

**Раздел РР.
Технико-экономическое
обоснование**

1. Введение

Постоянный рост цен на энергоносители привел к тому, что доля затрат на них в суммарных расходах водоканалов стала несоразмерно большой, в результате чего на первый план вышла задача энергосбережения. Анализ расхода энергоресурсов показывает, что решение этой задачи имеет два направления – организационно-технические мероприятия и внедрение энергосберегающего оборудования. Наибольший экономический эффект, как правило, имеет именно последнее.

В составе насосной станции 3-го подъема 6-го водозаборного узла в районе д. 79 «Д» по ул. Рылеева работают пять насосных агрегатов, оснащенных высоковольтными (Уном=6 кВ) асинхронными электродвигателями (АД) с короткозамкнутым ротором (КЗР), четыре – типа 1Д1600-90а и один типа 1Д800-57. Электроприводы данных насосов являются нерегулируемыми, что не позволяет обеспечить режим рационального энергопотребления при изменении расхода воды в широких пределах. Выбранные в свое время по критерию максимальной производительности, эти механизмы значительную часть времени работают с меньшей нагрузкой (15-80%), что определяется изменением потребности в воде в разные периоды времени. Кроме того, указанные агрегаты, оснащенные нерегулируемым электроприводом, не обеспечивают заметного снижения потребляемой мощности при уменьшении расхода, а также обуславливают существенный рост давления (напора) в системе, что приводит к утечкам воды и неблагоприятно сказывается на работе технологического оборудования и сетей водоснабжения. В ряде источников утверждается, что при существующих средствах водораспределения каждый метр избыточного напора увеличивает утечки воды на 0,7-0,9 %.

В связи с вышесказанным, с целью энерго- и ресурсосбережения предлагается на части агрегатов насосной станции 3-го подъема 6-го водозаборного узла в районе д. 79 «Д» по ул. Рылеева установить регулируемые электроприводы на основе АД с КЗР, оснащенных частотными преобразователями. Это позволит осуществлять оптимальное управление данными АД и оптимизировать работу технологического оборудования.

Цель предложения:

Экономия материальных средств и снижение энергозатрат в коммунальном хозяйстве.

Регулирование режимов работы электродвигателей позволит:

- обеспечить экономию электроэнергии;
- снизить расход воды;
- существенно снизить затраты на текущее обслуживание;
- значительно увеличить ресурс электродвигателей.

Экономия электроэнергии (до 50 % и более) обеспечивается за счет:

- существенного уменьшения потребляемой электродвигателем средней мощности при обеспечении в автоматическом режиме необходимого давления независимо от текущего расхода воды потребителями.

Регулирование производительности насосного агрегата посредством изменения частоты вращения электродвигателя позволяет снять избыточный напор воды в трубопроводе, отказавшись от дроссельного регулирования сечений трубопроводов, снизив при этом потери на преодоление противодавления.

Снижение расхода воды (до 5 %) обеспечивается за счет:

- уменьшения необходимого напора насосного агрегата при уменьшении расхода воды.

Снижение утечек воды (до 20 %) обеспечивается за счет:

- уменьшения утечек, порывов и аварийных ситуаций из-за отсутствия гидроударов при пуске насосных агрегатов, поддержания постоянного давления в трубопроводной системе, щадящего воздействия на стенки труб и запорную арматуру.

Снижение затрат на текущее обслуживание техники и трубопровода обеспечивается за счет:

- уменьшения износа основных узлов электродвигателей и насосов из-за меньших механических нагрузок;
- уменьшения износа коммутационной аппаратуры из-за меньшего числа переключений, малых токов коммутации;
- уменьшения количества аварий на линии трубопровода из-за исключения гидравлических ударов и повышенного давления;
- работы насосного оборудования в автоматическом режиме, вследствие чего – содержание меньшего количества оперативно-дежурного персонала.

Увеличение ресурса электродвигателя (в 1,5-2 раза) обеспечивается за счет:

- существенного уменьшения средней частоты вращения, что позволяет значительно повысить ресурс работы подшипников;
- обеспечения частотным преобразователем “мягкого” пуска электродвигателя, так как пусковые токи не превышают рабочих;
- повышения эффективности защиты электродвигателя от перегрузки, обрыва фазы, от пониженного (повышенного) напряжения, от работы при неисправном насосе и запорной арматуре.

Способы достижения цели.

Технически возможны несколько концепций реализации намеченной цели, существенно отличающихся друг от друга:

1. Использование cell-based (на ячейках, с многообмоточным трансформатором) высоковольтного преобразователя частоты непосредственно на части существующих агрегатов с применением каскадной схемы их подключения. Примером такого оборудования могут служить ПЧ в основном зарубежного производства – Siemens SINAMICS GH150/GH180, Schneider Electric ATV1200, ABB ACS2000 и т.д. В РФ высоковольтные преобразователи частоты производятся например, компанией "Л-Старт" (серия ВПЧА).

ВПЧ отличаются высокой надежностью и КПД во всем диапазоне скоростей и нагрузок (до 96-98%), значительными гарантийными сроками (до 40 месяцев и более). Установка производится специалистами представительства производителя, что исключает ошибки при монтаже и гарантирует оптимальную настройку. Не требуют установки дополнительного оборудования, однако требуют сооружения пристройки к зданию насосной станции (ввиду значительных габаритных размеров – $\approx 4800 \times 1000$ мм) и системы

вентиляции для охлаждения ячеек с полупроводниковыми ключами. Из недостатков следует отметить высокую стоимость (15-18 млн. рублей и выше).

Дополнительно поставляется автоматическая станция повышения давления WIL0 стоимостью 500 тыс. руб.

Стоимость СМР, ПНР – до 2 млн. руб. (устройство фундамента, прокладка кабельных линий 6 кВ, ПНР).

2. Использование высоковольтного преобразователя частоты по двухтрансформаторной схеме непосредственно на части существующих агрегатов. Такие ПЧ производятся, в том числе, отечественными производителями (ООО «Волгопромавтоматика», ЗАО «Электромаш»). Стоимость их (с трансформаторами) начинается от 3,9-4 млн. рублей (наиболее дешевый вариант ПЧ на отечественном оборудовании, наружного исполнения, в антивандальном контейнере, с синусным фильтром и трансформаторами 1000 + 2х400 кВА). Подобное решение характеризуется примерно на 10-15% большими потерями по сравнению с ПЧ, рассматриваемыми в п. 1, за счет двойного преобразования напряжения (6/0,4 кВ и 0,4/6 кВ), а также дополнительных потерь в синусном фильтре, трансформаторах, низковольтном звене с ПЧ. Также в состав входит система кондиционирования, расходующая дополнительно до 5% электроэнергии.

Монтаж данных преобразователей сравним по стоимости с установкой трансформаторной подстанции, потребует сооружения фундамента (430000 – фундамент из блоков ФБС с работой, 142500 – работа по установке ВПЧ, 410000 – ПНР, 172500 – КЛ-6 кВ с материалом, итого порядка 1155 тыс. рублей). Дополнительно поставляется автоматическая станция повышения давления WIL0 стоимостью 500 тыс. руб.

3. Замена части существующих насосных агрегатов на низковольтные, укомплектованные индивидуальными частотными электроприводами. Данное решение проверено временем, отличается достаточной надежностью и широким ассортиментом возможного к использованию оборудования, однако потребует установки двух однострансформаторных КТП 6/0,4 кВ 630 кВА, прокладки кабельных линий 6 кВ и 0,4 кВ, а также устройства электрощитовой в здании насосной станции. Примерная стоимость всех работ – 5,780 млн. руб. с НДС.

Стоимость преобразователей – от 690715 с НДС за штуку (наиболее простой ПЧ ВЕСПЕР насосной серии без ЭМИ-фильтра) до 2193590 с НДС за штуку (SE Altivar в шкафу, в комплекте с дросселем звена постоянного тока, автоматическими выключателями и обвязкой). Хорошие варианты – насосные ПЧ Fuji Electric FRENIC Eco 315 kW за 1860352 руб.; Danfoss AQUA Drive 315 kW за 1311126 руб., отличающиеся высоким качеством и сроками наработки на отказ в десятки лет.

Стоимость насосных агрегатов 1Д1250-63 – 1252747 руб. за шт. с НДС.

Стоимость насосных агрегатов DeLium D250-510A/460 – 2161878 руб. за шт. с НДС.

Стоимость насосных агрегатов Wilo SCP250/450HAC-315/4-T4-C0/P0 – 1737904 руб. за шт. с НДС.

Дополнительно поставляется автоматическая станция повышения давления WIL0 стоимостью 500 тыс. руб.

Итого, суммарные капитальные затраты на концепцию составят 10,29-17,62 млн. рублей.

4. То же, что и концепция 3, но с использованием каскадной схемы управления. Позволяет отказаться от одного ПЧ, однако потребует сооружения сложной электрощитовой с установкой в ней дополнительных электрощитов с контакторами. Надежность, естественно, ниже, чем в концепции 3 на 50% (за счет использования релейно-контакторной схемы управления, а также наличия только одного ПЧ). Кроме того, концепция 4 сильно проигрывает в качестве регулирования, имеет более высокие потери, есть вероятность гидроудара при выходе из строя ПЧ или его АСУ. Затраты же сопоставимы с концепцией 3. Поэтому данную концепцию не рассматриваем.

