

## УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛА ДВИГАТЕЛЕЙ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

*Валерий Гавриш, Максим Шатохин, Василий Грубань*

*Николаевский национальный аграрный университет*

*ул. Крылова 17а, м. Николаев 54038, Украина E-mail: [havryshvi@mnau.edu.ua](mailto:havryshvi@mnau.edu.ua)*

*Valeriy Havrysh, Maxim Shatohin, Vasily Gruban*

*Nikolaev National Agrarian University*

*Krylova Street 17a, Nikolaev 54038, Ukraine E-mail: [havryshvi@mnau.edu.ua](mailto:havryshvi@mnau.edu.ua)*

**Аннотация.** Рассмотрены направления повышения экономичности и улучшение экологических показателей двигателей внутреннего сгорания сельскохозяйственной техники путем утилизации тепла.

Показано, что работы по уменьшению тепловых потерь проводятся по двум основным направлениям: создание двигателей с более высоким эффективным КПД и разработка систем утилизации тепла двигателей. Последнее направление не требует модернизации двигателя.

Рассмотрены две основные схемы утилизации вторичных энергетических ресурсов: система обычной утилизации тепла, и система глубокой утилизации тепла.

Показано, что использование утилизационных систем по циклу Ренкина, позволяет уменьшить удельный расход топлива на 11%.

Рассмотрены различные концепции, и исследования в указанном направлении, крупными фирмами, такими как: Scania, Ford, BMW, Cummins, Navistar Advanced Technology, Volvo, Iveco, Caterpillar, Cummins, Detroit Diesel, AVL PowerTrain Engineering, Cummins.

Предложено использование утилизационной холодильной машины для двигателя внутреннего сгорания и впрыска водяного пара в проточную часть турбины турбокомпрессора, что позволяет уменьшить количество элементов системы утилизации тепла и, соответственно, ее стоимости.

Выполнено сравнение различных схем утилизации тепла, и определены области их эффективного использования в сельскохозяйственной технике.

Определен потенциал увеличения мощности и уменьшения удельного расхода топлива при различных схемах утилизации тепла.

Предложена классификация систем утилизации теплоты мобильных энергетических средств.

Показано что наибольшую экономичность обеспечивает применения охлаждения циклового воздуха утилизационной холодильной машиной. А применение турбокомпаундных установок наиболее целесообразно для тракторов тягового класса 5 и более, и комбайнов при пропускной способности жатки 11 кг/с и более.

**Ключевые слова:** дизель, эффективность, мобильный энергетическое средство, утилизация.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Современная сельскохозяйственная техника использует тепловые поршневые двигателя с КПД: дизельные – до 42...44%; бензиновые – до 27%. Таким образом, значительная часть энергии топлива теряется. Для Украины она эквивалентна примерно 875 тыс. тонн дизельного топлива и 292 тыс. тонн бензина.

На долю потерь тепла с отходящими газами и охлаждающей жидкостью приходится не менее 50% теплоты сгорания топлива. Поэтому здесь находятся значительные резервы улучшения экономичности двигателей. Работы по уменьшению тепловых потерь проводятся по двум основным направлениям: создание двигателей с более высоким эффективным КПД и разработка систем утилизации тепла существующих двигателей. Последнее направление не требует коренной модернизации двигателя.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Вопросами утилизации тепла в мобильных энергетических средствах занимается ряд ведущих машиностроительных фирм (Scania, Ford, BMW, Cummins, Navistar Advanced Technology и т.п.) и научных центров университетов. Так, специалисты фирмы Navistar Advanced Technology рассматривают использование систем утилизации тепла как один из основных компонентов достижения амбициозной цели - КПД дизеля 50% [1].

Двигатели сельскохозяйственной техники имеют собственные характерные черты, существенно отличает их от других транспортных средств. Так, двигатели тракторов и комбайнов используются при коэффициенте загрузки 60...90%, а грузовых и пассажирских автомобилей – 17%. При выполнении технологических операций двигатель сельскохозяйственных энергетических средств работает на постоянной частоте вращения коленчатого вала.

Сегодня системы утилизации разрабатываются преимущественно для грузовых автомобилей, оборудованных мощными двигателями. Таким образом в настоящее время не существует отработанных схем-

ных решений и оборудования, которые можно было бы использовать в сельскохозяйственной технике для эффективной утилизации теплоты. Недостаточно проработаны теоретические аспекты данного направления повышения экономичности. В том числе отсутствует и классификация систем утилизации, что затрудняет анализ этого направления повышения экономичности.

#### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задачей работы является анализ систем утилизации тепла, их классификация и определение перспективных направлений применения на мобильных энергетических средствах сельскохозяйственного назначения.

#### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Существуют две основные схемы утилизации вторичных энергетических ресурсов: обычная и глубокая. Долгие времена они разрабатывались преимущественно для судовых и стационарных энергетических установок.

Система обычной утилизации тепла (СОУТ) обеспечивает потребителей только тепловой энергией. Система глубокой утилизации тепла (СГУТ) служит для обеспечения потребителей тепловой и механической/электрической энергией. Преимущество СГУТ - более эффективная утилизация тепла, недостаток - сложность конструкции, высокая стоимость и эксплуатационные расходы. Она также более чувствительна к изменению режима работы двигателя [2].

Сегодня уже используются следующие способы утилизации тепла. В автомобилях используются тепловые аккумуляторы. Это позволяет существенно уменьшить расход топлива на подогрев двигателя, особенно в зимний период [3-5]. Распространены схемы, которые позволяют лишь частично утилизировать отработанную тепловую энергию - это обогрев салонов и подогрев топлива (в случае использования газообразного топлива или высоковязких компонентов) [6, 7].

