

УДК 697.7

Н. Н. БОЛОТСКИХ, канд. техн. наук, доцент

Н. С. БОЛОТСКИХ, д-р техн. наук, профессор

А. С. СОРОКОТЯГА, канд. техн. наук, доцент

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, г. Харьков

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГАЗОВЫХ ИНФРАКРАСНЫХ ТРУБЧАТЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ

Описаны новые предложения по совершенствованию конструкций и повышению эффективности работы газовых инфракрасных трубчатых нагревателей.

**Ключевые слова:** инфракрасное отопление, трубчатые нагреватели, горелка.

Описано нові пропозиції з вдосконалення конструкцій та підвищення ефективності роботи газових інфрачервоних трубчастих нагрівачів.

**Ключові слова:** інфрачервоне опалення, трубчасті нагрівачі, пальник.

### Введение

В последние годы для отопления помещений производственного назначения вместо конвективного способа все чаще стали применять инфракрасный. За счет этого достигается сокращение расходов топлива в пределах от 30 до 60 %. Кроме того, при этом улучшается комфорт в рабочей зоне этих помещений. Многолетний мировой опыт доказал, что для отопления зданий и отдельных помещений крупных объемов, имеющих большие внутренние площади и высокие потолки, недостаточную либо плохую теплоизоляцию и сложную конфигурацию (цеха крупных производственных предприятий, складские помещения, логистические терминалы, ангары, депо и др.), безальтернативным является применение инфракрасного способа.

Многими крупными мировыми компаниями и фирмами освоен выпуск значительного количества различных типов, конфигураций и моделей энергоэффективных инфракрасных нагревательных приборов и систем. Многие из них имеют достаточно совершенную конструкцию и высокий тепловой КПД. Но, несмотря на все это, в условиях постоянного роста цен на энергоресурсы, а также возрастающего их дефицита, крайне необходимо продолжать научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы по их дальнейшему совершенствованию и повышению эффективности. Следует всегда помнить то, что на отопление больших помещений расходуются, соответственно, и немалые объемы газа. И поэтому весьма актуальной является сегодня проблема снижения этих расходов газа. В настоящей статье ниже описывается ряд предложений, направленных на решение этой проблемы.

### Цель исследования

Целью настоящего исследования является повышение эффективности работы газовых инфракрасных трубчатых нагревателей и снижение расходов газа на отопление производственных помещений в Украине.

### Основные результаты

Проведенный в Харьковском национальном университете строительства и архитектуры (ХНУСА) глубокий анализ всех выпускаемых в настоящее время инфракрасных нагревателей позволил составить их классификацию в виде, представленном на рис. 1.

Из всего приведенного на этом рисунке многообразия инфракрасных нагревательных приборов наибольшую группу представляют закрытые газовые нагреватели, особенно модульные короткие и блочные мультигорелочные. С их помощью в настоящее время в мире отапливается значительное количество больших помещений производственного назначения.



Рис.1. Классификация инфракрасных нагревателей

Выпуск этих нагревателей осуществляется рядом крупных мировых компаний и фирм, в частности: ROBERTS GORDON и DETPOIT RADIANT PRODUCTS (США), FRACCARO и CARLIEUKLIMA (Италия), SOLARONICS (Франция), GOGAS и SCHULTE (Германия), PAKOLE (Венгрия), ADRIAN (Словакия) и др.

В конструкциях выпускаемых ими коротких модульных и блочных мультигорелочных нагревателей предусмотрены в качестве основных узлов: излучающие трубы, изготовленные из термо-каррозионностойких сталей с наружными покрытиями, рефлекторы различных конструкций, изготовленные из нержавеющей сталей либо из алюминиевых сплавов, а также одноструйные (однофакельные) газовые горелки различных типов. На рис.2, для примера, приведена схема короткого трубчатого инфракрасного нагревателя ADRIAN-RAD (Словакия), укомплектованного одноструйной газовой горелкой Вентури с принудительной подачей воздуха.

