



ГИНЗБУРГ Матвей Яковлевич

Заместитель генерального директора ООО «РИТЭК-ИТЦ»

ПАВЛЕНКО Владимир Иванович

Генеральный директор ООО «РИТЭК-ИТЦ», к.т.н.

КЛИМОВ Валерий Павлович

Главный специалист ООО «РИТЭК-ИТЦ», к.т.н.



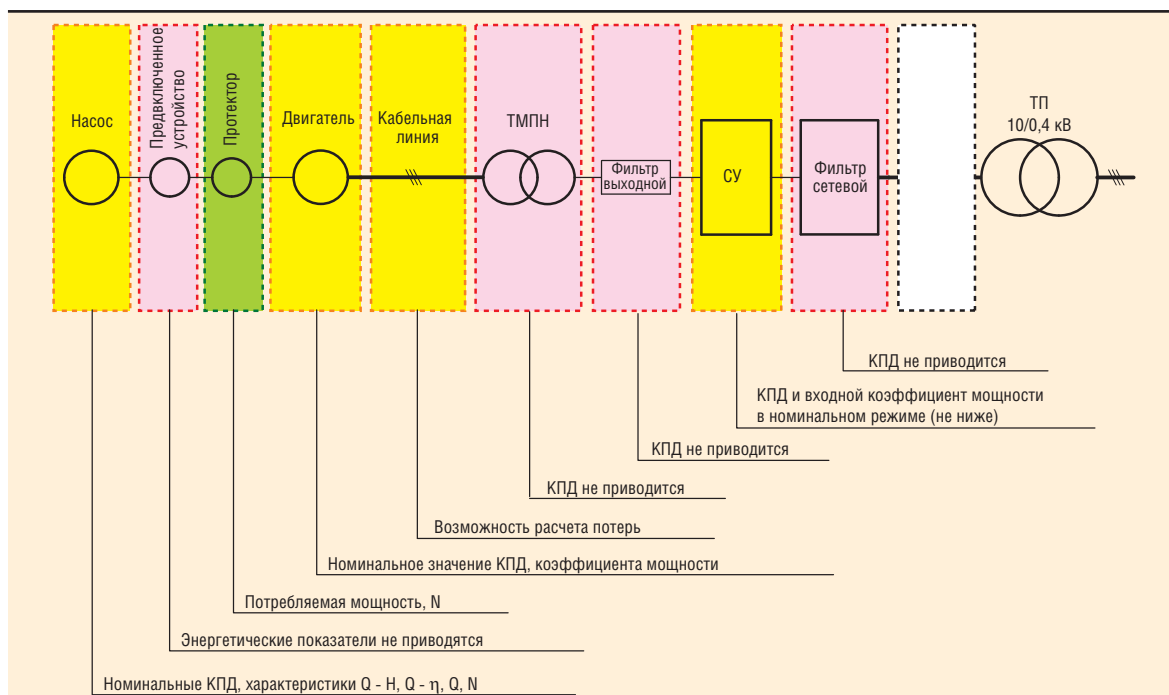
ОБ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЯХ УЭЦН

В целом новые для отрасли задачи жесткого контроля расходования электроэнергии в процессах добычи нефти требуют систематизации порядка расчетов энергопотребления УЭЦН с использованием общеизвестных зависимостей. УЭЦН относятся к классу энергопотребляющей продукции, в связи с чем в соответствии с ГОСТ 51541-99 «Энергетическая эффективность. Состав показателей» в нормативные документы установок должны быть внесены основные показатели энергосбережения и энергетической эффективности их применения. В то же время в действующей нормативной документации недостаточно параметров для расчетов энергопотребления УЭЦН при работе не в номинальном режиме. И это относится не только к ос-

новным узлам установок, но и к широкому перечню дополнительного (предвключенного) оборудования.

В нормативных документах (НД) на оборудование УЭЦН приводятся энергетические показатели, перечень которых был определен ОКБ БН на начальном этапе организации разработки и производства УЭЦН в СССР. С тех пор все разработчики пользуются техническими условиями ОКБ БН как калькой: перечень параметров, в том числе энергетических, практически не меняется вот уже десятки лет. Однако в этой документации не приводятся некоторые энергетические параметры, необходимые для расчета энергопотребления УЭЦН как при номинальных, так и при отличных от них режимах работы (см. «Структурная схема УЭЦН, участка энергоснабжения от ТП и перечень энергетических показателей, представленных в нормативной документации»).

