



<http://www.lit-eng.ru>

**LIT ENGINEERING**

ЛАБОРАТОРИЯ  
ИННОВАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ



О КОМПАНИИ _____	3
СФЕРЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ _____	4
ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ _____	6
НАПРАВЛЕНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ _____	8
РАЗРАБОТКА ТН _____	10
ЗАЧЕМ ЭТО НУЖНО	
ОПИСАНИЕ ПРИНЦИПА РАБОТЫ	
ТУРБУЛЕНТНАЯ НАСАДКА	
В ПРИЛОЖЕНИИ К РАЗЛИЧНЫМ	
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ЗАДАЧАМ	
ЭНЕРГОАУДИТ _____	18
НАШИ ПАРТНЕРЫ _____	20



## О КОМПАНИИ

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ЛИТ-ИНЖИНИРИНГ» – инновационная компания, основной деятельностью которой является модернизация существующих и разработка новых технологий с применением процессов ректификации и абсорбции.

Компания занимается проектированием и производством массообменного оборудования для химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей и газоперерабатывающей промышленности. Наши специалисты выполняют расчеты и моделирование технологических процессов, а также подберут из нашего полного ассортимента необходимое оборудование, чтобы обеспечить оптимальную эффективность массообмена.

«ЛИТ-ИНЖИНИРИНГ» - в постоянном движении навстречу к своим Заказчикам, лучшему пониманию их потребностей и проблем, к удобному общению вне зависимости от обстоятельств, к общему взаимовыгодному успеху.

На протяжении 5 лет наша компания активно и успешно сотрудничает со многими Российскими и зарубежными предприятиями по усовершенствованию процессов ректификации и абсорбции в нефтеперерабатывающей, газовой, нефтехимической, химической, коксохимической и металлургической отраслях промышленности.

«ЛИТ-ИНЖИНИРИНГ» является динамично развивающейся российской компанией с постоянно расширяющимся кругом решаемых задач. Наличие соответствующих лабораторий, опытных установок, научный потенциал и производственные мощности позволяют предприятию не отставать от лидирующих компаний, специализирующихся в области химической промышленности. И здесь главное преимущество «ЛИТ-ИНЖИНИРИНГ» – высокая оперативность. Сосредоточение в одних руках расчетных возможностей и собственного производства технологического оборудования, позволяет выполнять с неизменно высоким качеством срочные заказы в рекордно короткие сроки. Продукция «ЛИТ-ИНЖИНИРИНГ» не уступает, а зачастую и превосходит зарубежные аналоги.





Современное химическое машиностроение ориентируется на создание компактных и высокоэффективных по сырью и потребляемой энергии установок, простых и надежных в эксплуатации. Современное контактное оборудование должно обладать низким гидравлическим сопротивлением, чтобы обеспечивать высокую скорость потоков, и быть максимально эффективным в плане проведения целевого процесса.

Современным этапом развития контактных устройств является создание организованных пакетных насадок, характеризующихся развитой межфазной поверхностью контакта фаз, более высокой скоростью движения газообразной фазы и более устойчивым противоточным режимом работы, по сравнению с другими видами насадок.

Предлагаемая турбулентная насадка ТН обеспечивает турбулентный газовый поток уже при минимальных потоках газа. Создаваемый вихрь непрерывно генерирует огромное количество микрокапель жидкости и, тем самым, увеличивается площадь контакта фаз. ТН обладает высокой пропускной способностью по жидким и газовым фазам, низким гидравлическим сопротивлением.

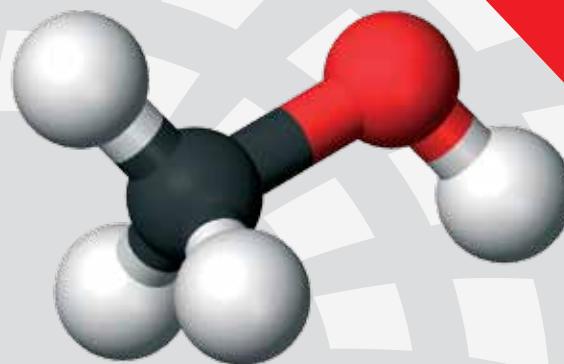
Конструкция ячеек ТН позволяет равномерно перераспределять жидкие и газообразные потоки по всему сечению аппарата, даже если потоки поступают только из единичных входов. В результате обеспечивается высокое и стабильное значение коэффициента тепло- и массообмена.

## СФЕРЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### МАССОБМЕН



### СИНТЕЗ МЕТАНОЛА



Процессы окисления играют большую роль в современной химической промышленности. С их помощью получают более половины всей производимой в мире химической продукции.

Гомогенное (прямое) окисление — один из видов окисления, в котором метаносодержащий газ смешивается с кислородом в соотношении ниже предела взрываемости. Реактор гомогенного окисления работает следующим образом.

Исходные продукты реакции: метаносодержащий газ и кислород подаются в реактор при оптимальной температуре и давлении для начала реакции. В реакторе последовательно и параллельно протекает несколько десятков реакций с образованием следующих основных продуктов: метанол, этанол, формальдегид, вода, углекислый газ. Время протекания непосредственно самих реакций чрезвычайно мало  $1 \cdot 10^{-4}$  —  $1 \cdot 10^{-5}$  секунды. Поэтому время пребывания газообразных реагентов в реакционной камере определяется временем (кинетикой) перемешивания реагентов.

Все реакции, протекающие в реакционной камере, являются экзотермическими, т.е. с выделением большого количества теплоты, а поскольку они протекают мгновенно, также мгновенно возрастает температура реакционной смеси, при превышении которой более  $540-550^\circ\text{C}$  начинается термический распад основных ценных продуктов реакции: метанола, формальдегида и этанола. Для достижения максимально эффективной работы реактора создана система автоматизированного контроля и управления.

Инжиниринговая компания ОАО «ЛИТ-ИНЖИНИРИНГ» специализируется на разработке новых технологий и высокотехнологичной продукции в различных отраслях химической промышленности.

Учитывая энергоемкость процесса нефтедобычи и удаленность нефтяных месторождений от энергосетей, выработка электроэнергии непосредственно на промысле может быть оптимальным решением энергообеспечения. Компания ОАО «ЛИТ-ИНЖИНИРИНГ» вплотную занимается вопросом энергогенерации на средних и малых удаленных месторождениях.

Немалую роль в деятельности компании занимает проработка реализации рекуперации тепловой энергии.

Также компания занимается усовершенствованием уже существующих технологий с целью повышения качества продукции и/или увеличения производительности, снижения энергопотребления. Мы предлагаем современные технические решения с применением турбулентной насадки (ТН) как для реконструкции, так и для строительства новых установок. Наши специалисты выполняют расчеты и моделирование технологических процессов, чтобы обеспечить оптимальные условия массообмена.

### РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ



### ЭНЕРГОАУДИТ



Энергоаудит потребителей топливно-энергетических ресурсов представляет собой техническое инспектирование энергогенерирования и энергоиспользования на обследуемом объекте в целях определения возможной экономии энергии и выработки предложений для её достижения.

Главной целью энергоаудита является комплексный анализ всех энергетических систем объекта для определения потенциала энергосбережения и выявления основных направлений его реализации, а также для разработки мероприятий и технических решений, позволяющих снизить энергопотребление и, как следствие, финансовые затраты на оплату топливно-энергетических ресурсов.

Результаты работы наших специалистов позволяют предприятию получить наглядную фактическую картину энергообеспечения производства, экспертную оценку потенциала энергосбережения и основные его направления. По желанию Заказчика после проведения энергетического обследования возможно составление энергосервисного контракта, а также реализация предложенных мероприятий.





# ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

## ХИМИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ



## НЕФТЬ И ГАЗ



## МЕТАЛЛУРГИЯ



## ЭКОЛОГИЯ



## ТЕПЛОВАЯ И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА



## ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ



В **ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ** применение турбулентной насадки возможно в следующих отраслях:

### ОСНОВНАЯ (НЕОРГАНИЧЕСКАЯ) ХИМИЯ:

- производство неорганических кислот,
- производство минеральных солей,
- производство щелочей,
- производство азотных, калийных и фосфатных удобрений,
- производство химических кормовых средств,
- производство хлора,
- производство аммиака,
- производство кальцинированной и каустической соды,
- очистка газов от примесей (аммиачная селитра, пары аммиака,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  и др), разделение сжиженного газа, выделение ТМК и др.

### ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ:

- производство синтетических красителей (выработка органических красителей, полупродуктов, синтетических дубителей),
- производство синтетических смол и пластических масс,
- производство искусственных и синтетических волокон и нитей.
- разделение углеводородных фракций, очистка газов, улавливание метанола из коксового газа и др.
- производство синтетических смол.
- производство химических реактивов и особо чистых веществ.
- химико-фармацевтическая: производство лекарственных веществ.
- производство товаров бытовой химии.

В области **НЕФТЕ- И ГАЗОПЕРЕРАБОТКИ** турбулентная насадка применяется в процессах:

- первичная перегонка нефти, газоконденсата и их смесей с получением топливных фракций;
- разделение бензинов на узкие фракции с целью получения сырья для риформинга и для выделения ароматических углеводородов, включая удаление бензолсодержащих и бензолобразующих компонентов;
- фракционирование прямогонных бензинов и бензинов вторичных процессов, включая процессы дебутанизации, депентанизации и дегексанации;
- очистка природного, попутного и газов регенерации от сероводорода и двуокиси углерода;
- сжижение природного и попутного газа;
- низкотемпературное разделение гелийсодержащего природного газа.

В области **МЕТАЛЛУРГИИ** применение турбулентной насадки возможно в процессах очистки отходящих от агломашин газов от содержания диоксида серы, очистки углеводородного газа от сероводорода, извлечения бензола из коксового газа и др.

Также турбулентная насадка нашла свое применение в криогенных установках получения кислорода.

В области **ЭКОЛОГИИ** применение турбулентной насадки возможно в различных отраслях промышленности:

- **ХИМИЧЕСКАЯ:** очистка технологических газов от нежелательных примесей (аммиачная селитра, пары аммиака, метанол,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{N}_x\text{O}_y$  и др.)  
очистка сточных вод от аммиака и карбамидов.
- **МЕТАЛЛУРГИЯ:** очистка отходящих газов от агломашин от содержания диоксида серы.

Насадка ТН имеет устойчивые перспективы применения для влажного улавливания пыли. Аппараты ТН эффективны для улавливания пыли веществ различной гидрофильности – от легко смачиваемых талька и каолина до сажи.

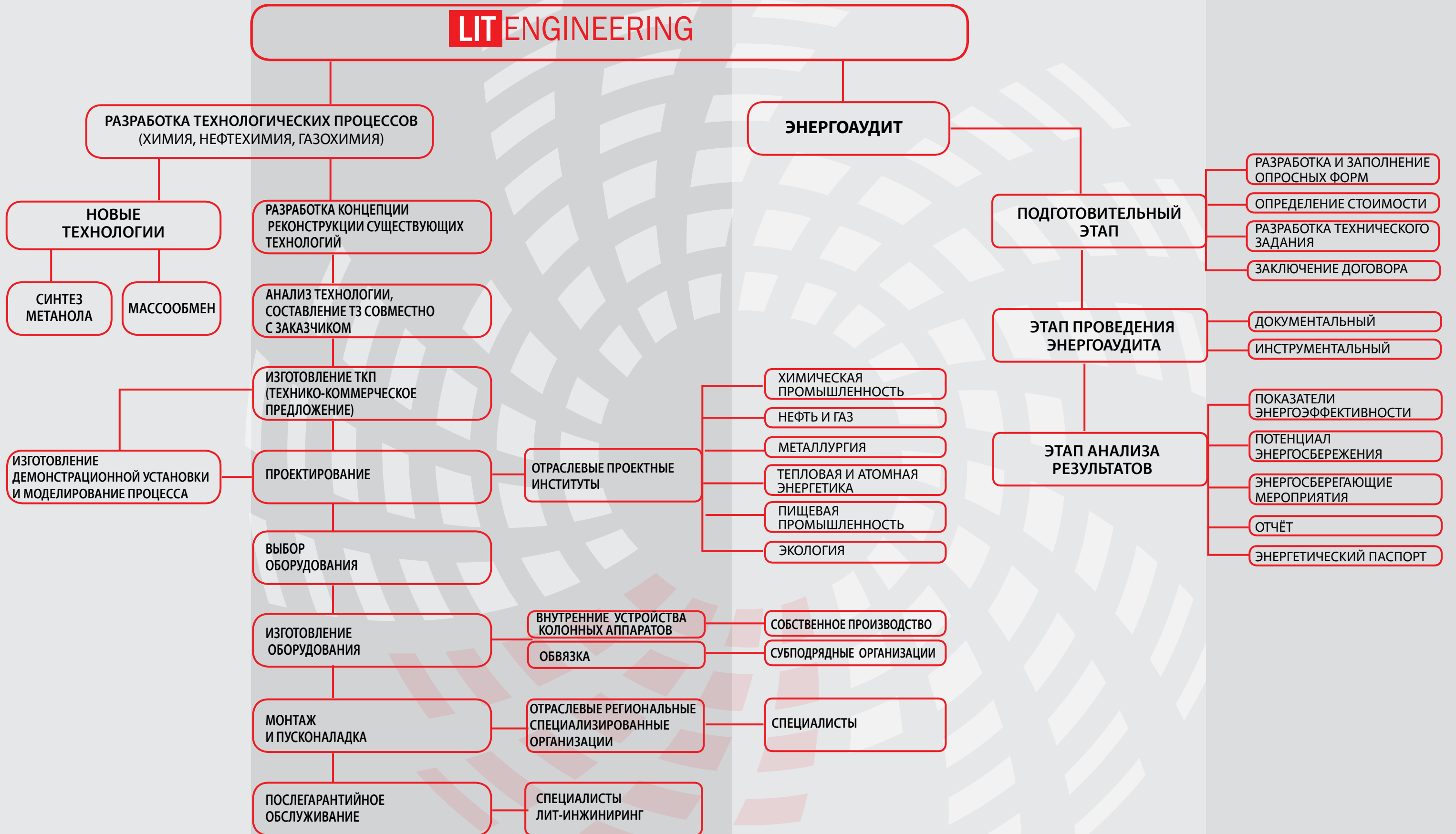
Для **ТЕПЛОВОЙ И АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ** компания разработала Технические решения в процессах водоподготовки (деаэрация) с применением турбулентной насадки.

