

ЭКОНОМИКА ИННОВАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ: ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ И НЕФТЕХИМИИ

ECONOMICS OF INNOVATION. HIGH-TEMPERATURE PROCESSES VISUALIZATION AT THE REFINERY AND PETROCHEMICAL INDUSTRY

Б.Л. ОРЛОВ
В.В. ЕСЬКИН

ведущий специалист инженерно-производственной фирмы «Ай Си Пи»
технический директор инженерно-производственной фирмы «Ай Си Пи»

Москва
info@icpgroup.ru

B.L. ORLOV
V.V. YESKIN

Leading specialist engineering and manufacturing firm «I C&P»
Technical director engineering and manufacturing firm «I C&P»

Moscow

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Нефте-газопереработка и нефтехимия, печь, змеевик, радиантная камера, визуализация процессов горения, термография, эффективность, снижение затрат

KEYWORDS:

Oil and gas refinery, petrochemical, furnace, pipe coil, radiant chamber, combustion visualization, thermography, efficiency, cost reduction

В статье поднимается вопрос о более широком использовании систем видеонаблюдения с функциями расчетной цветовой термографии топочного пространства промышленных печей, дается принципиальная схема подобной системы, экономическое обоснование целесообразности ее применения, а также приводятся примеры промышленного использования в России и за рубежом.

The article raises the issue of wider using video systems with the functions of the estimated color thermography of combustion chamber industrial furnaces. The schematic diagram of such a system is given. Also shows the feasibility study of its application, with examples of industrial using in Russia and abroad.

В последнее время в отраслях нефте- и газопереработки и нефтехимии принят устойчивый курс на модернизацию производственных мощностей и освоение новых технологий. Однако в основном это касается лишь главных, так сказать «магистральных» направлений производства: новые установки, новые процессы, новые технологические линии. Это глобальные проекты, которые, разумеется, значительно интенсифицируют производство на предприятии в целом, однако большую часть действующих процессов, не подлежащих замене, они не затрагивают. Зачастую создается парадоксальная ситуация: на одном и том же предприятии не просто последовательно, а чуть ли не на одной и той же установке идут процессы по технологии разных поколений, разного инструментального и аналитического оформления, с управлением, основанным не просто на разной автоматике а, даже, и на разных принципах!

В частности это касается процессов горения на всех печах и высокотемпературных реакторах. Практически ни на одном из отечественных предприятий не предусмотрен мониторинг и тонкое управление процессом сгорания топлива. И это не смотря на то, что в смежной области – энергетике

такое управление горением уже прочно вошло в жизнь и является одним из основных методов повышения производительности и снижения расходов.

В качестве примера можно упомянуть применение системы видеонаблюдения с функцией термографии на котлах ГРЭС в Италии. Ниже в таблице 1 приведены данные по замене труб поверхностей нагрева на котлах до и после установки системы:

Из таблицы видно, что система, стоимость которой несоизмеримо мала по сравнению со стоимостью новых установок или новых технологий, должна окупаться достаточно быстро (в описанном случае – за 6 месяцев). Визуальный контроль процесса горения и наличие карты распределения температур, подаваемой в режиме он-лайн, дает возможность оптимально распределить температурную нагрузку по поверхностям нагрева радиантной камеры, и, тем самым, предотвратить прогары труб из-за термического износа. При этом необходимо учесть тот факт, что на котлах ТЭС возможно отключение прогоревшей секции без остановки самого котла, в отличие от ситуации на печах НПЗ – НХК.

Разумеется, ситуация, при которой на работающей печи прогорает змеевик радиантной камеры – это ЧП, приводящее к

аварии, и такие ситуации достаточно редки. Но если обратиться к статистике, то выясняется следующее: на большинстве печей предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической отраслей замена труб радиантной камеры печи во время плановых ремонтов производится в nepozволительно больших объемах. На некоторых предприятиях количество заменяемых труб змеевика может достигать 30%! И это при условии, что зачастую, в процессе планового ремонта часть труб змеевика радиантной камеры достаточно просто повернуть на 180° вокруг продольной оси, что позволит эксплуатировать ее еще как минимум половину срока.

