

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОДОГРЕВА НАДДУВОЧНОГО ВОЗДУХА ДЛЯ ДВС ТИПА ЧН21/21

*Н.И. Лудченко, О.Л. Мартемьянов, к.т.н., В.О. Сайданов, д.т.н.,
В.В. Божко, Л.А. Столярчук
Военный инженерно-технический институт
А.В. Разуваев, д.т.н.
Балаковский институт техники, технологии и управления*

В статье приведен анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований по использованию внутренней утилизации теплоты ДВС за счет подогрева наддувочного воздуха дизелей типа ЧН21/21 на режимах долевых нагрузок и холостого хода с целью повышения эксплуатационной топливной экономичности.

Для дизелей типа ЧН21/21 тепловозного и промышленного назначения в условиях эксплуатации доля режимов с малой нагрузкой достигает 60 %. Эти режимы наиболее неблагоприятны с точки зрения экономичности из-за чрезмерно большого расхода воздуха.

Проведенный анализ способов повышения эксплуатационной топливной экономичности дизелей в зоне низких нагрузок и холостого хода [1–3] показал, что подогрев наддувочного воздуха для дизелей, не оснащенных системой регулирования и поддержания оптимального соотношения воздух–топливо в пределах эксплуатационной характеристики, является эффективным средством снижения расхода топлива на этих режимах, в особенности при низких температурах наружного воздуха.

Для обоснования эффективности практического применения данного мероприятия на серийных ДВС типа ЧН21/21, предназначенных для энергоснабжения объектов различного назначения, выполнен комплекс теоретических и экспериментальных исследований.

Снижение расхода топлива достигается за счет ограничения чрезмерно большого расхода воздуха, улучшения процесса смесеобразования, повышения температурного уровня процесса сгорания и, в конечном счете, возрастания индикаторного КПД дизеля.

Для подогрева наддувочного воздуха возможно использовать теплоту, отводимую с отработавшими газами (осуществляя либо бесконтактный нагрев воздуха газами в кожухотрубном теплообменнике, либо прямой контактный нагрев, перепуском части отработавших газов на впуск

дизеля), теплоту, отводимую в охлаждающую жидкость и масло.

На дизеле 6ЧН21/21 подогрев наддувочного воздуха на долевых режимах позволяет снизить расход топлива на холостом ходу на 6–12 %, а на малых нагрузках — на 2,5–7 % [2, 3]. В работе [2] показана принципиальная возможность автоматического регулирования температуры наддувочного воздуха либо за счет изменения температуры воды в дополнительном контуре, либо за счет электроуправления перепускным клапаном по сигналу датчика, связанного с контроллером машиниста, либо по сигналу датчика температуры наддувочного воздуха. Последняя система уже применяется на тепловозе 2ТЭ10Л.

Для тепловозного дизеля каждого типа и заданного режима работы существует определенное (оптимальное) значение температуры наддувочного воздуха, обеспечивающее наилучшие экономические и эксплуатационные показатели [5]. Так, повышение T_{int} от 263 до 303–313 позволяет на дизелях 3А-6Д49, 1А-5Д49 и 10Д 100 снизить часовой расход топлива на 9 %, а на дизелях 3Д-70 и 14Д 40 при $T_{int} = 353$ К получить снижение часового расхода на 4–6 %. Для дизеля 6ЧН31,8/33 на тепловозе ТЭМ2 было показано, что оптимальное значение $T_{int} = 328$ К (55 °С).

Впервые исследования по определению оптимальных температур наддувочного воздуха были выполнены в середине 1960-х годов на двигателях 6Ч12/14, 6Ч15/18 и 12ЧН18/20 на производственном объединении «Звезда». Важным результатом этих исследований стало определение влияния нестационарных условий на работу двигателя и заметное отличие экспериментальных характеристик от аналитических, причем эти отличия возросли симбатно с уровнем форсировки режима.

Для оценки возможности достижения оптимальной температуры наддувочного воздуха за компрессором за счет отбора части или всей теплоты от охлаждающей жидкости [2] был выполнен расчет для дизеля 6ЧН21/21 мощностью 882 кВт с использованием следующей зависимости:

$$\Delta t_b = t_{int} - t_d = \Delta t_k + Q_{air} / C_{p\ air} G_{air},$$

где t_{int} — температура наддувочного воздуха во всасывающем коллекторе; t_d — температура воздуха перед компрессором; Δt_k — величина подогрева воздуха в компрессоре; $C_{p\ air}$ — удельная теплоемкость воздуха; G_{air} — расход воздуха; $Q_{air} = k Q_b$ — доля теплоты системы охлаждения дизеля, переданная воздуху.