2. Расчет ожидаемой экономии ресурсов.

2.1. Текущая ситуация.

На основании исходных данных о среднесуточной загрузке насосной станции, заполняем таблицу энергоэффективности:

Часы суток	Расход средний, м3/час	Работающий агрегат	КПД насоса из характеристики	Напор до задв., м	Напор после задв., м	Мощность насоса, кВт
0:00	1090	1Д-1600-90а	78	80,4	30	306,16
1:00	890	1Д-800-56	78	53,8	26	167,28
2:00	770	1Д-800-56	81	56,5	24	146,36
3:00	710	1Д-800-56	81	58,1	22	138,78
4:00	690	1Д-800-56	80	59,2	22	139,14
5:00	810	1Д-800-56	81	55,5	26	151,24
6:00	1020	1Д-1600-90а	74	81,8	28	307,25
7:00	1380	1Д-1600-90а	84	76,2	31	341,13
8:00	1640	1Д-1600-90а	81	70	33	386,21
9:00	1770	1Д-1600-90а	80	66,4	33	400,33
10:00	1810	1Д-1600-90а	78	65,3	33	412,92
11:00	1700	1Д-1600-90а	80	69,5	31	402,45
12:00	1680	1Д-1600-90а	80,5	69,8	31	396,95
13:00	1630	1Д-1600-90а	82	70	31	379,17
14:00	1620	1Д-1600-90а	82	70	33	376,85
15:00	1600	1Д-1600-90а	82	71	33	377,51
16:00	1640	1Д-1600-90а	81	70	33	386,21
17:00	1700	1Д-1600-90а	80	69,5	33	402,45
18:00	1650	1Д-1600-90а	81	69,8	33	387,45
19:00	1710	1Д-1600-90а	80	69,4	35	404,23
20:00	1900	1Д-1600-90а	75	63	35	434,91
21:00	1960	1Д-1600-90а	70	60,5	36	461,62
22:00	1650	1Д-1600-90а	81	69,8	33	387,45
23:00	1340	1Д-1600-90а	83	77,1	30	339,19

Загрузка АД	КПД АД	Потребляемая АД мощность, кВт	cosφ АД	Ток АД, А	Потери в подв. кабеле, кВт	Потребление + потери, кВт	Часовой расход эл. энергии, кВт*ч
0,77	95,2	321,60	0,85	36,41	0,20	321,80	321,80
0,84	92,3	181,24	0,85	20,52	0,06	181,30	181,30
0,73	92,6	158,06	0,84	18,11	0,05	158,10	158,10
0,69	92,6	149,87	0,84	17,17	0,04	149,91	149,91
0,70	92,6	150,26	0,84	17,21	0,04	150,30	150,30
0,76	92,6	163,32	0,84	18,71	0,05	163,38	163,38
0,77	95,2	322,74	0,85	36,54	0,20	322,94	322,94

0,85	94,9	359,46	0,86	40,22	0,24	359,71	359,71
0,97	94,3	409,55	0,87	45,30	0,31	409,86	409,86
1,00	94,3	424,53	0,87	46,96	0,33	424,86	424,86
1,03	94,2	438,34	0,87	48,48	0,35	438,69	438,69
1,01	94,3	426,77	0,87	47,20	0,33	427,11	427,11
0,99	94,3	420,94	0,87	46,56	0,33	421,27	421,27
0,95	94,5	401,24	0,87	44,38	0,30	401,54	401,54
0,94	94,5	398,78	0,87	44,11	0,29	399,07	399,07
0,94	94,5	399,48	0,87	44,19	0,29	399,78	399,78
0,97	94,4	409,12	0,87	45,25	0,31	409,43	409,43
1,01	94,3	426,77	0,87	47,20	0,33	427,11	427,11
0,97	94,4	410,44	0,87	45,40	0,31	410,75	410,75
1,01	94,3	428,67	0,87	47,41	0,34	429,00	429,00
1,09	93,9	463,16	0,87	51,23	0,39	463,56	463,56
1,15	93,5	493,71	0,86	55,24	0,46	494,16	494,16
0,97	94,4	410,44	0,87	45,40	0,31	410,75	410,75
0,85	94,9	357,42	0,87	39,53	0,23	357,66	357,66
						Сутки:	8532,04

2.2. Использование частотного регулирования на существующих агрегатах (ВПЧ с многообмоточным трансформатором).

Применяя законы пропорциональности, полагаем, что при регулировании частоты вращения вала насоса на величину не более 50% величины объемного и гидравлического КПД агрегатов остаются постоянными, потери на трение, определяющие механический КПД, принимаем пропорциональными частоте вращения и моменту трения.

Также, находим гидравлическую характеристику сети из предоставленных исходных данных $H=H_c+SQ^2$. Для нахождения составляем программу xmsd.

Q :=	660	$H :=$	26
	690		22
	700		24
	710		22
	770		24
	810		26
	890		26
	1020		28
	1090		30
	1340		30
	1380		31
	1600		33
	1620		31
	1630		31
	1640		33
	1640		33

1650	33
1650	33
1680	31
1700	31
1700	33
1710	35
1770	33
1810	33
1900	35
1960	36
1960	42
2260	49

$$q := \vec{Q}$$

$$h := \vec{H}$$

corr(q, h) = 0.89761 - коэффициент
корреляции

ORIGIN := 1

$$Fqh(q, k) := q^2 \cdot k_1 + k_2$$

$$VFqh := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$VX := q$$

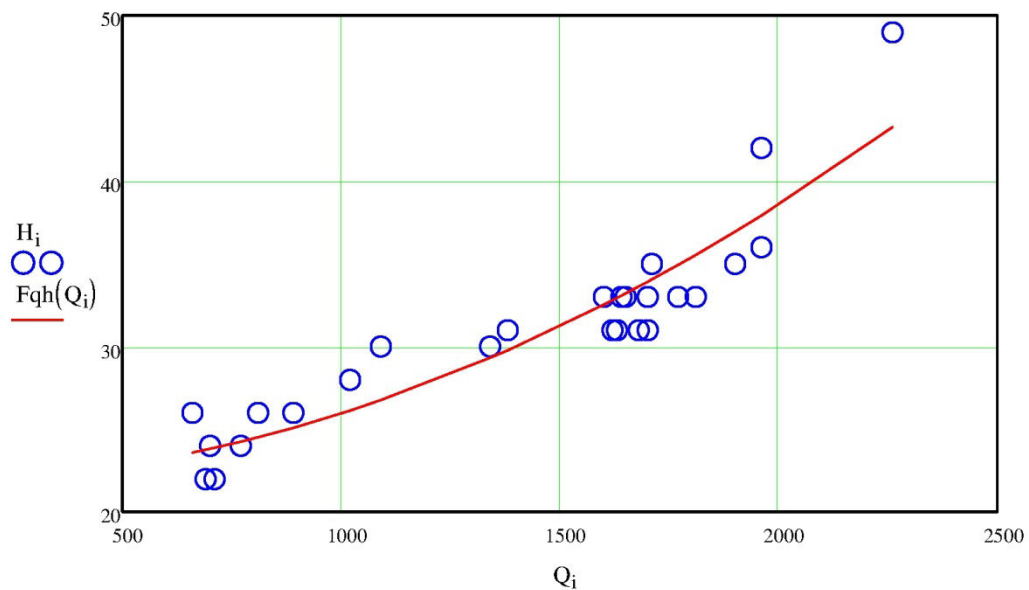
$$VY := h$$

$$k := \text{genfit}(VX, VY, VFqh, Fqh)$$

$$k = \begin{pmatrix} 4.20752 \times 10^{-6} \\ 21.76582 \end{pmatrix}$$

$$Fqh(q) := q^2 \cdot k_1 + k_2$$

$$i := 0..64$$



Таким образом, $H_c=21,77$ м, $S=4,21 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^2/\text{м}^6$, среднеквадратичное отклонение напора 2,07. Уравнение гидравлической характеристики: $H=21,77 + 4,21 \cdot 10^{-6} \cdot Q^2$.

Управление производим по напору (ПИД-регулирование), который должен быть в любой момент времени несколько выше определяемого из гидравлической характеристики. Для этого на напорном трубопроводе устанавливаем датчик давления IP65 0-10 бар, работающий по протоколу «4-20 мА».

