

УДК 621.64/.69

Юлия Александровна Петрова

Оренбургский государственный университет, магистрант кафедры электро- и теплоэнергетики, Россия, Оренбург, e-mail: MironovaYu99@gmail.com

Виталий Юрьевич Соколов

Оренбургский государственный университет, кандидат технических наук, доцент кафедры электро- и теплоэнергетики, Россия, Оренбург, e-mail: teploosu@mail.ru

Реализация методики проектирования теплогенерирующих объектов с использованием автоматизированных расчетов и ориентацией на типовое проектирование

Авторское резюме

Состояние вопроса. Качество выполнения проекта во многом определяет работоспособность и экономичность проектируемого объекта. Существуют различные методы проектирования, каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки, анализ которых можно найти в опубликованных исследованиях. В связи с этим была разработана методика, позволяющая уменьшить вероятность допущения ошибки в построении системы и сократить время с помощью использования расчетных программ. Целью данного исследования является реализация разработанной нами методики на примере проектирования насосной аккумулирующих баков.

Материалы и методы. Исследование проведено на модели трубопровода, построенной в программе СТАРТ-Проф, позволяющей с большой точностью оценить нагрузки от всех воздействий (температурных, весовых и т.д.) на трубопроводы и оборудование.

Результаты. На основе анализа существующих методов проектирования разработана собственная методика, опирающаяся на типовое проектирование и предполагающая использование средств автоматизации прочностных расчетов. Выполнены построение обвязки насосного оборудования по разработанной методике и расчет построенной модели. Получены значения нагрузки на штуцера оборудования. Дан анализ полученных значений, свидетельствующий о работоспособности системы, а следовательно, и о рациональности выбранной методики.

Выводы. Полученные результаты подтверждают достоинства разработанной методики. Предложенная методика может широко применяться в любых сферах проектирования, помимо теплогенерации. Дальнейшее совмещение методики с различными средствами автоматизации, например концепцией BIM-проектирования, позволит усилить ее достоинства.

Ключевые слова: проектирование теплогенерирующих объектов, методика проектирования, типовой проект, модель трубопровода, расчет в СТАРТ-Проф

Yuliya Aleksandrovna Petrova

Orenburg State University, Master Degree Student, Electricity and Heat Power Engineering Department, Russia, Orenburg, e-mail: MironovaYu99@gmail.com

Vitaly Yurievich Sokolov

Orenburg State University, Candidate of Engineering Sciences, (PhD), Associate Professor of Electricity and Heat Power Engineering Department, Russia, Orenburg, e-mail: teploosu@mail.ru

Implementation of the methodology to design heat generating facilities using automated calculations and focusing on standard design

Abstract

Background. The quality of the project may well determine the operability and cost-effectiveness of the designed facility. There are various design methods, each of which has its advantages and disadvantages, analysis of which can be found in published studies. Thus, a methodology has been developed to reduce the

likelihood of an error during system design and to reduce time using calculation programs. The purpose of this study is to implement the developed methodology using the example of designing pumping storage tanks.

Materials and methods. The study is carried out using a pipeline model designed in the START-Prof software, which allows one to accurately estimate the loads from all impacts (temperature, weight, etc.) on pipelines and equipment.

Results. As a result of this study, the authors have developed the methodology based on standard design and using automation tools for strengthening studies. The pumping equipment piping is completed using the developed method and the calculation of the developed model. The load values on the equipment fittings have been obtained. The analysis of the obtained values is presented proving the operability of the system, and therefore the rationality of the chosen method.

Conclusions. The results obtained confirm the advantages of the developed methodology. It can be widely used in any field of design in addition to heat generation. Further combining the methodology with various automation tools, for example, the concept of BIM design, will enhance its advantages.

