

УДК 519.673

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ УЧАСТКА НЕФТЕПРОВОДА НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИС- ПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

А.М. БОРДОВСКИЙ

РУП «Гомельтранснефть Дружба»

В.И. ВЬЮН

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

Ю.Г. КУЗЬМИНСКИЙ

ГНУ ИММС НАН Беларуси, Гомель

Б.П. МИНЕЕВ

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

Актуальность оценки влияния параметров оборудования технологического процесса перекачки РУП «Гомельтранснефть Дружба» на производительность процесса и эффективность использования электроэнергии объясняется двумя основными факторами:

1. Ежегодно возрастают объёмы перекачки на западном участке Гомельтранснефти. Производительность режимов перекачки на этом участке весьма близка к проектному максимуму их производительности.
2. Удельный расход электроэнергии в производстве на территории республики находится под жестким контролем административных органов. Предприятия ежегодно получают планы по сокращению удельного расхода электроэнергии.

Производительность и эффективность любого технологического процесса определяется параметрами применяемого оборудования и качеством используемого сырья и других ресурсов. Применительно к технологическому процессу трубопроводного транспорта нефти такими параметрами являются:

- Эффективный диаметр трубопроводов, изменение которого в основном связано с процессом запарафинивания трубопроводов и их очисткой с помощью специальных устройств.
- Доля трубопроводов, выведенных в капитальный ремонт или для ремонта изоляции.
- Прочностные параметры трубопроводов. Их изменение обуславливается коррозионными процессами и требует капитальных затрат на внутритрубную диагностику, антикоррозийную катодную защиту и ремонт наружной изоляции трубопроводов. Снижение прочностных параметров трубопроводов приводит к понижению рабочего давления и падению производительности процесса перекачки.

- Характеристики применяемых насосных агрегатов. Использование насосных агрегатов, имеющих номинальные (наивысшие по КПД) параметры для одной производительности делает их малоэффективными уже при измененной на 20 % к номиналу производительности.
- Существенно влияют последовательные или параллельные схемы использования насосных агрегатов.
- Изменение основных параметров качества электроэнергии (напряжение и частота тока) влияет на характеристики насосных агрегатов и производительность процесса перекачки.
- Производительность также зависит от плотности и кинематической вязкости перекачиваемой нефти. В наибольшей степени на них влияет температура нефти.
- Профессиональные качества диспетчерского персонала влияют на устойчивость и эффективность выбранных режимов перекачки. Потери производительности, вытекающие из некачественного исполнения профессиональных обязанностей диспетчерским персоналом, ведут к повышенному удельному расходу электроэнергии при компенсации допущенных потерь повышенными по производительности режимами перекачки.

Зависимость удельного расхода электроэнергии от производительности режима перекачки носит почти квадратичный характер. Поэтому рваный график работы нефтепровода, сочетающий режимы малой и повышенной производительности, ведет к повышенному удельному расходу электроэнергии по сравнению с устойчивым по производительности графиком работы нефтепровода. Поэтому стабильность режимов перекачки существенно влияет на эффективность использования электроэнергии.

Запарафинивание трубопроводов. Основной параметр контроля степени запарафинивания трубопроводов – эквивалентный диаметр. Эквивалентный диаметр, рассчитанный на основе учетных диаметров трубопроводов, на перегоне Мозырь – Туров составляет 1078 мм. При расчете эквивалентных диаметров использованы формулы лупинга

$$d_e = \frac{d_1}{\left(\left(1 - \frac{l_2}{l_1} \left(1 - \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^{4,75} \right)^{1,75}} \right) \right)^{1,75} \right)^{1/4,75}}$$

и вставки

$$d_e = \left(\frac{l_1 + l_2}{\frac{l_1}{d_1^{4,75}} + \frac{l_2}{d_2^{4,75}}} \right)^{1/4,75}$$

Эквивалентный диаметр этого перегона, полученный методом идентификации по параметрам режима от 30.09.99, составляет 1043 мм. Идентификация диаметра между двумя точками измерения давлений выполняется по формуле

$$d_e = \left[\frac{\left(\frac{\nu}{1000000} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{Q}{3600} \right)^{1,75} \cdot (l_2 - l_1) \cdot 0,0247 \cdot 1000}{\left[P_1 - P_2 + \frac{(P_k - P_o) \cdot (l_2 - l_1)}{2 \cdot (l_i - l_{i-1})} \right] \cdot g + (h_1 - h_2)} \cdot \rho \right]^{\frac{1}{4,75}} \cdot 1000.$$

Несовпадение учетного диаметра и идентифицированного объясняется как конструктивными факторами (повороты труб, внутренние элементы запорной арматуры), так и технологическими (отложения парафина).