Довольно распространенным явлением при эксплуатации печей является самопроизвольное изменение геометрии факела горелки в виде отклонения от продольной оси и недопустимого приближения факела к поверхностям нагрева. В этом случае используется термин «наброс факела». Обычно это связано с повреждением горелки (внутренних деталей или огнеупорной амбразуры). Иногда изменение геометрии факела может быть вызвано повреждением самой камеры сгорания, например, при разрушении футеровки пода или при потере герметичности люков и заглушек технологических отверстий печи и т.п. В любом случае, нарушение геометрии факела ведет к неравномерности нагрева труб змеевика и во многих случаях – к возникновению значительных локальных перегревов.

Если факел имеет неправильную форму постоянно, то рано или поздно это будет обнаружено во время обхода печи и визуальной проверки горения через смотровые отверстия. Однако существует опасность ►

№ котла	Количество секций заменяемых во время 1-го/2-го/ 3-го плановых ремонтов	
	До установки видеосистемы с функцией термографии	После установки видеосистемы с функцией термографии
1	17 / 19 / 16	14 / 11 / 8,5
2	21 / 19 / 19	16 / 10 / 12
3	18 / 18 / 17	11 / 11 / 4,5
4	24 / 21 / 23	12 / 9 / 6

Таб. 1.

не заметить искривленный факел, в особенности, если горелка достаточно мощная и отклонение факела от продольной оси горелки не превышает 20° . Между тем даже небольшое отклонение факела у мощной горелки может вызвать значительную термическую коррозию в радиантной части змеевика. Периодическое же нарушение геометрии факела может быть не замечено вовсе. В этом случае причина повышенного термического износа труб останется невыясненной, что в свою очередь, чревато внезапным аварийным выходом из строя труб змеевика радиантной камеры печи, высокотемпературного реактора или испарителя. Но даже если этого не случится, местный перегрев приводит к нестабильности и разрыву сплошности потока внутри змеевика, что в свою очередь также увеличивает нагрузку на трубы.

Необходимо также отметить, что расчет нагрузок на змеевик ведется с большим числом допущений и приближений. Введение в уравнения Навье-Стокса, используемых при расчете большинства гидродинамических систем, различных критериев (Фруда, Эйлера и пр.) для удовлетворения принципам подобия, не дает возможности получить истинную картину на стадии теоретического расчета, из чего следует возможность наличия неучтенных нагрузок как внутри самих труб, так и на их поверхности.

Таким образом, визуализация, дающая возможность непрерывного наблюдения за процессом горения и термография, дающая карту распределения температур в объеме камеры сгорания, позволяет избежать большей части проблем, связанных с термическими нагрузками прерывистого или ступенчатого типа.

Здесь, кстати, нелишне будет упомянуть, что «устранение» последствий от касающегося змеевика факела за счет повышения теплосъема с внутренней стороны трубы с помощью увеличения скорости продукта, прокачиваемого по трубам, не

может являться решением проблемы. Этот метод приводит к нестабильности температуры нагреваемого продукта на выходе из печи (особенно в случае периодического набрасывания факела), повышения нагрузки на перекачивающее оборудование и, как следствие, перерасходу энергии и увеличению затрат на дальнейшую переработку.

Вторым моментом, на который и визуализация и термография процесса оказывает благотворное влияние, является снижение содержания в дымовых газах окислов азота, при образовании которых наличие перегретых участков змеевика играет роль катализатора. Устранение участков локальных перегревов значительно снижает наличие NO_x , покидающих топочное пространство.

На рис. 1 видна неровная работа горелок, легко определяемая по размерам факела. Соответственно, легко сделать вывод о возможных неисправностях и неполадках в работе самой горелки, топливно- или воздухоподводящей системе и т.д. По выявлению эти недостатки легко устранить в процессе планового ремонта.

Еще одним весьма важным свойством систем видеонаблюдения и термографии топочного пространства является возможность избежать наличия на трубах радиантной камеры печи или высокотемпературного реактора локальных перегревов змеевика, связанных с закоксовыванием или осмолением поверхностей.

Наблюдая процесс розжига печи или запуска высокотемпературного реактора легко видеть, что поверхность труб змеевика нагревается неравномерно. За счет неравномерностей в топливно- и воздухоподающих системах, происходит неполное сгорание топлива, что в свою очередь приводит к накоплению продуктов неполного сгорания топлива на поверхности труб. А так как закоксовывание и осмоление – процессы, идущие на активных центрах («пиках»), то, разумеется, скорость нарастания

слоя высокомолекулярного продукта на разных участках трубы будет значительно различаться, и накопление слоя смол или кокса на трубах будет неравномерным.

