

УДК 621.31; 622.692.4

**ПРИБЛИЖЕННАЯ ОЦЕНКА СНИЖЕНИЯ ЦИКЛИЧНОСТИ  
НАГРУЖЕНИЯ ТРУБОПРОВОДА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ  
ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА  
МАГИСТРАЛЬНЫХ НАСОСОВ**

**APPROXIMATE ESTIMATE OF THE CYCLIC LOADING  
REDUCTION OF THE PIPELINE WHEN USING  
VARIABLE-FREQUENCY ELECTRIC DRIVE OF MAIN PUMPS**

**Шабанов В.А., Хакимов Э.Ф.**

**ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной  
технический университет», г. Уфа, Российская Федерация**

**V.A. Shabanov, E.F. Khakimov**

**FSBEI NPE “Ufa State Petroleum Technological University”,  
Ufa, the Russian Federation**

**Аннотация.** В настоящее время регулирование режима перекачки нефти по магистральным нефтепроводам производится подбором числа насосных агрегатов (НА) или методом циклической перекачки. Недостатком такого способа перекачки является работа металла труб магистральных трубопроводов в условиях циклического нагружения от изменения внутреннего давления. Использование частотно-регулируемого электропривода (ЧРП) приводит к снижению цикличности нагружения трубопровода. В статье рассмотрены проблемы выполнения расчетов по определению цикличности нагружения при работе трубопровода с использованием ЧРП. В общем случае такие расчеты можно выполнять только с использованием алгоритмов определения частоты вращения НА и структурно-параметрической оптимизации. Использование таких

алгоритмов требует значительной базы исходных данных и специального программного обеспечения. Поэтому актуальной задачей является разработка упрощенного метода оценки (прогнозирования) цикличности нагружения при работе трубопровода с использованием ЧРП, удобного в инженерной практике.

Исследованы упрощенные методы оценки цикличности нагружения действующего нефтепровода, для регулирования режимов которого предполагается установка ЧРП магистральных НА. Показано, что для выполнения приближенной оценки цикличности нагружения достаточно использовать только сведения о соблюдении режимов работы технологического участка. Приведена последовательность выполнения приближенной оценки цикличности нагружения действующего нефтепровода при использовании ЧРП для исключения циклической перекачки. Показано, что для упрощенной оценки цикличности нагружения при использовании ЧРП достаточно учесть суммарное число включений НА без ЧРП и НА с ЧРП, причем перепады давления при включении НА с ЧРП не определяются, а принимаются по сведениям о соблюдении режимов работы, равными перепадам давления при включении этих же НА без ЧРП.

**Abstract.** Currently, the regulation of the mode of pumping oil through main oil pipelines is made by selecting number of main pumps units (MP) or, using cyclic pumping. Disadvantage of this method of pumping is the work of metal pipes of main pipelines under cyclic loading from the internal pressure change. The use of variable frequency drive (VFD) reduces the cyclical loading of the pipeline. The article considers the problem of performing calculations to determine the cyclic loading during operation of the main pipeline using FVD. In the General case, such calculations can only be performed using algorithms for determining the rotational speed of the MP, structural and parametric optimization. The use of such algorithms requires considerable baseline data and special software. Therefore, the urgent task is the development of simplified

evaluation method (forecasting) of cyclic loading during operation of the pipeline using a VFD, convenient in engineering practice.

Simplified methods of assessing the cyclical loading of the existing pipeline, for regulating the modes of which it is expected the installation of VFD are investigated. To perform an approximate estimation of cyclic loading is sufficient to use only the information on the observance of technological modes of the plot. The sequence of approximate estimation of cyclical loading of the pipeline when using a VFD to exclude cyclic pumping is given. It is shown, that for the simplified evaluation of cyclic loading when using a VFD, it helps to consider the total number of inclusions MP without VFD and from the VFD. The pressure change are not defined when you turn MP with a VFD, but are accepted equal to the change of pressure when you turn these MP without VFD.

**Ключевые слова:** частотно-регулируемый электропривод, магистральный нефтепровод, магистральный насос, цикличность нагружения, перепады давления.

**Key words:** variable frequency drive (VFD), main pipeline, main pump, cyclic loading, pressure change.

**Введение.** В настоящее время регулирование режима перекачки нефти по магистральным нефтепроводам производится подбором числа насосных агрегатов (НА) [1, 2]. При этом регулирование производительности нефтепровода производится ступенчато и не всегда удается обеспечить требуемый суточный объем перекачки при фиксированном числе магистральных насосов. В этом случае заданная производительность нефтепровода обеспечивается методом циклической перекачки, при котором трубопровод последовательно (циклически) работает с разным числом насосов. Недостатком такого способа перекачки является необходимость выполнять большое число включений/отключений НА. При этом металл труб магистральных трубопроводов работает в условиях

циклического нагружения от изменения внутреннего давления перекачиваемого продукта [3,4]. Регулирование режимов работы трубопровода с помощью частотного регулирования магистральных насосов по сравнению с циклическим методом имеет ряд преимуществ [5, 6, 7, 8]. Во-первых, при регулировании режимов работы путем изменения частоты вращения вместо включения или отключения НА не требуется многочисленных включений-выключений насосов, а во-вторых, снижаются перепады давления при переходе от одного режима перекачки к другому. И то и другое приводит к снижению цикличности нагружения трубопровода. Снижение цикличности нагружения приводит к снижению скорости развития дефектов в теле трубопровода, что повышает ресурс трубы и позволяет увеличивать межремонтный период. Для точной оценки снижения цикличности нагружения в общем случае необходимо определять давления на выходах нефтеперекачивающих станций (НПС) при использовании ЧРП. Такие расчеты можно выполнять только с использованием алгоритмов определения частоты вращения НА [9, 10] и структурно-параметрической оптимизации [11]. Использование алгоритмов оптимизации требует значительной базы исходных данных, специального программного обеспечения и сложно для использования. Поэтому практически важной задачей является разработка упрощенного метода, удобного в инженерной практике для предварительной оценки эффективности использования ЧРП. В статье исследуются способы приближенной оценки цикличности нагружения трубопровода при анализе целесообразности использования ЧРП на действующих нефтепроводах.

