# ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ, ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА

**УДК 697.953.2 : 621-65**

**В.И. КОСТИН, В.Н. ДОЛЖИКОВ**

## РЕГУЛИРОВАНИЕ НАСОСОВ И ВЕНТИЛЯТОРОВ В СИСТЕМАХ ИНЖЕНЕРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Частотное регулирование теоретически является наиболее экономичным способом изменения параметров в работе насосов и вентиляторов. При этом изменение объема подаваемой среды происходит прямо пропорционально изменению частоты вращения колеса нагнетателя. Между тем во многих случаях изменение требуемых расходов воздуха, горячей и холодной воды происходит по нелинейным зависимостям. Поэтому применяемые методы регулирования насосов и вентиляторов должны подтверждаться расчетами, основанными на анализе суточной и сезонной динамики потребности зданий и сооружений в объемах подаваемой нагнетателями среды.

К л ю ч е в ы е  с л о в а: насосы, вентиляторы, регулирование, инженерные системы зданий.

DOI 10.32683/0536-1052-2019-729-9-52-59

Частотное (плавное или ступенчатое) регулирование работы насосов и вентиляторов за последнюю четверть века получило весьма широкое распространение в нашей стране. Связано это с появлением технологий, позволяющих менять частоту вращения $n$ асинхронных электродвигателей, которыми комплектуются насосы и вентиляторы. Внедрению частотного регулирования в немалой степени способствовали многочисленные публикации, доказывающие его экономические преимущества по сравнению с другими методами – дросселированием и каскадным регулированием (регулирование путем изменения числа нагнетательных машин, работающих одновременно на одну сеть).

Многие из таких публикаций носили рекламный характер, сводя все к расчетам экономии электроэнергии. Но одновременно появились исследования, дававшие объективную оценку новой технологии регулирования [1–4 и др.]. И, на наш взгляд, нельзя не согласиться со следующими словами А.В. Кинсфатора «… само по себе использование ПЧ (переменной частоты) не гарантирует положительного эффекта. Мало того, бездумное использова-

© **Костин В.И., Должиков В.Н., 2019**

ние ПЧ может принести убытки… Экономический эффект должен рассматриваться для каждой установки» [5]. К отмеченным автором этой статьи недостаткам рассматриваемой технологии – высокой стоимости регуляторов и снижению коэффициента полезного действия установки до 10 % – добавим следующее.

При частотном регулировании характер изменения объемной подачи воздуха (воды) $L$ потребителям носит линейный характер ($L \sim n$). Возникает вопрос, обеспечивает ли такая закономерность решение всех задач по регулированию работы систем жизнеобеспечения зданий и сооружений.

Целью данной работы является ответ на этот вопрос. В качестве альтернативных частотному рассматриваются комбинированные методы: смешанный (одновременное применение дросселирования и частотного способа) и частотно-каскадный.

Перейдем к рассмотрению конкретных случаев.

1. Подача холодной воды на центральные тепловые пункты (ЦТП). Авторы работы [6] рекомендуют частотно-каскадное регулирование и предлагают следующие варианты. «Для районов со сложившейся застройкой, где потребление воды носит стабильный характер без значительных типовых расходов» [6], целесообразно применение двух параллельно работающих насосов, один из которых может выключаться в случае снижения требуемого расхода воды. «В районах (например, “спальных”), для которых характерно низкое значение дневного расхода воды и ярко выражено пиковое значение, число параллельных насосов рекомендовано увеличивать до трех». Наконец, «…последовательная схема с тремя или четырьмя насосами применима к ЦТП с большим значением максимального расхода воды (более 120 м$^3$/ч) и на тех ЦТП, где величина установленной мощности ограничена кабельными сетями Мосэнерго» [6].

2. Поддержание заданной производительности вентиляторов в сети. По мере загрязнения фильтра возрастает аэродинамическое сопротивление сети и снижается производительность вентиляционной системы. Постоянство расхода можно обеспечить за счет установки плавного частотного регулятора [7].

