

верхних канавок поршневых колец, а наибольший износ имеют поршни с корундовым слоем только на головке поршня.

2. Износ гильз цилиндров дизеля серийного тепловоза более чем в 3 раза превышает износ гильз дизеля опытного тепловоза при одинаковой нагрузке.

3. Наименьший износ имеют гильзы цилиндров первой ЦПГ, оснащенной поршнями с корундовым слоем на всей рабочей поверхности. Несколько больший износ имеют гильзы цилиндров второй ЦПГ, оснащенной поршнями с корундовым слоем на головке и кольцевом поясе. Самый большой износ имеют гильзы цилиндров третьей ЦПГ, оснащенной поршнями с корундовым слоем только на головке поршня, но и он в 3 раза меньше износа гильз дизеля с серийными поршнями.

4. Низкий коэффициент трения корундовой поверхности способствует снижению величины износа цилиндрической части поршня, кольцевых канавок

и гильз цилиндров, однако решающее влияние на снижение износа деталей ЦПГ оказывает теплоизолирующее воздействие корундового слоя на доньшке поршня на процесс горения в камере сгорания дизеля.

**Список литературы:**

1. Клякв М.Д. Визначення фізико-хімічних параметрів процесу синтезу в електролітній плазмі оксидокерамічних покриттів на алюмінієвих сплавах. Автореферат д-ції кандидата тех. наук. – Львів, 1996 р. – 19 с. 2. Чигиринова Н.М., Чигиринов В.В., Чигиринов В.Е. Оксидные керамические покрытия-эффективная тепловая защита рабочих поверхностей деталей ЦПГ // Автомобильная промышленность, 2004, №6, с 30-34. 3. Шпаковский В.В. Поршни с корундовой поверхностью. Материалы международной конференции «Технологии ремонта машин и механизмов» РЕМОНТ-98, Киев, 1998.-С.21.

УДК 621.577

**Б.Д. Билека, инж., Н.И. Радченко, инж., А.А. Сирота, канд. техн. наук, Д.В. Коновалов, инж.**

**ТРИГЕНЕРАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОХЛАЖДЕНИЯ ЦИКЛОВОГО ВОЗДУХА СУДОВЫХ ГТД**

**1. Анализ проблемы и постановка задачи исследования**

Судовые ГТД эксплуатируются в широком диапазоне температур наружного воздуха, что обусловлено как изменением района плавания, так и сезонными их колебаниями. Повышение температуры наружного воздуха приводит к существенному снижению мощности и КПД двигателей, поэтому проблема повышения их эффективности при повышенных

температурах воздуха на входе стоит в судовой энергетике остро. Весьма целесообразным представляется охлаждение воздуха с помощью холодильных машин, использующих теплоту уходящих газов.

Значительные резервы повышения эффективности ГТД связаны с промежуточным охлаждением сжатого воздуха. Благодаря высокой температуре (120...140 °С и выше) сжатый воздух можно рассматривать не только в качестве объекта охлажде-

ния, но и как источник теплоты, которую целесообразно использовать для производства холода в ТХМ с температурой 5...10 °С. В этом случае имеет место двойной эффект: за счет промежуточного охлаждения сжатого воздуха, являющегося источником тепловой энергии для теплоиспользующей холодильной машины (ТХМ), и в результате понижения температуры наружного воздуха на входе за счет произведенного в ТХМ холода. Производство холода в дополнение к механической или (и) электрической и тепловой энергии (когенерации) известно как тригенерация [1–3].

Известны результаты исследований по охлаждению воздуха ГТД с помощью воздушных турбокомпрессорных холодильных машин [4, 5]. Но КПД воздушных холодильных машин довольно низкий, а сами установки сложны и громоздки. Что касается теплоиспользующих холодильных машин абсорбционного типа, то им также свойственны повышенные габариты (соответственно и аэродинамическое сопротивление), и целесообразность их включения в газовый и воздушный тракты ГТД весьма проблематична. Конструктивной простотой и надежностью в эксплуатации отличаются ТХМ эжекторного типа, в которых эжектор выполняет функцию компрессора [6, 7]. Включение тригенерационных контуров на базе таких ТХМ в ГТД не приведет к заметному усложнению последних. В ТХМ используются низкокипящие рабочие тела (НРТ), что позволяет утилизировать теплоту сравнительно низкого температурного уровня, например уходящих газов после утилизационного пароводяного котла.