**Основные определения.** При циклической перекачке за цикл изменения режима работы нефтепровода сначала происходит изменение производительности нефтепровода и давлений на выходах НПС, например, вследствие включения НА, а затем их возвращение к предыдущему значению или близкому к нему вследствие выключения НА. При этом число полных циклов нагружения трубопровода равно числу отключений или

отключений НА. Поэтому для подсчета числа циклов при оценке цикличности нагружения достаточно учесть, например, только число включений и перепады внутреннего давления на выходе НПС только при включении НА (технологическом переключении) [12]. Перепадом давления  $\Delta p$  при этом считается разность между давлением на выходе НПС после включения НА  $p_2$  и до его включения  $p_1$ :

$$\Delta p = p_2 - p_1, \quad (1)$$

Перепады давления с малой амплитудой могут не оказывать влияния на предел усталости металла [13]. По [12] к низкоамплитудным относятся перепады давления меньше 0,2 МПа. Поэтому перепады давления меньше 0,2 МПа при определении цикличности нагружения не учитываются. Перепады давления свыше 0,2 МПа округляются до ближайшего значения, кратного 0,2 МПа. Цикличность нагружения участка принято определять в относительных единицах. Для этого перепады давления приводятся к нагружению с перепадом 2,0 МПа. Такая цикличность нагружения, определенная в относительных единицах, называется приведенной.

Таким образом, за один цикл нагружения технологического участка нефтепровода внутренним давлением принимается включение любого НА, либо технологическое переключение, сопровождающееся изменением (перепадом) внутреннего давления на выходе НПС свыше 0,2 МПа, округленным до ближайшего значения, кратного 0,2 МПа [12]. При этом число циклов нагружения участка нефтепровода равно сумме числа включений НА и технологических переключений, сопровождающихся изменением (перепадом) внутреннего давления на выходе НПС свыше 0,2 МПа. По методике, применяющейся при расчетах цикличности нагружения [12], перепады давления, вызванные отключением НА, не учитываются, так как они являются второй частью цикла нагружения и после отключения НА (завершения цикла) принимается, что давления возвращаются к исходному значению.

**Основные положения и допущения при приближенной оценке снижения цикличности нагружения.** Использование ЧРП магистральных НА при приближенной оценке снижения цикличности нагружения рассматривается только для исключения циклической перекачки. В качестве регулируемого (НА с ЧРП) принимается НА, который включается /отключается во время циклической перекачки. В режимах, когда циклическая перекачка не используется, регулирование частоты вращения НА с помощью ЧРП не применяется. После замены циклической перекачки режимами с использованием ЧРП новая последовательность режимов перекачки (план-график поставки) нефти по технологическому участку за исследуемый интервал времени содержит как режимы перекачки с регулированием частоты вращения НА (режимы с использованием ЧРП), так и режимы перекачки без регулирования частоты вращения НА (режимы без использования ЧРП). Регулирование (изменение) режимов в новом план-графике поставки нефти производится не только путем включения (отключения) НА без ЧРП, но и путем включения (отключения) НА с ЧРП и изменением частоты вращения НА с ЧРП.

Исходными данными при приближенной оценке цикличности нагружения и ее снижения являются сведения о соблюдении режимов работы (СРР) технологического участка нефтепровода, работавшего исследуемый интервал времени без использования ЧРП. Из сведений о СРР достаточно иметь следующую информацию: число включенных НА в каждом из режимов работы нефтепровода; время (продолжительность) работы на каждом из режимов; производительность трубопровода на каждом из режимов. Для каждой из НПС достаточно знать число и номера, включенных магистральных НА; давления на выходе НПС, а также число включенных подпорных НА для головной НПС.

Фактическая цикличность нагружения при работе нефтепровода без использования ЧРП за исследуемый интервал времени, например, за

предыдущий год или за месяц, сравнивается с расчетной цикличностью нагружения, которая могла бы быть, если бы нефтепровод работал с использованием ЧРП. В качестве основного критерия оценки эффективности применения ЧРП принимается коэффициент снижения цикличности нагружения, определяемый как отношение фактической приведенной цикличности нагружения без использования ЧРП, к расчетной цикличности нагружения с использованием ЧРП.

В новом план-графике работы нефтепровода с использованием ЧРП перепады давления возникают не только при включении/отключении НА без ЧРП, но и при включении НА с ЧРП, а также при изменении частоты вращения насосов без изменения числа включенных НА. Перепады давления при включении дополнительного НА без ЧРП в новом план-графике поставки принимаются по сведениям о СРР. Перепады давления при регулировании производительности путем изменения частоты вращения насосов без изменения числа включенных НА не учитываются. Основания для такого допущения следующие. Во-первых, изменение производительности, а следовательно, и изменение давления на выходах НПС, при регулировании частоты вращения существенно меньше, чем при включении / отключении НА. При этом во многих случаях при изменении частоты вращения перепад давления может быть меньше минимально учитываемого по [12]. Во-вторых, ряд последовательных режимов с разными частотами вращения НА можно заменить одним режимом перекачки со средним значением производительности с неизменной частотой вращения НА и неизменным давлением на выходах НПС.

Если же происходит включение дополнительного НА с ЧРП, то перепады давления могут быть существенными и может потребоваться их учет. Так как расчет давлений в режимах с использованием ЧРП, в соответствии с выше принятыми допущениями не производится, то необходимо разработать упрощенные способы учета перепадов давления при включении НА с ЧРП. Рассмотрим следующие способы учета

(приближенного определения) перепадов давления при включении НА с ЧРП и цикличности нагружения:

1) Перепады давления при включении НА с ЧРП не учитываются [14]. Это приводит к занижению расчетного числа циклов и числа перепадов давления.

2) Перепады давления при включении НА с ЧРП принимаются равными тем перепадам давления, которые приводятся в сведениях о СРР при включении этого же НА без ЧРП. Это приводит к завышению расчетного значения величины перепадов давления при включении НА с ЧРП и, как следствие, к завышению расчетного значения цикличности нагружения при работе нефтепровода с использованием ЧРП.

3) Принимаются средние значения цикличности нагружения, найденные по способам 1 и 2.

Очевидно, что при способе 1 расчетная цикличность нагружения при использовании ЧРП будет занижена по сравнению с фактическим ее значением, а при способе 2, она может быть, как заниженной, вследствие неучета перепадов давления при изменении частоты вращения НА с ЧРП, так и завышенной, вследствие завышения перепадов давления при включении НА с ЧРП.

