

равномерность распределения капель в струе топлива.

Выводы

Описанное программное средство программно-технического комплекса контроля качества распыливания позволяет производить как обработку изображений топливных струй (устранение шума, повышение контраста), так и их анализ (пороговую сегментацию, построение графиков динамики изменения площадей яркостных зон струи во времени, и др.). На основе изучения оптической неоднородности струи можно делать вывод о ее качестве и таким образом сравнивать качество распыливания различных видов топлив различными топливными распылителями при различных условиях впрыскивания. Авторы полагают, что данное средство может быть использовано для изучения струй, получаемых не только распылителями дизельных форсунок, но и любых распылителей жидкости, при соответствующей доработке программно-технического комплекса.

Список литературы:

1. Разлейцев, Н.Ф. *Моделирование и оптимизация процесса сгорания в дизелях: монография* / Н.Ф. Разлейцев. – Харьков: Вища школа, 1980. – 169 с. 2. Шароглазов, Б.А. *Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчет процессов [Текст] : учебник* / Б.А. Шароглазов, М.Ф. Фарафонов, В.В. Клементьев. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 344 с. 3. ГОСТ 10579-88.

Форсунок дизелей. Общие технические условия. – Введ. 1990-01-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 8 с. 4. Орлов, В.Л. *Основы физики дисперсных материалов: учебное пособие* / В.Л. Орлов, Ю.Б. Кирста, А.В. Еськов, А.В. Орлов. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2005. – 98 с. 5. *Камера скоростной видеосъемки «ВидеоСпринт» // Видеоскан [Электронный ресурс]: [сайт] / ЗАО ИПК «Видеоскан». Электрон. дан. – М., 2012. – Режим доступа: <http://videoscan.ru/page/731>. – Загл. с экрана. 6. Хуанг, Т.С. *Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений* / Т.С. Хуанг, Дж.-О. Эклунд, Г.Дж. Нусбаумер и др. – М.: Радио и связь, 1984. – 221 с. 7. *Методы компьютерной обработки изображений* / под ред. В.А. Соффера. – М.: Физматлит, 2001. – 784 с. 8. Павлидис, Т. *Алгоритмы машинной графики и обработки изображений* / Т. Павлидис. – М.: Мир, 1981. – 84 с.*

Bibliography (transliterated):

1. Razlejcev, N.F. *Modelirovanie i optimizacija pro-cessa sgoranija v dizeljah: monografija* / N.F. Razlejcev. – Har'kov: Viwa shkola, 1980. – 169 s. 2. Sharoglavov, B.A. *Dvigateli vnutrennego sgoranija: teorija, modelirovanie i raschet processov [Tekst] : uchebnik* / B.A. Sharoglavov, M.F. Farafontov, V.V. Klement'ev. – Chelja-binsk: Izd-vo JuUrGU, 2004. – 344 s. 3. GOST 10579-88. *Forsunki dizelej. Obwie tehicheskie uslovija. – Vved. 1990-01-01. – M.: IPK Izdatel'stvo standartov, 2004. – 8 s. 4. Orlov, V.L. Osnovy fiziki dispersnyh mate-rialov: uchebnoe posobie* / V.L. Orlov, Ju.B. Kirsta, A.V. Es'kov, A.V. Orlov. – Barnaul: Izd-vo AltGTU, 2005. – 98 s. 5. *Kamera skorostnoj videos#emki «VideoSprint» // Videoskan [Elektronnyj resurs]: [sajt] / ZAO NPK «Videoskan». Jelektron. dan. – M., 2012. – Rezhim dos-tupa: <http://videoscan.ru/page/731>. – Zagl. s jekrana. 6. Huang, T.S. *Bystrye algoritmy v cifrovoy obrabotke izobrazhenij* / T.S. Huang, Dzh.-O. Jeklund, G.Dzh. Nus-sbaumer i dr. – M.: Radio i svjaz', 1984. – 221 s. 7. *Meto-dy komp'juternoj obrabotki izobrazhenij* / pod red. V.A. Sojfera. – M.: Fizmatlit, 2001. – 784 s. 8. Pavli-dis, T. *Algoritmy mashinnoj grafiki i obrabotki izo-brazhenij* / T. Pavlidis. – M.: Mir, 1981. – 84 s.*