Применение турбулентной насадки возможно также в процессах очистки топливного газа от сероводорода, очистки газов после пиролиза, разделения газов пиролиза.

Турбулентная насадка может применяться в следующих отраслях **ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**:

- мукомольная,
- ликеро-водочная и винодельческая,
- пиво-безалкогольная,
- масложировая,
- молочная.









## ЗАЧЕМ ЭТО НУЖНО?

Современное химическое машиностроение ориентируется на создание компактных и высокоэффективных по сырью и потребляемой энергии установок, простых и надежных в эксплуатации. Современное контактное оборудование должно обладать низким гидравлическим сопротивлением, чтобы обеспечивать высокую скорость потоков, и быть максимально эффективным в плане проведения целевого процесса.

Многие отрасли промышленности используют процессы тепло- и массообмена, в которых газовая и жидкая фазы вступают в контакт друг с другом, такие как абсорбция, десорбция и ректификация; при этом эффективность протекания процессов напрямую зависит от конструкции применяемых устройств.

Внутреннее пространство емкостей (колонн) может быть организовано по-разному, в основном конструкции относятся к одному из двух типов:

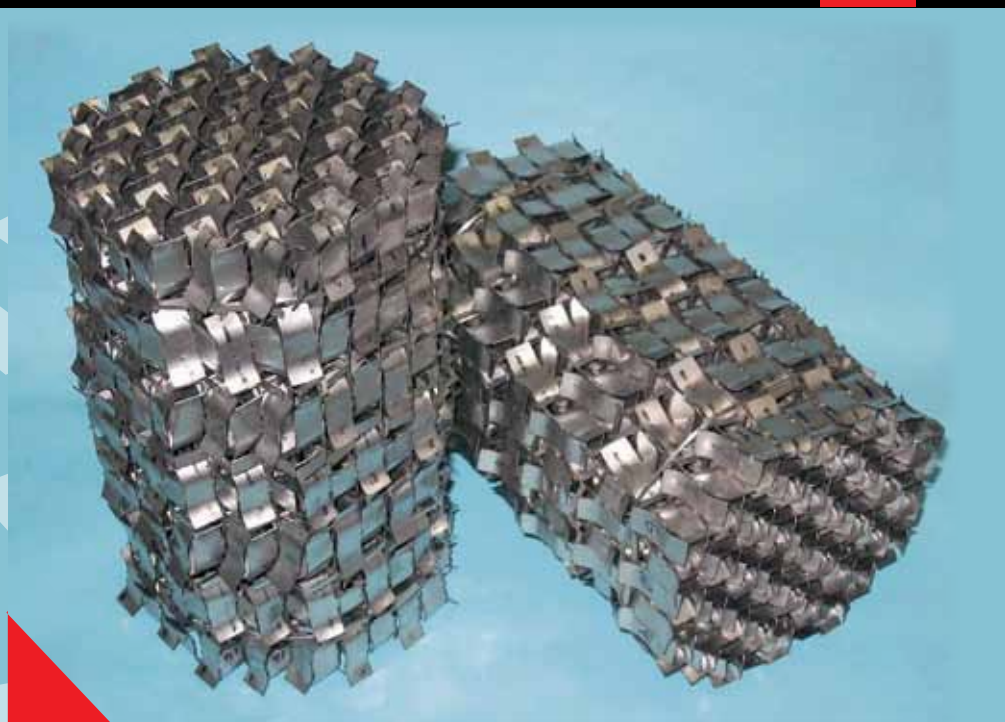
1. Тарельчатые.
2. Насадочные.

Конструкция и форма устройства определяют принцип, согласно которому оно работает. В тарельчатых контактных устройствах интенсификация процесса тепло-, массообмена между взаимодействующими жидкой и паровой фазами обеспечивается, в основном, за счет максимально возможного увеличения относительной скорости движения фаз. Это наиболее старый тип контактного устройства, часть конструкций стандартизована. Тарельчатые колонны используются, как правило, в крупнотоннажных производствах. Предельная интенсивность процесса достигается при турбулизации двухфазной системы, однако обычно достичь турбулентного течения не удается из-за ограничений по скорости газовой фазы, обусловленных "захлебыванием" колонны и высоким гидравлическим сопротивлением. Суммируя сказанное, для современных тарельчатых устройств при- сущи следующие недостатки:

- Низкая эффективность из-за значительной высоты теоретической тарелки (Обычно тарелки расположены через 0,4–0,5 м по высоте колонны, а с учетом КПД единичной тарелки на уровне 50–70%, ВЭТ ≈ 1 м.), что определяет большие размеры таких аппаратов.
- Малая допустимая скорость потоков (1,5–2,0 м/с для паровой фазы).

В отличие от тарельчатых контактных устройств, в насадочных контактных устройствах процесс тепло-, массообмена осуществляется не за счет организации интенсивного перемешивания взаимодействующих фаз, а за счет увеличения площади поверхности контакта фаз, т.е. их эффективность определяется удельной поверхностью насадки. Новейшие насыпные (неупорядоченные) насадки с кольцами Рашига, Палля, «Инталокс» или седлами Берля имеют увеличенную поверхность межфазного контакта и поэтому обеспечивают лучший тепло/массообмен (ВЭТ ≈ 0,3–0,5 м). Однако, их производительность ограничивается, в первую очередь, малой скоростью газовой фазы по свободному сечению аппарата – 1–1,5 м/с. В таких насадочных аппаратах также наблюдается неравномерность орошения жидкостью рабочего слоя; при переупаковке слоя со временем газовый поток начинает проходить отдельными каналами, обедненными орошающей жидкостью. Следствием этого является постепенное забивание твердыми частицами каналов, а эффективность процесса снижается.

Современным этапом развития контактных устройств является создание организованных пакетных насадок, характеризующихся развитой межфазной поверхностью контакта фаз, более высокой скоростью движения газообразной фазы и более устойчивым противоточным режимом работы, по сравнению с другими видами насадок. Однако, существование организованных каналов противоточного движения определяет значительное гидравлическое сопротивление слоя и накладывает ограничения на скорость потоков.



