

УДК 628.1.2:658.26.004.18

Управление параллельной работой центробежных насосов

А. П. УСАЧЕВ*

* Усачев Алексей Павлович, кандидат технических наук, технический директор, ООО «Сибирь-мехатроника» 630087, Россия, г. Новосибирск, а/я 169, тел.: (383) 399-00-55, e-mail: usachev@sibmech.ru

Рассматриваются проблемы, связанные с токовой загрузкой насосных агрегатов при их параллельной работе (один — с частотным управлением, другой — без частотного управления). В традиционных схемах управления (без частотного регулирования) проблема решается путем дросселирования каждого насоса с выравниванием токовой загрузки их приводных электродвигателей. Эта функция выполняется, как правило, оператором в ручном режиме. На основании проведенного анализа разработан алгоритм управления насосами, обеспечивающий их безопасную работу в рабочей зоне и максимальную энергоэффективность. Предлагается производить контролируемое дросселирование насоса без частотного регулирования путем контроля положения

рабочей точки насоса с частотным регулированием на границе рабочей зоны. Для обеспечения безаварийной работы насосной станции при аварийной остановке насоса с частотным регулированием рекомендуется систему управления насосом без частотного регулирования перестроить на работу автоматического поддержания давления с помощью дросселирования. Для реализации данного алгоритма предлагается использование специализированного технологического контроллера с достаточной вычислительной мощностью (типа СТК 500) и блоки серии СР 200.

Ключевые слова: центробежный насос, параллельная работа, частотное регулирование, дросселирование, энергосбережение.

При параллельной работе двух (и более) насосных агрегатов, прежде всего в системах водоснабжения, работающих по давлению, часто возникают трудности. В традиционных схемах управления (без частотного регулирования) проблема решается путем дросселирования каждого насоса с выравниванием токовой загрузки их приводных электродвигателей. Функция выполняется, как правило, оператором в ручном режиме.

При частотном управлении каждым насосным агрегатом проблема решается путем синхронизации работы преобразователей частоты либо по выходной частоте, либо по их токовой нагрузке (рис. 1). Все задвижки работающих насосных агрегатов переводятся в полностью открытое состояние. Только в этом случае достигается энергосберегающий эффект. При этом предполагается, что насосы имеют одинаковые параметры.

Наиболее трудная ситуация возникает, когда частотное управление осуществляется только

одним насосом, причем его производительности немного не хватает. В этом случае включают дополнительный насосный агрегат «от сети» (без частотного регулирования) с полным откры-