Key words: design of heat generating facilities, design method, standard project, pipeline model, calculation in START-Prof

DOI: 10.17588/2072-2672.2024.3.013-019

Введение. Одним из важнейших этапов реализации любого проекта является стадия проектирования. Существует несколько подходов к разработке проекта. Наиболее распространенным для периода СССР можно считать типовое проектирование. В качестве его достоинства выделяют быстроту применения, а в качестве недостатка – отсутствие гибкости решений [1, 2]. Также рассматриваются методы, позволяющие принимать индивидуальные решения и проводить расчет на прочность системы либо вручную, либо с помощью автоматизированных программ [3, 4]. После проведения анализа достоинств и недостатков каждого подхода была разработана методика, заключающаяся в ориентации на типовое проектирование при предварительной обвязке оборудования и в проведении автоматизированных расчетов на прочность. Она позволяет уменьшить вероятность допущения ошибки в построении системы трубопроводов обвязки основного и вспомогательного оборудования теплогенерирующих объектов и сократить время подбора оптимальной схемы расположения элементов трубопроводов, поворотов, запорной арматуры с помощью использования расчетных программ [5].

Объектом исследования является разработанная методика проектирования теплогенерирующего объекта, целью исследования – ее реализация.

Методы исследования. Методика состоит из шести этапов. Первый этап – получение технического задания. Целью проведения работ является реконструкция Ивановской ТЭЦ-2. Проектом предусмотрено:

– замена существующих насосов 1Д500-63 и 300Д-90 в аккумуляторной насосной;

– замена трубопроводов обвязки насосов в аккумуляторной насосной;

– замена запорной арматуры с установкой шаровых кранов и поворотно-дисковых затворов с двусторонним уплотнением с электроприводом;

– демонтаж существующих насосов, трубопроводов и арматуры.

Второй этап – предпроектное обследование. В результате выполнения данного этапа получены следующие исходные данные:

1) габаритные размеры помещения насосной аккумулялирующих баков;

2) данные об установленной запорной арматуре, насосном оборудовании;

3) существующая технологическая схема насосной аккумулялирующих баков;

4) эскиз существующей обвязки насосного оборудования;

5) границы проектирования.

Пользуясь вышеперечисленной информацией, создаем чертеж существующей обвязки насосной аккумулялирующих баков (рис. 1).

Реализуя третий этап методики, производим подбор нового оборудования [6]. Характеристики существующих насосов: 1Д500-63 – подача (номинальная) 500 м³/ч, напор 63 м; 300Д-90 – подача (номинальная) 300 м³/ч, напор 54 м. Воспользуемся каталогом производителя АО «ГМС Ливгидромаш». По исходным подаче и напору подбираем следующее оборудование: 1Д500-63 – подача (номинальная)

500 м³/ч, напор 63 м; 1Д315-716 – подача (номинальная) 300 м³/ч, напор 54 м. Их характеристики приведены на рис. 2, 3. Так как в нашем случае основным оборудованием являются только насосы, можно переходить к следующему этапу.

Проектом предполагается сохранение точек входа и выхода трубопроводов из здания, так как реконструкция помещения

не предусматривается. Таким образом, наиболее целесообразно сохранить, где это возможно, существующую трассировку. Однако у подобранного насосного оборудования диаметры всасывающей и нагнетательной линий не совпадают с существующими диаметрами, поэтому деформации трубопроводов от весовых и тепловых воздействий могут существенно измениться.

