

УДК 621.3.078 + 621.002.5]:006.354

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

Ромодин А.В., Кухарчук А.В., Мишуриных С.В.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, e-mail: romodin@msa.pstu.ru*

В статье проводится разработка методики оценки эффективности энергосберегающих мероприятий на предприятиях нефтегазодобывающей отрасли. Определена актуальность задачи повышения энергетической эффективности. Проведен анализ потребления электрической энергии технологическим оборудованием нефтегазодобывающей отрасли на примере дожимной насосной станции. Выявлены технологические и природные параметры, влияющие на величину потребления электрической энергии. Составлены обобщенные функции зависимости электропотребления оборудования от различных технических и технологических параметров. Представлен общий вид уравнения оценки энергетической эффективности. Составлены уравнения для расчета потребления электроэнергии насосами и компрессорами. Проведено ранжирование факторов, влияющих на величину потребления электроэнергии. Составлен алгоритм оценки эффективности энергосберегающих мероприятий на предприятиях нефтегазодобывающей отрасли. Проведен расчет и оценка энергосберегающих мероприятий на основе разработанного алгоритма.

Ключевые слова: электроэнергия, энергетическая эффективность, энергосбережение, автоматизация управления

EFFICIENCY EVALUATION OF ENERGY SAVING MEASURES AT THE GAS AND OIL PRODUCING INDUSTRY ENTERPRISES

Romodina A.V., Kukharchuk A.V., Mishurinskikh S.V.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: romodin@msa.pstu.ru

In the article the methodology of an efficiency evaluation for energy saving measures at the gas and oil producing industry enterprises is developed. The urgency of the task of improving the energy efficiency is determined. The analysis of electric energy consumption by technological equipment in oil and gas producing industry is carried out on the example of a booster pump station. The technological and natural features influencing the range of electric energy consumption are determined. The generalized functions of the dependence of the equipment's power consumption on various technical and technological parameters are pointed out. The general view of the equation of an energy efficiency assessment is provided. The equations for electricity consumption calculation for pumps and compressors are worked out. The ranging of the factors influencing electricity consumption value is carried out. The algorithm for an efficiency evaluation of energy saving measures at the gas and oil producing industry enterprises is constituted. The calculation and assessment of energy saving measures are made on the basis of the introduced algorithm.

Keywords: electric power, energy efficiency, energy saving, control automation

Актуальность энергосбережения и энергетической эффективности в нефтедобыче определяется ее высокой энергоемкостью. Традиционные меры по энергосбережению известны – это нормирование энергопотребления и регулярный профилактический контроль состояния оборудования. Главные направления повышения эффективности – совершенствование технологий, оборудования и повышение их энергетической эффективности [2]. Внедрение автоматизированных систем управления энергетической эффективностью позволяет эффективно решать задачу снижения затрат на электрическую энергию дожимных насосных станций ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ».

В качестве объекта исследования для данной работы выбрана дожимная насосная станция (ДНС) – ДНС-1107 «Кондас». Район расположения площадки ДНС-1107 «Кондас» относится к строительному климатическому району *IV*. Климат рассматри-

ваемой территории является континентальным, с холодной продолжительной зимой, теплым, но сравнительно коротким летом, ранними осенними и поздними весенними заморозками.

ДНС имеет множество компонентов, и все они являются потребителями топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Стоит отметить, что тепло и вода на ДНС практически не потребляются, разве что на нужды обслуживающего ДНС персонала. Таким образом, задача эффективного использования электроэнергии стоит еще более остро, ведь ее потребителем является технологическое оборудование, которое имеет большие мощности. И главной задачей по повышению энергоэффективности является оптимизация работы этого оборудования с помощью регулирования параметров, которые прямо или косвенно влияют на потребление электроэнергии этим оборудованием.

Анализ потребления электроэнергии ДНС

К основным потребителям электрической энергии ДНС, на основе [4], относятся следующее оборудование:

1. Насосы.
2. Компрессоры.

В связи с этим далее более подробно рассмотрим факторы, влияющие на величину потребления электроэнергии преимущественно данными потребителями.