Данные расчета, сведенные в табл. 1, подтверждают возможность эффективной работы системы подогрева наддувочного воздуха в общей схеме утилизации теплоты дизеля.

Таблица 1

Оценка возможности подогрева наддувочного воздуха теплотой охлаждающей жидкости дизеля 6ЧН21/21

P_e , кВт	n , с ⁻¹	Q , кДж/ч	G_{air} , кг/с	k , ед.	Q_{air} , кДж/с	ΔT_b , °С
xx	10	64 107	0,17	1,0	64 107	103
				0,8	51 285	82
				0,6	38 464	62
75	10	225 656	0,22	0,6	135 391	168
				0,4	90 260	112
180	13,3	461 570	0,34	0,5	230 785	185
				0,3	138 471	111

Оценку влияния T_{int} на показатели дизеля рекомендуется делать только раздельным определением изменения индикаторных показателей и механических потерь в зависимости от p_0 и T_0 . И хотя эти рекомендации были сделаны для дизелей без наддува, более поздние исследования других авторов доказали, что они распространяются и на дизели с любой системой наддува.

Вместе с тем попытки создания единого метода расчета коэффициентов приведения мощности и удельного расхода топлива для дизелей с различными системами наддува, предпринятые С.И. Похщиным и Д.А. Портновым, привели к выводу о том, что получить общую формулу приведения, справедливую для дизелей различных типов, невозможно, так как численные величины коэффициентов приведения изменяются в зависимости не только от типа двигателя, но и от режима его работы.

В связи с этим до сих пор считаются наиболее достоверными результаты экспериментальных исследований, тем более для случаев обеспечения работоспособности дизель-электрических установок, функционирующих в условиях внешних воздействий в качестве автономных источников систем энергоснабжения объектов специального назначения.

Таким образом, для количественной оценки

эффективности системы подогрева воздуха целесообразно получение данных стендовых испытаний двигателей на различных нагрузочных режимах.

Принимая во внимание важность этого вопроса, на кафедре ДЭУ ВИТУ и лаборатории ОАО «Волжский завод им. Маминых» были проведены исследования по разработке наиболее рациональной системы подогрева наддувочного воздуха для дизелей семейства ЧН21/21. Принципиальная схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

Экспериментальные исследования были выполнены для высокофорсированного дизеля 6ЧН21/21 (мощностью 882 кВт) с подогревом наддувочного воздуха на режимах малых нагрузок и холостого хода

Разрабатываемая система подогрева наддувочного воздуха должна была удовлетворять следующим основным требованиям: быть достаточно простой и компактной, обладать малой тепловой инерционностью (с учетом частой смены нагрузочных режимов по реальной тепловозной и нагрузочной характеристикам), а также быть надежной и удобной в обслуживании.

Экспериментальные исследования проводились в три этапа. На первом этапе были определены базовые параметры дизеля 6ЧН21/21 (213 Д) на режимах нагрузочной и тепловозной характеристик со штатной системой охлаждения наддувочного воздуха. На втором этапе те же характеристики были получены при отключенном охладителе наддувочного воздуха (циркуляция охлаждающей жидкости контура охлаждения наддувочного воздуха отключена). Мощность дизеля при этом увеличивалась постепенно до значения, при котором температура отработавших газов перед турбиной достигла своей максимально допустимой величины. Температура охлаждаю-

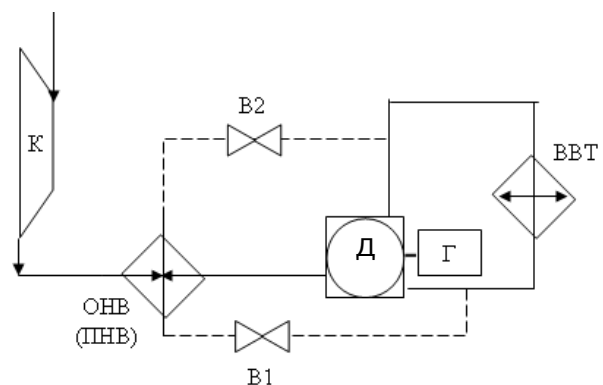


Рис. 1. Принципиальная схема включения охладителя наддувочного воздуха в контур системы охлаждения двигателя:

Д — дизель; ВВТ — водоводяной теплообменник; В — вентиль; К — компрессор; ОНВ (ПНВ) — охладитель наддувочного воздуха (подогреватель наддувочного воздуха)

шей жидкости поддерживалась постоянной на уровне 353, а масла в пределах 343–358 К.

