

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОМОГРАММЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕЛЕВОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ ПРЕДПРИЯТИЙ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА НЕФТИ

Н. В. ТОКОЧАКОВА, А. С. ФИКОВ, П. М. КОЛЕСНИКОВ

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Введение

Начиная с 1998 г. в Республике Беларусь введен показатель, позволяющий оценивать эффективность использования ТЭР на всех стадиях их производства и потребления – целевой показатель по энергосбережению. Данный показатель ежегодно устанавливается Советом Министров Республики Беларусь в качестве одного из основных показателей социально-экономического развития [1]. Государственная статистическая отчетность о выполнении целевого показателя по энергосбережению ведется предприятиями ежемесячно с нарастающим итогом. В настоящее время в республике введена в действие временная инструкция по расчету целевого показателя по энергосбережению [2], отличительной особенностью которой является переход от темпов роста товарной продукции в сопоставимых ценах к индексу промышленного производства. С введением в действие инструкции [2] концерном «Белнефтехим» были отменены все ранее разработанные отраслевые методики по расчету целевого показателя по энергосбережению, за исключением методик, разработанных для предприятий трубопроводного транспорта нефти и газа. Данные методики учитывают не только физические объемы транспортируемого продукта, но и технологические особенности конкретных предприятий.

В повседневной работе службы главного энергетика, с целью контроля над эффективным потреблением ТЭР, в течение месяца неоднократно возникает необходимость в проведении прикидочных расчетов целевого показателя по энергосбережению. Одним из эффективных путей решения данной задачи является использование номограмм. Ценными свойствами номограмм являются их дешевизна, доступность, простота использования, наглядность и быстрота получения ответов [3]. Задачей работы является проектирование номограммы, облегчающей инженерные расчеты целевого показателя по энергосбережению предприятий трубопроводного транспорта нефти. При проектировании номограммы используются методики, приведенные в [3].

Решение задачи

Согласно методике [4] расчет целевого показателя по энергосбережению для предприятий транспорта нефти выполняется по формуле

$$\text{ЦП} = \left(\frac{\text{ОЭЗ}^0}{\text{ОЭЗ}_{\text{с.у}}^6} - 1 \right) \cdot 100, \% \quad (1)$$

где $OЭЗ^0$ – обобщенные энергозатраты за отчетный период, т у. т.; $OЭЗ_{с.у}^6$ – приведенные к сопоставимым условиям обобщенные энергозатраты в предыдущем (базисном) периоде, т у. т.

Приведенные к сопоставимым условиям обобщенные энергозатраты в предыдущем (базисном) периоде определяются как

$$OЭЗ_{с.у}^6 = OЭЗ^6 + \sum ДOЭЗ^6, \text{ т у. т.}, \quad (2)$$

где $OЭЗ^6$ – обобщенные энергозатраты в базисном периоде, т у. т.; $\sum ДOЭЗ^6$ – величина, на которую должны быть изменены обобщенные энергозатраты в базисном периоде при приведении к сопоставимым условиям, т у. т.

Расчет значения $\sum ДOЭЗ^6$ осуществляется с учетом структуры потребления ТЭР, которая складывается из следующих составляющих:

- электрической энергии, расходуемой на транспортировку нефти;
- тепловой энергии, расходуемой на нужды отопления, вентиляции и горячего водоснабжения;
- топлива, расходуемого в котельных для производства тепловой энергии.

Величина $\sum ДOЭЗ^6$ определяется сопоставимыми условиями, корректирующими потребление электрической, тепловой энергии и топлива в базисном периоде:

$$\sum ДOЭЗ^6 = \Delta OЭЗ_э^6 + \Delta OЭЗ_т^6, \text{ т у. т.}, \quad (3)$$

где $\Delta OЭЗ_э^6$ – величина, на которую следует скорректировать затраты электроэнергии за счет сопоставимых условий, т у. т.; $\Delta OЭЗ_т^6$ – величина, на которую следует скорректировать затраты тепловой энергии и топлива за счет сопоставимых условий, т у. т.

Сопоставимые условия для корректировки затрат тепловой энергии и топлива определяются средней температурой наружного воздуха и продолжительностью отопительного периода. Сопоставимые условия для корректировки затрат электроэнергии определяются как изменением грузооборота нефти, так и состоянием технологической системы транспортировки нефти. Следует отметить, что для предприятий транспорта нефти на величину $\sum ДOЭЗ^6$ в наибольшей степени влияет изменение грузооборота нефти, поскольку порядка 98 % потребленных ТЭР составляет электрическая энергия технологических нужд.

