

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

# ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ

ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОГО  
КОМПЛЕКСА

EQUIPMENT AND TECHNOLOGIES  
FOR OIL AND GAS COMPLEX



ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

**ВНИИОЭНГ**

**6.2013**



# Испытание контроллера "ЭнерджиСейвер" с целью исследования показателей снижения энергопотребления на скважинах с ШГН

А.В. Францев (менеджер)  
(ОАО "Оренбургнефть"),

А.Ю. Юшкин (генеральный директор)  
(ООО "Эффективные системы"),

С.Б. Якимов (главный специалист управления механизированной добычи и ГТМ)  
(ОАО "НК-Роснефть")

Дано описание принципа работы контроллера-оптимизатора "ЭнерджиСейвер", управляющего процессом плавного пуска асинхронных двигателей. Приводится преимущество данного контроллера по сравнению с другими устройствами плавного пуска. Описаны оптимальные зоны использования контроллера "ЭнерджиСейвер". Приведены сведения по достигнутым показателям энергосбережения на скважине, оборудованной ШГН, Бобровского месторождения ОАО "Оренбургнефть". Рассчитан экономический эффект от использования данного контроллера.

Контроллер "ЭнерджиСейвер" представляет собой устройство плавного пуска асинхронных электродвигателей с функцией энергосбережения и коррекции коэффициента мощности, разработанное компанией "Эффективные системы" более 10 лет назад, прошедшее стадии обновления и совершенствования как схемотехнических решений, так и алгоритмов, математических моделей, программного обеспечения. К настоящему времени устройства эксплуатируются с хорошими показателями на тысячах объектов различных отраслей, включая нефтедобывающую промышленность. Компания "Эффективные системы" поставляет оборудование для компаний "Лукойл", "Печоранефтегаз", "Татнефть", "Газпром добыча Краснодар". Опытные испытания одного контроллера были проведены на Бобровском месторождении ОАО "Оренбургнефть".

Основные проблемы, возникающие при эксплуатации асинхронных двигателей, сводятся к невозможности согласования создаваемого ими механического момента с моментом нагрузки как во время пуска, так и во время работы, а также высокий пусковой ток. Во время пуска крутящий момент обычно достигает 150...200 %, он ускоряет нагрузку до достижения полной скорости вращения за доли секунды, что может привести к выходу из строя кинематической цепи привода. В то же самое время стартовый ток может быть в 8...10 раз больше номинального, порождая проблемы со стабильностью питания и повышенным износом электрической части оборудования. Когда же двигатель работает с пониженной нагрузкой, его КПД падает вследствие того, что создаваемый магнитный поток слишком велик по отношению к магнитному потоку, достаточному для создания вращающего момента, необходимого для преодоления момента нагрузки.

Типичный трехфазный асинхронный электродвигатель, работающий с полной нагрузкой, обладает относительно высоким КПД, достигающим 80...96 %. Од-

нако, как показано на рис. 1, КПД двигателя резко падает, если нагрузка снижается. Падение КПД особенно ощутимо, когда нагрузка снижается до значений менее 50 % от номинальной. В условиях типичных технологических процессов электродвигатели довольно редко работают на полную мощность. Подавляющее большинство двигателей работает с нагрузкой, значительно ниже номинальной вследствие того, что при проектировании электропривода они были выбраны с так называемым "конструктивным запасом", а также из-за естественных колебаний нагрузки в условиях конкретного технологического процесса.

В тех случаях, когда нет возможности или необходимости изменять скорость вращения двигателя, оборудование "ЭнерджиСейвер" (ЭС) позволяет экономить электроэнергию, потребляемую двигателями при работе на пониженных нагрузках.

Традиционные устройства плавного пуска по окончании программы разгона сохраняют полную электро-