Данные следующей таблицы и графика отражают связь изменения эквивалентного диаметра, производительности и удельного расхода электроэнергии при прочих равных параметрах режима перекачки на западном участке Гомельтранснефти.

Таблица 1

Связь эквивалентного диаметра и параметров эффективности

Относит. изменение эквивалентного диаметра	Относит. изменение производительности режима	Относит. изменение удельного расхода электроэнергии
0,9	0,857	1,142
0,95	0,931	1,065
0,98	0,976	1,022
1,0	1,0	1,0
1,02	1,027	0,975
1,05	1,066	0,942
1,10	1,124	0,893

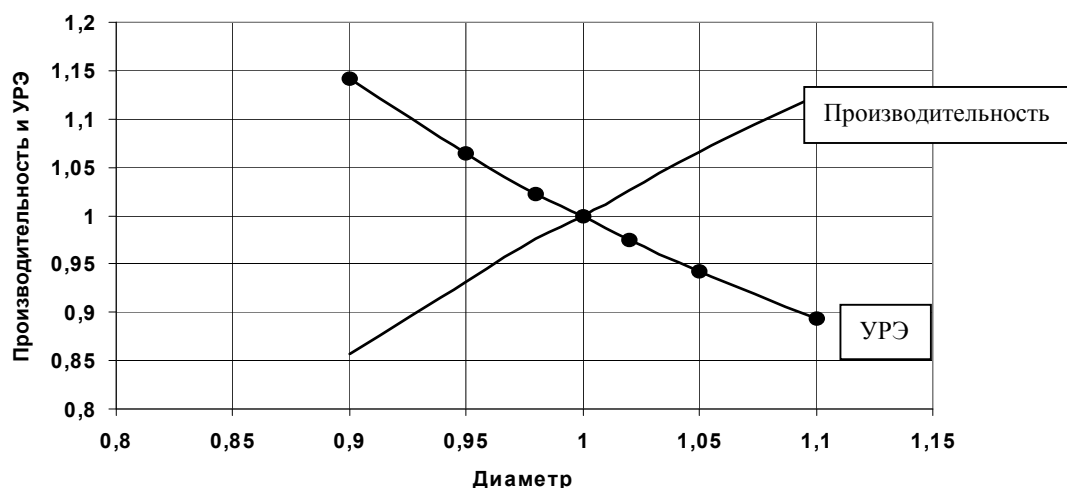


Рис 1. Связь изменений эквивалентного диаметра и параметров эффективности

Традиционный метод построения графика пропускной способности очистных устройств базируется на необходимости этой операции при падении производительности режима на 5 %. Как следует из таблицы 1, это соответствует уменьшению эквивалентного диаметра примерно на 3,5 % (20 мм для трубопровода учетного диаметра 614 мм).

Реконструкция трубопроводов. Изменение эквивалентного диаметра может быть также обусловлено выведением из эксплуатации отрезков трубопроводов для реконструкции, а также понижением выходного давления в трубопровод после НПС при проведении реконструкции изоляции без выведения отрезка трубопровода из эксплуатации. Трубопроводы Гомельтранснефти в большинстве выработали (или близки к этому) свой ресурс, поэтому реконструкция отдельных отрезков трубопроводов проводится на предприятии постоянно. В таблице 2 приведены сведения о параметрах режимов перекачки при реконструкции отрезка [233-288] трубопровода 630 мм.