Используют и более сложные инженерные решения. Так для утилизации тепла инженер Брюс Крауер предложил шести-тактный двигатель. Он применил впрыска воды в цилиндры двигателя после четвертого такта. Она подается под давлением до 15 МПа, испаряется и осуществляет рабочий такт. Это позволяет на 40% увеличить мощность двигателя, улучшить экономические и экологические показатели [8].

Считается, что перспективными являются утилизационные термоэлектрические генераторы (ТЭГ). Однако их широкое внедрение сдерживается сравнительно низким КПД (10-15%). Производимая электрическая энергия может быть использована для питания бортовой сети, тягового электродвигателя, подогрева топлива и др. Так, электрические подогреватели топлива имеют мощность до 0,28 кВт [9]. Сегодня реализуются несколько проектов интеграции ТЭГ на автомобилях. Это Ford Fusion 3.0-V6, BMW X6, Chevrolet Suburban, грузовые автомобили Renault Trucks и тому подобное. Разрабатывают типоразмерный ряд ТЭГ для автомобилей разного типа, Вт: для

дизельных легковых - 200...300; для бензиновых легковых - 500; для грузовых - 1000. Ожидается достижение удельной цены ТЭГ на уровне 0,3...1,3 USD/Вт [10].

Интересной может быть идея впрыска горячей воды. Так, например, фирма Alfa Power Systems BV разработала технологию SwirlFlash. Она базируется на простом и эффективном принципе. Вода с температурой от 150 до 250 °С впрыскивается под давлением от 10 до 15 МПа в воздушный поток перед турбокомпрессором. Она испаряется и охлаждает цикловой воздух.

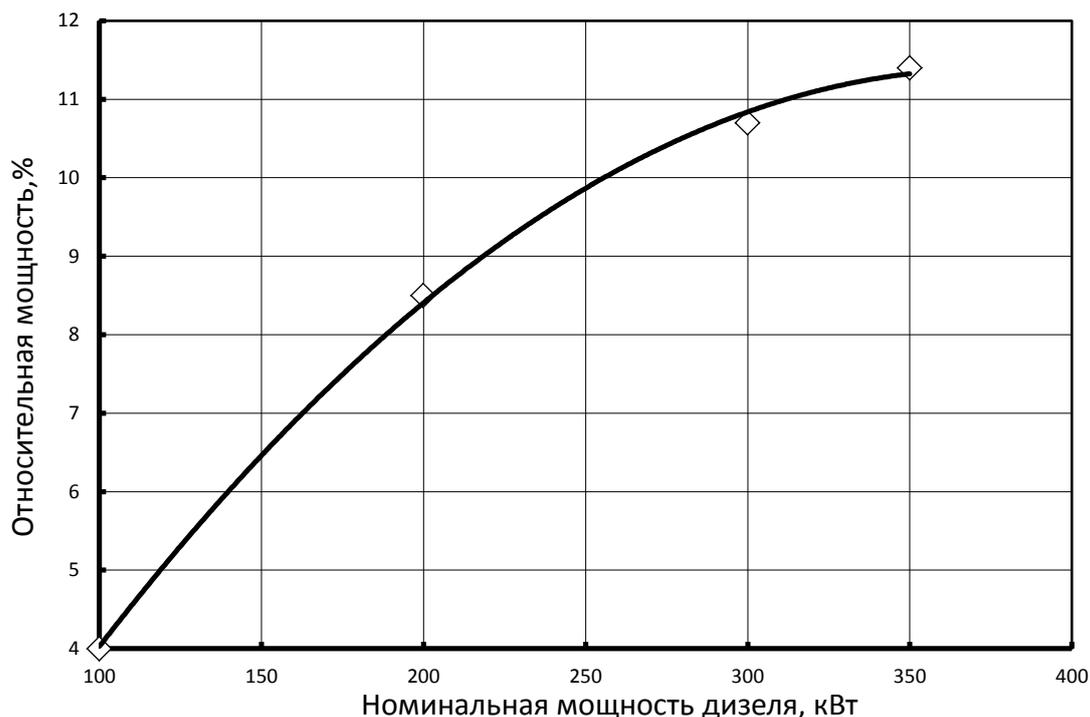
Испытания на дизельном двигателе с номинальной мощностью 400 кВт показали следующее. По расходе воды 14 г/с (50,4 кг/ч) эмиссия NO<sub>x</sub> уменьшилась на 30% без заметного уменьшения удельного расхода топлива. Указанная схема позволяет отказаться от охладителя надвучного воздуха без изменения показателей рабочего процесса. Для подогрева воды можно использовать охлаждающую жидкость и отработанные газы [11].

Проводится работа по использованию бустерных (силовых) турбин, так называемая турбокомпаундные системы. Они могут быть механическими и электрическими. В этом направлении работают фирмы Volvo [12], Iveco, Caterpillar, Cummins, Scania, Detroit Diesel и др. Использование механических турбокомпаундных систем позволило на режиме номинальной мощности достичь уменьшения удельного расхода топлива, % (в разрезе фирм): Caterpillar - 4,7 [13, 14]; Cummins - 6 [15]; Scania - 5 [14]. Минимальная номинальная мощность двигателей, оборудованных механической турбокомпаундной системой составляет 235 кВт (дизель марки DSC1121 фирмы Scania, удельный расход топлива - 195 г/(кВт·год)).

Проводились подобные работы и в отношении отечественного дизеля СМД-31 (6ЧН12/14). Использование силовой турбины ТС-12,5 позволяет на 10% повысить мощность и 3,5% (или 8 г/(кВт·год)) уменьшить удельный расход топлива.

Мощность силовой турбины зависит от номинальной мощности дизеля. Относительное ее значение построена на основании опытных данных фирмы Caterpillar Inc. приведена на рис. 1 [16]. Как видим, эта зависимость не линейная. Ее можно использовать для первоначального определения мощности силовой турбины.