## ОПИСАНИЕ ПРИНЦИПА РАБОТЫ

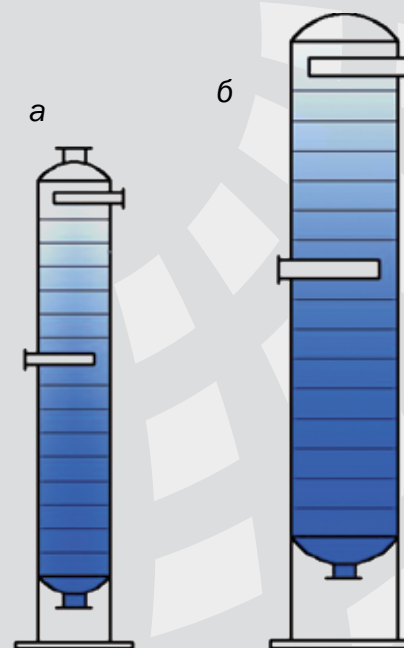


Рис. 1. Сравнение размеров колонны с ТН (а) и обычной тарельчатой массообменной колонны (б), а также высот эквивалентных теоретической тарелке (обозначено горизонтальными линиями).

Предлагаемая турбулентная насадка ТН устроена по принципу улья, чьи ячейки образованы отдельными лепестками сложной формы. Конструкция обеспечивает турбулентный газовый поток уже при минимальных потоках газа.

Создаваемый вихрь непрерывно генерирует огромное количество микрокапель жидкости, тем самым, увеличивается площадь контакта фаз. Однако, в силу турбулентных завихрений и сложной формы ячейки, капли жидкости не покидают ячейки, а эффективно улавливаются на выходе из них. Парадоксально, но конструкция обладает как высокой диспергирующей, так и сепарирующей способностью относительно жидкой фазы.

Ячейки высотой от 55 до 120 мм объединяются в кольцевую цилиндрическую структуру. В создаваемом слое отсутствуют predetermined каналы движения жидкости и газа, что усиливает процессы обмена. Кроме того, доля свободного сечения достигает рекордных 95–97%, и поэтому ТН обладает высокой пропускной способностью по жидким и газовым фазам, низким гидравлическим сопротивлением.

Конструкция ячеек также позволяет равномерно перераспределять жидкие и газообразные потоки по всему сечению аппарата, даже если потоки поступают только из единичных входов. В результате обеспечивается высокое и стабильное значение коэффициента тепло- и массообмена.

В отличие от всех известных насадок, увеличение потоков усиливает турбулентное течение фаз и также интенсифицирует процессы обмена.

Все вместе, при одинаковом числе единиц переноса, приводит к меньшей требуемой высоте насадки (для ректификации высота теоретической тарелки уменьшается в 3–5 раз). На представленном рисунке (рис.1) приведено сравнение ректификационных колонн с обозначением единиц переноса в виде поперечных полос.

Как было показано стендовыми испытаниями, колонны с ТН могут эффективно работать при скоростях газовой фазы от 1 до 6 м/сек, при рабочих плотностях орошения от 20 до 100 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>\*час. Гидравлическое сопротивление единичного слоя ТН насадки менее 100 Па, а доля свободного сечения в зависимости от материала насадки – 0,7÷0,99.





Таблица 1. Сравнение контактных устройств

ПАРАМЕТР	ТАРЕЛЬЧАТЫЕ	НЕРЕГУЛЯРНЫЕ НАСЫПНЫЕ НАСАДКИ	НАСАДОЧНЫЕ <sup>а)</sup>	ТУРБУЛЕНТНАЯ НАСАДКА
ВЭТТ, м	≈1б)	0.5÷0.7	0.35÷0.45	0.2÷0.3
Массоперенос,	300÷1000	1000÷4000	2000÷7000	10000÷13000
Рабочая скорость	0.5÷2.5	0.4÷1.2	1÷2.5	2.0÷6.0
Диапазон рабочих плотностей	20÷100	20÷100	20÷40	20÷100
Площадь поверхности,	—	60÷460	60÷750	—
Гидравлическое сопротивление,	1.5÷3.5	1.0÷2.0	2.5÷8.0	0.75÷2.0
Доля свободного сечения, %	—	0.7÷0.9	0.55÷0.70	0.97÷0.99

а) Mellapak™, б) С учетом КПД разделения обычных тарелок на уровне 50–70 %.

### ПРЕИМУЩЕСТВА ТУРБУЛЕНТНОЙ НАСАДКИ (Таблица 1):

- Высокие оптимальные скорости газовой или паровой фазы (3–5.5 м/с).
- Низкое гидравлическое сопротивление аппарата (в 2–3 раза меньше, чем современные аппараты) при больших расходах газа и жидкости.
- Малая высота единицы переноса, приводящая к небольшим габаритам колонных аппаратов.
- Высокий средний объёмный коэффициент массоотдачи 12000–13000 кг/м<sup>3</sup>ч.
- Предлагаемая турбулентная насадка обладает также легкостью масштабирования при переходе к аппаратам большего диаметра, так как при переходе от малого диаметра к большему увеличивается лишь количество вихревых ячеек.
- Насадка обладает хорошей перераспределяющей способностью жидкой фазы по сечению аппарата даже при подаче последней в одну точку. В процессе эксплуатации не возникает преимущественных каналов движения потоков, эффективность разделения со временем не уменьшается.

Эти технические характеристики позволяют создавать колонны, которые, при аналогичной эффективности, по диаметру в 1.3–2 раза, а по высоте – на 20–40% меньше самых современных аппаратов. Достижимая экономия металла при этом составляет до 3 раз. Требования ТБ к меньшего размера устройствам упрощаются, а все монтажные и сервисные работы становятся проще и дешевле для выполнения.

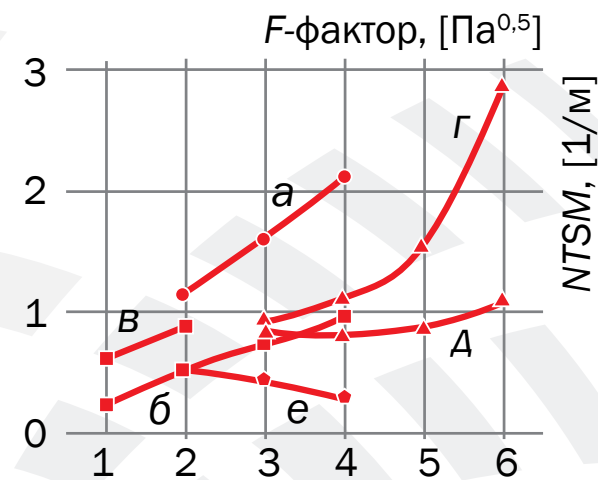
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА определяются существенно более низким энергопотреблением:

- Более низкое гидравлическое сопротивление слоя (2-3 раза) значительно снижает затраты энергии для функционирования насосного оборудования.
- Более высокая эффективность обменных процессов при фиксированном размере насадки увеличивает выход продукта с целевыми показателями качества. В случае ректификации – уменьшается флегмовое число, и соответственно уменьшается расход энергии на нагрев разделяемой смеси и охлаждение флегмы.