**Целью** исследования является оценка эффективности применения систем тригенерации для охлаждения циклового воздуха ГТД.

## 2. Анализ эффективности применения тригенерации для охлаждения циклового воздуха ГТД

Эффективность тригенерации анализировалась для случаев предварительного и промежуточного охлаждения циклового воздуха ГТД путем использования теплоты уходящих газов и сжатого воздуха между компрессорными ступенями. Система тригенерации на базе эжекторной ТХМ, использующей теплоту уходящих газов после утилизационного котла для охлаждения наружного воздуха на входе ГТД (рис. 1), состоит из паросилового и холодильного контуров. Паросилового контур включает в себя генератор парообразного НРТ, установленный в газовой выпускном тракте ГТД после утилизационного котла, паровой эжектор, выполняющий одновременно функции детандера силового контура и компрессора холодильного контура, конденсатор и насос подачи жидкости в генератор. В холодильный контур помимо указанных выше эжектора и конденсатора входят дроссельный клапан и испаритель.

Температура уходящих газов на входе в испарительную секцию генератора паров НРТ высокого давления (после пароводяного утилькотла) принималась  $t_{r1} \approx 180$  °С, а после испарительной секции генератора  $t_{r,и2} = t_r + 20$  °С, где  $t_r$  – температура кипения НРТ, принималась равной 120 °С. В качестве НРТ применен озонобезопасный хладагент R142b [7]. При этом в соответствии с термодинамическим циклом эжекторной холодильной машины и тепловыми балансами по газу и НРТ температура уходящих газов после экономайзерной секции генератора тригенерационного контура устанавливается на уровне  $t_{r2} \approx 100$  °С, вполне допустимом с точки зрения сернистой коррозии. Вынесение экономайзера из газотока на линию сжатого воздуха между компрессорными ступенями в этом случае нецелесообразно, поскольку теплота сжатого воздуха сравнительно высокой температуры может быть сначала отведена испарительной секцией генератора ТХМ, а уже после снижения температуры воздуха – экономайзерной.

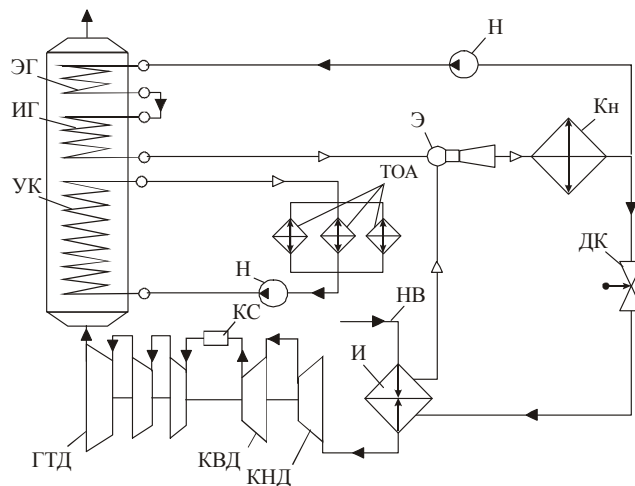


Рис. 1. Схема системы тригенерации ГТД на базе эжекторной ТХМ, использующей теплоту уходящих газов после утилизационного котла для охлаждения наружного воздуха на входе:

ЭГ и ИГ – экономайзерная и испарительная секции генератора паров НРТ; Э – эжектор; Кн – конденсатор; Н – насос; ДК – дроссельный клапан; НВ – наружный воздух; И – испаритель (воздухоохладитель); КНД и КВД – компрессоры низкого и высокого давления; ГТД – газотурбинный двигатель; КС – камера сгорания; УК – утилизационный котел; ТОА – теплообменные аппараты (потребители теплоты)

