

2. Колісник, О.П. Дослідження робочого процесу обробки бетонних виробів у пропарювальній камері з аеродинамічним нагрівачем роторного типу [Електронний ресурс] / О.П. Колісник, О.С. Жеболенко, І.В. Коц. – Режим доступу: [http://www.rusnauka.com/20\\_DNI\\_2013/Tecnic/3\\_142666.doc.htm](http://www.rusnauka.com/20_DNI_2013/Tecnic/3_142666.doc.htm).
3. Бибик, М.С. Об энергосберегающих режимах тепловой обработки бетонных и железобетонных изделий [Электронный ресурс] / М.С. Бибик, В.В. Бабицкий. – Режим доступа: <http://rep.bntu.by/handle/data/9119>.
4. Дербасова, Е.М. Анализ и выбор оптимального ИК-оборудования для тепловой обработки бетона в камере инфракрасного нагрева [Электронный ресурс] / Е.М. Дербасова. – Режим доступа: [http://www.aucu.ru/files/documents/44-redaktor/nauka/izdaniya/nauch\\_potensial/2/6-11.pdf](http://www.aucu.ru/files/documents/44-redaktor/nauka/izdaniya/nauch_potensial/2/6-11.pdf).
5. Экспериментальные исследования тепловлажностной обработки бетона продуктами сгорания природного газа / А.Д. Корнеев, В.Я. Губарев, Д.С. Синельников, В.Г. Соловьёв // Строительные материалы. – 2007. – № 1. – С. 30–31.
6. Кугаєвська, Т.С. Визначення інтенсивності нагрівання бетонної суміші у формувальному цеху в холодний період року / Т.С. Кугаєвська, Л.В. Бондар, Є.І. Пишненко // Науковий вісник будівництва. Випуск 3 (77). – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2014. – С.70–74.
7. Кугаєвська, Т.С. Визначення швидкості нагрівання надземних конструкцій, що огорожують пропарювальні камери періодичної дії / Т.С. Кугаєвська // Науковий вісник будівництва. Випуск 60. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2010. – С.119–123.
8. ДБН А.3.1-8-96. Проектування підприємств з виробництва залізобетонних виробів. – К.: Держбуд України, 1998. – 47 с.

УДК 697.7

**Болотских Н.Н.**

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры*

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФРАКРАСНЫХ ТРУБЧАТЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ ПУТЕМ ПОДАЧИ ПОДОГРЕТОГО ВОЗДУХА В ГОРЕЛКИ**

**Введение.** Для отопления помещений производственного, культурно-бытового, спортивного и другого назначения в мировой практике получают все более широкое применение децентрализованные инфракрасные системы. Эти системы в сравнении с известными традиционными являются более экономичными, обеспечивают необходимый тепловой комфорт в рабочих зонах отапливаемых помещений, надежны и удобны в эксплуатации. Рядом известных мировых фирм и компаний освоен выпуск различных эффективных инфракрасных нагревателей. Наиболее широкое распространение получили трубчатые газовые инфракрасные нагреватели. Многие из этих нагревателей несмотря на наличие ряда важных достоинств имеют один весьма существенный недостаток – наличие неоправданных потерь тепла при их работе.

Исследованиями [1] установлено, что в тепловых балансах трубчатых инфракрасных нагревателей при их работе доля лучистой составляющей находится в пределах примерно от 50 до 60%, а конвективной от 22 до 32%. Доля тепла, теряемого с отводимыми в атмосферу продуктами сгорания, колеблется в пределах от 6 до 9%. Трубчатые инфракрасные нагреватели обычно подвешиваются вверху под потолком помещения (на расстоянии примерно 1 м от него). Нагреваемый ими окружающий воздух поднимается вверх под кровлю и практически не участвует в обогреве рабочей зоны отапливаемого помещения. Это так называемое «конвективное тепло» бесполезно расходуется на обогрев кровли и верхней части ограждающих конструкций помещения. Кроме того, вместе с продуктами сгорания, отводимыми от трубчатых нагревателей в атмосферу,