На рис. 2,3 приведено сравнение высоты единицы переноса и гидравлического сопротивления насадки ТН и других распространенных контактных устройств. На рис. 4,5 приводится зависимость этих параметров для насадки ТН в зависимости от скорости потока газовой фазы.

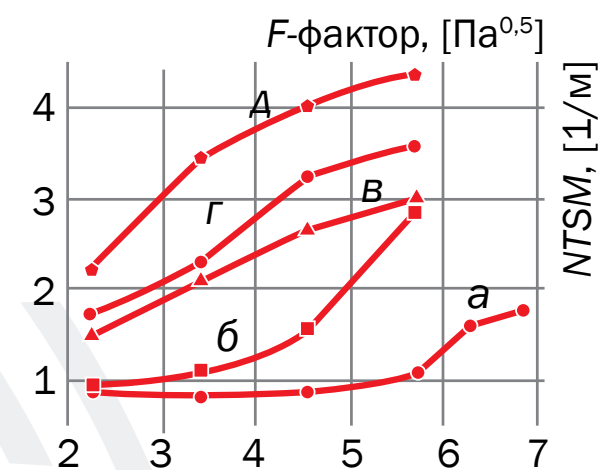
Все представленные материалы собраны в результате многолетнего кропотливого труда нашими коллегами и партнерами в Ивановском Химико-Технологическом Университете (ИХТУ, г. Иваново) и Научно-Испытательном Центре Ракетно-Космической Промышленности (НИЦ РКП, бывш. НИИХимМаш, г. Пересвет, Московская обл.)

Особенности применения ТН для решения специфических задач, ее достоинства и недостатки в сравнении с существующими подходами будут рассмотрены ниже в соответствующих разделах.



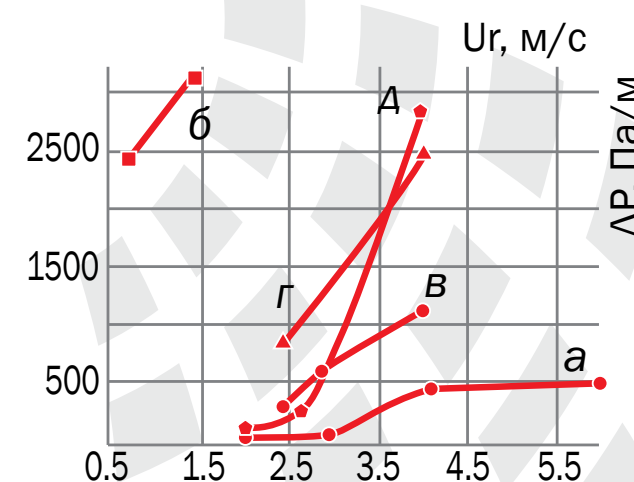
а – ПСОН (П=40 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч); б – Кольца Рашига (П=20 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч); в – Кольца Рашига (П=40 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч); г – ТН "НТ" (П=40 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч); д – ТН "НТ" (П=40 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч); е – 250.X (П=20 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч).

Рис. 2. Сравнение эффективности работы различных контактных устройств на примере высоты единицы переноса в при абсорбции CO<sub>2</sub> (жидкость – 20% раствор ДЭА, газ – N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub>).



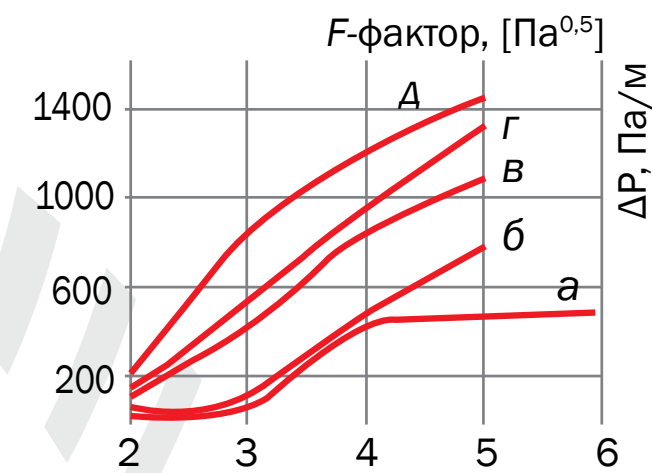
а – П=20 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч; б – П=40 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч; в – П=60 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч; г – П=80 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч; д – П=100 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч

Рис. 4. Зависимость числа единиц переноса от скорости газовой фазы на турбулентной насадке при абсорбции CO<sub>2</sub> (жидкость – 20% раствор ДЭА, газ – N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub>).



а – ТН (П=20 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч); б – Кольца Рашига (П=20 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч); в – ТН (П=40 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч); г – ПСОН (П=20 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч); д – Mellapak 250.X (П=20 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч).

Рис.3 Сравнение гидравлического сопротивления различных контактных устройств при абсорбции CO<sub>2</sub> (жидкость – 20% раствор ДЭА, газ – N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub>).



а – П=20 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч; б – П=40 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч; в – П=60 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч; г – П=80 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч; д – П=100 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>ч

Рис. 5. Зависимость гидравлического сопротивления слоя турбулентной насадки от скорости газовой фазы при абсорбции CO<sub>2</sub> (жидкость – 20% раствор ДЭА, газ – N<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub>).





## РЕКТИФИКАЦИЯ ЖИДКОСТЕЙ И СЖИЖЕННЫХ ГАЗОВ

Ректификация – это тепло- и массообменный процесс разделения на фракции многокомпонентной жидкой смеси. Ректификация широко используется для разделения компонентов нефти, получения пищевого и технического спирта, разделения воздуха и получения технических газов, в т.ч. мономеров полиэтилена, синтетического каучука и т.д.

Разделяемая смесь испаряется, а затем поступает в ректификационную колонну. Достигая ее верха, пар орошается сконденсированным наиболее легко кипящим компонентом, и жидкость движется вниз. В результате этого формируется противоточное движение пара и жидкости. При этом движущийся вверх пар обогащается легко кипящими компонентами, а движущаяся вниз жидкость – тяжелыми. Выходящий сверху колонны пар конденсируется и часть его возвращается для орошения колонны. Флегмовое число – отношение количества возвращенного материала к отделяемому как конечный продукт, – является важнейшим параметром оценки эффективности колонны и в конечном итоге – ее экономической эффективности, т.к. показывает, сколько раз необходимо нагреть смесь от температуры конденсации до температуры пара на входе в колонну. Чем ближе температуры кипения разделяемых компонентов и ниже эффективность колонны, тем выше флегмовое число и расход энергии, и наоборот.

