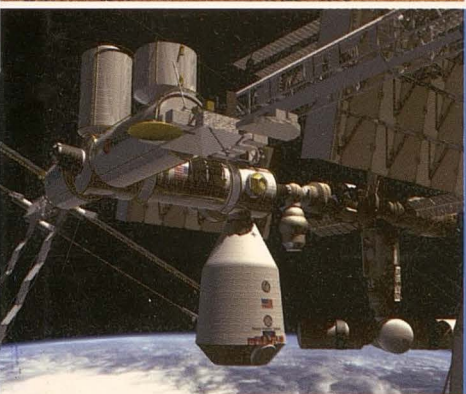


Алматы энергетика және  
байланыс университетінің  
**ХАБАРШЫСЫ**



**ВЕСТНИК**  
Алматинского университета  
энергетики и связи

**4**

**2015**

*С новым годом!*



А.М. Достияров<sup>1</sup>, М.Е. Туманов<sup>2</sup>, Д.Р. Умышев<sup>2</sup><sup>1</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г.Астана<sup>2</sup>Алматинский университет энергетики и связи, г.Алматы

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ УГЛА УСТАНОВКИ ЗАКРУЧИВАЮЩИХ ЛОПАТОК НА ПРОЦЕСС ГОРЕНИЯ В МИКРОФАКЕЛЬНОЙ ГОРЕЛКЕ

*В статье рассматриваются вопросы влияния угла установки закручивающих лопаток на процесс горения. В статье приведены контуры температур, скоростей, а также данные об образующихся рециркуляционных зонах, имеющих большое влияние на процесс горения.*

**Ключевые слова:** газовая горелка, микрофакел, закрутка, рециркуляционная зона, контуры температур.

### Введение

С конца 20-го столетия, количество установленных ГТУ начало резко увеличиваться, так в 1999 г. 49 % всех заказов пришлось на газовые турбины. Увеличение доли энергоблоков ГТУ/ПГУ в конце 90-х связано с либерализацией энергетического рынка, что усилило значение таких факторов, как сроки сооружения энергоустановок, сравнительно низкая удельная стоимость и сравнительно высокий КПД. В транспорте газа также назрела необходимость значительного увеличения устанавливаемых мощностей, так как существующий парк ГТУ во многом физически и морально устарел [1-5].

Особо выделяющейся стороной газовых турбин является их способность удовлетворять непрерывно возрастающим требованиям по охране окружающей среды от загрязняющего воздействия. Поэтому в настоящее время одной из главных проблем является создание малотоксичных камер сгорания, которые наряду с низкими выбросами вредных веществ (оксидов азота, продуктов неполного горения) в широком диапазоне изменения режимных параметров ГТУ должны иметь высокие экономические и эксплуатационные показатели.

Особым интересом у научного сообщества пользуется разработка топливосжигающих устройств, способных функционировать в максимально возможных нагрузках, обладающих высокой надежностью и имеющих относительно низкие показатели выбросов вредных веществ при горении.

В России и Казахстане предельно-допустимые выбросы (ПДВ) оксидов азота с отработавшими газами ГТУ и ПГУ значения концентрации оксидов азота при ее работе с нагрузкой от 0,5 до 1,0 номинальной не должны