Результаты расчетов показали, что в случае применения тригенерации совместно с традиционной утилизацией теплоты уходящих газов в пароводяном утилькотле (когда  $t_{r1} \approx 180 \text{ }^\circ\text{C}$ ) относительное приращение мощности  $\bar{N}$  и абсолютное приращение КПД  $\bar{\eta}$  ГТД за счет охлаждения воздуха на входе ГТД составляют:  $\bar{N} = 10 \dots 20 \%$  и  $\bar{\eta} = 1 \dots 2 \%$  (по сравнению с базовым вариантом без тригенерации). При этом весь охлаждающий эффект может быть реализован путем снижения температуры наружного воздуха на входе в двигатель.

В случае более высокой температуры уходящих газов ( $t_{r1} = 250 \text{ }^\circ\text{C}$  и выше) и температурах кипения НРТ, находящихся в рациональном для R142b диапазоне значений  $t_r = 100 \dots 120 \text{ }^\circ\text{C}$  [7], во избежание чрезмерного снижения температуры уходящих газов после экономайзерной секции генератора, чреватого опасностью возникновения сернистой коррозии, экономайзерную секцию генератора паров НРТ целесообразно выносить из газовыпускного тракта на

линию сжатого воздуха между компрессорными ступенями. В результате комплексного использования теплоты уходящих газов и сжатого воздуха образуется избыток холодопроизводительности (по отношению к требуемой для предварительного охлаждения наружного воздуха на входе), который может быть задействован для промежуточного охлаждения между компрессорными ступенями ГТД. Соответствующая схема системы тригенерации приведена на рис. 2.

Эффективность комплексной утилизации теплоты с вынесением экономайзера генератора НРТ из газохода на линию сжатого воздуха зависит от его температуры  $t_{в1}$  на входе в экономайзер. Как показали расчеты, приращение КПД ГТД составляет:  $\bar{\eta} = 1,5 \dots 3,5 \%$  (при  $t_{в1} = 140 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и  $\bar{\eta} = 2,5 \dots 5,0 \%$  (при  $t_{в1} = 180 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Такая температура воздуха будет при значениях оптимальной (соответствующей максимальному приращению КПД в результате промежуточного охлаждения воздуха) промежуточной степени повышения давления  $\pi_{к1}/\pi_{к2} = 0,1 \dots 0,3$  и суммар-

ной степени  $\pi_k = 15...25$  [8, 9], чему соответствует степень повышения давления в компрессоре первой ступени  $\pi_{k1} = 1,5...2,5$ . С повышением  $\pi_k$  оптималь-

ные степени  $\pi_{k1}/\pi_{k2}$  смещаются в сторону меньших величин.

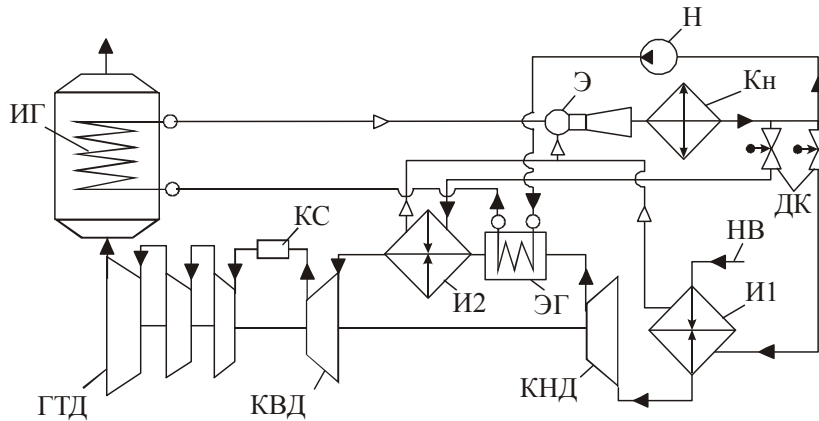


Рис. 2. Схема системы тригенерации ГТД на базе эжекторной ТХМ, использующей теплоту уходящих газов и сжатого воздуха для предварительного и промежуточного охлаждения воздуха:

ЭГ и ИГ – экономайзерная и испарительная секции генератора паров НРТ; Э – эжектор; Кн – конденсатор; Н – насос; ДК – дроссельный клапан; НВ – наружный воздух; И1 и И2 – испарители (воздухоохладители); КНД и КВД – компрессоры низкого и высокого давления; ГТД – газотурбинный двигатель; КС – камера сгорания

Таким образом, при комплексной утилизации с использованием произведенного в ТХМ холода для глубокого промежуточного охлаждения целесообразно применение бустерного компрессора с незначительной степенью повышения давления. С увеличением  $\pi_k$  от 15 до 25 приращение КПД за счет промежуточного охлаждения возрастает от 4 до 8 %, т.е. эффективность промощаждения заметно повышается, что подтверждается известными данными [10, 11]. При расчетах за базовый вариант был принят двигатель без промощаждения с температурой наружного воздуха на входе  $20^\circ\text{C}$ .

Эффективность применения тригенерации была проанализирована для ряда ГТД производства ГП НПК ГТ "Заря"–"Машпроект" (г. Николаев), охватывающего широкий диапазон мощностей от 2,85 до 114,5 МВт. Результаты расчетов повышения мощности  $N$  и КПД для случаев использования тригенерации с целью только предварительного охлаждения воздуха на входе ГТД и дополнительного промощаждения воздуха между компрессорными ступенями представлены на рис. 3 и 4. В качестве НРТ приме-

нен R142b; температура кипения НРТ в испарителе низкого давления (охладителе воздуха)  $t_0 = 0^\circ\text{C}$  и испарителе высокого давления (генераторе пара НРТ)  $t_r = 120^\circ\text{C}$ ; конденсации  $t_k = 35^\circ\text{C}$ .

Как видно, приращение мощности  $\bar{N}$  составляет 20...30 % и КПД – 2...5 % (меньшая величина – за счет только предварительного охлаждения воздуха, большая – еще и промощаждения). Приращение показателей ГТД за счет глубокого промежуточного охлаждения воздуха во второй ступени испарителя тригенерационной системы (первая ступень установлена на входе наружного воздуха в ГТД для его предварительного охлаждения) рассчитывалось при оптимальной степени повышения давления  $\pi_k = 1,5...2,5$ , т.е. с применением бустерного, поджимающего, компрессора. При этом сравнение производилось с показателями ГТД при промежуточном водяном охлаждении (до  $50^\circ\text{C}$ ). Если же принимать в качестве базового варианта ГТД без промощаждения, то будет иметь место дополнительное приращение КПД еще почти на 1 %.

