

**Л.С. Заславский, В.Ю. Рыжик, О.С. Витковский,
А.В. Саввин, А.А. Слабнов**

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ НАСЫЩЕННЫХ ПАРОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Аннотация

В статье представлено автоматическое устройство для измерения давления насыщенных паров (АУИДНП) нефти и нефтепродуктов, предназначенное для функционирования в автоматическом режиме в составе автоматизированной системы измерения качества нефти и нефтепродуктов.

Ключевые слова: измерение давления насыщенных паров, автоматизированная система, измерение качества нефти и нефтепродуктов.

При оценке качества нефтепродуктов одной из основных характеристик является давление насыщенных паров (ДНП). Для нефти, например, это один из важнейших показателей качества, характеризующий испаряемость содержащихся углеводородов, а также их энергетические характеристики. От этой характеристики зависят эксплуатационные свойства нефтепродуктов (топлив, масел, растворителей и т. д.) и результаты расчетов ряда технологических процессов.

Свыше 80 % всей массы технологических потерь приходится на выделяющиеся из нефтепродуктов углеводороды. При прочих равных внешних условиях их количество зависит от испаряемости нефти, которая характеризуется ДНП и содержанием в нефти растворенных и свободных газов. Без должного контроля этих параметров невозможно выявление основных причин потерь и, следовательно, принятие соответствующих мер по их предотвращению.

В настоящей работе представлено автоматическое устройство для измерения давления насыщенных паров (АУИДНП) нефти и нефтепродуктов, предназначенное для функционирования в автоматическом режиме в составе автоматизированной системы измерения качества нефти и нефтепродуктов.

Используемая в данном случае методология измерения ДНП базируется на идеях, изложенных в стандарте ASTM D 6377, с учетом опыта ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» по созданию эталонной установки для определения ДНП стандартных образцов абсолютного давления насыщенных паров нефтепродуктов. Данная методология позволяет получить высокую сопоставимость получаемых результатов с широко используемой на

практике методикой измерений по ГОСТ 1756-2000 или ASTM D 323 (бомба Рейда). В результате разработано и изготовлено АУИДНП, отличительной чертой которого является то, что оно предназначено для эксплуатации в непрерывном автоматическом режиме и не требует обслуживания персоналом в процессе работы.

Сущность метода состоит в следующем. Проба нефтепродукта помещается в испытательную камеру с соотношением объемов газовой и жидкой среды 4:1, после охлаждения выполняется вакуумирование содержащейся воздушной смеси до остаточного давления паров внутри камеры P_0 . После герметизации камеры производится медленный нагрев содержимого до достижения температуры паров, равной 37,8 °C, при которой определяется давление P_t в условиях термодинамического равновесия. Вычисленная разность давлений $P = P_t - P_0$ является ДНП используемой пробы.

Технические характеристики АУИДНП

Режим работы АУИДНП: непрерывный

Диапазон измерения ДНП: 0...110 кПа с погрешностью при сличении со стандартными образцами не более 2 кПа

Рабочая температура измерения ДНП: программно задаваемая в диапазоне 20...50 °C

Объем пробы, мл: 10

Температура окружающего воздуха, °C: 10...40

Габаритные размеры, мм, не более:

$750 \times 700 \times 400$

Масса, кг, не более: 30

Основой АУИДНП является герметичная теплоизолированная измерительная камера, гидравлически соединенная с необходимыми узлами для

подачи и откачки нефтепродукта, промывочной жидкости, образцового вещества, а также для слива отработанных продуктов в дренажную систему. Камера оснащена электромагнитными клапанами, датчиками температуры и давления паров, а также термоэлектрическими элементами с датчиками для задания теплового режима. Камера установлена на шейкере, который обеспечивает перемешивание ее содержимого.