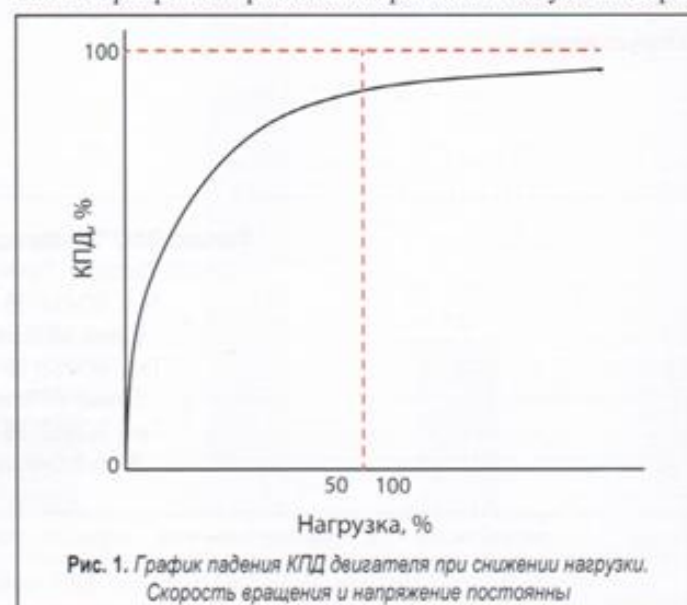


Рис. 1. График падения КПД двигателя при снижении нагрузки. Скорость вращения и напряжение постоянны



проводность, вследствие чего двигатель ведет себя так же, как если бы был подключен напрямую к питающей сети, либо шунтируются контакторами, коммутирующими электродвигатель напрямую к питающей сети во избежание потерь электроэнергии на внутреннем сопротивлении открытых тиристорov. Однако при пониженных нагрузках и полной подаче напряжения асинхронные электродвигатели всегда получают избыточный ток намагничивания, расходующийся в том числе на перемагничивание созданного им же в предыдущий момент времени избыточного магнитного поля. Путем непрерывного контроля нагрузки и изменения напряжения на контактах двигателя по определенному алгоритму ЭС экономит часть энергии возбуждения и снижает потери (пропорциональные квадрату тока, который снижается при понижении напряжения), а также улучшает коэффициент мощности в тех случаях, когда электродвигатель используется неэффективно с пониженной нагрузкой.

В чем физический смысл подобных манипуляций питающего напряжения? Момент, создаваемый двигателем, зависит как от приложенного напряжения, так и от скольжения (показатель "запаздывания" вращения ротора относительно поля статора). Чем меньше момент нагрузки приложен к ротору, тем больше ротор "догоняет" поле статора (скольжение уменьшается), тем глубже двигатель переходит в менее экономичный режим. Если соответствующим образом снизить напряжение питания, подаваемое на двигатель, скольжение вернется к номинальному значению. На рис. 2 показан описанный процесс на примере механических характеристик двигателя при различных значениях напряжения, приложенного к его обмоткам. При этом снизятся ток, протекающий через обмотки двигателя, и потребляемая мощность, пропорциональная произведению напряжения и тока, потери уменьшатся, КПД двигателя возрастет.

Для снижения напряжения в ЭС используется традиционная для устройств плавного пуска схема встречно-параллельно включенных тиристорov (рис. 3). Тиристор – электронный прибор, представляющий собой управляемый диод. Он открывается при подаче управляющего импульса и закрывается при переходе проходящего через него тока через ноль. Открывая тиристор с большей или меньшей задержкой по времени, можно "вырезать" соответствующую часть синусоиды питающего напряжения. Эпюры напряжения на выходе тиристорного блока представлены на рис. 4. Таким образом, среднее напряжение на выходе устройства будет меняться пропорционально изменению времени задержки открытия тиристора. Поскольку подобный принцип регулирования напряжения предполагает, что в те интервалы времени, когда тиристоры остаются закрытыми, ток через обмотки двигателя не протекает, отбор мощности из питающей сети в эти моменты не проис-

