

## ПОГРУЖНЫЕ ЛОПАСТНЫЕ НАСОСЫ: ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК НА ГАЗОЖИДКОСТНЫХ СМЕСЯХ



### АЛЕКСАНДР ДРОЗДОВ

Член Экспертного совета по механизированной добыче нефти, профессор РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина (по материалам 11-го Сопещения Экспертного совета по механизированной добыче нефти)

Одним из основных осложняющих факторов при эксплуатации скважин является высокое содержание свободного газа в откачиваемой продукции на приеме погружного насоса. В значительной мере это связано с технической политикой интенсификации добычи нефти, проводимой ведущими российскими нефтяными компаниями. При интенсификации забойные давления существенно снижаются по сравнению с давлениями насыщения, что приводит к выделению из нефти свободного газа уже в призабойных зонах скважин.

Страх перед так называемым вредным влиянием свободного газа на работу ЭЦН во многих случаях настолько велик, что нефтяники зачастую применяют различные средства борьбы с газом даже там, где в них нет никакой необходимости. Это приводит к затратам на приобретение ненужного оборудования, к таким тяжелым авариям, как обрывы установок ЭЦН по телу газосепаратора и полеты на забой, к дополнительному расходу электроэнергии и т.д. Поэтому актуальность совершенствования исследований характеристик погружных центробежных насосов при откачке газожидкостных смесей очевидна.

**В**первые исследования влияния свободного газа на характеристику центробежных насосов были начаты в 20-х годах прошлого века. При этом было установлено, что при небольших газосодержаниях регулирование центробежного насоса с помощью подачи определенного количества свободного газа на прием является более экономичным методом, чем регулирование с помощью вентиля или задвижки на выходе из центробежного насоса. Однако при более высоких газосодержаниях наблюдалось снижение рабочих параметров насоса вплоть до срыва подачи.

Широкое внедрение погружных центробежных насосов на нефтяных промыслах вызвало, соответственно, и серьезный рост исследований влияния свободного газа на характеристику ЭЦН.

### Последние достижения

Среди достижений XXI века в данной области нужно, в первую очередь, отметить развитие эффективных газосепараторов, диспергаторов, газосепараторов-диспергаторов, насосов специальных конструкций и мультифазных насосов.

Из самых последних достижений наибольшее впечатление производит создание уникальных стендов, позволяющих проводить исследования характеристик ЭЦН с достаточно большим приближением к реальным скважинным условиям.

На прошедшей в сентябре прошлого года во Флоренции ежегодной конференции Общества инженеров-нефтяников представители Shell и Baker Hughes докладывали о новом стенде для исследования характеристик ЭЦН, совместно созданном данными компаниями в Южном Техасе в период с 2005-го по 2010 год.

**Рустам КАМАЛЕТДИНОВ**, координатор Экспертного совета по механизированной добыче нефти:

Все-таки, что делать бедному нефтянику? Сначала мы выяснили, что не все электродвигатели испытываются на сертифицированных стендах. Потом прозвучали новые для нефтяников термины. А, в конце концов, вы «добили» нас тем, что некоторые испытания, тех же газосепараторов, не совсем корректны. Как нам подбирать оборудование, как эксплуатировать?

**А.Д.:** Недостаточные характеристики оборудования неизбежно придется получать на стендах при более полном моделировании, при более высоких давлениях у входа и при соответствии свойств перекачиваемого флюида параметрам скважинной продукции.

К сожалению, нефтяники действительно бедные, и вот такие проекты они, вследствие своей бедности, как-то не очень охотно финансируют. Тут мы надеемся на поддержку государства и заводов-изготовителей. Но мы, конечно, открыты для любых деловых предложений по участию в этой работе со стороны нефтяников и с удовольствием их рассмотрим.

Возможна организация какого-то консорциума и другие формы взаимодействия. Поскольку нефтяники в первую очередь заинтересованы в установлении истины, в том, чтобы получать на стендах фактические характеристики оборудования, а не просто спускать установки в скважины и нести при этом довольно большие затраты, я думаю, что нефтяные компании, несмотря на ряд трудностей, все-таки к работам в данном направлении тоже присоединятся, и мы сможем провести совместные исследования.