Эффективность процесса ректификации зависит от интенсивности тепло- и массообменных процессов в единице объема аппарата. А сама интенсивность процесса ректификации зависит от величины удельной поверхности массообмена ( $m^2/m^3$  объема колонн) и значений коэффициентов тепло- и массопередачи.

Эффективность массопереноса всех существующих моделей ректификационных колонн – как тарельчатого, так и насадочного типа – ограничена низкой скоростью стекания жидкой фазы. ТН обеспечивает более высокие скорости газовой и жидкой фаз, что увеличивает коэффициенты массопереноса и уменьшает высоту единицы переноса.

В Таблице 2 приведено сравнение размеров тарельчатой ректификационной колонны и колонны с ТН той же эффективности и производительности для выделения товарного метанола из его смеси с этанолом и водой. Данные получены на стенде НТЦ РКП.

## АБСОРБЦИЯ ГАЗОВ ЖИДКОСТЯМИ

Абсорбция – процесс поглощения жидкостью одного или нескольких газов из их смеси, при этом разделяют физическую абсорбцию, когда целевой компонент просто растворяется в орошающей жидкости, и химическую, когда процесс сопровождается химической реакцией с ее компонентами. Абсорбция является ключевым процессом в тоннажном производстве основных неорганических кислот ( $HCl$ ,  $HNO_3$ ,  $H_2SO_4$ , и т.д.), очистке и кондиционировании природного газа, воздуха и т.д.

По сравнению с существующим оборудованием, предлагаемая пакетная вихревая насадка отличается от всех известных внутренних массообменных устройств высокими оптимальными скоростями течения газа, малыми высотами единиц переноса и малым гидравлическим сопротивлением при различных нагрузках по жидкости и газу, что наглядно показано в Таблице 3. Экспериментальное тестирование и сравнение с литературными данными выполнено в группе д.т.н., проф. В. Н. Блиничева, Ивановский ХТУ.

При использовании ТН процессы физической и химической абсорбции могут проводиться при плотностях орошения до  $100 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ , при этом лучшие зарубежные насадки допускают плотности орошения не выше  $20 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ .

В Таблице 4 приведено сравнение размеров колонн абсорбции углекислого и сернистого газа из воздуха для ТН и колонны с колпачковыми тарелками одинаковой эффективности и производительности. Данные получены на испытательном стенде НИЦ РКП.

ПАРАМЕТР	КОЛОННА С КОЛПАЧКОВЫМИ ТАРЕЛКАМИ	КОЛОННА С ТН
Диаметр, мм	350	150
Высота, м	18	6
Рабочий объем, $m^3$	1.5	0.1

ПАРАМЕТР	КОЛПАЧКОВО-ТАРЕЛЬЧАТАЯ НАСАДКА	ПАКЕТНАЯ НАСАДКА	ТН
Производительность по газу	1	1.8	5.0
Высота единицы переноса	1	0.3-0.7	0.2-0.3
Гидравлическое сопротивление насадочного слоя	1	0.1-0.25	0.05-0.2

ПАРАМЕТР	КОЛОННА С КОЛПАЧКОВЫМИ ТАРЕЛКАМИ	ТН
Диаметр, мм	220	100
$CO_2^a$ Высота, м	20	6
Рабочий объем, $m^3$	0.75	0.05
Диаметр, мм	220	100
$SO_2^b$ Высота, м	18	6
Рабочий объем, $m^3$	0.7	0.05

## ДЕСОРБЦИЯ РАСТВОРЕННЫХ ГАЗОВ ИЗ ЖИДКОСТЕЙ

Десорбция является процессом обратным абсорбции. Как правило, десорбция реализуется путем нагрева рабочего раствора абсорбции, т.к. растворимость газов при нагреве сильно уменьшается. Таким образом, можно отделять и концентрировать сернистый и углекислый газ из, например, отходящих топочных газов. Другое крупнотоннажное применение десорбции относится к приготовлению котельных вод в энергетике и приготовлению нефти к транспортировке и переработке. В первом случае процедура направлена на удаление растворенного кислорода и кислых газов, так как они вызывают коррозию оборудования. Во втором – на удаление попутных углеводородных газов, а также углекислоты, сероводорода и легких меркаптанов, которые, помимо корродирующего эффекта, существенно осложняют последующую переработку и вызывают множество проблем экологического плана.

Все ранее изложенные закономерности относительно применения ТН работают для десорбции в полной мере. Существенно более высокая интенсивность массопереноса позволяет достичь требуемой эффективности в аппаратах пропорционально меньшего размера (в 6-8 раз).

**Таблица 2.**

Размеры колонн ректификации для выделения товарного метанола

(Производительность установок 500-800 т/год)

**Таблица 3.**

Сравнение средних параметров абсорбции газов для колонн с турбулентной насадкой, тарельчатой насадкой и обычной пакетной насадкой

(Параметры колонн с пакетными насадками выражены коэффициентами относительно средних значений для колонн с колпачково-тарельчатой насадкой)

**Таблица 4.**

Химическая абсорбция  $CO_2$  и  $SO_2$  диэтаноломином в колоннах с колпачковыми тарелками и турбулентной насадкой

Производительность установок  $140 \text{ м}^3/\text{ч}$ .  
а) Начальная концентрация углекислого газа в воздухе – 12 %, конечная – 0.01 %.  
б) Начальная концентрация сернистого газа в воздухе – 6 %, конечная  $\leq 0.05$  (ниже ПДК =  $10 \text{ мг}/\text{м}^3$ )

ТУРБУЛЕНТНАЯ НАСАДКА В ПРИЛОЖЕНИИ К РАЗЛИЧНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ЗАДАЧАМ



**Таблица 5.**  
Десорбция кислорода аппарате с турбулентной насадкой

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПО ВОДЕ, М <sup>3</sup> /Ч	РАСХОД ПАРА, КГ/Ч	ОСТАТОЧНОЕ СОДЕРЖАНИЕ КИСЛОРОДА В ВОДЕ, МГ/КГ	КОНЕЧНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ВОДЫ, °С
600	60	0.35	93
850	75	0.35	96
1000	90	0.35	95
1450	120	0.35	96

Диаметр насадки – 200 мм, высота – 375 мм

**Таблица 6.**

Десорбция углекислого газа из воды

Производительность по жидкости – 500-800 кг/ч. Начальное содержание CO<sub>2</sub> – 0.5%, конечное – 0.1 %.