УДК 621.436

В.С. Вербовский, инж.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАПАЛЬНОЙ ДОЗЫ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ГАЗОДИЗЕЛЯ ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Постановка задачи

Газодизели могут успешно работать на различном газовом топливе: на сжатом природном газе, на попутных газах нефтяных и газовых месторождений, на шахтном метане, на биогазе. Проведенный анализ [1, 2, 4] показывает, что эффективным средством улучшения топливной экономичности и снижения токсичности отработавших газов во всем диапазоне нагрузок двигателя является обеспечение оптимального количества воздуха, определяющего условия совместного сгорания газозудной смеси и распыленного дизельного топлива в условиях переменного давления и объема, характерных для поршневых двигателей. Эффективность использования газового топлива в газодизелях, в

первую очередь, зависит от совершенства применяемых на них систем автоматического управления и регулирования. Несмотря на давно известные достоинства газодизелей, они до сих пор не получили широкого применения в качестве приводных двигателей для газодизельных электростанций.

Целью проведенного экспериментального исследования являлось повышение экономичности газодизеля за счет уменьшения величины запальной дозы дизельного топлива и оптимизации сгорания двухтопливной смеси. Для достижения поставленной цели необходимо было установить порог минимальной запальной дозы дизельного топлива, обеспечивающий надежное воспламенение газозудной смеси в цилиндрах и устойчивую

работу двигателя на всех эксплуатационных режимах.

В настоящее время вопросами использования альтернативных топлив для работы энергетических установок занимаются многие организации и специалисты: в Институте угольных энерготехнологий, Институте общей энергетики, Институте проблем материаловедения, Институте электросварки, Институте биоорганической химии и нефтехимии, Институте Газа, Национальном техническом университете «КПИ», Национальном транспортном университете и др.

Основные результаты исследований

Исследования проводились на стационарном газодизеле в составе газодизельного электроагрегата АГД-100С-Т400-1Р [3] при номинальной мощности 100 кВт и при частичных нагрузках 12, 30, 50, 70 кВт. Программа экспериментальных исследований включала работу газодизеля в следующих режимах:

- работа в дизельном режиме (базовом режиме);
- работа газодизеля в газодизельном режиме при уменьшении запальной дозы дизельного топлива без оптимизации коэффициента избытка воздуха α ;
- работа газодизеля в газодизельном режиме с минимальной запальной дозой дизельного топлива при оптимизации α на частичных нагрузках (в данной статье не рассматривается).

Проводилось несколько серий опытов, при которых снимались нагрузочные характеристики двигателя.

В первой серии газодизель работал в режиме дизеля, т.е. только на дизельном топливе.

Во второй серии опытов запальная доза дизельного топлива поддерживалась постоянной на всех нагрузках. Изменение мощности осуществлялось за счет изменения расхода газового топлива. Исследовались работа газодизеля при трех величинах запальной дозы дизельного топлива: 26%, 12-15% от номинальной цикловой подачи и возможность дальнейшего снижения запальной дозы. В третьей серии опытов определялся закон подачи газозудушной смеси (в данной статье не рассматривается). Токсические характеристики работы газодизеля снимались на всех режимах.

Динамика изменения состава топлива в зависимости от величины запальной дозы и нагрузки

при работе двигателя в дизельном и газодизельном режимах приведены в [2].

В дизельном режиме газодизель работает с избытками воздуха $\alpha \geq 2$, характерными для гетерогенной смеси. Коэффициент избытка воздуха на частичных нагрузках достигает значений $\alpha = 9$, снижаясь на номинальной нагрузке до $\alpha = 2$. Расход дизельного топлива увеличивается пропорционально росту нагрузки.

Анализ характеристик работы двигателя в газодизельном режиме показывает снижение коэффициента избытка воздуха в 4 раза при переходе газодизеля с частичных нагрузок на номинальную мощность, сопровождающееся увеличением расхода газового топлива. Т.е. номинальная нагрузка достигается при обогащении смеси. В режиме частичных нагрузок газодизель работает аналогично дизельному режиму на сильно обедненной смеси.