бесполезно уходит часть тепла. Температура этих продуктов сгорания у различных трубчатых нагревателей неодинакова. Например, у нагревателей системы TRIATHERM, выпускаемых фирмой SOLARONICS (Франция), она поддерживается в пределах от 90 до 140°C. В некоторых же других конструкциях нагревателей температура продуктов сгорания на выходе может иметь и несколько большие значения. Исследования показывают, что суммарные потери конвективного тепла и тепла отводимых продуктов сгорания в различных конструкциях нагревателей могут колебаться в пределах от 28 до 41%. Из-за дефицита и дороговизны энергоресурсов, прежде всего газа, в нашей стране проблема снижения этих потерь тепла является весьма актуальной. Над ее решением в настоящее время трудятся ученые и инженерно-технические работники ряда институтов, фирм и компаний, выпускающих инфракрасные нагреватели. Ими установлено, что одним из способов повышения эффективности работы инфракрасных трубчатых нагревателей является улавливание конвективного тепла и тепла отводимых продуктов сгорания и использование его для подогрева воздуха, подаваемого в газовые горелки. Настоящая статья и посвящается описанию ряда конкретных решений данной проблемы.

**Цель и задачи.** Целью настоящего исследования является повышение тепловой эффективности инфракрасных трубчатых нагревателей путем подачи в их горелки воздуха, подогретого за счет использования части тепла отводимых продуктов сгорания и образующегося при их работе конвективного тепла, для снижения расходов газа на отопление помещений различного назначения в Украине.

**Результаты исследования.** Основными элементами инфракрасного трубчатого нагревателя являются: блок горелки, излучающий трубчатый контур, рефлектор, блок для отвода продуктов сгорания и приборы управления и безопасности. Забор воздуха для горения топлива в различ-

ных конструкциях нагревателей осуществляется как из внутренней, так и из внешней зон отапливаемых помещений. Для удаления продуктов сгорания топлива от нагревателей в атмосферу используются вентиляторы.

По конфигурации трубчатые инфракрасные нагреватели делятся на модульные короткие длиной до 25 м, блочные мультигорелочные и ленточные длиной до 350 м. Модульные нагреватели имеют линейный либо U-образный излучающий трубчатый контур. Ленточные нагреватели выпускаются: одно- и двухтрубными. На рис. 1, для примера, приведена схема устройства модульного трубчатого инфракрасного газового нагревателя с U-образной формой излучающего контура, выпускаемого фирмой ADRIAN в г. Банска Быстрица (Словакия) [2].

Из рассмотрения конструкции этого нагревателя видно, что для горения газа используется воздух, принудительно подаваемый в горелку непосредственно из внутренней зоны помещения с помощью вентилятора. Продукты сгорания отводятся от нагревателя также с помощью вентилятора. Таким образом, в рассматриваемой конструкции нагревателя не предусмотрено никаких дополнительных устройств для улавливания тепла уходящих продуктов сгорания и конвективного тепла, образующегося при его работе. Аналогичная ситуация имеет место и в ряде других конструкций нагревателей.

Доказано, что при подаче в газовую горелку подогретого воздуха повышается температура продуктов сгорания, поступающих в излучающий трубчатый контур, и, соответственно, растет лучистый КПД нагревателя. Под лучистым КПД инфракрасного нагревателя в данном случае понимается отношение переданного излучением тепла ( $Q_l$ ) ко всему внесенному в него теплу ( $Q$ ), т.е.