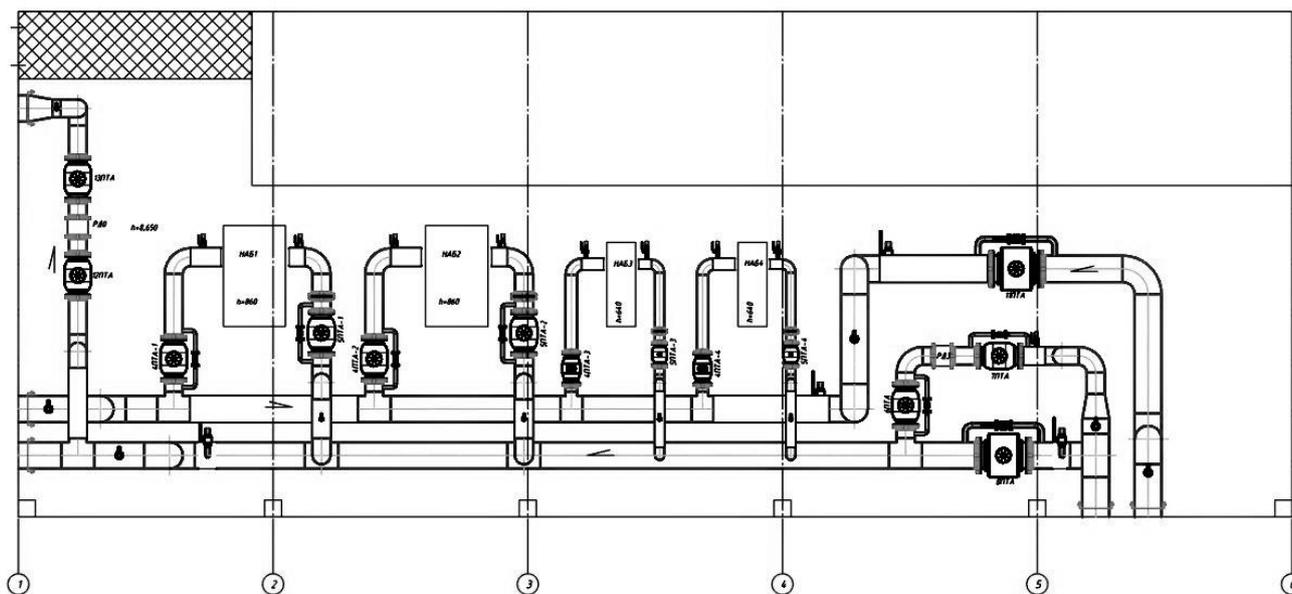


Рис. 1. Существующая обвязка насосной аккумулярующих баков

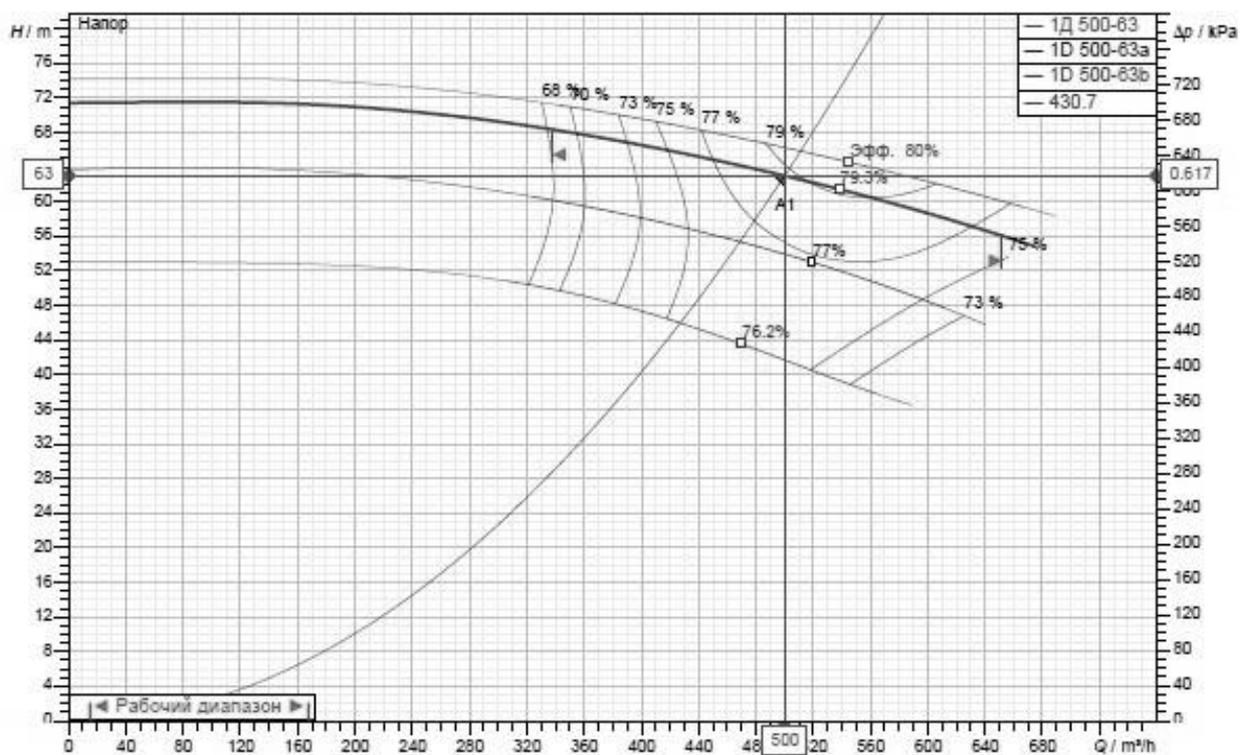


Рис. 2. Характеристика насоса 1Д500-63

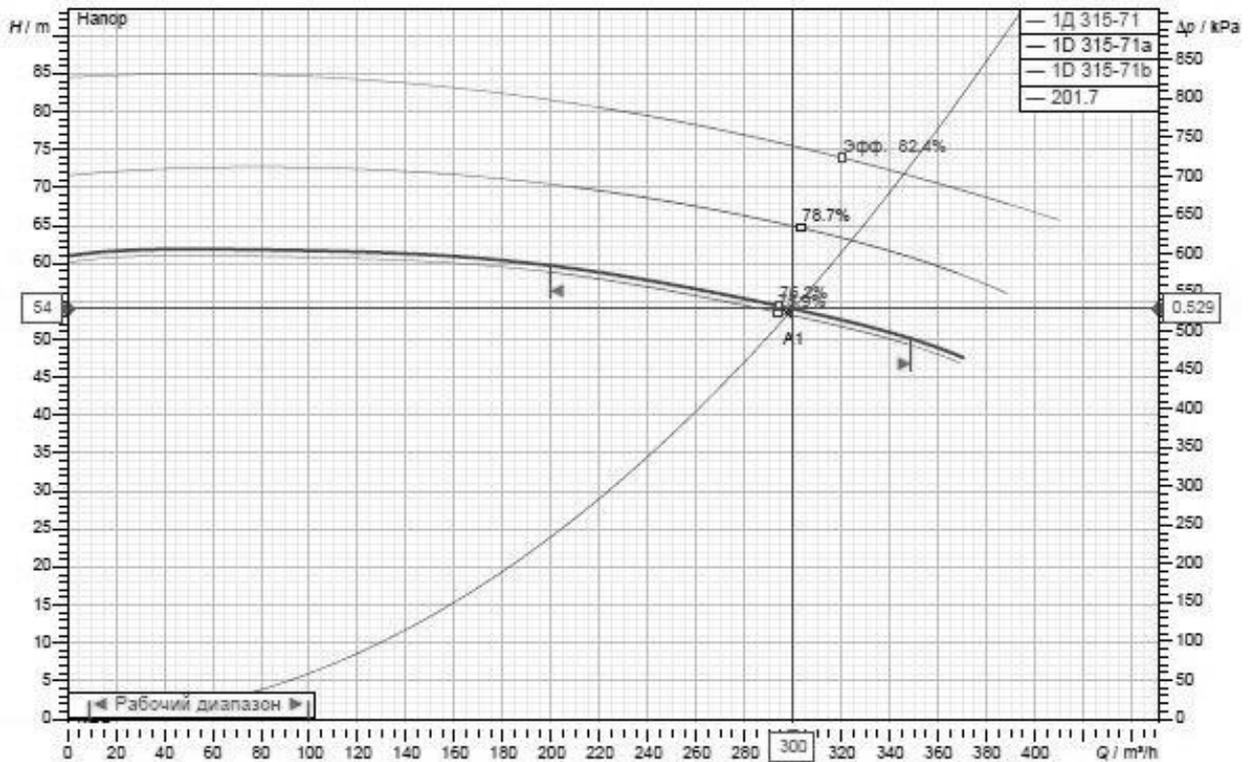


Рис. 3. Характеристика насоса 1Д315-71б

Предлагаем для упрощения выполняемых прочностных расчетов системы использовать типовой проект № 903-4-100.87 «Насосная станция тепловых сетей производительностью 5000 м³/ч с 3 насосами СЭ 2500-60-11 (вариант каркасно-панельный)», альбом III. В дальнейшем рекомендуем внести этот проект в базу типовых инженерных решений «СТАРТ-Проф 4.85», что позволит при выполнении аналогичных заданий не подбирать отдельные элементы прочностных характеристик системы, а использовать крупно узловую сборку.