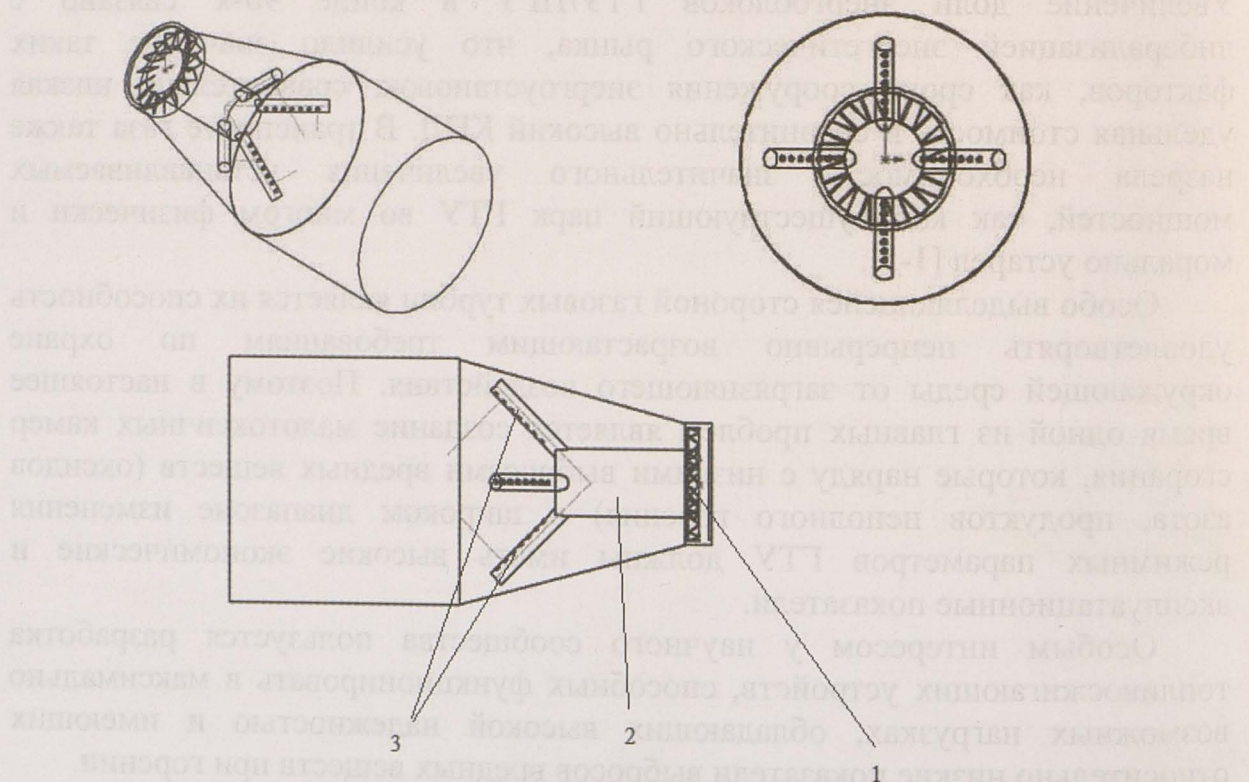
превышать  $150 \text{ мг/м}^3$  на газообразном топливе ( $\text{O}_2=15\%$ ), а для вновь возводимых ГТУ –  $50 \text{ мг/м}^3$  на газообразном и  $100 \text{ мг/м}^3$  на жидком. Несмотря на менее жесткие требования в отношении токсичности в Казахстане значительное количество работающих ГТУ не выполняют установленных требований. Для выполнения требований ПДВ необходима модернизация существующих камер сгорания с целью значительного снижения выбросов токсичных компонентов.

Исходя из вышесказанного, авторами была разработана конструкция горелки, работающей на принципе микрофакельного сжигания, способной обеспечить требования по снижению вредных веществ.

### 1. Конструкция горелки

На рисунке 1 представлена конструкция газовой микрофакельной горелки. Принцип работы горелки следующий: воздух из компрессора поступает в полость горелки, проходя через лопатки для закручивания потока 1, тем самым получая закрутки. Газ поступает в трубу для подачи газа 2, после чего разделяется по раздающим патрубками, на которых установлены сопла для раздачи газа.

Как и любое другое инженерное решение, газовая горелка требует доводки, определения слабых зон. Одной из важных задач является определение влияния закрутки на процесс горения и образования вредных веществ, в частности оксидов азота.