Основным недостатком турбокомпаундных силовых установок является высокая сложность и стоимость специальной гидромеханической передачи. В связи с этим практический интерес вызывает использование силовой турбины для привода такого энергоемкого агрегата, вентилятор системы жидкостного охлаждения дизеля мощного мобильного энергетического средства. Возможность такого решения подтверждается тем, что на номинальной мощности дизеля с охлаждением надвучного воздуха (ОНД) на привод вентилятора системы жидкостного охлаждения расходуется до 7% его эффективной мощности. Это достаточно близко к мощности силовой турбины.



**Рис. 1.** Зависимость относительной мощности силовой турбины от номинальной мощности дизеля  
**Fig. 1.** Dependence of relative turbines power from diesel power

Очевидно, что в данном случае использование специальной гидромеханической передачи не требуется.

Моделирование характеристик дизеля с ОНП типа 12ЧН13/14 номинальной мощностью 397 кВт установлено, что применение турбовентилятор для системы жидкостного охлаждения двигателя может обеспечить уменьшить удельный расход топлива на мощности от 45% до номинальной на 1,5% и 5,9%, соответственно, в сравнение с турбо-дизелем без силовой турбины. В диапазоне мощности двигателя от холостого хода до 45% целесообразно использовать вспомогательный электропривод вентилятора (мощностью около 0,8 кВт) с периодическим режимом работы [17].

Рассмотрим возможную сферу использования дизелей с силовой турбиной сельскохозяйственной техникой. Очевидно, что для двигателей с номинальной мощностью менее 100 кВт турбокомпаундная система малоэффективна (рис.1). Номинальная мощность дизелей тракторов стран СНГ составляет, кВт: ХТА-300 - 183,8; Беларус-3022ДВ - 222; К-710С - 236; К-704-4Р - 294. Таким образом, сегодня целесообразно использование турбокомпаундных двигателей на тракторах тягового класса не менее 5.

Моделирование утилизационных систем с использованием цикла Ренкина показывают, что возможно уменьшение удельного расхода топлива на 11%, в зависимости от типа рабочей жидкости [21].

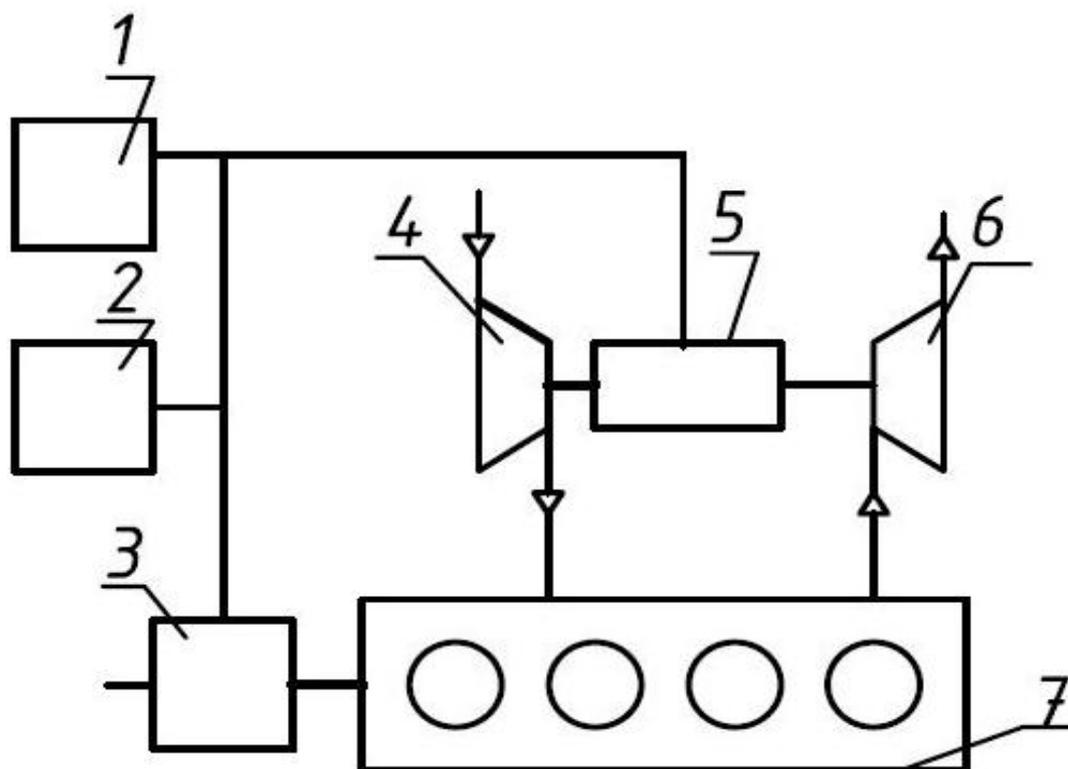
Инженеры фирмы BMW испытали на легковом автомобиле схему с утилизационным паровым двигателем. Это позволило уменьшить удельный расход топлива на 15%. Указанная схема получила название Turbosteamer и ее первый экземпляр адаптировано под легковой автомобиль BMW 3 серии [20].

По комбайнам, следует отметить, что при пропускной способности жатки до 10 ... 11 кг/с, они имеют дизели с номинальной мощностью до 200 кВт. Более производительная техника оборудована и более мощными двигателями, кВт: ACROS-580 - 221; TORUM-740 - 294; GS-12 - 243. Для нее применения турбокомпаундных двигателей целесообразно.

Фирма Caterpillar разработала концепцию электрической турбокомпаундной системы (рис.2). Ожидается, что ее реализация позволит уменьшить удельный расход топлива на 5...10% [18].

