

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ УЧАСТКОВ НЕФТЕПРОВОДА

Ю.Н. КОЛЕСНИК, Н.В. ТОКОЧАКОВА, С.И. ПОЛОВИНКО

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

Проблема энергосбережения для предприятий транспорта нефти является актуальной, т. к. импорт энергоресурсов в Республике Беларусь составляет до 85 % при высоких ценах на них.

Одним из способов решения задач управления потреблением электроэнергии на трубопроводном транспорте может служить математическое моделирование режимов электропотребления.

В этой связи актуальным является изучение режимов электропотребления участков нефтепровода на основании математического моделирования и определение резервов энергосбережения предприятий транспорта нефти.

Установлено, что на режим потребления энергии влияет большое количество факторов, среди которых основными являются грузооборот, физико-химические свойства нефти, состав включенных насосных агрегатов (НА). Степень влияния последнего фактора на электропотребление можно определить, разработав эмпирические модели, дифференцированные по составу НА.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Проведена классификация суточных режимов работы участков нефтепровода по составу НА за 2 года.
2. Разработаны эмпирические модели зависимости удельного потребления электроэнергии от грузооборота нефти $W_{уд} = f(P)$.
3. Для всех типов моделей определена оптимизационная задача, составленная по критерию минимума электропотребления при заданном грузообороте нефти.
4. Установлены зависимости для оценки эффективности оптимизации состава НА.

Построение моделей электропотребления, в зависимости от состава насосного оборудования в условиях дросселирования потоков нефти, позволяет решать следующие задачи:

1. Получать более точные модели электропотребления, на что указывает более высокий нормированный коэффициент детерминации.
2. Выявлять резервы экономии электроэнергии для предприятия.

Для разработки эмпирических моделей удельного электропотребления использовался корреляционно-регрессионный анализ.

В результате моделирования режимов электропотребления участков нефтепровода установлено, что все многообразие моделей, в зависимости от режимов работы, может быть описано 4-мя видами (рис. 1).

