

# ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРОДСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Кузьминский Ю.Г., Шилько С.В.

Институт механики металлополимерных систем НАН Беларуси им. В.А. Белого

## APPLICATION OF MATHEMATICAL MODEL FOR INCREASE POWER EFFICIENCY OF CITY WATER SUPPLY

Kuzminsky Y.G., Shilko S.V.

Metal-Polymer Research Institute NAN of Belarus after V.A. Belyi

*Hydrodynamic dimensionless modelling of systems of pipeline transport is the practical tool of the decision of applied problems of biomechanics of blood circulation, power efficiency and safety of petrosapping and water supply.*

### Введение.

Основные особенности городского водоснабжения – сложная сетевая структура трубопроводов с несколькими станциями водоподъема, непрерывные изменения по времени числа потребителей, активное применение частотного и других методов регулирования работы насосов, изменение производительности насосов вследствие изнашивания. Главными причинами низкой энергоэффективности городского водоснабжения являются несоответствие фактической объемной скорости водоподдачи номинальным параметрам насосов, а также значительная рециркуляция воды в насосах вследствие износа щелевых уплотнений рабочих колес. Для обоснования мероприятий по повышению энергоэффективности водоснабжения целесообразно математическое моделирование гидродинамических процессов [1,3,7]. В частности, применение методов 0-D моделирования, описывающего гидродинамические процессы в обобщающем понятии «приведенный диаметр», помогает избежать значительных затрат вычислительных и интеллектуальных ресурсов путем замены систем дифференциальных уравнений на прямые зависимости параметров. Это позволяет решать задачи мониторинга и управления в реальном масштабе времени, в т.ч. использовать в оперативной деятельности. Функциями исследовательской версии комплекса программ «СИТИГИДРО»+«ДИНАС», реализующей разработанную модель, являются:

1. создание баз данных паспортных характеристик насосов и выполнение идентификации насосов определением фактических параметров регулирования и зазора щелевого уплотнения (ДИНАС);
2. анализ изменения приведенного диаметра трубопроводов во времени на основе суточной и помесечной статистики водопотребления; 0-D моделирование режимов общего городского водоснабжения для прогнозирования объемной скорости, давления, коэффициента полезного действия, удельного расхода энергии, числа активных потребителей, а также прогноза параметров локальной системы скважинного водосбора (СИТИГИДРО).

**Общая модель** городского водоснабжения состоит из моделей локальной системы скважинного водосбора, работы насосного агрегата, локального отводящего трубопровода, взаимодействия станций водоснабжения.

Основными аналитическими зависимостями модели насосного агрегата [2,4,9] являются параболические аппроксимации напорной ( $h$ ) и мощностной ( $N$ ) характеристик (зависимостей от объемной скорости  $q$ ) насоса, где учитываются коэффициент регулирования  $k_r$  и коэффициент изменения плотности  $k_\rho$ , т.к. паспортные характеристики изготовителями даются для воды.

$$\begin{cases} k_r^2 a + k_r b q + c q^2 = h \\ k_\rho (k_r^3 a_e + k_r^2 b_e q + k_r c_e q^2) = N \end{cases} .$$

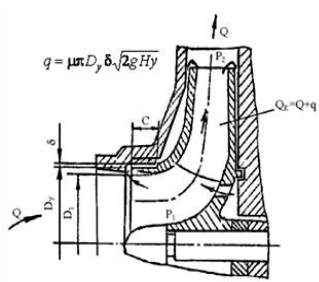


Рис. 1 Схема щелевого уплотнения

Коэффициент регулирования является произведением коэффициентов изменения частоты тока и изменения диаметра рабочего колеса насоса. Регулирование позволяет изменить номинал подачи (объемная скорость при максимуме КПД) насоса. Основные причины снижения КПД насоса – отличие реальной подачи насоса от номинальной и наличие циркуляции жидкости в насосе по причине зазора в щелевом уплотнении. Коэффициент  $k_z$  роста зазора определяется следующим образом