**Николай КУЗЬМИЧЕВ**, директор ООО «Нефть XXI век»:

В последнее время начало широко применяться компьютерное моделирование различных физических процессов, в том числе и гидродинамических. Совершенствуется техника, появляются все более производительные рабочие станции, совершенствуется программное обеспечение, повышается точность подобных моделей.

Хотелось бы узнать ваше отношение к результатам, полученным подобным способом, и услышать также ваше мнение о том, насколько подобное моделирование может заменить натурные эксперименты.

**А.Д.:** Конечно, мое отношение положительное, я это направление поддерживаю и считаю, что в будущем оно будет применяться более широко. Но пока, несмотря на быстродействие и все симпатичные картинки, которые там получаются, математические модели, применяемые в компьютерном моделировании, видимо, учитывают не все. Не всегда удается обеспечить соответствие расчетных и фактических параметров.

Шарифжан Рахимович (Агеев, член Экспертного совета по механизированной добыче нефти, заместитель генерального директора по науке ОАО «ОКБ БН КОННАС»), помните, вы тестировали одну из таких компьютерных математических моделей? Автор разработал эту модель и привел результаты — прекрасное совпадение расчетных и фактических параметров.

И тогда Шарифжан Рахимович дал разработчику таблицу, в которой были указаны конструктивные параметры ступени, которую он сам разработал. И на основе этих конструктивных параметров модель выдала напорную характеристику и коэффициент полезного действия. Так вот, расчетный КПД был 40%, а фактический — примерно 60%.

То есть, у каждой компьютерной модели есть свои ограничения, своя область применения. В некоторых случаях они дают прекрасные результаты, а в некоторых — вместо 60%-ного КПД дают всего 40%, и в чем там дело — понять трудно. Модель — это своего рода «черный ящик», в отличие от традиционных методов.

**Владимир ИВАНОВСКИЙ**, член Экспертного совета по механизированной добыче нефти, профессор РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина:

Мне нужно выступить, поскольку именно в мой огород был брошен маленький такой кирпич — в докладе были ссылки, в частности, и на мои публикации.

Во-первых, должен сказать, что испытания упомянутых ступеней (ЭЦН5-50 и новой ступени с открытым рабочим колесом) проводились на одном и том же стенде, и, естественно, испытывалось не по одной ступени, а их сборки — по 5 ступеней. Поэтому можно было сравнить, как работает одна конструкция и как работает другая в одних и тех же условиях. Количество ступеней тоже, естественно, можно показать в статье, но все, кто хотел это узнать, уже это узнали. Вы могли сами увидеть и указанный стенд, и сами сборки ступеней (обычно — 5 ступеней), поскольку наши лаборатории находятся рядом. И, соответственно, если вы хотите повторить эти эксперименты — стенд на месте, пожалуйста, все можно повторить.

Кстати, в одной из статей в 2008 году мы с Ю.А.Сазоновым написали, что некорректно использовать стандартную методику при испытании сборки ступеней на стенде, если используется газожидкостная смесь. Да и вообще в моей статье «Наука и/или жизнь» было сказано, что результаты лабораторных и стендовых испытаний не могут быть перенесены на промышленные условия, а могут лишь дать ответ на то, какая конструкция лучше работает именно в стендовых, модельных условиях.

Что касается математической модели Ю.Сазонова, о которой вы только что сказали, действительно, на одной из конструкций ступени, о которой Шарифжан Рахимович сказал, что «она хитрая, потому что она сама у меня получилась неизвестно как именно с таким КПД», данная модель дала неудовлетворительный результат.

Но той методикой, которую разработал Ю.Сазонов, сегодня успешно пользуются, например, вентиляторщики. Да, это не насос — это вентилятор центробежного типа, но там сходимость 98%. Поэтому, когда мы говорим о каких-то положительных и отрицательных результатах, надо, наверное, не просто выхватывать какой-то единичный, отрицательный случай, а нужно оценивать процент успешности применения этой модели или методики в целом. И, может быть, лучше говорить не об ошибках и заблуждениях, а том, что не всегда результаты, полученные другими авторами, правильно воспринимаются некоторыми учеными?

**Шарифжан АГЕЕВ**, член Экспертного совета по механизированной добыче нефти, заместитель генерального директора по науке ОАО «ОКБ БН КОННАС»:

Действительно, расчетные методы сейчас набирают большую силу. Но в расчетах очень многое зависит от того, какие исходные данные закладываются в модель. Пока еще, конечно, не все учитывается. Но я думаю, что через несколько лет этап совершенствования моделей будет пройден и, наверное, расчетные методы станут более точными.