Снижение запальной дозы дизельного топлива при газодизельном процессе сопровождалось эквивалентным ростом расхода природного газа. Коэффициент избытка воздуха и температура отработавших газов газодизеля при этом существенно не изменялись. Опытным путем установлен минимальный предел запальной дозы дизельного топлива, не нарушающий равномерность распределения мощности по цилиндрам – 12%. При работе двигателя на смеси дизельного топлива и газа коэффициент избытка воздуха снизился по сравнению с работой на дизельном топливе на ~12% на частичных нагрузках и на ~4% на полной нагрузке, температура отработавших газов увеличилась на ~40° [2].

Оценку вклада каждого вида топлива удобно представить в единицах условного топлива (рис.1). Из приведенного рис. 1 видно, что при номинальной нагрузке основной вклад в топливном балансе двигателя принадлежит газовому топливу. На частичных нагрузках картина не столь однозначна. На холостом ходу и малых нагрузках основной вклад в топливном балансе принадлежит дизельному топливу.

Этим объясняется необходимость работы двигателя при большом избытке воздуха. При уменьшении запальной дозы преобладает доля газового топлива. Поэтому снижение запальной дозы должно сопровождаться соответствующим снижением расхода воздуха, обеспечивающим надежное воспламенение запальной дозы дизельного топлива и максимально возможное, в условиях гетерогенной

смеси, сгорание газового топлива. Минимизация запальной дозы позволила сократить расход дизельного топлива по сравнению со стандартным газодизельным процессом на 20-33% условного топлива (у.т.) при частичных нагрузках и на 15-17% у.т. при номинальной нагрузке двигателя.

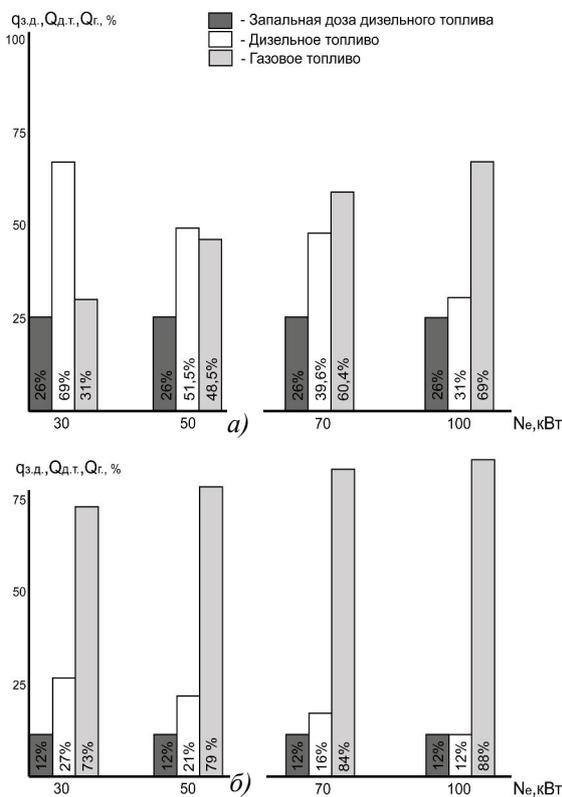


Рис. 1. Изменение соотношения дизельного и газового топлив в газодизельном двигателе в зависимости от запальной дозы при различной нагрузке: а) 26%; б) 12%

Более наглядное представление об изменении экономичности газодизеля при снижении запальной дозы дизельного топлива дают нагрузочные характеристики, на которых расход топлива показан в тепловых единицах Q_d , Q_g , Q_Σ , а кроме этого показаны зависимости удельного расхода теплоты q_d , q_g и q_Σ от эффективной мощности N_e . Перерасчет массовых/объемных единиц расхода в тепловые производился по формулам:

для дизельного топлива

$$Q_{dm} = H_{dm} G_{dm}, \text{ кДж/ч} \quad (1)$$

для природного газа

$$Q_g = Q_n^p V_g, \text{ кДж/ч}, \quad (2)$$

где $H_{dm} = 42500 \text{ кДж/кг}$ – низшая теплота сгорания 1 кг дизельного топлива; $Q_n^p = 35700 \text{ кДж/м}^3$ – низшая теплота сгорания 1 м³ природного газа.