3. Несколько помещений (1, 2, 3) обслуживаются одной приточной системой (рис. 1). На каждом ответвлении установлено регулирующее устройство. При изменении объема подаваемого воздуха в одно или два помещения возникает разрегулировка системы. Схема, позволяющая поддерживать в остальных помещениях постоянство воздухообмена, описана в работе [8]. На распределительном коллекторе *5* устанавливается измерительное устройство *6*, связанное с системой регулирования, которое осуществляется за счет изменения частоты вращения колеса вентилятора и степени открытия дроссе-

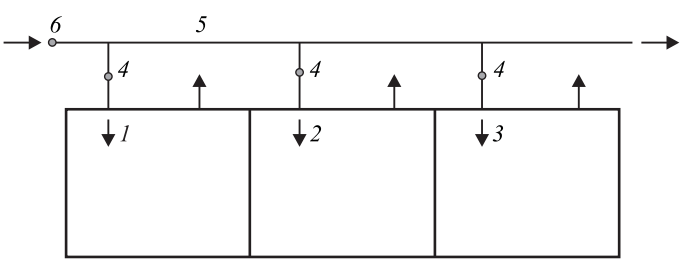


*Рис. 1*

лирующего устройства. Для поддержания требуемых воздухообменов в настоящее время имеются следующие системы.

VAV-система реализует стратегию FPR (Fixed Pressure Reset), поддерживая постоянную величину давления в контролируемом сечении канала для всего рабочего диапазона расходов воздуха [8]. Более сложная, но и более экономичная система SPR (Static Pressure Reset) основана на принципе оптимизации статического давления на активных участках системы [8, 9]. Экономичность SPR-системы подтверждена натурными испытаниями [10].

4. Оптимизация работы насосной станции подкачки системы водоснабжения [11]. Авторы этой статьи экспериментально доказали, что изменение сопротивления сети и объема расхода воды «суточного цикла водопотребления можно рассматривать как взаимосвязанные нестационарные случайные процессы» [11] и разработали оптимизированную модель повышения энергетической эффективности насосной станции. Реализация модели должна осуществляться в рамках частотно-каскадного регулирования. Опыт успешного сочетания частотного и каскадного регулирования на крупных насосных станциях описывает Б.С. Лезнов [1].

5. Регулирование насосов в системе местного теплоснабжения (рис. 2). Насос *4* подает воду от теплового генератора, насос *1* – в систему отопления, насос *2* – в систему теплоснабжения, насос *3* – на технологические нужды. В общем случае законы изменения потребности в тепловой энергии этими системами не совпадают, а, значит, степени регулирования подачи воды насосами *1*, *2*, *3* будут разными. И, как показано в работе [12], в данном случае следует применять смешанное регулирование (дросселирование и частотное). Для насоса *4* целесообразно плавное частотное регулирование. Таким образом, даже в рамках одной системы для разных насосов (вентиляторов) рациональными могут оказаться неодинаковые методы регулирования.

6. Воздух от группы систем локализующей вентиляции с помощью вентилятора *4* подается в воздухоочистительный центр, расположенный в точке *c* (рис. 3). Линия *P – L*, является характеристикой совместной работы венти-