Кроме того, рекомендуем добавить в данное инженерное решение новый способ обустройства трубопроводов подачи и возврата греющего теплового носителя, при котором трубы ГВС и трубы отопления размещаются в одном слое изоляции, а обратные трубопроводы обустраиваются отдельно. Считаем, что такая компоновка расширяет производственную линию двухтрубной системы, что может сэкономить затраты на исследования и разработку типовых инженерных систем. При этом снижается инвестиционный риск, возникающий из-за неправильного монтажа системы при выходе из строя одной трубы.

Кроме того, были рассмотрены и оценены тепловые потери при реальной эксплуа-

тации этого нового способа монтажа трубопроводов и предложены решения на основе теории конечно-элементного анализа.

На одном из чертежей указанного альбома показано, что нагнетательные и всасывающие линии трубопроводов поднимаются до отметки +6.370 по оси трубы от поверхности пола насосной. Таким образом, они образуют вертикальный П-образный компенсатор, снижающий нагрузки от теплового расширения на штуцера насоса [7, 8]. По существующей обвязке насосов нагнетательные и всасывающие трубопроводы не образуют компенсаторов. Скорректируем трассировку в соответствии с типовым проектом. В результате трубопроводы обвязки насосов поднимаются до отметки +2.800 (рис. 4).

После того как закончена предварительная обвязка оборудования, можно переходить к расчету на прочность проектируемой системы. Для этого создадим имитационную модель насосной аккумулирующих баков в программе «СТАРТ-Проф 4.85». Данная программа позволяет проводить сложные вычисления с большой точностью [9, 10]. Внешний вид модели с учетом предполагаемой трассировки и установки необходимой запорной и регулирующей арматуры приведен на рис. 5.