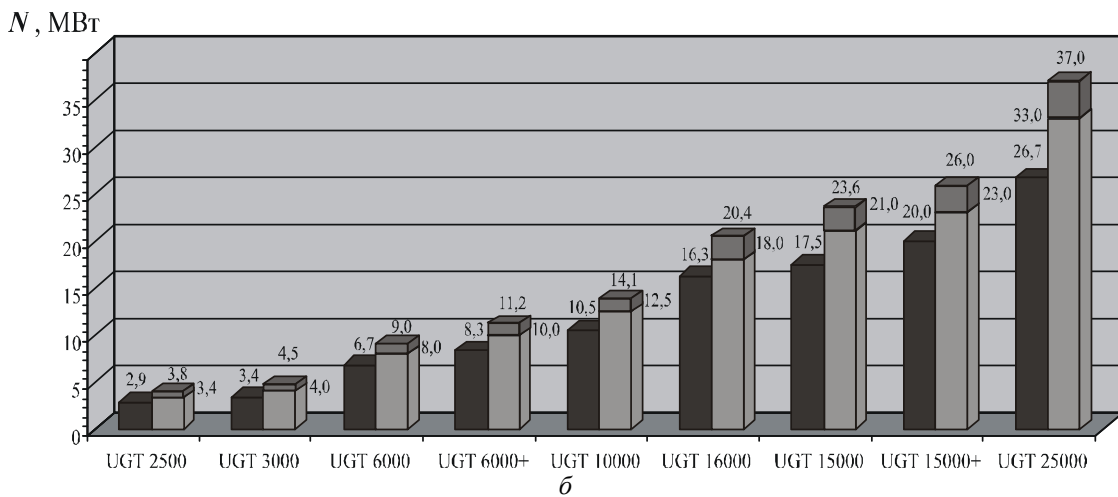
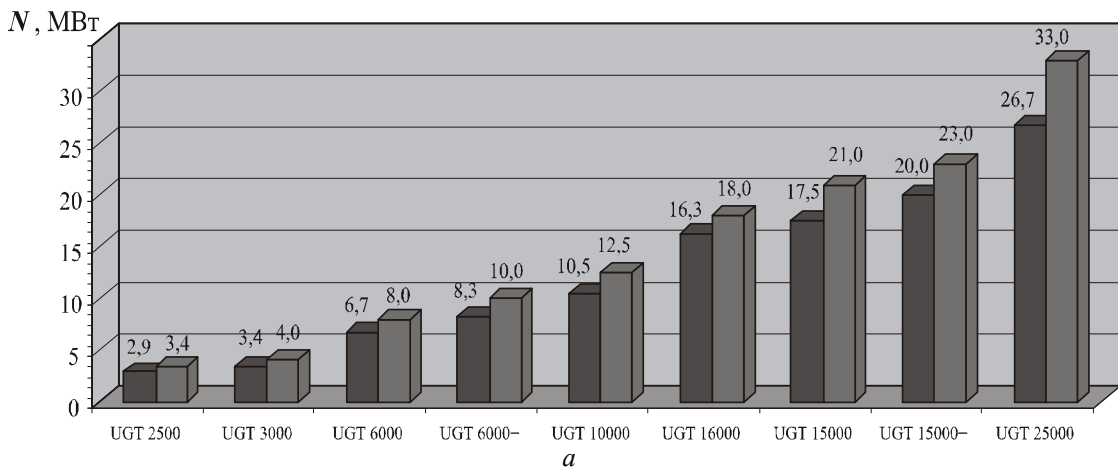


Рис. 3. Мощность ГТД: темным цветом – без тригенерации; светлым – с тригенерацией; а – предварительное охлаждение воздуха; б – предварительное и промощаждение

Таким образом, охлаждение циклового воздуха – наружного воздуха на входе в компрессор ГТД и сжатого воздуха между компрессорными ступенями – является перспективным направлением повышения энергетической эффективности ГТД.

### 3. Выводы и перспективы дальнейшего использования результатов

1. Обоснована эффективность применения комплексной тригенерации в ГТД – с утилизацией теплоты уходящих газов и сжатого воздуха между компрессорными ступенями и использованием произведенного холода для предварительного и глубокого

промежуточного охлаждения воздуха. Предложены соответствующие схемные решения систем тригенерации.

2. Показано, что комплексная тригенерация обеспечивает повышение мощности ГТД на 20...30 % и КПД на 2...5 %.

#### Список литературы:

1. Долинский А.А., Басок Б.И., Коломейко Д.А. Эффективность когенерационных тепловых схем // Техногенна безпека: Наукові праці МДГУ ім. П.Могили. – Миколаїв: МДГУ. – 2007. – Т. 61, Вип. 48. – С. 30-38.