- по фактическим значениям напора и подачи, коэффициентам аппроксимации характеристики напора определяем гидравлические потери из уравнения

$$h_{факт} = a + b(q_{факт} + \Delta q) + c(q_{факт} + \Delta q)^2$$

- по фактическим давлениям  $P_{до}$  и  $P_{за}$ , плотности  $\rho(t)$ , размерам колеса  $d_1-b-l$  и вычисленным гидравлическим потерям  $\Delta q$  определяем коэффициент роста зазора из уравнения

$$k_z = \frac{\Delta q}{2\pi d_1 b \frac{1}{\sqrt{\frac{0,06l}{2b} + 1,5}} \sqrt{\frac{2 \cdot 10^5 (P_{за} - P_{до})}{\rho(t)}}}$$

Мониторинг состояния насоса состоит в периодическом контроле коэффициентов  $k_r$  и  $k_z$ . На рисунках 1 и 2 приведены схема щелевого уплотнения и результаты идентификации состояния насоса городского водоснабжения.

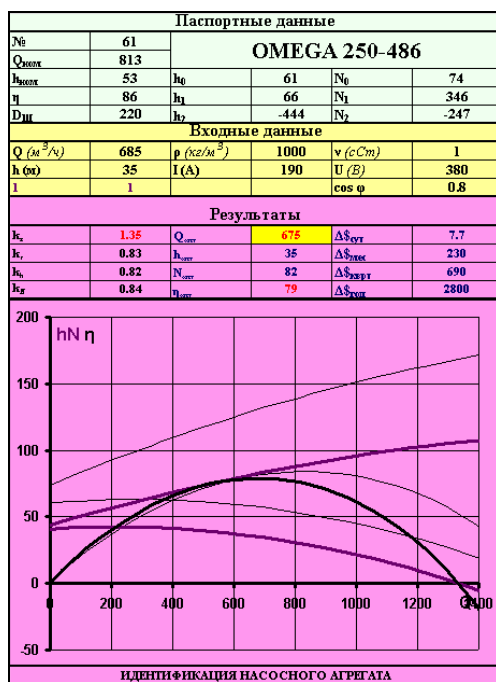


Рис. 2 Интерфейс программы ДИНАС

Модель скважинного водосбора (рис. 3 и 4) полезна при решении задач оптимизации

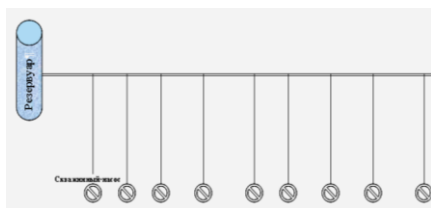


Рис. 3. Схема скважинного водосбора

энергопотребления на стадии проектирования (выбор типа насосов) и диспетчеризации (выбор количества насосов). Диаметры трубопроводов водосбора на практике настолько велики, что потери напора при турбулентном течении незначительны. Фактически энергоэффективность водосбора зависит от удачного выбора включаемых насосов при плавающей глубине уровня воды. По данным производителей энергоэффективность насосов

водосбора гораздо ниже энергоэффективности насосов подачи воды.

Водозабор "Юго-Западный"							
Параметры скважинного водосбора		✓	✓	✓	✓	✓	
Насос	h (м)	3	72	72	72	74	0
	Q (м³/сут)	600	91	91	91	90	0
Скважина	D <sub>2</sub> (мм)		250	250	250	250	250
	L <sub>2</sub> (м)		70	69	68	67	49
	D <sub>1</sub> (мм)		200	200	200	200	200
	L <sub>1</sub> (м)		20	20	20	20	20
Трасса	h <sub>в</sub> (м)		-1	-2	-3	-4	-4
	D <sub>3</sub> (мм)		400	400	300	300	300
	L <sub>3</sub> (м)		400	400	400	400	400
	Regim	Proect		PIPELINE 1		363	26353
Трасса	h <sub>в</sub> (м)		-1	-2	-3	-4	-4
	D <sub>3</sub> (мм)		400	400	300	300	300
	L <sub>3</sub> (м)		400	400	400	400	400
	D <sub>1</sub> (мм)		200	200	200	200	200
Скважина	D <sub>2</sub> (мм)		250	250	250	250	250
	L <sub>2</sub> (м)		70	69	68	67	49
	h		72	72	72	74	0
	Q		91	91	91	90	0

Рис. 4 Интерфейс модели скважинного водосбора

Модель локального отвода (рис. 5 и 6) станции II подъема построена на следующей предпосылке - фиксированы длина трубопровода, заменяющего реальную сетевую структуру, и конечное давление у потребителя. Диаметр отводящего трубопровода определяется диаметром фиксированной части и числом активных потребителей (рис. 5) воды в данный момент. Зависимость числа потребителей от сезона и времени устанавливается статистическими методами или по параболической зависимости.