В связи с тем, что продукты неполного сгорания углеводородного топлива имеют теплопроводность отличную от металла, теплосъем на этих участках носит непостоянный характер даже при условии того, что объемная скорость нагреваемого продукта будет постоянной.

С другой стороны и кокс и смолы горючи и при достижении максимальных температур в камере сгорания самовоспламеняются. При этом скачкообразно меняется перепад температур внутри стенок труб, что приводит не только к экстремальным термическим нагрузкам, но и к физическим – за счет разницы в удлинении нагретых частей змеевика. Это может отрицательно сказаться на змеевиках – как с соединением труб на ретурбендах, так и с цельносварными змеевиками на подвесах.

Подобные локальные скачки температур даже опаснее чем последствия наброса факела, т.к. отличаются длительностью воздействия с одной стороны, а с другой – практической невозможностью точно определить их место возникновения в следующий раз. Но при визуализации, а тем более – при использовании термографии топочного пространства, такие участки будут хорошо заметны. Наблюдая визуально и на термокарте топочного пространства перегретые участки трубопровода, легко определить расположение закоксованных участков, что позволит при плановом ремонте печи заменить именно эту часть змеевика и даже перейти к ремонту по состоянию оборудования.

Нужно помнить, что материалом для труб змеевиков служат, в основном, следующие марки сталей: Ст20, 10Г2, 15ХМ, 15Х5М, 15Х5МУ, 13Х9М, 08Х18Н10Т, ХН32Т, 12Х18Н10Т, 20Х23Н18, а также соответствующие импортные аналоги. Все это (кроме Ст20) достаточно дорогие стали, ►

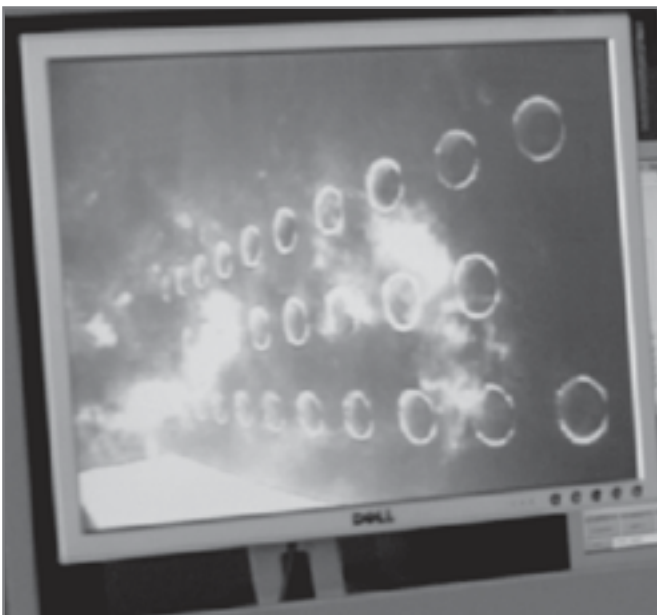


Рис. 1. Визуализация работы горелок на одном из предприятий ТЭК



Рис. 2. Установка системы видеонаблюдения топочного пространства с функцией термографии на одном из предприятий отечественного ТЭК

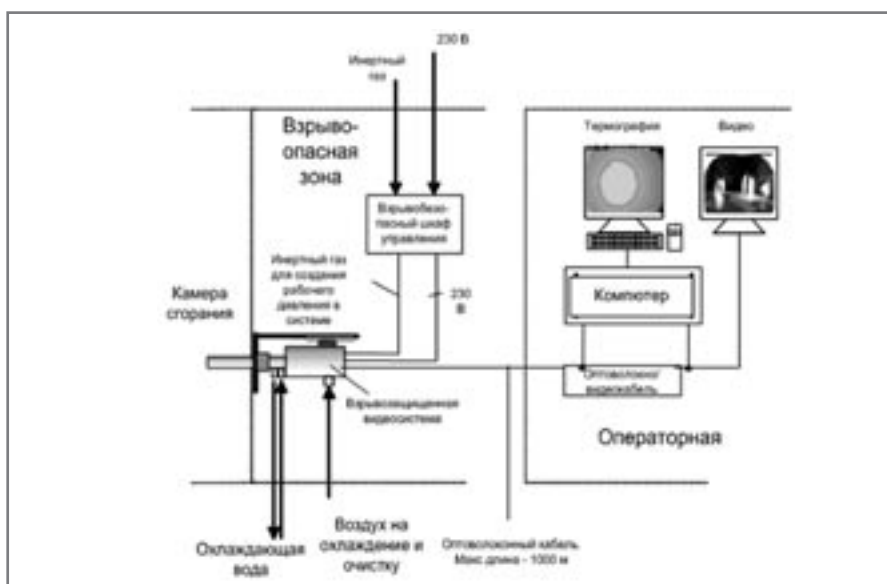


Рис. 3. Принципиальная схема установки на печи установке крекинга системы видеонаблюдения с функцией термографии производства компании DURAG (Германия).