Структурная схема УЭЦН, участка энергоснабжения от ТП и перечень энергетических показателей, представленных в нормативной документации



Алгоритм расчета энергопотребления УЭЦН

1. Активная мощность, потребляемая УЭЦН

$$P_y = (P_d + \Delta P_k) / \eta_{тр} \cdot \eta_{су} \cdot \eta_{фв} \cdot \eta_{фс} \quad (1)$$

где P_d – активная мощность, потребляемая электродвигателем, кВт; ΔP_k – потери активной мощности в кабельной линии, кВт; $\eta_{тр}$ – фактический КПД трансформатора; $\eta_{су}$ – фактический КПД станции управления; $\eta_{фв}$ – фактический КПД выходного фильтра; $\eta_{фс}$ – фактический КПД сетевого фильтра.

В формуле не учтены потери мощности в сетевой линии, параметры которой не регламентируются нормативной документацией на УЭЦН. Величину этих потерь можно рассчитать, зная параметры сетевого кабеля: сопротивление токоведущих жил, длину кабеля и величину тока на входе в станцию управления.

1.1. Активная мощность, потребляемая электродвигателем

$$P_d = (N_n + N_g + N_n) / \eta_{фд} \quad (2)$$

где N_n – мощность, потребляемая насосом, кВт; N_g – мощность, потребляемая гидрозасчитой, кВт; N_n – мощность, потребляемая предвключенным устройством, кВт; $\eta_{фд}$ – фактический КПД электродвигателя.

1.1.1. Мощность, потребляемая насосом

Несмотря на использование различных программ подбора УЭЦН, практически всегда требуется регулирование подачи, которое можно проводить путем изменения частоты вращения или дросселированием, существенно различающимися по энергетической эффективности.

Потребляемая насосом мощность при изменении частоты его вращения:

$$N_{оф} = N_{н.н} \cdot (\eta_{ф} / 2910)^3 \quad (3)$$

где $N_{н.н}$ – номинальная мощность насоса, кВт; $\eta_{ф}$ – фактическая частота вращения, об/мин; 2910 – номинальная частота вращения, об/мин.

Конечно, УЭЦН в максимальной комплектации встречаются крайне редко. Тем не менее можно прогнозировать, что объемы использования предвключенных устройств, станций управления с ПЧ и особенно фильтров будут возрастать.

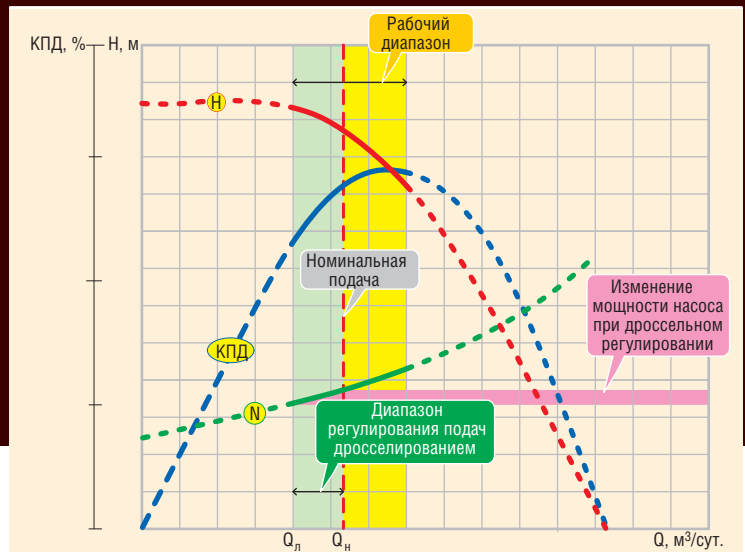
В ТУ на ЭЦН приведены номинальные значения их энергетических показателей, а также графики зависимости КПД и мощности насоса от подачи и напора. Эти графики отражают характер изменения параметров и не могут быть использованы для получения их численных значений, поэтому проводить по ним расчеты потребляемой оборудованием мощности в режиме, отличном от номинального, не представляется возможным.

В ТУ на ПЭД приведены только номинальные значения КПД и $\cos \varphi$, в то время как в требованиях ГОСТ 51541-99 п. 5.8 указано: «Для изделий непрерывного действия должны быть установлены показатели экономичности энергопотребления в допустимых интервалах изменения скоростей, производительности, полезной мощности и т.д.».