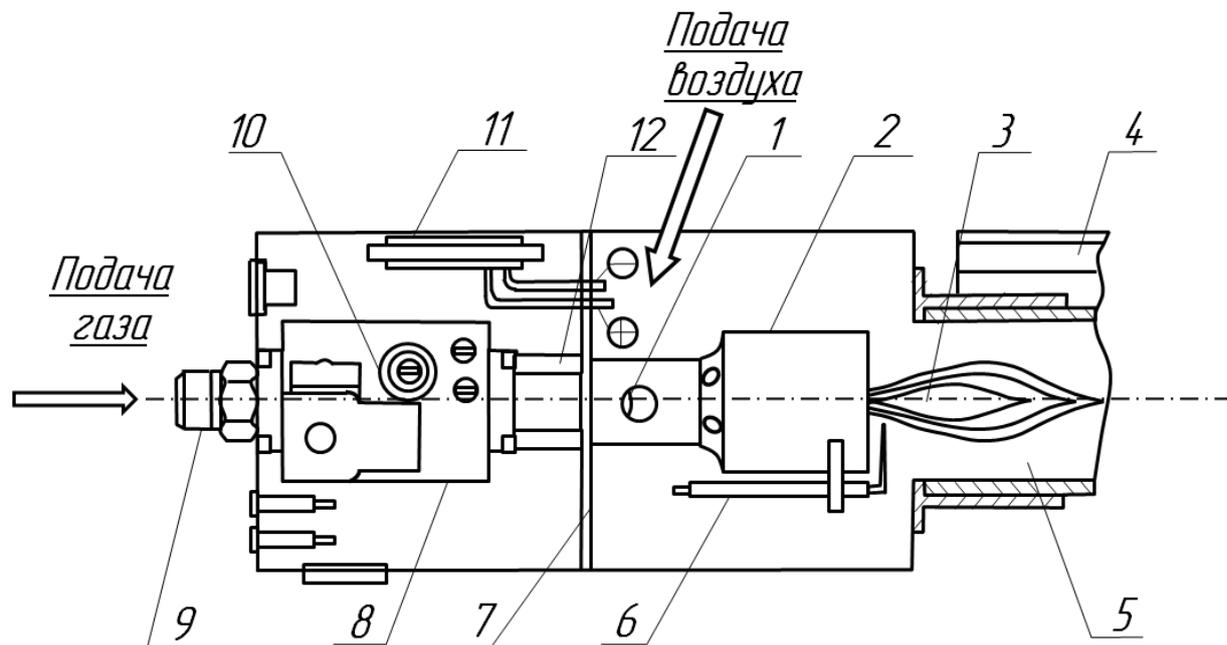


Рис. 2. Схема трубчатого газового инфракрасного нагревателя ADRIAN-RAD:  
 1 – форсунка; 2 – трубка Вентури; 3 – факел пламени; 4 – рефлектор; 5 – излучающая труба; 6 – электрод поджига и ионизации; 7 – разделяющая перегородка; 8 – газовый блок; 9 – вкладыш для подвода газа; 10 – управляющая автоматика; 11 – дифференциальный прессостат; 12 – редуктор форсунки

В газогорелочном блоке этого нагревателя имеется прессостат разницы давления, двойной электромагнитный клапан, атмосферная одноструйная горелка с принудительным подводом воздуха, электрод поджига и ионизации и приборы автоматического управления.

Инфракрасные трубчатые нагреватели такого типа надежны в работе. Они в большинстве случаев позволяют обеспечивать комфортные тепловые условия в рабочих зонах отапливаемых больших по размерам помещений. Вместе с тем эти нагреватели имеют следующий недостаток. Он заключается в том, что используемые в их конструкции рефлекторы, располагаемые над излучающими трубами, имеют недостаточные площади отражающих поверхностей. Вследствие этого образующиеся при их работе конвективные потоки воздуха, огибая поверхности рефлектора по его краям, поднимаются в верхнюю зону помещения. Это конвективное тепло практически не участвует в обогреве рабочей зоны помещения и бесполезно нагревает ее верхние ограждающие конструкции (кровля, верхняя часть стен), увеличивая при этом общие теплопотери. По этой причине даже наиболее совершенные конструкции инфракрасных трубчатых нагревателей в конечном итоге за счет прямого излучения и отражения обеспечивают лучистую составляющую только в пределах не более 75–85 %.