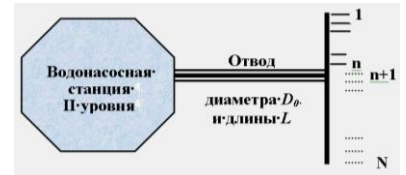


Рис. 5 Схема отвода ВНС-II

Эквивалентные диаметры					N <sub>г</sub>	d	l	Аппроксимация		
N <sub>квн</sub>	15	2	16.68		250000	10	100	N <sub>пользов</sub>		
	Сож	Ипуть	ЮЗап	Центр	133577	38040	31063	29186	18135	
Q м³/ч	3692	257	250	290	60	Сож	Ипуть	ЮЗап	Центр	Корен
Напор	47	33	30	33	18	12029	2906	2633	2211	2036
H <sub>макс</sub>	-16	-5	-10	-9	-2	9606	2125	2282	1579	1564
D мм	618	242	293	273	243	6457	1032	1758	1439	1048
k л/сут	10.8%	2.7%	5.7%	4.9%	5.8%	1.5003	1.4855	1.2058	1.2071	1.6762
N <sub>л/сут</sub>	14373	1032	1758	1439	1048	0.9054	1.0017	0.9611	0.6837	0.9578
D <sub>в</sub>	919	794	615	794	615	0.2194	0.3667	0.4369	0.5394	0.1796
Anal	5624.8	427.6	1351.5	819.2	932.2	4594.0	1749.8	594.8	1016.9	662.5
Q <sub>г</sub>	216.8	35.0	388.1	112.8	2.4	2228	702	560	373	320
h <sub>в</sub>	540	257	250	290	60	540	257	250	290	60
Anal	52	45	40	41.5	33	43.4	41.5	37.8	36.9	26.4
	33	33	30	33	18	33	33	30	33	18
Anal	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Рис. 6 Идентификация приведенных диаметров отводов

Модель системы водоснабжения полезна в процессе диспетчеризации водоснабжения в том случае, если обеспечивает персонал инструментом выбора эффективного режима подачи воды. Основным уравнением для определения объема подачи воды станцией является уравнение баланса напора генерируемого насосами и расходуемого на турбулентное течение в трубопроводах

$$fkr(p_{\max})^2 a + fkr(p_{\max}) b \cdot fq(kr) + c \cdot fq(kr)^2 = 0,0247 \frac{v^{0,25} q^{1,75}}{fd(q)^{4,75}} l + h_{aif} - h_{ia\pm},$$

где  $fd$ ,  $fq$ ,  $fkr$  – функции определения числа активных пользователей и приведенного диаметра трубопровода по объему подачи вода, распределения потоков по параллельным насосам с учетом частотного регулирования, расчета коэффициента регулирования по подаче насоса и пределу давления;

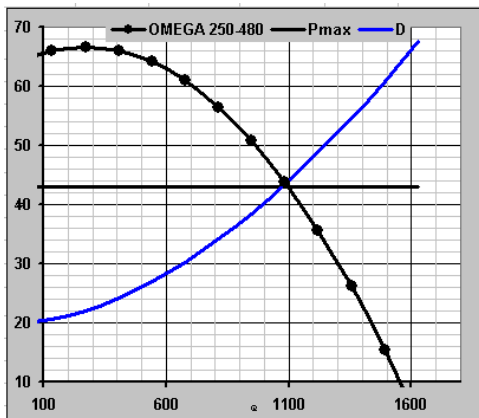


Рис. 7 Совмещение характеристик насоса и трубопровода при частотном регулировании

характеристики насоса.