Работы по разработке системы утилизации тепла путем применения цикла Ренкина начались еще в 70-х годах XX столетия. Они финансировались департаментом энергетики США и проводились фирмами Mack Trucks и Thermo Electron Corporation [19].

Сегодня исследования в указанном направлении проводит ряд фирм, среди которых AVL PowerTrain Engineering, Inc; BMW; Cummins; Navistar Advanced Technology и тому подобное.



**Рис. 2.** Электрическая турбокомпаунд система:

1 - электрическая нагрузка; 2 - аккумуляторная батарея; 3 - электрический двигатель/генератор; 4 - компрессор; 5 - электрический генератор/двигатель; 6 - турбина; 7 - поршневой двигатель.

**Fig. 2.** Electrical turbocompaund system:

1 - electrical load; 2 - battery; 3 - an electric motor/generator; 4 - compressor; 5 - electric generator/motor; 6 - turbine; 7 - piston engine

В ГТД широко используется охлаждения впрыском воды в воздушный поток на входе в компрессор [22]. Снижение температуры происходит до температуры точки росы и в большинстве климатических условиях не превышает  $10^{\circ}\text{C}$ .

Большее снижение температуры обеспечивает охлаждение воздуха в рекуперативных теплообменниках. Холод, необходимый для охлаждения наружного воздуха можно получить в теплоиспользующей холодильной машине (ТХМ) за счет утилизации тепла отработанных газов. Согласно исследованиям, наиболее простым и надежным является эжекторная ТХМ, рабочим телом которой является жидкость с низкой температурой кипения [23]. Моделирование процесса показывает, что уменьшение температуры воздуха для ГТД (при температуре отработавших газов  $450^{\circ}\text{C}$ ) составляет  $4...60^{\circ}\text{C}$  [24].

Указанную технологию можно использовать и для двигателей сельскохозяйственной техники (рис.3). Расчеты, выполненные на основании стандартов [25] показывают, что летом, возможно увеличение мощности дизельных двигателей на  $15...20\%$  и уменьшение удельного расхода топлива на величину до  $14\%$ .

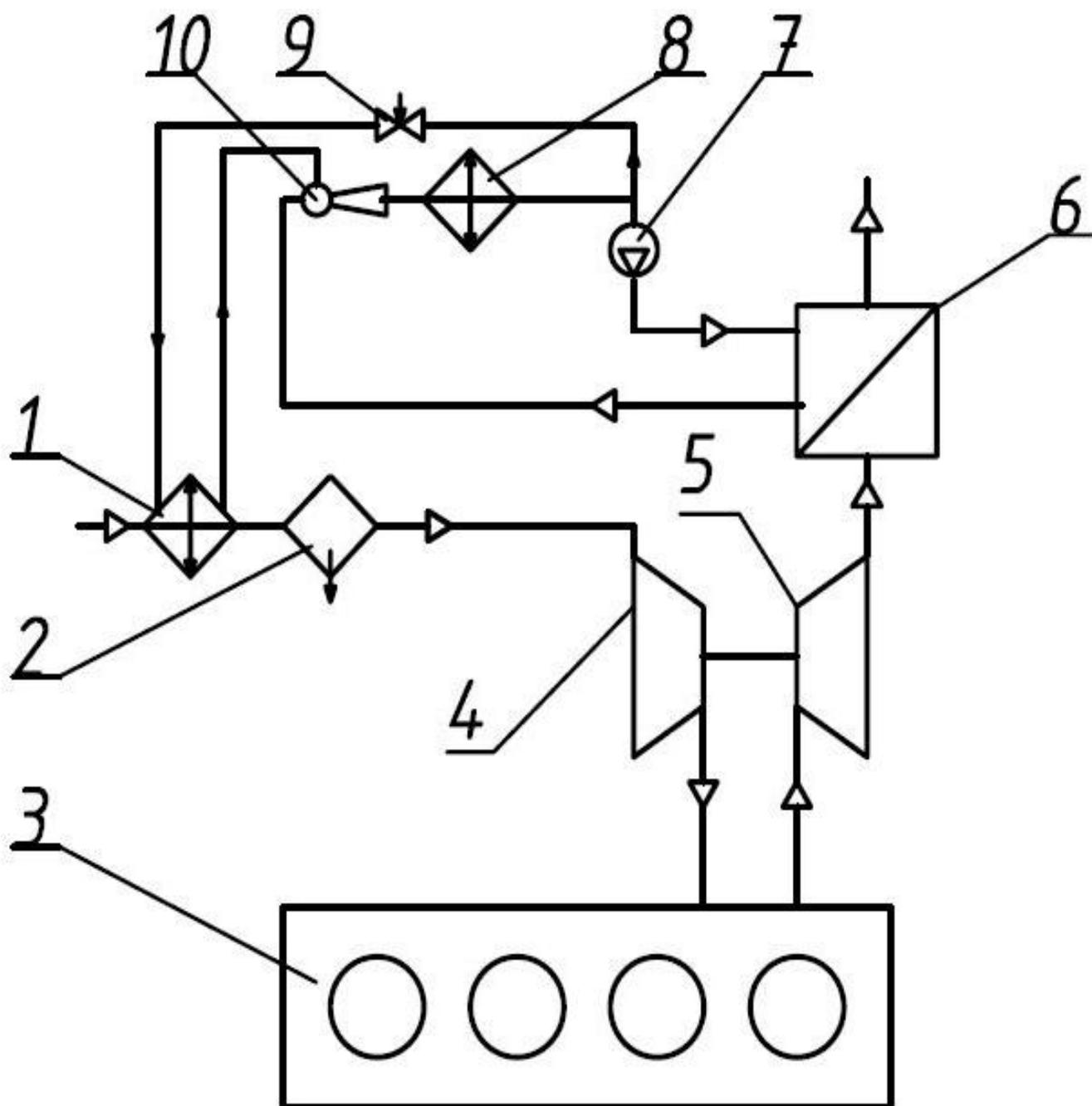
Утилизационная холодильная машина может быть использована для охлаждения воздуха после

воздухоочистителя, повышение эффективности охладителя надувочного воздуха и ТЭГ. Очевидно, что данное устройство наиболее эффективен при относительно высоких температурах воздуха и может быть рекомендован для сельскохозяйственной техники, работающей при высоких температурах воздуха, например, комбайнов.