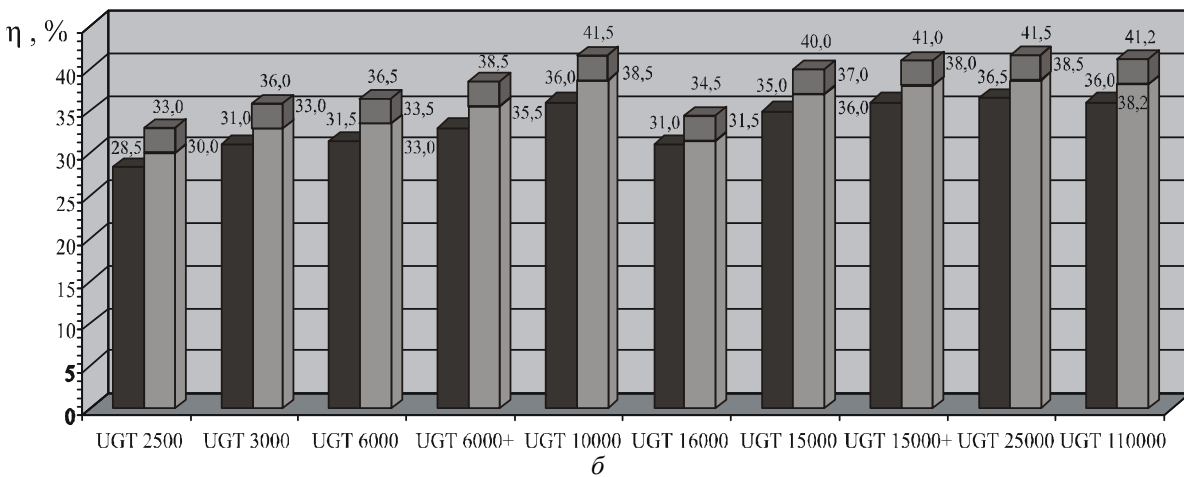
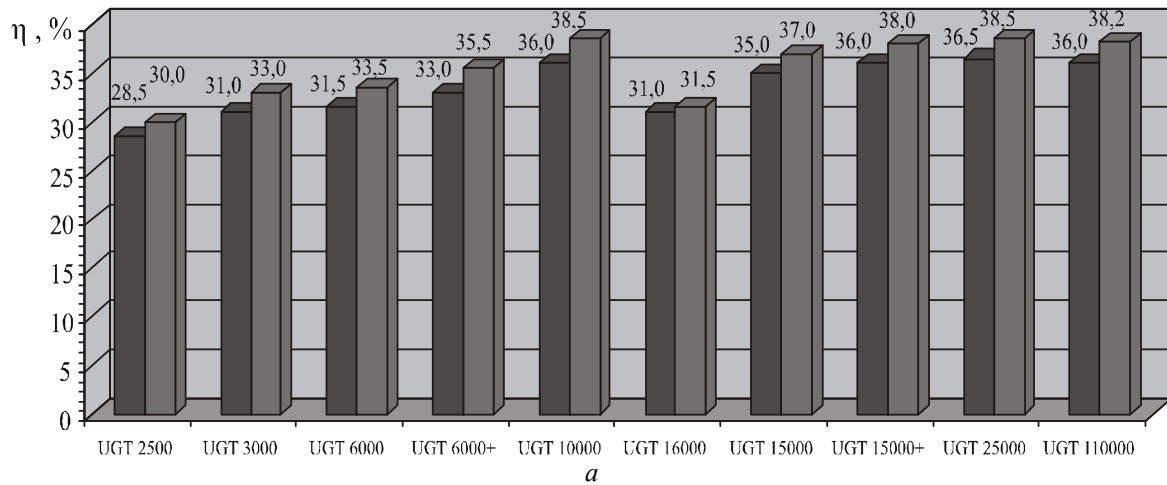


Рис. 4. КПД ГТД η: темным цветом – без тригенерации; светлым – с тригенерацией; а – предварительное охлаждение воздуха; б – предварительное и промощаждение

