

УДК 543.271.3

В.Ф. Примиский, канд. техн. наук

ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКИЙ МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЯ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

Введение

Одной из наиболее актуальных экологических проблем современности является загрязнение атмосферы отработавшими газами (ОГ) транспортных средств: автомобилями, тепловозами, самолетами, теплоходами, мотоциклами, строительными и дорожными машинами, тракторами и т.д. Соблюдение требований природоохранных нормативных документов и контроль выбросов ОГ транспортных средств возможен при наличии средств измерения состава: газоанализаторами (ГА), газоаналитическими комплексами, дымомерами (опасиметрами) и др [1].

Международное сообщество, учитывая серьезность проблемы, разработало ряд международных стандартов — Правила Европейской Экономической Комиссии (ЕЭК) ООН для различных типов автомобилей, Правила МАРПОЛ для морских и речных теплоходов, Нормы ИКАО для самолетов. В этих стандартах регламентированы нормы выбросов, методы газового анализа, процедуры измерений, требования к техническим параметрам газоанализаторов, метрологическому обеспечению. Требования этих стандартов учтены при создании отечественных автоматических газоаналитических комплексов и систем.

Постановка задачи

В Украине с 2002 Правила ЕЭК ООН 49 и 83 с поправками имеют статус государственных стандартов — ДСТУ UN/ECE R49 и ДСТУ UN/ECE R49. Этими стандартами руководствуются изготовители автомобилей, а также органы сертификации при испытаниях двигателей и автотранспортных средств. С

2004 введены в действие национальные стандарты, регламентирующие выбросы вредных веществ с ОГ и дымность ОГ автомобилей при их экологическом контроле в процессе эксплуатации: ДСТУ 4277-04 “Норми вмісту оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобілів” (вместо ГОСТ 17.2.2.03-87), ДСТУ 4276 “Норми і методи вимірювань димності автомобілів” (вместо ГОСТ 21393-75).

С учетом требований Правил 49 и 83 ЕЭК ООН, а также разработанных на их основе нормативов Евро - II, III, IV каждая страна должна иметь необходимые средства контроля отработавших газов автомобилей, соответствующие требованиям упомянутых международных норм и правил.

Газоаналитический микропроцессорный комплекс

“Украналит” разработал газоаналитический комплекс с микропроцессорной системой — ГКМП (рис.1), соответствующий международным стандартам. Газоаналитический комплекс предназначен для одновременного параллельного измерения концентрации CO , C_nH_m , NO_x (NO , NO_2 , NO_x) в ОГ двигателей транспортных средств с возможностью дополнительных каналов для измерения CO_2 , O_2 и определения расчетной величины λ (соотношение воздух/топливо).

ГКМП построен на основе трех уровней иерархического функционирования [2].

Первый уровень. Выполнение измерений с помощью каждого из газоанализаторов: 344ХЛ14 (NO_x), 334КПИ1 (C_nH_m), 121ФА14 (CO) автономно и независимо один от другого. Все газоанализаторы имеют свою систему питания, фильтрации газовой

пробы, цифровую индикацию результатов измерений. Каждый газоанализатор используется для измерения только “своего” газа.



Рис. 1. Газоаналитический комплекс с микропроцессорной системой

Второй уровень. Все газоанализаторы komponуются в передвижную стойку и работают через общий блок подготовки пробы. Результаты измерений фиксируются на индикаторе каждого ГА, а также передаются и распечатываются на принтере.

Третий уровень — более полный функциональный вариант второго уровня за счет применения ПЭВМ. При этом печатается не только протокол результатов измерений нескольких видов, но и управления ГКМП (выбор диапазонов и режимов работы, калибровка, самодиагностика и т.д.) проводится архивация накопленной информации, определение погрешности измерений, формирование графического и табличного представления информации; определение максимальных и минимальных значений по каждому каналу измерений и т.п.

На рис. 2 представлена общая функциональная схема ГКМП третьего уровня. В соответствии с тре-

бованиями Правил 49 и 83 ЕЭК ООН газоанализаторы комплекса реализуют для измерений концентраций компонентов следующие методы: инфракрасный абсорбционный — измерение CO, пламенно-ионизационный — измерение C_nH_m, хемилюминесцентный — измерение NO_x.