1 – лопатки для закручивания потока, 2 - труба для подачи топлива, 3 – раздающие патрубки с соплами.  
Рисунок 1 - Общий вид микрофакельной горелки

Каждое раздающее сопло содержит 7 сопел диаметром 2 мм, расположенных в длину раздающего патрубка. Для упрощения расчета количество раздающих патрубков было выбрано 4 штуки, хотя патент предполагает установки большего количества.

## 2. Начальные и граничные условия

Для расчета горелки использовались начальные условия, представленные в таблице 1. Расход топлива задавался как общий для всех сопел.

Таблица 1 - Начальные условия

Параметр	Единица измерения	Величина
Количество ячеек тела	-	500000
Начальная температура топлива	К	300
Начальная температура воздуха	К	450
Скорость подаваемого воздуха	м/с	15
Расход топлива	кг/с	0,02

**Граничные условия.** Граничные условия на входе воздуха задавались температурой и скоростью течения. Граничные условия на входе топлива задавались массовым расходом и температурой. Стенки как твердые тела. А выход задавался давлением (pressure outlet).

## Результаты и анализ.

В ходе численного моделирования процесса диффузионного горения в микрофакельной газовой горелке были получены контуры температур, скоростей, концентраций топлива и оксидов азота.

**Температура.** В результате расчетов были получены контуры температур при различных углах установки лопаток для закручивания потока.

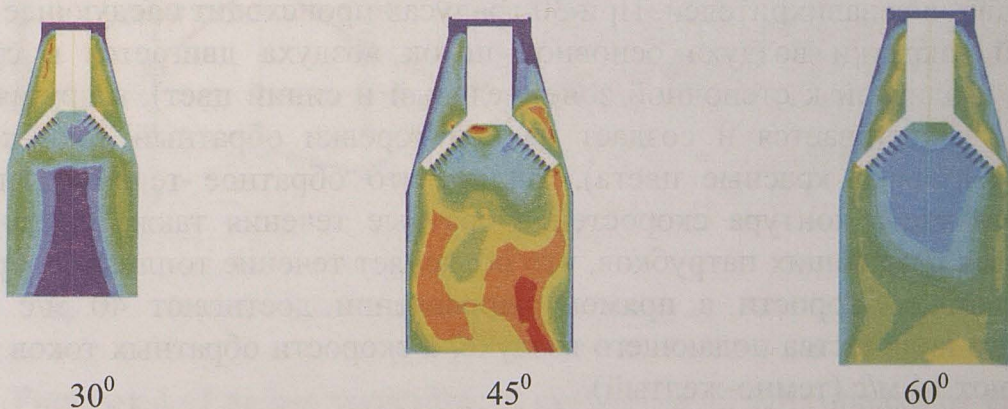


Рисунок 2 - Контуры температур в зависимости от угла расположения лопаток

На рисунке 2 приведены контуры температур при разных углах установок закручивающих лопаток и различных массовых расходах топлива.

При самом остром угле установки закручивающих лопаток на входе в газовую горелку ( $30^{\circ}$ ) видно, что высокая температура находится в зоне трубки для подачи топлива. Температура в этой зоне достигает 1700 К. Также видно, что центральная часть горелки очень холодная, температура в ней достигает едва ли 500 К, это указывает на то, что горение происходит в пограничных к стенке районах.

При 45 градусах горение происходит неравномерно, но большая часть температур переместилась во фронтальную часть горелки. Температура в конце горелки достигает 1900 К. Замечено, что часть топлива также заносится к трубке для подачи топлива.

При 60 градусах видно, что топливо горит равномерно. Зоны высоких температур находятся во фронте горелки. Максимальная температура достигает 2000 К.

**Скорость.** Закономерности процесса горения легко понять, если увидеть контуры скоростей, которые определяют движение частиц топлива и воздуха. На рисунке 3 представлены контуры осевых скоростей при различных углах установки лопаток.