Они рассказали о том, что на этом уникальном стенде можно проводить исследования на маловязкой и на высоковязкой нефти, можно и газ добавлять. Пока еще в качестве модели газа используется азот, но в целом все очень серьезно. Стендовое хозяйство оборудовано так, что это просто мечта ученого. Такие стенды позволяют получать очень интересные характеристики, и на той конференции были представлены очень интересные данные по гидродинамике и термодинамике. Причем данный стендовый комплекс постоянно модернизируется и обрастает новыми модулями, последний из которых был запущен в работу в сентябре 2010 года.

### Работа над ошибками

К сожалению, в последнее время в докладах на конференциях, посвященных механизированной добыче нефти, и в отраслевой прессе встречается много ошибок и заблуждений. Подчиняясь общей тенденции, допускают ошибки и представители РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина. Конечно, не ошибается тот, кто ничего не делает, но некоторую работу над ошибками нужно провести.

Например, в одной из публикаций за 2008 год (см. «Ошибки и заблуждения. Ивановский В.Н...») представлены характеристики в координатах «напор» и «подача» на газожидкостной смеси. Это характеристики ступени ЭЦН5-50 и

новой ступени с открытым рабочим колесом при разном свободном газосодержании на приеме насоса. Но при этом не известно, что такое напор и подача на графиках — подача жидкости или подача смеси? Не понятно, какая величина плотности была использована при расчете напора, ведь плотность газожидкостной смеси меньше, чем плотность жидкости. Нет также сведений о типе смеси, дисперсности, о давлении на входе, то есть о тех параметрах, которые определяют эффективность откачки. Характеристики даны для одной ступени, хотя явно были испытаны сборки. Одна ступень погружного насоса при таких газосодержаниях, конечно же, работать не будет, и таких показателей она не обеспечит.



### Всероссийский налоговый практикум для нефтегазовых компаний

22 июня 2011 года Семинар-консультация  
**«НДПИ с нефти и газа»**

23 июня 2011 года Семинар-консультация  
**«Сложные вопросы налогообложения нефтяных и газовых компаний»**

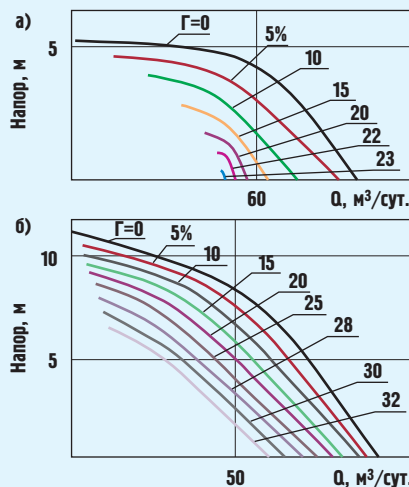
24 июня 2011 года Семинар-консультация  
**«Налогообложение скважин: новая практика и рекомендации»**



НОУ «Школа «ПравоТЭК»  
115054 Москва, ул. Зацепы, 23.  
Тел. (499) 235-4788, 235-25-49.  
Факс: (499) 235-23-61.  
E-mail: [order@oilgaslaw.ru](mailto:order@oilgaslaw.ru);  
<http://school.lawtek.ru/>.