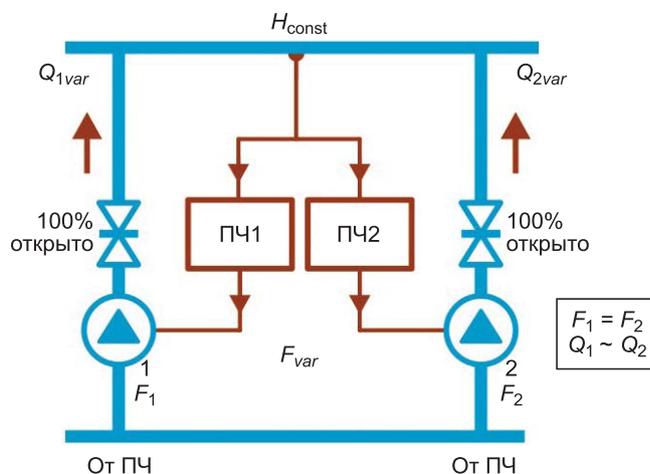


Рис. 1. Частотное управление каждым насосным агрегатом

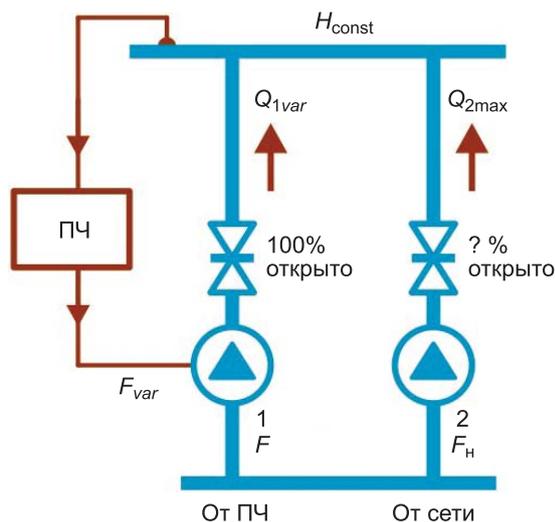


Рис. 2. Частотное управление одним насосным агрегатом

ванием напорной задвижки (рис. 2). Достаточно подробно этот пример рассмотрен в работах [1; 2].

Включение дополнительного насосного агрегата № 2 и открытие его напорной задвижки показано на рис. 3. Рассмотренному случаю соответствуют рабочие точки «б». Загрузка насосов при этом полностью разбалансирована. Насосный агрегат без частотного регулирования (с питанием непосредственно «от сети») обеспечивает практически номинальную производительность Q_{2max} (2500 м³/ч), а зачастую и больше, но при этом он перегружен. Насосный агрегат с частотным регулированием добавляет недостающую часть подачи Q_{1var} (500 м³/ч), которая в данном случае оказывается достаточно мала. В результате насос с частотным регулированием находится в недопустимой рабочей области (в левой части напорной характеристики), что приводит к выходу его из строя.

Воздействовать на производительность насоса № 2 (агрегат без частотного регулирования) возможно только путем его дросселирования, например напорной задвижкой (рис. 4). В автоматическом режиме это достигается в частности с помощью блока серии СР 200 (<http://www.sibmech.ru/elektroprivod-i-avtomatizaciya/produktsya/oborudovanie-lokalnogo-upravleniya/seriya-SR200/>). Для исключения перегрузки насоса № 2 система управления задвижкой замыкается по току приводного двигателя насоса, а задание на ток устанавливается близко к номинальному значению (функция ограничения тока). Однако это не решает проблем в работе насоса с частотным регулированием в левой недопустимой зоне его напорной характеристики. Управление напорной задвижкой здесь осуществ-

ляется системой автоматического регулирования, замкнутой по току приводного электродвигателя. Системой задвижка устанавливается в положение, соответствующее заданному значению токовой загрузки насосного агрегата.

На рис. 3 показана работа группы насосов Д2500×62 при увеличении расхода до 3000 м³/ч, когда системой группового управления производится включение насоса № 2. Для равномерной загрузки насосов напорная задвижка насоса № 2 должна находиться в положении, соответствующем точке 2 (1500 м³/ч). Данный режим, безусловно, не является оптимальным с точки зрения энергосбережения. Минимум затрат энергии будет, когда открыты все задвижки (отсутствует дросселирование). Однако в этом случае возникают проблемы с режимом работы насоса с частотным регулированием: он оказывается в недопустимой рабочей области (точка «б»). При компромиссном варианте рабочая точка насоса с частотным регулированием будет находиться в районе левой границы рабочей области (точка «а»). Для этого достаточно воздействовать только на положение напорной задвижки насоса без частотного регулирования и следить за положением рабочей точки насоса № 1. Задвижку насоса № 2 необходимо «приоткрыть» на величину, при которой рабочая точка насоса с частотным регулированием (насоса № 1) будет находиться в районе левой границы рабочей области (в точке «а»).

Таким образом, управление параллельной работой насосов следует осуществлять по компромиссному варианту. Алгоритм системы возможен следующий.

