

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОНАПРЯЖЕННОСТИ МАШИННОГО ЗАЛА ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

Разаков М.А.^{1,2}

¹Московский энергетический институт, г. Москва, Россия

²Российский биотехнологический университет, г. Москва, Россия

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0419-4522>, RazakovMA@mpei.ru

Резюме: *ЦЕЛЬ.* Рассмотреть влияние отключения системы отопления на теплонапряженность машинного зала высоковольтной городской канализационной насосной станции. Определить, как влияет полное отключение системы отопления на тепловой режим рассматриваемого помещения при неизменных требованиях к тепловлажностным параметрам микроклимата внутреннего воздуха. Провести численный эксперимент моделирования стационарного теплового режима машинного зала с учетом основных технологических процессов в машинном зале высоковольтной городской канализационной насосной станции. Выполнить адаптацию разработанной модели теплового режима для моделирования отключения системы отопления. Рассмотреть распределение тепловых потерь помещения машинного зала при поддержании постоянной температуры воздуха. *МЕТОДЫ.* При решении поставленной задачи применялся метод расчета проектного стационарного режима машинного зала, разработанный в прошлых работах автора. *РЕЗУЛЬТАТЫ.* В статье описана актуальность темы, рассмотрена особенность изменения теплонапряженности машинного зала при отключении системы отопления и иных факторов. Приведены результаты расчета тепловых избытков при различном количестве работающих насосов и изменении температуры сточных вод. *ЗАКЛЮЧЕНИЕ.* Отключение системы отопления снижает теплонапряженность помещения машинного зала в среднем на 0,3-0,4 Вт/м³. Данный способ энергосбережения способствует снижению расхода тепловой энергии и рекомендуется к использованию в рассматриваемом помещении. Экономия от использования данного метода энергосбережения для рассматриваемого типа канализационной насосной станции при проектном режиме эксплуатации составляет 890 000 рублей в год.

Ключевые слова: теплонапряженность; тепловой режим; система водоотведения; высоковольтная канализационная насосная станция; тепловые избытки; система отопления; технологический процесс.

Для цитирования: Лаптев А.Г., Лаптева Е.А., Аласгарли С.У. Эффективность охлаждения жидкостей в турбулентном барботажном слое на ситчатых тарелках // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2022. Т. 24. № 6. С. 133-142. doi:10.30724/1998-9903-2022-24-6-133-142.

ENGINE ROOM THERMAL DENSITY SPECIALS IN HEATING SYSTEMS SHUTDOW PROCESS

MA. Razakov^{1,2}

¹Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia

²Russian Biotechnological University, Moscow, Russia

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0419-4522>, RazakovMA@mpei.ru

Abstract: *THE PURPOSE.* Consider the effect of heating system turning off process on the engine room thermal density in a high-voltage city sewage pumping station. Determine how the heating system shutdown affects to the considered room thermal regimes with unchanged requirements for the indoor air microclimate thermal and moisture parameters. Do a numerical experiment which simulates the stationary thermal regime of engine room and taking into account the main technological process in this room of a high-voltage city sewage pumping

station. Perform adaptation of thermal regime developed model to simulate the heating system turning off process. Describe the distribution of heat losses in the engine room while maintaining a constant air temperature. **METHODS.** When solving the task, author has used the method of calculating the engine room design stationary mode. **RESULTS.** Researcher describes the relevance of the topic, considers the specials of the change in the engine room thermal density when the heating system is turned off and other factors. Author has presented the results of the thermal excesses calculation for different numbers of operating pumps and changes in wastewater temperature. **CONCLUSION.** The turning off process of the heating system reduces the thermal density of the engine room by an average of $0.3 - 0.4 \text{ W/m}^3$. This method of energy saving helps to reduce the consumption of thermal energy and could be used in this part of sewage pumping station. The economical effect of proposed energy saving measurement will be in economical index reducing. It will be 890 000 rubles saving per year for this type of sewage pumping station in designed mode.

Keywords: heat tension; thermal conditions; sewage system; high voltage sewage pumping station; thermal excesses; heating system; technological process.

For citation: Razakov M.A. Engine room thermal density specials in heating systems shutdown process. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2022;24(6):133-142. doi:10.30724/1998-9903-2022-24-6-133-142.