Таблица 2

Реконструкция трубопроводов и эффективность перекачки

Режим реконструкции	Относит. изменение производительности режима	Относит. изменение удельного расхода энергии	Относит. изменение эквивалентный диаметра перегона Пинск – Кобрин
Нет реконструкции	1	1	1
Выведение отрезка [233-288] из эксплуатации	0,982	1,016	0,96
Прижим выходного давления в трубопровод 630 мм после Пинска до 30 кгс/см ²	0,997	1,002	0,996

Прочностные свойства трубопроводов. Связь нормативного предела рабочего давления в трубопроводе и прочностных свойств труб устанавливается формулой

$$P_{\max}^{\text{проч}} \leq \frac{2\delta}{D_H - 2\delta} \cdot \frac{0,61}{n} \cdot \sigma_{\text{проч}}$$

где δ – толщина стенки трубы; D_H – наружный диаметр; n – коэффициент нормативной перегрузки; $\sigma_{\text{проч}}$ – предел прочности. В таблице 3 приведены пределы рабочих давлений по прочности для стали 14 ХГС ($\sigma_{\text{проч}} = 52$ кгс/мм²).

Таблица 3

Нормативные пределы рабочих давлений

D_H (мм)	$P_{\max}^{\text{проч}}$ (кгс/см ²)						
	$\delta = 13$	12	11	10	9	8	7
630				90	81	72	63
720			87	79	71	63	
820			76	69	62	55	
1020	72	66	61	55			

Очень грубые оценки потерь пределов рабочего давления при коррозионной потере толщины стенки в 2 мм приведены в таблице 4.

Таблица 4

Потери нормативных пределов давления при коррозии 2 мм

D_H (мм)	630	720	820	1020
Потеря пределов давления (кгс/см ²)	18	16	14	12

На рис. 2 приведены результаты моделирования распространения ударной волны по трубопроводу 820 мм западного участка Гомельтранснефти. Режим перекачки – максимально возможный на данном участке (включены по 3 насоса на большинстве НПС). Причиной переходного процесса явилась остановка НПС Кобрин-2. График прочностных пределов трубопровода содержит возможный коррозионный провал после НПС Пинск. Рисунок содержит в качестве результата моделирования возможный порыв трубопровода при названных условиях.