АУИДНП позволяет автоматически выполнять ряд технологических процессов, результатом которых является определение ДНП нефтепродукта. При этом выполняются следующие операции:

- производится дозирование пробы (нефти, нефтепродукта, стандартного образца) в измерительную камеру, охлажденную до начальной температуры;
- из содержимого камеры выполняется откачка воздушных фракций до наступления равновесного состояния давления P_0 , фиксируемого датчиком давления, после чего камера герметизируется;
- производится управляемый нагрев измерительной камеры, сопровождаемый перемешиванием содержимого, при этом измеряются значения (пары значений) температуры t° и давления P_1 насыщенных паров пробы;
- выполняется обработка измерительной информации, вычисленное значение ДНП P для температуры t° передается по интерфейсам в управляющую систему верхнего уровня;
- производится выравнивание давления в камере, затем выполняется слив отработанных продуктов в дренажную систему с последующей откачкой остаточных паровых фракций;
- в измерительную камеру дозируется промывочная жидкость, которая, циркулируя по замкнутому контуру измерительной камеры и гидравлической магистрали АУИДНП, растворяет остатки пробы, после чего жидкость сливается в дренажную систему;
- выполняется тепловая вакуумная сушка измерительной камеры и гидравлических магистралей, после чего АУИДНП готово к выполнению всех необходимых операций для определения характеристик ДНП следующей пробы. Структура АУИДНП представлена на рис. 1. На рисунке представлены следующие элементы:
- БУ – блок управления. Блок управления управляет технологическим процессом, прово-

дит измерения, обрабатывает измерительную информацию. БУ базируется на мощном 32-битном микропроцессоре с архитектурой ARM7 и обеспечивает связь с верхней системой по интерфейсу RS-485 с использованием протокола MODBUS;

- К1...К9 – вакуумные электромагнитные клапаны, управляющие гидравликой АУИДНП;
- НП – насос перистальтический, предназначенный для приема, слива и дозирования жидких продуктов;
- НВ – насос вакуумный, предназначенный для откачки воздуха и паровых компонентов нефтепродуктов;
- КИ – камера измерительная;
- ДД – датчик давления паров;
- ДТП – датчик температуры паров;
- ДТК – датчик температуры тела камеры;
- ДТР – датчики температуры радиаторов;
- МТЭ – модули термоэлектрические (на основе эффекта Пельтье), предназначенные для нагрева и охлаждения камеры;
- радиаторы с установленными на них вентиляторами, предназначенные для отвода в окружающую среду излишнего тепла.

Для подсоединения емкостей с продуктами к АУИДНП используются следующие гидравлические фитинги:

- ПЖ – подключение емкости с промывочной жидкостью;
- ОЖ – подключение емкости с образцовой жидкостью;
- НП – подключение емкости с нефтепродуктом;
- СП – подключение емкости для слива продуктов;
- КДСП – подключение воздушной компенсации давления емкостей ПЖ и СП;
- КДН – подключение воздушной компенсации давления емкости НП;
- ВП – выхлоп паров, подключается к емкости для слива продуктов.

Ниже рассматриваются (упрощенно) основные действия для определения ДНП нефтепродукта применительно к приведенной гидравлической схеме.

Прием пробы нефтепродукта

1. Проверяется герметичность КИ, для чего включается НВ, периодически открывается кла-

пан К2, при этом датчиком ДД контролируется давление в ИК в процессе откачки ее содержимого. После выполнения К2 закрывается и НВ отключается.

2. Охлаждение КИ до начальной температуры приема пробы и дальнейшая поддержка заданной температуры.

3. Прием нефтепродукта в байпасную цепь для обеспечения точности дозирования пробы. Открываются клапаны К8, К7, К2, К4. Включается НП на дозированный прием нефтепродукта, достаточного для заполнения клапана К1.

4. Открывается клапан К1 для подачи дозированного количества нефтепродукта в КИ. По окончании дозирования К1 закрывается. Объем дозы определяется скоростью работы НП, а также временем открытого состояния клапана К1. После этого НП отключается, все клапаны закрываются.

Вакуумирование воздушной смеси нефтепродукта

1. Обеспечивается поддержание заданной начальной температуры КИ.