Для улучшения технико-экономических показателей ГТД используют впрыска пара в камеру сгорания [26]. Такая техника производится и в Украине [27]. Возможно применение этой схемы для двигателя внутреннего сгорания (рис.4). Водяной пар предлагается впрыскивать в турбину турбокомпрессора. Это позволяет уменьшить количество элементов системы утилизации тепла и, соответственно, ее стоимости.

Как внутреннюю утилизацию используют и рециркуляцию части отработанных газов. Она позволяет улучшить экономичность двигателя только на частичных нагрузках. Следует отметить, что данное решение применяется в основном для снижения уровня токсичности дизельных двигателей сельскохозяйственных мобильных энергетических средств [28, 29].

Потенциальное увеличение мощности и уменьшение удельного расхода топлива при различных схемах утилизации тепла приведены в табл. 1.



**Рис. 3.** Схема утилизации теплоты для охлаждения воздуха:

1 - воздухо охладитель; 2 - Конденсатоотводчик; 3 - двигатель; 4 - компрессор;  
5 - турбина; 6 - утилизационный котел; 7 - насос; 8 - конденсатор рабочей жидкости;  
9 - дроссельный клапан; 10 - эжектор.

**Fig. 3.** Heat recovery for air-cooling:

1 - air cooler; 2 - trap; 3 - engine; 4 - compressor; 5 - turbine;  
6 - heat recovery boiler; 7 - pump; 8 - capacitor;  
9 - throttle valve; 10 - ejector.

**Таблица 1.** Потенциальное изменение технических параметров двигателей при различных схемах утилизации тепла и возможное использование

**Table 1.** Potential changes of the technical parameters of the engines at various heat recovery schemes and the possible use

Система утилизации тепла	Увеличение мощности, %	Уменьшение удельного расхода топлива, %	Тип техники
Механический турбокомпаунд	*	4,8	Тракторы тягового класса не менее 5 и комбайны с пропускной способностью жатки более 11 кг/с
Электрический турбокомпаунд	*	6,9	
Цикл Ренкина на воде	5,4	6...9	Все виды техники
Цикл Ренкина на хладоне	11,4	9...11	
Впрыск водяной пары в ТК **	3,8	1,9	
Охлаждение циклового воздуха **	17	14,6	Комбайны
Термоэлектрический генератор	0,3	0,3	Все виды техники

Примечание: \* Смотри рис. 1.

\*\* По расчетам автора.

На основании вышеизложенного предлагается следующая система классификация систем утилизации теплоты.

I. По источнику вторичной теплоты: охлаждающая жидкость; моторное масло; нагреть детали двигателя; отработанные газы.

II. По типу энергетического ресурса, который может быть получена: горячая вода; пара; механическая энергия; электрическая энергия.

III. Использование полученных энергетических ресурсов: горячая вода (система отопления, система питания, в том числе подогрев топлива как жидкого, так и газообразного) впрыска на вход центробежного компрессора; тепловой аккумулятор; пара: паровая машина/турбина; впрыскивания в турбину турбокомпрессора; электрическая энергия (питание бортовой сети, питание тягового электродвигателя, подогрев топлива); механическая энергия (передача на колен-

чатый вал двигателя, вентилятор системы охлаждения).

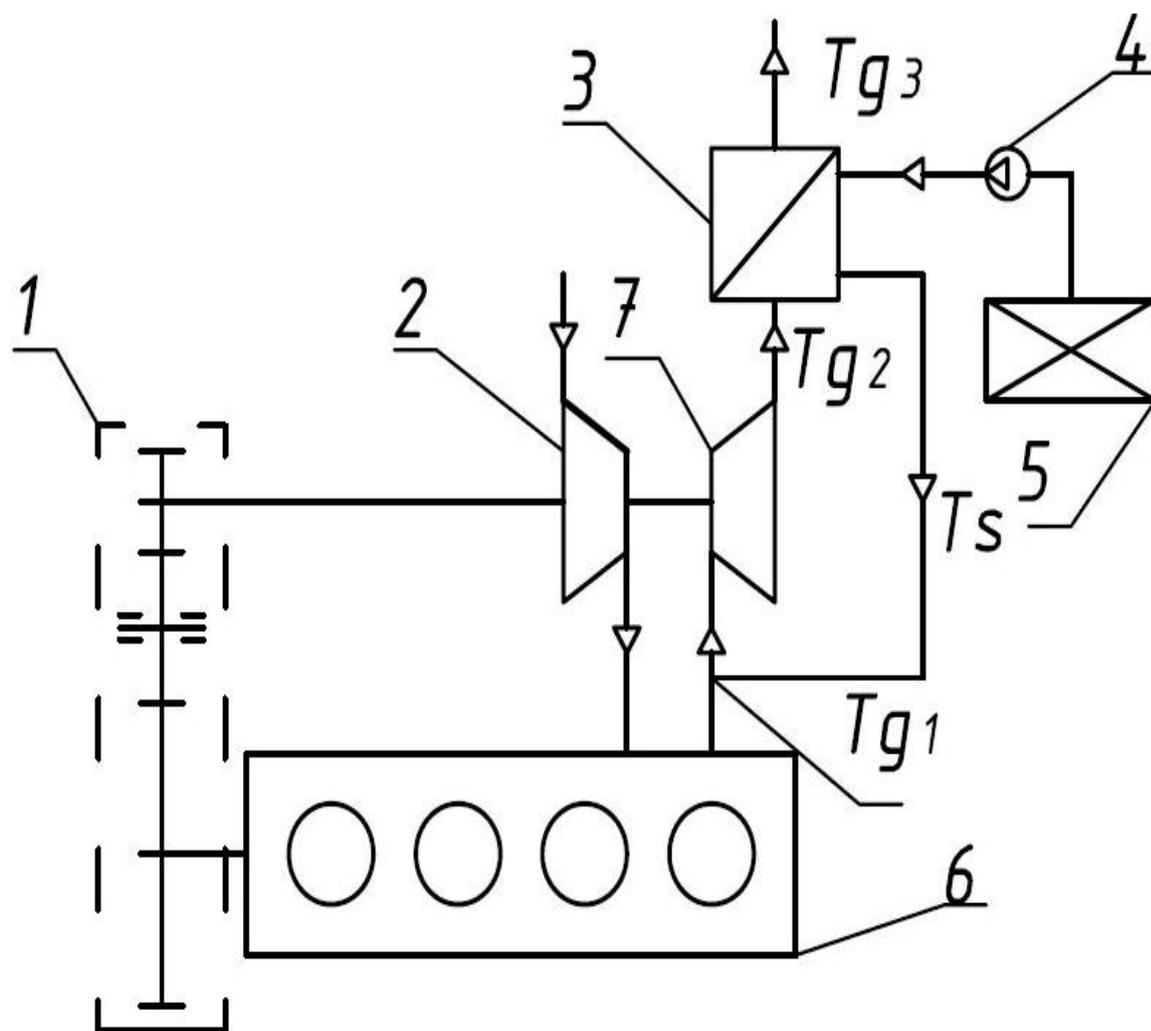
IV. По типам циклов утилизационных систем: открыть (впрыск перегретой воды в компрессор, впрыска пара в турбину); закрыть (цикл Ренкина).