Приведение к сопоставимым условиям обобщенных энергозатрат производится на основе фактической взаимосвязи между электропотреблением и приведенным грузооборотом нефти через показатель степени α , что позволяет учесть индивидуальные особенности конкретного предприятия транспорта нефти:

$$ДOЭЗ_э^6 = OЭЗ_э^6 \cdot (T_{г.о}^\alpha - 1), \text{ т у. т.}, \quad (4)$$

где $OЭЗ_э^6$ – энергозатраты электроэнергии на транспортировку нефти базисного периода, т у. т.; $T_{г.о}$ – темп роста приведенного грузооборота, о. е.; α – показатель степени, характеризующий нелинейность взаимосвязи между энергозатратами и приведенным грузооборотом нефти. Согласно исследованиям [5] данный параметр зависит от способа управления нефтепроводом (смена состава насосных агрегатов,

дросселирование) и для белорусских нефтепроводов теоретически лежит в пределах от 0,5 до 2,7. На практике этот диапазон несколько шире – от 0,3 до 3,0.

Таким образом, значение целевого показателя по энергосбережению можно представить следующей зависимостью:

$$\text{ЦП} = \frac{\text{ОЭЗ}^{\circ}}{\text{ОЭЗ}^{\flat} + \text{ОЭЗ}_3^{\flat}(\Gamma_{r.o}^{\alpha} - 1)} - 1, \text{ о. е.} \quad (5)$$

Непосредственное номографирование выражения (5) неэффективно, поскольку ежемесячный расчет целевого показателя по энергосбережению на основе накопленных месячных значений ОЭЗ° , ОЭЗ^{\flat} , ОЭЗ_3^{\flat} потребует неоправданно большого

(завышенного в 12 крат) размаха между нижним и верхним пределом соответствующих шкал, вследствие чего теряется точность и удобство номограммы. Разделив числитель и знаменатель в выражении (5) на ОЭЗ^{\flat} , можно перейти к расчету целевого показателя в более удобных относительных единицах:

$$\text{ЦП} = \frac{I^{\text{OЭЗ}}}{1 + \gamma_3^{\flat}(\Gamma_{r.o}^{\alpha} - 1)} - 1, \text{ о. е.}, \quad (6)$$

где $I^{\text{OЭЗ}}$ – индекс роста обобщенных энергозатрат,

$$I^{\text{OЭЗ}} = \text{ОЭЗ}^{\circ} / \text{ОЭЗ}^{\flat}, \text{ о. е.}; \quad (7)$$

γ_3^{\flat} – удельный вес электрической энергии в структуре обобщенных энергозатрат базисного периода,

$$\gamma_3^{\flat} = \text{ОЭЗ}_3^{\flat} / \text{ОЭЗ}^{\flat}, \text{ о. е.} \quad (8)$$

Исходя из количества переменных, выражение (6) можно пытаться представить номограммой из выровненных точек с двумя бинарными полями и одной шкалой, а также составными номограммами различных типов. Для решения поставленной задачи по первому варианту выражение (6) необходимо привести к основной канонической форме [3], что весьма затруднительно:

$$\frac{f_{34} - f_{12}}{g_{34} - g_{12}} = \frac{f_5 - f_{12}}{g_5 - g_{12}}, \quad (9)$$

где f, g – функции параметров 1, 2, 3, 4 и 5.

Второй вариант решения поставленной задачи предполагает некоторую свободу при выборе типов элементарных номограмм, а значит и большее число вариантов проектирования. Проектирование составных номограмм производится путем введения в выражение дополнительных переменных, в результате чего исходное выражение распадается на систему уравнений, представимых в некоторой канонической форме.