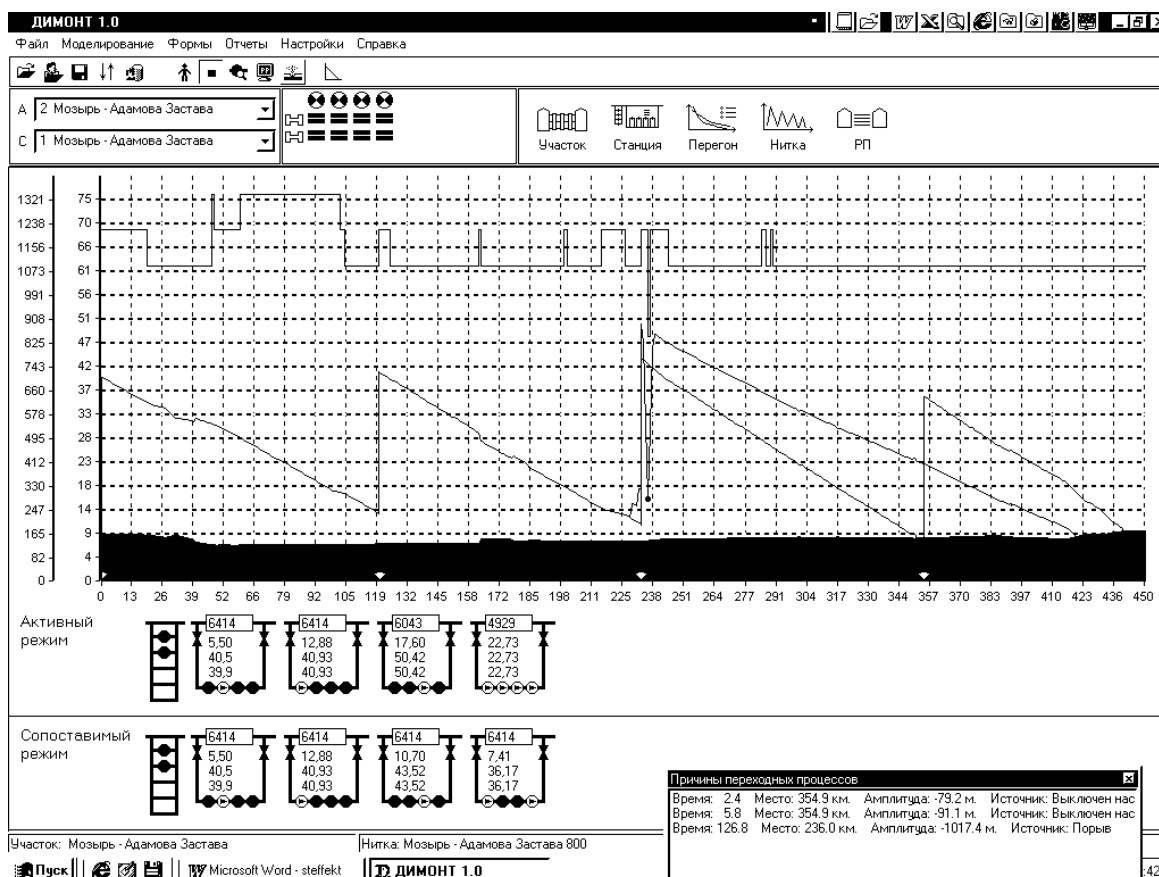


Рис. 2. Порыв трубопровода при переходном процессе

С целью защиты трубопроводов от подобных ситуаций используются системы защиты по аварийным пределам трех основных стационарных давлений и системы автоматического регулирования (САР) двух стационарных давлений (всас и выкид). САР при нарушении рабочего предела выходного давления путем дросселирования снижает это давление. Таблица 5 содержит изменение параметров эффективности при различном дросселировании на одной из НПС западного участка Гомельтранснефти. Моделирование режимов перекачки на западном участке Гомельтранснефти демонстрирует, что наиболее частой причиной дросселирования является не максимум рабочего давления на выходе НПС, а минимум рабочего давления на входе НПС.

Таблица 5

Влияние дросселирования на эффективность перекачки

Величина дросселирования (кгс/см ²)	Относит. изменение производительности режима перекачки	Относит. изменение удельного расхода энергии
0	1,000	1,000

Окончание табл. 5

Величина дросселирования (кгс/см ²)	Относит. изменение производительности режима перекачки	Относит. изменение удельного расхода энергии
2	0,997	1,002
4	0,994	1,005
6	0,991	1,007
8	0,988	1,010
10	0,986	1,013

Качество нефти. Зависимости изменения плотности и вязкости нефти от температуры для Гомельтранснефти (вязкость при 20⁰ – 13 сст, плотность – 0,862 т/м³) может рассчитываться по формулам

$$\nu_2 = \nu_1 e^{0,037(t_1 - t_2)},$$

$$\rho_2 = \rho_1 + 0,6915(t_1 - t_2).$$

Изменение вязкости влияет на потери напора на трение в трубопроводах, рассчитываемые по формуле Лейбензона, а следовательно, и на производительность режима. Формула Лейбензона

$$\Delta h_l = 24,7 \frac{q^{1,75} \nu^{0,25}}{d^{4,75}} l.$$

Изменение плотности ведет к увеличению потребляемой мощности пропорционально. Таблица 6 содержит информацию об изменении параметров эффективности перекачки при изменении температуры нефти.

Таблица 6

Влияние температуры нефти на эффективность перекачки

Температура (град)	Вязкость (сст)	Плотность (т/м ³)	Относит. изменение производительности режима перекачки	Относит. изменение удельного расхода энергии
20	13	0,862	1,000	1,000
18	14	0,863	0,996	1,004
16	15	0,864	0,992	1,008
14	16	0,866	0,990	1,012
12	18	0,867	0,983	1,019
10	19	0,868	0,980	1,023

Качество электроэнергии. Влияние изменения частоты тока на характеристики насосных агрегатов определяется следующими зависимостями [1]. Пусть $k = \frac{n_2}{n_1}$, где

n_1 – старая частота тока, а n_2 – новая. Тогда характеристики насосного агрегата (подача, напор и мощность) претерпевают изменения на основе следующих равенств:

$\frac{q_2}{q_1} = k$; $\frac{h_2}{h_1} = k^2$; $\frac{N_2}{N_1} = k^3$, что приводит к следующему преобразованию коэффи-

циентов параболических аппроксимаций графиков напорной и мощностной характеристик

$$\begin{cases} h = ak^2 + bkq + cq^2, \\ N = a_e k^3 + b_e k^2 q + c_e kq^2. \end{cases}$$

Здесь a , b , c и a_e , b_e , c_e коэффициенты параболических аппроксимаций соответствующих характеристик насосного агрегата. Аналогичный метод применен и при расчете изменения питающего напряжения. Если изменяется напряжение $U = 0,7 U_{ном}$, то момент асинхронного двигателя $M_{max} = 0,98 M_{ном}$, вместо $M_{max} = 2 M_{ном}$ [2]. Двигатели СТД (Мозырь, Пинск) и АРМП (Туров, Кобрин) мощности 3150 кВт по данным 2001 г. потребляли 2800-3350 кВт. Таблица 7 содержит параметры эффективности режимов западного участка при изменении понижающим трансформатором напряжения на одной из НПС.