$$\eta_l = \frac{Q_l}{Q}, \%$$

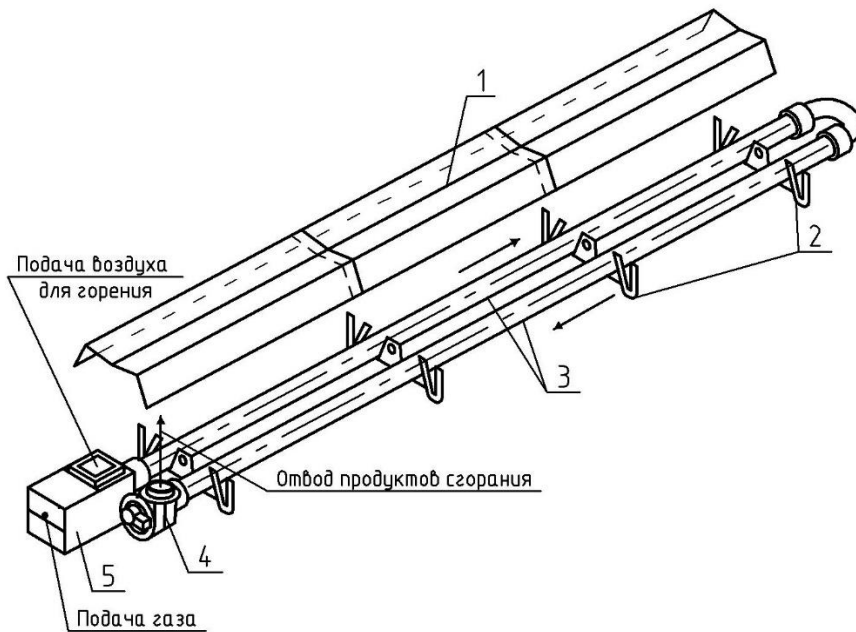


Рис. 1. Основные элементы конструкции газового инфракрасного трубчатого нагревателя ADRIAN-RAD типа «АА»: 1 – рефлектор; 2 – кронштейны для крепления труб; 3 – трубчатый излучающий контур; 4 – блок для отвода продуктов сгорания; 5 – блок газовой горелки.

Безусловно, у различных трубчатых инфракрасных нагревателей величина прироста  $\eta$  за счет подогрева подаваемого на горение воздуха неодинакова. Например, на инфракрасном нагревателе «Селект», выпускаемом КНПП «Энергокомплекс» (г. Днепропетровск), с излучающей трубой диаметром 150 мм экспериментально установлено [3], что с увеличением температуры подаваемого в горелку воздуха с 20 до 90°C лучистый КПД возрастает примерно на 5%. Можно утверждать, что у других, более совершенных конструкций трубчатых инфракрасных нагревателей, величина прироста  $\eta$  за счет подачи в горелки подогретого воздуха будет иметь большее значение.

Ниже приводятся примеры и предложения по использованию части тепла продуктов сгорания, отводимых от трубчатых инфракрасных нагревателей в атмосферу, и конвективного тепла, образующегося при их работе, для подогрева воздуха, подаваемого на горение в газовые горелки.

Компания SCHULTE (Германия) для отопления больших и высоких (более 6 м) помещений, а также помещений с большой тепловой нагрузкой, выпускает ленточные двухтрубные инфракрасные газовые нагреватели моделей ETASTAR

TURBO, MAXISTAR и MAXITEMP [4,5] с мощностями горелок от 18 до 160 кВт и длиной до 90,5 м. На рис. 2 приведена схема общего вида ленточного двухтрубного газового инфракрасного нагревателя ETASTAR TURBO 150 [6].

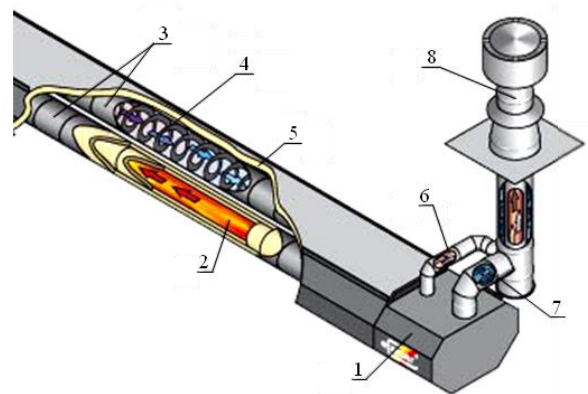


Рис. 2. Схема общего вида нагревателя: 1 – блок газовой горелки; 2 – факел; 3 – излучающие трубы; 4 – турбулизатор; 5 – рефлектор с внешней теплоизоляцией; 6 – воздухопровод для подвода к газовой горелке подогретого воздуха; 7 – воздухопровод для отвода продуктов сгорания; 8 – система удаления продуктов сгорания и рекуперации тепла LAS.