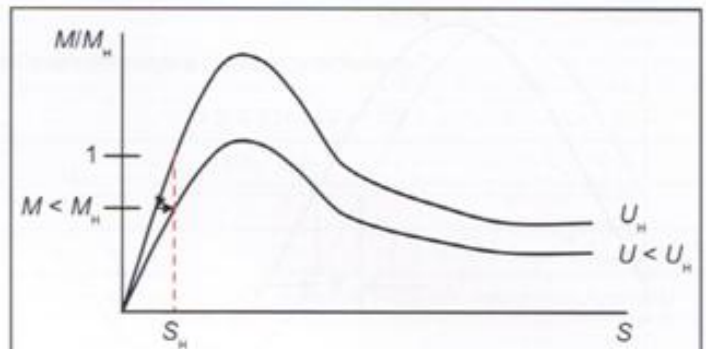


Рис. 2. Механические характеристики двигателя при различных напряжениях питания

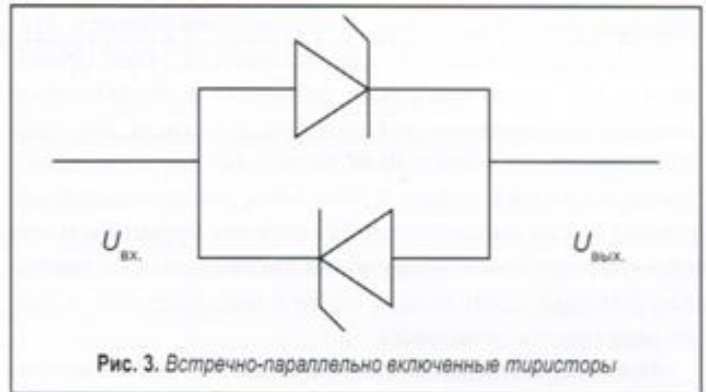


Рис. 3. Встречно-параллельно включенные тиристоры

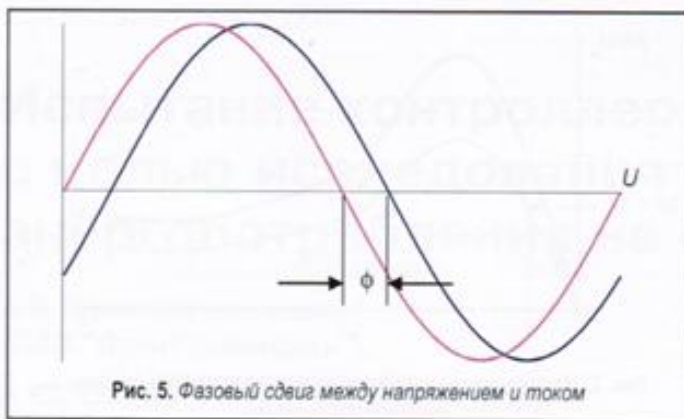
ходит. Ротор двигателя в эти интервалы времени вращается по инерции.

Каким образом осуществляется определение оптимального момента открытия тиристорov? Обмотки двигателя представляют собой активно-индуктивную нагрузку. Активная часть сопротивления зависит только от температуры обмотки. Реактивное (индуктивное) сопротивление зависит от момента нагрузки, приложенного к ротору двигателя. Его величина тем больше, чем меньше момент нагрузки приложен. Величина реактивного сопротивления влияет на фазовый сдвиг между напряжением и током в цепи (рис. 5). Таким образом, измеряя фазовый сдвиг, можно однозначно судить о величине нагрузки по отношению к номинальной. Снижение напряжения соответственно уменьшению величины нагрузки приводит к уменьшению индуктивной части сопротивления. Вследствие этого, помимо уже упомянутого снижения потребления активной мощности при понижении напряжения, снижение активной части тока уменьшает потери, равные произведению