Проектируемую номограмму предложено представить в виде составной номограммы, состоящей из прямолинейного абака Декарта и двух элементарных шкальных номограмм из выровненных точек (рис. 1), построенных для частного случая канонической формы Коши [3]:

$$f_1 = f_2 \cdot f_3. \quad (10)$$

Для этих целей введем в выражение (6) две дополнительные переменные (θ , φ):

$$\begin{cases} \theta = T_{r.0}^\alpha - 1; \\ \theta = (\varphi - 1) \frac{1}{\gamma_3^6}; \\ I^{033} = \varphi(\text{ЦП} + 1). \end{cases} \quad (11)$$

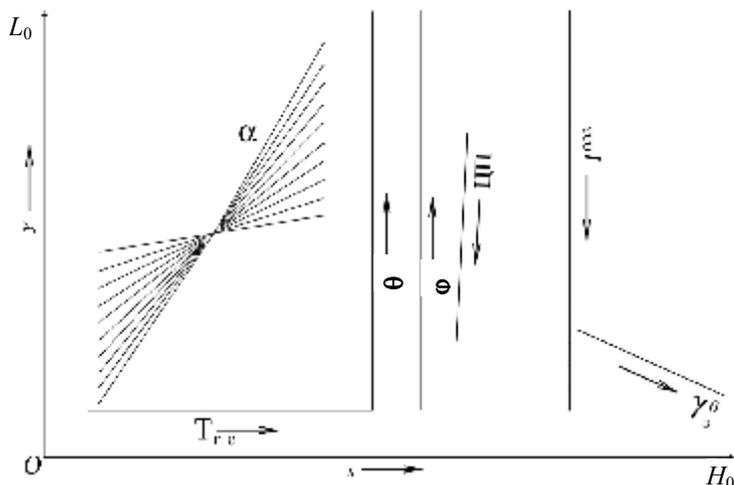


Рис. 1. Схема номограммы для определения целевого показателя по энергосбережению

Проектирование номограммы, схематично представленной на рис. 1, сводится к расчету координат пометок шкал в осях xOy с учетом произвольно выбранных высоты ($L_0 = 150$ мм) и ширины ($H_0 = 250$ мм) номограммы. Полученные выражения координат пометок шкал используются для построения макета номограммы в математическом пакете (например, MathCAD). Окончательная обработка макета номограммы производится в графическом редакторе.

Для построения элементарной номограммы первого уравнения системы (11) в виде прямолинейного абака Декарта с равномерной сеткой производим построение поля (T, θ) в виде:

$$x = m(T - a); \quad y = n(\theta - b), \quad (12)$$

где произвольные параметры a и b определяют положения начала координат, произвольные параметры m и n определяют размеры сетки в направлении осей абсцисс и ординат.

Выберем предел измерений темпа роста приведенного грузооборота от 0,93 до 1,07, что соответствует 7 % изменению данного параметра в отчетном периоде и дает возможность использовать проектируемую номограмму как в условиях роста, так и спада производственной программы. Как уже отмечалось выше, показатель степени α может принимать значения от 0,3 до 3,0. В данных диапазонах изменения параметров T и α диапазон изменения дополнительной переменной θ лежит в пределах от $-0,20$ до $+0,22$. Тогда, принимая ширину (H) поля (T, θ) равной 100 мм, определим произвольные параметры как:

$$m = H / (T_{\max} - T_{\min}) = 100 / (1,07 - 0,93) = 714,3; a = T_{\min} = 0,93;$$

$$n = L_0 / (\theta_{\max} - \theta_{\min}) = 150 / (0,22 + 0,20) = 357,1; b = \theta_{\min} = -0,20.$$

Тогда уравнения поля (T, θ) окончательно примут вид:

$$x = 714,3(T - 0,93); y = 357,1(\theta + 0,20).$$

Выражая из полученных уравнений параметры T , θ и подставляя полученные выражения в первое уравнение системы (11), получим уравнение семейства кривых α в осях xOy :

$$y(x, \alpha) = 357,1 \left[\left(\frac{x}{714,3} + 0,93 \right)^\alpha - 0,8 \right].$$

При построении абака Декарта ось θ выполняется немой, при этом горизонтальные линии сетки сохраняются и используются в качестве направляющих для переноса точки T , α на вспомогательную ось θ .

Элементарная номограмма для второго уравнения системы (11) проектируется в виде двух равномерных параллельных шкал (θ, φ) высотой $L_0 = 150$ мм и одной наклонной шкалы γ_3^δ . Для частного случая канонической формы Коши (10) запишем:

$$f_1 = \theta; f_2 = \varphi - 1; f_3 = 1 / \gamma_3^\delta.$$

При определении уравнений простейших элементов элементарной номограммы следует учитывать, что вспомогательная ось θ абака Декарта должна совпадать с носителем шкалы θ проектируемой элементарной номограммы. Исходя из этих соображений, для шкалы θ можно записать:

$$x = 100; y = m(f_1 - a) = 357,1(\theta + 0,20).$$

Удельный вес электропотребления в обобщенных энергозатратах РУП «Гомель-транснефть Дружба» составляет более 95 %. При принятии диапазона изменения данного параметра с небольшим запасом от 0,9 до 1,0 диапазон изменения параметра φ целесообразно принять от 0,8 до 1,25.