1. Необходимо знать текущую производительность насоса № 1 и производительность на левой границе рабочего диапазона при текущем напоре насоса (минимально допустимая производительность насоса). Текущий напор насоса вычисляется как разность показаний датчиков давления на всасе насоса и его выходе (напоре). Производительность на левой границе рабочего диапазона вычисляется по соответствующей параболе левой границы рабочего диапазона (исходная информация — из паспортных данных). Текущая производительность насоса с частотным регулированием может быть либо измерена, либо косвенно вычислена.

2. Непосредственно измерить производительность насоса путем установки расходомера в его цепь практически невозможно.

3. Производительность насоса с частотным регулированием вычисляется по напорной характеристике насоса, информации от преобра-

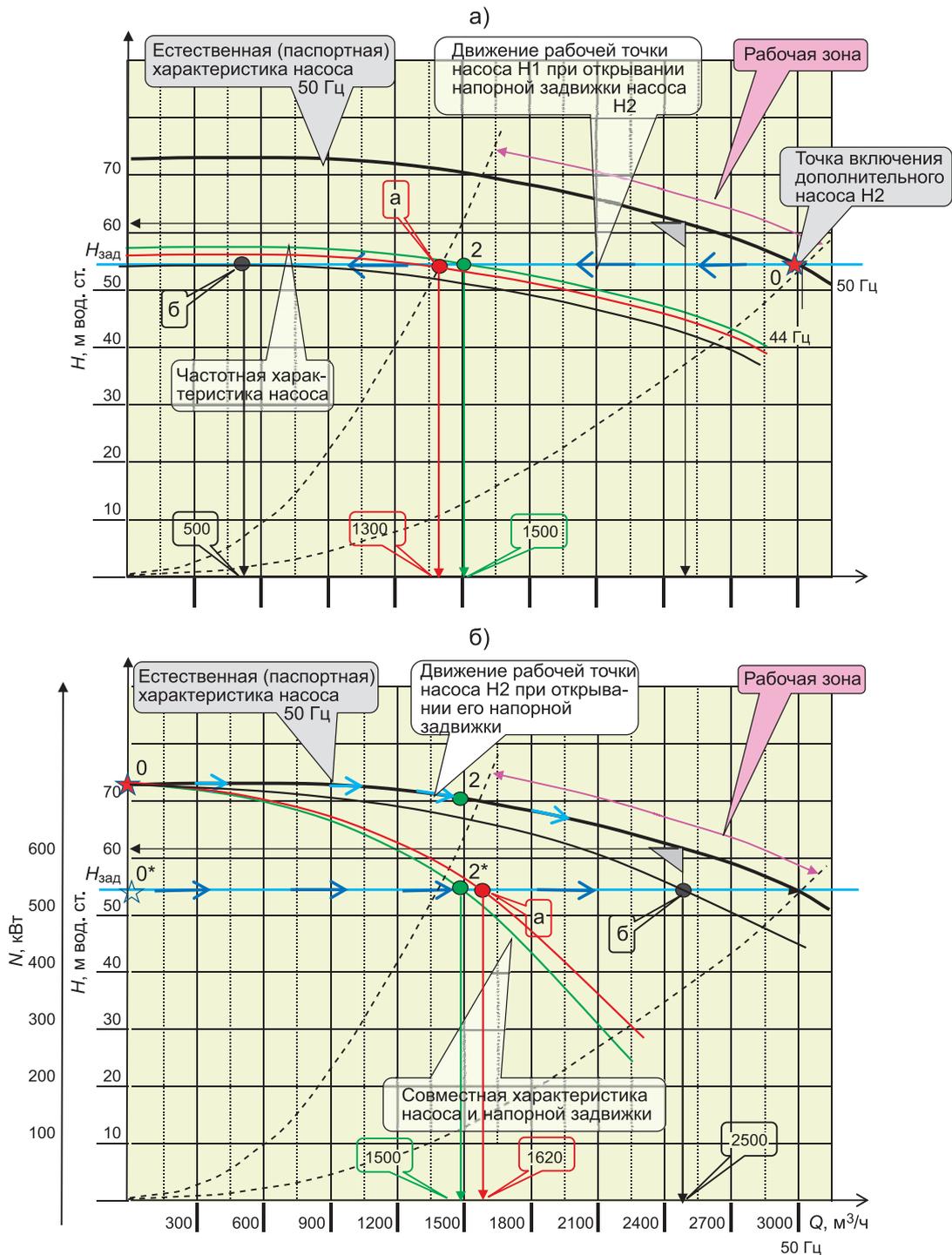


Рис. 3. Работа насосов в системе группового частотного управления при увеличении расхода

a – насос № 1 с частотным регулированием; *б* – насос № 2 без частотного регулирования; точки: «*a*» – напорная задвижка насоса № 2 приоткрыта до положения рабочей точки насоса № 1 на левой границе рабочей области (компромиссный вариант); «*б*» – напорная задвижка насоса № 2 практически полностью открыта (самый экономичный вариант); 0 – включение дополнительного насоса № 2; 2 – положение напорной задвижки насоса № 2 обеспечивает равномерную загрузку насосов