Практическими инструментами управления являются задание числа насосов, работающих на станциях подачи воды, и пределы выходных давлений, устанавливаемые для систем частотного регулирования на станциях. Поскольку насосы переключаются довольно редко, то пределы давлений остаются наиболее применяемым средством диспетчеризации водоподдачи (рис. 7). Зачастую сетевые отводы от разных станций подачи воды пересекаются. Изменение предела давления на одной станции ведет к изменению коэффициента регулирования, с неизбежным изменением объема подаваемой воды. При неизменности объема потребляемой воды это

ведет к изменению числа активных пользователей (рис. 8) и объема подачи воды на станциях, сетевые отвода которых пересекаются с отводом станции измененного выходного давления. Изменение подач воды станциями ведет к изменению КПД насосов и общего коэффициента удельного расхода энергии  $A$ .

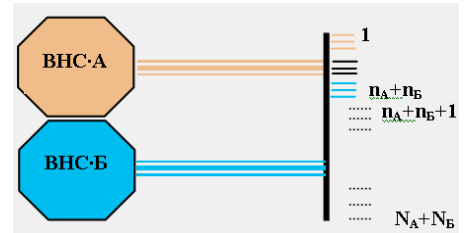


Рис. 8 Схема отводов для оптимизации

Время	Почасовой график работы насосов ВНС-II Гомельводоканала																		
	Сож				Ипать				Центральный										
N	чп	R <sub>max</sub>	N	кг/см²	м³/ч	кпд	чп	R <sub>max</sub>	N	кг/см²	м³/ч	кпд	чп	R <sub>max</sub>	N	кг/см²	м³/ч	кпд	
1	4	3.8	4.8%	3.8	1013	71.2%	3	3.8	3.2%	3.8	347	69.0%	1	3.5	7.2%	3.4	436	32.0%	
2	4	3.8	2.7%	3.8	986	70.7%	3	3.8	2.6%	3.7	282	61.1%	1	3.7	7.4%	3.6	499	30.9%	
3	4	3.8	2.2%	3.8	986	70.7%	3	3.8	2.1%	3.7	282	61.1%	1	3.8	7.2%	3.7	518	30.6%	
4	4	3.8	2.7%	3.8	986	70.7%	3	3.8	2.1%	3.7	282	61.1%	1	3.0	12.2%	3.0	520	29.5%	
5	4	3.8	4.4%	3.8	986	70.7%	3	3.8	2.5%	3.7	282	61.1%	1	4.2	7.0%	4.1	507	29.4%	
6	4	5	4.9	7.9%	4.8	2849	53.0%	3	4.0	2.7%	4.0	316	63.7%	1	4.2	7.0%	4.1	507	29.4%
7	4	5	5.3	10.2%	5.2	4012	55.4%	3	4.2	7.4%	4.2	910	80.3%	1	3.3	5.5%	3.2	293	31.6%
8	4	5	5.3	9.6%	5.2	3834	56.6%	3	4.2	7.5%	4.2	915	80.1%	1	3.3	6.1%	3.3	337	32.4%
9	4	5	5.3	9.0%	5.2	3589	57.7%	3	4.4	6.1%	4.3	787	82.8%	1	3.3	6.1%	3.3	337	32.4%
10	4	5	5.3	8.3%	5.2	3368	58.1%	3	4.4	5.4%	4.3	691	83.2%	1	3.3	6.2%	3.3	337	32.4%
11	4	5	5.1	7.6%	5.0	2907	55.0%	3	4.4	5.3%	4.3	687	83.1%	1	3.3	6.0%	3.3	335	32.4%
12	4	5	5.1	7.4%	5.0	2811	53.9%	3	4.4	4.9%	4.4	639	82.5%	1	3.3	6.7%	3.2	349	32.6%
13	4	5	5.1	7.4%	5.0	2820	53.9%	3	4.4	5.0%	4.3	644	82.6%	1	3.3	6.5%	3.2	347	32.6%
14	4	5	4.9	6.9%	4.8	2542	49.6%	3	4.4	5.0%	4.3	644	82.6%	1	3.3	6.9%	3.3	383	32.6%
15	4	5	4.7	6.4%	4.6	2138	41.0%	3	4.4	6.0%	4.3	762	83.1%	1	3.3	6.5%	3.2	347	32.6%
16	4	5	4.7	7.4%	4.5	2369	44.2%	3	4.4	6.3%	4.4	811	82.5%	1	3.3	7.2%	3.2	347	32.6%
17	4	5	4.7	8.0%	4.6	2618	48.5%	3	4.4	7.0%	4.3	902	80.7%	1	3.3	7.2%	3.3	402	32.5%
18	4	5	4.9	8.5%	4.8	3022	54.4%	3	4.4	7.1%	4.3	910	80.5%	1	3.3	6.7%	3.2	349	32.6%
19	4	5	4.9	9.3%	4.8	3301	55.9%	3	4.4	7.5%	4.3	958	79.2%	1	3.3	6.7%	3.2	366	32.7%
20	4	5	5.1	9.4%	5.0	3532	57.1%	3	4.4	7.6%	4.4	981	78.5%	1	3.3	7.4%	3.3	404	32.4%
21	4	5	5.1	10.8%	5.0	3964	55.3%	3	4.4	8.1%	4.3	1039	76.5%	1	3.3	4.5%	3.2	244	29.4%
22	4	5	5.1	9.7%	5.0	3647	57.0%	3	4.4	8.3%	4.3	1047	76.1%	1	3.1	6.7%	3.0	295	32.2%
23	4	5	5.1	7.4%	5.0	2820	53.9%	3	4.4	8.4%	4.3	1069	75.4%	1	4.1	4.4%	4.1	315	28.4%
24	4	5	4.9	5.8%	4.7	2115	41.7%	3	4.4	4.8%	4.4	625	82.1%	1	3.8	3.6%	3.8	265	28.8%