Принцип работы этого нагревателя заключается в следующем. В газогорелочном блоке происходит сгорание природного либо сжиженного газа. Образующиеся при этом продукты сгорания с помощью вентилятора непрерывно циркулируют внутри замкнутой двухтрубной излучающей ленты. За счет этого нагревается наружная поверхность излучающей трубы, которая с помощью инфракрасного излучения направляет тепло в рабочую зону отапливаемого помещения.

В конструкции обогревателя предусмотрена частичная рециркуляция продуктов сгорания. При этом часть продуктов сгорания, возвращаясь в газогорелочный блок, снова поступает в камеру сгорания, подогревается и смешивается с новыми продуктами сгорания, а остальная их часть, соответствующая объему поступивших для горения воздуха и топлива, выбрасывается через специальный патрубок в блок для удаления продуктов сгорания и отводится за пределы помещения.

Внутри начального участка теплоизлучающей трубы, в зоне действия факела пламени, размещены специальные керамические вставки, которые способствуют более равномерному распределению тепла. Внутри обратной ветви теплоизлучающей трубы, в концевой ее части, установлены специальные металлические профилированные элементы (турбулизаторы), которые обеспечивают дополнительное интенсивное перемешивание продуктов сгорания, что существенно улучшает теплообмен между ними и стальной трубой.

Все упомянутые выше нагреватели, в том числе и нагреватель ETASTAR TURBO 150, снабжены специальными блоками IAs (поз.8, рис. 2) для отвода продуктов сгорания за пределы отапливаемого помещения, подвода наружного воздуха к газовой горелке и рекуперации тепла.

Блок IAs [7] состоит из двух труб, изготовленных из нержавеющей стали и установленных концентрично друг друга. Удаление продуктов сгорания за пределы помещения происходит по внутренней

трубе, а подвод свежего наружного воздуха к горелке – через пространство, образованное между наружной поверхностью внутренней трубы и внутренней поверхностью наружной трубы. При этом продукты сгорания движутся вверх, а наружный воздух – вниз. При таком параллельном встречном движении потоков продуктов сгорания и наружного воздуха между ними происходит теплообмен. Свежий наружный воздух за счет остаточного тепла продуктов сгорания подогревается и уже после этого в подогретом состоянии поступает в газовую горелку.

При отоплении больших и высоких помещений, как правило, используется не один, а несколько ленточных инфракрасных нагревателей. Для уменьшения количества необходимых для монтажа отверстий в потолке помещения в два раза компанией schulte разработаны и выпускаются специальные системы IAs-Duplex [8] для удаления продуктов сгорания от двух одновременно работающих ленточных инфракрасных нагревателей. Система IAs-Duplex работает по такому же принципу, как и при одном нагревателе. Разница заключается в том, что при использовании системы IAs-Duplex можно обеспечивать удаление продуктов сгорания одновременно от двух нагревателей. При этом нагреватели работают независимо друг от друга. В данном случае в результате использования вторичного тепла уходящих продуктов сгорания на подогрев наружного воздуха, поступающего к горелкам, достигается повышение тепловой эффективности ленточных инфракрасных обогревателей.

Фирмой SOLARONICS в конструкциях нагревателей системы TRIATHERM также предусмотрен предварительный подогрев части объема воздуха, поступающего для горения газа, путем пропускания его через специальный фильтр перед горелкой [9].

Фирмой FRACCARO (Италия) в выпускаемых ленточных инфракрасных нагревателях типа GIRAD на трубопроводе, отводящем продукты сгорания в атмосферу, предусмотрено специальное устрой-

ство энергосбережения Eco Saving, которое позволяет изменять в автоматическом режиме сечение дымохода в зависимости от заданной в системе тепловой мощности. Это устройство позволяет иметь более высокий КПД при любой тепловой мощности горелки и оптимальную температуру на поверхности теплоизлучающих труб для получения наилучшей теплоотдачи. За счет использования этого устройства экономия газа достигает до 30% [10].