зователя частоты и дополнительных датчиков давления в следующей последовательности:

1) По паспортной напорной характеристике насоса вычисляются коэффициенты аппроксимирующего уравнения H_ϕ и S_ϕ [3]:

$$H = H_\phi \frac{n^2}{n_{\text{НОМ}}^2} - S_\phi Q^2,$$

где H , Q – текущие значения производительности и напора соответственно; n , $n_{\text{НОМ}}$ – фактиче-

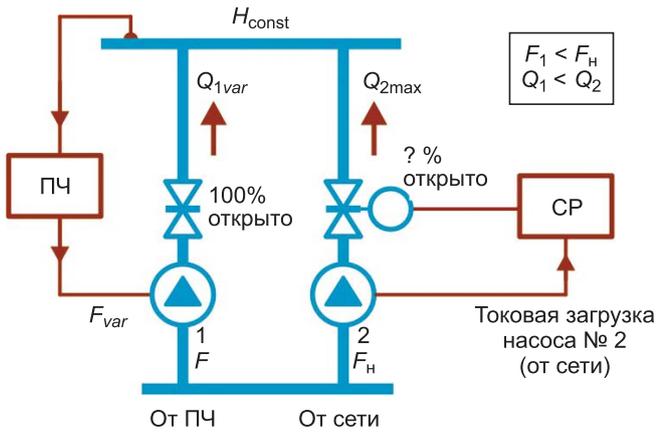


Рис. 4. Дросселирование с помощью блока серии СР 200

ское и номинальное число оборотов рабочего колеса насоса соответственно.

Для этого, как правило, берутся точки 1 и 2, близкие к границам рабочей области насоса, например, $H_1 = 70$ м, $Q_1 = 1600$ м³/ч и $H_2 = 54$ м, $Q_2 = 3000$ м³/ч (рис. 5):

$$H_{\phi} = H_1 + S_{\phi} Q_1^2;$$

$$S_{\phi} = \frac{H_1 - H_2}{Q_2^2 - Q_1^2}.$$

Для напорной характеристики, представленной на рис. 5: $H_{\phi} = 76,4$; $S_{\phi} = 2,5 \cdot 10^{-6}$.

2) Допустим, насос № 1 работает на частоте питания 43 Гц. Тогда:

$$\frac{n^2}{n_{\text{НОМ}}^2} = \frac{f^2}{f_{\text{НОМ}}^2} = \frac{43^2}{50^2} = 0,74,$$

где f – частота питания, Гц.