2. Сирота А.А., Радченко Н.И., Коновалов Д.В. Основные направления тригенерационных технологий в судовой энергетике // Техногенна безпека: Наукові праці МДГУ ім. П.Могили. – Миколаїв: МДГУ. – 2007. – Т. 73, Вип. 60. – С. 100–105. 3. Когенерация и утилизация энергии на выхлопе ГТУ / Г.Н. Любчик, Р.М. Говдяк, Г.Б. Варламов, Б.И. Шелковский // Когенерация в промышленности и коммунальной энергетике: Тез. 1-ой Междунар. конф. – Киев. – 2004. – С. 219-220. 4. Матвеев В.Т. Судовые когенерационные газотурбинные установки для технических средств освоения морского шлейфа // Авіаційно-космічна техніка і технологія: Збірн. наук. праць. – Харків: ХАІ. – 2002. – Вип. 31. Двигуни та енерго-

установки. – С. 11-13. 5. Матвеев В.Т., Боровков С.Н. Работа судового газотурбогенератора с турбокомпрессорным утилизатором на переменном режиме // Авіаційно-космічна техніка і технологія: Збірн. наук. праць. – Харків: ХАІ. – 2003. – Вип. 42/7. Двигуни та енергоустановки. – С. 36-38. 6. Петренко В.А. Теоретическое и экспериментальное исследование эжекторной холодильной машины в режиме кондиционирования воздуха // Холодильная техника и технология. – 2001. – № 2 (71) . – С. 12-18. 7. Петренко В.А. Принцип выбора рабочего вещества для эжекторной холодильной машины // Холодильная техника и технология. – 2001. – № 1 (70) . – С. 16-21. 8. Радченко Н.И., Сирота А.А., Тарасенко М.А. Про-

межуточное охлаждение в судовых ГТД при изменении температуры воздуха на входе // *Авиационно-космическая техника и технология: Научн.-техн. журн.* – 2005. – № 8 (24). – С. 62-65. 9. Радченко Н.И., Сирота А.А., Тарасенко М.А. Оптимальное промежуточное охлаждение судовых газотурбинных двигателей // *Авиационно-космическая техника и технология: Научн.-техн. журн.* – 2005. – № 9

(25). – С. 43-47. 10. Сорока Я.Х. Теория и проектирование судовых газотурбинных двигателей: Уч. пособие. – Л.: Судостроение, 1982. – 112 с. 11. Романовский Г.Ф., Василенко М.В., Сербін С.І. Теоретичні основи проектування судових газотурбінних агрегатів: Навчальний посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 304 с.

УДК 621.7.044

**В.К. Борисевич, д-р техн. наук, В.В. Третьяк, канд. техн. наук, А.В. Шкалова, канд. техн. наук**

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВЗРЫВНОЙ ШТАМПОВКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ УКРАИНЫ

### Введение

Внедрение в производство новейших научных достижений, связанных с разработкой современных экономически выгодных ресурсосберегающих технологий непременно приведет к улучшению качества выпускаемых изделий, значительному повышению производительности труда в различных отраслях промышленности, а также к облегчению условия труда. Внедрение новейших технологий делает продукцию предприятий конкурентно-способной на мировом рынке.

К сожалению, у нас в стране для обеспечения выпуска продукции объема 1990 г. имеется огромный дефицит кузнечно-прессового оборудования, которое в большинстве своем морально устарело или требует капитального ремонта. Ликвидировать этот дефицит в течение короткого промежутка времени практически невозможно. Необходим поиск и внедрение в производство новых технологических

процессов и оборудования, которые могли бы в кратчайший срок восполнить этот недостаток. Таким процессом, в первую очередь, может быть взрывное формообразование. В эти процессы входят листовая и объемная штамповка и все ее разновидности, пресование сыпучих материалов (металлические порошки, стружка, керамика и т.д.), получение материалов с новыми свойствами (например, с плотноупакованными структурами) и т.д.

Кроме того, на существующем оборудовании традиционными методами во многих случаях невозможно получать изделия из современных трудноштампуемых высококачественных сплавов.

Одновременно следует отметить, что современное машиностроение требует резкого ужесточения допусков на размеры конструкции (это требование и качества). При холодной штамповке высокопрочных материалов на существующих самых мощных прес-