В технологическом процессе работы ДНС насосы используются для отведения воды и перекачки нефти. Величина удельного расхода электроэнергии электродвигателями насосов зависит от ряда факторов:

1. Природных: температура окружающей среды, T , °С; способность транспортируемой нефтесодержащей жидкости (НСЖ) образовывать эмульсии, A ; кинематическая вязкость нефти, ν , м²/с; плотность нефти, ρ , кг/м³.

2. Технологических: наличие местных сопротивлений, D ; параметры энергетического оборудования, используемого в системе сбора нефтиных месторождений (коэффициент полезного действия (КПД), потребляемая мощность, коэффициент использования оборудования); суточный грузооборот нефти по участку нефтепровода, P , т; протяженность нефтепровода, L , км; эквивалентный диаметр нефтепровода, d , м; КПД участка нефтепровода, о.е.; статический напор нефтепровода, H , м; применение методов борьбы с негативными свойствами эмульсии и ее разрушением, E .

Все эти параметры напрямую или косвенно влияют на величину потребления электроэнергии.

В технологическом процессе работы ДНС компрессоры используются для транспортировки газа.

Величина удельного расхода электроэнергии компрессорами зависит от ряда факторов: плотность газа, ρ , кг/м³; абсолютное давление всасывания, P_1 , Па; абсолютное давление сжатия, P_2 , Па; среднее барометрическое давление во всасывающем патрубке, P , Па; средняя температура всасываемого воздуха, T , °С; изотермический КПД компрессора, определяемый по данным испытаний компрессора, η_k , о.е.; КПД электродвигателя, $\eta_{эл}$, о.е.; КПД передачи, $\eta_{пер}$, о.е. [1, 5].

Графически структура потребления электроэнергии показана на рис. 1.

На основании вышеизложенного анализа можно вывести обобщенные функции зависимости электропотребления оборудования от различных технических и технологических параметров:

1. Потребление электрической энергии насосами:

$$F_1 = f(A, B, C, D, E, P, L, d, \rho, \eta, \nu). \quad (1)$$

где F_1 – потребление электроэнергии насосами.

2. Потребление электрической энергии компрессорами:

$$F_2 = f(P, P_1, P_2, \rho, \eta_{пер}, \eta_{эл}, \eta_k). \quad (2)$$

где F_2 – потребление электроэнергии компрессорами.

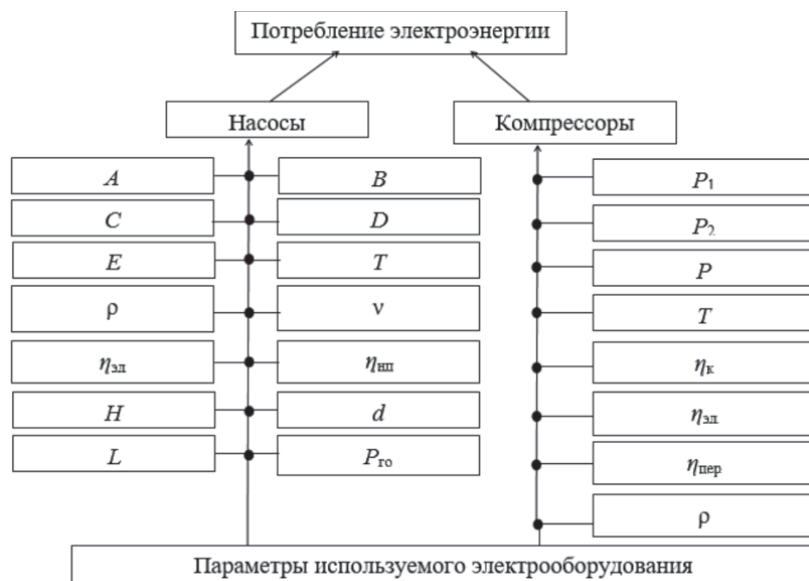


Рис. 1. Структура влияющих на электропотребление параметров

Согласно ФЗ № 261 от 23.11.2009 энергетическая эффективность – характеристики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта, применительно к продукции, технологическому процессу, юридическому лицу, индивидуальному предпринимателю.