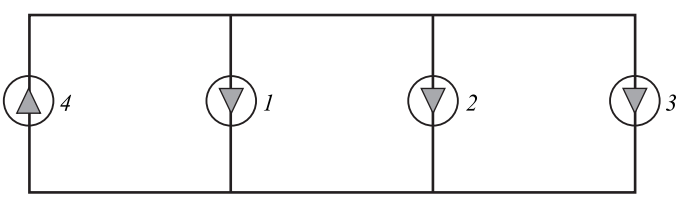


*Рис. 2*

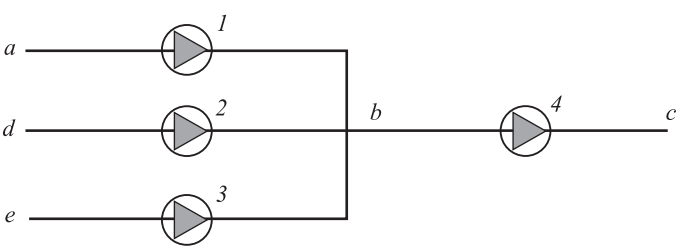


*Рис. 3*

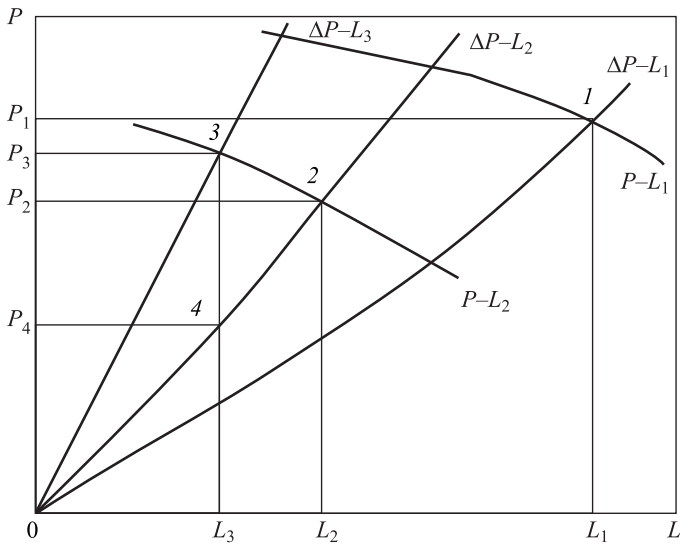


*Рис. 4*

ляторов *1*, *2*, *3*, *4*; линия $\Delta P - L_1$ – характеристика участка сети $b - c$; $L_1$ – суммарная производительность системы; $P_1$ – потери давления на участке $b - c$ (рис. 4). На первый взгляд, с точки зрения регулирования, этот случай идентичен предыдущему. На самом деле разница есть. В случае *5* основная часть регулирования объема подаваемой тепловой энергии происходит за счет изменения температуры воды. Степень изменения частоты вращения колеса насоса относительно невысока. В рассматриваемом сейчас примере возможны значительные колебания объема выпускаемой продукции. Соответственно меняются и число работающего оборудования, и объемы удаляемого воздуха. При уменьшении работающего оборудования отключаются соответствующие участки локализующей вентиляции и вентилятор *4* должен работать на меньших частотах вращения. Однако минимальная частота вращения ограничивается паспортной характеристикой. Пусть работает только технологическая линия $a - b$. Вентиляторы *2* и *3* выключены. Требуемый расход воздуха $L_3$. Характеристика работы вентиляторов *1* и *4* при минимальных частотах $P - L_2$. Характеристика участка $a - b - c$: $\Delta P - L_2$. *2* – рабочая точка системы. Расход $L_2 > L_3$. Снижение расхода до требуемого может быть достигнуто с помощью дросселирования на участке $b - c$. $\Delta P - L_3$ – характеристика участка $a - b - c$ после дросселирования. $P_3 - P_4$ – потери давления в дросселе. Таким образом в данной ситуации регулирование вентилятора *4* следует производить комбинированным способом.

7. Регулирование систем дополнительного проветривания производственных зданий в теплый период года. В холодный период воздухообмен в промышленных зданиях определяется из условия ассимиляции токсичных веществ и компенсации воздуха, удаляемого локализующей вентиляцией и на технологические нужды. В теплый период во многих случаях приходится устраивать дополнительную вентиляцию для борьбы с увеличивающимися, по сравнению с холодным временем года, теплопоступлениями. На рис. 5 показана суточная динамика теплопоступлений в помещение объемом 10 800 м$^3$, расположенное в Новосибирске. Режим работы трехсменный.