### **Последовательность выполнения приближенной оценки снижения цикличности нагружения**

1. Формируются исходные данные, необходимые для расчетов. Для этого по сведениям о СРР действующего нефтепровода формируется таблица исходных данных, в которой указывается число включенных НА; время работы, производительность трубопровода и давления на выходах НПС на каждом из режимов работы нефтепровода.

2. Составляется новый план-график поставки (последовательность режимов) при работе нефтепровода с использованием ЧРП. Для этого в исходных данных выявляются сутки, в которые используется циклическая перекачка. Определяется производительность за сутки при циклической



перекачке. Выбирается регулируемый НА, на котором предполагается установка ЧРП. Давления на выходах НПС в новой последовательности режимов указываются только для режимов работы без использования ЧРП.

3. Определяются перепады давления на выходах НПС при работе нефтепровода без использования ЧРП.

4. Определяются перепады давления при работе нефтепровода с использованием ЧРП. Для этого в новой последовательности режимов отмечаются (выделяются) включения НА без ЧРП и включения НА с ЧРП.

4.1. Для двух следующих друг за другом режимов перекачки, при которых происходит включение НА без ЧРП, перепады давления на выходах НПС принимаются по сведениям о СРР.

4.2. Перепады давления при включении НА с ЧРП либо не учитываются (способ 1), либо принимаются по сведениям о соблюдении режимов такими же, что и при включении НА без ЧРП (способ 2).

Найденные значения перепадов давления округляются до ближайших значений, кратных 0,2 МПа.

5. Определяется приведенная цикличность нагружения каждого участка между соседними НПС и всего технологического участка. Для этого годовая цикличность нагружения приводится к эквивалентному нагружению с перепадом 2,0 МПа. Приведенная годовая цикличность нагружения  $N$  участка нефтепровода определяется по формуле

$$N = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\Delta p_i}{2,0} \right)^{2,2}, \quad (2)$$

где  $n$  - число включений насосных агрегатов (технологических переключений);  $\Delta p_i$  - перепады внутреннего давления на выходе НПС, кратные 0,2 МПа [12].

По формуле (2) определяются значения приведенной цикличности нагружения технологического участка при работе нефтепровода с использованием ЧРП  $N_{\text{ЧРП}}$  и без использования ЧРП  $N_{\text{НЕР}}$ .

6. Определяется коэффициент снижения цикличности нагружения

$$k_{с.ц} = \frac{N_{НЕР}}{N_{ЧРП}} \quad (3)$$

**Пример.** Рассмотрим приближенную оценку снижения цикличности нагружения на примере технологического участка «Ленинск-Нурлино» нефтепровода НКК за один месяц (январь) 2011 года.

**Формирование исходных данных.** Для упрощения рассмотрим формирование исходных данных только за несколько суток. Выборка исходных данных из сведений о СРР четырех НПС (НПС1-НПС4) за 1-11 и 14-18 января представлена в таблице 1.

Таблица 1. Выборка исходных данных из сведений о СРР

Дата	Число МНА	Производит. Q, тыс.т	Время работы, час	ЛПДС "Ленинск" (НПС1)		НПС "Бердяуш" (НПС2)		НПС "Кропачево" (НПС3)		НПС "Улу-Теляк" (НПС4)	
				НА	Р <sub>вых</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	НА	Р <sub>вых</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	НА	Р <sub>вых</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	НА	Р <sub>вых</sub> , кгс/см <sup>2</sup>
1-4	3	180,6	24	№1	33,7	№2	31,6	-	13,0	№1	30,0
5	3	169,2	10	№1	33,7	№2	31,6	-	13,0	№1	30,0
5	2		14	№1	35,2	№1	38,9	-	25,0	-	27,7
6	2	170,8	12	№1	35,2	№1	38,9	-	25,0	-	27,7
<b>6</b>	<b>3 (B)</b>		<b>12</b>	<b>№1</b>	<b>33,7</b>	<b>№2</b>	<b>31,6</b>	-	<b>13,0</b>	<b>№1</b>	<b>30,0</b>
7	3	170,8	12	№1	33,7	№2	31,6	-	13,0	№1	30,0
7	2		12	№1	35,2	№2	38,9	-	25,0	-	27,7
8	2	175,8	6	№1	35,2	№2	38,9	-	25,0	-	27,7
<b>8</b>	<b>3 (B)</b>		<b>18</b>	<b>№1</b>	<b>33,7</b>	<b>№2</b>	<b>31,6</b>	-	<b>13,0</b>	<b>№1</b>	<b>30,0</b>
9	3	170,8	12	№1	33,7	№2	31,6	-	13,0	№1	30
9	2		12	№1	35,2	№2	38,9	-	25,0	-	27,7
10	2	176,8	4	№1	35,2	№1	38,9	-	25,0	-	27,7
<b>10</b>	<b>3 (B)</b>		<b>20</b>	<b>№1</b>	<b>33,7</b>	<b>№2</b>	<b>31,6</b>	-	<b>13,0</b>	<b>№1</b>	<b>30,0</b>
<b>11</b>	<b>3</b>	180,6	<b>24</b>	<b>№1</b>	33,7	№2	31,6	-	13,0	№1	30,0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>14</b>	<b>1</b>	130,0	<b>24</b>	<b>№1</b>	37,5	-	23,2	-	14,2	-	21,5
<b>15</b>	<b>1</b>	151,2	<b>7</b>	<b>№3</b>	37,5	-	23,2	-	14,2	-	21,5
<b>15</b>	<b>2(B)</b>		<b>17</b>	<b>№3</b>	35,9	<b>№1</b>	39,8	-	25,7	-	28,2
16	2	172,4		№3	35,9	№1	39,8	-	25,7	-	28,2
<b>16</b>	<b>3(B)</b>			№3	33,7	№1	31,6	-	13,0	<b>№1</b>	30,0
<b>17</b>	<b>3</b>	180,6	<b>24</b>	№3	33,7	№1	31,6	-	13,0	№1	30,0
<b>18</b>	<b>4(B)</b>	191,0	<b>24</b>	<b>№2,3</b>	46,4	№1	41,1	-	18,2	№1	32,4

В таблице исходных данных приведены число и номера включенных магистральных НА (МНА), значения суточной производительности  $Q$ , время работы трубопровода на каждом из режимов и давления на выходах НПС  $p_{\text{вых}}$  в кгс/см<sup>2</sup>. Во всех режимах (кроме режимов работы с одним МНА) на НПС1 включены два подпорных НА.