V. По типам рабочего тела в утилизационных циклах: вода; жидкости с низкой температурой кипения.

VI. По видам утилизации [30]: внешняя; внутренняя.

VII. По назначению системы утилизации: улучшение экологических показателей; улучшение экономических показателей двигателя; обеспечение потребностей внешних потребителей.

VIII. По тепловому потенциалу вторичного теплоносителя: высокотемпературный (отработанные газы); низкотемпературный (охлаждающая жидкость, надувная воздуха, моторное масло).



**Рис. 4.** Схема утилизации тепла:

1 - редуктор; 2 - компрессор; 3 - утилизационный котел; 4 - питательный насос; 5 - водяной танк;  
6 - двигатель внутреннего сгорания; 7 - турбина.

**Fig. 4.** The scheme of heat utilization:

1 - gearbox; 2 - compressor; 3 - heat recovery boiler; 4 - feed pump; 5 - a water tank;  
6 - internal combustion engine; 7 - turbine

Требуется объяснения классификация по видам утилизации (внешняя и внутренняя). Внешняя утилизация использует теплоту дизеля на обеспечение потребностей потребителей, не связанных с двигателем (система отопления салона, система кондиционирования воздуха и т.п.). Внутренняя утилизация направлена на повышение мощности, экологических и эконо-

мических показателей самого двигателя и связанных с ним систем (рис.5). На приведенной схеме подробно рассматривается классификация систем газотурбинного наддува, так как она приведена во многих научных трудах и учебных пособиях.