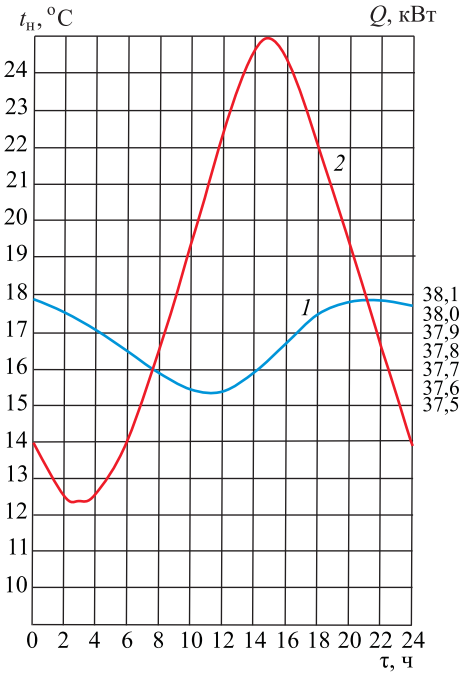


*Рис. 5*

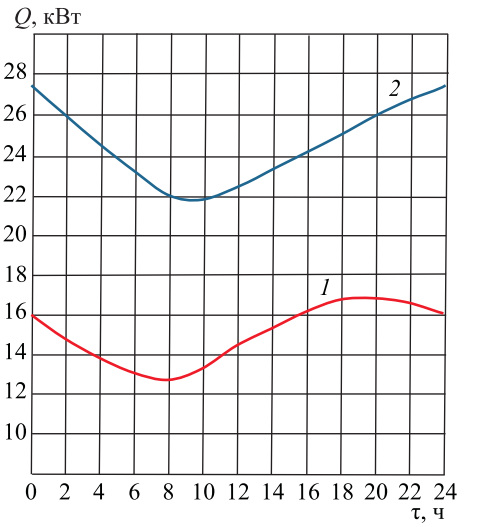


*Рис. 6*

Внутренние теплопоступления $Q$ = = 32,4 кВт. Вычисления производились в программе РНП «АВОК» 5.1 – 2008 «Расчет нагрузки на систему кондиционирования воздуха при нестационарных теплопоступлениях». На рис. 5 показана суточная динамика температуры наружного воздуха $t_н$ (кривая *2*), очевидно, что в ночное время целесообразно уменьшение объема охлаждающего воздуха. Однако выбрать тип регулирования без анализа носящей нелинейный характер суточной и сезонной динамики потребности в дополнительном охлаждении нельзя. Возможно, проще и дешевле периодически отключать системы летнего проветривания, не усложняя вентиляционные установки частотным регулированием. В помещениях, где в теплый период допускается открывание окон, дополнительный воздухообмен можно организовать с помощью вытяжных осевых вентиляторов, регулируя проветривание изменением числа включенных установок.

8. Регулирование систем ночного охлаждения помещений. На рис. 6 показана суточная динамика теплопоступлений $Q$ в описанное выше помещение при односменной (линия *1*) и двухсменной работе (линия *2*). Как видно из рис. 6, тепловая энергия поступает в помещение и в нерабочее время за счет ее аккумуляции в строительных конструкциях. В некоторых случаях с целью снижения воздухообмена в рабочие часы может оказаться целесообразно применение ночного проветривания. Но и в данном случае без специального анализа однозначно ответить на вопрос, какой метод регулирования выгоднее, невозможно, так как зависимость теплопоступлений от времени также является нелинейной функцией.

**Заключение.** Лишь в одном из восьми рассмотренных здесь примеров применимо частотное регулирование. В остальных – рациональным является комбинированное, либо для принятия решения о способе регулирования требуется специальный анализ. Следовательно, метод регулирования насосов и вентиляторов должен выбираться на основе исследования суточных и се-

зонных графиков потребности зданий и сооружений в теплой и горячей воде, в вентиляционном воздухе. В промышленных зданиях следует учитывать возможные колебания объема выпускаемой продукции. Необоснованное расчетами применение частотного регулирования может даже привести к увеличению расхода электрической энергии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Л е з н о в Б.С., Л а р и о н о в В.Н., Ш е п е л и н А.В. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. М.: Энергоатомиздат, 2006. 360 с.
2. К а л и н и н А.Г., Л а р и о н о в В.Н., Ш е п е л и н А.В. Эффективность применения регулируемого электропривода вытяжных вентиляторов. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2009. Вып. 2. С. 126–132.
3. Л е з н о в Б.С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. М.: Машиностроение, 2013. 176 с.
4. У с а ч е в А.П. Методика оценки эффективности частотного регулирования производительности насосных агрегатов // Энергосбережение. 2018. № 7. С. 57–63.
5. К и н с ф а т о р А.В. Оптимизация работы насосов и вентиляторов // Инженерные системы. АВОК Северо-Запад. 2017. № 3. С. 62–66.
6. В о з д в и ж е н с к и й В.Б., К о ш е л е в Н.И. Частотно-регулируемый привод. К вопросу установки на электродвигателях насосов холодного водоснабжения ЦТП // Энергосбережение. 2005. № 7. С. 66–69.
7. К а р а д ж и В.Г., М о с к о в к о Ю.Г. Поддержание заданной производительности вентилятора в сети // АВОК. 2010. № 7. С. 66–69.
8. Ш у м и л и н А.В. URSUM – новые возможности для оптимизации энергопотребления системы кондиционирования воздуха // АВОК. 2015. № 8. С. 10–13.
9. H i m l a J.W. Optimized fan control in variableair volume HVAC systems using staticpressure resets: strategy selection and savings analysis, Texas A&M university – Thesis for master of science degree. 2009. 70 p.
10. R o s e R.J., K o p k o W.L. A novel method for resetting dust static pressure for variable air volume system, Proceeding of the 1994 American Council for an Energy-Efficient Economy Summer Stady on Energy Efficiency in Buildings, Pacific Grove, CA. 1994. P. 5:219–223.
11. Н и к о л а е н к о И.В., Р ы ж а к о в А.Н. Нелинейная модель оптимизации параметров силовых агрегатов насосной станции подкачки системы водоснабжения // Изв. вузов. Строительство. 2019. № 4. С. 47–63.
12. К о с т и н В.И. Регулирование насосов и вентиляторов в системах теплоснабжения и климатизации // Изв. вузов. Строительство. 2015. № 11-12. С. 23–30.