Введение

Городская инфраструктура жилищно-коммунального хозяйства включает в себя большое количество зданий и сооружений гражданского и промышленного назначения. Одним из основных комплексов города является система водоотведения. Она состоит из сооружений, для которых необходимо подключение энергетических систем (систем электро- и теплоснабжения). Несмотря на то, что в системе канализации существуют гравитационные элементы (трубопроводы и отстойники со сточными водами) большинство зданий и сооружений используют тепловую и электрическую энергии. Современные отечественные и зарубежные исследования в области энергосбережения для системы водоотведения посвящены снижению энергопотребления за счет оптимизации технологических процессов и повышения эффективности использования электрической энергии. Причем рассмотрены как здания городских канализационных насосных станций [1-4], так и очистные сооружения [3-6]. Исключение составляют работы Волкова В.В., Прохорова В.И., Хохлова В.А. и других авторов. В них они рассмотрели основные принципы энергосбережения в теплопотребляющих системах канализационных сооружений и варианты использования тепловых насосов, извлекающих теплоту от сточных вод, а также возможности использования продуктов брожения микроорганизмов на очистных сооружениях [7-10]. Несомненно, расход электрической энергии в комплексе системы водоотведения является основным по отношению к расходу тепловой энергии. Но расход энергии на тепловые нужды рассматриваемых сооружений также необходимо постоянно учитывать в связи с тем, что без данного типа энергии невозможно обеспечивать работу энергетических устройств, использующих электрическую энергию [11, 12].

Исследования теплопотребления инженерных систем канализационных насосных станций (КНС) в основном приведены в странах, где наблюдается холодный климат. При этом также необходимо учитывать, что системы канализации зарубежных стран отличаются от отечественных систем по своему строению. За рубежом децентрализованных систем водоотведения больше, чем в Российской Федерации и странах СНГ. Поэтому количество высоковольтных КНС в России больше, и для нашей страны не менее актуальным является планирование энергосберегающих мероприятий для данных типов сооружений. Некоторые особенности технологических процессов в низковольтных и высоковольтных канализационных насосных станциях приведены в работе В.И. Прохорова [11]. Основным способом снижения энергопотребления КНС является использование частотного регулятора для электроприводов насосных агрегатов. Данному способу посвящен ряд отечественных и зарубежных исследований [13-18]. При этом в работах иностранных авторов внимание уделяется математическим моделям и алгоритмам регулирования, которые используют временные фактические анализаторы расхода сточных вод с сохранением и автоматическим корректированием работы электрических двигателей [5, 19, 20]. Менее эффективные способы снижения

потребления электрической энергии приведены в работах [21, 22]. Все приведенные выше способы относятся к непосредственному процессу перекачивания сточных вод и снижению расхода электрической энергии в КНС. Тепловая энергия в канализационной насосной станции необходима для систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения. Некоторые результаты исследования потребления тепловой энергии КНС представлены в работе Рыбакова Р.С. и Прохорова В.И. [23, 24]. Основным способом снижения теплотребования для КНС является использование теплового насоса. Источником теплоты для него является сточная вода. Применение теплового насоса на КНС ограничивается в связи с особенностями процессов на сооружениях по очистке сточных вод. На некоторых этапах данного процесса необходима температура сточных вод выше $+10^{\circ}\text{C}$ [25-27]. При снижении температуры необходим дополнительный подогрев сточных вод, который приводит к увеличению общего теплотребования системы водоотведения. При данных условиях становится актуальным поиск иных энергосберегающих мероприятий на канализационной насосной станции.

Материалы и методы

Снижение затрат тепловой энергии для системы отопления в городской канализационной насосной станции необходимо производить с помощью компенсации тепловых потерь за счет внутренних источников энергии. Некоторые результаты моделирования теплообменных процессов в канализационной насосной станции представлены в предыдущих работах автора данного исследования и авторов из СНГ [28-30]. Одним из эффективных способов энергосбережения и снижения тепловых избытков в помещении с высокой теплонапряженностью является полное отключение данной системы. Он возможен не для всех типов помещений в КНС. Поэтому использование данного способа предполагается только для машинного зала высоковольтного типа сооружения из-за наличия больших источников тепловых избытков. Отключение системы отопления как способ энергосбережения и снижения тепловых избытков никогда не рассматривается для данных помещений, несмотря на то, что снижение температуры воздуха в машинном зале предусматривалось в рамках аварийного периода работы системы отопления [31]. Иной вероятной причиной малого количества исследований для высоковольтных типов КНС является их незначительное распространение в мировой и отечественной практике строительства, ввиду широкого диапазона их стоимости в сравнении с низковольтными типами канализационных насосных станций. Еще одной причиной отсутствия научно-исследовательских работ в данной области является распространение гравитационных систем водоотведения в городах. В низковольтных КНС у насосных агрегатов также имеются электродвигатели, но их удельная мощность не превышает 400 кВт [22]. В современном мире большое распространение получили насосные установки с мощностью электродвигателя от 65 до 120 кВт. На рис. 1 и 2 представлена принципиальная схема высоковольтной канализационной насосной станции [8,28].