КОНТРОЛЬ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Актуальность задачи обеспечения возможности проведения расчетов энергопотребления УЭЦН возрастает в связи с появлением в последнее время на рынке оборудования, разработчики и изготовители которого декларируют его высокую энергоэффектив-

Характеристики ступени насосов ЭЦН, приводимые в НД



ность. В то же время из-за отсутствия в России до сегодняшнего дня независимого сертификационного центра, оснащенного необходимыми средствами контроля декларируемых параметров, потребитель не может быть уверенным в том, что ему предлагается действительно высокоэнергоэффективное оборудование.

Сейчас у потребителя нет не только технической возможности проверить соответствие параметров, приводимых изготовителем в НД, их фактическим значениям, но и возможности провести расчеты энергопотребления УЭЦН различной комплектации при заданных режимах их работы для принятия решения о приобретении и использовании этого оборудования.

РАСЧЕТ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

Перечень дополнительных параметров, которые предлагается ввести в НД на оборудование, следует из алгоритма расчета энергопотребления УЭЦН (см. «Алгоритм расчета энергопотребления УЭЦН»).

Следует отметить, что параметры, значения которых предлагается ввести в нормативную документацию, разработчики и производители оборудования замеряют при проведении различных испытаний, однако их численные значения в нормативной документации не приводятся.

Проанализировать изменение мощности насоса при регулировании его подачи дросселированием с использованием показателей, приведенных в нормативной документации большинства производителей ЭЦН, не представляется возможным. Значительно упрощают расчет фактической мощности насоса при регулировании подачи дросселированием данные, приведенные в ТУ на насосы для добычи нефти и нагнетания воды в пласт производства «Новомет». В ТУ приводятся не только зависимости $Q - H$, $Q - \eta$ и $Q - N$ в форме графиков, но и численные значения этих характеристик с дискретностью 5 м³/сут. Однако и эти ТУ не позволяют определить потребляемую насосами мощность при промежуточных значениях подачи Q .

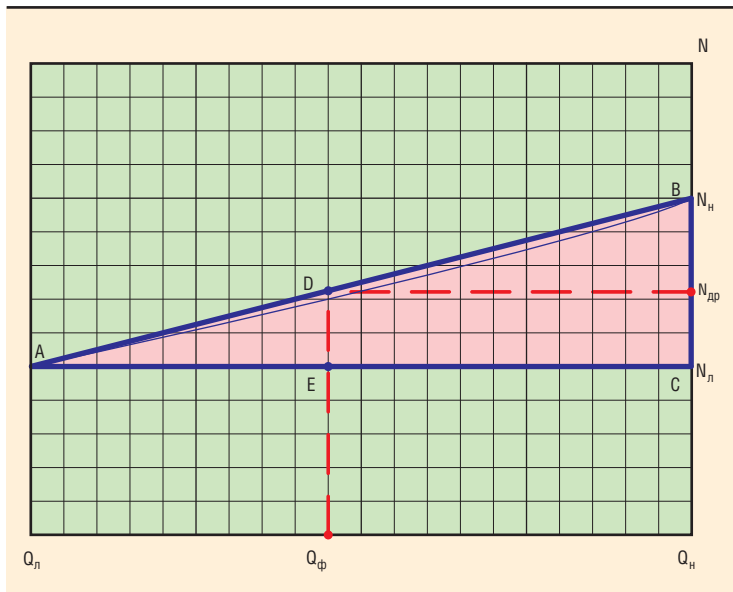


Регулирование подачи насоса дросселированием осуществляется от номинального значения Q_n до величины Q_l – левой границы рабочего диапазона подачи (см. «Характеристики ступени насосов ЭЦН, приводимые в НД»).

С учетом линейной зависимости изменения мощности насоса от подачи $N - Q$ при дроссельном регулировании на участке $Q_n - Q_l$ фактическое значение мощности насоса $N_{др.ф}$ при фактической подаче $Q_{ф}$ можно определить из подобия треугольников ABC и ADE (см. «Зона регулирования подачи насоса дросселированием»):

$$N_{др.ф} = Z \cdot [N_l + K_q \cdot (Q_{ф} - Q_l)], \quad (4)$$

Зона регулирования подачи насоса дросселированием



где Z – число ступеней в насосе; N_l – мощность ступени насоса на левой границе рабочего диапазона, кВт; $Q_{ф}$ – фактическая подача насоса, м³/сут; Q_l – подача насоса на левой границе рабочего диапазона, м³/сут; K_q – изменение удельной механической мощности, потребляемой ступенью насоса, на участке регулирования подачи дросселированием, кВт/м³/сут;

$$K_q = (N_n - N_l) / (Q_n - Q_l). \quad (5)$$

Используя формулы (4) и (5), можно рассчитать мощность насоса при любой подаче на участке дросселирования $Q_n - Q_l$. Нужно отметить, что потребляемая насосом мощность при дросселировании на этом участке изменяется незначительно, и с точностью, достаточной для предварительных расчетов, можно принять $N_l = N_n$. Однако при формализации расчетов энергопотребления, например, оформлении их в форме методики, должна быть обеспечена возможность аналитического расчета потребляемой мощности для любых значений подач при дросселировании.