3) В результате аппроксимирующее уравнение напорной характеристики насоса № 1 будет выглядеть следующим образом:

$$H = 76,5 \cdot 0,74 + 2,5 \cdot 10^{-6} Q^2 = 56,51 + 2,5 \cdot 10^{-6} Q^2.$$

4) Уравнения и коэффициенты парабол рабочей зоны:

левая парабола

$$H = K_A Q^2;$$

$$K_A = \frac{H_A}{Q_A^2} = \frac{70}{1600^2} = 27,3 \cdot 10^{-6};$$

правая парабола

$$H = K_B Q^2;$$

$$K_B = \frac{H_B}{Q_B^2} = \frac{54}{3000^2} = 6 \cdot 10^{-6}.$$

5) Границы левой и правой рабочих зон при $H_{\text{нас}} = 50$ м вод. ст.:

граница левой зоны

$$Q_3 = \sqrt{\frac{H_{\text{нас}}}{K_A}} = \sqrt{\frac{50}{27,3 \cdot 10^{-6}}} = 1353,3 \text{ м}^3/\text{ч};$$

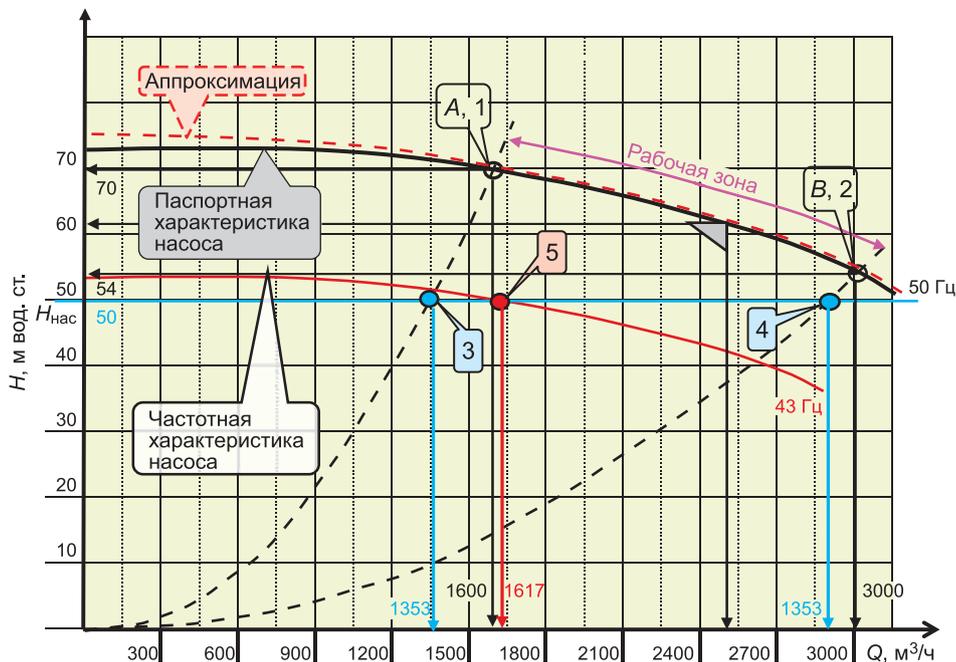


Рис. 5. Алгоритм вычисления рабочей точки насоса № 1

A, B – паспортные границы рабочей зоны; 1, 2 – точки аппроксимации; 3, 4 – границы рабочей зоны при $H_{\text{нас}}$ (вычисление); 5 – текущее положение рабочей точки при $H_{\text{нас}}$ и $n_{\text{нас}}$ (вычисление)

граница правой зоны

$$Q_4 = \sqrt{\frac{H_{\text{нас}}}{K_B}} = \sqrt{\frac{50}{6 \cdot 10^{-6}}} = 2886,75 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

б) Вычисление текущей производительности насоса (из аппроксимирующего уравнения напорной характеристики насоса № 1):

$$Q = \sqrt{\frac{H_{\phi} \frac{n^2}{n_{\text{ном}}^2} - H}{S_{\phi}}} = \sqrt{\frac{76,4 \cdot 0,74 - 50}{2,5 \cdot 10^{-6}}} = 1617 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