В общем виде уравнения шкалы φ запишутся:

$$x = H + \Delta H; y = n(f_2 - b), \tag{13}$$

где произвольный параметр H равен расстоянию между носителями шкал θ, φ (принимая $H = 10$); параметр ΔH принимается равным положению носителя шкалы θ на оси Ox (принимая $\Delta H = 100$); произвольный параметр b определяет положение носителя шкалы φ (принимая $b = f_2(\varphi_{\min}) = \varphi_{\min} - 1 = 0,8 - 1 = -0,2$); произвольный множитель n определяет масштаб шкалы и находится из условия равномерного распределения принятых значений параметра φ на протяжении носителя шкалы в диапазоне от 0 до L_0 :

$$n = \frac{L_0}{f_2(\varphi_{\max}) - f_2(\varphi_{\min})} = \frac{L_0}{(\varphi_{\max} - 1) - (\varphi_{\min} - 1)} = \frac{150}{(1,25 - 1) - (0,8 - 1)} = 333,3.$$

Окончательно уравнения шкалы φ запишутся:

$$x = 110; y = 333,3(\varphi - 0,8).$$

Уравнения наклонной шкалы γ_3^6 запишутся:

$$x = \frac{m \cdot H \cdot f_3}{m \cdot f_3 - n} + \Delta H = \frac{3571 \cdot \frac{1}{\gamma_3^6}}{357,1 \cdot \frac{1}{\gamma_3^6} - 333,3} + 100;$$

$$y = \frac{m \cdot n(a - b \cdot f_3)}{m \cdot f_3 - n} = \frac{-23804 + 23804 \cdot \frac{1}{\gamma_3^6}}{357,1 \cdot \frac{1}{\gamma_3^6} - 333,3}.$$

Элементарная номограмма для третьего уравнения системы (11) проектируется по аналогичной методике. Для более удобного расположения носителя наклонной шкалы перепишем данное уравнение в виде:

$$-I^{033} = \varphi(-(\text{ЦП} + 1)). \quad (14)$$

Тогда для частного случая канонической формы Коши (10) запишем:

$$f_1 = -I^{033}; f_2 = \varphi; f_3 = -(\text{ЦП} + 1).$$

Совмещение проектируемой элементарной номограммы с предыдущей производится по носителю шкалы φ . Такое совмещение возможно, поскольку в обоих случаях шкалы равномерные. Масштаб n шкалы φ принимаем равным 333,3. Положение носителя шкалы φ определим как $b = f_2(\varphi_{\min}) = \varphi_{\min} = 0,8$. Окончательно уравнения шкалы φ запишутся в виде:

$$x = H + \Delta H = 110; y = n(f_2 - b) = 333,3(\varphi - 0,8).$$

Расстояние между носителями шкал выбираем отрицательным ($H = -50$), что обеспечивает изменение последовательности носителей шкал φ и θ . Тогда значение произвольного параметра ΔH составит 160.

Примем диапазон возможных значений индекса роста обобщенных энергозатрат от 0,9 до 1,1. С целью увеличения протяженности носителя шкалы ЦП, примем диапазон изменения данного параметра от $-0,15$ до $0,15$. Следует отметить, что практически встречающиеся значения целевого показателя по энергосбережению не выходят за диапазон от -5 до $+5$ %.