МОЩНОСТЬ, ПОТРЕБЛЯЕМАЯ ПРЕДВКЛЮЧЕННЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

В документацию на эти виды оборудования необходимо ввести нормативный показатель потребляемой мощности в киловаттах и методику его пересчета с учетом скважинных параметров и режимов работы.

МОЩНОСТЬ, ПОТРЕБЛЯЕМАЯ ГИДРОЗАЩИТОЙ

Потребляемая гидрозащитой мощность приводится в ТУ. Если установка работает при частоте вращения, отличной от номинальной, то фактическая мощность, потребляемая гидрозащитой, определяется по формуле

Формулы для расчетов параметров рабочих характеристик оборудования УЭЦН при различных нагрузках

Диапазон загрузки	Расчетная формула X_{Φ}
1,0-0,75	$X_{\Phi} = (4K_{з.р} - 3)(X_{100} - X_{75}) + X_{75}$
0,75-0,5	$X_{\Phi} = (4K_{з.р} - 2)(X_{75} - X_{50}) + X_{50}$
0,5-0,25	$X_{\Phi} = (4K_{з.р} - 1)(X_{50} - X_{25}) + X_{25}$

$$N_r = N_{гн} \cdot (n_{\Phi} / 2910), \quad (6)$$

где $N_{гн}$ – мощность, потребляемая гидрозактитой при номинальной частоте вращения, кВт.

ФАКТИЧЕСКИЕ ЗНАЧЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБОРУДОВАНИЯ

В ТУ на двигатели приводятся только номинальные значения КПД ($\eta_{д.н.}$), коэффициента мощности ($K_{р.д.н.} \cos \varphi_{д.н.}$) и рабочих токов ($I_{д.н.}$). При расчетах энергопотребления УЭЦН необходимо знать фактические значения этих параметров, которые зависят от загрузки, температуры и частоты вращения двигателя.

В диапазоне регулирования 2500 – 3000 об/мин (основной диапазон частоты вращения, используемый для регулирования подачи насоса) и при температуре в полости двигателя более 80°C КПД двигателей остается постоянным.

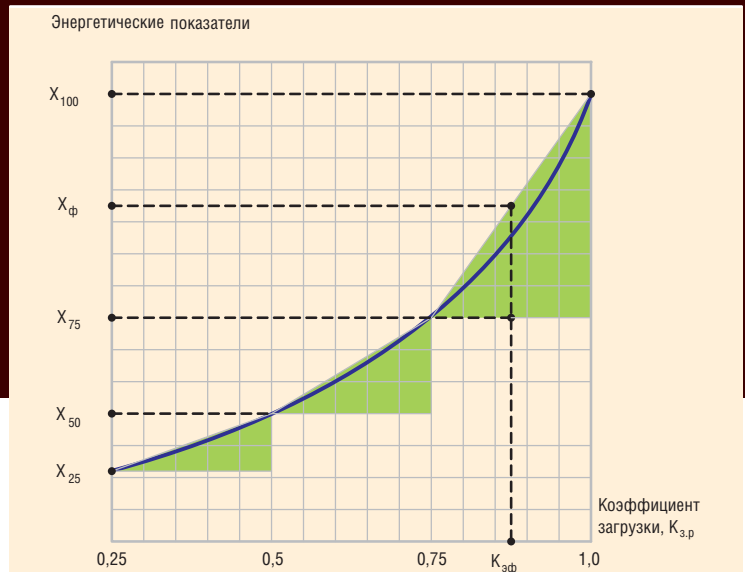
Основным показателем, определяющим изменение КПД и других энергетических параметров электрооборудования, является коэффициент их загрузки по мощности ($K_{з.р}$).

При разработке и различных испытаниях двигателей значения η , $\cos \varphi$, K_p и I при различных нагрузках замеряются и строятся графики нагрузочных характеристик. Однако ни в виде графиков, ни в численном значении эти показатели в нормативной документации не приводятся.