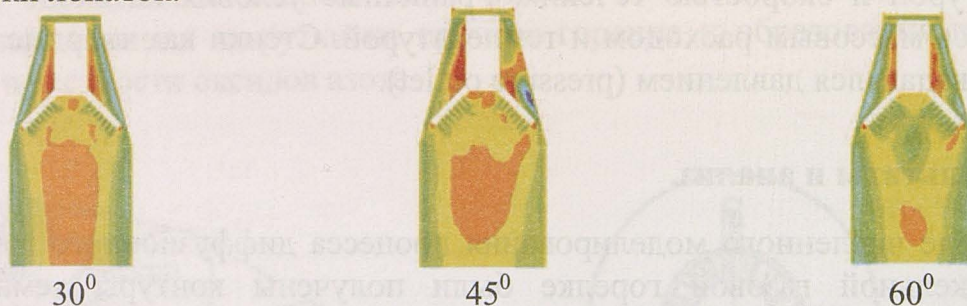


Рисунок 3 - Контур скорости в зависимости от угла расположения лопаток

На рисунке 3 видно, как меняются контуры скоростей в зависимости от угла установок завихрителей. При 30 градусах происходит следующее : из-за сильной закрутки воздуха основной поток воздуха движется в сторону фронта в близкой к стеночной зоне (зеленый и синий цвет), а другая часть воздуха закручивается и создает на оси горелки обратный ток (желтый, темно-желтый и красные цвета). Видно, что обратное течение занимает большую часть контура скоростей. Обратные течения также создаются у основания раздающих патрубков, что объясняет течение топлива в обратном направлении. Скорости в прямом направлении достигают 40 м/с из-за большого количества подающего воздуха, а скорости обратных токов на оси достигают 14 м/с (темно-желтый).

Практически аналогичную ситуацию можно увидеть при угле установки в 45 градусов. В данном случае зона обратных токов имеет четкие размеры, но занимает больше площади по сечению. Течение практически такое же, как и при 30 градусах, за исключением отсутствия течения в одной из зон районе

трубы для подачи топлива. Также замечено, что положительные скорости у стенок немного меньше чем при 30 градусах. Максимальное значение скоростей (положительных) достигает 60 м/с в районе раздающего патрубка (темно синий).

При 60 градусах течение более размеренное, зона обратного тока заметно меньше, чем при остальных режимах течения. Также замечено положительное течение у устьев сопел раздачи топлива, что снижает обратное течение топлива к трубе раздачи топлива. Это также заметно и на температурных графиках. Замечено, что зона обратных токов находится дальше, чем при других режимах течения (темно-желтый) Максимальная скорость положительная достигает значения 30 м/с, а обратных токов - 10 м/с.

**Обратные токи.** Несмотря на то, что обратные токи обсуждались при рассмотрении контуров, необходимо рассмотреть детально размеры и их расположение. На рисунке 4 представлен график зависимости скоростей на оси горелки от угла закручивающих лопаток. Из графика видно, что при 60 градусах течение на оси положительное, но ближе к концу горелки существует зона обратных токов. При 30 градусах течение на оси в основном отрицательное за счет большой зоны рециркуляции. При 45 градусах в конце горелки существует положительное течение.

**Размер рециркуляционных зон.** Одной из важнейших особенностей течения с закруткой являются рециркуляционные зоны и их размеры. Рециркуляционные зоны влияют как на процесс горения, так и на процесс образования вредных веществ.