### Приглашенные докладчики

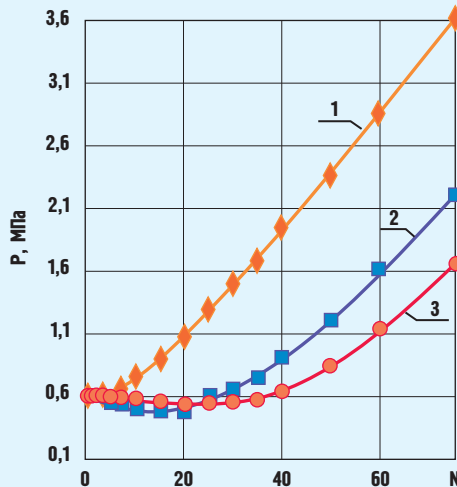
**Бабкин А.И.**, судья Высшего Арбитражного суда РФ  
**Дунов А.Г.**, ведущий юрист юридической компании «Пепеляев Групп»  
**Заусалин М.А.**, старший юрист юридической компании «Пепеляев Групп»  
**Колесник М.А.**, к.э.н., старший консультант по вопросам налогообложения компании «КПМГ»  
**Коломейцева В.П.**, ст. юрист юридической компании «Пепеляев Групп»  
**Никонов А.А.**, партнер юридической компании «Пепеляев Групп»  
**Савсерис С.В.**, к.ю.н., партнер, руководитель группы налоговой практики «Пепеляев Групп»  
**Сурugin Д.Н.**, к.ю.н., главный специалист Судебного департамента ОАО «ТНК-ВР Менеджмент»  
**Шопалов С.Ю.**, партнер юридической компании «Налоговая помощь»  
**Федоров А.В.**, генеральный директор ООО КИП «МЦФ»  
**Юмаев М.М.**, к.э.н., начальник отдела налогов и доходов от использования природных ресурсов Департамента налоговой и таможенно-тарифной политики Минфина России



Характеристики стандартной ступени ЭЦН5-50 (а) и новой ступени с открытым рабочим колесом (б) при разном свободном газосодержании  $\Gamma$  на приеме насоса

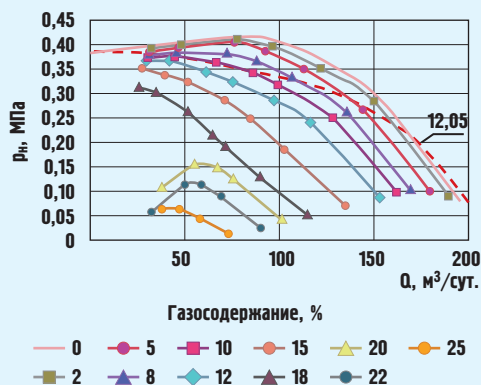
Неизвестно, что такое напор и подача на графиках. Нет сведений о типе смеси, дисперсности, о давлении на входе. Характеристики даны для одной ступени, хотя явно были испытаны сборки.

Поскольку распределение давления по длине многоступенчатого ЭЦН при откачке ГЖС нелинейно, приводить характеристики одной ступени некорректно и ошибочно.



1 —  $Q_{ж}=0,83$  л/с,  $\beta_{вх}=25,7\%$ ;  
2 —  $Q_{ж}=0,83$  л/с,  $\beta_{вх}=37,1\%$ ;  
3 —  $Q_{ж}=0,50$  л/с,  $\beta_{вх}=53,2\%$ ;

Ивановский В.Н. «Анализ перспектив развития центробежных насосных установок для добычи нефти» — «Нефтяное хозяйство», 2008, №4, с. 64–67

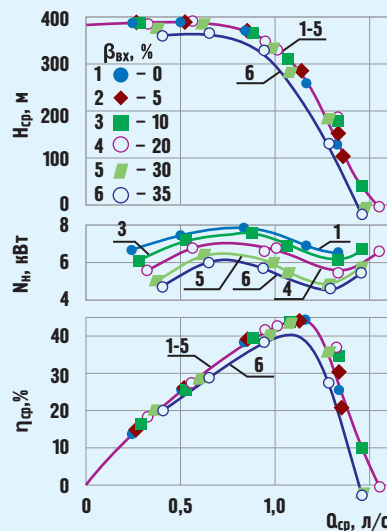


Характеристики насоса ЭЦН-125, оснащенного лабиринтовинтовым диспергатором при различном газосодержании (красная пунктирная линия с индексом «12,05» соответствует характеристике насоса ЭЦН5-125 без диспергатора)

Не указано число ступеней в насосе. Давление у входа было атмосферным. Не указан тип ГЖС, нет замеров дисперсности. Газ подавали через три отверстия диаметром 3 мм.

При входном газосодержании 25% сборка ступеней с диспергатором испытывает сильнейшее влияние газа, однако в статье делаются выводы о преимуществах данного диспергатора.

Среднеинтегральные характеристики насоса ЭЦН5-80 на смеси «вода-ПАВ-газ» при  $P_{вх}=3,1$  МПа,  $d_{пр}=6$  мм. Вредного влияния газа нет до  $\beta_{вх}=30\%$ .