ПАРАМЕТР	КОЛОННА С КОЛПАЧКОВОЙ НАСАДКОЙ	ТН
Диаметр, мм	250	100
Высота, м	18	3.5
Рабочий объем, м <sup>3</sup>	0.85	0.03

В Таблице 5 приведены данные испытания пилотной установки десорбции растворенного кислорода. Процесс осуществляется путем нагрева жидкости острым паром до температур около точки кипения. Данные получены на испытательном стенде НТЦ РКП. Испытания показали, что остаточное содержание кислорода составляет 2-3 мг/кг, т.е. существенно ниже по сравнению с тем, что может быть достигнуто в применяемых в настоящее время струйно-барботажных десорберах (5-8 мг/кг). Применение ТН позволяет не только уменьшить размеры аппарата и эксплуатационные расходы, но и уменьшить расход химических агентов для удаления остаточного кислорода после стадии физической десорбции.

В Таблице 6 приведены размеры колонны десорбции CO<sub>2</sub> из водного диэтанолamina при нагреве с ТН насадкой по сравнению с колонной с колпачковыми насадками той же производительности и эффективности.

## ВЛАЖНОЕ ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЕ

Обеспечивая высокую эффективность обмена между жидкой и газовой фазами, насадка ТН имеет богатые перспективы применения для влажного улавливания пыли. Влажная пылеочистка газов применяется при:

- Решении задачи комплексной очистки воздуха как от пыли, так и от вредных газов.
- Очистке воздуха от тонкодисперсной пыли с размерами частиц менее 2 микрон.
- Одновременном пылеулавливании и резком снижении температуры воздуха или реакционных газов за счет частичного испарения и последующей конденсации жидкой улавливающей фазы, в качестве которой чаще всего используется вода.

- Применяемое в настоящее время оборудование для мокрого пылеулавливания подразделяется на 3 группы:
- колонные аппараты с тарелками и разнообразными насадками,
- пенные аппараты,
- высокоскоростные газопромыватели (ротоклоны, аппараты Вентури).

Из аппаратов в первой группе наиболее часто используются аппараты с псевдооживленной насадкой полых шаров, в которых улавливание пыли осуществляется не только на смоченной поверхности «кипящих» шаров, но также и на каплях, образующихся в псевдооживленном слое. Недостатком технологии является низкая эффективность очистки, громоздкость и высокое гидравлическое сопротивление аппаратов.

Пенные аппараты применяются сравнительно редко, так как устойчиво они работают только при сравнительно узком диапазоне линейных скоростей газа 1-1.5 м/с.

Высокоскоростные газопромыватели типа Вентури применяются наиболее часто в настоящее время. Они работают при высоких скоростях газа от 25 до 200 м/с, однако, обладают высоким гидравлическим сопротивлением (до 250 кПа) и не допускают случайного или преднамеренного изменения режима орошения. При их использовании возникает проблема улавливания капель жидкой фазы, которые обильно образуются и уносятся с потоком газа. Чтобы избежать износа оборудования, допустимое содержание твердых частиц в жидкости очень мало, и поэтому требуется высокий расход орошающей жидкости на единицу объема газа.

Применение насадки ТН для пылеулавливания представляет следующие преимущества:

**Таблица 7.** Эффективность улавливания пыли каолина

Производительность по жидкости – 500-800 кг/ч. Начальное содержание CO<sub>2</sub> – 0.5 %, конечное – 0.1 %.

ТИП АППАРАТА	ЭФФЕКТИВНОСТЬ УЛАВЛИВАНИЯ, %	СКОРОСТЬ ГАЗА, М/С	ДИАМЕТР ЧАСТИЦ ПЫЛИ, МКМ	ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ, ПА	ВЫСОТА СЛОЯ, ММ
Аппарат с турбулентной насадкой	99,8	3-5,5	5	650	800
	99,0		3		
	92,0		2		
	85,0		1		
Аппарат с псевдооживленным слоем	99,0	3	5	750	800
	97,0		3		
	78,0		2		
	50,0		1		
Аппарат типа «Ротоклон»	20,0	25	5	2500	800
	11,0		3		
	3,0		2		
	1,2		1		

- Высокая эффективность пылеулавливания при малых размерах аппаратов,
- низкое гидравлическое сопротивление насадки,
- устойчивость работы в широком диапазоне скоростей потоков жидкости и газа,
- отсутствие проблемы улавливания диспергированных капель,
- однородность орошения газа,
- Высокая производительность по очищаемому газу, возможность создания дисперсий до 30 % по массе уменьшает расход орошающей жидкости и облегчает удаление или, в случае ценных компонентов, извлечение твердого вещества простым осаждением или фильтрованием.

В Таблице 7 представлены сравнительные данные по улавливанию пыли каолина в аппаратах с турбулентной насадкой, с псевдооживленным слоем инертных шаров и в газопромывателе типа «Ротоклон». Испытания выполнены в группе дтн, проф. В. Н. Блиничева на базе Ивановского ХТУ.

Аппараты с ТН оказались эффективными для улавливания пыли веществ различной гидрофильности – от легко смачиваемых талька и каолина до сажи.

По сравнению с методами сухой пылеочистки, влажная пылеочистка с ТН представляет следующие преимущества:

- возможность улавливания частиц размером порядка 2 микрон,
- низкий уровень шума,
- обычно единственный расходный материал установки – вода. Отработанная жидкость легко утилизируется.

Для аппаратов с ТН и псевдооживленным слоем эффективность относится к единичному слою

## КОНДЕНСАЦИЯ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ

Насадка ТН может быть использована для эффективной конденсации низкоэнергетических паров с получением горячей воды в диапазоне температур 98-99.5 °С.

## КАПЛЕУЛАВЛИВАНИЕ

Как отмечалось выше, насадка ТН обладает высокими сепарирующими свойствами в отношении мелких капель жидкой фазы. Они часто образуются в ходе массообменных процессов жидкость-газ и, вместе с коэффициентами переноса, являются ответственными за увеличение эффективной высоты теоретической тарелки при увеличении потока газа. Применение ТН в качестве каплеотбойной насадки существующих контактных устройств может существенно повышать эффективность массообменных процессов.

Кроме того, проблема улавливания капель жидкости остро стоит в современных устройствах влажной очистки газов, таких, как трубы Вентури и т.д. При этом существующие фильтры требуют пропорционального увеличения мощности насосного оборудования из-за возросшего гидравлического сопротивления. Для аппаратов этого типа ТН может служить удобным фильтрующим элементом улавливания капель/тумана.

## ЖИДКОСТЬ-ЖИДКОСТЬ ОБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Представляется перспективным использование насадки ТН для решения задач взаимодействия жидкость-жидкость: смешения жидкостей, эмульгирования и экстракции. Приглашаем заинтересованные организации к сотрудничеству в этой области.





Энергоаудит потребителей топливно-энергетических ресурсов представляет собой техническое инспектирование энергогенерирования и энергоиспользования на обследуемом объекте в целях определения возможной экономии энергии и выработки предложений для её достижения.