Нагрузочные характеристики удельного эффективного расхода топлива, построенные по результатам этого эксперимента, пересекаются. Точка их пересечения позволяет определить нагрузку, до которой целесообразно подогревать наддувочный воздух для снижения расхода топлива. На всех остальных более высоких нагрузках наддувочный воздух следует охлаждать. Как следует из графиков (рис. 2), предельные значения мощности, при которых целесообразно подогревать воздух для дизеля 6ЧН21/21, работающего по нагрузочной и тепловозной характеристикам, составят соответственно величины 150 и 250 кВт.

Для каждого значения мощности, включая их предельные значения, экспериментально определяется оптимальная (по экономичности) температура наддувочного воздуха.

С этой целью устанавливается определенный режим работы дизеля с поддержанием температуры жидкости в первом контуре на уровне 353, а масла 343–358 К. При этом вентиль В1 закрыт, а В2 (см. рис. 1) открыт. Выполняется измерение расхода топлива при температуре, равной температуре неохлажденного воздуха после компрессора. Далее с помощью вентиля В1 изменяется расход воды в контуре охлаждения дизеля через подогреватель (охладитель выступает в его качестве) наддувочного воздуха.

На третьем этапе охладитель наддувочного воздуха включается в «горячий» контур системы охлаждения дизеля (см. рис. 1) Диапазон мощностей от холостого хода до ранее определенной предельной величины P_e разбивается на несколько участков.

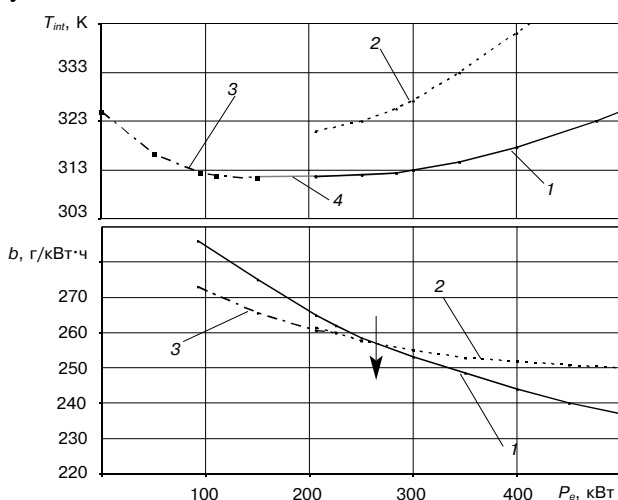


Рис. 2. Изменение удельного расхода топлива в зависимости от мощности при различных температурах наддувочного воздуха (режимы тепловозной характеристики): 1 — с охладителем наддувочного воздуха; 2 — с отключенным охладителем наддувочного воздуха; 3 — с подогревом наддувочного воздуха; 4 — рекомендуемая температура

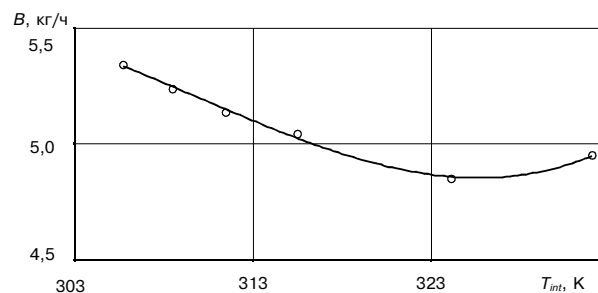


Рис. 3. Изменение часового расхода топлива в зависимости от температуры воздуха во всасывающем коллекторе

Измерение расхода топлива дизелем проводится после каждого повышения температуры наддувочного воздуха на 5–8 градусов до значения, при котором расход топлива будет минимальным. Изменение часового расхода топлива в зависимости от температуры воздуха во всасывающем коллекторе на холостом ходу и минимальной частоте вращения коленчатого вала представлено на рис. 3.

Так, оптимальная температура воздуха во всасывающем коллекторе на холостом ходу составляет 325–327 К, при этом часовой расход топлива имеет минимальное значение, равное 4,8 кг/ч.

Анализ результатов экспериментальных исследований показывает, что для получения экономии топлива при работе дизеля на режимах тепловозной характеристики от холостого хода до мощности 250 кВт подогрев воздуха должен производиться таким образом, чтобы его температура изменялась от 325 до 309 К. При мощности дизеля более 250 кВт охладитель наддувочного воздуха должен выполнять свое штатное назначение.