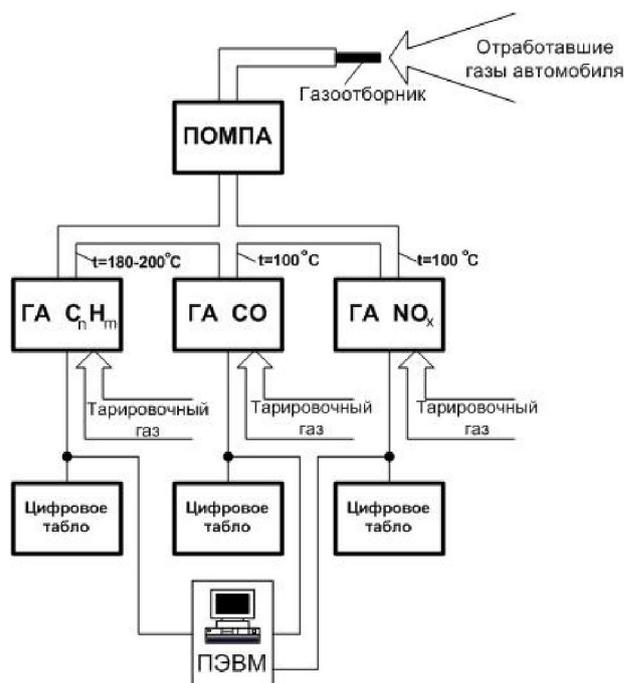


Рис. 2. Функциональная схема ГКМП

Большое внимание при разработке комплекса уделялось встроенным устройствам пробоотбора и пробоподготовки, которые обеспечивают удаление влаги, твердых частиц, а также осуществляют автоматическую регулировку расхода и давления газовой пробы перед подачей на вход газоанализаторов. Гибкие, обогреваемые газовые трубки (шланги) автоматически поддерживают заданный температурный режим газовой пробы: 200 °С для пламенно-ионизационного ГА 334КПИ14 и 100 °С для хемилюминесцентного ГА 344ХЛ14 и тем самым предотвращают образование и выпадение конденсата из пробы.

Основные технические характеристики ГКМП приведены в таблице 1.

Особенности методов газового анализа примененных в ГКМП.

Инфракрасный метод (NDIR-метод) основан на измерении величины ослабления интенсивности потока инфракрасного (ИК) излучения или поглощения его газовым компонентом при прохождении этого потока через газовую смесь. Метод инфракрасной спектроскопии является наиболее селективным для определения концентрации оксида углерода (CO), углеводородов (C_nH_m), диоксида углерода (CO_2) в составе сложных газовых смесей и описывается законом Ламберта-Бугера-Бера:

$$\Phi = \Phi_0 e^{-\lambda \cdot c \cdot D} = \Phi_0 \cdot C^D$$

где: Φ_0 — интенсивность светового потока; Φ — интенсивность светового потока после прохождения через слой газа; λ — коэффициент поглощения; c — концентрация газа; e — толщина слоя поглощения; D — оптическая плотность газа.

Основным диапазоном анализа является инфракрасная область спектра с длиной волны до 15 мкм. Для выделения узких участков спектра, которые характерны CO, CO_2 , CH применяют интерференционные оптические фильтры с минимальным коэффициентом поглощения, а также надежные источники инфракрасного излучения и приемники излучения с высокой чувствительностью [3].

Таблица 1. Основные технические характеристики ГКМП

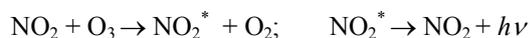
Тип ГА, измеряемый газ	Метод газового анализа	Инструментальная погрешность измерения	Диапазон измерений	Габариты, мм вес, кг
121ФА14 оксид углерода (CO)	Инфракрасный абсорбционный NDIR	± 3	0-0,5 % 0-1 % 0-5 % 0-1 %	450x400x200, 12
344ХЛ14 оксид азота (NO_x)	Хемилюминесцентный GLD	± 3	0-100 ppm 0-500 ppm 0-2000 ppm 0-5000 ppm $NO_2=0-200$ ppm	450x400x200, 12
334КПИ14 углеводороды (C_nH_m)	Пламенно-ионизационный FID	± 3	0-200 ppm 0-500 ppm 0-1000 ppm 0-5000 ppm	450x400x200, 12
Интерфейс			RS 232	
Обогреваемая (до 200 °С) пробоподготовка с гибкими шлангами длиной 6-10 м.				