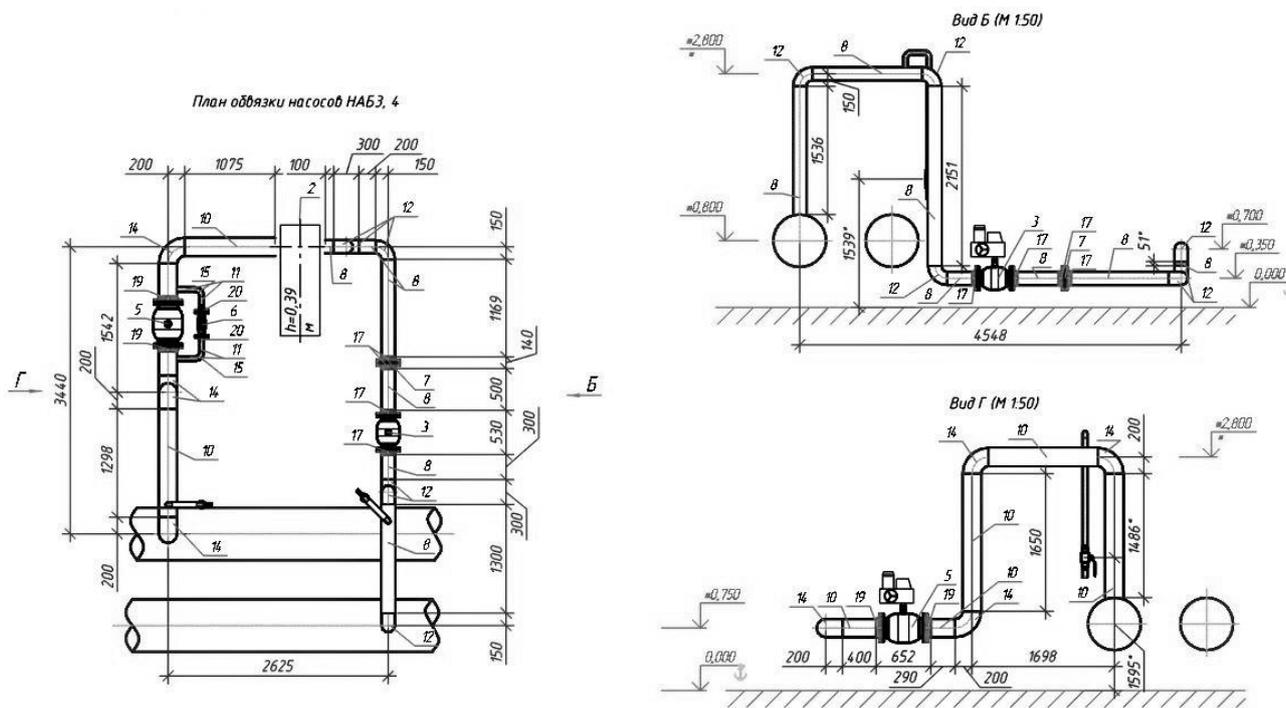


Рис. 4. Предполагаемая обвязка насоса 1Д315-716

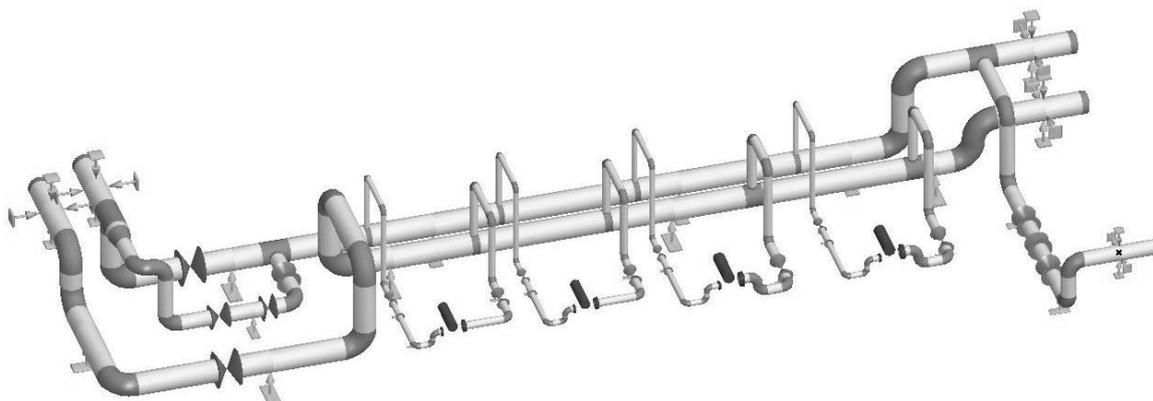


Рис. 5. Внешний вид имитационной модели насосной

При построении модели из библиотеки программы выбираем заложенные в спецификации трубы, отводы, тройники и переходы. Места прохода трубопровода через стену моделируем направляющими двусторонними опорами с заданным зазором. Для автоматического вычисления нагрузок на штуцера оборудования (в данном случае насосы) задаем их встроенным элементом программы. Можно моделировать каждый штуцер насоса мертвой опорой с заданной максимально возможной нагрузкой, но такой подход менее гибкий. При использовании встроенного инструмента есть возможность изменять коэффи-

циент перегрузки насосов. Допустимо принимать значения от 1 до 1,4. В данном случае при расчете принят коэффициент 1,2. По окончании построения запускаем расчет. Программа автоматически вычисляет температурные перемещения в каждой точке трубопровода, строит крайние положения (холодное и горячее состояние) системы. Также в отдельных окнах можно вывести нагрузки на элементы трубопровода (отводы, участки, тройники и т.д.), опоры или штуцера оборудования.

Если результаты расчета удовлетворительные, можно переходить к финальному этапу – формированию комплекта документации.

Результаты исследования. Основным результатом, определяющим работоспособность системы, в нашем случае являются нагрузки на оборудование. Они приведены на рис. 6.