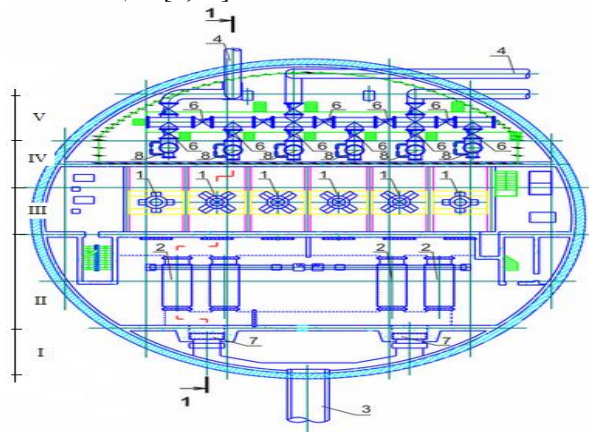


Рис. 1. План подземной части КНС:
1 – Насосная установка; 2 – Грабелевая решетка; 3, 4 – Трубопровод со сточными водами (подающий и отводящий); 5, 6 – Задвижки (на подающем и отводящем трубопроводах); 7 – Затвор; 8 – Клапан; 9 – Напорный трубопровод.

Fig. 1. Underground part of sewage pumping station: 1 – Pump; 2 – Rake grate; 3, 4 – Pipeline with waste water (supply and discharge); 5, 6 – Gate valves (on the supply and discharge pipelines); 7 – Shutter; 8 – Valve; 9 – Pressure pipeline.

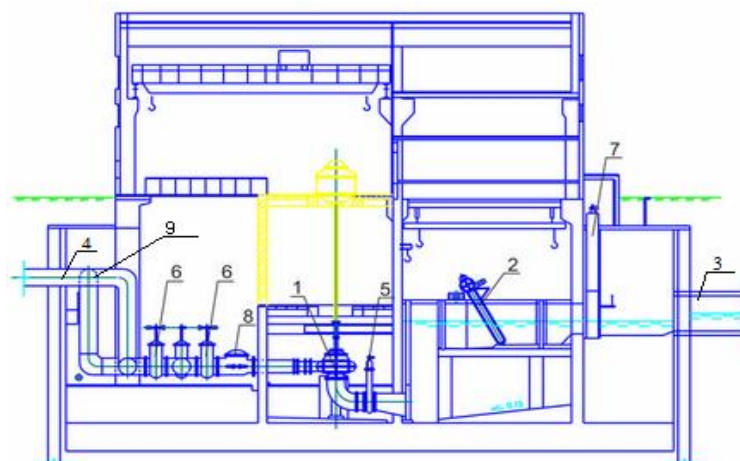


Рис. 2. Разрез 1-1 канализационной насосной станции
(Условные обозначение идентичны рисунку 1)

Fig. 2. Section 1-1 of the sewage pumping station
(Symbols are identical to Figure 1)

Для определения влияния полного отключения системы отопления на теплонапряженность машинного зала и на эксплуатационные затраты были использованы данные исследования эксплуатируемой АО Мосводоканал высоковольтной канализационной насосной станции. Избытки теплоты были определены для 1, 2, 3, 4, 5 постоянно работающих высоковольтных насосов. Удельная электрическая мощность электродвигателя составила 1,6 МВт. Коэффициент полезного действия равен 93 %. Основные элементы насосного оборудования представлены на рисунках 3 и 4.



Рис. 3. Внешний вид электродвигателя

Fig. 3. Appearance of electric motor

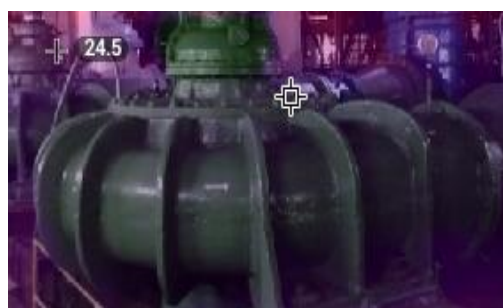


Рис. 4. Внешний вид насоса

Fig. 4. Waste water pump

На рисунках 5 и 6 представлен внешний вид и термограмма иного основного источника тепловых поступлений в машинном зале городской канализационной насосной станции – грабельного отделения.