Как показали проведенные в ХНУСА исследования, потери упомянутого выше конвективного тепла можно снизить за счет организованного забора нагретого воздуха от нагревательного прибора и направления его в рабочую зону отапливаемого помещения. С этой целью в ХНУСА разработана схема нового газового инфракрасного трубчатого нагревателя [3], представленная на рис.3.

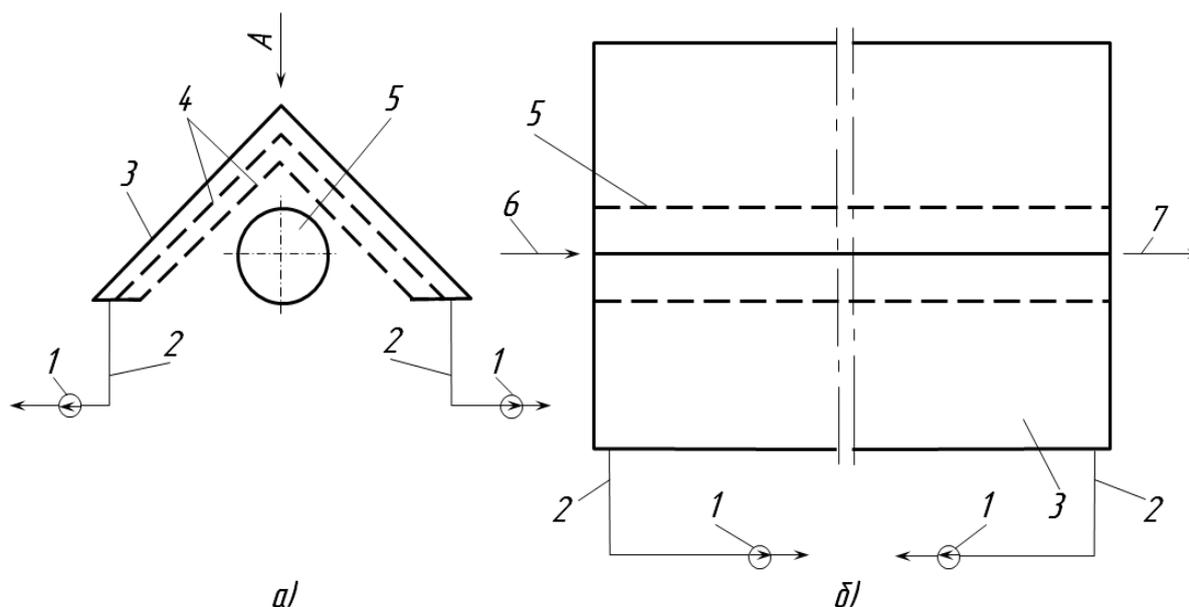


Рис. 3. Принципиальная схема нового газового инфракрасного трубчатого нагревателя:  
 а – поперечный разрез; б – вид по стрелке А (повернуто); 1 – вентиляторы;  
 2 – воздуховоды; 3 – сплошной слой зонта; 4 – два слоя зонта с перфорацией;  
 5 – трубчатый излучатель; 6 – газовая одноструйная горелка;  
 7 – отвод продуктов сгорания

Конструкция этого газового инфракрасного нагревателя позволяет осуществлять аккумуляцию и рациональное использование конвективного тепла, образующегося при его работе. Это достигается за счет применения специального рефлектора, выполненного в виде трехслойного зонта, а также одного либо нескольких канальных вентиляторов. Первый (верхний) слой зонта изготавливается из сплошного металла с наружной теплоизоляцией, а каждый последующий второй и третий – с перфорацией. Эти два слоя имеют перфорацию в шахматном порядке таким образом, чтобы сохранить «зеркало» поверхности и выполнить одновременно функцию рефлектора и аккумулятора конвективного тепла.

