуры, технического состояния и опыта эксплуатации ДГУ на объектах военной инфраструктуры (№ 4. С. 8–9).
3. **Попов Д.В.** Новые разработки ДЭУ для объектов МО РФ на ОАО «Волжский дизель имени Маминых» и предложения по участию в программе импортозамещения (№ 4. С. 10–11).
4. **Усов М.С., Архипов А.О., Хильченко С.В.** ДГУ производства ПАО «Звезда» на базе серийных двигателей типа 12ЧН18/20 и двигателей нового поколения 12ЧН15/17,5 (№ 4. С. 12–13).
5. **Левкович А.В.** Комплексные энергообъекты ОАО «Звезда-Энергетика» на базе дизельных энергетических установок (ДЭУ) для объектов МО РФ, созданные по программе импортозамещения (№ 4. С. 13–14).

6. **Рудковский А.С.** Семейство двигателей ДМ-21 и ДМ-185 нового поколения для объектов военной инфраструктуры (№ 4. С. 15–16).
7. **Глазистов В.В.** Электроагрегаты и электростанции производства ПАО «КамАЗ» (№ 4. С. 17–18).
8. **Калиниченко В.В.** Применение дизель-генераторов производства ОАО «Коломенский Завод» для объектов МО РФ в целях импортозамещения (№ 4. С. 19–20).
9. **Антипов М.А., Михайлин А.Б.** Опыт производства и модернизации ДЭУ на основе отечественных ДВС и автоматики собственной разработки (№ 4. С. 21–22).
10. **Новиков Л.А., Смирнов А.В.** Обеспечение экологической безопасности и импортозамещение в новых проектах автономных источников энергии для объектов МО РФ (№ 4. С. 23–25).

РАСЧЕТЫ. КОНСТРУИРОВАНИЕ. ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЕЙ

1. **Тузov Л.В., Ганин Н.Б., Пряхин А.С.** Идеальный термодинамический цикл ДВС с изохорным и изотер-

- мическим способами подвода теплоты (№ 1. С. 3–6).
2. **Гусаров В.В., Автаев Ф.В.** Уравновешивание двигателей типа W8 (№ 1. С. 7–13).
 3. **Тер-Мкртчян Г.Г.** Двигатели с продолженным расширением рабочего тела (№ 2. С. 3–9).
 4. **Дмитриевский Е.В.** Распределение давления газов в межкольцевых пространствах поршня малооборотного двухтактного двигателя (№ 2. С. 10–14).
 5. **Галышев Ю.В., Шабанов А.Ю., Румянцев В.В., Хильченко С.В., Ивановский Д.К.** Анализ перспективных методов снижения мощности механических потерь в форсированном дизельном двигателе (№ 3. С. 3–7).
 6. **Тер-Мкртчян Г.Г.** Трансформация рабочего цикла ДВС при разделении и добавлении тактов (№ 3. С. 8–17).
 7. **Путинцев С.В., Агеев А.Г.** Результаты моделирования деформации юбки поршня быстроходного дизеля от действия гидродинамического давления масла (№ 3. С. 18–21).
 8. **Румб В.К.** Прогнозирование долговечности деталей ДВС средствами имитационного моделирования (№ 4. С. 12–15).

ИПИ-ТЕХНОЛОГИИ

1. **Бирюк В.В., Каюков С.С., Белоусов А.В., Галямов Р.Э.** Методика прогнозирования качества распыливания топлива форсункой на основе CALS/ИПИ технологий (№ 2. С. 15–19).

СИСТЕМЫ ДВИГАТЕЛЕЙ. АГРЕГАТЫ

1. **Равич А.Ф., Богданов С.Н.** Автоэквилибрантное роторно-поршневое устройство (№ 2. С. 20–24).
2. **Лысунец А.В., Медведев В.В.** Моделирование скоростных характеристик ДВС для разработки автоматических систем управления с обратной связью (№ 2. С. 25–27).
3. **Шестаков Д.С., Кочев Н.С.** Методы определения и устранения неравномерности цикловой подачи топлива при настройке ТНВД многоцилиндровых дизелей (№ 3. С. 22–25).