Второй режим				53.4%				76.2%				31.4%							
N	чп	R <sub>max</sub>	N	кг/см²	м³/ч	кпд	чп	R <sub>max</sub>	N	кг/см²	м³/ч	кпд	чп	R <sub>max</sub>	N	кг/см²	м³/ч	кпд	
1	4	3.8	4.8%	3.8	1013	71.2%	3	3.8	3.2%	3.8	347	69.0%	1	3.5	7.2%	3.4	436	32.0%	
2	4	3.8	2.7%	3.8	986	70.7%	3	3.8	2.6%	3.7	282	61.1%	1	3.7	7.4%	3.6	499	30.9%	
3	4	3.8	2.2%	3.8	986	70.7%	3	3.8	2.1%	3.7	282	61.1%	1	3.8	7.2%	3.7	518	30.6%	
4	4	3.8	2.7%	3.8	986	70.7%	3	3.8	2.1%	3.7	282	61.1%	1	3.0	12.2%	3.0	520	29.5%	
5	4	3.8	4.4%	3.8	986	70.7%	3	3.8	2.5%	3.7	282	61.1%	1	4.2	7.0%	4.1	507	29.4%	
6	4	5	4.7	7.8%	4.6	2561	47.7%	3	4.0	2.7%	4.0	316	63.7%	1	4.3	4.2%	4.3	362	31.1%
7	4	5	5.1	10.1%	5.0	3743	56.4%	3	4.2	7.4%	4.2	910	80.3%	1	4.3	5.9%	4.2	506	31.1%
8	4	5	5.1	9.6%	5.0	3599	56.9%	3	4.2	7.5%	4.2	915	80.1%	1	4.3	6.5%	4.2	560	30.1%
9	4	5	5.1	8.9%	5.0	3378	57.2%	3	4.4	6.1%	4.3	787	82.8%	1	4.3	6.6%	4.2	561	30.1%
10	4	5	5.1	8.2%	5.0	3138	56.5%	3	4.4	5.4%	4.3	691	83.2%	1	4.3	6.6%	4.2	562	30.0%
11	4	5	4.9	7.5%	4.8	2695	51.3%	3	4.4	5.3%	4.3	687	83.1%	1	4.3	6.4%	4.3	556	30.2%
12	4	5	4.9	7.3%	4.8	2657	50.9%	3	4.4	4.9%	4.3	639	82.5%	1	4.3	7.1%	4.2	599	29.1%
13	4	5	4.9	7.4%	4.8	2657	50.9%	3	4.4	5.0%	4.3	644	82.6%	1	4.3	7.0%	4.2	585	29.4%
14	4	5	4.7	6.9%	4.7	2197	42.7%	3	4.4	5.0%	4.3	644	82.6%	1	4.3	7.4%	4.2	617	29.6%
15	4	5	4.5	6.4%	4.5	2042	42.9%	3	4.4	6.0%	4.3	762	83.1%	1	4.3	7.0%	4.2	585	29.4%
16	4	5	4.5	7.3%	4.5	2185	40.8%	3	4.4	6.3%	4.4	811	82.5%	1	4.3	7.7%	4.3	669	27.4%
17	4	5	4.5	7.9%	4.4	2369	43.0%	3	4.4	7.0%	4.3	902	80.7%	1	4.3	7.7%	4.3	669	27.4%
18	4	5	4.7	8.4%	4.6	2715	49.5%	3	4.4	7.1%	4.3	910	80.5%	1	4.3	7.1%	4.2	599	29.1%
19	4	5	4.7	9.2%	4.6	3013	52.0%	3	4.4	7.5%	4.3	958	79.2%	1	4.3	7.4%	4.2	602	29.0%
20	4	5	4.9	9.3%	4.8	3301	55.9%	3	4.4	7.6%	4.4	981	78.5%	1	4.3	7.9%	4.2	673	27.2%
21	4	5	4.9	10.7%	4.8	3676	55.0%	3	4.4	8.1%	4.3	1039	76.5%	1	4.3	4.8%	4.2	404	31.7%
22	4	5	4.9	9.6%	4.8	3378	56.1%	3	4.4	8.3%	4.3	1047	76.1%	1	4.1	7.2%	4.1	383	29.2%
23	4	5	4.9	7.4%	4.8	2657	50.9%	3	4.4	8.4%	4.3	1069	75.4%	1	4.1	4.7%	4.1	383	31.7%
24	4	5	4.9	5.8%	4.7	2115	41.7%	3	4.4	4.8%	4.4	625	82.1%	1	3.8	3.6%	3.8	265	28.8%