Отсюда заполняем таблицу энергоэффективности:

Часы суток	Расход по расходомеру, м3/час	Кол-во агрегатов рег.	Расход агрегата, м3/час	Напор из хранилища сети, не менее, м	Напор в задатчике АСУ ПЧ (расчетный), м	Частота вращения, об/мин	КПД	Мощность каждого насоса, кВт
0:00	1090	1	1090	26,8	27	905	78	102,82
1:00	890	1	890	25,1	26	870	82	76,90
2:00	770	1	770	24,3	25	835	82	63,97
3:00	710	1	710	23,9	24	800	82	56,63
4:00	690	1	690	23,8	24	800	82	55,03
5:00	810	1	810	24,5	25	850	82	67,29
6:00	1020	1	1020	26,2	27	895	78	96,21
7:00	1380	2	690	29,8	30	905	78	72,32
8:00	1640	2	820	33,1	34	950	82	92,65
9:00	1770	2	885	35,0	35	965	82	102,94
10:00	1810	2	905	35,6	36	985	82	108,27
11:00	1700	2	850	33,9	34	965	82	96,04
12:00	1680	2	840	33,7	34	955	82	94,91
13:00	1630	2	815	33,0	33	950	82	89,38
14:00	1620	2	810	32,8	33	950	82	88,83
15:00	1600	2	800	32,5	33	930	82	87,73
16:00	1640	2	820	33,1	34	950	82	92,65
17:00	1700	2	850	33,9	34	950	82	96,04
18:00	1650	2	825	33,2	34	950	82	93,21
19:00	1710	2	855	34,1	35	965	82	99,45
20:00	1900	2	950	37,0	37	990	82	116,81
21:00	1960	2	980	37,9	38	1010	82	123,75
22:00	1650	2	825	33,2	34	950	82	93,21
23:00	1340	2	670	29,3	30	895	78	70,22

Загрузка АД	КПД АД	Потребляемая АД мощность, кВт	Потери в ВПЧ, кВт	cosφ ПЧ (с APFC)	Ток ПЧ, А	Потери в подв. кабеле, кВт	Потребление + потери всех АД, кВт	Часовой расход эл. энергии, кВт*ч
0,26	89,6	114,75	4,59	0,98	11,72	0,02	114,77	114,77
0,19	88,1	87,29	3,49	0,98	8,91	0,01	87,30	87,30

0,16	87,2	73,36	2,93	0,98	7,49	0,01	73,37	73,37
0,14	86,6	65,39	2,62	0,98	6,68	0,01	65,40	65,40
0,14	86,6	63,55	2,54	0,98	6,49	0,01	63,55	63,55
0,17	87,5	76,91	3,08	0,98	7,85	0,01	76,92	76,92
0,24	89,4	107,62	4,30	0,98	10,99	0,02	107,64	107,64
0,18	88,2	81,99	3,28	0,98	8,37	0,01	164,01	164,01
0,23	88,9	104,22	4,17	0,98	10,64	0,02	208,47	208,47
0,26	89,6	114,88	4,60	0,98	11,73	0,02	229,81	229,81
0,27	89,8	120,57	4,82	0,98	12,31	0,02	241,18	241,18
0,24	89,4	107,43	4,30	0,98	10,97	0,02	214,89	214,89
0,24	89,2	106,40	4,26	0,98	10,87	0,02	212,84	212,84
0,22	88,9	100,54	4,02	0,98	10,27	0,02	201,10	201,10
0,22	88,9	99,92	4,00	0,98	10,20	0,02	199,87	199,87
0,22	88,7	98,91	3,96	0,98	10,10	0,02	197,85	197,85
0,23	88,9	104,22	4,17	0,98	10,64	0,02	208,47	208,47
0,24	89,2	107,67	4,31	0,98	10,99	0,02	215,37	215,37
0,23	89,2	104,50	4,18	0,98	10,67	0,02	209,04	209,04
0,25	89,4	111,24	4,45	0,98	11,36	0,02	222,51	222,51
0,29	90,5	129,07	5,16	0,98	13,18	0,03	258,19	258,19
0,31	90,8	136,29	5,45	0,98	13,92	0,03	272,65	272,65
0,23	89,2	104,50	4,18	0,98	10,67	0,02	209,04	209,04
0,18	88,2	79,62	3,18	0,98	8,13	0,01	159,25	159,25
							Сутки:	4213,47

Коэффициент эффективности для данного способа регулирования: 2,025 примерно равен указанному в техзадании 2,095 (можно снизить энергопотребление до 1647,4 тыс. кВт*ч/год.

2.3. Использование частотного регулирования на существующих агрегатах (ВПЧ по двухтрансформаторной схеме с промежуточным низковольтным звеном).

Заполняем таблицу энергоэффективности:

Часы суток	Расход по расходомеру, м3/час	Кол-во агрегатов рег.	Расход агрегата, м3/час	Напор из хар-ки сети, не менее, м	Напор в задатчике АСУ ПЧ (расчетный), м	Частота вращения, об/мин	КПД
0:00	1090	1	1090	26,8	27	905	78
1:00	890	1	890	25,1	26	870	82
2:00	770	1	770	24,3	25	835	82
3:00	710	1	710	23,9	24	800	82
4:00	690	1	690	23,8	24	800	82
5:00	810	1	810	24,5	25	850	82
6:00	1020	1	1020	26,2	27	895	78
7:00	1380	2	690	29,8	30	905	78
8:00	1640	2	820	33,1	34	950	82

9:00	1770	2	885	35,0	35	965	82
10:00	1810	2	905	35,6	36	985	82
11:00	1700	2	850	33,9	34	965	82
12:00	1680	2	840	33,7	34	955	82
13:00	1630	2	815	33,0	33	950	82
14:00	1620	2	810	32,8	33	950	82
15:00	1600	2	800	32,5	33	930	82
16:00	1640	2	820	33,1	33	950	82
17:00	1700	2	850	33,9	34	950	82
18:00	1650	2	825	33,2	34	950	82
19:00	1710	2	855	34,1	35	965	82
20:00	1900	2	950	37,0	37	990	82
21:00	1960	2	980	37,9	38	1010	82
22:00	1650	2	825	33,2	34	950	82
23:00	1340	2	670	29,3	30	895	78

Мощность каждого насоса, кВт	Загрузка АД	КПД АД	cosφ АД	Потребляемая АД мощность, кВт	Потери в выходных трансформаторах ВПЧ, кВт	Потери в ПЧ и синусном фильтре	Потери на теплоотвод и U/F, кВт
102,82	0,26	89,6	0,57	114,75	2,53	4,69	12,20
76,90	0,19	88,1	0,73	87,29	1,45	3,55	9,23
63,97	0,16	87,2	0,63	73,36	1,43	2,99	7,78
56,63	0,14	86,6	0,63	65,39	1,31	2,67	6,94
55,03	0,14	86,6	0,63	63,55	1,29	2,59	6,74
67,29	0,17	87,5	0,67	76,91	1,41	3,13	8,15
96,21	0,24	89,4	0,57	107,62	2,33	4,40	11,44
72,32	0,18	88,2	0,48	81,99	4,19	6,89	18,62
92,65	0,23	88,9	0,52	104,22	5,09	8,74	23,61
102,94	0,26	89,6	0,57	114,88	5,07	9,60	25,91
108,27	0,27	89,8	0,58	120,57	5,28	10,07	27,18
96,04	0,24	89,4	0,57	107,43	4,66	8,97	24,21
94,91	0,24	89,2	0,54	106,40	4,95	8,91	24,05
89,38	0,22	88,9	0,52	100,54	4,85	8,43	22,76
88,83	0,22	88,9	0,52	99,92	4,81	8,38	22,62
87,73	0,22	88,7	0,51	98,91	4,89	8,30	22,42
89,93	0,22	88,9	0,52	101,15	4,89	8,48	22,91
96,04	0,24	89,2	0,54	107,67	5,03	9,02	24,34
93,21	0,23	89,2	0,54	104,50	4,84	8,75	23,62
99,45	0,25	89,4	0,56	111,24	4,99	9,30	25,11
116,81	0,29	90,5	0,61	129,07	5,35	10,75	29,03
123,75	0,31	90,8	0,63	136,29	5,49	11,34	30,63
93,21	0,23	89,2	0,54	104,50	4,84	8,75	23,62
70,22	0,18	88,2	0,48	79,62	4,05	6,69	18,07