Харьковским национальным университетом строительства и архитектуры (ХНУСА) для улавливания конвективного тепла и направления его в горелку разработана схема нового инфракрасного трубчатого нагревателя [11], представленная на рис. 3.

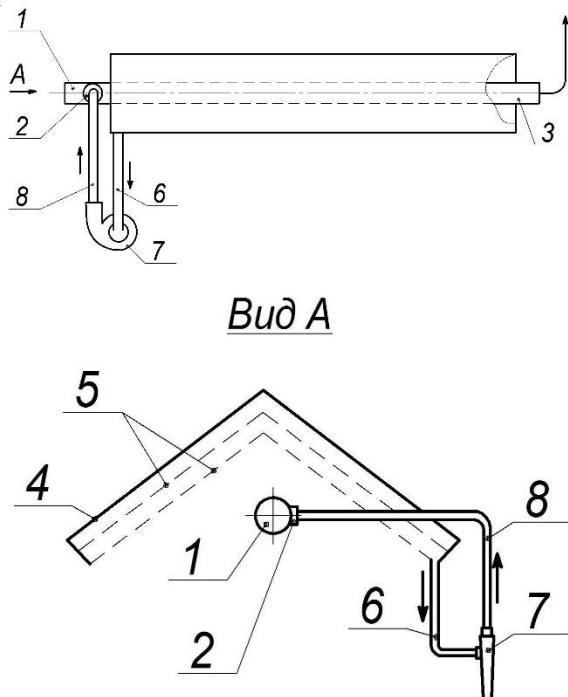


Рис. 3. Схема инфракрасного трубчатого нагревателя с подачей конвективно подогретого воздуха в газовую горелку:  
 1 – газовая горелка; 2 – патрубок газовой горелки; 3 – трубчатый линейный излучатель; 4 – сплошной наружный слой рефлектора; 5 – перфорированные внутренние слои рефлектора; 6 – трубопровод для соединения внутренних полостей рефлектора с вентилятором; 7 – вентилятор; 8 – трубопровод для соединения вентилятора с патрубком газовой горелки.

Согласно этой схеме однотрубный линейный излучатель оборудуется специальным трехслойным рефлектором. Верхний

слой (поз. 4, рис. 3) выполнен сплошным, а внутренние слои (поз. 5) – являются перфорированными. Эти два слоя имеют перфорацию, расположенную в шахматном порядке таким образом, чтобы сохранять «зеркало» поверхности и выполнять одновременно функцию рефлектора и аккумулятора конвективного тепла. Между перфорированными слоями образованы полости, которые с помощью специального воздухопровода (поз. 6) соединены с вентилятором (поз. 7).

Представленный нагреватель работает следующим образом. В газовой горелке сжигается топливо и высокотемпературные продукты сгорания поступают в трубчатый металлический излучатель, нагревая его до температуры 300–400°C.

Этот излучатель передает лучистым путем часть тепла в рабочую зону помещения. Инфракрасное же излучение, идущее от него вверх, отражается от перфорированных слоев рефлектора и также направляется в рабочую зону. Нагретый воздух (конвективное тепло), который образуется при этом, поступает через перфорации в двух внутренних слоях под третий сплошной слой рефлектора. В полостях между слоями рефлектора с помощью вентилятора поддерживается разрежение, за счет которого нагретый воздух засасывается и подается по воздухопроводу (поз. 8) к патрубку (поз. 2) газовой горелки (1). Таким образом, обеспечивается постоянная подача подогретого воздуха на горение топлива в газогорелочном блоке нагревателя. Такая конструкция нагревателя существенно сокращает потери конвективного тепла и позволяет за счет его использования повышать величину лучистого КПД нагревательного прибора.