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ				51.0%				76.2%				29.7%			
Месяц	4	м³/сут	A	м³/сут	A	м³/сут	A	м³/сут	A	м³/сут	A	м³/сут	A		
R <sub>1</sub>	13.069	25879	108267	239	16011	145	8788	206	16011	145	12897	368	66.1%		
R <sub>2</sub>	13.703	27134	108190	251	100.0%	100.0%	66.1%	77.6%							
%	80%	505	95.4%	100.1%	95.3%										

Рис. 9 Результаты оптимизации городского водоснабжения на модели СИТИГИДРО с применением частотного регулирования по уставкам выходного давления

Поэтому искусство диспетчеризации водоснабжения воспитывается у персонала довольно долго. Установление связи изменения объема водоподдачи на станции с измененным пределом давления и на смежных станциях осуществляется через число активных пользователей.

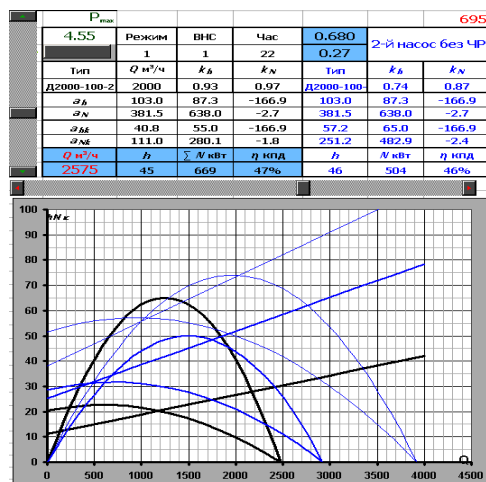


Рис. 10 Калькулятор распределения потоков

Для анализа параллельной работы насосов предложен специальный калькулятор (рис. 10), отражающий взаимодействие насоса с частотным регулированием и насоса без

На рис. 9 приведены результаты оптимизирующего воздействия на модели СИТИГИДРО для КПУП «Гомельводоканал». Второй режим является результатом идентификации по данным за 20.04.2011 г. Первый режим отражает воздействие в виде увеличения уставок регулирования на ВНС «Сож» и их снижения на ВНС «Центральный». В результате при росте объема подачи воды по городу на 0,1% потребление энергии снизилось на 4,7%, что подтверждается ростом среднесуточного КПД насос на обеих станциях. Цветом выделены отклонения КПД от среднесуточного и нерациональное использование параллельных насосов, при котором весь поток проходит через один насос. ВНС «Ипать» с высоким КПД введена в строй в январе 2011 г.