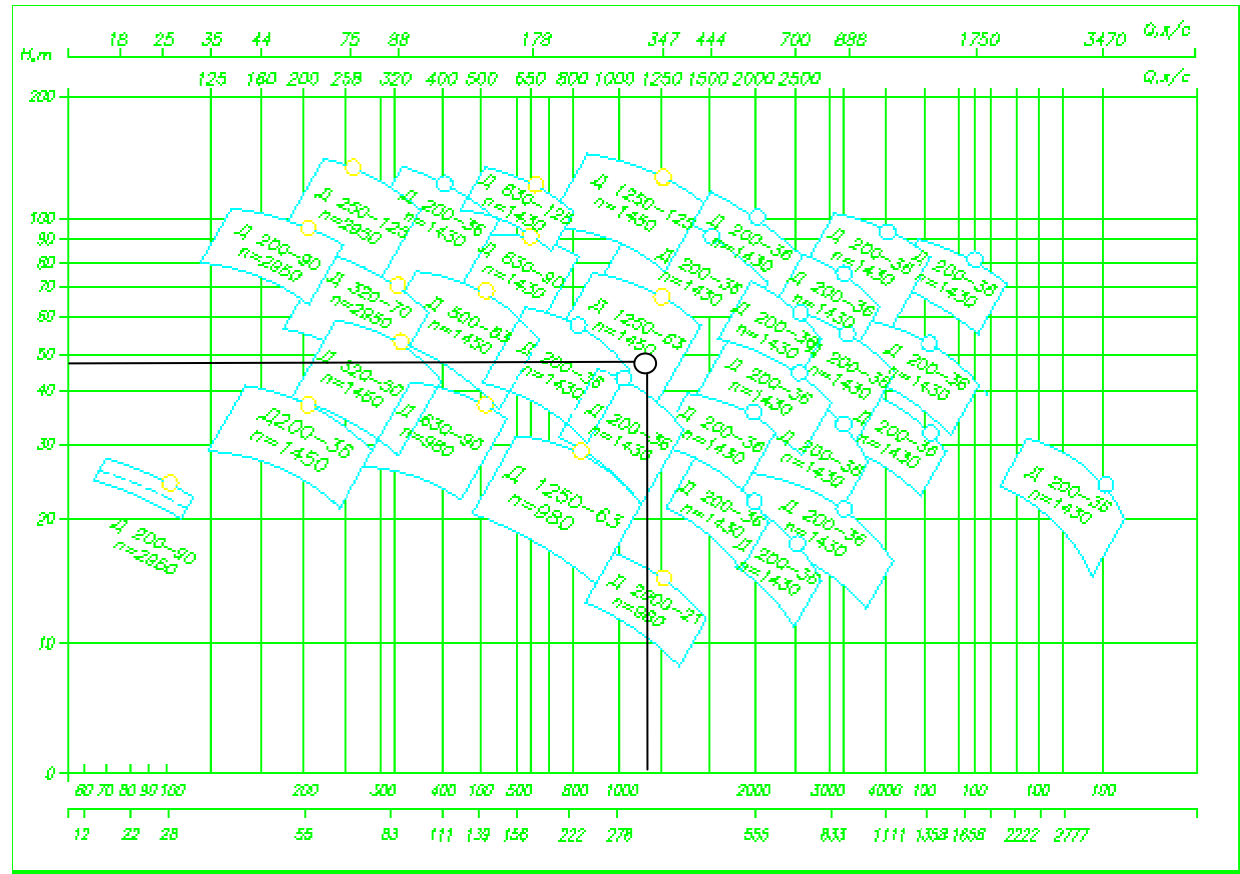
Потери во входном трансформаторе ВПЧ, кВт	cosφ ПЧ	Ток ПЧ, А	Потери в подв. кабеле, кВт	Потребление + потери, кВт	Часовой расход эл. энергии, кВт*ч
1,55	0,88	14,84	0,06	135,78	135,78
1,49	0,88	11,26	0,03	103,03	103,03
1,46	0,88	9,52	0,02	87,05	87,05
1,45	0,88	8,50	0,02	77,78	77,78
1,45	0,88	8,27	0,02	75,63	75,63
1,47	0,88	9,96	0,03	91,09	91,09
1,53	0,88	13,92	0,05	127,37	127,37
1,75	0,88	22,58	0,13	206,65	206,65
1,96	0,88	28,61	0,21	261,89	261,89
2,08	0,88	31,39	0,26	287,35	287,35
2,15	0,88	32,93	0,28	301,43	301,43
1,99	0,88	29,34	0,22	268,53	268,53
1,99	0,88	29,15	0,13	266,69	266,69
1,92	0,88	27,59	0,12	252,44	252,44
1,92	0,88	27,42	0,12	250,88	250,88
1,91	0,88	27,18	0,11	248,64	248,64
1,93	0,88	27,76	0,12	254,01	254,01
2,00	0,88	29,50	0,14	269,91	269,91
1,96	0,88	28,62	0,13	261,88	261,88
2,04	0,88	30,42	0,14	278,34	278,34
2,25	0,88	35,17	0,19	321,83	321,83
2,35	0,88	37,09	0,21	339,44	339,44
1,96	0,88	28,62	0,13	261,88	261,88
1,73	0,88	21,93	0,07	200,59	200,59
				Сутки:	5230,10

Коэффициент эффективности для данного способа регулирования: 1,631 меньше указанного в техзадании 2,095 (можно снизить энергопотребление до 2044,9 тыс. кВт*ч/год).

2.4. Использование частотного регулирования на агрегатах 1Д1250-63 с установкой пары низковольтных ПЧ.

Агрегаты 1Д1250-63 выбираются исходя из максимального расхода 2260 м³/час и расхода на противопожарные нужды 126 м³/час (СП 8.13130.2009). Отсюда, номинальная производительность должна быть не менее 1193 м³/час, развиваемый при этом напор (из гидравлической характеристики сети, с учетом СКО) – не менее 49 м. Из полей характеристик находим тип агрегата – 1Д1250-63. АД применяем марки АДЧР355SMB4. ПЧ – Fuji FRENIC Eco 315 kW с ЭМИ-фильтром (допускается замена на ПЧ Danfoss AQUA Drive 315 kW либо ПЧ других производителей (рекомендуются насосные серии),

основная масса которых обеспечивают примерно аналогичные характеристики с учетом разброса КПД $\pm 1\%$).



Заполняем таблицу энергоэффективности:

Часы суток	Расход по расходомеру, м³/час	Кол-во агрегатов рег.	Расход агрегата, м³/час	Напор из хар- ки сети, не менее, м	Напор в зататчике АСУ ПЧ (расчет ный), м	Частота вращения, об/мин	КПД	Мощность каждого насоса, кВт
0:00	1090	1	1090	26,8	27	930	85,5	93,80
1:00	890	1	890	25,1	26	860	86,2	73,15
2:00	770	1	770	24,3	25	820	87,0	60,29
3:00	710	1	710	23,9	24	810	86,5	53,68
4:00	690	1	690	23,8	24	810	86,5	52,17
5:00	810	1	810	24,5	25	845	86,8	63,57
6:00	1020	1	1020	26,2	27	930	85,8	87,47
7:00	1380	2	690	29,8	30	890	86,0	65,59
8:00	1640	2	820	33,1	34	960	86,8	87,53
9:00	1770	2	885	35,0	35	1000	87,0	97,02
10:00	1810	2	905	35,6	36	1000	87,0	102,05
11:00	1700	2	850	33,9	34	980	87,0	90,52
12:00	1680	2	840	33,7	34	980	87,0	89,46
13:00	1630	2	815	33,0	33	930	86,8	84,43

14:00	1620	2	810	32,8	33	930	86,5	84,21
15:00	1600	2	800	32,5	33	930	86,5	83,17
16:00	1640	2	820	33,1	34	960	86,8	87,53
17:00	1700	2	850	33,9	34	980	87,0	90,52
18:00	1650	2	825	33,2	34	960	86,8	88,06
19:00	1710	2	855	34,1	35	980	86,8	93,95
20:00	1900	2	950	37,0	37	1050	86,8	110,35
21:00	1960	2	980	37,9	38	1050	86,8	116,91
22:00	1650	2	825	33,2	34	960	86,8	88,06
23:00	1340	2	670	29,3	30	890	85,8	63,84

Загрузка АД	КПД АД	Потребляемая АД мощность, кВт	Потери в ПЧ, кВт	cosφ ПЧ (с APFC)	Ток ПЧ, А	Потери в подв. Кабеле НН, кВт	Потери в трансформаторе, кВт	Потери в кабеле ВН, кВт	Потребление + потери всех АД, кВт	Часовой расход эл. энергии, кВт*ч
0,30	92,2	101,73	3,05	0,98	162,46	0,40	1,30	0,01	106,49	106,49
0,23	91,1	80,30	2,41	0,98	128,23	0,25	1,21	0,01	84,17	84,17
0,19	89,6	67,29	2,02	0,98	107,46	0,18	1,16	0,00	70,66	70,66
0,17	89,2	60,18	1,81	0,98	96,10	0,14	1,14	0,00	63,27	63,27
0,17	88,9	58,68	1,76	0,98	93,71	0,13	1,14	0,00	61,72	61,72
0,20	89,8	70,79	2,12	0,98	113,05	0,19	1,18	0,00	74,29	74,29
0,28	91,6	95,49	2,86	0,98	152,49	0,35	1,27	0,01	99,98	99,98
0,21	90,1	72,80	2,18	0,98	116,25	0,21	1,18	0,00	152,75	152,75
0,28	91,6	95,55	2,87	0,98	152,59	0,35	1,27	0,01	200,10	200,10
0,31	92,4	105,00	3,15	0,98	167,67	0,43	1,32	0,01	219,80	219,80
0,32	94,6	107,87	3,24	0,98	172,26	0,45	1,33	0,01	225,80	225,80
0,29	91,8	98,61	2,96	0,98	157,46	0,38	1,29	0,01	206,47	206,47
0,28	91,6	97,66	2,93	0,98	155,95	0,37	1,28	0,01	204,49	204,49
0,27	91,4	92,38	2,77	0,98	147,52	0,33	1,26	0,01	193,49	193,49
0,27	91,4	92,13	2,76	0,98	147,12	0,33	1,26	0,01	192,97	192,97
0,26	91,2	91,19	2,74	0,98	145,63	0,32	1,25	0,01	191,02	191,02
0,28	91,6	95,55	2,87	0,98	152,59	0,35	1,27	0,01	200,10	200,10
0,29	91,8	98,61	2,96	0,98	157,46	0,38	1,29	0,01	206,47	206,47
0,28	91,6	96,14	2,88	0,98	153,52	0,36	1,27	0,01	201,32	201,32
0,30	92,2	101,89	3,06	0,98	162,72	0,40	1,30	0,01	213,33	213,33
0,35	93,5	118,02	3,54	0,98	188,47	0,54	1,38	0,01	246,99	246,99
0,37	93,9	124,51	3,74	0,98	198,82	0,60	1,42	0,01	260,55	260,55
0,28	91,6	96,14	2,88	0,98	153,52	0,36	1,27	0,01	201,32	201,32
0,20	89,8	71,09	2,13	0,98	113,52	0,20	1,18	0,00	149,20	149,20
									Сутки:	4026,75

Коэффициент эффективности для данного способа регулирования: 2,119 больше указанного в техзадании 2,095 (можно снизить энергопотребление до 1574,3 тыс. кВт*ч/год).