Исходя из этого, общий вид уравнения оценки энергетической эффективности можно записать следующим образом:

$$W_{уд} = \sum_{i=1}^n \frac{W_{потр, \Sigma i}}{V_{неф, i}}, \quad (3)$$

где $W_{уд}$ – удельное потребление электроэнергии, кВт·ч/м³; $W_{потр, \Sigma i}$ – потребление электроэнергии ДНС в i -ый промежуток времени; $V_{неф, i}$ – объем переданной на дальнейшую переработку нефти в i -ый промежуток времени.

Довольно часто нефть транспортируется на относительно далекие расстояния, это обуславливает необходимость учитывать сопротивление труб при ее транспортировке.

Для расчета потребления электроэнергии на транспорт нефти с учетом свойств нефти и нефтепровода, а также с учетом КПД электродвигателей и насосов уравнение предлагается использовать следующее выражение [1]:

$$W_{н.н} = 0,496 \cdot \left(\frac{\rho \cdot V}{l} \right)^{2,75} \cdot \frac{v^{0,25}}{\rho^{1,25}} \cdot \frac{L}{d_3^{4,75} \eta} + 2,726 \cdot \Delta z \cdot \frac{\rho \cdot V}{L \cdot \eta} \cdot \left(\frac{100}{\eta_{н.эл.дв.}} \right) \cdot \left(\frac{100}{\eta_{н.нас.}} \right) \quad (4)$$

где $W_{н.н}$ – потребление электроэнергии насосами для перекачки нефти на следующие этапы технологического цикла; ρ – плотность нефти, кг/м³; V – объем перекачанной нефти, м³; v – кинематическая вязкость нефти, м²/с; L – протяженность нефтепровода, м; d_3 – эквивалентный диаметр нефтепровода, м; η – КПД участка нефтепровода, о.е.; Δz – статический напор участка нефтепровода, м.

Добываемое из скважин сырье является нефтегазосодержащей жидкостью. На первых этапах переработки нефти от нее отделяется газ. Часть газа сжигается в факелах на ДНС, а часть транспортируется. Для транспортировки газа ему нужно сообщить повышенное давление, для этого используются компрессорные установки.

Удельный расход электроэнергии на выработку 1000 м³ сжатого газа по компрессорной установке составит

$$W_{к.у.} = W_{пр.к} + W_{охл.}, \quad (5)$$

где $W_{к.у.}$ – потребление электроэнергии компрессором, кВт·ч/тыс. м³; $W_{пр.к}$ – удельный расход электроэнергии на привод компрессора, кВт·ч/тыс. м³; $W_{охл.}$ – удельный расход электроэнергии на охлаждение компрессора, кВт·ч/тыс. м³.

Удельный расход электроэнергии на привод компрессора определяется как

$$W_{пр.к} = 0,00272 \cdot \frac{L_{из} \cdot a_n}{\eta_{из} \cdot \eta_d \cdot \eta_{пер}} \cdot \frac{\rho_{газа}}{\rho_{воз.н.у.}}, \quad (6)$$

где $L_{из}$ – работа изотермического сжатия, Дж; a_n – поправочный коэффициент на средние значения температуры и барометрического давления воздуха во всасывающем патрубке; $\eta_{из}$ – изотермический КПД компрессора, определяемый по данным испытаний компрессора; η_d – КПД электродвигателя; $\eta_{пер}$ – КПД передачи; $\rho_{газа}$ – плотность перекачиваемого газа, кг/м³; $\rho_{воз.н.у.}$ – плотность воздуха при нормальных условиях, кг/м³.

Работа изотермического сжатия компрессора определяется по формуле

$$L_{из} = 23000 \cdot P_1 \cdot V_1 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1}, \quad (7)$$

где P_1 – абсолютное давление всасывания, атм; V_1 – начальный всасываемый объем воздуха, м³; P_2 – абсолютное давление сжатия, атм.

Поправочный коэффициент a_n определяется по формуле

$$a_n = \frac{1,205}{\gamma_d}, \quad (8)$$

где γ_d – удельный вес всасываемого воздуха в действительных условиях, кг/м³.