регулирования. Приводятся фактические характеристики насосов, коэффициент регулирования первого насоса, его доля подачи воды, потребляемая энергия и КПД системы. Пользователь может менять уставки регулирования и объем подачи воды.

**Вопросы верификации** разработанных 0-D моделей ДИНАС, СИТИГИДРО, ДИ-МОНТ [4,6] (моделирование стационарных и переходных процессов в нефтепроводах для прогнозирования производительности, энергоэффективности, безопасности, а также идентификации параметров основного оборудования на рис. 11) и БИОДИС [5,8] (моделирование сердечно-сосудистой системы человека для оценки параметров, ранее определяемых только лабораторно на рис. 12) решались сопоставлением фактических параметров и модельных результатов.

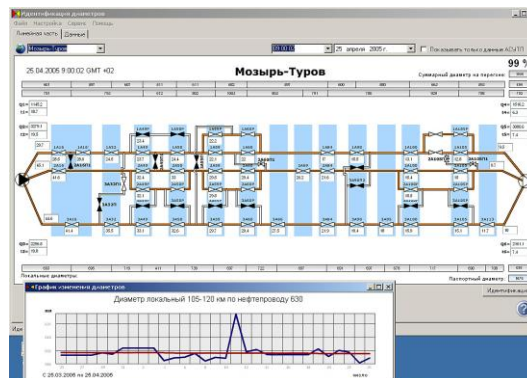
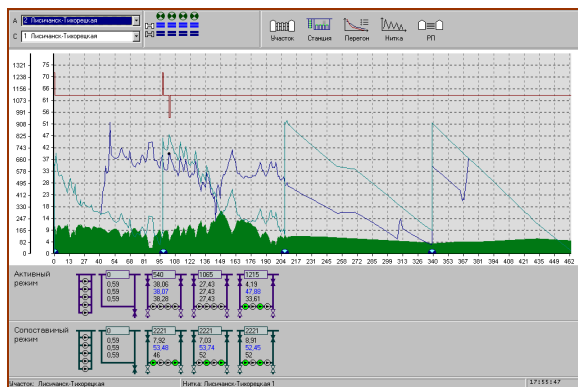


Рис. 11 Результаты моделирования и идентификации трубопроводов программой ДИМОНТ

Для идентификации и верификации программы СИТИГИДРО важными параметрами являются давление, объем подачи воды, уровень взлива в резервуарах, частота тока и токовая нагрузка насосов. Последний параметр не является критическим и регистрируется индикаторами, являющимися основными источниками погрешностей.

БИОДИС БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ			
Фактические данные		Отношение к норме	Норма
Дата	04.01.2011		
Номер карты	1248		
Год рождения	1975		
Возраст	36		
Пол	0		
Рост	180		
Вес	126	3	90
Уровень физической нагрузки (кДж)	10		
ЧСС (уд/мин)	77	7	60
Р <sub>систо</sub> (мм рт.ст.)	140	8	140-110
Р <sub>диасто</sub> (мм рт.ст.)	91	8	90-70
Расчетные параметры		Общая оц.	
Минутный объем крови (л)	16.9	6	9.0
Систольный объем (л)	0.219	10	0.14
Скорость крови (см/с)	5.8	9	5
Содержание гемоглобина (g/l)	146	9	150
Параметр кислотности pH	7.46	5	7.37
Относительный уровень стресса	1.00	10	1
Скорость пульсовой волны (см/с)	449	14	670
Сжатие (расширение) сосудов (d <sub>с</sub> / d <sub>р</sub> )	1.00	10	1
Систольная дилатация сосудов (d <sub>с</sub> / d <sub>р</sub> )	1.25	14	1.16