Предложенный нагреватель работает следующим образом. В газовой горелке сжигается газообразное топливо и высокотемпературные продукты сгорания поступают в трубчатый металлический излучатель, нагревая его до температуры 300–400 °С. Этот излучатель передает лучистым путем часть тепла в рабочую зону помещения. Инфракрасное же излучение, идущее от него в вверх, отражается от перфорированных слоев зонта и также направляется в зону обогрева. Нагретый воздух (конвективное тепло), который образуется при этом, поступает через перфорации в двух нижних слоях под третий сплошной слой зонта. Полости между слоями зонта с помощью воздухопроводов, подключенных к нему в верхней либо нижней частях, соединяются с канальными вентиляторами, создающими в них разрежение. За счет этого разрежения нагретый воздух засасывается в трубопроводы и по ним подается в рабочую зону помещения. Кроме того, описанная конструкция рефлектора позволяет за счет изменения угла наклона его отражающих поверхностей увеличивать либо уменьшать размеры обогреваемых площадей одним трубчатым нагревателем.

За счет подачи конвективного тепла (нагретого воздуха) в рабочую зону помещения можно сокращать количество нагревателей и при этом обеспечивать комфортный тепловой режим. За счет этого в конечном итоге можно снижать общие теплопотери и существенно повышать энергетическую эффективность системы инфракрасного отопления.

Опыт эксплуатации выпускаемых в настоящее время трубчатых инфракрасных нагревателей с одноструйными (однофакельными) газовыми горелками (рис. 2) показал, что

при их работе не полностью используется топливо (85–88 %). Это происходит по следующей причине. На выходе из насадка одноструйной газовой горелки создается сплошной струйный поток газа, движущийся с большой скоростью. При этом в камере смешения горелки перемешивание его с воздухом, поступаемым с невысокой скоростью для горения, происходит не достаточно эффективно. Образующаяся неоднородная газозвудушная смесь, двигаясь вдоль оси нагревателя, зажигается в горелке и это горение затем продолжается внутри излучающей трубы на ее первоначальном участке длиной 1-2м. При этом в результате некачественного перемешивания газозвудушной смеси образуются зоны неполного сгорания газа, что в конечном итоге снижает тепловую эффективность нагревателя.

Как показали проведенные в ХНУСА исследования, усовершенствование процесса сжигания газа в инфракрасных трубчатых нагревателях возможно за счет использования полиструйных горелок специальной конструкции и подачи вторичного воздуха в излучающую трубу. На рис. 4 представлена схема такого трубчатого инфракрасного газового нагревателя [4].

Газовая горелка этого нагревателя включает в себя более одного (четыре) одноструйного инжектора. Каждый из них состоит из насадка, конфузора, камеры смешения и диффузора, расположенных на одной оси. Их оси наклонены к оси излучающей трубы под углом  $\alpha = 0 \dots 30^\circ$  и перекрещиваются с ней под углом  $\beta = 0 \div 15^\circ$ . Через канал 9 (рис. 4) к инжекторам предусмотрен подвод первичного воздуха. Кроме того, дополнительно через специальные каналы (радиальный 11 и осевой 12) в начальный участок излучающей трубы 1 предусмотрено поступление вторичного воздуха.

Предложенный газовый полиструйный трубчатый инфракрасный нагреватель работает следующим образом. Газ, подведенный к нагревателю, распределяется между четырьмя инжекторами и за счет этого в них образуются четыре отдельные газовые струи. Каждый из инжекторов подсасывает через канал первичный воздух. При этом происходит более эффективное смешивание газа и первичного воздуха в сравнении с одноструйными инжекторными горелками. Из инжекторов газозвудушная смесь поступает потоками в излучающую трубу, где начинается её сгорание. Эффективность начального сгорания смеси в этом случае повышается за счет лучшего смешивания газа с первичным воздухом в полиструйной горелке и распределенного расположения струй по сечению трубы излучателя. Размещение инжекторов в полиструйной горелке под углом к оси нагревателя способствует направлению струй газозвудушной смеси к центру сечения излучающей трубы и их закручиванию. Кроме того, поступающий в излучающую трубу дополнительно вторичный воздух способствует интенсивной принудительной турбулизации потоков сгорающей газозвудушной смеси. За счет этого обеспечивается высокая эффективность её перемешивания, что способствует более полному сгоранию топлива.