При работе нефтепровода без использования ЧРП производительность регулируется изменением числа включенных МНА. При этом изменение производительности нефтепровода производится ступенчато (таблица 2).

Таблица 2. Производительность нефтепровода при подборе числа включенных МНА

Число включенных МНА	1	2	3	4	5
Суточная производительность, тыс.т	130,0	161,0	180,6	191,0	210

Если требуемая производительность трубопровода равна одному из значений таблицы 2, то в такие сутки переключение числа МНА не производится. В таблице 1 с 1-го по 4-е, а также 11-го и 17-го января нефтепровод работал с 3-мя, а 18-го января – с четырьмя включенными МНА с производительностью по таблице 2.

Если необходимо обеспечить производительность трубопровода, отличающуюся от указанных в таблице 2 значений, то используется циклическая перекачка. Всего циклическая перекачка по технологическому участку «Ленинск-Нурлино» в течение января 2011 г. использовалась 14 суток: с 05.01.11 по 10.01.11; а также 12; 15, 16; 19; 22-24, 29 и 31 января. В таблице 1 приведены режимы циклической перекачки с 05.01.11 по 10.01.11, 15.01.2011 и 16.01.2011. В эти сутки происходит чередование режимов с двумя и тремя (с 05.01.11 по 10.01.11, и 16.01.2011) или с одним и двумя (15.01.2011) включенными МНА. Включение МНА в таблице 1 выделено буквой «В» в столбце «Число МНА». Всего за месяц было 12 включений МНА: 6, 8, 10, 12, 15, 16, 18, 20, 22, 23, 25 и 30 января. В таблице 1 приведены включения 6, 8, 10, 12, 15, 16 и 18 января.

**Составление план-графика работы нефтепровода с использованием ЧРП.** При использовании ЧРП, циклическую перекачку 5, 6, 7, 8, 9, 10 и 16 января можно заменить режимами при трех включенных МНА с установкой ЧРП на НПС 4, а циклическую перекачку 15 января режимом при двух включенных МНА с установкой ЧРП на НПС 2. При этом требуемое значение суточной производительности нефтепровода обеспечивается не путем включения/отключения МНА, а путем регулирования частоты вращения МНА. Новый план-график работы нефтепровода при использовании ЧРП приведен в таблице 3. В соответствии с принятыми допущениями давления на выходах НПС в режимах с использованием ЧРП не определяются (обозначено «не опр.» в столбцах « $p_{\text{вых}}$ ») и в таблице 3 не указываются.

Таблица 3. Режимы (новый план-график) работы при использовании ЧРП

Дата	Число МНА	Производ- дит. тыс. т/сут	Время работы, час	НПС1		НПС2		НПС3		НПС4	
				МНА	$P_{\text{вых}}, \text{кгс/см}^2$	МНА	$P_{\text{вых}}, \text{кгс/см}^2$	НА	$P_{\text{вых}}, \text{кгс/см}^2$	НА	$P_{\text{вых}}, \text{кгс/см}^2$
4	3	180,6	24	№1	33,7	№2	31,6	-	13,0	№1	30,0
5	3	169,2	24	№1	Не опр.	№2	Не опр.	-	Не опр.	№1 с ЧРП	Не опр.
6	3	170,8	24	№1		№1		-			
7	3	170,8	24	№1		№2		-			
8	3	175,8	24	№1		№2		-			
9	3	170,8	24	№1		№2		-			
10	3	176,8	24	№1		№1		-			
11	3	180,6	24	№1	33,7	№2	31,6	-	13,0	№1	30,0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
14	1	130,0	24	№1	37,5	-	23,2	-	14,2	-	21,5
15	2(+ с ЧРП)	151,2	24	№3	Не опр.	№1 с ЧРП	Не опр.	-	Не опр.	-	Не опр.
16	3(+ с ЧРП)	172,4	24	№3	Не опр.	№1	Не опр.	-	Не опр.	№1 с ЧРП	Не опр.
17	3	180,6	24	№3	33,7	№1	31,6	-	13,0	№1	30,0
18	4(В)	191,0	24	№2,3	46,4	№1	41,1	-	18,2	№1	32,4

**Определение перепадов давления на выходах НПС при работе нефтепровода без использования ЧРП.** В выборке исходных данных выделяются изменения режимов, обусловленные включением МНА без

ЧРП. Таких включений в таблице 1 было шесть: 6, 8, 10, 15, 16 и 18 января. Перепады давления при таких включениях, определенные по формуле (1), приведены в таблице 4. В таблице 4 обозначено: УТ - Улу-Теляк, Б – Бердяуш, Л – Ленинск. Перепады давления в таблице 4 округлены до ближайших значений, кратных 0,2 МПа. Перепады давления меньше 0,2 МПа не учитываются.

Таблица 4. Перепады давления при работе нефтепровода без ЧРП

Дата	Число МНА	НПС1		НПС2		НПС3		НПС4	
		р <sub>вых</sub> , МПа	Δр, МПа	р <sub>вых</sub> , МПа	Δр, МПа	р <sub>вых</sub> , МПа	Δр, МПа	р <sub>вых</sub> , МПа	Δр, МПа
6	2	3,52	0	3,89	-0,8	2,50	-1,2	2,77	0,2
<b>6</b>	<b>3(УТ)</b>	<b>3,37</b>		<b>3,16</b>		<b>1,30</b>		<b>3,00</b>	
8	2	3,52	0	3,89	-0,8	2,50	-1,2	2,77	0,2
<b>8</b>	<b>3(УТ)</b>	<b>3,37</b>		<b>3,16</b>		<b>1,30</b>		<b>3,00</b>	
10	2	3,52	0	3,89	-0,8	2,50	-1,2	2,77	0,2
<b>10</b>	<b>3(УТ)</b>	<b>3,37</b>		<b>3,16</b>		<b>1,30</b>		<b>3,00</b>	
11	3	3,37	0	3,16	0	1,30	0	3,0	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
15	1	3,5	-0,2	2,32	1,6	1,42	1,2	2,15	0,6
<b>15</b>	<b>2(Б)</b>	<b>3,59</b>		<b>3,98</b>		<b>2,57</b>		<b>2,82</b>	
16	2	3,59	-0,2	3,98	-0,8	2,57	-0,8	2,82	0,2
<b>16</b>	<b>3(УТ)</b>	<b>3,37</b>		<b>3,16</b>		<b>1,30</b>		<b>3,00</b>	
17	3	3,37	1,2	3,16	1,0	1,30	0,6	3,00	0,2
<b>18</b>	<b>4(Л)</b>	<b>4,64</b>		<b>4,11</b>		<b>1,82</b>		<b>3,24</b>	