Рис. 4. Напряжение на выходе встречно-параллельной тиристорной пары





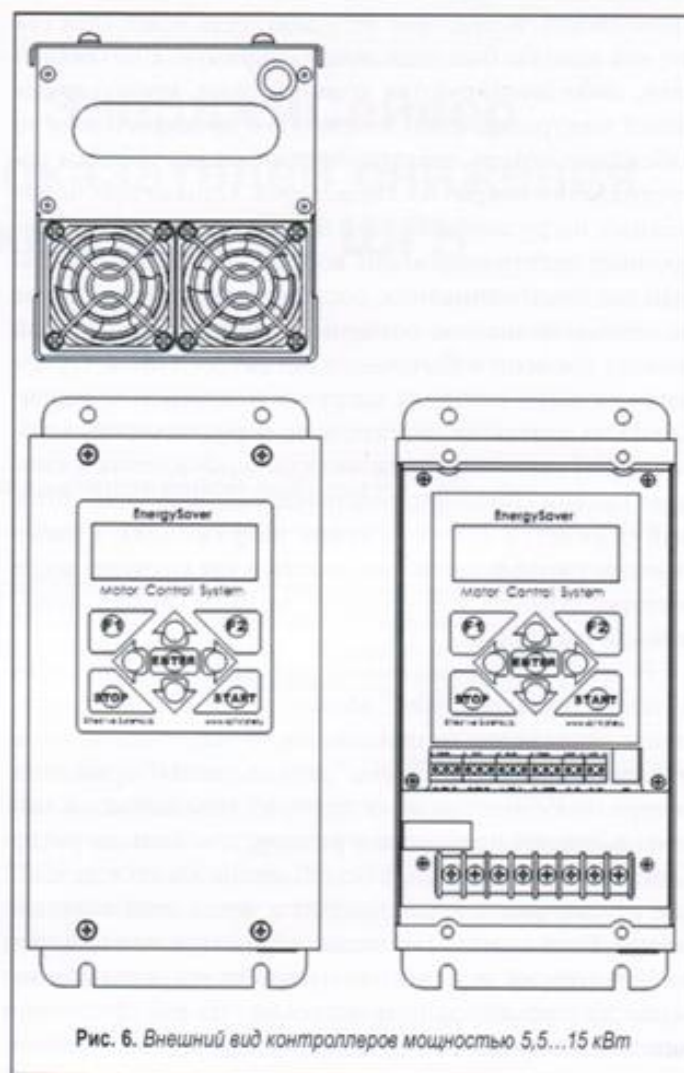
квадрата тока на активное сопротивление обмоток. Поскольку реактивный ток, как и активный, греет проводники, его снижение также приводит к уменьшению активного сопротивления обмоток двигателя, что обеспечивает дополнительную экономию энергии, выделяющуюся в виде тепла. Кроме того, уменьшение реактивной части сопротивления снижает отрицательное влияние реактивной нагрузки на питающую сеть, уменьшая фазовый сдвиг между током и напряжением, а также реактивную мощность.

Используя мощный микропроцессор, ЭС мгновенно оценивает нагрузку на валу двигателя, сравнивает ее с конструктивной мощностью двигателя и в случае пониженной нагрузки снижает напряжение, подаваемое на двигатель, добиваясь того, чтобы двигатель работал на своем расчетном скольжении и как следствие – с максимальным КПД. При этом частота вращения двигателя не изменяется. Время реакции ЭС на изменение нагрузки составляет сотую долю секунды, что позволяет даже при динамично меняющихся нагрузках отслеживать режим максимального КПД.

Поскольку устройства плавного пуска строятся по тому же принципу, что и контроллеры "ЭнерджиСейвер", в оборудовании ЭС предусмотрена функция плавного пуска. Только благодаря тому, что контроллеры "ЭнерджиСейвер" рассчитаны на тяжелые тепловые режимы, а в программном обеспечении используются эффективные ноу-хау, ЭС обеспечивает пуск оборудования, характеризующегося тяжелыми пусковыми режимами "номинал в номинал", с чем не справляются обычные устройства плавного пуска.

В условиях, когда не требуется регулировать число оборотов двигателя, ЭС идеально подходит для целей энергосбережения и решения проблемы плавного пуска. На сегодняшний день по совокупности потребительских качеств и стоимости аналогов данному оборудованию на рынке нет.

- Устройства ЭнерджиСейвер предназначены для:
- плавного запуска и останова двигателя;
  - защиты двигателя от обрыва, перекоса фаз, перегрузки, пониженного и повышенного напряжений, работы на холостом ходу для насосов;
  - регулирования мощности электродвигателя в зависимости от нагрузки;
  - запуска и останова двигателя: по нажатию клавиш с панели управления;



внешними сигналами, поданными на дискретные входы *старт* и *стоп* (2-, 3-, 4-проводное управление);

с использованием интерфейса RS-485 с помощью прилагаемого ПО.

На рис. 6 показан внешний вид контроллеров мощностью 5,5...15 кВт, а в табл. 1 приведена основная техническая характеристика.

Схема подключения контроллера "ЭнерджиСейвер" показана на рис. 7, а, внешний вид – на рис. 7, б.

Контроллер "ЭнерджиСейвер" модели ES37 был испытан на скв. 1А Бобровского месторождения, оборудованной ШГНУ. Основной целью испытания была проверка заявленной производителем возможности снижения энергопотребления на 10...20 %.

Основные эксплуатационные параметры скважины приведены ниже.