Удельный вес всасываемого воздуха в действительных условиях определяется по формуле:

$$\gamma_d = \frac{0,465 \cdot B_{ср}}{273 + t_{ср}}, \quad (9)$$

где $B_{ср}$ – среднее барометрическое давление во всасывающем патрубке, мм.рт.ст.; $t_{ср}$ – средняя температура всасываемого воздуха для периода нормирования, °С.

Удельный расход электроэнергии на охлаждение компрессора определяется по формуле

$$W_{охл.} = \frac{H \cdot Q_v}{\eta_n \cdot \eta_d \cdot \eta_{пер}}, \quad (10)$$

где H – напор воды, включая и высоту всасывания, м.вод.ст.; Q_v – часовой расход воды, л/ч;

η_n – КПД насоса (принимается по паспортным данным); η_d – КПД электродвигателя насоса; $\eta_{пер}$ – КПД передачи от электродвигателя к насосу.

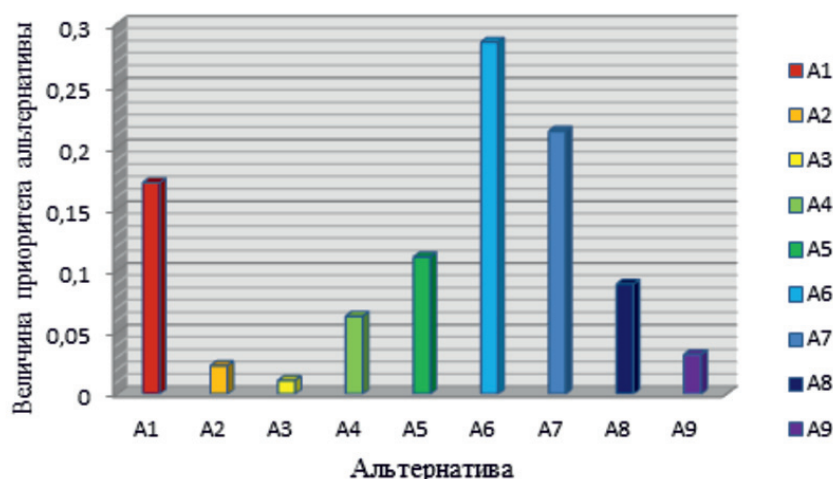


Рис. 2. Глобальные приоритеты альтернатив

Довольно часто для сброса воды с ДНС существует специальное водохранилище, которые находится вблизи самой ДНС.

Расчет потребления электроэнергии насосами для откачки воды предлагается проводить по следующей формуле:

$$W_{\text{н.вод.}} = \frac{H \cdot V \cdot \rho_{\text{воды}}}{\eta_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \rho_{\text{воды.н.у.}}}, \quad (11)$$

где H – действительный напор, развиваемый насосом при данном режиме работы, м. вод. ст.; $\eta_{\text{н}}$ – КПД насоса (принимается по паспортным данным); $\eta_{\text{д}}$ – КПД электродвигателя насоса; V – объем перекачиваемой воды; $\rho_{\text{воды}}$ – плотность перекачиваемой воды, кг/м^3 ; $\rho_{\text{воды.н.у.}}$ – плотность обессоленной воды при $P_{\text{атм}} = 101325 \text{ Па}$, $T = 20^\circ\text{C}$, кг/м^3 .

Для построения иерархии показателей по влиянию на энергетическую эффективность воспользуемся методом ранжирования. В качестве критерия, определяющего энергоэффективность процесса добычи нефти, примем удельное потребление электроэнергии на тонну транспортируемой с ДНС нефти, при этом задавшись условием, что количество поступающей на ДНС жидкости постоянное. Критерий энергоэффективности рассчитывается согласно формуле (3).

В качестве альтернатив примем: снижение плотности и вязкости нефти (A1); снижение плотности газа (A2); снижение плотности воды (A3); КПД электродвигателей (A4); загрузка электродвигателей (A5); объемная подача сырья (A6); напор при транспортировке жидкостей (A7); давление сжатия компрессоров (A8); схема соединения при групповой работе электродвигателей (A9).

Для более наглядного отображения глобальных приоритетов альтернатив, полученных методом ранжирования, построим столбчатую диаграмму (рис. 2).