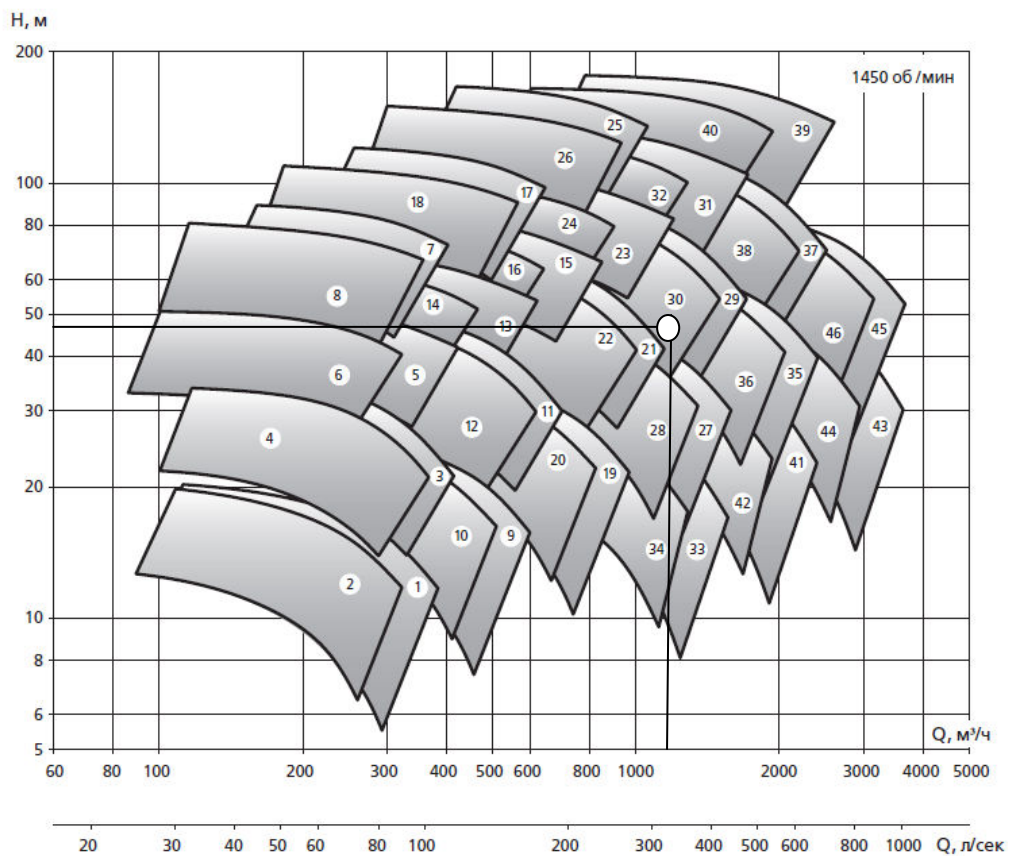
Данные по пиковым нагрузкам

Год	Дата	Часы суток	Расход по расходомеру, м3/час	Кол-во агрегатов рег.	Расход агрегата, м3/час	Напор из хар-ки сети, не менее, м	Напор в задатчике АСУ (расчетный), м	КПД
2014	нет данных	4:00	700	1	700	23,8	24	86,8
2015	10.01.2015	4:00	660	1	660	23,6	24	86,5
2014	нет данных	22:00	2260	2	1130	43,3	44	86,5
2015	20.01.2015	21:00	1960	2	980	37,9	38	86,5
расч.	режим (пик с пожаротушен.)	-	2386	2	1193	45,7	46	86,7
	<i>ПРЕДЕЛ</i>		<i>2700</i>	<i>2</i>	<i>1350</i>	<i>57,2</i>	<i>58</i>	<i>85,0</i>

Мощность каждого насоса, кВт	Потребляемая АД мощность, кВт	Потери в ПЧ, кВт	cosφ ПЧ (с APF C)	Ток ПЧ, А	Потери в подв. Кабеле НН, кВт	Потери в трансформаторе, кВт	Потери в кабеле ВН, кВт	Потребление + потери всех АД, кВт	Часовой расход эл. энергии, кВт*ч
52,74	59,33	1,78	0,98	94,74	0,14	1,14	0,00	62,39	62,39
49,90	56,13	1,68	0,98	89,64	0,12	1,13	0,00	59,07	59,07
156,63	171,00	5,13	0,98	273,06	1,13	1,74	0,02	358,05	358,05
117,32	124,94	3,75	0,98	199,51	0,61	1,42	0,01	261,45	261,45
194,98	212,86	6,39	0,98	339,92	1,76	2,12	0,04	446,32	446,32
269,61	294,34	8,83	0,98	470,03	3,36	3,10	0,07	619,39	619,39

2.5. Использование частотного регулирования на агрегатах DeLium D250-510A/460 с установкой пары низковольтных ПЧ.

Агрегаты выбираются из тех же условий, что и в п. 2.4. АД применяем марки АДЧР355SMB4 (315 кВт). ПЧ – аналогичные п. 2.4.



Заполняем таблицу энергоэффективности:

Часы суток	Расход по расходомеру, м³/час	Кол-во агрегатов рег.	Расход агрегата, м³/час	Напор из хранилища, не менее, м	Напор в задатчике АСУ (расчетный), м	КПД	Мощность каждого насоса, кВт
0:00	1090	1	1090	26,8	27	85,6	93,69
1:00	890	1	890	25,1	26	85,6	73,66
2:00	770	1	770	24,3	25	85,0	61,71
3:00	710	1	710	23,9	24	83,7	55,48
4:00	690	1	690	23,8	24	84,0	53,72

5:00	810	1	810	24,5	25	85,2	64,77
6:00	1020	1	1020	26,2	27	86,2	87,06
7:00	1380	2	690	29,8	30	83,0	67,96
8:00	1640	2	820	33,1	34	85,0	89,38
9:00	1770	2	885	35,0	35	85,2	99,07
10:00	1810	2	905	35,6	36	85,3	104,08
11:00	1700	2	850	33,9	34	85,5	92,11
12:00	1680	2	840	33,7	34	84,8	91,78
13:00	1630	2	815	33,0	33	85,0	86,22
14:00	1620	2	810	32,8	33	85,0	85,69
15:00	1600	2	800	32,5	33	85,0	84,64
16:00	1640	2	820	33,1	34	85,0	89,38
17:00	1700	2	850	33,9	34	85,0	92,65
18:00	1650	2	825	33,2	34	85,0	89,93
19:00	1710	2	855	34,1	35	85,0	95,94
20:00	1900	2	950	37,0	37	85,5	112,03
21:00	1960	2	980	37,9	38	85,7	118,41
22:00	1650	2	825	33,2	34	85,0	89,93
23:00	1340	2	670	29,3	30	82,8	66,15

Загрузка АД	КПД АД	Потребляемая АД мощность, кВт	Потери в ПЧ, кВт	cosφ ПЧ (с APFC)	Ток ПЧ, А	Потери в подв. кабеле НН, кВт	Потери в трансформаторе, кВт	Потери в кабеле ВН, кВт	Потребление + потери всех АД, кВт	Часовой расход эл. энергии, кВт*ч
0,30	92,2	101,61	3,05	0,98	162,27	0,40	1,30	0,01	106,37	106,37
0,23	91,1	80,86	2,43	0,98	129,13	0,25	1,21	0,01	84,76	84,76
0,20	89,8	68,72	2,06	0,98	109,74	0,18	1,17	0,00	72,14	72,14
0,18	89,4	62,05	1,86	0,98	99,10	0,15	1,15	0,00	65,22	65,22
0,17	89,2	60,23	1,81	0,98	96,18	0,14	1,14	0,00	63,32	63,32
0,21	90,1	71,88	2,16	0,98	114,79	0,20	1,18	0,00	75,42	75,42
0,28	91,6	95,04	2,85	0,98	151,78	0,35	1,27	0,01	99,52	99,52
0,22	90,4	75,18	2,26	0,98	120,05	0,22	1,19	0,00	157,70	157,70
0,28	91,6	97,58	2,93	0,98	155,82	0,37	1,28	0,01	204,32	204,32
0,31	92,4	107,22	3,22	0,98	171,22	0,45	1,33	0,01	224,43	224,43
0,33	94,4	110,25	3,31	0,98	176,07	0,47	1,34	0,01	230,77	230,77
0,29	91,8	100,34	3,01	0,98	160,23	0,39	1,29	0,01	210,07	210,07
0,29	91,8	99,97	3,00	0,98	159,65	0,39	1,29	0,01	209,32	209,32
0,27	91,4	94,34	2,83	0,98	150,64	0,35	1,27	0,01	197,57	197,57
0,27	91,4	93,76	2,81	0,98	149,72	0,34	1,26	0,01	196,36	196,36
0,27	91,4	92,60	2,78	0,98	147,87	0,33	1,26	0,01	193,95	193,95
0,28	91,6	97,58	2,93	0,98	155,82	0,37	1,28	0,01	204,32	204,32
0,29	91,8	100,93	3,03	0,98	161,17	0,40	1,30	0,01	211,31	211,31
0,29	91,8	97,96	2,94	0,98	156,43	0,37	1,28	0,01	205,12	205,12
0,30	92,2	104,05	3,12	0,98	166,16	0,42	1,31	0,01	217,83	217,83
0,36	93,7	119,56	3,59	0,98	190,93	0,55	1,39	0,01	250,21	250,21

0,38	94,1	125,84	3,78	0,98	200,95	0,61	1,43	0,01	263,33	263,33
0,29	91,8	97,96	2,94	0,98	156,43	0,37	1,28	0,01	205,12	205,12
0,21	90,1	73,42	2,20	0,98	117,24	0,21	1,18	0,00	154,04	154,04
									Сутки:	4102,50

Коэффициент эффективности для данного способа регулирования: 2,080 примерно соответствует указанному в техзадании 2,095 (можно снизить энергопотребление до 1604,0 тыс. кВт*ч/год).