Суммарный расход тепла при работе по газодизельному процессу

$$Q_\Sigma = Q_{dm} + Q_g, \text{ кДж/ч} \quad (3)$$

Удельный расход тепла

$$q_\Sigma = \frac{Q_\Sigma}{N_e}, \text{ кДж/кВт}\cdot\text{ч} \quad (4)$$

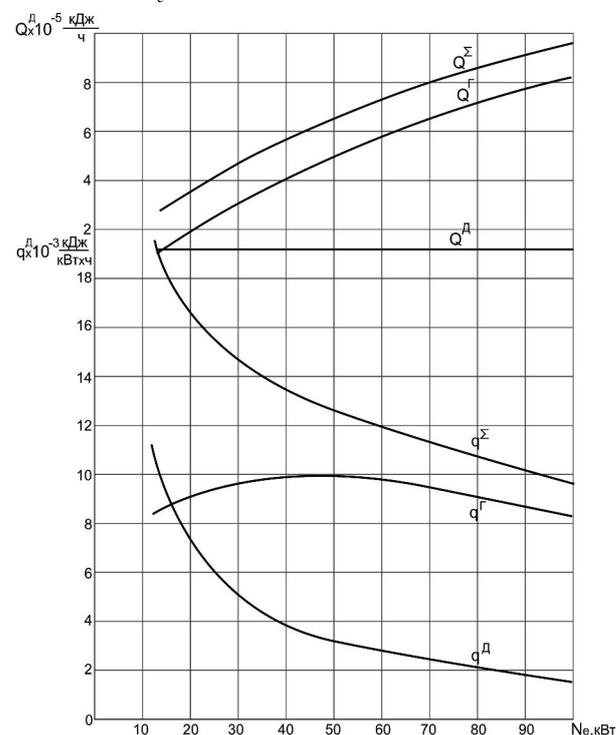


Рис. 2. Нагрузочные характеристики газодизеля в тепловых единицах при запальной дозе дизельного топлива – 12%

На рис. 2 приведен топливный и удельный расход теплоты при работе конвертированного дизеля на газодизельный процесс при минимальной запальной дозе дизельного топлива. Из сравнения характеристик видно, что дизельный процесс требует большего расхода теплоты, чем газодизельный. Это можно объяснить более высоким значением α дизельного процесса. Уменьшение доли дизельного топлива при газодизельном процессе уменьшает общий расход теплоты вследствие замены его более калорийным топливом. Рост мощности закономерно сопровождается увеличением расхода теплоты. Максимальные значения удельного расхода теплоты соответствуют малым нагрузкам, с ростом мощности они резко снижаются. По удельному расходу показатели газодизельного процесса лучше показателей дизельного процесса на ~20%. Изменения суммарного удельного расхода при снижении запальной дозы дизельного топлива незначительны (рис. 3).

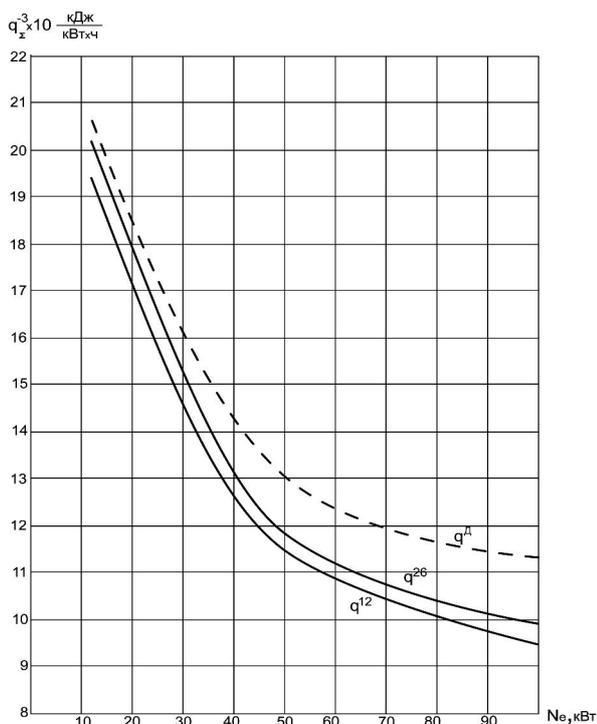


Рис. 3. Удельный суммарный эффективный расход тепла по нагрузочным характеристикам