Таким образом, для экономии электроэнергии на ДНС можно регулировать 4 параметра:

1. Плотность и вязкость нефти.
2. Плотность газа.
3. Загрузка электродвигателей.
4. КПД электродвигателей.

Повышение энергетической эффективности является процессом реализации мероприятий, направленных на оптимизацию работы оборудования и совершенствование технологического процесса. Последовательность принятия мер удобно представить в виде алгоритма.

Предлагаемый в данной работе алгоритм реализации мероприятий, направленных на снижение потребления электрической энергии, представлен на рис. 3.

В результате реализации алгоритма получены следующие результаты:

- повышение КПД двигателя с 80% до 85% дает экономию электроэнергии: насосами нефти – 0,1%, насосами воды – 5,9%, компрессорами 5,9%.

- снижение плотности жидкости с 1100 кг/м^3 до 1070 кг/м^3 дает экономию электроэнергии: нефтяными насосами – 4,04%.

- снижение вязкости жидкости с $0,066 \text{ м}^2/\text{с}$ до $0,064 \text{ м}^2/\text{с}$ дает экономию электроэнергии: нефтяными насосами – 0,8%.

- снижение плотности транспортируемого газа с 1800 г/м^3 до 1620 г/м^3 дает экономию электроэнергии: компрессорами – 2,86%.