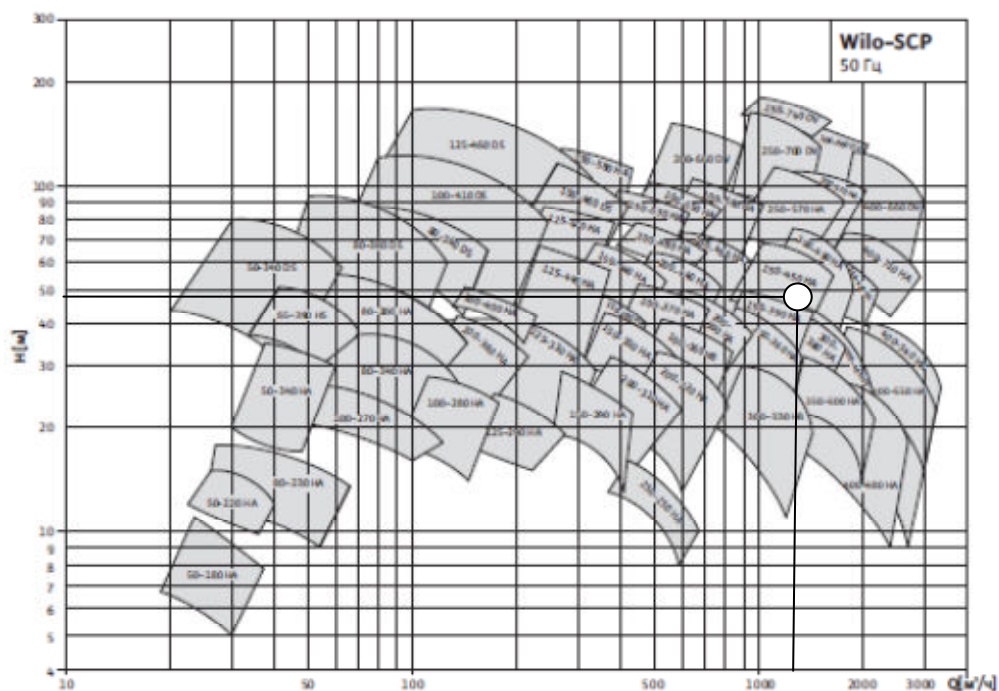
Данные по пиковым нагрузкам

Год	Дата	Часы суток	Расход по расходомеру, м3/час	Кол-во агрегатов рег.	Расход агрегата, м3/час	Напор из характеристики сети, не менее, м	Напор в задатчике АСУ (расчетный), м	КПД
2014	нет данных	4:00	700	1	700	23,8	24	85,0
2015	10.01.2015	4:00	660	1	660	23,6	24	84,0
2014	нет данных	22:00	2260	2	1130	43,3	44	86,2
2015	20.01.2015	21:00	1960	2	980	37,9	38	85,7
расч.	режим (пик с пожаротушен.)	-	2386	2	1193	45,7	46	86,2
	<i>ПРЕДЕЛ</i>		<i>2700</i>	<i>2</i>	<i>1450</i>	<i>52,5</i>	<i>53</i>	<i>85,0</i>

Мощность каждого насоса, кВт	Потребляемая АД мощность, кВт	Потери в ПЧ, кВт	cosφ ПЧ (с APF C)	Ток ПЧ, А	Потери в подв. Кабеле НН, кВт	Потери в трансформаторе, кВт	Потери в кабеле ВН, кВт	Потребление + потери всех АД, кВт	Часовой расход эл. энергии, кВт*ч
53,86	60,58	1,82	0,98	96,75	0,14	1,14	0,00	63,69	63,69
51,39	57,80	1,73	0,98	92,30	0,13	1,14	0,00	60,81	60,81
157,18	171,59	5,15	0,98	274,02	1,14	1,75	0,02	359,30	359,30
118,41	126,10	3,78	0,98	201,38	0,62	1,43	0,01	263,89	263,89
173,48	189,39	5,68	0,98	302,44	1,39	1,90	0,03	396,78	396,78
229,38	250,42	7,51	0,98	399,89	2,43	2,53	0,05	525,88	525,88

2.6. Использование частотного регулирования на агрегатах SCP250/450НАС-315/4-Т4-С0/Р0 с установкой пары низковольтных ПЧ.

Агрегаты выбираются из тех же условий, что и в п. 2.4. АД применяем марки АДЧР355SMB4 (315 кВт). ПЧ – аналогичные п. 2.4.



Заполняем таблицу энергоэффективности:

Часы суток	Расход по расходомеру, м³/час	Кол-во агрегатов рег.	Расход агрегата, м³/час	Напор из хранилища, не менее, м	Напор в задатчике АСУ (расчетный), м	КПД	Мощность каждого насоса, кВт	Загрузка АД
0:00	1090	1	1090	26,8	27	87,0	92,18	0,29
1:00	890	1	890	25,1	26	89,0	70,85	0,22
2:00	770	1	770	24,3	25	88,0	59,61	0,19
3:00	710	1	710	23,9	24	88,0	52,77	0,17
4:00	690	1	690	23,8	24	88,0	51,28	0,16
5:00	810	1	810	24,5	25	88,5	62,35	0,20
6:00	1020	1	1020	26,2	27	88,5	84,80	0,27
7:00	1380	2	690	29,8	30	86,5	65,21	0,21
8:00	1640	2	820	33,1	34	88,0	86,33	0,27
9:00	1770	2	885	35,0	35	88,2	95,70	0,30
10:00	1810	2	905	35,6	36	88,2	100,66	0,32
11:00	1700	2	850	33,9	34	88,2	89,29	0,28
12:00	1680	2	840	33,7	34	88,2	88,24	0,28
13:00	1630	2	815	33,0	33	88,0	83,28	0,26
14:00	1620	2	810	32,8	33	88,0	82,77	0,26
15:00	1600	2	800	32,5	33	88,0	81,75	0,26
16:00	1640	2	820	33,1	34	88,0	86,33	0,27
17:00	1700	2	850	33,9	34	88,2	89,29	0,28
18:00	1650	2	825	33,2	34	88,2	86,66	0,28
19:00	1710	2	855	34,1	35	88,0	92,67	0,29
20:00	1900	2	950	37,0	37	88,5	108,23	0,34

21:00	1960	2	980	37,9	38	88,8	114,28	0,36
22:00	1650	2	825	33,2	34	88,2	86,66	0,28
23:00	1340	2	670	29,3	30	86,0	63,69	0,20

КПД АД	Потребляемая АД мощность, кВт	Потери в ПЧ, кВт	cosφ ПЧ (с APFC)	Ток ПЧ, А	Потери в подв. кабеле НН, кВт	Потери в трансформаторе, кВт	Потери в кабеле ВН, кВт	Потребление + потери всех АД, кВт	Часовой расход эл. энергии, кВт*ч
91,4	100,85	3,03	0,98	161,05	0,39	1,30	0,01	105,58	105,58
89,4	79,25	2,38	0,98	126,56	0,24	1,21	0,00	83,08	83,08
88,8	67,13	2,01	0,98	107,20	0,17	1,16	0,00	70,48	70,48
88,1	59,89	1,80	0,98	95,64	0,14	1,14	0,00	62,97	62,97
87,8	58,40	1,75	0,98	93,27	0,13	1,14	0,00	61,43	61,43
89,1	69,98	2,10	0,98	111,75	0,19	1,17	0,00	73,45	73,45
90,8	93,39	2,80	0,98	149,14	0,34	1,26	0,01	97,80	97,80
90,5	72,06	2,16	0,98	115,07	0,20	1,18	0,00	151,21	151,21
90,8	95,08	2,85	0,98	151,83	0,35	1,27	0,01	199,12	199,12
91,6	104,48	3,13	0,98	166,84	0,42	1,31	0,01	218,71	218,71
92,1	109,29	3,28	0,98	174,53	0,46	1,34	0,01	228,76	228,76
91,2	97,90	2,94	0,98	156,34	0,37	1,28	0,01	205,01	205,01
91,2	96,75	2,90	0,98	154,50	0,36	1,28	0,01	202,60	202,60
90,5	92,03	2,76	0,98	146,96	0,33	1,26	0,01	192,75	192,75
90,5	91,46	2,74	0,98	146,05	0,32	1,25	0,01	191,58	191,58
90,5	90,33	2,71	0,98	144,25	0,32	1,25	0,01	189,23	189,23
90,8	95,08	2,85	0,98	151,83	0,35	1,27	0,01	199,12	199,12
91,2	97,90	2,94	0,98	156,34	0,37	1,28	0,01	205,01	205,01
91,2	95,02	2,85	0,98	151,75	0,35	1,27	0,01	199,00	199,00
91,4	101,38	3,04	0,98	161,90	0,40	1,30	0,01	212,26	212,26
92,7	116,75	3,50	0,98	186,44	0,53	1,38	0,01	244,34	244,34
92,9	123,01	3,69	0,98	196,44	0,59	1,41	0,01	257,42	257,42
91,2	95,02	2,85	0,98	151,75	0,35	1,27	0,01	199,00	199,00
90,2	70,61	2,12	0,98	112,76	0,19	1,18	0,00	148,20	148,20
								Сутки:	3998,12

Коэффициент эффективности для данного способа регулирования: 2,134 больше указанного в техзадании 2,095 (можно снизить энергопотребление до 1563,2 тыс. кВт*ч/год).