Таблица 7

Влияние качества электроэнергии на эффективность перекачки

Напряжение (кв)	Относит. изменение производительности режима перекачки	Относит. изменение удельного расхода энергии
5,4	0,990	0,989
5,7	0,995	0,995
6,0	1,000	1,000
6,3	1,005	1,005
6,6	1,009	1,010

Характеристики насосных агрегатов и схемы их коммутации. При наиболее распространенном способе регулирования режимов перекачки путем изменения диаметров рабочих колес насосных агрегатов, характеристики модифицируемых агрегатов изменяются по формулам, аналогичным изменению частоты питающего тока [1]. Пример модификации характеристик насосных агрегатов приведен на рис. 3.

Таблица 8 демонстрирует изменение эффективности перекачки на западном участке Гомельтранснефти при изменении диаметра рабочего колеса одного из 8 насосных агрегатов в режиме перекачки, что изменяет подачу и потребляемую мощность и остальных насосов.

Таблица 8

Влияние диаметра колеса насоса на эффективность перекачки

Относит. изменение диаметра рабочего колеса	Относит. изменение производительности режима перекачки	Относит. изменение удельного расхода энергии
0,90	0,986	0,984
0,95	0,993	0,990
0,98	0,996	0,995
1,00	1,000	1,000
1,02	1,003	1,003
1,05	1,007	1,009
1,10	1,015	1,020