*Определение перепадов давления на выходах НПС при работе нефтепровода с использованием ЧРП.* При работе нефтепровода с использованием ЧРП (таблица 3) осталось только одно включение МНА без ЧРП 18 января. Три других включения 6, 8, 10 января, которые использовались в таблице 1 для организации циклической перекачки, в таблице 3 исчезли, так как вместо циклической перекачки выполняется регулирование производительности путем использования ЧРП. По сравнению с работой трубопровода без использования ЧРП в новом плане графике поставки нефти 15 и 16 января вместо включений НА без ЧРП производятся включения НА с ЧРП (в таблице 3 обозначено «+ с ЧРП»). В

этих случаях производится включение и разгон НА не до номинальной частоты вращения, а до меньшего значения. В соответствии с принятыми выше допущениями расчет перепадов давления в этих случаях не выполняется и для определения цикличности нагружения их необходимо учесть приближенно. В соответствии с принятыми выше допущениями: можно либо не учитывать перепады давления при таких включениях (способ 1), либо принимать их равными перепадам давления при включении МНА на номинальную частоту вращения (способ 2).

**Способ 1. Перепады давления при включении НА с ЧРП не учитываются.** При способе 1 учитываются только включения НА без ЧРП. Таких включений было одно: 18 января. Учитываемые перепады давления по способу 1 сведены в таблицу 5.

Таблица 5. Перепады давления  $\Delta p$  при способе 1

Дата	Число МНА	НПС1		НПС2		НПС3		НПС4	
		$p_{\text{вых}},$ МПа	$\Delta p,$ МПа	$p_{\text{вых}},$ МПа	$\Delta p,$ МПа	$p_{\text{вых}},$ МПа	$\Delta p,$ МПа	$p_{\text{вых}},$ МПа	$\Delta p,$ МПа
17	3	33,7		31,6		13,0		30,0	
<b>18</b>	<b>4(Л)</b>	<b>46,4</b>	<b>1,2</b>	<b>41,1</b>	<b>1,0</b>	<b>18,2</b>	<b>0,6</b>	<b>32,4</b>	<b>0,2</b>

Всего за месяц при работе технологического участка «Ленинск – Нурлино» с использованием ЧРП таких включений было бы четыре: 18, 20, 22, 30 января. Так как без использования ЧРП было 12 включений, то использование ЧРП привело к снижению числа включений в 3 раза.

**Способ 2. Перепады давления при включении НА с ЧРП принимаются по сведениям о СРР такими же, что и при включении НА без ЧРП.** При способе 2 учитываются включения НА без ЧРП и НА с ЧРП. Включений НА с ЧРП было два: 15 и 16 января. Все перепады давления принимаются по сведениям о СРР. Перепады давления после установки ЧРП по способу 2 сведены в таблицу 6.

Таблица 6. Перепады давления  $\Delta p$  при способе 2

Дата	Число МНА	НПС1		НПС2		НПС3		НПС4	
		$p_{\text{вых}},$ МПа	$\Delta p,$ МПа	$p_{\text{вых}},$ МПа	$\Delta p,$ МПа	$p_{\text{вых}},$ МПа	$\Delta p,$ МПа	$p_{\text{вых}},$ МПа	$\Delta p,$ МПа
15	1	37,5		23,2		14,2		21,5	
<b>15</b>	<b>2(Б) с ЧРП</b>	<b>35,9</b>	<b>-0,2</b>	<b>39,8</b>	<b>1,6</b>	<b>25,7</b>	<b>1,2</b>	<b>28,2</b>	<b>0,6</b>
16	2	35,9		39,8		25,7		28,2	
<b>16</b>	<b>3(УТ) с ЧРП</b>	<b>33,7</b>	<b>-0,2</b>	<b>31,6</b>	<b>-0,8</b>	<b>13,0</b>	<b>-0,8</b>	<b>30,0</b>	<b>0,2</b>
17	3	33,7		31,6		13,0		30,0	
<b>18</b>	<b>4(Л) без ЧРП</b>	<b>46,4</b>	<b>1,2</b>	<b>41,1</b>	<b>1,0</b>	<b>18,2</b>	<b>0,6</b>	<b>32,4</b>	<b>0,2</b>

Величины перепадов давления в таблице 6 при включении НА с ЧРП 15 и 16 января, принимаются по данным таблицы 4. Всего за январь при работе нефтепровода с использованием ЧРП было бы 7 включений: 3 включения МНА с ЧРП и 4 включения МНА без ЧРП. В то время как при работе без использования ЧРП было 12 включений.

*Определение приведенной цикличности нагружения и коэффициентов снижения цикличности нагружения.* По формуле (2) по данным таблиц 3, 5 и 6, составленным за год определяется приведенная годовая цикличность нагружения и по выражению (3) определяется коэффициент снижения цикличности нагружения. В рассматриваемом примере такие расчеты выполнены за месяц (за январь). Результаты расчета цикличности нагружения и коэффициентов снижения цикличности нагружения для участков между соседними НПС и, в целом, по технологическому участку (ТУ) за месяц представлены в таблице 7.