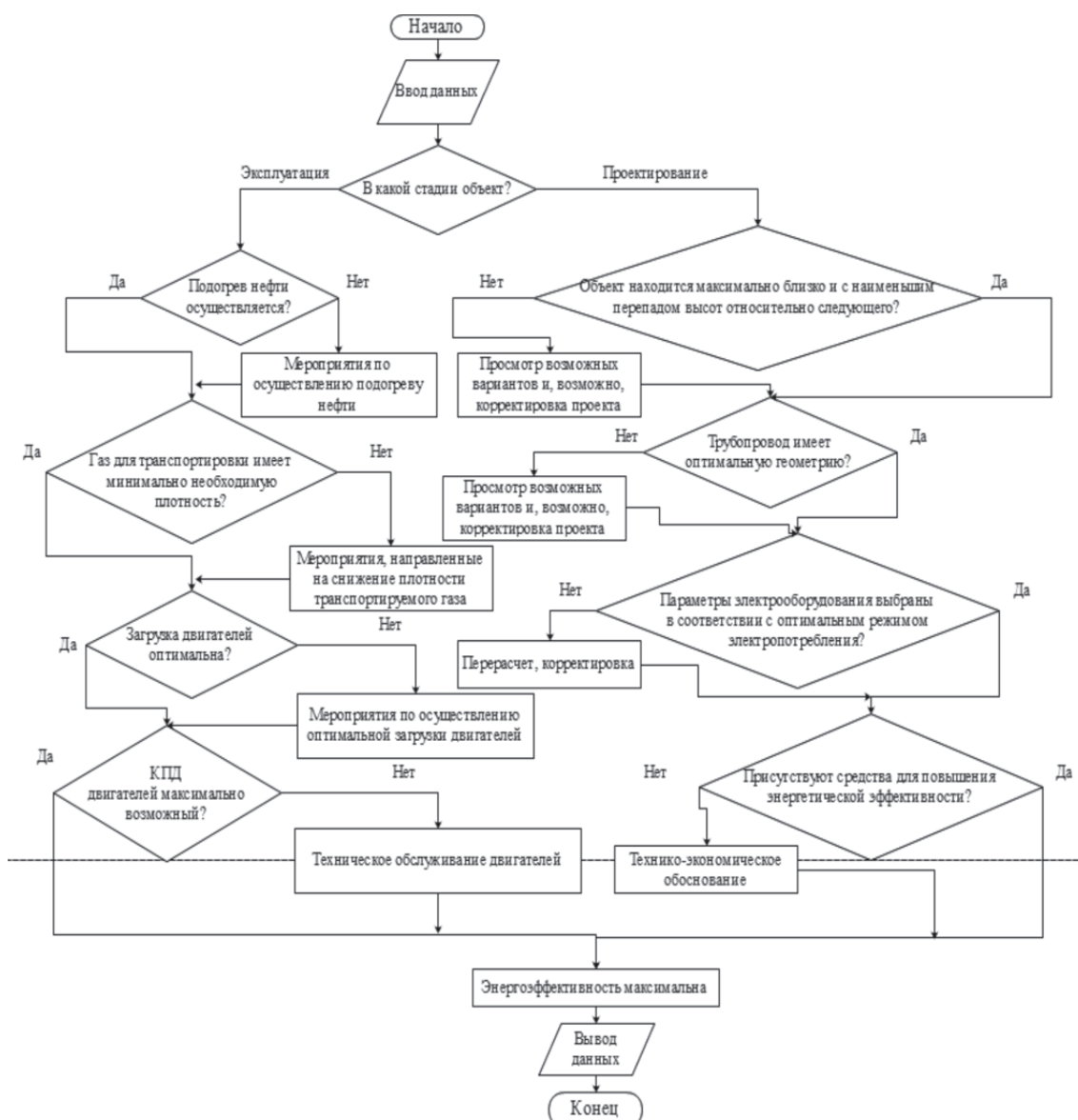


Рис. 3. Алгоритм оценки и реализации энергетической эффективности дожимной насосной станции

Заключение

Предложенная методика позволяет проводить более точную оценку энергетической эффективности объектов нефтегазоперерабатывающей отрасли. Использование предложенного алгоритма упрощает разработку комплекса мероприятий, направленных на экономию электроэнергии.

Список литературы

1. Богданов Р.М. Расчет норм потребления электроэнергии в трубопроводном транспорте нефти // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2012. – № 1. – С. 47–

57; URL: http://ogbus.ru/authors/Bogdanov/Bogdanov_1.pdf (дата обращения: 15.06.2016).

2. Лутошкин Г.С. Сбор и подготовка нефти, газа и воды. – М.: Недра, 1977. – 192 с.

3. Ромодин А.В., Кузнецов М.И. О способе пуска асинхронного двигателя при изменении фазы напряжения на одной из двух обмоток статора // Электротехника. – 2015. – № 6. – С. 40–44.

4. Савинцев Ю.М., Стулов А.В. Методология прогнозирования рыночного спроса на электрооборудование сетей электроснабжения на базе ценологической парадигмы. Часть II. Электротехнический рынок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://market.elec.ru/nomer/57/metodologiya-prognozirovaniya-rynochnogo-sprosa-3/> (дата обращения: 10.06.2016).

5. Токочакова Н.В. Нормирование и прогнозирование расхода электрической энергии предприятий транспорта нефти в заданных условиях функционирования // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. – 2006. – № 4. – С. 67–77.

References

1. Bogdanov R.M. Raschet norm potreblenija jelektronegii v truboprovodnom transporte nefi // Jelektronnyj nauchnyj zhurnal «Neftegazovoe delo». 2012. no. 1. pp. 47–57; URL: http://ogbus.ru/authors/Bogdanov/Bogdanov_1.pdf (data obrashhenija: 15.06.2016).

2. Lutoshkin G.S. Sbor i podgotovka nefi, gaza i vody. M.: Nedra, 1977. 192 p.

3. Romodin A.V., Kuznecov M.I. O sposobe puska asinhronnogo dvigatelja pri izmenenii fazy naprjazhenija na odnoj iz dvuh obmotok statora // Jelektrrotehnika. 2015. no. 6. pp. 40–44.

4. Savincev Ju.M., Stulov A.V. Metodologija prognozirovanija rynochnogo sprosa na jelektrrooborudovanie setej jelektrrosnabzhenija na baze cenologicheskoj paradigmy. Chast II. Jelektrrotehnicheskij ryok [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://market.elec.ru/nomer/57/metodologiya-prognozirovaniya-rynochnogo-sprosa-3/> (data obrashhenija: 10.06.2016).

5. Tokochakova N.V. Normirovanie i prognozirovanie rashoda jelektricheskoj jenerгии predpriyatij transporta nefi v zadannyh uslovijah funkcionirovanija // Vestnik Gomelskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta im. P.O. Suhogo. 2006. no. 4. pp. 67–77.