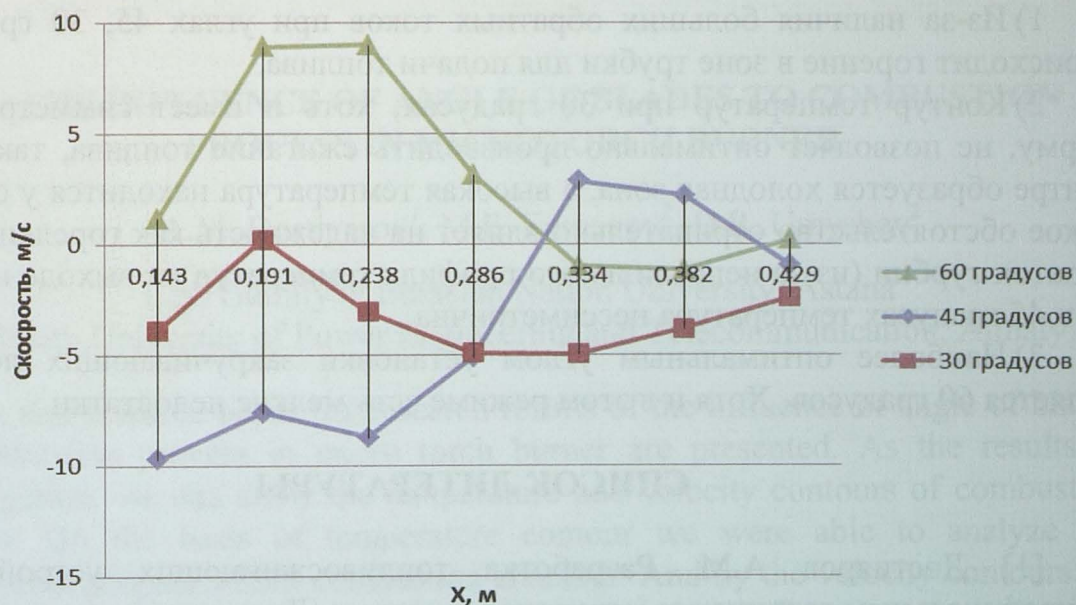


Рисунок 4 - График зависимости скоростей на оси горелки от угла закручивающих лопаток

**Размер рециркуляционных зон.** Одной из важнейших особенностей течения с закруткой являются рециркуляционные зоны и их размеры.

Рециркуляционные зоны влияют как на процесс горения, так и на процесс образования вредных веществ. На рисунке 5 представлен график зависимости размеров рециркуляционных зон от угла закручивающих лопаток. Из рисунка видно, что максимальный размер рециркуляционной зоны достигается при угле 45 градусов, а минимальный при 60 градусах.

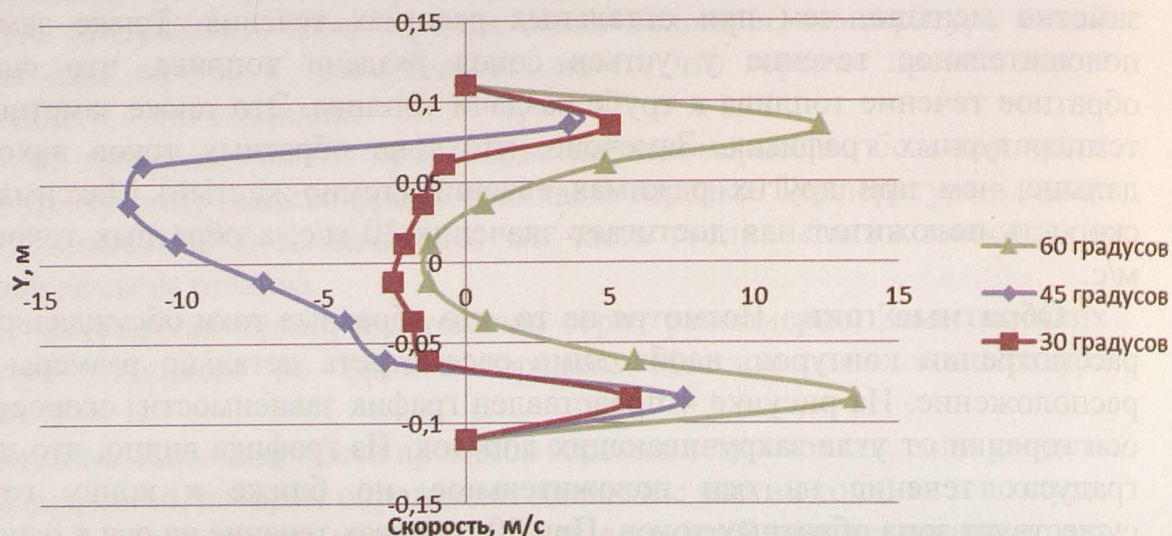


Рисунок 5 - Размер рециркуляционных зон при различных углах закручивающих лопаток