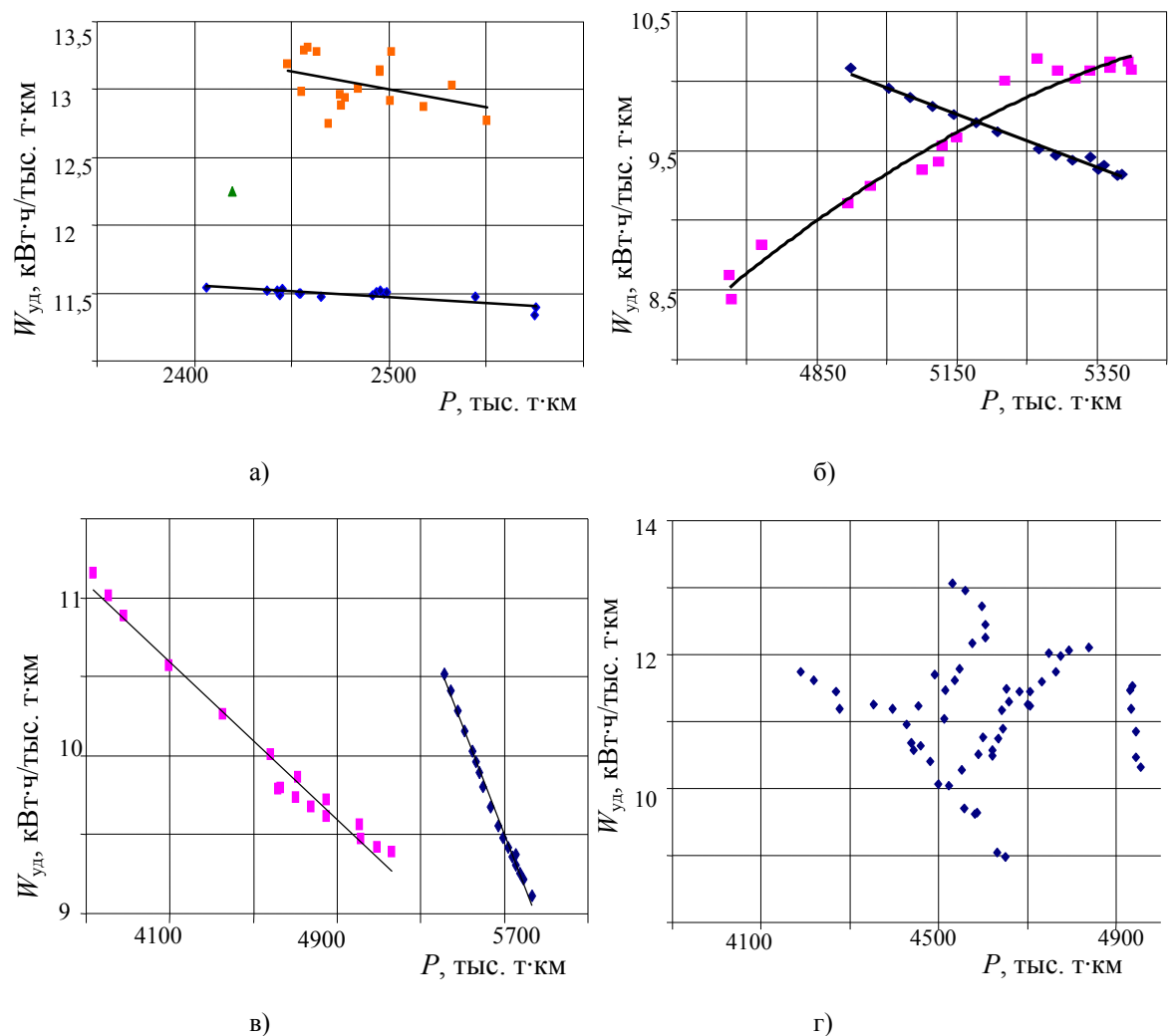


Рис. 1. Классификация моделей электропотребления в зависимости от режимов работы НА: а – модель с разделением кривых по зонам удельного электропотребления $W_{уд}$; б – модель с пересечением кривых удельного потребления $W_{уд}$; в – модель с разделением кривых по диапазонам грузооборота нефти; г – модель с невыраженным влиянием состава НА

С целью решения задач по экономии электроэнергии предлагается для моделей с разделением кривых по зонам удельного электропотребления (рис. 1а) работать составом НА, дающим более низкое значение $W_{уд}$. Для моделей, изображенных на рис. 1б, существует граничная точка грузооборота, разделяющая зоны экономичной работы составов НА. Для определения экономического эффекта, возможного при работе по кривым $W_{уд}$ по рис. 1в, необходимо решить оптимизационную задачу по поиску наиболее экономичного режима работы составов НА. Модели, представленные на рис. 1г, требуют определения аналитических зависимостей удельного расхода электроэнергии при известных закономерностях движения вязких жидкостей по трубопроводу.

Определим экономический эффект для модели электропотребления с разделением кривых по зонам удельного электропотребления $W_{уд}$ (рис. 2).

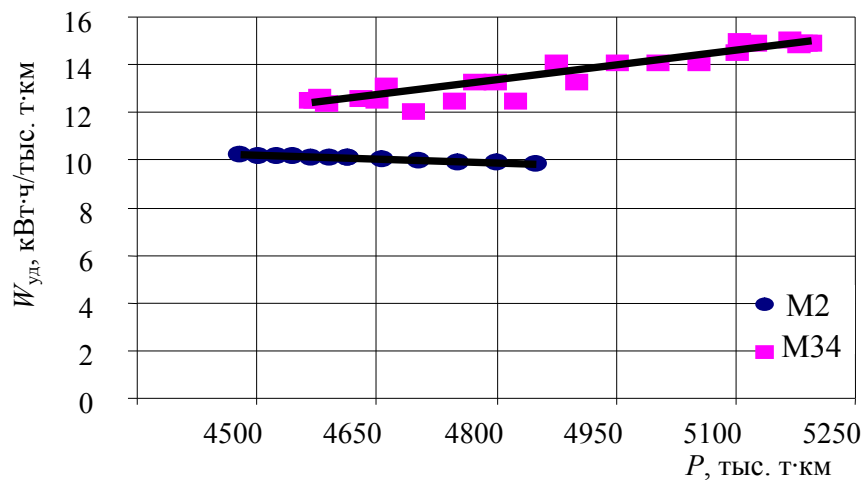


Рис. 2. Квартальная модель с разделением кривых по зонам удельного потребления электроэнергии для участка нефтепровода