Пламенно-ионизационный метод (FID-метод) используется для измерения концентрации суммы углеводородов C_nH_m . Суть метода заключается в том, что газ, подлежащий анализу, направляется в водородное пламя. При температуре 2000 °С происходит диссоциация молекул углеводородов на СН-группы, их окисление с освобождением электронов и положительных ионов CHO^* . Если к зоне водородного горения приложить электрическое напряжение, возникает ионизационный ток, пропорциональный количеству СН-групп в молекуле углеводородов.

Пламенно-ионизационный преобразователь, принятый как стандартный для измерений суммарного количества углеводородов. К особенностям метода FID, который используется в ГКМП, можно отнести необходимость создания трех газовых потоков (анализируемого газа, водорода и воздуха для горения), а также изменение выходного сигнала сенсора при колебаниях содержания кислорода в анализируемом газе [4]. Линейность выходной характеристики FID – детектора, высокая чувствительность, стабильность и надежность в работе обеспечивают безотказность и

длительную эксплуатацию пламенно-ионизационного газоанализатора 334КПИ14. В комплект поставки 334КПИ14 входит также генератор водорода 111ГС03, работающий на электролизе воды с применением твердополимерной электролизной ячейки [5, 6]

Хемиллюминесцентный метод (GLD –метод) используется для измерения концентраций NO. Принцип хемиллюминесценции заключается в том, что вследствие реакции оксида азота (NO) с озоном (O₃) образуется диоксид азота (NO₂) с определенной частью молекул (NO₂^{*}) в возбужденном состоянии, которые довольно быстро излучают инфракрасный квант и возвращаются в нормальное состояние:



Данные исследований показали, что в процессе создания диоксида азота с помощью озона только около 10 % молекул диоксида азота находятся в возбужденном состоянии. При возвращении возбужденных молекул NO₂^{*} в нормальное состояние NO₂ излучаются кванты $h\nu$ с длиной волны 590-2500 нм в близкой инфракрасной области с максимальной интенсивностью около 1200 нм. Интенсивность излучения, пропорциональная концентрации NO, воспринимается фотоэлектронным множителем [7, 8].

Микропроцессорная система управления и обработки результатов измерений

Отличительной особенностью ГКМП является наличие микропроцессорной системы контроля и самодиагностики. Система обеспечивает ежедневный контроль герметичности газоанализаторов, введение автоматической поправки на атмосферное давление, информацию о времени, оставшемся до очередной метрологической аттестации, диагностику работоспособности основных электронных узлов комплекса.

Объектами системной организации ГКМП являются газоанализаторы для измерения концентра-

ции CO, C_nH_m и NO_x. Общей особенностью структурной схемы каждого газоанализатора является аналоговая форма преобразования и обработки измерительных сигналов и двухканальная схема их дальнейшего преобразования в цифровой код. Далее код стыкуется с автономными и периферийными средствами отображения, регистрации и обработки информации (персональная ЭВМ, принтер). Первый канал предназначен для формирования и отображения результатов измерения на цифровом индикаторе, второй — для организации стыковки газоанализатора с периферийными устройствами (автономный вариант) или для комплексной стыковки газоанализаторов и системной связи ГКМП с периферийными устройствами (системный вариант).

Для реализации указанных задач второй канал газоанализаторов содержит многофункциональный контроллер, структура и функции которого определяются электрическими, информационными, метрологическими особенностями газоанализаторов, а также условиями интерфейсной организации ГКМП и периферийных устройств.

Газоанализатор для измерения CO характеризуется наличием одного измерительного сигнала, связанного с концентрацией CO линейной функциональной зависимостью: $C_{\text{CO}} = K_{\text{CO}} \cdot U_{\text{CO}}$, где C_{CO} — концентрация CO, % об.; U_{CO} — напряжение нормализованного электрического измерительного сигнала, В; K_{CO} — коэффициент преобразования напряжения измерительного сигнала в концентрацию CO, % об./В.