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЕ

1. **Коньков А.Ю., Яранцев М.В.** Способ диагностирования плунжерных пар топливного насоса высокого давления (№ 1. С. 14–18).
2. **Ковальчук Л.И., Исаева М.В.** Экспериментально-теоретические модели для диагностирования рабочих процессов в цилиндрах судовых дизелей (№ 4. С. 30–33).

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ

1. **Пушнин В.П.** Строение сферических наноразмерных частиц дизельной сажи (№ 1. С. 19–25).
2. **Патрахальцев Н.Н., Аношина Т.С., Камышников Р.О.** Снижение расхода топлива и вредных выбросов дизеля на режимах малых нагрузок методом изменения рабочего объема (№ 1. С. 26–29).
3. **Живлюк Г.Е., Петров А.П.** Анализ возможностей снижения выбросов вредных веществ эксплуатируемых СДЭУ (№ 1. С. 30–34).
4. **Гумеров И.Ф., Валеев Д.Х., Куликов А.С., Хафизов Р.Х., Борисенков Е.Р., Гатауллин Н.А.** Опыт создания стенда для исследований экологических показателей двигателей (№ 3. С. 26–30).

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1. **Марукович Е.И., Бевза В.Ф., Груша В.П., Красный В.А.** Повышение качества деталей из чугунов путем совершенствования процесса структурообразования (№ 1. С. 35–40).
2. **Иванов Д.А., Засухин О.Н.** Сочетание термической обработки с обработкой пульсирующими газовыми потоками (№ 4. С. 34–36).

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ ДВИГАТЕЛЕЙ

1. **Смолинский С.Н., Булат Р.Е., Сайданов В.О.** Концепция децентрализованного энергоснабжения объектов МО РФ и проблемы подготовки военных инженеров-энергетиков (№ 2. С. 28–32).
2. **Патрахальцев Н.Н., Пилар Габриэла Борреро Гарсия.** Анализ возможности повышения эксплуатационной топливной экономичности судового дизеля (№ 3. С. 31–33).

ГИПОТЕЗЫ И ДИСКУССИИ

1. **Ерофеев В.Л., Ганин Н.Б., Пряхин А.С.** Пределы повышения энергетической эффективности топливоиспользования поршневого ДВС (№ 2. С. 33–38).

НОВОСТИ ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ

1. **Мельник Г.В.** Обзор публикаций журнала «Diesel & Gas Turbine Worldwide» за 2014 год (№ 1. С. 41–50).
2. Двухтопливные двигатели (материалы конгресса СИМАС 2013) (№ 2. С. 39–57).
3. Технологии снижения выбросов NO_x и частиц судовых дизелей (материалы конгресса СИМАС 2013) (№ 3. С. 34–52).
4. Альтернативные и традиционные источники энергии (материалы конгресса СИМАС 2013) (№ 4. С. 37–49).

Вниманию авторов

Редакция обращает внимание авторов на тематическую направленность принимаемых к рассмотрению рукописей и необходимость выполнения требований по их оформлению.

Журнал «Двигателестроение» является ежеквартальным научно-техническим изданием, посвященным проблемам развития, проектирования, изготовления и эксплуатации поршневых двигателей.

Тематика публикаций определила следующие основные рубрики журнала:

- расчеты, конструирование, исследования двигателей;
- системы и агрегаты двигателей;
- конструкционные материалы;
- топливо и смазочные материалы, присадки;
- ресурсосбережение;
- эксплуатация и ремонт двигателей;
- автоматизация и диагностирование;
- проблемы экологии;
- гипотезы и дискуссии;
- история развития конструкций (проектов), предпрятий и науки о двигателях;
- обзорная и справочная информация.