Главной целью энергоаудита является комплексный анализ всех энергетических систем объекта для определения потенциала энергосбережения и выявления основных направлений его реализации, а также для разработки мероприятий и технических решений, позволяющих снизить энергопотребление и, как следствие, финансовые затраты на оплату топливно-энергетических ресурсов.

Правовая и нормативная базы энергосбережения федерального, регионального и муниципального уровней предусматривают шесть видов энергетических обследований организаций:

- предпусковое (предэксплуатационное)
- первичное
- периодическое (повторное)
- внеочередное
- локальное
- экспресс-обследование

Энергетические обследования проводятся в соответствии с Федеральным законом от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Энергетические обследования организаций проводятся в рамках программы повышения энергосбережения и энергетической эффективности инфраструктуры в целом, снижения издержек и уменьшения выбросов парниковых газов. Закон об энергосбережении и повышении энергетической эффективности устанавливает обязательное энергетическое обследование организаций и предприятий для следующих лиц:

- органы государственной власти, органы местного самоуправления;
- организации с участием государства или муниципального образования;
- организации, осуществляющие регулируемые виды деятельности;
- организации, осуществляющие добычу, производство, переработку или транспортировку воды, газа, энергии, нефти, угля, нефтепродуктов;
- организации, совокупные затраты которых на потребление энергии превышают десять миллионов рублей в год;
- организации, финансируемые за счет средств федерального бюджета, субъектов Российской Федерации или местных бюджетов.

Для перечисленных лиц закон об энергосбережении и энергоэффективности требует провести энергетическое обследование зданий, предприятий и организаций в срок до 31 декабря 2012 года с последующим проведением периодического энергетического обследования не реже одного раза каждые пять лет.

С 1 января 2010 года каждое бюджетное учреждение обязано обеспечивать снижение объема потребленных им ресурсов (воды, энергоносителей, электрической энергии) в течение пяти лет не менее чем на 15% от объема потребления в 2009 году с ежегодным снижением объема потребления не менее чем на 3%.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ СОСТОИТ ИЗ СЛЕДУЮЩИХ ЭТАПОВ:

## 1. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП

- 1.1 Разработка и заполнение опросных форм
- 1.2 Определение стоимости
- 1.3 Разработка технического задания
- 1.4 Заключение договора

## 2. ЭТАП ПРОВЕДЕНИЯ ЭНЕРГОАУДИТА

- 2.1 Документальный
- 2.2 Инструментальный

## 3. ЭТАП АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ

- 3.1 Показатели энергоэффективности
- 3.2 Потенциал энергосбережения
- 3.3 Энергосберегающие мероприятия
- 3.4 Отчёт
- 3.5 Энергетический паспорт

По окончании энергоаудита заказчику предоставляются следующие материалы:

1. Энергетический паспорт;
2. Отчёт об энергетическом обследовании;
3. Программа энергосберегающих мероприятий;
4. Отчёт о результатах тепловизионного обследования;

Сотрудники ОАО «ЛИТ-ИНЖИНИРИНГ» - это сплочённый высококвалифицированный коллектив, способный качественно выполнять поставленные задачи в кратчайшие сроки. Специалисты, проводящие энергоаудит, обладают рядом необходимых навыков: знанием наиболее распространённых технологий, принципов работы и схемных решений основного энергопотребляющего и энергогенерирующего оборудования (котлов, турбин, рекуперативных, регенеративных и смешительных теплообменных аппаратов, систем отопления, вентиляции и кондиционирования), знанием сетей, устройств и характеристик систем электроснабжения, опытом проведения всех необходимых инструментальных измерений, умением проводить расчёты энергетических балансов предприятий и отдельных потребителей, а также выполнять поверочные и конструктивные расчёты энергетического оборудования. Особое внимание уделяется внедрению новейших технологий, разрабатываемых для экономии топливно-энергетических ресурсов.

Одно из важных направлений деятельности компании в сфере энергосбережения – разработка проектов малых теплоэлектростанций для энергоснабжения предприятий, малых городов, городских и сельских районов.

Комплексный учет потребностей заказчиков, учет всех условий ввода электро- и теплогенерирующих мощностей высокого качества и надежности на основе самых современных технических решений российских и мировых производителей энергетического оборудования, является нашим непреложным правилом.

ОАО «ЛИТ-ИНЖИНИРИНГ» располагает полным парком портативных контрольно-измерительных приборов для проведения энергетических обследований, а также персоналом, имеющим большой опыт проведения необходимых измерений. Все приборы внесены в Государственный Реестр Средств измерений РФ согласно Техническим регламентам и соответствуют методам измерения и контроля всех Государственных стандартов.

Результаты работы наших специалистов позволяют предприятию получить наглядную фактическую картину энергообеспечения производства, экспертную оценку потенциала энергосбережения и основные его направления. По желанию Заказчика после проведения энергетического обследования возможно составление энергосервисного контракта, а также реализация предложенных мероприятий.

ОАО «ЛИТ-ИНЖИНИРИНГ», в сотрудничестве с финансовыми организациями предлагает к реализации энергосберегающие проекты, разработанные при проведении энергоаудита на условиях энергосервисных контрактов. Наша компания финансирует проведение энергетических обследований и реализации мероприятий, направленных на энергосбережение, за счёт собственных средств, после чего компания контролирует и верифицирует объем реальной экономии и фиксирует его с Заказчиком. Полученная экономия делится с Заказчиком в определенной пропорции в течение оговоренного срока. Одна часть сэкономленных средств идет на возврат инвестиций, другая часть выплачивается в виде премии за достижение установленных показателей экономии непосредственно Заказчику. Ежемесячный размер платежа должен быть меньше, чем размер ежемесячной экономии. Это делается для достижения положительного финансового потока (кэш-флоу) на весь период реализации проекта (обычно длится от 24 до 60 месяцев).

Наша компания заинтересована в плодотворном долгосрочном сотрудничестве, в связи с чем каждому заказчику компании ОАО «ЛИТ-ИНЖИНИРИНГ» предоставляется индивидуальный подход и гибкая система скидок.





РОСКОСМОС



ФКП НИЦ РКП  
Научно-испытательный центр  
ракетно-космической  
промышленности



ИВАНОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ



РН-ЮГАНСКНЕФТЕГАЗ»



ОО «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ КАЗАНЬ».



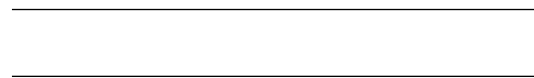
МОСКОВСКАЯ ГОСУДАР-  
СТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ ТОН-  
КОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛО-  
ГИИ ИМ.М.В. ЛОМОНОСОВА



МГТУ им. Н.Э. БАУМАНА



LIT ENGINEERING



117997, МОСКВА,  
Телефон: +7-495-5049150  
[www.lit-eng.ru](http://www.lit-eng.ru)  
[info@lit-eng.ru](mailto:info@lit-eng.ru)



LIT ENGINEERING