Таблица 7. Результаты расчетов по приближенной методике

Наименование НПС	$N_{\text{НЕР}}$	Приведенная цикличность нагружения $N_{\text{ЧРП}}$ по способам			Коэффициент снижения цикличности нагружения $k_{\text{с.ц.п.}}$ при приближенном определении $N_{\text{ЧРП}}$ по способам		
		1	2	3	1	2	3
НПС1	1,31	0,98	1,30	1,14	1,33	1,01	1,15
НПС2	2,03	0,44	1,21	0,83	4,61	1,68	2,44
НПС3	3,40	0,60	1,20	0,9	5,67	2,83	3,78
НПС4	0,46	0,24	0,43	0,34	1,93	1,07	1,35
Итого по ТУ	7,20	2,26	4,16	3,21	3,18	1,73	2,25

В таблице 7 приведены значения приведенной цикличности нагружения и коэффициенты снижения цикличности нагружения для двух способов учета перепадов давления при включении НА с ЧРП (способ 1 и способ 2) и средние значения цикличностей нагружения (столбцы под номером 3). Независимо от способа учета перепадов давления при включении НА с ЧРП цикличность нагружения при использовании ЧРП во всех случаях снижается по сравнению с работой нефтепровода без использования ЧРП. При этом во всех случаях коэффициент снижения цикличности нагружения больше единицы.

Способ учета перепадов давления при включении НА с ЧРП сильно влияет, как на приведенную цикличность нагружения, так и на коэффициент снижения цикличности нагружения. Значения приведенной цикличности нагружения при учете перепадов давления при включении НА с ЧРП (способ 2) больше, чем без учета таких перепадов давлений (способ 1) в 1,33 раза для НПС1, в 2,73 раза для НПС2, в 2 раза для НПС 3 и в 1,72 раза для НПС4. В среднем, расчетные значения приведенной цикличности с учетом и без учета перепадов давления при включении НА с ЧРП отличаются в 1,96 раза. Это значит, что не учет перепадов давления при включении НА с ЧРП приводит к существенному снижению расчетной цикличности нагружения.

**Оценка погрешности приближенного определения цикличности нагружения.** Для оценки погрешности приближенного определения цикличности нагружения найдем давления на выходах НПС и цикличность нагружения путем выполнения технологических расчетов с определением частоты вращения НА с ЧРП по [9]. Такие методики и расчеты назовем «точными». Значения давлений на выходах НПС при «точных» расчетах приведены в таблице 8.



Таблица 8. Расчетные значения давлений при «точной» методике

Дата	Число МНА	Производит. тыс.т/сут	Время работы, час	НПС1		НПС2		НПС3		НПС4	
				МНА	Р <sub>вых.</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	МНА	Р <sub>вых.</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	НА	Р <sub>вых.</sub> , кгс/см <sup>2</sup>	НА	Р <sub>вых.</sub> , кгс/см <sup>2</sup>
4	3	180,6	24	№1	33,7	№2	31,6	-	13,0	№1	30,0
5	3 (ЧРП) -Q	169,2	24	№1	35,1	№2	35,7	-	16,6	№1 с ЧРП	24,9
6	<b>3 (ЧРП) +Q</b>	<b>170,8</b>	24	№1	35,1	№1	35,7	-	16,6		24,9
7	3 (ЧРП)	170,8	24	№1	35,1	№2	35,7	-	16,6		24,9
8	<b>3 (ЧРП) +Q</b>	<b>175,8</b>	24	№1	34,3	№2	33,4	-	13,2		25,6
9	3 (ЧРП) -Q	170,8	24	№1	35,1	№2	35,6	-	16,5		24,9
10	<b>3 (ЧРП) +Q</b>	176,8	24	№1	34,0	№1	33,2	-	12,6		25,8
11	3 (ЧРП) -Q	180,6	24	№1	33,7	№2	31,6	-	13,0	№1	30,0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
14	1	130,0	24	№1	37,5	-	23,2	-	14,2	-	21,5
15	<b>2 (ЧРП) В</b>	151,2	24	№3	36,6	<b>№1 с ЧРП</b>	34,6	-	19,0	-	22,8
16	<b>3 (ЧРП) В</b>	172,4	24	№3	35,1	№1	35,2	-	15,7	<b>№1 с ЧРП</b>	25,2
17	<b>3 (+Q)</b>	180,6	24	№3	33,7	№1	31,6	-	13,0	№1	30,0
18	<b>4 (В)</b>	191,0	24	№2,3	46,4	№1	41,1	-	18,2	№1	32,4

При «точном» определении цикличности нагружения с использованием технологических расчетов и алгоритмов определения частоты вращения НА перепады давления учитываются не только при включении НА, но и при увеличении частоты вращения, которые сопровождаются повышением производительности нефтепровода. Такие повышения производительности отмечены знаком «+Q» в столбце «Число МНА». В приведенных в таблице 8 режимах при определении цикличности нагружения учитываются одно включение НА без ЧРП (18 января), два включения НА с ЧРП (15 и 16 января) и три повышения производительности, обусловленных повышением частоты вращения НА (6, 8 и 10 января). Число учитываемых режимов (включений и увеличений производительности) возросло по сравнению со способом 1 от одного до шести, а по сравнению со способом

2 – от трех до шести. Расчетные значения перепадов давления при перечисленных включениях и изменениях режимов, округленные до 0,2 МПа, приведены в таблице 9.

Таблица 9. Расчетные перепады давления при «точной» методике

Дата	Число МНА	НПС1		НПС2		НПС3		НПС4	
		Р <sub>вых</sub> , МПа	Δр, МПа	Р <sub>вых</sub> , МПа	Δр, МПа	Р <sub>вых</sub> , МПа	Δр, МПа	Р <sub>вых</sub> , МПа	Δр, МПа
5	<b>3(УТ)</b>	35,4	0,0	36,3	0,0	17,6	0,0	24,7	0,0
6	<b>3(УТ)</b>	35,1	0,0	35,7	0,0	16,6	0,0	24,9	0,0
7	<b>3(УТ)</b>	35,1	0,0	35,7	0,0	16,6	0,0	24,9	0,0
8	<b>3(УТ)</b>	34,3	0,0	33,4	0,0	13,2	0,0	25,7	0,0
<b>9</b>	<b>3(УТ)</b>	35,1	0,0	35,6	<b>0,2</b>	16,0	<b>0,4</b>	24,9	0,0
10	<b>3(УТ)</b>	34,0	0,0	33,2	0,0	12,6	0,0	25,8	0,0
<b>11</b>	<b>3</b>	33,7	0,0	31,6	0,0	13,0	0,0	30,0	<b>0,4</b>
...	...								
14	1	37,5	0,0	23,2	0,000	14,2	0,0	21,5	0,0
<b>15</b>	<b>2(Б)</b>	36,6	0,0	34,6	<b>1,2</b>	19,0	<b>0,4</b>	22,8	0,0
<b>16</b>	<b>3(УТ)</b>	35,1	0,0	35,2	0,0	15,7	0,0	25,2	<b>0,2</b>
<b>17</b>	3	33,7	0,0	31,6	0,0	13,0	0,0	30,0	<b>0,4</b>
<b>18</b>	<b>4(Л)</b>	46,4	<b>1,2</b>	41,1	<b>1,0</b>	18,2	<b>0,6</b>	32,4	<b>0,2</b>

Результаты «точных» расчетов приведенной цикличности нагружения  $N_{ТР}$  приведены в таблице 10.