Текст рукописи должен быть представлен в двух экземплярах на бумаге формата А4, гарнитура Times New Roman 12, через полтора интервала, с обязательным приложением электронной версии (в формате Microsoft Word 2000/2003), полностью соответствующей оригиналу на бумаге. Формулы в электронной версии должны быть набраны с использованием редактора формул Microsoft Equation 3.0. За достоверность набора формул несет ответственность автор. При использовании в наборе специальных шрифтов последние прилагаются в электронном виде. Электронные копии иллюстраций представляются отдельными файлами в форматах: TIF, JPG (не менее 300 dpi, черно-белые полутоновые изображения).

Представляя рукопись статьи в редакцию, автор должен сообщить о ее предыдущих публикациях.

Рукопись статьи должна иметь рекомендацию к публикации в журнале (направление) от организации, где выполнялась работа, а также акт экспертной комиссии с указанием того, что рукопись не содержит сведений, запрещенных к публикации в открытой печати.

Заглавие статьи должно быть кратким (не более 120 знаков), точно отражающим ее содержание.

Для оперативного решения вопросов, связанных с подготовкой рукописи к публикации, а также для размещения электронной версии журнала в НЭБ должны быть представлены сведения об авторах:

- фамилия, имя, отчество (полностью);
- ученая степень и звание;
- полное наименование места работы;
- полный почтовый адрес;
- действующие контактные телефоны, e-mail).

Для представления авторов читателям желательно присылать цветные или черно-белые фотографии авторов размером не менее чем 3×4 см. Допускаются электронные копии в форматах TIF или JPG.

Обязательными приложениями к рукописи являются: реферат, в котором четко и сжато изложены основные цели и результаты работы объемом от 700 до 1200 знаков; код УДК; ключевые слова.

Заглавие статьи, название организаций, ФИО авторов, ключевые слова и реферат необходимо присылать на русском и английском языках.

Объем статьи не должен превышать 25 тыс. знаков, включая таблицы и список литературы. Иллюстрации в виде графиков, диаграмм, схем и фотографий оформляются в виде приложений к тексту рукописи. Все приложения к тексту рукописи представляются на отдельных листах, а в электронной копии — в виде отдельных файлов. Формулы, иллюстрации и таблицы должны быть пронумерованы в порядке упоминания и снабжены поясняющими (подрисовочными) подписями. Все обозначения на иллюстрациях должны быть объяснены (расшифрованы) в тексте или в подрисовочных подписях и соответствовать обозначениям в тексте.

Даже если все иллюстрации заверстаны автором в текст электронной копии рукописи, то их представление в виде отдельных файлов и распечаток на отдельном листе обязательно.

В статьях желательно приводить только те математические формулы, которые необходимы для понимания существа вопроса, исключая их подробные выводы.

Все обозначения, встречающиеся в формулах, должны быть объяснены.

При написании формул необходимо использовать общепринятые обозначения физических величин по Международной системе единиц (ГОСТ 8.417–2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин). Ссылки на цитируемые источники необходимо оформлять в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5 05–2008.

Если представленные в редакцию рукописи не удовлетворяют перечисленным требованиям, то они могут быть доработаны по согласованию с автором сотрудниками редакции. Услуги редакции по доработке рукописей статей платные.

Рукописи статей, поступившие в редакцию, рецензируются специалистами. Если у рецензента имеются обоснованные критические замечания, статья возвращается автору на доработку.

Редакция оставляет за собой право внесения в текст редакторских изменений, не искажающих смысла авторского текста. При поступлении в редакцию обоснованных критических замечаний, касающихся размещенного в журнале материала, редакция оставляет за собой право на их публикацию в порядке дискуссии.

Авторское право на конкретную статью принадлежит авторам. Ответственность за содержание статьи несет также автор. При перепечатке статьи или ее части ссылка на журнал обязательна.

Публикация в журнале учитывается ВАК в качестве печатного научного труда.

Рукописи, направленные в редакцию, авторам не возвращаются.

Редакция журнала