Если нагрузка превышает допустимое значение, то в таблице (скриншот с экрана на рис. 6) на мониторе исполнителя происходит подсвечивание номера узла и численного значения нагрузки, превышающей

допустимое значение. В нашем расчете нагрузки в расчетных узлах соответствуют требованиям прочности, предъявляемым к трубопроводу и креплению запорной арматуры в виде штуцеров. Таким образом, можно сделать вывод о работоспособности предлагаемой системы обвязки. Это, в свою очередь, говорит о правильности разработанного подхода к проектированию теплогенерирующего объекта.

Элемент	Начальный конечный узел	Тип	DN,	Frad,	Fcir,	Flong,	FR,	Mrad,	Mcir,	Mlong,	MR,	Сум, %	Примечания
			мм	кгс	Fvert, кгс	Fshaft, кгс	кгс	кгс-см	Mvert, кгс-см	Mshaft, кгс-см	кгс-см		
Насос ГОСТ 54805/ISO 5199 НАБ2	Узел (85)	Всасывание, боковой	250	336.4	319.1	154.9	446.5	6798.92	12652.22	21001.83	24413.11	13.04	
				1002	810	894	1305	37800	43800	53400	65500		
	Узел (54)	Нагнетание, боковой	159	37.5	30.6	207.6	211	4406.56	10732.05	2228.2	11813.53	9.02	
Насос ГОСТ 54805/ISO 5199 НАБ3	Узел (76)	Всасывание, боковой	200	102.8	164.3	185.2	237.9	2137.79	10409.64	13286.62	15742.21	8.12	
				804	648	720	1045	27600	31800	39000	48000		
	Узел (45)	Нагнетание, боковой	159	44.3	21	222.6	227.9	3495.34	9033.17	2433.24	9840.22	8.00	
Насос ГОСТ 54805/ISO 5199 НАБ4	Узел (69)	Всасывание, боковой	200	106.6	164.3	192.7	247.2	2779.88	13719.59	12861.6	19009.88	10.48	
				804	648	720	1045	27600	31800	39000	48000		
	Узел (27)	Нагнетание, боковой	159	78.7	91.3	194.6	228.9	3250.99	7724.54	4023.74	8976.35	7.41	
Насос ГОСТ 54805/ISO 5199 НАБ1	Узел (93)	Всасывание, боковой	250	321.6	367	80.6	426.6	10936.7	24588.74	23036.56	34757.95	19.79	
				1002	810	894	1305	37800	43800	53400	65500		
	Узел (61)	Нагнетание, боковой	159	19.4	33.6	184	185.6	4490.55	9058.94	4112.05	10915.05	7.40	

Рис. 6. Нагрузки на штуцера оборудования по результатам расчета

Выводы. В результате реализации разработанной методики, предполагающей проектирование с использованием автоматизированных расчетов и ориентацией на типовое проектирование, сделан вывод о рациональности ее использования. Методика позволила получить удовлетворительные результаты без многократных изменений трассировки. Стоит отметить, что она не исключает вероятность допущения ошибки, так как расчет каждой конкретной системы зависит от множества параметров, таких как теплоноситель, материал труб, температура, давление, расстановка опор и другие.

Список литературы

1. **Пантелеев Ю.А.** Типовое проектирование. XXI // Жилищное строительство. – 2015. – № 5. – С. 76–77.
2. **Бочаров А.Ю.** Применение типовой проектной документации // МНИЖ. – 2016. – № 5-1(47). – С. 38–40.
3. **Николаев А.А.** Справочник проектировщика: Проектирование тепловых сетей. – М.: Книга по Требованию, 2017. – 359 с.

4. **Соколов В.Ю., Петрова Ю.А.** Особенности методик проектирования теплогенерирующих объектов // Научно-практический журнал «Энигма». – 2023. – № 56-1. – С. 33–41.

5. **Соколов В.Ю., Петрова Ю.А.** Корректировка методики проектирования насосной // Электронный сборник статей по материалам СХХVIII студенческой Междунар. науч.-практ. конф. «Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки». – 2023. – № 8(126). – С. 44–48.