Для повышения эффективности газовых трубчатых инфракрасных нагревателей за счет ограничения потерь тепла в прилегающие к ним зоны, повышения эффективности сжигания топлива в их газовых горелках, а также увеличения части лучистой энергии, используемой для обогрева рабочих зон отапливаемых помещений, в ХНУСА разработана и запатентована [12] схема нового линейного трубчатого газового инфракрасного нагревателя. В этом нагревателе установлен рефлектор

новой конструкции, состоящий из двух отдельных рефлекторов (нижнего и верхнего). Нижний рефлектор выполнен из двух Λ-подобных частей, которые контактируют с трубой излучателя, создавая при этом над ней продольный канал сечением, ограниченным верхним рефлектором. Этот канал с помощью воздухопровода подключен к вентилятору, который соединен с газовой горелкой. При работе такого нагревателя обеспечивается улавливание и использование конвективного тепла для подогрева воздуха, подаваемого в газовую горелку, с целью повышения эффективности сжигания топлива и повышения значений лучистого КПД [13].

Приведенные выше решения убедительно доказывают возможность и целесообразность улавливания части тепла удаляемых в атмосферу продуктов сгорания топлива и образующегося конвективного тепла, а также использования его для подогрева воздуха, подаваемого на горение топлива в газовую горелку, с целью повышения лучистого КПД нагревателя, а, следовательно, для снижения расхода газа на отопление.

Выводы. 1. Выпускаемые ведущими мировыми компаниями и фирмами трубчатые инфракрасные нагреватели, несмотря на совершенство их конструкций, высокую надежность и возможность создания необходимого теплового комфорта в рабочих зонах помещений с большими площадями и высотами, необходимо совершенствовать и далее в направлении максимального снижения тепловых потерь и уменьшения расходов газа при их работе.

Одним из направлений дальнейшего повышения эффективности трубчатых инфракрасных нагревателей является подача в газовые горелки воздуха, подогретого за счет использования части тепла отводимых от них продуктов сгорания, и конвективного тепла, образующегося при их работе.

Способ улавливания воздуха, нагретого конвективным путем, и направления его в газовые горелки трубчатых инфракрасных нагревателей, разработанный в ХНУСА [11], является перспективным для

дальнейшего повышения тепловой эффективности нагревательных приборов и сокращения расходуемых энергоресурсов на отопление помещений.

Предложенный и запатентованный ХНУСА [12] новый инфракрасный газовый трубчатый нагреватель является энергоэффективным. Создание и широкое промышленное освоение такого нагревателя позволит существенно снизить расходы газа на отопление помещений различного назначения.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Болотских Н.Н. Повышение эффективности инфракрасных газовых нагревателей, используемых для зонального отопления. //Науковий вісник будівництва. Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, вип. 3, 2014. – с. 116-120.
2. Темный газовый обогреватель инфракрасного излучения. Техническое описание. – Словакия, Банска Быстрица: ADRIAN, 2006. – 29 с.
3. Шаптала Д.Е. Підвищення ефективності трубчастих газових нагрівачів для промислового опалення та підігріву припливного повітря. Автореферат канд. дис. – Х.: ХНУБА, 2013. – 19 с.
4. Hochleistung-strahler für besonders hohe und große Hallen. [Электронный ресурс]. Deutschland, Ellrich: SCHULTE GmbH. Режим доступа: <http://www.schulte-gmbh.com/endkunde.produkte.esrm.php>, 2013, - 3с.
5. Ringsystem für hohen Wärmedarf und großflächige Hallen. [Электронный ресурс]. Deutschland, Ellrich: SCHULTE GmbH. Режим доступа: <http://www.schulte-gmbh.com/endkunde.produkte.est-r.php>, 2013, - 2с.
6. Hallenheizsysteme: Hallenheizung mit Dunkelstrahler etastar turbo 150. Kompakte Bauform bei höheren Leistungswerten. [Электронный ресурс]. Deutschland, Ellrich: SCHULTE GmbH. Режим доступа: [http://www.schulte-gmbh.com/planer.produkte.est\\_150.php](http://www.schulte-gmbh.com/planer.produkte.est_150.php), 2013. - 2 с.
7. Wskazówki dotyczące bezpieczeństwa, Instrukcja montażu i obsługi Promiennik rurowy Schulte- etastar typ EST 200, EST 150 i ES 150. Schulte-Technika Grzewcza Sp. z.o.o, ul. Dabrowskiego, 291/4, 60-406 Poznan, 2013, – 33 с.
8. Instrukcja montażu systemu spalinowego. [Электронный ресурс]. Poznań: SCHULTE.