Мохов М.А., Цуневский у А.Я. «Исследования диспергатора МНД01-250 в компоновке с электроцентробежным насосом в осложнённых условиях» — «Нефтяное хозяйство», 2009, №6, с. 82–84

Справа показано распределение давления по длине погружного центробежного насоса. Видно, что оно изменяется нелинейно, а на некоторых режимах давление даже падает и только потом начинает расти. При таком распределении давления приводить характеристики одной ступени просто некорректно и ошибочно. Все ступени работают в разных режимах, одни — в режиме гидравлического сопротивления, другие — в насосном режиме. Одни развивают меньшее давление, другие — большее. И поступать так же, как обычно поступают с характеристиками насоса при откачке однородной жидкости — приводят их к одной ступени, при откачке газожидкостной смеси нельзя.

В другой публикации за 2009 год (см. «Ошибки и заблуждения. Мохов.М.А...») представлены характеристики насоса ЭЦН-125, оснащенного диспергатором, при различном газосодержании. Штриховая линия соответствует характеристике насоса ЭЦН5-125 без диспергатора. Опять не указано число ступеней в насосе, хотя здесь уже приведены характеристики не на одну ступень, а давление всей сборки, и указано, что подача по жидкости. Давление у входа было атмосферным, то есть в этих условиях наблюдалось наиболее сильное вредное влияние свободного газа. В скважинах совсем другие условия. Газ подавали через три отверстия диаметром 3 мм, то есть газ был в виде крупных пузырей, что тоже не соответствовало скважинным условиям, замеры дисперсности отсутствуют.

Интересно, что при входном газосодержании 25% сборка ступеней с диспергатором испытывает сильнейшее влияние свободного газа. Фактически, при этом она даже перестает развивать давление. Однако в статье делаются выводы о преимуществах данного диспергатора. Сравните характеристики обычного серийного насоса ЭЦН5-80, полученный на смеси «вода-ПАВ-газ» при давлении у входа 30 атм. Вредного влияния свободного газа нет практически до 30%-ного уровня входного газосодержания. Видите, какой парадокс. Насос-то

обычный работает при более высоких давлениях на газожидкостных смесях до газосодержания 30%, а с диспергатором при 25% параметры уже очень низкие.

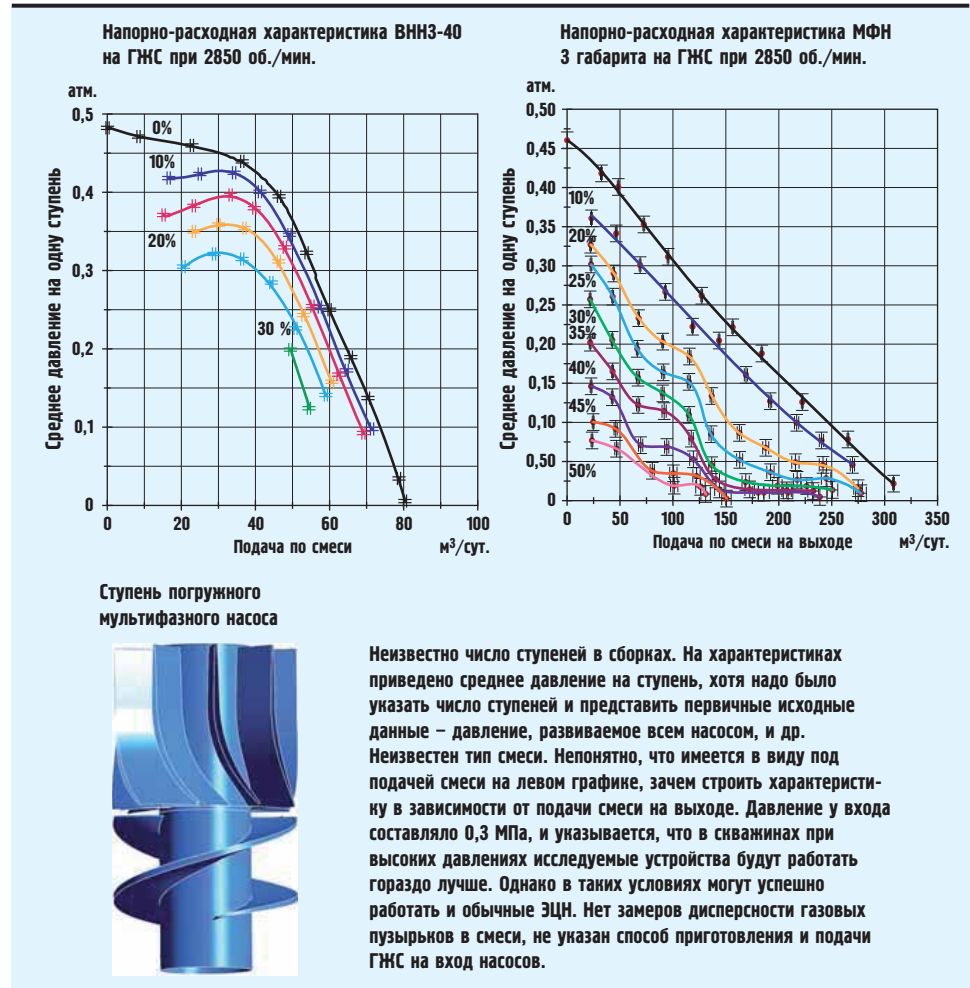
Еще в одной публикации за 2010 год (см. «Ошибки и заблуждения. Пещеренко С...») представлены напорные характеристики насоса ВНН и мультифазного насоса при откачке газожидкостных смесей. И здесь опять не известно число ступеней в сборках. В характеристике приведено среднее давление на ступень, хотя надо бы указать число ступеней, представить первичные исходные данные — давление, которое развивает весь насос, и т.д. Кроме того, неизвестен тип смеси, непонятно, что имеется в виду под подачей смеси на левом графике и зачем строить характеристику в зависимости от подачи смеси на выходе. Давление у входа составляло 0,3 МПа, и при этом указывается, что в скважинах при высоких давлениях исследуемые устройства будут работать гораздо лучше. Однако в таких условиях могут успешно работать и обычные ЭЦН, что уже было показано. Нет замеров дисперсности газовых пузырьков в смеси, не указан способ приготовления и подачи газожидкостной смеси на вход насоса.