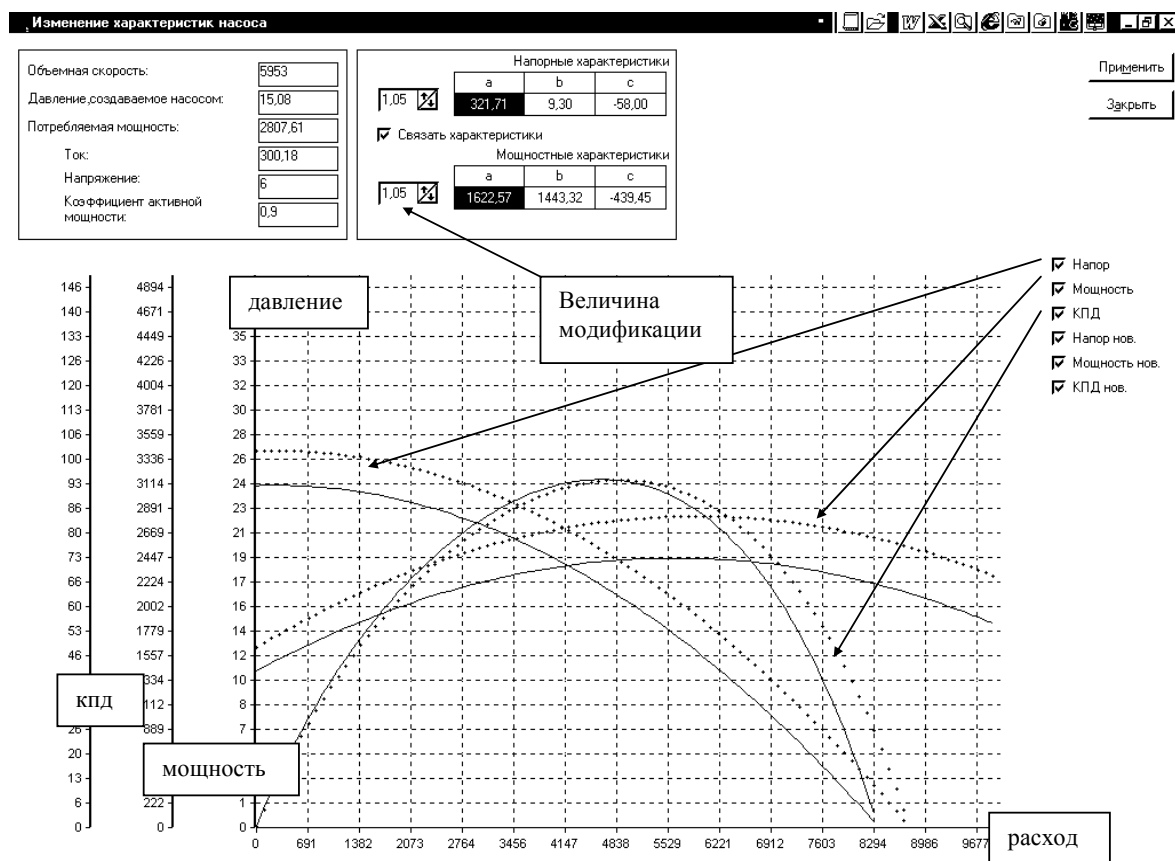


Рис. 3. Модификация характеристик насосных агрегатов

Очередная таблица демонстрирует влияние параллельной коммутации насосных агрегатов на различных НПС западного участка Гомельтранснефти.

Таблица 9

Влияние параллельности насосов на эффективность перекачки

Параллельность	Относит. изменение производительности режима перекачки	Относит. изменение удельного расхода энергии
2-2-2-2	1,000	1,000
1/1-2-2-2	0,986	0,989
1/1-2-1/1-2	0,972	0,976
1/1-1/1-1/1-1/1	0,941	0,900

Различные комбинации последовательного включения насосных агрегатов участка дают моделируемые параметры эффективности перекачки, приведенные в таблице 10.

Таблица 10

Эффективность различных режимов перекачки

Режим	Относит. изменение производительности режима перекачки	Относит. изменение удельного расхода энергии
1-0-0-0	0,451	0,363
1-0-1-0	0,607	0,432

Окончание табл. 10

Режим	Относит. изменение производительности режима перекачки	Относит. изменение удельного расхода энергии
1-1-1-1	0,798	0,611
2-1-2-1	0,915	0,780
2-2-2-2	1,000 (122 тыс. т/сутки)	1,000
3-2-3-2	1,073	1,135
3-3-3-3	1,095 (133 тыс. т/сутки)	1,345

Следующий рисунок показывает форму зависимости изменения удельного расхода энергии от изменения производительности режима перекачки.