В общем виде уравнения шкалы I^{033} запишутся:

$$x = \Delta H; y = m(f_1 - a), \quad (15)$$

где произвольный параметр a определяется так, чтобы точка с пометкой $I^{033} = 1,1$ лежала на оси Ox (принимаем $a = f_1(I_{\max}^{033}) = -I_{\max}^{033} = -1,1$); произвольный множитель m определяет масштаб шкалы I^{033} :

$$m = \frac{L_0}{f_1(I_{\min}^{033}) - f_1(I_{\max}^{033})} = \frac{L_0}{-I_{\min}^{033} + I_{\max}^{033}} = \frac{150}{-0,9 + 1,1} = 750.$$

Окончательно уравнения шкалы I^{033} запишутся:

$$x = 160; y = 750(1,1 - I^{033}).$$

Уравнения наклонной шкалы ЦП запишутся:

$$x = \frac{m \cdot H \cdot f_3}{m \cdot f_3 - n} + \Delta H = \frac{37500(\text{ЦП} + 1)}{-750 \cdot \text{ЦП} - 1083,3} + 160;$$

$$y = \frac{m \cdot n(a - b \cdot f_3)}{m \cdot f_3 - n} = \frac{(20 \cdot \text{ЦП} - 7,5)10^4}{-750 \cdot \text{ЦП} - 1083,3}.$$

На рис. 2, согласно полученным простейшим уравнениям элементов элементарных номограмм, построена составная номограмма для определения целевого показателя по энергосбережению. На вспомогательные носители шкал φ и θ пометки не наносятся.

Для иллюстрации использования разработанной номограммы приведем пример определения целевого показателя по энергосбережению за семь месяцев работы одного из белорусских предприятий транспорта нефти. Исходные данные к расчету приведены в таблице.

Исходные данные к определению целевого показателя по энергосбережению предприятия транспорта нефти

| Параметр | Значение |
|--|---------------------------|
| Темп роста приведенного грузооборота нефти | $T_{г.о} = 0,98$ о. е. |
| Индекс роста обобщенных энергозатрат | $I^{033} = 0,94$ о. е. |
| Удельный вес электропотребления в обобщенных энергозатратах базисного периода | $\gamma_3^6 = 0,95$ о. е. |
| Показатель степени взаимосвязи между электропотреблением и приведенным грузооборотом нефти | $\alpha = 2,70$ |

Определение значения целевого показателя по энергосбережению производится путем трех наложений линейки на номограмму. Первое наложение линейки соответствует отрезку АБ (рис. 2). Точка А данного отрезка получена на пересечении заданных значений $T_{г.о}$ и α . Для получения точки Б из точки А опускается перпендикуляр на первый немой носитель шкалы. Для этих целей можно использовать горизонтальные вспомогательные линии. Второе наложение линейки соответствует отрезку БВ. Точка В определяется на шкале γ_3^6 . Пересечение отрезка БВ со вторым немой носителем шкалы дает точку Г отрезка ГД, соответствующего третьему наложению линейки. Точка Д отмечается на шкале I^{033} . Искомый результат находится на пересечении отрезка ГД и шкалы целевого показателя по энергосбережению (ЦП).

Согласно исходным данным значение целевого показателя, определенное с использованием номограммы, составляет 1,0 %, что соответствует 1,0 % экономии ТЭР в отчетном периоде в сопоставимых условиях с базисным периодом.

Заключение

Разработана номограмма для прикидочных расчетов целевого показателя по энергосбережению с учетом изменяющего приведенного грузооборота нефти и фактической взаимосвязи между электропотреблением и приведенным грузооборотом нефти, позволяющая оценивать эффективность использования ТЭР в процессе их потребления предприятиями трубопроводного транспорта нефти.

Литература

1. Инструкция по расчету целевых показателей по энергосбережению : утв. Ком. по энергоэффективности при Совете Министров Респ. Беларусь 28.07.03. – Минск, 2003. – 14 с.
2. Об утверждении Инструкции по расчету целевых показателей по энергосбережению : постановление Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 1 авг. 2007 г., № 40 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2007. – № 214. – 8/17035.
3. Хованский, Г. С. Основы номографии / Г. С. Хованский. – Москва : Наука, 1976. – 351 с.
4. Методика расчета целевого показателя энергосбережения для предприятий транспорта нефти в сопоставимых условиях : утв. Белорус. гос. концерном по нефти и химии 14.07.05. – Минск, 2005. – 31 с.
5. Фиков, А. С. Изучение закономерностей формирования режимов электропотребления участков нефтепровода для оценки целевого показателя энергосбережения предприятий трубопроводного транспорта нефти / А. С. Фиков, П. М. Колесников // Современные проблемы машиноведения : тез. докл. VI Междунар. науч.-техн. конф., Гомель, 19–20 окт. 2006 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, ОАО «ОКБ Сухого» ; под общ. ред. С. Б. Сарело. – Гомель, 2006. – С. 129–130.

– Получено 18.10.2007 г.