Рис. 5. Внешний вид отделительной стены между машинным залом и грабельным отделением

Fig. 5. Separation wall between the engine room and rake room



Рис. 6. Термограмма отделительной стены между машинным залом и грабельным отделением

Fig. 6. Thermogram of the separating wall between the engine room and the rake room

Объем помещения машинного зала равен 15080 м^3 . Температура в помещении машинного зала принята равной $+21 \text{ °C}$. Затраты рассчитывались согласно требованиям энергетического паспорта зданий и сооружений. Необходимо отметить, что энергопаспорт не является обязательным для КНС из-за отсутствия различных данных для этого типа сооружения у составителя документа, но при корректном расчете он может быть использован для оценки проектного расхода тепловой энергии. Для расчета тепловой напряженности в помещении необходимо определение всех составляющих теплового баланса помещения. В выражении (1) представлено балансовое уравнение, описывающее тепловые потоки в машинном зале и учитывающее все источники теплоты и холода:

$$\sum Q_{\text{т.п.}(1)} + Q_{\text{у.п.}} = \sum Q_{\text{т.п.}(2)} + Q_{\text{п.в.}} \quad (1)$$

где: $\sum Q_{\text{т.п.}(1)}$ – суммарные тепловые поступления от различных источников теплоты (освещение; основное насосное оборудование; переменные источники, например, сточные воды) в помещение машинного зал без учета теплосодержания уходящего воздуха, кВт;

$\sum Q_{\text{т.п.}(2)}$ – суммарные тепловых потери от различных источников холода (ограждающие конструкции, соприкасающиеся с грунтом; ограждающие конструкции, соприкасающиеся с наружным воздухом; переменные источники, например, сточные воды; инфильтрационный воздух) в помещении машинного зал без учета теплосодержания приточного воздуха, кВт;

$Q_{\text{п.в.}}$ – теплосодержание приточного воздуха, подаваемого в машинный зал, кВт;

$Q_{\text{у.п.}}$ – теплосодержание удаляемого из помещения машинного зала воздуха, кВт;

Теплонапряженность помещения характеризуется коэффициентом теплонапряженности, который определяется по формуле (2). Если коэффициент теплонапряженности помещения выше значения 23 Вт/м^3 , то данное помещение можно отнести к помещениям с высокой теплонапряженностью:

$$q_{\text{т.н.}} = \frac{Q_{\text{т.и.}}}{V_{\text{пом}}} \quad (2)$$

где: $Q_{\text{т.и.}}$ – тепловые избытки в помещении с учетом тепловых потерь от источников холода, Вт;

$V_{\text{пом}}$ – объем помещения, м^3 .

В выражении (3) представлен способ расчета эксплуатационных годовых затрат тепловой энергии согласно методике, приведенной в энергетическом паспорте:

$$\mathcal{E}_{\text{т.э. (год)}} = 0,024(t_{\text{вн}} - t_{\text{н.ср}})d \frac{Q_{\text{с.о}}^{\text{p}}}{(t_{\text{вн}} - t_{\text{н}})} \frac{n}{24} \quad (3)$$

где: $t_{\text{вн}}$ – температура внутреннего воздуха, °C;

$t_{\text{н.ср.}}$ – средняя температура воздуха за отопительный период, °C;

$t_{\text{н}}$ – температура наружного воздуха, °C;

$Q_{\text{с.о.}}^{\text{p}}$ – проектные часовые тепловые потери здания, Вт;

n – количество часов работы системы отопления в сутки, ч.

Результаты и обсуждение

Суммарные проектные тепловые потери машинного зала и грабельного отделения для рассматриваемой высоковольтной канализационной насосной станции составили 68 200 Вт. 89 % от данных тепловых потерь приходится на машинный зал. Для расчета тепловых потерь подземной части КНС была применена зональная методика [32]. Суммарные тепловые поступления в машинный зал и грабельное отделение при температуре сточных вод равной 21 °C составили 658 241 Вт, а при температуре сточных вод равной 25 °C – 663 844 Вт. 91,80%¹ и 91,87%² от всех тепловых поступлений составили тепловые поступления в помещение машинного зала. Основными источниками избытков теплоты в машинном зале являются электродвигатель от насосного оборудования, на который приходится 86,8%¹ (86,1%²) тепловых поступлений в машинном зале, и грабельное отделение, на которое приходится до 3,65%¹ и 3,62%² от аналогичного показателя помещения. На рисунке 7 приведены результаты только тепловых потерь (поступлений) от грабельного отделения.