Таблица 10. Результаты «точных» расчетов и погрешности приближенных способов

Наименование НПС	$N_{ТР}$	Приведенная цикличность нагружения $N_{чрп}$ по способам			Погрешность расчетов по способам, %		
		1	2	3	1	2	3
НПС1	1,28	0,98	1,30	1,14	- 23,4	+ 1,6	- 10,9
НПС2	0,85	0,44	1,21	0,83	- 48,2	+ 42,4	- 2,3
НПС3	1,26	0,60	1,20	0,9	- 52,4	- 4,8	- 28,6
НПС4	0,45	0,24	0,43	0,34	- 46,7	- 4,4	- 24,4
Итого по ТУ:	3,85	2,26	4,16	3,21	- 41,0	+ 7,8	- 16,6

Оценим погрешность определения цикличности нагружения приближенными способами по отношению к «точному» расчету по выражению:

$$\Pi = \frac{N_{\text{чрп}} - N_{\text{тр}}}{N_{\text{тр}}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

Результаты оценки погрешности определения цикличности нагружения приближенными способами приведены в таблице 10.

Из таблицы 10 следует, что при использовании способов 1 и 3 значения приведенной цикличности нагружения меньше «точных» значений и погрешность отрицательная для всех участков нефтепровода. При использовании способа 2 приведенная цикличность нагружения может быть как больше, так и меньше «точного» значения. При этом значение погрешности определения приведенной цикличности нагружения по способу 2 для трех участков из четырех не превышает 5%. Высокая погрешность определения цикличности нагружения на выходе НПС2 (42,4%) объясняется тем, что при «точном» расчете установка ЧРП на НПС2 использовалась не только для исключения циклической перекачки 15 января, но и в других режимах с целью выполнения ограничений по частоте вращения и давлениям на входах и выходах НПС.

## Выводы

1. Для точной оценки снижения цикличности нагружения в общем случае необходимо определять давления на выходах НПС при использовании ЧРП. Такие расчеты можно выполнять только с использованием алгоритмов определения частоты вращения НА и оптимизационных алгоритмов, что требует значительной базы исходных данных и специального программного обеспечения. Поэтому практически важной задачей является разработка упрощенного метода, удобного в инженерной практике для предварительной оценки эффективности использования ЧРП.

2. Приведена последовательность выполнения приближенной оценки цикличности нагружения действующего нефтепровода при использовании ЧРП для исключения циклической перекачки. Показано, что для

упрощенной оценки цикличности нагружения при использовании ЧРП целесообразно учитывать включения НА с ЧРП, причем перепады давления при включении НА с ЧРП не определяются, а принимаются по сведениям о СРР равными, перепадам давления при включении этих же НА без ЧРП.

3. Предложенная методика приближенной оценки снижения цикличности нагружения при использовании ЧРП не требует специального программного обеспечения, для выполнения расчетов достаточно иметь только сведения о СРР, а погрешность расчетов в большинстве случаев не превышает 10%. Поэтому предложенная методика может быть рекомендована для использования в инженерной практике при приближенной оценке эффективности использования ЧРП на действующих нефтепроводах.

#### **Список используемых источников**

1 Коршак А.А., Нечваль А.М. Трубопроводный транспорт нефти, нефтепродуктов и газа: учебник для вузов. Уфа: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2001. 571 с.

2 Нечваль А.М. Основные задачи при проектировании и эксплуатации магистральных нефтепроводов. Уфа: изд-во УГНТУ, 2005. 81 с.

3 Гутман Э.М., Амосов Б.В., Худяков М.А. Малоцикловая коррозионная усталость трубной стали при эксплуатации магистральных нефтепроводов//Строительство трубопроводов. 1978. № 4. С. 25 – 30.

4 Прочность труб магистральных нефте- и продуктопроводов при статическом и малоцикловом нагружении/ М.И. Волский, А.С. Аистов, А.П. Гусенков и др. // Нефтяная промышленность. Сер. Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов: Обзор. информ. М.: ВНИИОЭНГ, 1979. 55 с.

5 Шабанов В.А., Кабаргина О.В. Перспективы использования частотно-регулируемого электропривода магистральных насосов на НПС. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2010. 63 с.

6 Шабанов В.А., Бондаренко О.В. Целевые функции и критерии оптимизации перекачки нефти по нефтепроводам при частотно-регулируемом электроприводе магистральных насосов // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2012. №4. С. 10-17. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov\\_12.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov_12.pdf)

7 Шабанов В.А., Хакимов Э.Ф., Шарипова С.Ф. Алгоритм оценки эффективности частотно-регулируемого электропривода магистральных насосов эксплуатируемых нефтепроводов по критерию снижения расхода электроэнергии // Электротехнические и информационные комплексы и системы, 2013. №2(9). С. 34-42.

8 Шабанов В.А., Шарипова С.Ф. Критерии эффективности частотно-регулируемого электропривода магистральных насосов на нефтеперекачивающих станциях // Электротехнические и информационные комплексы и системы, 2013. №1(9). С. 38-43.

9 Шабанов В.А., Шарипова С.Ф. Алгоритм определения частоты вращения магистральных насосов // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2013. №4. С. 20-29. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov\\_17.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov_17.pdf)

10 Шабанов В.А., Шарипова С.Ф. Требования к частоте вращения магистральных насосов при частотно-регулируемом электроприводе // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2013. №3 (10). С. 42-46.