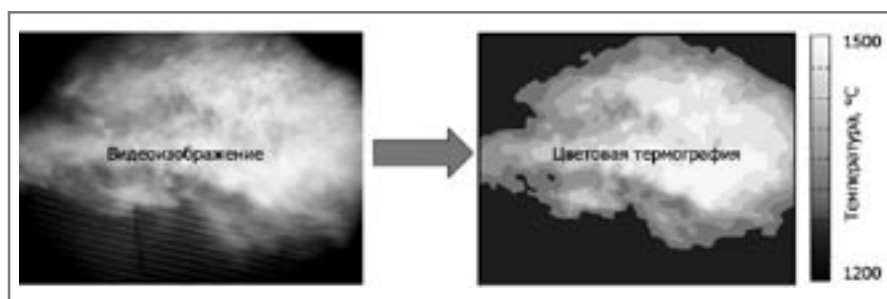


Рис. 4. Термография факела



Рис. 5. Установка крекинга тяжелого нефтяного сырья (Германия) оснащенная системой визуализации и термографии высокотемпературных процессов

Год	НПЗ в Европейской части России		НПЗ в Сибири	
	Затраты		Затраты	
	Тыс.руб.	Чел.-час	Тыс.руб.	Чел.-час
2008	8 200	305	14 567	450
2009	7 600	360	10 860	400
2010	8 500	340	11 623	450

Таб. 2. Общие данные по двум нефтеперерабатывающим предприятиям Российской Федерации в части затрат на замену труб на печах и испарителях

а т.к. трубы для печей, котлов-пароперегревателей и испарителей зачастую еще и оребренные, то соответственно они еще дороже.

На рис.3 показана принципиальная схема установки системы визуализации и термографии процесса в камере сгорания на одном из нефтеперерабатывающих заводов Германии. Для него же была проведена следующая оценка эффективности на возврат инвестиций при внедрении системы видеонаблюдения топочного пространства с функцией термографии на установке крекинга тяжелого нефтяного сырья:

- На установке имеется 11 прямоугольных печей крекинга.
- Из-за локальных перегревов на печах происходит 6-7 разрывов труб в год
- Каждый разрыв трубы – 6-7 дней простоя установки на ремонте
- Каждый час простоя установки – 10 000 USD
- Общие потери из-за разрыва труб – 1440-1680 тыс. USD/год
- Общая сумма убытков – 8640-11760 тыс. USD/год.
- Общий объем инвестиций для видеосистем на всех печах – 2300 тыс. USD (1,8 млн. €)

Вывод: полный возврат инвестиций будет достигнут в течение первого же года, если удастся избежать разрыва хотя бы 2 труб! То есть окупаемость всего проекта займет не более полугода при работе установки в номинальном режиме.

Ниже в таблице 2 приводятся общие данные по двум нефтеперерабатывающим предприятиям Российской Федерации в части затрат на замену труб на печах и испарителях.

В эти данные, разумеется, не вошли потери по прибыли, недополученной за время вынужденного простоя, но цифры и так достаточно впечатляющие. Конечно, нельзя утверждать, что применение инновационных систем визуализации и термографии процессов горения полностью устранил эти потери, однако они помогут существенно сократить время планового ремонта, снизить затраты на замену труб и деталей подвески, а в дальнейшем, позволят, там где это возможно, перейти на схему ремонта по состоянию оборудования.

Таким образом, мы можем сделать вывод об экономической целесообразности применения системы видеонаблюдения с возможностью термографии на предприятиях нефте- и газопереработки и нефтехимии Российской Федерации. Использование таких систем значительно поднимет уровень безаварийности производства, продлит срок службы оборудования, позволит снизить затраты на замену частей змеевиков и топливный газ. Кроме того, применение подобных систем значительно упростит и сделает интуитивно понятным процесс управления горением топлива, устранил необходимость в утомительных обходах операторами печей на установках, снижая тем самым опасность производственного травматизма и повышая трудовую отдачу персонала. ■