- Режим доступа: <http://www.schulte-Technika-Grzewcza-sp.z.o.o.>, 2013, - 11 с.
9. Отопление промышленных, торговых и сервисных помещений большой кубатуры. Пособие по проектированию газовых излучателей и калориферов. – Ужгород: Ленко-Украина, 2006. – 28 с.
  10. Система лучистого отопления промышленных площадей. Теплоизлучающая лента GIRAD. Новое поколение. [Электронный ресурс]. Италия: FRACCARO. Режим доступа: <http://www.fraccaro.it>, 2011, – 7 с.
  11. Патент України на корисну модель № 81507 МПК, F23D 14/12, F24D 10/00, F24D 15/00. «Пристрій для променевого опалювання» від 10.07.2013//Болотських М.М. та інші. Бюл. № 13, 10.07.2013.
  12. Патент України на винахід № 101445, М. кл. F23D 14/12, F24D 15/00, F24D 19/00. «Пристрій для променевого опалювання» від 25.03.2013//Болотських М.М. та інші. Бюл. № 6, 25.03.2013.
  13. Болотских Н.Н. Повышение эффективности инфракрасных трубчатых газовых обогревателей. //Науковий вісник будівництва. Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, вип. 73, 2013. – с. 272-281.

УДК 622.691.4

**Братах М.І., Скрильник К.Ю., Алкалі Абба Алі.**

*Український науково-дослідний інститут природних газів УкрНДІгаз  
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»*

### **КОНЦЕПЦІЯ РЕАЛІЗАЦІЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РУХУ БАГАТОФАЗОВОГО СЕРЕДОВИЩА В ТРУБОПРОВОДІ**

Об'єктом дослідження є система конденсатопроводів, що перекачує суміш газового конденсату, слідів нафти, води, слідів інгібіторів, технічної води, газу (багатофазове середовище, в якому виділяються дві основні окремі фази: рідина і газ). Специфіка об'єкту дослідження полягає в тому, що система рельєфних трубопроводів працює з неповним завантаженням, що обумовлює ламінарний рух течії газорідинного потоку і тенденцію до розшарування складових. Відповідно до проведених попередніх досліджень, газ, як більш легка складова суміші, займає перевальні точки рельєфних трубопроводів, формуючи в них газові мішки, об'єм яких змінюється відповідно до зміни робочого тиску в трубопроводі (описується рівнянням стану газу).

Отже актуальність роботи зумовлює неповне завантаження трубопроводу і нестабільність подачі продукту на вхід трубопроводу, а також наявність газових мішків в перевальних точках, які (мішки) постійно стискаються або розширюються від-

повідно до зміни робочого тиску, ускладнює процес контролю несанкціонованих відборів продукції, особливо у випадках незначних за об'ємом і непостійних в часі. Скоротивши час реагування на початок несанкціонованого відбору, можна зменшити його обсяг і тривалість в часі.

Експлуатація системи конденсатопроводів ГПУ «Полтавагазвидобування» визначається чотирма основними аспектами:

- трубопроводи перекачують багатофазові (але щонайменше газорідинні) потоки, рух яких має описуватись як рівняннями руху газової складової, так і ньютонівської рідини (принцип викладено в ВСН 53-1-81 [1]);

- трубопроводи є рельєфними, такими, що складаються із низхідних, висхідних, понижених та перевальних ділянок, на кожній з яких рух багатофазової суміші може бути: розшарованим, пробковим (в окремих випадках – хвильовим) або квадратичним (турбулентним) (принцип викладено в ВСН-53-1-81 та інструкції з гід-