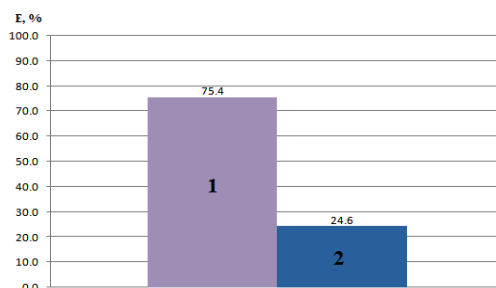


Рис. 7. Процентное распределение тепловых потерь в грабельном отделении при температуре в помещении равной +23 °C и температуре сточных вод равных +25 °C (E, %):

1 – тепловые потери в окружающий КНС грунт; 2 – тепловые потери от грабельного отделения в машинный зал

Fig.. 7. Percentage distribution of heat loss in the rake chamber at a room temperature of +23 oC and a wastewater temperature of +25 °C (E, %):

1 - thermal losses to the surrounding KNS ground; 2 - thermal losses from the rake chamber to the engine room

В таблице приведены результаты моделирования теплонапряженности машинного зала при отключении системы отопления.

Таблица

Суммарные составляющие тепловых избытков в машинном зале

Кол-во работающих насосов	Теплонапряженность машинного зала ^{а)} , Вт / м ³	Теплонапряженность машинного зала ^{б)} , Вт / м ³	Теплонапряженность помещения при отключении системы отопления*, Вт / м ³	Теплонапряженность помещения при отключении системы отопления**, Вт / м ³
I	10,4	10,7	6,3	6,6
II	17,8	18,1	13,8	14,1
III	25,2	25,5	21,2	21,5
IV	32,6	33,0	28,6	28,9
V	40,1	40,4	36,0	36,4

^{а)} температура сточных вод равна 21 °C;

^{б)} температура сточных вод равна 25 °C.

¹ При температуре сточных вод 21 °C

² При температуре сточных вод 25 °C

Теплонапряженность машинного зала при пяти работающих насосных установках и температуре сточных вод равной 21 °С, составила 40,1 Вт/м³. При повышении температуры сточных вод на 4 °С, теплонапряженность в помещении повысится на 0,3 Вт/м³. При отключении системы отопления теплонапряженность машинного зала равна 36,4 Вт/м³ (при условии, что температура сточных вод равна 25 °С). При значении температуры сточных вод 21 °С, теплонапряженность помещения снизится на 0,4 Вт/м³. Снижение теплонапряженности при отключении системы отопления в помещении составит 4,1 Вт/м³ и 4,0 Вт/м³ при различном количестве работающих насосных установок и температуре сточных вод. Годовой проектный расход тепловой энергии для системы отопления рассматриваемой канализационной насосной станции составит 153 447 кВтч. Если учитывать, что в машинном зале КНС используется электрическое отопление и стоимость 1 кВт ч равна 5,8 рублей, то суммарная проектная стоимость затрат на данный вид энергопотребления составит 890 000 рублей. При полном отключении системы отопления помещения машинного зала данные затраты будут равны 0, что позволит направить полученные средства на модернизацию сооружения. Модернизация может быть связана с энергосберегающими мероприятиями основного технологического оборудования, а также с вторичным оборудованием, которое используется для поддержания в рабочем состоянии главных производственных мощностей сооружения.

Заключение

Отключение системы отопления в машинном зале высоковольтной канализационной насосной станции является одним из эффективных способов снижения расхода тепловой энергии в здании без дополнительных финансовых вложений. Данный способ энергосбережения рекомендуется использовать во всех высоковольтных типах КНС для машинного зала при планировании сокращения расходов энергопотребления.

Литература

1. Filipe J., Bessa R. J., Reis M., et al. Data-driven predictive energy optimization in a wastewater pumping station // *Applied Energy*. 2019. V. 252. p. 113423.
2. Rinas M., Tränckner J., Koegst T. Sedimentation of raw sewage: Investigations for a pumping station in northern Germany under energy-efficient pump control // *Water*. 2018. V. 11, N1. p. 40.
3. Jorge C., Almeida M. D. C., Covas D. A novel energy balance tailored for wastewater systems // *Urban Water Journal*. 2022. V. 19, N5. pp. 441-452.
4. Leber T., Meisel M., Gamauf T., et al. Preparations for demand response on a municipal level. *IEEE Africon 2011*. Victoria Falls, Zambia. IEEE; 2011. p. 6072124. doi:10.1109/AFRCON.2011.6072124
5. Кофман В. Я. Повышение энергоэффективности очистных сооружений канализации за рубежом // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2012. № 9. с. 65-72.
6. Битиев А.В., Басов Н.С., Устюжанин А.В., и др. Прогнозирование энергосберегающего эффекта управляемой подачи воздуха для Ново-Люберецких очистных сооружений // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2018. № 9. с. 47-56.
7. Khavanov P., Volkov V. Ensuring Energy Efficiency and Environmental Friendliness of the Ventilation Systems with Baths Wastewater Treatment. In: Solovev D.B. editor. *International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies 2019 (FarEastCon 2019)*; Vladivostok, Russia. IEEE; 2019. p. 8934406.
8. Makisha N., Shevchenko-Enns E. Review of Energy Saving and Energy Efficiency Approaches Applied in Water Sector in Russia // *E3S Web of Conferences*. 2019. V. 97. p. 01040.
9. Васильев Г.П., Пасков В.В., Абуев И.М., и др. 12-летний опыт эксплуатации теплонасосной установки на районной тепловой станции // *Сантехника, отопление, кондиционирование*. 2016. № 4. С. 30-32.
10. Smirnov A., Tsabolov K., Ineshina L., et al. Using biogas as an energy source // *E3S Web of Conferences*. 2021. V. 263. p.04064.
11. Прохоров В. И., Разаков М.А. Особенности применения теплоутилизационного оборудования на канализационных насосных станциях // *Вестник МЭИ*. 2022. № 2. С. 45-55.
12. Khohlov V., Razakov M. Energy Saving in Municipal Sewage Pumping Station // *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. V. 1683, N5. p. 052003.
13. Hedes A., Svoboda M., Anton L. E., et al. In: Basile S., Boscaino V., Burattini C., et al., editors. *In situ measurements on the electrical motors of hydraulic pumps installed in a wastewater station*. IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering

2018 and IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe 2018 (IEEEIC 2018 / I&CPS Europe 2018); Palermo, Italy. IEEE; 2018. p. 8494589.

14. Möller E., Pensler T., Thamsen P. U. Effect of speed variation on clogging of sewage pumps. American Society of Mechanical Engineers, Fluids Engineering Division Summer Meeting FEDSM 2021; New York, USA. ASME; 2021. V. 2. p. V002T00A001.

15. Wang X., Zhou X., & Zhang L. Energy-saving mechanism and control strategy of sewage pumping station system // Journal of Zhejiang University (Engineering Science). 2005. V. 39, N7. p. 1068-1071;

16. Васенин А. Б., Степанов С.Е., Крюков О.В. Основные проблемы и новые технические средства автоматизации системы канализационных насосных станций // Экологические системы и приборы. 2019. № 11. С. 3-8.

17. Усачев А. П. Методика оценки эффективности частотного регулирования производительности насосных агрегатов КНС // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 1. С. 42-51.

18. Мальцев А. Н., Хватов О.С. Определение энергоэффективных режимов работы насосных агрегатов с частотно-регулируемым электроприводом на канализационных станциях // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. 2017. № 4(119). С. 100-107.

19. Moreno-Rodenas A. M., Duinmeijer A., Clemens F. H. L. R. Deep-learning based monitoring of FOG layer dynamics in wastewater pumping stations // Water Research. 2021. V. 202. p. 117482.

20. Ganora D., Isacco S., Claps P. Framework for enhanced stormwater management by optimization of sewer pumping stations. Journal of Environmental Engineering (United States). 2017. V. 143, N8. p. 04017025.

21. Березин С. Е., Баженов В.И. Новации энергосбережения в ВКХ, проверенные практикой // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2016. № 5. С. 48-55.

22. Березин С.Е. и др. Насосные станции с погружными насосами. Расчет и конструирование. Стройиздат. 2008 г. 160 с.

23. Рыбаков Р. С., Темный Д.С., Битиев А.В. Сравнительная оценка расчетного и фактического энергопотребления канализационных насосных станций // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 11. С. 38-41.

24. Прохоров В.И., Разаков М.А., Чернова Р.В. Теплопотребление городской канализационной насосной станции // Яковлевские чтения : Сборник докладов XIV Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева и 90-летию со дня создания факультета «ВиВ» Москва, 14–15 марта 2019 года. Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2019. С. 128-135.

25. Gilbert E. M., Agrawal S., Karst S. M., Horn H., Nielsen P. H., Lackner S. Low temperature partial nitrification/anammox in a moving bed biofilm reactor treating low strength wastewater // Environmental science & technology. 2014. V. 48, N 15. pp. 8784-8792.

26. Белова Д. Д. Подбор носителей и параметров иммобилизации консорциума микроорганизмов-деструкторов фосфатов // Вестник КрасГАУ. 2018. № 2(137). С. 294-299.

27. Колесников В. П., Ксенофонтов Б. С., Черникова Л. Ю., и др. Комбинированные сооружения для очистки сточных вод поселков и городов России // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 11. С. 27-34.

28. Prokhorov V., Rymarov A., Razakov M., Kosarev A. Specialized method of calculating heat input from wastewater in the premises of the sewage pumping stations // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. V. 463, N 3. p. 032073.