Изменение энергетических параметров электродвигателей в зависимости от их загрузки в общем случае представляет собой нелинейную зависимость, которая может быть описана с определенной степенью погрешности кусочно-линейной аппроксимацией на трех участках изменения коэффициента загрузки $K_{з.р}$: (1,0 – 0,75), (0,75 – 0,5) и (0,5 – 0,25) (см. «Кусочно-линейная аппроксимация рабочих характеристик оборудования УЭЦН»).

Если известны рабочие параметры оборудования (X) при $K_{з.р} = 1,0$ (X_{100}), $K_{з.р} = 0,75$ (X_{75}), $K_{з.р} = 0,50$ (X_{50}) и $K_{з.р} = 0,25$ (X_{25}), то фактические значения любого пара-

Кусочно-линейная аппроксимация рабочих характеристик оборудования УЭЦН



метра X_{Φ} при загрузке в диапазоне $K_{з.р} = (1,0 \div 0,25)$ можно определить, используя известные зависимости (см. «Формулы для расчетов параметров рабочих характеристик оборудования УЭЦН при различных нагрузках»).

ПОТЕРИ МОЩНОСТИ В КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ

Потери активной мощности в кабельной линии рассчитываются следующим образом:

$$\Delta P_{\kappa} = 3 \cdot 10^{-3} \cdot I_{\Phi}^2 \cdot R_{\Phi}, \quad (7)$$

где I_{Φ} – действующее значение фактического рабочего тока электродвигателя, А; R_{Φ} – активное сопротивление токоведущей жилы кабельной линии, Ом;

$$R_{\Phi} = R_{20} [1 + \alpha \cdot (T_{ж} - 20)] \cdot L; \quad (8)$$

R_{20} – электрическое сопротивление токопроводящей жилы кабеля при температуре 20°C, Ом/км; α – температурный коэффициент электрического сопротивления материала токопроводящей жилы, °C⁻¹, $\alpha = 3,93 \cdot 10^{-3}$ °C⁻¹; $T_{ж}$ – температура токопроводящей жилы кабеля, °C; L – длина кабельной линии, км;

Температура жилы кабеля $T_{ж}$ определяется из выражения Б17 (приложение Б, ГОСТ Р 51777-201 «Кабели для установок погружных электронасосов»):

$$T_{ж} = \frac{0,92 + AT_{cp}}{A - 0,004}, \quad (9)$$

где T_{cp} – температура окружающей среды, °C.

Параметр A рассчитывается следующим образом:

$$A = \frac{1}{3I_{\Phi}^2 R_{20} (S_k + S_{cp}) 10^{-5}}, \quad (10)$$

Дополнительные параметры оборудования УЭЦН, которые необходимо приводить в нормативной документации		
№, п/п	Оборудование	Параметры
1	ЭЦН, ВНН	Подача Q_n , м ³ /сут., мощность ступени N_n , кВт, на левой границе рабочего диапазона
2	Электродвигатели погружные и вентильные	Ток I, А; КПД η , %; $K_p \cdot \cos\varphi$ при коэффициентах загрузки 0,25; 0,5; 0,75 и 1,0
3	Кабель	Суммарные значения тепловых сопротивлений круглого и плоского кабелей S_k и окружающей среды $S_{ср}$, °С · см · Вт ⁻¹ , в газовой среде скважины и в скважинной жидкости
4	Трансформаторы ТМП	КПД трансформатора, %, в зависимости от коэффициентов загрузки 0,25; 0,5; 0,75 и 1,0 и коэффициентов мощности двигателя в диапазонах: 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 и 1,0
5	Станция управления	1. Номинальная полная мощность, кВ·А 2. КПД, %, в зависимости от коэффициентов загрузки: 0,25; 0,5; 0,75 и 1,0
6	Фильтры	КПД, %, или относительные потери мощности (коэффициенты потерь)
7	Предвключенные устройства	Нормативный показатель потребляемой мощности, кВт, и рекомендации по его пересчету с учетом скважинных параметров и режимов работы

где S_k – тепловое сопротивление кабеля, °С · см · Вт⁻¹; $S_{ср}$ – тепловое сопротивление окружающей среды, °С · см · Вт⁻¹.

КПД ТРАНСФОРМАТОРА

В НД на трансформаторы значения КПД не приводятся.

КПД трансформатора зависит от коэффициента загрузки и коэффициента мощности электродвигателя.