Интервал измерения концентрации CO от 0 до 10% об. Изменение напряжения электрического измерительного сигнала в заданном интервале составляет от 0 до 4 В. Основная относительная приведенная погрешность измерения концентрации CO не больше 0,5 %.

В газоанализаторе измерения концентрации C_nH_m формируется измерительный сигнал, связанный с концентрацией C_nH_m функциональной зависи-

мостью: $C_{\text{CH}} = K_{\partial(\text{CH})} \cdot K_{\text{CH}} \cdot U_{\text{CH}}$, где C_{CH} — концентрация CH, ppm; U_{CH} — напряжение нормализованного электрического измерительного сигнала, В; K_{CH} — коэффициент преобразования напряжения измерительного сигнала к концентрации CH в интервале измерения от 0 до 150 ppm (I диапазон), ppm/В; $K_{\partial(\text{CH})}$ — коэффициент диапазона измерений концентрации CH. Интервал измерения концентрации CH в зависимости от диапазонов:

- от 0 до 50 ppm — I диапазон;
- от 0 до 200 ppm — II диапазон;
- от 0 до 1000 ppm — III диапазон;
- от 0 до 5000 ppm — IV диапазон

Для идентификации диапазона измерений в газоанализаторе формируется второй электрический измерительный сигнал со следующими дискретными значениями напряжения:

- от 0,9 до 1,3 В — I диапазон;
- от 1,9 до 2,3 В — II диапазон;
- от 2,9 до 3,3 В — III диапазон;
- от 3,9 до 4,3 В — IV диапазон.

Интервалы изменения напряжения электрического измерительного сигнала на любом диапазоне от 0 до 4 В. Основная приведенная погрешность измерения концентрации CH не больше 5,0%.

В газоанализаторе измерения концентрации NO формируется измеренный сигнал, связанный с концентрацией NO функциональной зависимостью:

$C_{\text{NO}} = K_{\partial(\text{NO})} \cdot K_{\text{NO}} \cdot U_{\text{NO}}$, где C_{NO} — концентрация NO, ppm; U_{NO} — напряжение нормализованного электрического измеренного сигнала, В; K_{NO} — коэффициент преобразования напряжения измерительного сигнала к концентрации NO с интервалами измерения от 0 до 100 ppm (I диапазон), ppm/В; $K_{\partial(\text{NO})}$ — коэффициент диапазона измерения концентрации NO.

Для идентификации диапазона измерений в газоанализаторе формируется второй электрический измерительный сигнал со следующими дискретными

значениями напряжения:

- от 0,9 до 1,3 В — I диапазон;
- от 1,9 до 2,3 В — II диапазон;
- от 2,9 до 3,3 В — III диапазон;
- от 3,9 до 4,3 В — IV диапазон.

Интервалы изменения напряжения электрического измерительного сигнала на любом из диапазонов измерения от 0 до 4 В.

Газоанализатор имеет два режима измерения, помимо канала NO, имеется канал измерения $\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$. При режиме измерения NO_2 происходит восстановление NO_2 до NO, на катализаторе, нагревом до 300⁰ С. Коэффициент восстановления NO_2 до NO не ниже 0,95. Предусмотрена высокоэффективная трехступенчатая система уничтожения (утилизации) остатков озона и оксидов азота, выводимых из газоанализатора после анализа. Основная приведенная погрешность измерения концентрации NO не больше 5 %.

В настоящее время применяются три основных структуры интерфейсов, которые различаются топологией шин: кольцевая, радиальная и магистральная. Используются также комбинированные структуры, в которых конфигурация части шин отвечает одной, а другой части — другой структуре [9].

В системе, которая выполнена по кольцевой структуре (рис. 3), каждая пара функциональных устройств “источник-приемник” связываются парами соединительных линий, а обмен данными происходит непосредственно между функциональными устройствами. Управляющие функции распределены между этими устройствами. Однако в некоторых случаях для управления обменом данными выделяют самостоятельное устройство (контроллер).

В системе с радиальной структурой (рис. 4) выделено центральное устройство (контроллер), с которым каждое из устройств – источников сигналов, соединено с помощью индивидуальной группы шин. Обмен данными происходит непосредственно между

каждым устройством и контроллером под управлением контроллера.