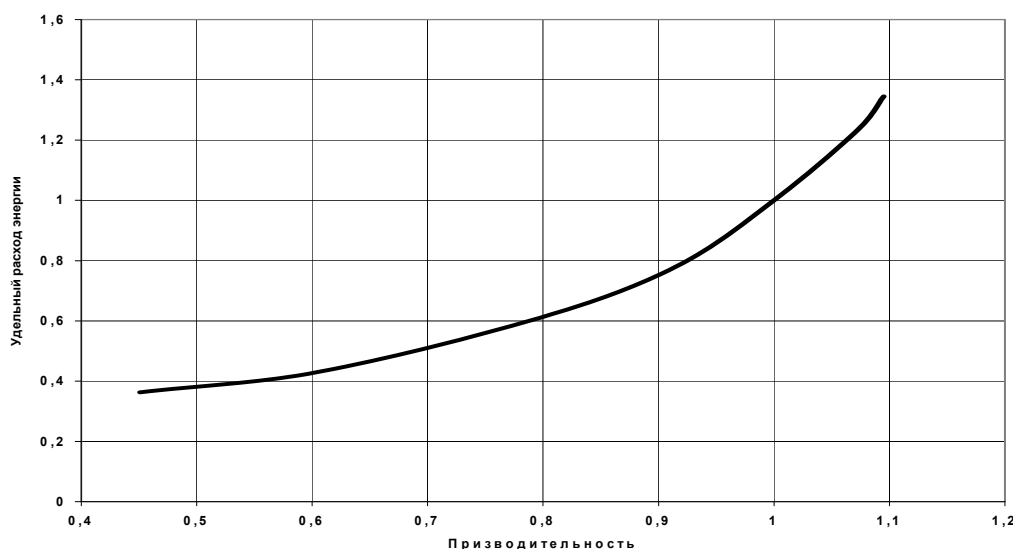


Рис. 4. Зависимость удельного расхода энергии от производительности режима

Стабильность режима перекачки. Пусть месячный плановый объём перекачки нефти по западному участку Гомельтранснефти составляет эквивалент месячной работы режим 2-2-2-2 из таблицы 10. Реальные условия потребовали работы в течение 4 суток в режиме 1-1-1-1. Тогда выполнение плана достигается таким графиком работ: 4 дня режим 1-1-1-1, 15 дней режим 2-2-2-2 и 11 дней режим 3-2-3-2. Если оптимальный расход энергии равен 30 единицам суточного расхода при режиме 2-2-2-2, то фактический месячный расход составит 30,347 названных единиц. Удельный расход энергии по факту составит 101,15 % к оптимальному. Стоимость перерасходованной энергии составит примерно 7800 долларов.

Основными причинами нестабильности режимов перекачки являются:

- нестабильность обеспечения ресурсами нефти для перекачки;
- корректировки планов перекачки в конце месяца.

Профессионализм оперативного персонала. Некорректное управление режимами перекачки может привести к следующим негативным ситуациям:

- выбору насосных агрегатов с неоптимальным КПД при установке режима;
- низкий контроль над качеством энергоресурсов может снизить производительность режима перекачки;
- недостаточный контроль над основными параметрами технологии и параметрами вспомогательных систем повышает вероятность остановки насосов или станций системам аварийных защит;
- несвоевременное принятие мер, имитирующих реакцию системы защиты «Волна», может привести к порыву трубопровода или к остановке предшествующей НПС системами защиты;

- принятие управляющих действий при развитии переходных процессов может привести к стабилизации *не при максимальной производительности* режима перекачки.

Недостаточность производительности режима перекачки, обусловленная перечисленными причинами непрофессионализма, ведет, в соответствии с предыдущим абзацем, к повышению удельного расхода энергии. Не меньший урон могут нанести непрофессиональные действия инженерно-технического персонала. Эти причины оправдывают затраты на обучение персонала управлению и обслуживанию технологии трубопроводного транспорта в условиях высокой степени компьютеризации процесса перекачки.

Информатизация. Компьютерные технологии могут способствовать решению двух основных задач управления процессом трубопроводного транспорта нефти:

- Оперативное представление максимально необходимого объема информации для различных категорий оперативного и инженерно-технического персонала о состоянии процесса и оборудования технологии перекачки. В настоящий момент многие параметры технологии перекачки не подлежат компьютерному контролю (например, параметры вспомогательных систем). Требуется иметь возможность интеграции по желанию пользователя различных выбираемых им параметров в одну экранную или «бумажную» форму. Эти возможности позволят оперативному и инженерно-техническому персоналу быстро и качественно принимать решения. Качество и оперативность принятия решений влияет не только на эффективность перекачки, но и на ее безопасность.

- Получение комплексных оценок оперативной и технической готовности отдельных единиц и различных комплексов технологического оборудования. Данная информация способствует принятию решений о распределении капитальных вложений в реконструкцию технологии перекачки и оценки степени ответственности персонала за состояние подотчетного технологического оборудования. Состояние технологического оборудования – основа обеспечения надежности и безопасности технологии перекачки, а также гарантия принятия наиболее эффективных решений при выборе режимов перекачки.

Решение названных проблем эффективности и безопасности процесса перекачки кроме требований к полноте и оперативности представления необходимой информации неизбежно требует синхронизации действий и принятия решений различными категориями персонала. Без качественной реализации корпоративной (не только технологической сети АСУ ТП) компьютерной сети эти проблемы не решаются. Основными проблемами реализации корпоративной сети должны стать:

1. Расширение компьютерного контроля над различными технологическими параметрами со стороны различных категорий персонала.
2. Разработка расширенного перечня комплексных оценок состояния не только технологии перекачки, но и экономического положения корпорации.
3. Синхронизация действий различных категорий персонала.
4. Контроль не только параметров технологии и экономики предприятия, но и профессионального уровня и исполнительской дисциплины персонала.

Список литературы

1. Харламенко В.И., Голуб М.В. Эксплуатация насосов магистральных нефтепродуктопроводов. – М.: Недра, 1978. – 231 с.
2. Кацман М.М. Электрические машины. – М.: Высш. школа, 1983. – 432 с.

Получено 29.11.2002 г.