Коэффициент загрузки трансформатора определяется выражением:

$$K_{з,р} = \frac{P_d + \Delta P_k}{S_{тр,н} K_{р,д,ф}}, \quad (11)$$

где P_d – активная мощность, потребляемая электродвигателем, кВт; ΔP_k – потери активной мощности в кабельной линии, кВт; $S_{тр,н}$ – номинальная полная мощность трансформатора, кВ · А; $K_{р,д,ф}$ – фактический коэффициент мощности двигателя.

КПД СТАНЦИИ УПРАВЛЕНИЯ

В НД на станции управления КПД приводятся в редакции «не ниже...», что не позволяет проводить расчеты фактических потерь в них при различных режимах работы УЭЦН. КПД станции управления зависит от коэффициента загрузки.



Коэффициент загрузки определяется выражением:

$$K_{з,р} = \frac{P_{тр,ф} + \Delta P_{ф,в}}{S_{су,н} K_{р,д,ф}}, \quad (12)$$

где $P_{тр,ф}$ – фактическая активная мощность трансформатора, кВт; $\Delta P_{ф,в}$ – потери мощности в выходном фильтре, кВт; $S_{су,н}$ – номинальная полная мощность станции управления, кВ · А; $K_{р,д,ф}$ – фактический коэффициент мощности двигателя.

Фактическая активная мощность трансформатора:

$$P_{тр,ф} = \frac{P_d + \Delta P_k}{\eta_{тр,ф}}, \quad (13)$$

где $\eta_{тр,ф}$ – КПД трансформатора, определяемый по методике, рассмотренной ранее.

ФИЛЬТРЫ СЕТЕВЫЕ И ВЫХОДНЫЕ

В нормативной документации на фильтры показатели их энергетической эффективности не приводятся. Показателями их энергетической эффективности должны быть КПД или потери мощности в процентном исчислении.

Для обеспечения возможности проведения расчетов энергопотребления УЭЦН в режимах работы, отличных от номинальных, следует рекомендовать разработчикам и изготовителям оборудования рассмотреть вопрос включения в нормативную документацию численных значений дополнительных параметров (см. «Дополнительные параметры оборудования УЭЦН, которые необходимо приводить в нормативной документации»).

Приведенный алгоритм расчета должен позволить специалистам проводить расчеты энергопотребления УЭЦН различной комплектации при разных режимах работы по единой методике. Единый подход к таким расчетам особенно актуален в связи с интенсивным внедрением в нефтедобычу вентильных приводов УЭЦН и УЭВН, одним из основных преимуществ которых является их высокая энергоэффективность. ➤

ПОДПИСНОЙ КУПОН 2011 год

Подписка осуществляется ТОЛЬКО через редакцию журнала.

Для оформления подписки на печатную версию журнала «Инженерная практика», пожалуйста, заполните подписной купон и отправьте по факсу:

+7 (499) 270-55-25, (495) 371-01-74;

или почтой по адресу:

109428 г. Москва, Рязанский проспект, дом 30/15, офис 807.

Редакция журнала «Инженерная практика».

Стоимость подписки по России:

годовая подписка **5830 руб.**

полугодовая подписка **3790 руб.**

Для подписчиков из стран СНГ доставка каждого номера 200 руб.

Электронная версия подписки оформляется на некоммерческой основе.

Для оформления подписки на электронную версию, Вы можете заполнить и отправить прилагаемый купон.

Электронная подписка на журнал «Инженерная Практика» носит индивидуальный характер.

Для подписки через сайт www.energy-seminar.ru, пожалуйста, заполните анкету в разделе

«Журнал Инженерная практика» / «Подписка на журнал»

http://energy-seminar.ru/engineering_magazine/subscription/

ПОДПИСНОЙ КУПОН

Пожалуйста, заполняйте разборчиво печатными буквами!

Фамилия _____ Имя _____ Отчество _____

Должность _____

Название и юридический статус компании _____

Адрес доставки журнала:

Город _____ Область _____

Индекс _____ Адрес _____

Код города, факс, телефон _____

E-mail _____ Сайт _____

Основной вид деятельности _____

Укажите вариант подписки:

? Печатная версия

? Электронная версия

? Печатная и электронная версия

Стоимость подписки по России:

? годовая подписка **5830 руб.**

? полугодовая подписка **3790 руб.**

Для подписчиков из стран СНГ доставка каждого номера 200 руб.

По вопросам доставки в страны СНГ и Дальнее зарубежье обратитесь в отдел маркетинга.

Подписка осуществляется ТОЛЬКО через редакцию журнала.

При условии годовой подписки на печатную версию архивную подписку (электронную) за 2010 год

Вы получаете БЕСПЛАТНО