Рис. 3. Кольцевая структура интерфейса



Рис. 4. Радиальная структура интерфейса

В системах с магистральной структурой (рис. 5) вместо группы индивидуальных шин используются коллективные шины, с которыми соединены все источники, приемники сигналов и контроллер. Для магистральной структуры характерным является то, что все сигналы, поступающие в шины интерфейса

доступны для всех функциональных устройств, которые присоединены к интерфейсу. Однако в каждый момент времени только один из источников и только один из приемников могут быть связаны с интерфейсом, выдавать сигналы и реагировать на них.

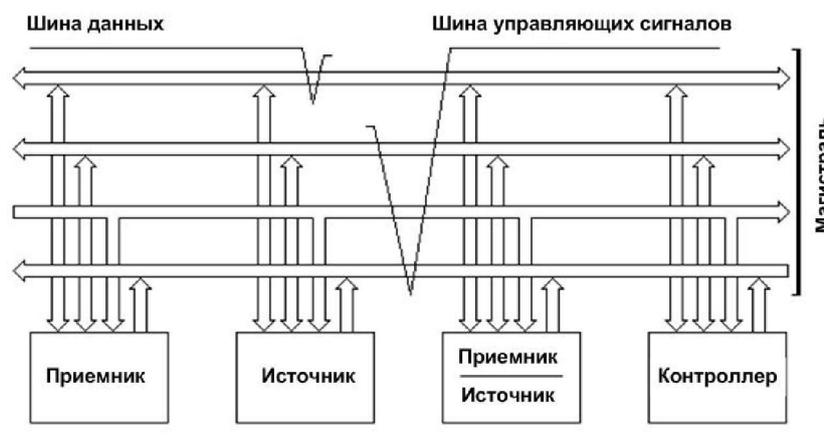


Рис. 5. Магистральная структура интерфейса

Несмотря на то, что кольцевая структура интерфейсов в настоящее время используется относительно редко и в несложных системах, которые содержат несколько функциональных устройств, для системной организации ГКМП она является наиболее пригодной.

Это обусловлено наличием в ГКМП трех-четырёх газоанализаторов и потому создание радиальной или магистральной структуры интерфейса потребовало бы внедрения дополнительных системных контроллерных устройств, что усложнило конфигурацию информационно-управляющих шин, и в этой связи, экономически не оправданно. Для обеспечения автономности любого из газоанализаторов по отношению к периферийным устройствам уместным был бы универсальный подход, как автономного, так и системного интерфейса. Таким условиям удовлетворяет стандартный последовательный интерфейс RS-232C, на базе которого и разработана оптимальная организация кольцевой структуры интерфейса ГКМП, приведенная на рисунке 3.

Внутренняя кольцевая структура стыковки газоанализаторов выполнена на основе автономных интерфейсов RS-232C любого из газоанализаторов, а приемо-передающие линии автономных интерфейсов RS-232C “крайних” газоанализаторов и параллельные управляющие линии всех автономных интерфейсов образуют полный системный (внешний) интерфейс RS-232C ГКМП.

Автономный интерфейс RS-232C входит в состав контроллера в структуре каждого из газоанализаторов.

Контроллер обеспечивает управление процессами ввода, преобразование и обработки входных аналоговых измерительных сигналов со стороны газоанализатора, а также обслуживает взаимодействие с периферийными устройствами при работе газоанализатора в автономном режиме или через кольцевой интерфейс — в системном режиме.

Заключение

Разработанный ГКМП прошел Государственные испытания и успешно эксплуатируется в головном научном центре Минтранса Украины – Госавто-трансНИИпроекте при проведении сертификационных исследований отечественных и зарубежных автомобилей и различных типов двигателей внутреннего сгорания на соответствие экологическим стандартам. Комплекс и его составные газоанализаторы могут быть использованы при проведении научно-исследовательских и конструкторских работ на других предприятиях Украины в сфере авто- и моторостроения. С помощью ГКМП возможно осуществление экологического контроля автомобилей украинских автоперевозчиков при поездках в Западную Европу.