4. Далее при включении насоса № 2 необходимо сопоставить текущую производительность насоса № 1 и его минимально допустимое значение (граница левой зоны $Q_3 = 1353,3 \text{ м}^3/\text{ч}$). При уменьшении производительности насоса № 1 до минимально допустимого значения следует прекратить открывание напорной задвижки насоса № 2. При дальнейшем увеличении суммарного расхода напорная задвижка насоса № 2 должна продолжить процесс открывания до максимальной производительности насоса (при этом рабочая точка насоса № 1 должна удерживаться на границе рабочей зоны). И только при дальнейшем повышении расхода производительность насоса № 1 может увеличиваться.

Для реализации вышеописанного алгоритма необходимо использовать специализированный технологический контроллер с достаточной вычислительной мощностью типа СТК 500 (<http://www.sibmech.ru/elektroprivod-i-avtomatizaciya/produktsya/oborudovanie-dlya-avtomatizacii-i-telemetrii/technologicheskii-kontroller-STK500/>).

Другой, не менее важной задачей при параллельной работе двух насосов (один – с частотным регулированием, другой – без частотного регулирования) является обеспечение безаварийной работы насосной станции при аварийной остановке насоса с частотным регулированием (по причине аварии насоса, а также преобразователя частоты). В этом случае остается в работе только насос без частотного регулирования, причем система управления этим насосом не является замкнутой по давлению. В результате давление в системе может оказаться недопустимо высоким или слишком низким. Для исключения указанной ситуации насос без частотного регулирования должен перестроиться на работу автоматического поддержания давления с помощью дросселирования. Для этого регулятор тех-

нологического контроллера по давлению должен переключиться на управление напорной задвижкой насоса № 2. Реализация данного алгоритма возможна с использованием вышеупомянутого блока СР 200 и технологического контроллера типа СТК 500 (система питания имеет автоматический ввод резерва и источник бесперебойного питания).

Выводы

1. При параллельной работе двух (или более) насосных агрегатов (один – с частотным управлением, второй – без частотного управления) особое внимание следует обратить на их токовую нагрузку и обеспечение режимов в рабочей области напорной характеристики.
2. Контролируемое дросселирование насоса без частотного регулирования предлагается производить путем контроля положения рабочей точки насоса с частотным регулированием на границе рабочей зоны.
3. Для обеспечения безаварийной работы насосной станции при аварийной остановке насоса с частотным регулированием рекомендуется системе управления насосом без частотного регулирования перестроить на работу с автоматическим поддержанием давления с помощью дросселирования.
4. Для реализации предложенного алгоритма требуется использование специализированного технологического контроллера с достаточной вычислительной мощностью (типа СТК 500) и блоки серии СР 200.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багаев Ю. Г., Карпов Н. В., Усачев А. П. Параллельная работа насоса с частотно-регулируемым электроприводом // Водоснабжение и санитарная техника. 2014. № 4. С. 38–41.
2. Усачев А. П., Гордейчик А. В. Особенности частотного регулирования насосами с учетом рабочего диапазона: Материалы Международного форума «Вода: экология и технология» – «ЭКВАТЭК–2014», Москва, МВЦ «Крокус Экспо», 4–5 июня 2014 г.
3. Лезнов Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. – М.: Энергоатомиздат, 2006. 360 с.