Данные по пиковым нагрузкам

Год	Дата	Часы суток	Расход по расходомеру, м3/час	Кол-во агрегатов рег.	Расход агрегата, м3/час	Напор из характеристики сети, не менее, м	Напор в задатчике АСУ (расчетный), м	КПД
2014	нет данных	4:00	700	1	700	23,8	24	88,0
2015	10.01.2015	4:00	660	1	660	23,6	24	87,5
2014	нет данных	22:00	2260	2	1130	43,3	44	88,5
2015	20.01.2015	21:00	1960	2	980	37,9	38	88,8
расч.	режим (пик с пожаротушен.)	-	2386	2	1193	45,7	46	89,3
	<i>ПРЕДЕЛ</i>		<i>2950</i>	<i>2</i>	<i>1475</i>	<i>58,4</i>	<i>59</i>	<i>89,5</i>

Мощность каждого насоса, кВт	Потребляемая АД мощность, кВт	Потери в ПЧ, кВт	cosφ ПЧ (с АРФС)	Ток ПЧ, А	Потери в подв. Кабеле НН, кВт	Потери в трансформаторе, кВт	Потери в кабеле ВН, кВт	Потребление + потери всех АД, кВт	Часовой расход эл. энергии, кВт*ч
52,02	58,52	1,76	0,98	93,45	0,13	1,14	0,00	61,55	61,55
49,33	55,49	1,66	0,98	88,61	0,12	1,13	0,00	58,41	58,41
153,09	167,13	5,01	0,98	266,89	1,08	1,71	0,02	349,92	349,92
114,28	121,70	3,65	0,98	194,35	0,57	1,40	0,01	254,69	254,69
167,46	182,82	5,48	0,98	291,94	1,30	1,84	0,03	382,93	382,93
264,96	289,26	8,68	0,98	461,93	3,25	3,03	0,07	608,55	608,55

3. Анализ результатов.

Из произведенных расчетов следует, что:

Годовая экономия электроэнергии в натуральной форме:

- концепция 1 (наиболее доступный высоковольтный преобразователь частоты с многообмоточным трансформатором) – 1688,5 МВт*ч/год.
- концепция 2 (высоковольтный преобразователь частоты по двухтрансформаторной схеме) – 1291,0 МВт*ч/год.
- концепция 3 (низковольтные преобразователи частоты + замена насосов) – 1761,6 МВт*ч/год (вариант 2.4), 1731,9 МВт*ч/год (вариант 2.5), 1772,7 МВт*ч/год (вариант 2.6).

Ориентировочные капитальные затраты:

- концепция 1 (наиболее доступный высоковольтный преобразователь частоты с многообмоточным трансформатором) – 17500 тыс. руб.
- концепция 2 (высоковольтный преобразователь частоты по двухтрансформаторной схеме) – 5655 тыс. руб.
- концепция 3 (низковольтные ПЧ DANFOSS, насос 1Д1250-63) – 14033 тыс. руб.
- концепция 3 (низковольтные ПЧ DANFOSS, насос DeLium) – 15851 тыс. руб.
- концепция 3 (низковольтные ПЧ DANFOSS, насос WILO) – 15003 тыс. руб.

Экономия электроэнергии в рублевом эквиваленте за первый год внедрения (2016 г.):

- концепция 1 (наиболее доступный высоковольтный преобразователь частоты с многообмоточным трансформатором) – $5,49482 * 1688,5 = 9278,0$ тыс. руб./год.
- концепция 2 (высоковольтный преобразователь частоты по двухтрансформаторной схеме) – $5,49482 * 1291,0 = 7093,8$ тыс. руб./год.
- концепция 3 (низковольтные ПЧ DANFOSS, насос 1Д1250-63) – $5,49482 * 1761,6 = 9679,7$ тыс. руб./год.
- концепция 3 (низковольтные ПЧ DANFOSS, насос DeLium) – $5,49482 * 1731,9 = 9516,5$ тыс. руб./год.
- концепция 3 (низковольтные ПЧ DANFOSS, насос WILO) – $5,49482 * 1772,7 = 9740,7$ тыс. руб./год.

Экономия воды в системах водоснабжения с ПЧ составляет, как правило, порядка 3% или $1030,8 \text{ м}^3$ (14,2 тыс. руб. в рублевом эквиваленте за первый год внедрения (2016 г.)).

Ориентировочный срок окупаемости:

$$T_{\text{окупаемости}} = \frac{C_{\text{оборуд.}}}{\lambda * (C_{\text{элек.}} + C_{\text{воды}})}, \lambda = 1, 2 \dots 1, 8$$

- концепция 1 (наиболее доступный высоковольтный преобразователь частоты с многообмоточным трансформатором) – 1,256 года.
- концепция 2 (высоковольтный преобразователь частоты по двухтрансформаторной схеме) – 0,530 года.
- концепция 3 (низковольтные ПЧ, 1Д1250-63) – 0,965 года.
- концепция 3 (низковольтные ПЧ, DeLium) – 1,109 года.
- концепция 3 (низковольтные ПЧ, WILO) – 1,025 года.

Максимально возможный экономический эффект от внедрения за 8 лет (с учетом роста тарифов*):

- концепция 1 (наиболее доступный высоковольтный преобразователь частоты с многообмоточным трансформатором) – $1688,5 * 10,76818231 * 4,268217 * 1,091 * 1,18 - 17500 = 82407$ тыс. руб.
- концепция 2 (высоковольтный преобразователь частоты по двухтрансформаторной схеме) – $1291,0 * 10,76818231 * 4,268217 * 1,091 * 1,18 - 5655 = 70732$ тыс. руб.
- концепция 3 (низковольтные ПЧ DANFOSS, насос 1Д1250-63) – $1761,6 * 10,76818231 * 4,268217 * 1,091 * 1,18 - 14033 = 90200$ тыс. руб.
- концепция 3 (низковольтные ПЧ DANFOSS, насос DeLium) – $1731,9 * 10,76818231 * 4,268217 * 1,091 * 1,18 - 15851 = 86625$ тыс. руб.
- концепция 3 (низковольтные ПЧ DANFOSS, насос WILO) – $1772,7 * 10,76818231 * 4,268217 * 1,091 * 1,18 - 15003 = 89886$ тыс. руб.

* Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года (рост тарифов, в %, за год к предыдущему году) – 2017-2024 г.г.: 108,6%; 108,0%; 107,8%; 104,9%; 104,7%; 104,4%; 104,2%; 103,9%, прим. – 2020-2024 г.г. – с использованием метода интерполяции [http://economy.gov.ru/minrec/activity/sections/macro/prognoz/doc20130325_06].

4. Вывод

Исходя из обоснования, **наиболее рациональной концепцией модернизации является использование низковольтных преобразователей частоты с заменой насосных агрегатов.**

Дополнительным преимуществом концепции является ее гибкость, позволяющая подобрать состав оборудования исходя из допустимого уровня капитальных затрат, а также установка новых насосных агрегатов взамен имеющихся, обладающих существенным износом.

5. Станция повышения давления.

Согласно данным, предоставленным персоналом насосной станции 3-го подъема 6-го водозаборного узла в районе д. 79 «Д» по ул. Рылеева, суточный расход воды девятиэтажным жилым домом составляет порядка 180-200 м³ по установленному механическому прибору учета.

Ввиду недостаточности предоставленных данных, обращаемся к теоретическому расчету по показателям дома. Дом – панельный, девятиэтажный, шестисекционный. Нормативное количество проживающих – 648, нормативное число квартир – 216.

Ориентировочное значение требуемого напора определяется:

$$H_{TP} = 10 + 5,3 + 4(n - 1) = 10 + 5,3 + 4(9 - 1) = 47,3 \text{ м,}$$

Максимальный часовой расход воды в здании расчетным путем находится как 15,54 м³/час.