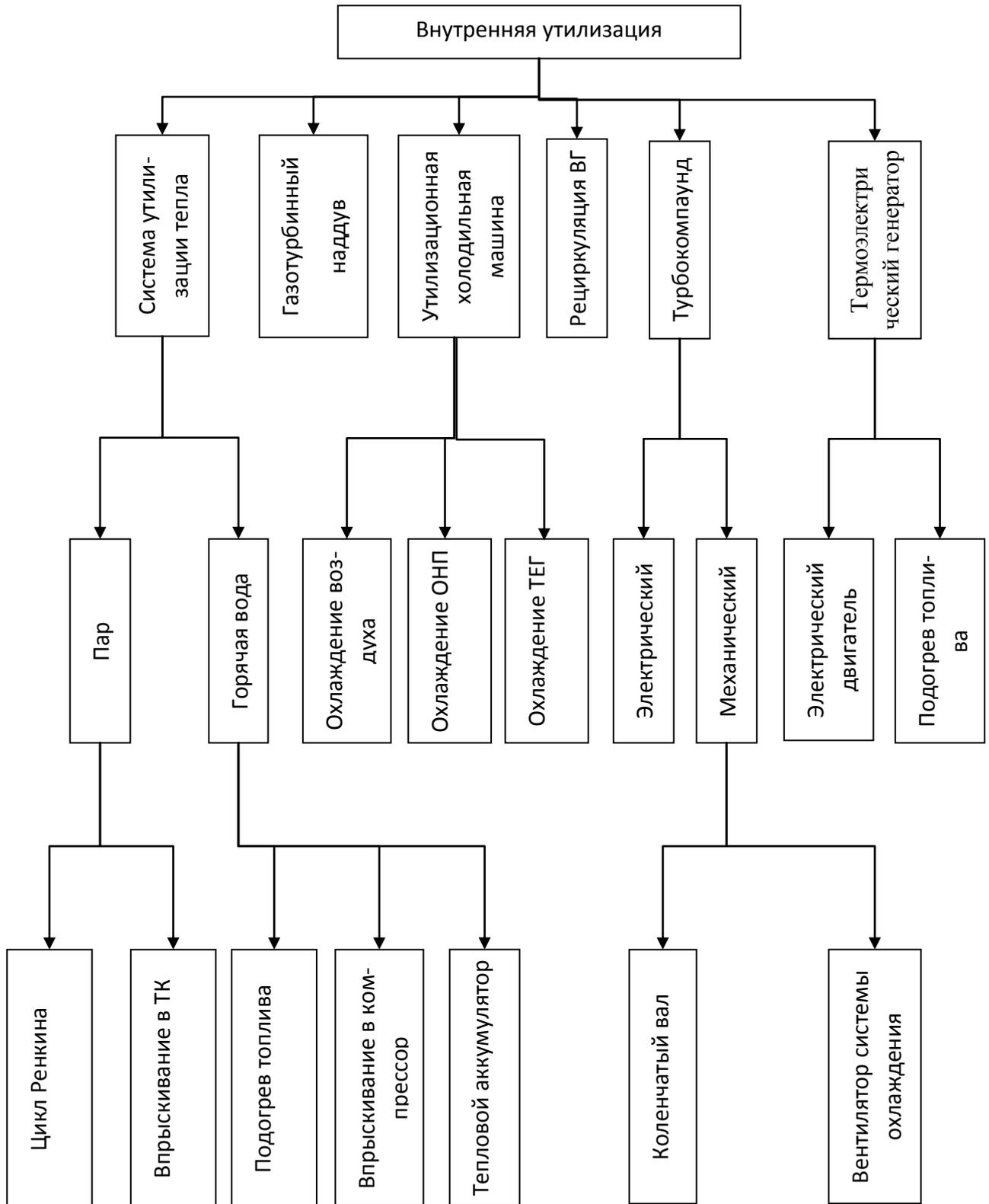


Рис. 5. Внутренняя утилизация  
 Fig. 5. Internal recovery

## ВЫВОДЫ

1. В мире проводятся интенсивные работы по повышению экономичности двигателей мобильных энергетических средств, в том числе за счет утилизации теплоты. На основании анализа существующих и предлагаемых схем утилизации тепла разработана их классификация. Предложено использование таких схем утилизации тепла как впрыска водяного пара в турбину турбокомпрессора и использования утилизационной холодильной машины.

2. Необходимо продолжить работу по обоснованию параметров систем утилизации для разных классов мобильных энергетических средств. Целесообразно разработать методику определения области эффективного применения систем утилизации тепла в сельскохозяйственных мобильных энергетических средствах.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Гавриш В.И. 2007.** Направления снижения затрат на топливо автомобильным транспортом в агробизнесе [Текст] / В.И. Гавриш // MOTROL. 2007. Том 9А. 77-81
- Гавриш В.И. 2008.** Анализ экономической эффективности использования биоэтанола в автомобильных двигателях [Текст] / В.И.Гавриш, В.Е. Пылып // MOTROL 2008. Том 10В. 44-53.
- Dennis W.Jadin. Super Truck 2012.** Development and Demonstration a Fuel Efficiency Class 8 Tractor&Trailer [Text] / Dennis W.Jadin, Ralph Nine // Engine Systems. DOE. MERIT REVIEW. Washington D.C. May 17.
- Лебедев О.Н. 1990.** Двигатели внутреннего сгорания речных судов [Текст] / Лебедев О.Н., Сомов В.А., Калашников С.А. М. : Транспорт. 328.
- Куликов Ю.А. 2011.** Тепловой аккумулятор для предпускового разогрева двигателя [Текст] /Куликов Ю.А., Пыхтя В.А.// Вісник СНУ ім. Володимира Даля. №6(160). 47-53.
- Симоненко Р. В. 2003.** Улучшение топливной экономичности и экологических показателей автомобилей путем рационального прогрета их двигателей: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 [Текст] / Симоненко Роман Викторович. Киев. 192. (Украина).
- Вашуркин И. О. 2002.** Тепловая подготовка и пуск ДВС мобильных транспортных и строительных машин зимой [Текст] / Вашуркин И. О. СПб. : Наука, 145.
- Краснощеков Н.В. 1994.** Адаптация тракторов и автомобилей к работе на биотопливе [Текст] / Н.В.Краснощеков, Г.С.Савельев, А.Д.Шапкайц, В.В.Подосинников, Д.В.Бубнов, В.А.Демидов, Е.Т.Пономарев, Л.Н.Басистый // Тракторы и сельскохозяйственные машины. №12. 1-4.
- Гавриш В.И. 2003.** Повышение эффективности топливных систем дизельной энергетической установки [Текст] / В.И. Гавриш, Ю.В. Селезнёв, Д.В. Кузенко, Л.М. Кузенко // Вестник аграрной науки Причерноморья. - Николаев: МДАУ, №2(23). 168 – 172. (Украина).
- Harry Bruce Crower. 2009.** Free piston pressure spike modulator for any internal combustion engine. – Patent No.: US 7,588,000 B2. Date of Patent : Sep. 15,
- Сергеев А. 2010.** Альтернативные предпусковые подогревательные устройства [Текст] / А.Сергеев // Аграрна техніка та обладнання. №4(13). 64-65.
- Thermoelectrics Gaining More Attention and Development Focus. Green Car Congress. July 22, 2005. Available online at : <http://www.greencarcongress.com/2005/07/thermoelectrics.html>.
- J. van Liere. 2001.** Hot Water for Power Augmentation [Text] / J. van Liere, G.Y.M. Laagland // Diesel & Gas Turbine Worldwide. June. 72-74.
- Antony Greszler. 2008.** (Volvo Powertrain Corporation). Diesel Turbo-compound Technology. ICCT/NESCCAF Workshop Improving the Fuel Economy of Heavy-Duty Fleets II February 20 Пе- жим доступу : [http://www.nescaum.org/documents/improving-the-fuel-economy-of-heavy-duty-fleets-1/greszler\\_volvo\\_session3.pdf](http://www.nescaum.org/documents/improving-the-fuel-economy-of-heavy-duty-fleets-1/greszler_volvo_session3.pdf).
- Tennant D.W.H. and Walsham B.E. 1989.** The turbocompound diesel engine, SAE Paper No. 89064.
- Wilson D.E. 1986.** The design of a low specific fuel consumption turbocompound engine, SAE Paper No.860072.
- Brands M.C, Werner J. and Hoehne J.L. 1981.** Vehicle Testing of Cummins Turbocompound Diesel Engine, SAE Paper No. 810073.
- Ulrich Hopmann 2002.** (Caterpillar Engine Research Diesel & Emissions Technology). Diesel Engine Waste Heat Recovery Utilizing Electric Turbocompound Technology. DEER Conference August 25-29, 2002 San Diego, California. Режим доступу : [http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/deer\\_2002/session8/2002\\_deer\\_hopmann.pdf](http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/deer_2002/session8/2002_deer_hopmann.pdf).
- Андреенков А.А. 2008.** Результаты разработки и исследования турбовентилятора для системы охлаждения транспортного турбодизеля [Текст] / А.А.Андреенков, А.В. Костюков // Двигатель, – №5(59). – Режим доступу: <http://engine.aviaport.ru/issues/59/page14.html>.
- Hopmann U. 2004.** “Diesel engine waste heat recovery utilizing electric turbocompound technology”, Catterpillar, DEER Conference, San Diego, California, USA.