Control of centrifugal pump parallel operation

A. P. USACHEV*

* Usachev Aleksei Pavlovich, Ph. D. (Engineering), Technical Director, «Sibir'-Mekhatronika» LLC
P. O. Box 169, 630087, Novosibirsk, Russian Federation, tel.: +7 (383) 399-00-55, e-mail: usachev@sibmech.ru

The problems related to the cable capacity of pumping units during their parallel operation (one with variable-frequency control, another one – without variable-frequency control) are considered. In the traditional control schemes (without variable-frequency control) the problem is solved by throttling of each pump with cable capacity levelling of their drive motors. This function is usually carried out by the operator in manual mode. Based on the conducted analysis an algorithm of pump control was developed that provided for their safe operation in the working area and maximum energy efficiency. It is proposed to carry out controlled throttling of the pump without variable-frequency control by controlling the position of the set point of the pump with variable-frequency control at the working area interface. To ensure failure-free operation of the pumping station in case of the pump with variable-frequency control emergency shutdown it is recommended to change the system of the pump without variable-frequency control for automated pressure maintaining with the help of throttling. To implement the given algorithm the use of a special process controller with the sufficient computing power (STK 500 type) and series SP 200 blocks is proposed.

Key words: centrifugal pump, parallel operation, variable-frequency control, throttling, energy conservation.

REFERENCES

1. Bagaev Iu. G., Karpov N. V., Usachev A. P. [Parallel operation of pumps with variable-frequency drive]. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaya Tekhnika*, 2014, no. 4, pp. 38–41. (In Russian).
2. Usachev A. P., Gordeichik A. V. [Specific features of pump frequency control with account of the operational range]. Proceedings of International Forum «Water: Ecology and Technology» – «ECWATECH–2014», Moscow, «Crocus Expo» IEC, June 4–5, 2014. (In Russian).
3. Leznov B. S. *Energoberezhenie i reguliruemyyi privod v nasosnykh i vozdukhoduvnykh ustanovkakh* [Energy conservation and variable-speed drive in pumping units and air blowers. Moscow, Energoatomizdat Publ., 2006, 360 p.].

ПАМЯТИ БОРИСА ГРИГОРЬЕВИЧА МИШУКОВА

27 декабря 2017 г. ушел из жизни **Борис Григорьевич Мишуков**, доктор технических наук, профессор кафедры «Водопользование и экология» Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, заслуженный работник высшей школы РФ, академик ЖКА РФ, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники за 2005 год.

Б. Г. Мишуков в 1958 г. окончил санитарно-технический факультет Ленинградского инженерно-строительного института. С 1958 по 1960 г. работал во ВНИИПИЭТ канализации, в 1965 г. защитил кандидатскую диссертацию. С 1965 по 1968 г. был заведующим лабораторией канализации (впоследствии филиал ВНИИ ВОДГЕО) Красноярского ПромстройНИИпроекта. В 1968 г. принят ассистентом в ЛИСИ, в 1972 г. утвержден в звании доцента, в 1980 г. защитил докторскую диссертацию. С 1981 по 1990 г. осуществлял научное руководство отраслевой научно-исследовательской лабораторией Минудобрений СССР. Подготовил 16 кандидатов наук, в том числе двух зарубежных ученых.

Борис Григорьевич Мишуков – один из ведущих специалистов в области очистки сточных вод. Он автор восьми монографий, около 210 научных работ, ряда учебных пособий, соавтор книги «Отведение и очистка сточных вод Санкт-Петербурга».



До последних дней Борис Григорьевич занимался научными исследованиями, направленными на совершенствование процессов очистки сточных вод, был в курсе новейших достижений отрасли. Он пользовался огромным уважением студентов, аспирантов и докторантов, был прекрасным преподавателем, руководителем и научным консультантом. Профессор Мишуков никогда не завершал процесса обучения своих учеников, всегда находился в контакте с выпускниками, помогал им в решении теоретических и практических задач.

Сегодня мы все – коллеги, соратники и ученики Бориса Григорьевича Мишукова скорбим и помним выдающегося ученого, говорим огромное спасибо за тот вклад, который профессор Мишуков внес в нашу науку, и за то доброе и человеческое отношение, которое помогало всем нам жить и трудиться! Светлая память Вам, Борис Григорьевич!

Коллективы Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», редколлегия и редакция журнала «ВСТ» приносят искренние соболезнования родным и близким Бориса Григорьевича Мишукова.