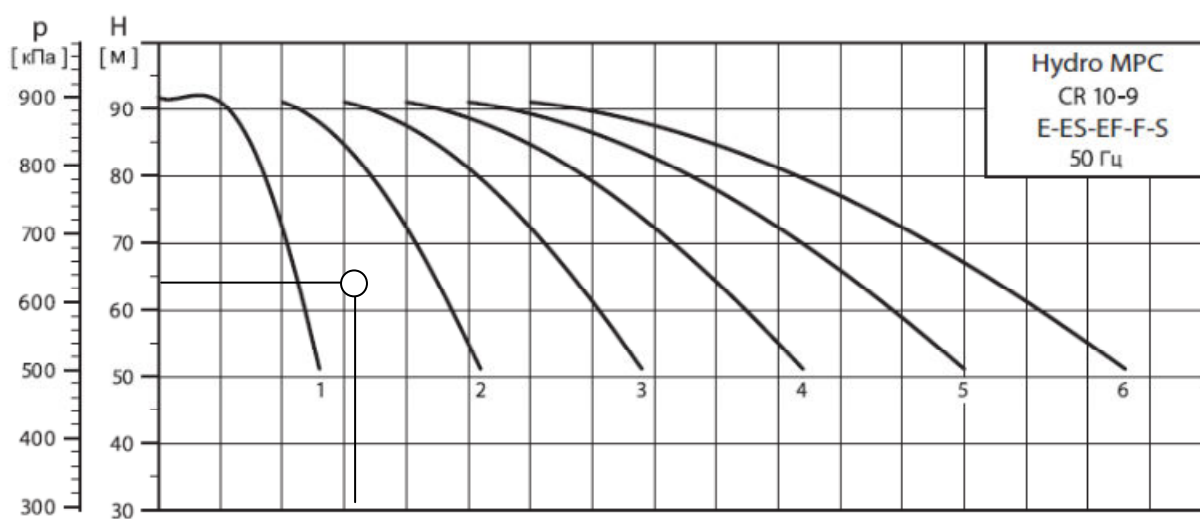
Максимальный суточный расход воды в здании составляет $300 \cdot 648 / 1000 = 194,4$ м³/сутки, что соответствует предоставленным данным.

Требуемый напор в сети водопровода секции определяется геометрической высотой подачи (для девятиэтажного панельного дома по типовой серии при высоте этажа 2,80 м принимается порядка 28,2 м с учетом тех. этажа и подвала), разностью уровней АСПД и нулевой отметки дома ($167,63 - 162,03 = 5,6$ м) и потерями. Из данных типового проекта дома суммарные потери напора от ввода до диктующего прибора составляют порядка 14,3 м (включая потери на вводе, приборе учета и нормированный свободный напор диктующего прибора 3,0 м). Потери в подводящем трубопроводе от насосной станции до наиболее удаленной секции ориентировочно равны $(0,040 \cdot 240 / 0,063) \cdot (1,92 / (2 \cdot 9,81)) = 15,0$ м. Значение требуемого напора (при максимальном часовом расходе) должно составлять не менее 63,1 м.

Тогда значение требуемого напора принимаем 64 м.

Считаем для оборудования от GRUNDFOS.

1. Выбираем АСПД типа **Hydro MPC E 3 CRE 10-09 3x380-415 В, PE, 50 Гц** с тремя насосами CRE10-9 (2 рабочих + 1 резервный).



Выбираем емкость дополнительного мембранного бака:

$V_{\text{мб}} = 0,1 \cdot Q_{\text{ном}} \cdot (H_{\text{вых}} + 1)^2 \cdot (3600 / N_{\text{вкл_в_час}} - 10) / (3,6 \cdot (0,7 \cdot H_{\text{вых}} + 1) \cdot 0,2 \cdot H_{\text{вых}}) =$
 $0,1 \cdot 10 \cdot 7,4 \cdot 7,4 \cdot (3600 / 200 - 10) / (3,6 \cdot 0,2 \cdot 6,4 \cdot (0,7 \cdot 6,4 + 1)) = 17,4 \text{ л,}$ выбираем ближайший больший мембранный бак типа **Tank GT-H 18L** (объем 18 л).

Стоимость комплекта 8470 евро с НДС (прайс, см. grundfos.com).

2. Также может быть применена более **компактная и дешевая** АСПД типа **Hydro Multi-E 3 CRE 10-9 3 х 400 В, PE, 50 Гц** с тремя насосами CRE10-9 (2 рабочих + 1 резервный), габариты которой не превышают 980х980 мм. Мембранный бак (25 л) поставляется в комплекте, поэтому закупка дополнительного не требуется.

По сравнению с Hydro MPC (п. 1), Hydro Multi-E имеет следующие упрощения:

- Менее широкий диапазон подач и напоров.
- Иной алгоритм работы шкафа управления.
- Более узкие возможности по диспетчеризации установки.
- Менее удобную панель управления.
- Необходимость организации защиты от сухого хода (встроенной не имеется).

В рассматриваемом случае эти недостатки не имеют решающего значения, а более компактный размер является преимуществом (место для установки АСПД на насосной станции ограничено).

Стоимость 7550 евро с НДС (прайс, см. grundfos.com).

Считаем для оборудования от WILO (более дешевый вариант, чем GRUNDFOS).

3. Выбираем АСПД типа SiBoost Smart 3 HELIX VE 608 с тремя насосами мощностью 3 kW (2 рабочих + 1 резервный) – 7080 евро с НДС (см. коммерческое предложение).

4. Выбираем АСПД типа COR-3 MVI 807/SKw-EB-R с тремя насосами мощностью 3 kW (2 рабочих + 1 резервный). Данная АСПД отличается более компактными размерами и наличием выделенного шкафа для частотных преобразователей. Мембранный бак и защита от сухого хода в комплекте – 6874 евро с НДС (см. коммерческое предложение).

Вывод: рекомендуется к установке АСПД WILO COR-3 MVI 807/SKw-EB-R, как наиболее дешевый вариант при одинаковых показателях надежности и эксплуатационных затратах (6874 евро, см. коммерческое предложение).

6. Возможные составы электрооборудования (включая АСПД).

1. Состав №1:

- 2 однострансформаторных КТП-630/6/0,4-ТКК (типа «киоск»), 2 агрегата 1Д1250-63 с АД АДЧР355SMB4, 2 ПЧ Danfoss AQUA DRIVE 315 kW, АСПД WILO COR-3 MVI 807/SKw-EB-R – капитальные затраты 14033 тыс. руб., максимально возможный экономический эффект от внедрения (за 8 лет) 90200 тыс. руб.

2. Состав №2:

- 2 однострансформаторных КТП-630/6/0,4-ТКК (типа «киоск»), 2 агрегата DeLium D250-510A/460 с АД АДЧР355SMB4, 2 ПЧ Danfoss AQUA DRIVE 315 kW, АСПД WILO COR-3 MVI 807/SKw-EB-R – капитальные затраты 15851 тыс. руб., экономический эффект от внедрения (за 8 лет) 86625 тыс. руб.

3. Состав №3:

- 2 однострансформаторных КТП-630/6/0,4-ТКК (типа «киоск»), 2 агрегата Wilo SCP250/450HAC-315/4-T4-C0/P0 с АД АДЧР355SMB4, 2 ПЧ Danfoss AQUA DRIVE 315 kW, АСПД WILO COR-3 MVI 807/SKw-EB-R – капитальные затраты 15003 тыс. руб., экономический эффект от внедрения (за пять лет) 89886 тыс. руб.

Таким образом, наиболее оптимальны составы оборудования №1 и №3.

Состав №1 – характеризуется наиболее низкими капитальными затратами, стоимостью технического обслуживания и ремонта, однако построен на базе устаревших агрегатов 1Д1250-63, характеризующихся более низкими показателями надежности в сравнении с современными образцами (DeLium, WILO).

Состав №3 – отличается несколько более высокими капитальными затратами, однако построен на базе современных агрегатов производства WILO, характеризующихся более высоким КПД и показателями надежности.

Вывод: рекомендуем к реализации составы №1 или №3. Согласно требованию заказчика принимаем к реализации вариант №1.

Прайс-листы на основное оборудование (КТП, агрегаты, преобразователи частоты, АСПД прилагаются).

* Справочно: показатели надежности агрегатов.

А. Насосные агрегаты **Wilo SCP250/450HAC-315/4-T4-C0/P0** с АД АДЧР355SMB4:

- стоимость 1.737.904 руб, в т.ч. НДС;

Показатели надежности:

- Средняя наработка на отказ: 10 000 часов (при соблюдении требований инструкции по монтажу и эксплуатации насоса).

- Средний ресурс: 40 000 часов.

- Среднее время восстановления: 12 н/ч, при наличии запчастей на объекте и соответствующей квалификации персонала, выполняющего ремонт.

- Назначенный срок службы: 40 лет.

- Коэффициент готовности: $\geq 0,999$.

Б. Насосные агрегаты **ГМС 1Д1250-63** с АД АДЧР355SMB4:

- стоимость 1.252.747 руб, в т.ч. НДС;

Показатели надежности:

- Средняя наработка на отказ: 9 000 часов (при соблюдении требований инструкции по монтажу и эксплуатации насоса).

- Средний ресурс: 35 000 часов.

- Среднее время восстановления: 20 н/ч, при наличии запчастей на объекте и соответствующей квалификации персонала, выполняющего ремонт.

- Назначенный срок службы: 30 лет.

- Коэффициент готовности: $\geq 0,999$.