**Костин Владимир Иванович**, д-р техн. наук, проф.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
**Должиков Виктор Николаевич**, канд. техн. наук
Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств

Получено 22.08.2019

**Kostin Vladimir Ivanovich**, DSc, Professor
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia
**Dolzhikov Viktor Nikolaevich**, PhD
Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts, Russia

## REGULATION OF PUMPS AND FANS IN ENGINEERING SYSTEMS OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Frequency control is theoretically the most economical way to change the parameters in the operation of pumps and fans. In this case, the change in the volume of the supplied medium is directly proportional to the change in the speed of the supercharger wheel. Meanwhile, in many cases, the change in the required flow rates of air, hot and cold water occurs according to nonlinear dependencies. Therefore, the applied methods of regulation of pumps and fans should be confirmed by the calculations based on the analysis of daily and seasonal dynamics of requirement of buildings and constructions in volumes of the environment supplied by superchargers.

K e y w o r d s: pumps, fans, regulation, engineering systems of buildings.

REFERENCES

1. L e z n o v B.S. Energosberezhenyie i reguliruyemyy privod v nasosnykh i vozdukhoduvnykh ustanovkakh [Energy saving and adjustable drive in pump and blower installations]. Moscow, Energoatomizdat, 2006. 360 p. (in Russian)
2. K a l i n i n A.G., L a r i o n o v V.N., S h e p e l i n A.V. Effektivnost' primeneniya reguliruyemogo elektroprivoda vytyazhnykh ventilyatorov [Efficiency of application of the regulated electric drive of exhaust fans]. Cheboksary, Publishing house of Chuvash State University, 2009. Vol. 2. Pp. 126–132. (in Russian)
3. L e z n o v B.S. Chastotno-reguliruyemyy elektroprivod nasosnykh ustanovok [Frequency-adjustable electric drive of pumping units]. Moscow, Mashinostroyeniye, 2013. 176 p. (in Russian)
4. U s a c h e v A.P. Metodika otsenki effektivnosti chastotnogo regulirovaniya proizvoditel'nosti nasosnykh agregatov [Method of evaluating the efficiency of frequency regulation of pump units performance]. Energosberezheniye [Energy saving]. 2018. No. 7. Pp. 57–63. (in Russian)
5. K i n s f a t o r A.V. Optimizatsiya raboty nasosov i ventilyatorov [Optimization of pumps and fans]. Inzhenernyye sistemy [System engineering]. AVOK Severo-Zapad [AVOK North-West]. 2017. No. 3. Pp. 62–66. (in Russian)
6. V o z d v i z h e n s k i y V.B., K o s h e l e v N.I. Chastotno-reguliruyemyy privod. K voprosu ustanovki na elektrodvigatelyakh nasosov kholodnogo vodosnabzheniya TsTP [Frequency-controlled drive. To the question of installation on electric motors of pumps of cold water supply of CTP]. Energosberezheniye [Energy saving]. 2005. No. 7. Pp. 66–69. (in Russian)
7. K a r a d z h i V.G., M o s k o v k o Yu.G. Podderzhaniye zadannoy proizvoditel'nosti ventilyatora v seti [Maintenance of the set speed of the fan in the network]. AVOK [AVOK]. 2010. No. 7. P. 66–69. (in Russian)
8. S h u m i l i n A.V. URSUM – novyye vozmozhnosti dlya optimizatsii energopotrebleniya sistemy konditsionirovaniya vozdukha [URSUM-new opportunities for optimization of energy consumption of air conditioning system]. AVOK [AVOK]. 2015. No. 8. Pp. 10–13. (in Russian)
9. H i m l a J.W. Optimized fan control in variableair volume HVAC systems using staticpressure resets: strategy selection and savings analysis, Texas A&M university – Thesis for master of science degree. 2009. 70 p.
10. R o s e R.J., K o p k o W.L. A novel method for resetting dust static pressure for variable air volume system, Proceeding of the 1994 American Council for an Energy-Efficient Economy Summer Stady on Energy Efficiency in Buildings, Pacific Grove, CA. 1994. Pp. 5:219–223.

11. N i k o l a e n k o I.V., R y z h a k o v A.N. Nelineynaya model' optimizatsii parametrov silovykh agregatov nasosnoy stantsii podkachki sistemy vodosnabzheniya [Nonlinear model of optimization of parameters of power units of pumping station of pumping system of water supply]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2019. No. 4. Pp. 47–63. (in Russian)
12. K o s t i n V.I. Regulirovaniye nasosov i ventilyatorov v sistemakh teplosnabzheniya i klimatizatsii [Regulation of pumps and fans in heating and air conditioning systems]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2015. No. 11-12. Pp. 23–30. (in Russian)