При работе дизеля по нагрузочной характеристике минимальные значения расходов топлива обеспечиваются при работе системы охлаждения наддувочного воздуха в двух режимах. Первый режим для зоны нагрузок в интервале от 44 до 150 кВт обеспечивает минимальные значения расхода топлива за счет поддержания температуры воздуха во всасывающем коллекторе 321–322 К. Эта температура обеспечивается путем подогрева воздуха в охладителе наддувочного воздуха водой контура охлаждения дизеля. Второй режим для зоны нагрузок от 150 кВт и выше обеспечивается охлаждением наддувочного воздуха, при этом охладитель работает в штатном режиме.

Таким образом, в результате выполненного исследования для дизеля 6ЧН21/21 мощностью 882 кВт были установлены предельные значения мощности, ниже которых целесообразно осуществлять подогрев наддувочного воздуха с целью снижения расхода топлива. Эти значения составляют при работе по нагрузочной характеристике — 150 кВт, по тепловозной характеристике — 250 кВт.

Установлено также, что поддержание оптимальных температур воздуха во всасывающем коллекторе позволяет снизить расход топлива на минимальной мощности нагрузочной характеристики до 13 %, а на холостом ходу по тепловозной характеристике более 8 %.

При этом положительное влияние подогрева воздуха во всасывающем коллекторе дизеля при его работе на холостом ходу и малых нагрузках более значительно проявляется при работе по нагрузочной характеристике.

Литература

1. Слотин Е.И. Подогрев надвучного воздуха турбопоршневого двигателя при низких температурах

// НИИинформтяжмаш. — М., 1976. — Вып. 4—78—14. — С. 13—15.

2. Разуваев В.И., Ким Ф.Г., Пожидаев В.М., Кудрявцев В.А. Повышение экономичности дизелей 6ЧН21/21 на частичных нагрузках в условиях пониженных температур окружающего воздуха // НИИинформтяжмаш. — М., 1973. — Вып. 4—73—16. — С. 14—17.

3. Гаврилов В.А., Смирнов В.В. К вопросу о влиянии повышения температуры надвучного воздуха на экономичность 2-тактного двигателя типа 40Д при его работе на режиме х/хода и малых нагрузках // Труды ЛКИ. — 1978. — Вып. 121.

4. Электростанция дизельная ЭД 520Т-Т400-2РНУ1 (ДЭ80): Технические условия ТУ 311690-007-00210944-2001. — Балаково. — 2001. — 72 с.

5. Егоров А.Г., Маслов Г.И., Нестеров Э.М., Никольский Н.К. Совершенствование конструкции и повышение экономичности тепловозных дизелей // ЦНИИТЭИ-тяжмаш. — 1983. — Вып. 31.

ЮБИЛЕЙ!

Николаю Антоновичу Иващенко 70 лет!

*16 ноября 2010 г. исполняется 70 лет
Николаю Антоновичу Иващенко,
доктору технических наук, профессору,
заслуженному деятелю науки Российской Федерации,
заведующему кафедрой «Поршневых двигателей внутреннего
сгорания» Московского государственного технического
университета им. Н.Э. Баумана.*



Выпускник МВТУ им. Н.Э. Баумана Николай Антонович Иващенко широко известен в Российской Федерации и за ее пределами как крупный ученый в области двигателестроения. Круг научных проблем двигателестроения, которыми на протяжении многих лет плодотворно занимается Николай Антонович, чрезвычайно широк и включает рабочие процессы форсированных дизелей, тепловую напряженность их узлов и деталей, применение альтернативных топлив и др. С именем Н.А. Иващенко связана компьютеризация научных исследований и учебного процесса на кафедрах двигателей внутреннего сгорания и НИИ.

Н.А. Иващенко является председателем диссертационного совета, членом редакционных коллегий журналов и сборников, председателем УМК по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» УМО по образованию в области энергетики и электротехники, членом экспертного Совета ВАК России, действительным членом Академии проблем качества Российской Федерации, членом Национального комитета Международного общества производителей и пользователей двигателей внутреннего сгорания (СИМАК). Награжден медалью «В память 850-летия Москвы».

Н.А. Иващенко подготовил более 16 кандидатов технических наук. Результаты его научной и учебно-методической деятельности нашли отражение более чем в 240 научных публикациях, в том числе многочисленных монографиях и ряде учебников и учебных пособий.

Научная и педагогическая деятельность Н.А. Иващенко получила всеобщее признание. Указом Президента РФ ему присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки РФ».

Редакция журнала «Двигателестроение» и коллектив кафедры «Поршневых двигателей» МГТУ им. Н.Э.Баумана поздравляют Николая Антоновича с юбилеем и желают ему здоровья, благополучия и новых творческих успехов в научной и педагогической деятельности.