За счет регулирования подачи общего количества вторичного воздуха может быть достигнута большая равномерность нагревания излучающей трубы на её первоначальном участке, а также обеспечена заданная температура отработанных газов при выходе их из нагревателя. Совокупность описанных выше достоинств предложенной схемы нового инфракрасного нагревателя позволяет утверждать то, что за счет использования полиструйных газовых горелок может быть повышена эффективность работы инфракрасных трубчатых нагревательных приборов и систем и существенно снижены расходы газа на отопление помещений.

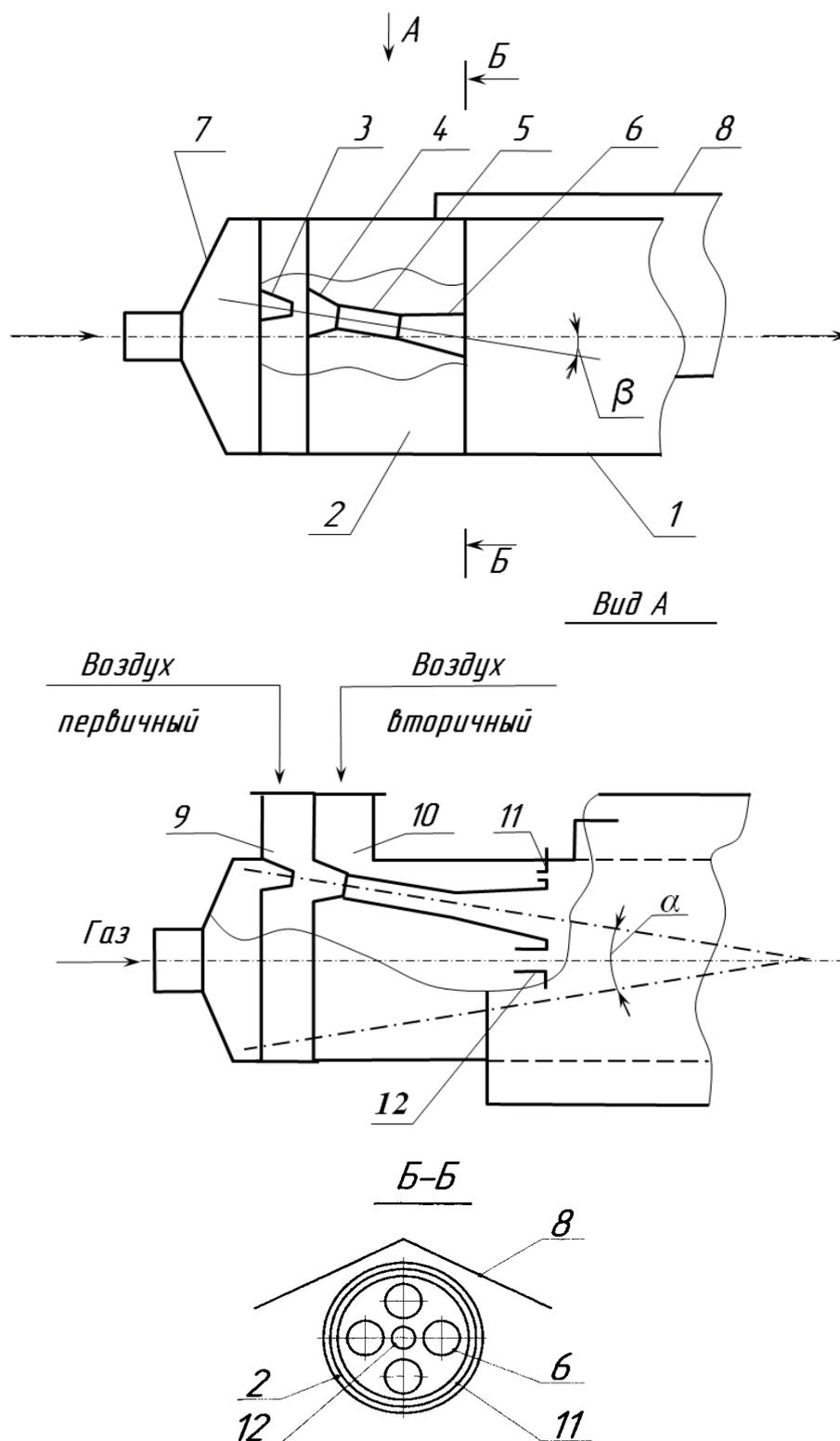


Рис. 4. Схема трубчатого инфракрасного нагревателя с полиструйной газовой горелкой:  
 1 – излучающая труба; 2 – газовый блок; 3 – насадок; 4 – конфузор; 5 – камера смешения;  
 6 – диффузор; 7 – камера с патрубком для подвода газа; 8 – рефлектор;  
 9 – канал для подвода первичного воздуха; 10 – канал для подвода вторичного воздуха;  
 11 – радиальный канал для подвода вторичного воздуха; 12 – осевой канал для подвода вторичного воздуха

### Выводы

1. Выпускаемые ведущими мировыми компаниями и фирмами короткие модульные и блочные мультигорелочные газовые трубчатые инфракрасные нагреватели совершенны по конструкции, надежны в работе, имеют достаточно высокий тепловой КПД, обеспечивают необходимый тепловой комфорт в рабочих зонах отапливаемых производственных помещений больших размеров. Их применение взамен конвективных систем отопления позволяет сокращать расход газа на 30–60 %.

2. В условиях постоянного роста цен на энергоресурсы, а также возрастающего их дефицита, несмотря на достигнутые высокие эксплуатационные качества модульных и блочных мультигорелочных инфракрасных газовых нагревателей, проблема их дальнейшего совершенствования остаётся весьма актуальной. Необходимо искать пути дальнейшего повышения их энергоэффективности и снижения расходов газа на инфракрасное отопление помещений.