Список литературы:

1. Амрацумян В.В., Носов В.Б., Тагасов В.Г. Экологическая безопасность автомобильного транспорта. - М.; «Научтехлитиздат», 1999,- 45с.
2. Приміський В.П. Сучасні засоби інструментального контролю (газоаналізатори і газоаналітичні системи) відпрацьованих газів автомобілів //Автошляховик України, Київ. Окремий випуск .(жовтень) 2003 р., С 53-57.
3. Богданов В.В., Візнюк А.А., Приміський В.П., Чермерис І.В. Багатоканальний інфрачервоний газоаналізатор, Патент України 65504А, Опубл. Бюл. № 33, 2004 р.
4. Приміський В.Ф. Пламенно-ионизаційний газоаналізатор. Патент Росії 2140648. Опубл. Бюл. № 6, 2000 г.
5. Шаталов М.Г., Коссонович Ф.Ю., Приміський В.П., Цуканова Л. Система генерування чистого водню. Патент України 70050А, Опубл. Бюл. №9, 2004 р.
6. Шаталов М.Г., Приміський В.П., Коссонович Ф.Ю., Цуканова Л.А. Автоматична система виробництва чистого водню. Патент України 62544А, Опубл. Бюл. №12, 2003 р.
7. Приміський В.П. Хемілюмінесцентний га-

зоанализатор оксидів азоту. Патент України 9825, Опубл. Бюл. № 3, 1996 р. 8. Приміський В.П., Міхальчевський В.Г., Цуканова Л.А. Автоматичний хемілюмінесцентний газоанализатор. Патент України № 27680, Опубл. Бюл., № 4, 2000 р. 9. Визнюк А.А., Без-

рук З.Д., Чемерис И.В. Тезисы доклада: Компьютерные технологии в ИК-газоанализаторах// Сборник научных работ III научно-технической конференции "Приборостроение 2004: состояние и перспективы", Киев, ПСФ НТУУ «КПИ». – 2004. С. 114-115.

УДК 621.892

В.З. Бычков, инж., А.В. Грицюк, канд. техн. наук, А.В. Зайцев, инж., Н.В. Клименко, инж., Г.В. Щербаненко, инж.

МЕТОД УСКОРЕННОЙ ОЦЕНКИ МОЮЩИХ И АНТИНАГАРНЫХ СВОЙСТВ МОТОРНЫХ МАСЕЛ В ДВУХТАКТНОМ ФОРСИРОВАННОМ ДИЗЕЛЬНОМ ДВИГАТЕЛЕ

Тяжелые условия эксплуатации высокофорсированных двухтактных дизельных двигателей с литровой мощностью более 45 кВт (температура окружающей среды – до 55 °С, охлаждающей жидкости и масла – 130 °С) предъявляют повышенные требования не только к надежности конструкции, но и к качеству моторного масла.

Моторные масла для дизелей такого класса должны обладать высокой термоокислительной стабильностью и достаточным запасом моюще-диспергирующих и антинагарных свойств для предотвращения нагарообразования на окнах цилиндров, в поршневых канавках и выпускных коллекторах и, тем самым, способствовать стабильности мощностных и экономических показателей двигателя при длительной работе.

В связи с тем, что оценка моторно-эксплуатационных свойств опытных образцов масел требует больших затрат времени и средств на проведение длительных испытаний в полноразмерных двигателях, Казённое предприятие "Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению" разработало метод ускоренной оценки моющих и анти-

нагарных свойств в танковом двигателе 5ТДФ [1].

Задача решалась путем подбора научно обоснованных напряженных режимов работы двигателя и условий испытаний [2], позволяющих интенсифицировать процессы старения масла в картере двигателя, а также лако-, нагарообразования в продувочных отверстиях, выхлопных окнах цилиндров, в канавках и на юбке поршней. Предусматривалось, что отложения на деталях при ускоренных и длительных испытаниях должны быть идентичными по характеру и абсолютной величине.

Испытания масла для ускоренной оценки моюще-диспергирующих и антинагарных свойств проводили в двигателе 5ТДФ на режиме максимального крутящего момента (частота вращения $n=2000 \text{ мин}^{-1}$) с отключенным масляным центробежным фильтром и подогревом воздуха, поступающего в двигатель, до 40 °С, в течение 50 часов. Для интенсификации процесса нагарообразования в продувочных отверстиях цилиндров был увеличен заброс газа в продувочный ресивер за счет более раннего (на 7 град.пкв) их открытия. В ходе испытаний коэффициент избытка воздуха выдерживали постоянным (за счет регулиро-