Фактически, такие исследования проверить и воспроизвести невозможно. И это делает очень затруднительным анализ информации, представленной в данном виде.

### Нерешенные проблемы

Нужно кратко рассказать о еще не решенных проблемах в данной области, которых на самом деле полно. То, что ранее было сделано различными авторами, — исследования характеристик газосепараторов и диспергаторов на газожидкостных смесях при низких давлениях на приеме, особенно при давлениях, близких к атмосферному, нельзя использовать для построения характеристик и определения области рационального применения этих устройств в скважинах при более высоких давлениях у входа.

### Ошибки и заблуждения



Пещеренко С., Долгих А. «Области применения мультифазных насосов и газосепараторов» — «Нефтегазовая Вертикаль», 2010, №11, с. 64–67

Для того чтобы получить адекватные скважинным условиям характеристики ЭЦН, газосепараторов и диспергаторов, требуется проведение новых экспериментов при повышенных давлениях на приеме и полном моделировании на стендах реальных скважинных условий. Такой подход, конечно же, требует создания сложных стендов, высоких затрат. Эксперименты будут трудновоспроизводимыми, уникальными, но таковы закономерности развития технических систем.

В этом направлении мы работаем — есть очень серьезный комплексный проект по кооперации с «Новометом», и я надеюсь, что через год первые результаты по тем стендам, которые мы создадим в рамках этого проекта, сумеем доложить на очередной конференции «Механизованная добыча».



# IX МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА ЭНЕРГЕТИКА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ УКРАИНЫ – 2011

**20 – 22**  
**сентября 2011 г.**



**IX МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ  
ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС  
УКРАИНЫ: НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ**

## ОРГАНИЗАТОРЫ:

Министерство энергетики  
и угольной промышленности Украины  
Международный выставочный центр

- ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА
- ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ
- ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
- ЭЛЕКТРОКАБЕЛЬНАЯ ПРОДУКЦИЯ И АКСЕССУАРЫ
- АСУ ТП, КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ДИАГНОСТИКА
- ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ
- ПРОМЫШЛЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ
- ЭНЕРГЕТИКА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ
- ЭНЕРГЕТИКА НА ТРАНСПОРТЕ, В АПК
- АЛЬТЕРНАТИВНАЯ И ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА
- УГОЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ
- НЕФТЕГАЗОВАЯ И НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ
- НАСОСЫ, ТРУБЫ, АРМАТУРА

## ПРЕЗЕНТАЦИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЭК УКРАИНЫ

- СОВЕЩАНИЯ, ТЕМАТИЧЕСКИЕ "КРУГЛЫЕ СТОЛЫ",  
КОНФЕРЕНЦИИ, СЕМИНАРЫ,  
ПРЕЗЕНТАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ

## ПАТРОНАТ:

Кабинет Министров Украины  
Комитет Верховной Рады Украины по вопросам  
топливно-энергетического комплекса, ядерной  
политики и ядерной безопасности

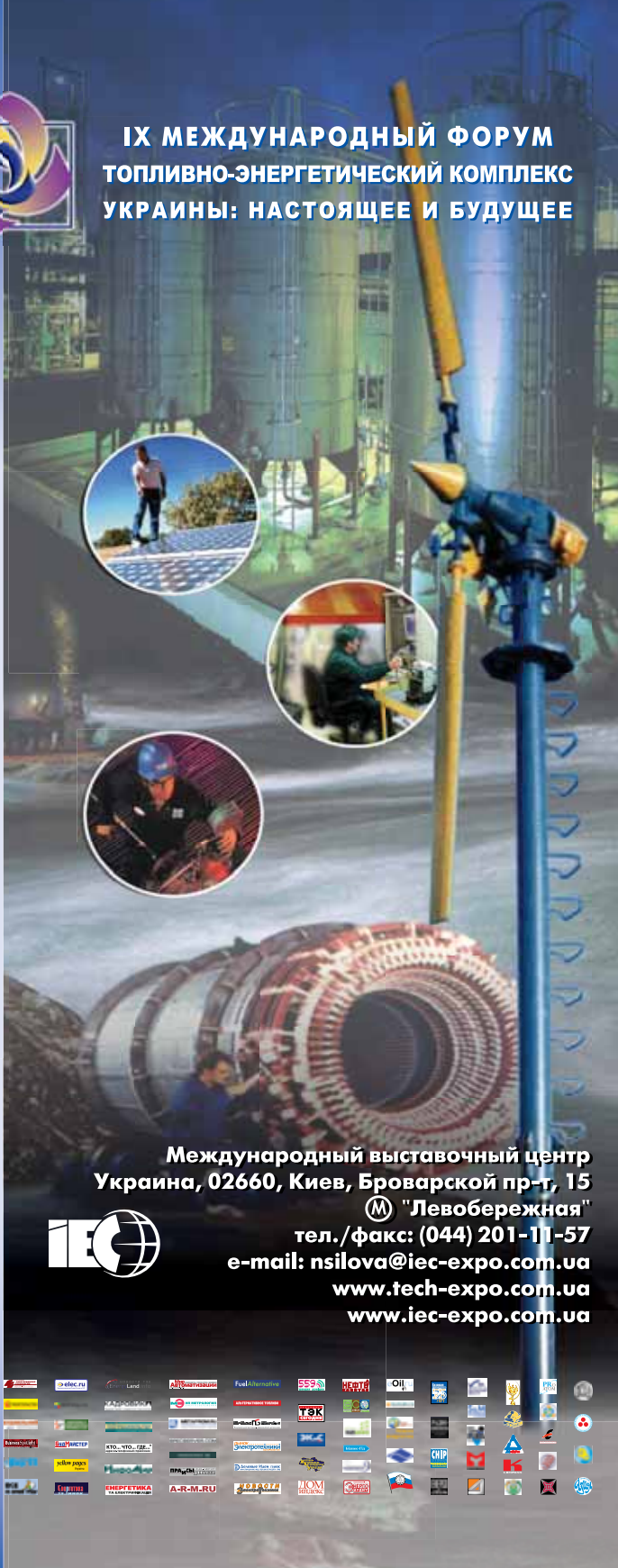
Официальное издание форума:



Технический партнер:



Информационная поддержка:



Международный выставочный центр  
Украина, 02660, Киев, Броварской пр-т, 15



"Левобережная"  
тел./факс: (044) 201-11-57  
e-mail: [nsilova@iec-expo.com.ua](mailto:nsilova@iec-expo.com.ua)  
[www.tech-expo.com.ua](http://www.tech-expo.com.ua)  
[www.iec-expo.com.ua](http://www.iec-expo.com.ua)