Тип станка-качалки .....	СК-8
Номинальная мощность установленного двигателя, кВт ...	22
Насос .....	НГН-57
Глубина спуска насоса, м .....	1077
Динамический уровень, м .....	917
Дебит жидкости, м <sup>3</sup> /сут .....	26
Обводненность, % .....	90
Число качаний, мин <sup>-1</sup> .....	3,2
Длина хода, м .....	3,5



Основная техническая характеристика контроллеров "ЭнерджиСейвер"

Номинальное рабочее напряжение ( $U_n$ ), В	380 ± 10 %
Диапазон мощностей электродвигателей, кВт	7,5...400
Диапазон начальных напряжений ( $U_n$ ), %	30...60
Время разгона, с	5...120
Диапазон пусковых токов	1,2...5 ( $I_n$ ) номинального тока двигателя (зависит от нагрузки, настройки прибора)
Число пусков в час	20
Защита двигателя	От перегрузки, обрыва фаз, пониженного и повышенного напряжений
Диапазон оптимизации по напряжению, В	270...380
Функция автоподхвата вращающегося двигателя, плавного останова для насосов	Имеется
Построение кривой разгона	По 5 точкам (30 точкам при использовании программы ESUSB)
Точность встроенного измерителя, %:	
напряжения	1
тока (опция)	1
Дополнительные функции	Встроенные часы реального времени, точность 3 с, 8 встроенных независимых таймеров для запуска-останова по текущему времени, по временным промежуткам. Протоколирование сбоев, ошибок, неисправностей во встроенной энергонезависимой памяти с присвоением временной метки, с возможностью чтения через USB
Внешние интерфейсы	Интерфейс RS-485. Протокол ModBus RTU (опция). Интерфейс USB, Версия 2.0 и выше. Поддержка WindowsXP. Два дискретных входа подключения сухих контактов для внешнего управления запуском-остановом двигателя
Встроенные реле	Байпасс (окончание разгона), неисправность. Контакты реле 5 А (220 В).
Сигнал неисправности	Обрыв фазы на входе и на выходе, перегрузки двигателя, межвитковое замыкание, перегрузки по току (если установлен датчик тока, опция), повышенное и пониженное напряжения
Температура, °С	-5...+40 для IP20, -40...+40 для УХЛ1