Показательно, что снижение доли дизельного топлива практически не изменило суммарную удельную тепловую нагрузку газодизельного двигателя, однако повлияло на характер изменения удельного расхода теплоты газового топлива. При запальной дозе дизельного топлива 26% на частичных нагрузках основной вклад в получение энергии принадлежит дизельному топливу, доля природного газа не превышает 30%. Однако к 50% нагрузке вклад каждого топлива равнозначен. На номинальной мощности нагрузку обеспечивает газовое топливо. Снижение доли дизельного топлива до минимального значения свело его роль только к обеспечению запальной миссии, к роли источника воспламенения газового топлива. Это доказывает важность правильной организации процесса сгорания газового топлива в поршневом двигателе: обеспечение эффективного воспламенения от запальной дозы дизельного топлива с последующим сжиганием.

Итак, в условиях одинакового избытка воздуха на дизельном и газодизельном режимах максимальный экономический эффект достигается при нагрузке, близкой к номинальной. Возрастание подачи топлива при увеличении нагрузки обогащает смесь. При этом улучшаются экономические показатели работы двигателя. Обеднение смеси ухудшает экономичность газодизеля на частичных на-

грузках. Это свидетельствует о недостаточной эффективности параметров рабочего процесса на частичных нагрузках. Установление закона подачи газозудной смеси при оптимальном избытке воздуха в режиме частичных нагрузок оптимизирует процесс совместного сгорания дизельного топлива и газа, повышая экономичность газодизельного двигателя.

Выводы

Опытным путем установлен минимальный предел запальной дозы дизельного топлива, не нарушающий равномерность распределения мощности по цилиндрам – 12%. По удельному расходу показатели газодизельного процесса лучше показателей дизельного процесса на $\square 20\%$.

Экспериментально подтверждена максимальная экономическая эффективность газодизеля, достигаемая при нагрузке, близкой к номинальной и недостаточная эффективность параметров его рабочего процесса на частичных нагрузках. Минимизация запальной дозы позволила сократить расход дизельного топлива по сравнению со стандартным газодизельным процессом на 20-33% условного топлива (у.т.) при частичных нагрузках и на 15-17% у.т. при номинальной нагрузке двигателя.

Список літератури:

1. Вербовский В.С. Возможности применения газодизельных электростанций в Украине / В.С. Вербовский - Экотехнология и ресурсосбережение. – 2003. - №1. – С.13-17.
2. Вербовский В.С. Экспериментальные исследования процесса работы газодизельного двигателя с целью снижения запальной дозы дизельного топлива / В.С. Вербовский, І.В. Грицук - Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. - Донецьк: ДонІЗТ, 2010 – Випуск №22. 211с., с. 142-153.
3. Вербовский В.С., Грицук І.В. Особенности экспериментальной установки для исследования универсальной системы питания и регулирования газодизельной электростанции / В.С. Вербовский, І.В. Грицук - Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. - Донецьк: ДонІЗТ, 2010 – Вип. №21. – С. 159-172.
4. Долганов К.Е. Исследование топливной экономичности и токсичности отработавших газов газодизеля / К.Е. Долганов, В.С. Вербовский и др. - 1991. - №8-9. – С. 6-9.