3. Снижение расходов газа на инфракрасное отопление может быть достигнуто за счет применения трубчатых нагревателей (рис. 3), оснащенных рефлекторами, выполненными в виде многослойных зонтов, и канальными вентиляторами. Такие рефлекторы позволяют улавливать конвективные потоки тепла, образующиеся при работе нагревателей, и с помощью вентиляторов направлять их в рабочую зону отапливаемого помещения. За счет применения таких конструкций нагревателей можно повысить энергетическую эффективность системы инфракрасного отопления на 25–30 %.

4. Эффективность систем инфракрасного газового отопления производственных помещений может быть повышена за счет использования полиструйных трубчатых нагревателей, выполненных по схеме, предложенной на рис. 4. При их работе существенно повышается эффективность смешения газа и воздуха, обеспечивается полное сжигание топлива, а отработанные дымовые газы имеют наилучшие стехиометрические характеристики. Показатели выбросов в атмосферу CO, CO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub> с их применением могут быть значительно снижены, что очень важно с экологической точки зрения. Обеспечение полного сжигания топлива в нагревателях позволит существенно повысить их тепловую эффективность и снизить расход газа на отопление.

### Список литературы

1. Болотских Н. Н. Инфракрасное отопление производственных помещений / Н. Н. Болотских // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – Белгород: Изд – во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2011. – № 4. – С. 27–32.
2. Темный газовый обогреватель инфракрасного излучения. Техническое описание. «ADRIAN», г. Банска Быстрица, Словакия, 2006. – 29 с.
3. Редько А. О., Болотських М. М. Пристрій для променевого опалювання. Патент України на винахід № 87028 від 10.06 2009 р., 4 с.
4. Болотських М. М., Болотських М. С., Сорочотяга О. С. Газовий поліструменевий радіаційний трубчастий нагрівач для опалення приміщень. Патент України на винахід № 100162 від 26.11 2012р., 4 с.

### IMPROVING EFFICIENCY OF THE GAS INFRARED TUBE HEATERS

N. N. BOLOTSKIH, Candidate of Technical Sciences, Docent  
 N. S. BOLOTSKIH, Doctor of Technical Sciences, Professor  
 A. S. SOROKOTYAGA, Candidate of Technical Sciences, Docent

*Described new proposals for improving construction and performance of the gas infrared tube heaters.*

Поступила в редакцию 24.01 2013 г.