29. Кугаевская Т.С., Зубричева Л.Л. Тепловые и тепловоздушные балансы канализационной насосной станции // Сборник научных трудов SWorld. 2014. Т. 18. Вып. 1. С. 71-75.

30. Прохоров В. И., Разаков М.А., Белоглазов А.Р. Качественная и количественная оценка тепlopоступлений от сточных вод в помещение канализационной насосной станции // Естественные и технические науки. 2017. № 7(109). С. 143-146.

31. Рымаров, А. Г., Разаков М.А., Чернова Р.В. Управление работой системы отопления на канализационных насосных станциях // Естественные и технические науки. 2017. № 12(114). с. 293-295.

32. Малявина Е. Г., Иванов Д.С., Михеева Е.А. Сравнение результатов расчета тепlopотерь заглубленных в грунт частей зданий по существующим инженерным методикам // Естественные и технические науки. 2015. № 6(84). С. 549-552.

Автор публикации

Разаков Мухаммет Азатович – ассистент кафедры «Энергетические и Гидротехнические Сооружения» (ЭГТС) Московский энергетический институт (НИУ МЭИ); старший преподаватель кафедры «Инженерия процессов, аппаратов, холодильной техники и технологии» Российский биотехнологический университет (ФГБОУ ВО Росбиотех-МГУПП).

References

1. Kofman VYa. Improving the operating efficiency of the wastewater treatment facilities overseas. *Water supply and sanitary technique*. 2012;9: 65-72.
2. Bitiev AV, Basov NS, Ustiuzhanin AV, et al. predicting energy-efficient effect of the controlled air delivery at the Novo-Liuberetskie wastewater treatment facilities. *Water supply and sanitary technique*. 2018;9:47-56.
3. Leber T, Meisel M, Gamauf T, et al. Preparations for demand response on a municipal level. *IEEE Africon 2011; Victoria Falls, Zambia*. IEEE; 2011. p. 6072124. doi:10.1109/AFRCON.2011.6072124
4. Jorge C, Almeida M DC, Covas D. A novel energy balance tailored for wastewater systems. *Urban Water Journal*. 2022; 19(5): 441-52. doi:10.1080/1573062X.2022.2035409
5. Filipe J, Bessa RJ, Reis M, et al. Data-driven predictive energy optimization in a wastewater pumping station. *Applied Energy*. 2019; 252: 113423. doi:10.1016/j.apenergy.2019.113423
6. Rinas M, Tränckner J, Koegst T. Sedimentation of raw sewage: Investigations for a pumping station in northern Germany under energy-efficient pump control. *Water*. 2018;11 (1): 40. doi:10.3390/w11010040.
7. Khavanov P, Volkov V. Ensuring Energy Efficiency and Environmental Friendliness of the Ventilation Systems with Baths Wastewater Treatment. In: Solovov D.B. editor. *International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies 2019 (FarEastCon 2019); Vladivostok, Russia*. IEEE; 2019. p. 8934406. doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934406.
8. Prohorov VI, Razakov MA. Specific features of applying heat recovery equipment at sewage pumping stations. *Bulletin of Moscow Power Engineering Institute*. 2022; 2: 45-55. doi:10.24160/1993-6982-2022-2-45-55.
9. Khohlov V, Razakov M. Energy Saving in Municipal Sewage Pumping Station. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020; 1683(5): 052003. doi:10.1088/1742-6596/1683/5/052003.
10. Makisha N, Shevchenko-Enns E. Review of Energy Saving and Energy Efficiency Approaches Applied in Water Sector in Russia. *E3S Web of Conferences*. 2019;97:01040. doi:10.1051/e3sconf/20199701040.
11. Vasilyev GP, Paskov VV, Abuyev IM, et al. 12-letniy opyt ekspluatatsii teplonasosnoy ustanovki na rayonnoy teplovoy stantsii. *Plumbing, Heating, Air-Conditioning*. 2016; 4: 30-32.
12. Smirnov A, Tsabolov K, Ineshina L, et al. Using biogas as an energy source. *E3S Web of Conferences*. 2021; 263: 04064. doi:10.1051/e3sconf/202126304064
13. Hedes A, Svoboda M, Anton LE, et al. In: Basile S, Boscaino V, Burattini C, et al., editors. In situ measurements on the electrical motors of hydraulic pumps installed in a wastewater station. *IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering 2018 and IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe 2018 (EEEIC 2018 / I&CPS Europe 2018)* 2018; Palermo, Italy. IEEE; 2018. p. 8494589. doi: 10.1109/EEEIC.2018.8494589
14. Möller E, Pensler T, Thamsen PU. Effect of speed variation on clogging of sewage pumps. *American Society of Mechanical Engineers, Fluids Engineering Division Summer Meeting FEDSM 2021; New York, USA*. ASME; 2021. V. 2. p. V002T00A001. doi:10.1115/FEDSM2021-65515.
15. Moreno-Rodenas AM, Duinmeijer A, Clemens FHL. R. Deep-learning based monitoring of FOG layer dynamics in wastewater pumping stations. *Water Research*. 2021; 202: 117482. doi:10.1016/j.watres.2021.117482.
16. Ganora D, Isacco S, Claps P. Framework for enhanced stormwater management by optimization of sewer pumping stations. *Journal of Environmental Engineering (United States)*. 2017; 143(8): 04017025. doi:10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001220
17. Wang X, Zhou X, & Zhang L. Energy-saving mechanism and control strategy of