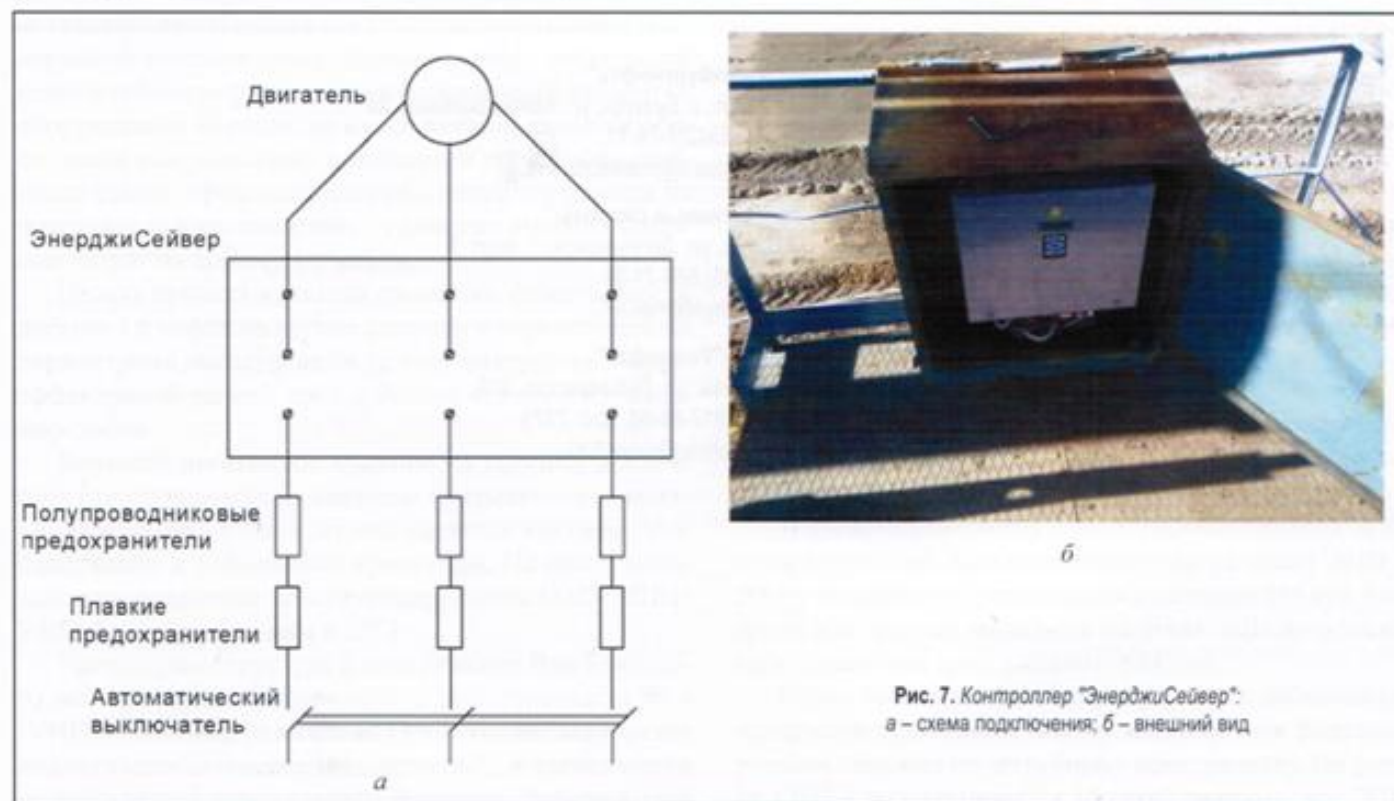


Рис. 7. Контроллер "ЭнерджиСейвер": а – схема подключения; б – внешний вид

При испытании настройки контроллера были следующие данные:

- Время разгона по напряжению – 15 с.
- Начальное напряжение в начале разгона – 40 %.
- Время разгона – 5 с.
- Интенсивность разгона – 10 %.
- Экономия – минимальная.
- Тип старта – ручной.

В табл. 2 приведены данные изменения параметров работы двигателя до и после установки контроллера ES37.

Таблица 2

Изменение параметров работы двигателя до и после установки контроллера

Параметры	Показатели		Изменение параметров, %
	до установки	после установки	
Линейное напряжение, В	418	416	-0,48
Ток, А	26	26	0,00
$\cos \phi$	0,53	0,59	11,32
Расчетная активная мощность, кВт	10,206	8,841	-13,37
Фактическое суточное потребление электроэнергии, кВт	244,944	212,172	-13,38
Удельное энергопотребление, кВт/м <sup>3</sup>	9,42	8,16	-13,38

В ходе испытания был установлен режим "Экономия – максимальная". После этого контроллер автоматически уменьшил число качаний до 2,5 в минуту. Уменьшение числа качаний связано с настройкой контроллера, увеличилось время прохождения насоса из нижнего до верхнего положения. При этом время обратного хода не изменилось. При установлении режима "нормальный" число качаний вернулось до значения 3,2 в минуту.

Экономическая эффективность применения контроллера ES37 была рассчитана по методике оценки экономической эффективности мероприятий на скважинах механизированного фонда. С учетом достигнутого эффекта энергосбережения 1,4 кВт снижение затрат на электроэнергию в год составит 26 тыс. р. При стоимости контроллера 40 тыс. р. срок окупаемости инвестиций составляет 18 мес. Расчетное значение уровня рентабельности инвестиций (индекс PI) составляет 1,77.

### Выводы

1. В ходе опытно-промышленных испытаний подтверждены заявленные производителем технические и эксплуатационные характеристики. Снижение удельного потребления с 9,42 до 8,16 кВт·ч/м<sup>3</sup>, что составляет 13 %.
2. Индекс PI проекта равен 1,77, что является приемлемым для распространения технологии на все добывающие общества Компании.

#### ОАО "Оренбургнефть"

461050 Россия, Оренбургская обл., г. Бузулук, ул. Магистральная, 2а.

Тел.: 8(35342)7-74-77.

E-mail: avfrantsev@rosneft.ru;

#### ООО "Эффективные системы"

127486 Россия, г. Москва, ул. Дегуниная, 1, корп. 3.

Тел.: 8(495) 580-21-31.

E-mail: e-sys@mail.ru;

#### ОАО "НК-Роснефть"

115054 Россия, г. Москва, ул. Дубининская, 31А.

Тел./факс: 8(499) 517-88-88, доб. 2275.

E-mail: s\_yakimov@rosneft.ru