11 Шабанов В.А., Шарипова С.Ф., Рябишина Л.А. Постановка задачи структурно-параметрической оптимизации перекачки нефти по нефтепроводам при частотно-регулируемом электроприводе // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2013. №6. С. 1-24. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov\\_19.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov_19.pdf)

12 РД-23.040.00-КТН-265-10. Оценка технического состояния магистральных трубопроводов на соответствие требованиям нормативно-технических документов.

13 Баширов И.В. Разрушение технологических трубопроводов при одновременном воздействии циклических и вибрационных нагрузок, на резонансной частоте // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2012. №4. С.370-377. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/BashirovIV/BashirovIV\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/BashirovIV/BashirovIV_1.pdf)

14 Шабанов В.А., Павлова З.Х., Калимгулов А.Р. О влиянии частотно-регулируемого электропривода магистральных насосов на цикличность нагружения трубопровода // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2012. №5. С. 23-30. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov\\_14.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov_14.pdf).

## References

1 Korshak A.A., Nechval A.M. Truboprovodnyy transport nefti, nefteproduktov i gaza: Ucheb. dlya vuzov – Ufa: ООО «DizaynPoligrafServis», 2001. 571 s. [in Russian].

2 Nechval A.M. Osnovnyye zadachi pri proyektirovanii i ekspluatatsii magistral'nykh nefteprovodov. Ufa: izd-vo UGNTU, 2005. 81 s. [in Russian].

3 Gutman E.M., Amosov B.V., Khudyakov M.A. Malotsiklovaya korrozionnaya ustalost' trubnoy stali pri ekspluatatsii magistral'nykh nefteprovodov//Stroitel'stvo truboprovodov. 1978. № 4. S. 25 - 30. [in Russian].

4 Prochnost' trub magistral'nykh nefte- i produktoprovodov pri staticheskom i malotsiklovom nagruzhenii / M.I. Volskiy, A.S. Aistov, A.P. Gusenkov i dr. // Neftyanaya promyshlennost'. Ser. Transport i khraneniye nefti i nefteproduktov: Obzor. inform. M.: VNIIOENG, 1979. 55 s. [in Russian].

5 Shabanov V.A., Kabargina O.V. Perspektivy ispol'zovaniya chastotno-reguliruyemogo elektroprivoda magistral'nykh nasosov na NPS. Ufa: Izd-vo UGNTU, 2010. 63 s. [in Russian].

6 Shabanov V.A., Bondarenko O.V. Tselevyye funktsii i kriterii optimizatsii perekachki nefti po nefteprovodam pri chastotno-reguliruyemom elektroprivode magistral'nykh nasosov // Neftegazovoye delo: Elektron. Nauch. zhurn. 2012. №4. S. 10-17. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov\\_12.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov_12.pdf) [in Russian].

7 Shabanov V.A., Khakimov E.F., Sharipova S.F. Algoritm otsenki effektivnosti chastotno-reguliruyemogo elektroprivoda magistral'nykh nasosov ekspluatiruyemykh nefteprovodov po kriteriyu snizheniya raskhoda elektroenergii // Elektrotekhnicheskiye i informatsionnyye kompleksy i sistemy, 2013. №2(9). S. 34-42. [in Russian].

8 Shabanov V.A., Sharipova S.F. Kriterii effektivnosti chastotno-reguliruyemogo elektroprivoda magistral'nykh nasosov na nefteperekachivayushchikh stantsiyakh // Elektrotekhnicheskiye i informatsionnyye kompleksy i sistemy, 2013. №1(9). S. 38-43. [in Russian].

9 Shabanov V.A., Sharipova S.F. Algoritm opredeleniya chastoty vrashcheniya magistral'nykh nasosov// Neftegazovoye delo: elektron. nauch. zhurn. 2013. №4. S. 20-29. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov\\_17.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov_17.pdf) [in Russian].

10 Shabanov V.A., Sharipova S.F. Trebovaniya k chastote vrashcheniya magistral'nykh nasosov pri chastotno-reguliruyemom elektroprivode// Elektrotekhnicheskiye i informatsionnyye kompleksy i sistemy, 2013. №3 (10). S. 42-46. [in Russian].

11 Shabanov V.A., Sharipova S.F., Ryabishina L.A. Postanovka zadachi strukturno-parametricheskoy optimizatsii perekachki nefti po nefteprovodam pri chastotno-reguliruyemom elektroprivode // Neftegazovoye delo: elektron. nauch. zhurn. 2013. №6. S. 1-24. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov\\_19.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov_19.pdf) [in Russian].

12 RD-23.040.00-KTN-265-10. Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya magistral'nykh truboprovodov na sootvetstviye trebovaniyam normativno-tekhnicheskikh dokumentov. [in Russian].

13 Bashirov I.V. Razrusheniye tekhnologicheskikh truboprovodov pri odnovremennom vozdeystvii tsiklicheskikh i vibratsionnykh nagruzok, na rezonansnoy chastote // Neftegazovoye delo: Elektron. Nauch. zhurn. 2012. №4. S. 370-377. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/BashirovIV/BashirovIV\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/BashirovIV/BashirovIV_1.pdf) [in Russian].

14 Shabanov V.A., Pavlova Z.KH., Kalimgulov A.R. O vliyani chastotno-reguliruyemogo elektroprivoda magistral'nykh nasosov na tsiklichnost' nagruzheniya truboprovoda // Neftegazovoye delo: Elektron. Nauch. zhurn. 2012. №5. S. 23-30. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov\\_14.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov_14.pdf). [in Russian].

### **Сведения об авторах**

#### **About the authors**

Шабанов В. А., канд. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Электротехника и электрооборудование предприятий», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

V.A. Shabanov, Candidate of Engineering Sciences, Professor, Head of the Chair “Electrical Engineering and Electrical Industries” FSBEI NPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: [ShabanovVA1@yandex.ru](mailto:ShabanovVA1@yandex.ru)

Хакимов Э. Ф., аспирант кафедры «Электротехника и электрооборудование предприятий» ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

E.F. Khakimov, Post-graduate Student of the Chair “Electrical Engineering and Electrical Industries” FSBEI NPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: [hair99@inbox.ru](mailto:hair99@inbox.ru)