6. **Головкова Ю.С., Иванов А.М., Сероченкова Е.А.** Подбор и расчет насосов, используемых в водоснабжении // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2019. – № 9. – С. 65–70.

7. **Клешнин Ю.А.** Сравнение различных компенсаторов температурных удлинений трубопроводов // Вестник науки. – 2020. – № 8(29). – С. 86–89.

8. **Кокорина О.М.** Анализ компенсационных устройств, применяемых в централизованном теплоснабжении // Молодой ученый. – 2018. – № 49(235). – С. 41–44.

9. **Тажигулов А., Шагабутдинов Д.И., Лукьянова И.Э.** Возможности использования сертифицированных программ для прочностного анализа работы технологических трубопроводов // Нефтегазовое дело. – 2021. – Т. 19, № 2. – С. 73–77.

10. Магалиф В.Я., Шапиро Е.Е. Программная система по расчету прочности и жесткости трубопроводов «СТАРТ» // CADmaster. – 2001. – № 3(08). – С. 35–37.

References

1. Panteleev, Yu.A. Tipovoe proektirovanie. XXI [Typical designing]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, 2015, no. 5, pp. 76–77.

2. Bocharov, A.Yu. Primenenie tipovoy proektnoy dokumentatsii [Application of standard project documentation]. *MNIZh*, 2016, no. 5-1(47), pp. 38–40.

3. Nikolaev, A.A. *Spravochnik proektirovshchika: Proektirovanie teplovykh setey* [Designer's guide: Design of thermal networks]. Moscow: Kniga po Trebovaniyu, 2017. 359 p.

4. Sokolov, V.Yu., Petrova, Yu.A. Osobennosti metodik proektirovaniya teplogeneriruyushchikh ob"ektov [Features of methods of designing heat generating facilities]. *Nauchno-prakticheskiy zhurnal «Enigma»*, 2023, no. 56-1, pp. 33–41.

5. Sokolov, V.Yu., Petrova, Yu.A. Korrektirovka metodiki proektirovaniya nasosnoy [Adjustment of the pumping station design methodology]. *Elektronnyy sbornik statey po materialam CXXVIII studencheskoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Nauchnoe soobshchestvo studentov XXI stoletiya. Tekhnicheskie nauki»* [Electronic proceedings of materials of the CXXVIII

student International scientific-practical conference "Scientific community of students of the 21st century. Engineering science"], 2023, no. 8(126), pp. 44–48.

6. Golovkova, Yu.S., Ivanov, A.M., Serochenkova, E.A. Podbor i raschet nasosov, ispol'zuemykh v vodosnabzhenii [Selection and calculation of pumps used in water supply]. *Izvestiya TuIGU. Tekhnicheskie nauki*, 2019, no. 9, pp. 65–70.

7. Kleshnin, Yu.A. Sravnenie razlichnykh kompensatorov temperaturnykh udlineniy truboprovodov [Comparison of various compensators for temperature elongations of pipelines]. *Vestnik nauki*, 2020, no. 8(29), pp. 86–89.

8. Kokorina, O.M. Analiz kompensatsionnykh ustroystv, primenyaemykh v tsentralizovannom teplosnabzhenii [Analysis of compensation devices used in district heating]. *Molodoy uchenyy*, 2018, no. 49(235), pp. 41–44.

9. Tazhigulov, A., Shagabutdinov, D.I., Luk'yanova, I.E. Vozmozhnosti ispol'zovaniya sertifikatirovannykh programm dlya prochnostnogo analiza raboty tekhnologicheskikh truboprovodov [The possibilities of using certified programs for strength analysis of technological pipelines]. *Neftegazovoe delo*, 2021, vol. 19, no. 2, pp. 73–77.

10. Magalif, V.Ya., Shapiro, E.E. Programmaya sistema po raschetu prochnosti i zhestkosti truboprovodov «СТАРТ» [Software system for calculating the strength and rigidity of pipelines "START"]. *CADmaster*, 2001, no. 3(08), pp. 35–37.