Для рис. 2 предлагается в диапазоне грузооборота 4500–4800 тыс. т·км перейти от работы составом НА М34 к работе агрегатом М2. Под составом насосных агрегатов М34 понимается работа 3-го и 4-го основных насосных агрегатов по направлению «М», под М2 понимается работа 2-го основного насосного агрегата по направлению «М». Необходимо учесть, что в исследуемом квартале имела место работа состава НА М23.

Модели удельного электропотребления, в зависимости от выбранных влияющих факторов, построенные на основании суточных статистических данных, имеют общий вид:

$$W_{уд} = (aP + bv + c)/P, \quad (1)$$

где P – значение среднесуточного грузооборота нефти, тыс. т·км; v – вязкость нефти, сСт; a , b и c – коэффициенты в уравнении регрессии.

Модель удельного электропотребления, полученная в заданном диапазоне грузооборота, для состава НА М34 (см. рис. 2):

$$W_{уд1} = (34,21P + 1097,73v - 115155)/P, \text{ кВт·ч/тыс. т·км.} \quad (2)$$

Модель удельного электропотребления, полученная в заданном диапазоне грузооборота, для агрегата М2 (см. рис. 2):

$$W_{уд2} = (2,14P + 1795,5v - 8916,9)/P, \text{ кВт·ч/тыс. т·км.} \quad (3)$$

Переход на режим работы агрегатом М2 означает, что для имеющихся среднесуточных данных по режимам работы для состава НА М34 необходимо воспользоваться формулой (3) для определения суточного расхода электроэнергии $W_{общ,опт}$. Результаты расчетов сведены в табл. 1.

Для модели электропотребления с пересечением кривых удельного потребления управление составами НА должно заключаться в выборе состава НА относительно граничной точки грузооборота, дающего минимальное значение $W_{уд}$. Оценку экономического эффекта при управлении составами можно получить аналогично предыдущему типу модели.

Таблица 1

Резервы квартальной экономии электроэнергии для модели с разделением кривых по диапазонам удельного электропотребления

Составы НА	Текущий режим эксплуатации	Предлагаемый режим эксплуатации	Резерв экономии электроэнергии ΔW	
			тыс. кВт·ч	%
Потребление электроэнергии составом НА М23, тыс. кВт·ч	920,7	920,7	0	0
Потребление электроэнергии составом НА М34, тыс. кВт·ч	1018,2	611	43,2	1,04
Потребление электроэнергии составом НА М2, тыс. кВт·ч	2209,97	2573,97		
Потребление электроэнергии всеми составами, тыс. кВт·ч	4148,8	4105,7	43,2	1,04

Графическое отображение модели электропотребления с разделением кривых по диапазонам грузооборота (рис. 3) иллюстрирует режимы потребления электроэнергии НА на заданном интервале времени.

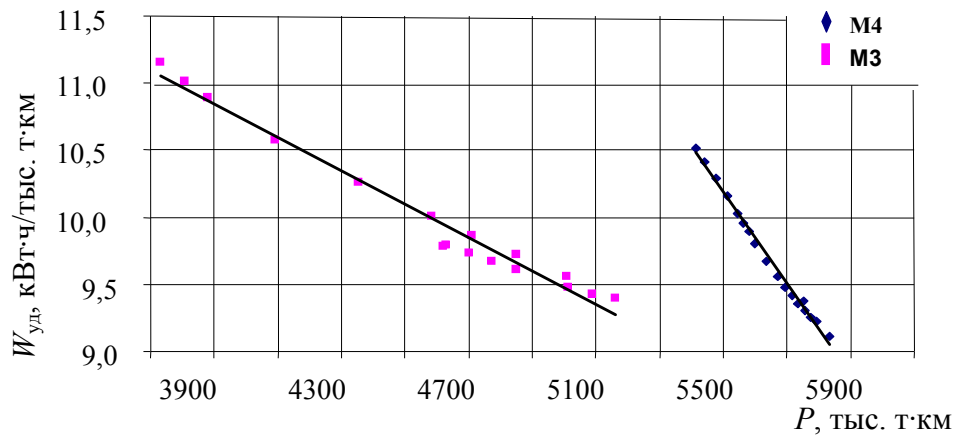


Рис. 3. Квартальная модель с разделением кривых по диапазонам грузооборота для участка нефтепровода