Рис. 12 Результаты биомеханической диагностики состояния сердечно-сосудистой системы программой БИОДИС для пациента и специалиста

Оценка	Значение	Имя
3	5.86	Адапт. потенциал ССС Баяевского
8	93	Индекс Робинсона
15	194	Коэффициент резерва
10	14.8	Ауторегуляторный дифф. кислорода
9	3416	Коэфф. эластичности артерий
13	11	Коэффициент эластичности
3	-59.0	Индекс Кердо
5	49.2	Сопротивление периферическое
12	70	Ударный индекс
3	4.3	Сердечный индекс
7	56	Давление пульсовое
6	1.15	Давление средне-диастолическое
5	8.3	Минутный объем крови
10	5.4	Вязкость крови
7	133	Содержание гемоглобина
10	7.37	Параметр кислотности
10	1.00	Относительный уровень стресса
9	1007	Скорость пульсовой волны
14	1.074	Сжатие (расширение) сосудов
5	1.057	Дилатация сосудов
10	61	Частота сердечных сокращений
7	153	Давление систолическое
7	97	Давление диастолическое
	61	Возраст
	0	Пол
	1.70	Рост
	84	Вес
8.0		Кузьминский ЮГ

## Выводы.

Гидродинамическое безразмерное моделирование систем трубопроводного транспорта является практическим инструментом решения прикладных задач биомеханики кровообращения, энергоэффективности и безопасности нефтеперекачки и водоснабжения.

Основными инструментами повышения энергоэффективности систем городского водоснабжения являются:

1. Создание систем автоматического управления пределами выходных давлений на станциях подачи воды с целью обеспечения соответствия объема подачи воды на-

сосами реальных и номинальных с учетом применяемого частотного регулирования.

## 2. Создание технологии контроля состояния и замены щелевых уплотнений насосов.

Применение математических моделей в контуре идентификации состояния оборудования и диспетчеризации городского водоснабжения значительно снизит трудоемкость соответствующих процессов.

### Список литературы:

1. Эгильский И. С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами подачи и распределения воды. Л.: Стройиздат. - 1988
2. Костышин В.С. Моделирование режимов работы центробежных насосов на основе электрогидравлической аналогии. Ивано-Франковск. - 2000
3. Ахмадуллин К.Р. Автореф. диссерт. доктора техн. наук «Энергосберегающие технологии трубопроводного транспорта нефтепродуктов». Уфа. – 2005. – С. 46
4. Кузьминский Ю.Г., Шилько С.В., Вьюн В.И. Расчет гидравлических характеристик путем идентификации моделей насосных агрегатов и перекачивающих станций магистральных нефтепроводов // Механика машин, механизмов и материалов. – 2008. – № 2. – С. 58-63.
5. Шилько С.В., Кузьминский Ю.Г. Моделирование гидродинамического трения: аналогия системы кровообращения и трубопроводного транспорта нефти // Совр. информ. и телемед. технол. для здравоохранения (АІТТН'2008): Матер. 2 Междун. конф. ОИПИ.– Минск.– 1-3 окт. 2008 г. – С. 338–343.
6. Кузьминский Ю.Г., Шилько С.В. Математическая модель технологического процесса трубопроводного транспорта нефти // Информатика. – 2009. – № 1. – С.25-34.
7. Николаев В. Г. Автореф. диссерт. доктора техн. наук “Энергосберегающие методы управления режимами работы насосных установок систем водоснабжения и водоотведения” М.: - 2010 - С. 48
8. Кузьминский Ю.Г., Шилько С.В. Свидетельство №166 от 05.05.2010 о регистрации компьютерной программы БИОДИС V2.2 // Заявка С20100043 от 23.04.2010 // Реестр зарег. комп. программ / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. Минск. – 2010.
9. Кузьминский Ю.Г., Шилько С.В. Свидетельство №254 от 16.11.2010 о регистрации компьютерной программы ДИНАС V1.0 // Заявка С20100116 от 24.09.2010 // Реестр зарег. комп. программ / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. Минск. – 2010.