sewage pumping station system. *Journal of Zhejiang University (Engineering Science)*. 2005; 39(7): 1068-71.

18. Vasenin AB, Stepanov SE, Kryukov OV. Main problems and new technical means of automation sewage pumping station systems. *Ecological Systems and Devices*. 2019;11: 3-8. (In Russ). doi:10.25791/esip.11.2019.981

19. Usachev AP. Method of evaluating the effectiveness of frequency regulation of the performance of sewage pumping units. *Water supply and sanitary technique*. 2020;1:42-51. doi:10.35776/MNP.2020.01.06

20. Maltsev AN, Khvatov OS. The definition of energy efficient modes in pumping units operation with variable frequency drives at the sewer stations. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva*. 2017; 119(4): 100-107.

21. Berezin SE, Bazhenov VI. Novatsii energosberezheniya v VKKH, proverennyye praktikoy. *Nailuchshiy dostupnyye tekhnologii vodosnabzheniya i vodootvedeniya*. 2016;5:48-55.

22. Berezin SE, et al. *Nasosnyye stantsii s pogrulzhnymi nasosami. Raschet i konstruirovaniye*. Moscow: Stroyizdat; 2008.

23. Rybakov RS, Temnyi DS, Bitiev AV. Comparative assessment of the estimated and actual energy consumption of sewage pumping stations. *Water supply and sanitary technique*. 2020; 11: 38-41.

24. Prokhorov VI, Razakov MA, Chernova RV. Teplopotrebleniye gorodskoy kanalizatsionnoy nasosnoy stantsii. In: Andrianov A.P. editors. *XIV Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya, posvyashchennaya pamyati akademika RAN S.V. Yakovleva i 90-letiyu so dnya sozdaniya fakul'teta «ViV»*; 14–15 March 2019; Moscow, Russia. Moscow: MGSU Publ., 2019. pp. 128-135.

25. Gilbert EM, Agrawal S, Karst SM, et al. Low temperature partial nitrification/anammox in a moving bed biofilm reactor treating low strength wastewater. *Environmental science & technology*. 2014; 15(48): 8784-92.

26. Belova DD. Selection carriers and parameters for the immobilization of consortium of microorganisms-destroyers of phosphates. *Bulletin of KSAU*. 2018; 137 (2): 294-299.

27. Kolesnikov VP, Ksenofontov BS, Chernikova L Yu, et al. Combined facilities for wastewater treatment in Russian cities and communities. *Water supply and sanitary technique*. 2020; 11: 27-34.

28. Prokhorov V, Rymarov A, Razakov M, Kosarev A. Specialized method of calculating heat input from wastewater in the premises of the sewage pumping stations. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018;463 (3):032073. doi: 10.1088/1757-899X/463/3/032073.

29. Kugayevskaya TS, Zubricheva LL. Teplovyye i teplovozdushnyye balansy kanalizatsionnoy nasosnoy stantsii. *Sbornik nauchnykh trudov Sworld*. 2014; 18 (1): 71-75.

30. Prokhorov VI, Razakov MA, Beloglazov AR. Qualitative and quantitative assessment of heat transfer from waste water to the sewage pumping station rooms. *Natural and Technical Sciences*. 2017;109 (7):143-146.

31. Rymarov AG, Razakov MA, Chernova RV. Operation control of the heating system at sewage pumping stations. *Natural and Technical Sciences*. 2017; 114 (12): 293-295.

32. Malyavina EG, Ivanov DS, Mikheyeva EA. Comparison of the results of calculating the heat loss of parts of buildings buried in the ground according to existing engineering methods. *Natural and Technical Sciences*. 2015; 84 (6): 549-552.

Author of the publication

Muhammet A. Razakov – Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia; Russian Biotechnological University, Moscow, Russia.

Получено

21.11.2022г.

Отредактировано

28.11.2022г.

Принято

01.12.2022г.