Кодам М3 и М4 соответствуют работа 3-го и 4-го основных агрегатов по направлению «М». Из рис. 3 видно, что различным диапазонам перекачиваемой нефти соответствует работа различного оборудования станции с изменяющимся $W_{уд}$.

На настоящем этапе заданные объемы перекачиваемой нефти обеспечиваются одним из составов НА. С целью экономии электроэнергии предлагается в рамках определенного периода времени работать на различных диапазонах перекачиваемой нефти различными составами НА. Для определения оптимальных составов включенных НА, обеспечивающих перекачку заданных объемов нефти с минимальным расходом электроэнергии, требуется найти решение целевой функции вида

$$\begin{aligned}
 W &= W_1 + W_2 = N_1 W_{сут1} + N_2 W_{сут2} = \\
 &= N_1 (a_1 P_1 + b_1) + N_2 (a_2 P_2 + b_2) \rightarrow \min
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

при следующих ограничениях:

$$\begin{cases}
 P_{зад} N = P_1 N_1 + P_2 N_2 \\
 N_1 + N_2 = N \\
 P_{гр1} \leq P_1 \leq P_{гр2} \\
 P_{гр2} \leq P_2 \leq P_{гр3}
 \end{cases}
 ; \quad N_1 \geq 0, \quad N_2 \geq 0,
 \tag{5}$$

где $W_{сут1} = a_1 P_1 + b_1$ и $W_{сут2} = a_2 P_2 + b_2$ – уравнения регрессии суточного потребления электроэнергии от суточной перекачки нефти, построенные по данным 3-го квартала; N_1 и N_2 – количество дней работы НА М3 и М4, соответственно; N – планируемое количество дней работы насосного оборудования; P_1 и P_2 – суточные значения перекачки нефти при работе с составами М3 и М4; P_{gr1} , P_{gr2} и P_{gr3} – граничные условия, определяющие диапазоны перекачки нефти; P_{zad} – значение суточной перекачки нефти, позволяющее выполнить заданную производственную программу за N дней.

Величина экономического эффекта при работе в течение месяца с заданным значением суточного грузооборота нефти представлена в табл. 2.

Таблица 2

**Оценка экономического эффекта за месяц
при использовании управления составом включенных НА**

P_{zad} , тыс. т·к м	Исходны й расход элект- роэнергии и W , тыс. кВт·ч	Оптимально е количество дней работы агрегата М3	Оптимально е количество дней работы агрегата М4	Оптимизированны й расход элект- роэнергии $W_{опт}$, тыс. кВт·ч	Экономически й эффект ΔW , %
5300	1720	30	0	1481	13,9
5400	1696	24	6	1500	11,5
5500	1672	19	11	1520	9,1
5600	1648	13	17	1540	6,6
5700	1624	8	22	1559	4,02
5800	1600	2	28	1578	1,36

Выводы

1. Исследование режимов электропотребления на основании математического моделирования с учетом состава НА позволило выделить характерные типы моделей, применительно к которым разработаны рекомендации по повышению эффективности работы участков нефтепровода.

2. Определены диапазоны грузооборота перекачиваемой нефти и составы насосных агрегатов, обеспечивающие наибольшую эффективность работы нефтепровода.

3. Дана оценка экономического эффекта при управлении составом НА для различных типов моделей электропотребления. Наибольший эффект может быть достигнут для исследуемого участка при возможности задания неизменного суточного значения грузооборота нефти и составляет 13 % от суммарного электропотребления.

Получено 22.09.2004 г.