### Заключение

Исходя из полученных результатов, можно сделать следующие выводы:

- 1) Из-за наличия больших обратных токов при углах 45, 30 градусов происходит горение в зоне трубки для подачи топлива.
- 2) Контур температур при 30 градусах, хоть и имеет симметричную форму, не позволяет оптимально производить сжигание топлива, так как в центре образуется холодная зона, а высокая температура находится у стенок. Такое обстоятельство отрицательно влияет на надежность как горелки, так и лопаток турбин (из-за неправильного профиля температур на выходе из КС). При 45 градусах температура несимметрична.
- 3) Наиболее оптимальным углом установки закручивающих лопаток является 60 градусов. Хотя и в этом режиме есть мелкие недостатки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Достияров А.М. Разработка топливосжигающих устройств с микрофакельным горением и методики их расчета/Диссертация на соискание степени доктора наук – Алматы, 2000. - 237с
- [2] Лефевр А. Процессы в камерах сгорания ГТД/ Москва - 1986. - 566 с.
- [3] Жанбуршин Е.Т. Разработка микрофакельной горелки для попутных нефтяных газов с пониженным уровнем токсичных выбросов/Диссертация на соискание степени к.т.н. Алматы – 1993. – 160 с.

[4] Христич В.А., Тумановский А.Г. Газотурбинные двигатели и защита окружающей среды/Киев - 1983. — 144 с.

[5] Канило П.М., Подгорный А.И., Христич В.А. Энергетические и экологические характеристики ГТД при использовании углеводородных топлив и водорода // Наука и технический прогресс// Киев - 1987. -224 с.

## ҚАЛАҚШАЛАРДЫҢ ОРНАЛАСУ БҰРЫШЫНЫҢ ОТТЫҚТАҒЫ ЖАНУ ҮДЕРІСІНЕ ӘСЕРІ

А.М. Достияров<sup>1</sup>, М.Е. Туманов<sup>2</sup>, Д.Р. Умышев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана қ.

<sup>2</sup>Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ.

Мақалада оттықтың кіруінде орналасқан қалақшалардың орналасу бұрышының, оттықтағы жану үдерісіне әсері сандық модельдеу арқылы зерттеу нәтижелері келтірілген. Зерттеу нәтижесінде, температуралық, жылдамдықтық долбарлары алынып, зерттелінген. Температуралық долбар негізінде жану үдерісінің қасиеттері мен сипаттамалары алынған. Ал жылдамдық долбарлары негізінде, оттықтағы кері жылдамдықты рециркуляциялық аумақтар анықталып, олардың өлшемдері келтірілген. Қорытындылай келе, бұл зерттеу нәтижесінде, қалақшалардың орналасу бұрышының ең тиімдісі анықталып, көрсетілген оттықтың қолдануға жарамдылығы дәлелденген.

## THE INFLUENCE OF ANGLE OF BLADES TO COMBUSTION PROCESS IN MICROTORCH BURNER

A.M. Dostiyarov<sup>1</sup>, M.E. Tumanov<sup>2</sup>, D.R. Umyshev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>L.N. Gumilyov Eurasian Nation University, Astana

<sup>2</sup>Almaty University of Power Engineering and Telecommunication, Almaty

In this research paper the research results of the influence of angle of blades to combustion process in micro torch burner are presented. As the results of investigation, we can show the temperature and velocity contours of combustion process. On the basis of temperature contour we were able to analyze the combustion process within combustion chamber. And by the velocity contours we were able to see recirculation zone, which has big influence on combustion process. In conclusion, we were able to determine the best angle for blades and to prove that this burner is capable for exploitation.