2. Производится вакуумирование содержимого КИ. Для этого включается шейкер, обеспечи-

вающий покачивание КИ, НВ, клапан К2. Процесс вакуумирования идет до тех пор, пока скорость изменения давления (по датчику ДД) не станет ниже необходимого значения.

3. Для завершения процесса клапан К2 закрывается, тем самым обеспечивается герметизация КИ, НВ и шейкер отключаются.

Проведение измерений ДНП

1. Обеспечивается медленный нагрев КИ с заданной скоростью изменения температуры камеры и температуры паров.

2. При приближении температуры паров нефтепродукта по датчику ДТП к требуемой температуре измерения процесс нагрева КИ останавливается и запоминаются массивы пар точек давления ДНП по датчику давления ДД и температуры паров по датчику температуры паров ДТП.

3. Производится математическая обработка полученных результатов измерения, и вычисляется значение ДНП, точно соответствующее заданной температуре ДТП.

4. Нагрев КИ останавливается.

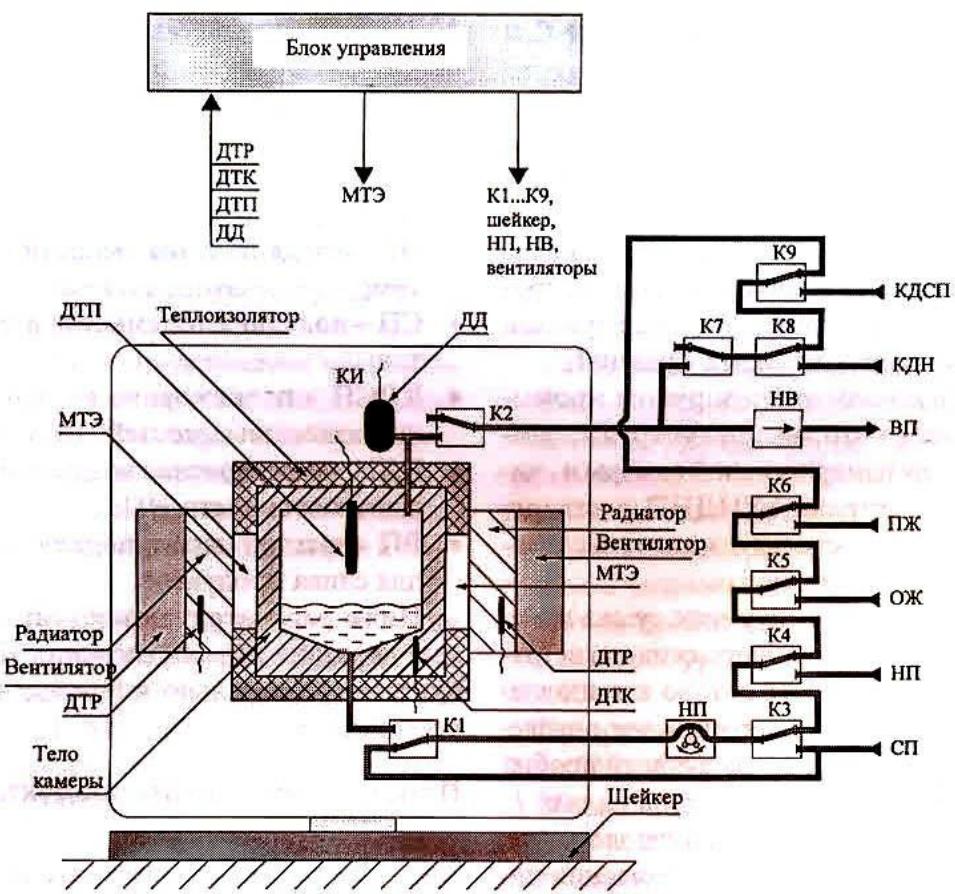


Рис. 1

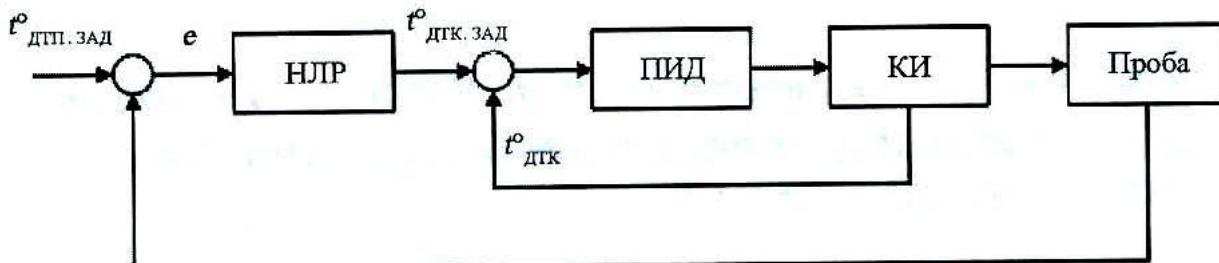


Рис. 2

Слив

Для обеспечения слива открываются клапаны К9, К7, К2, К1, К3, включается НП на слив и из измерительной камеры в сливную емкость удаляются продукты отработки.

Некоторой особенностью АУИДНП является организация поддержания температуры в измерительной камере. Необходимо поддерживать заданную температуру паров, но если осуществлять одноконтурное регулирование, то в силу большой инерционности КИ и ее содержимого это приводит к неоправданному росту времени выхода на заданную температуру. Чтобы ускорить этот процесс, применен двухконтурный регулятор, сочетающий классический ПИД-регулятор и регулятор на основе нечеткой логики (НЛР). Структура регулятора приведена на рис. 2.

Таблица 1

Результаты измерений ДНП АДНП-30

Номер опыта	1	2	3	4	5	6
Значение ДНП, кПа	34,3	34,7	33,9	33,7	34	33,9
Абсолютная погрешность, кПа	0,2	0,6	0,2	0,4	0,1	0,2

Принцип работы регулятора следующий:

- внутренний контур регулирования, построенный на основе ПИД-регулятора, обеспечивает поддержание заданной температуры измерительной камеры $t^o_{дтк. зад}$. ПИД-регулятор непосредственно управляет МТЭ, нагревающими/охлаждающими измерительную камеру. При этом дополнительно к стандартным коэффициентам ПИД-регулирования введены дополнительные ограничения на скорость нагрева и охлаждения измерительной камеры;
- внешний контур регулирования, построенный на основе НЛР-регулятора, обеспечивает поддержание заданной температуры паров $t^o_{дтп. зад}$. НЛР формирует значение темпе-

туры измерительной камеры $t^o_{дтк. зад}$, используемой ПИД-регулятором. НЛР работает с большим периодом, чем ПИД-регулятор.

Разработанный образец АУИДНП успешно прошел испытания с использованием стандартных образцов абсолютного давления насыщенных паров ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» и полностью подтвердил свои заявленные характеристики. Достигнута хорошая повторяемость измерений. Приведем для примера результаты нескольких опытов измерения ДНП образца АДНП-30 (гексан, образцовое значение ДНП 34,1 кПа).

Сейчас необходимо провести финальные испытания и конструктивное оформление устройства для использования его в составе системы измерения качества нефтепродуктов. На российском рынке практически отсутствуют автоматические устройства подобного класса, поэтому завершение работ по испытаниям АУИДНП и внедрение его в производство позволят существенно повысить уровень автоматизации измерения давления насыщенных паров нефтепродуктов на различных промышленных предприятиях.

Лев Самойлович Заславский,
канд. техн. наук,

генеральный директор,

Владислав Юрьевич Рыжик,

начальник сектора,

Андрей Александрович Слабнов,

начальник сектора,

Алексей Васильевич Саввин,

старший инженер,

ООО «Научно-производственное

предприятие «ПАРК-ЦЕНТР»,

Олег Сергеевич Витковский,

научный сотрудник,

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»,

г. Санкт-Петербург