Bibliography (transliterated):

1. Verbovskij V.S. Vozmozhnosti primeneniya gazodi-zel'nyh jelektrostantsij v Ukraine / V.S. Verbovskij - Jekotehnologija i resursosberehenie. – 2003. - №1. – S.13-17.
2. Verbovskij V.S. Jeksperimental'nye issledovanija processa raboty gazodizel'nogo dvigatelya s ce-l'ju snizhenija zapal'noj dozy dizel'nogo topliva / V.S. Verbovskij, I.V. Gricuk - Zbirnik naukovih prac' Donec'-kogo institutu zalizničnogo transportu Ukraїns'koї derzhavnoї akademії zalizničnogo transportu. - Donec'k: DonIZT, 2010 – Vipusk №22. 211s., s. 142-153.
3. Verbovskij V.S., Gricuk I.V. Osobennosti

jeksperimental'noj ustanovki dlja issledovanija universal'noj sistemy pitanja i regulirovanija gazodizel'noj jelektrostantsii / V.S. Verbovskij, I.V. Gricuk - Zbirnik naukovih prac' Donec'kogo institutu zalizničnogo transportu Ukraïns'koï derzhavnoi akademii zalizničnogo transportu. - Donec'k: DonIZT, 2010 – Vip. №21. – S.

159-172. 4. Dol-ganov K.E. Issledovanie toplivnoj jekonomichnosti i toksichnosti otrabotavshih gazov gazodizelja / K.E. Dolganov, V.S. Verbovskij i dr.. - 1991. - №8-9. – S. 6-9.

УДК 621.43

**С.П. Кулманаков, канд. техн. наук, М.Э. Брякотин, канд. техн. наук,
С.С. Кулманаков, асп.**

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДАЧЕЙ ГАЗА И ПРОЦЕССА СГОРАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГАЗОПОРШНЕВЫХ МИНИ-ТЭЦ

Введение

Повышение требований к топливной экономичности привлекло большое внимание к регулированию мощности комбинированным способом: изменением количества или качества подаваемой горючей смеси и действительного рабочего объема двигателя. Наибольший эффект по топливной экономичности может быть достигнут в двигателях с разъемным коленчатым валом или в двигателях, состоящих из нескольких секций. Двигатели такого рода не находят широкого применения из-за значительного усложнения конструкции и трудностей, связанных с их работой на переходных режимах. Чаще всего реализуют схемы с отключением цилиндров, кривошипно-шатунный механизм которых не требует больших конструктивных изменений, а изменениям подвергаются лишь системы питания и газообмена. Среди большого числа конструктивных решений, известных по патентной литературе и экспериментальным работам, можно выделить две, наиболее простых в реализации, схемы отключения цилиндров.

Двигатели с впрыскиванием топлива и отключением его подачи. Прекращение впрыскивания топлива может производиться для одного или нескольких цилиндров с соответствующим увеличением подачи топливовоздушного заряда в другие работающие цилиндры. В цилиндры с отключенной подачей топлива воздух может поступать через основную впускную систему. При этом способе не требуется серьезных конструктивных изменений, так как вводится только новая программа в систему питания, но он является менее эффективным, чем отключение привода клапанов.

Во второй схеме отключения цилиндров предусмотрено устройство, перекрывающее впускной

трубопровод и соединяющее впускные каналы с выпускной системой работающих цилиндров. В двигателях с регулируемой цикловой подачей топлива может впрыскиваться во все цилиндры, но с пропуском заданного числа циклов при соответствующем увеличении цикловой подачи топлива по определенной программе электронной системы. При этом во всех цилиндрах сохраняется постоянный тепловой режим, что облегчает последующий переход двигателя на полную нагрузку, обеспечиваются одинаковые условия работы в отношении изнашивания цилиндропоршневой группы.

Уменьшение удельного расхода топлива при отключении части цилиндров обусловлено увеличением индикаторного и механического к.п.д. двигателя, что приводит к экономии 10-30%.

В качестве реализации отключения цилиндров был выбран первый вариант, который требует внесения изменений только в алгоритм управления электронного блока.

Теоретическая часть

Цель математического моделирования рабочего процесса газопоршневого двигателя заключается в прогнозировании соотношения механической и тепловой энергии на режимах полной загрузки и частичной загрузки.

Распределение тепла, которое выделяется при сгорании газообразного топлива в цилиндре двигателя, на отдельные составляющие и количественное значения этих составляющих отражает тепловой баланс двигателя. Тепловой баланс составляют на основании уравнения теплового баланса в общем виде:

$$Q_0 = Q_e + Q_g + Q_m + Q_z + Q_{ост},$$

где Q_0 – суммарное количество тепла, подведенное