21. **Parimal P.S. 1976.** Compounding the truck diesel engine with an organic Rankine cycle system [Text] / Parimal, P.S., Doyle, E.F. // SAE paper no.760343.
22. **Freyman R. A. 2008.** The Turbosteamer System Introducing the Principle of Cogeneration in Automotive Application [Text] / Freyman, R., Strobl, W., Obieglo, A. // Motortechnische Zeitschrift, MTZ 05. Jahrgang 69, 404 – 412.
23. **Hountalas D.T. 2002.** Potential for Improving HD Diesel Truck Engine Fuel Consumption Using Exhaust Heat Recovery Techniques [Text] / D.T. Hountalas, G.C. Mavropoulos // New Trends in Technologies: Devices, Computer, Communication and Industrial Systems. Manuscript 17. 313-340.
24. **Bhargava R. 2002.** Parametric analysis of existing gas turbine with inlet and overspray fogging [Text] / R. Bhargava, C.B. Meher-Nomji. – Proceeding of ASME TURBO EXPO. Paper GT-2002-30560. 15.
25. **Радченко А.Н. 2008.** Тригенерація в газотурбинних установках газоперекачуючих станцій [Текст] / А.Н. Радченко // Техногенна безпека: наукові роботи МГТУ ім. П. Могили. - Николаев : МДГУ, Т.77, вип.. 64. 11-18. (Україна).
26. **Радченко А.Н. 2010.** Особенности проектов модернизации газоперекачивающих агрегатов с учетом климатических условий [Текст] / А.Н.Радченко, А.С.Морозова // Двигатели и энергоустановки аэрокосмических летательных аппаратов. №10(77). 70-75.
27. ГОСТ 18509-88. Государственный стандарт Союза ССР. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний [Текст]. – М. : Издательство стандартов, 1988. 54.
28. **Nixdorf M. 2002.** Thermo-economic analysis of inlet air conditioning method of cogeneration gas turbine plant [Text] / M.Nixdorf, F. Prelipceanu, D. Hein. – Proceeding of ASME TURBO EXPO. Paper GT-2002-30561. 10.
29. **Исаков Б.В. 2005.** Первые итоги опытно-промышленной эксплуатации ГПУ-16К «Водолей» на компрессорной станции Ставищенская магистрального газопровода [Текст] / Б.В. Исаков, В.А. Кривуца, С.Н. Мовчан, Б.П. Степанец, А.А. Филоненко // Техногенна безпека. Наукові праці. Том 41. Випуск 28. 168-172.
30. John Deere обирає ефективний спосіб зниження рівня токсичності вихлопних газів [Текст] // Аграрна техніка та обладнання. 2010. №3(12). 7.
31. **Овсянников М.К. 1986.** Судовые дизельные установки : Справочник [Текст] / Овсянников М.К., Петухов В.А. Л. : Судостроение. 424.

### HEAT RECOVERY FOR ENGINES OF AGRICULTURAL MACHINERY

**Summary.** The directions of increasing efficiency and improved environmental performance of internal combustion engines for agricultural machinery by heat recovery, have been considered.

It is shown that work to reduce the heat losses are conducted in two main direction: the creation of engines with higher efficiency and the development of effective heat recovery systems Motor-lei. The latter does not require line-of modernization of the engine.

Two basic schemes of utilization of wait energy resources (the conventional heat recovery system have been considered), and the system of deep heat recovery. For a long time they were developed primarily for marine and stationary power plants.

The using of Rankine heat recovery system allows reducing.

The different concepts, schemes and research in the direction above many firms are conducting research in the field of heat recovery system (such as: Scania, Ford, BMW, Cummins, Navistar Advanced Technology, Volvo, Iveco, Caterpillar, Cummins, Detroit Diesel, AVL Power Train Engineering, Cummins).

The utilization chiller for internal combustion engine and steam injection into turbine of turbocharger has been offered. That schemes allow to reduce complication and their cost.

The comparison of different heat recovery system has been fulfilled. The areas of them effective use in agricultural machinery have been determined.

The potential of power increasing and reducing of specific full conception has been determined.

The classification systems of heat recovery of agricultural machinery have been suggested.

The highest economy is reached by application of heat recovery chiller to cool a cycle air. The more preferable fields of turbocompaund using are tractors with track force 5 and more and combine harvester with reaper rating more then 11 kg/s.

**Key words:** diesel, efficiency, agriculture machinery, heat recovery.