

УДК 004.89

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОДБОРА НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНИКО-КОММЕРЧЕСКИХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ

Титарев Дмитрий Викторович

доцент, к.т.н., e-mail: titaryovdv@mail.ru,

Трунников Максим Владиславович

студент, e-mail: m.trunnikov@mail.ru,

Брянский государственный технический университет,
241035 г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, д. 7.

Володин Павел Юрьевич

генеральный директор ООО «БПЕ», volodin-pavel@ya.ru,
241012 г. Брянск, ул. Литейная, д. 2Б, оф. 6

Аннотация. Работа посвящена вопросам проектирования и разработки программного комплекса для автоматического расчета параметров и дальнейшего подбора станций водоснабжения. На основе проведенных расчетов программный комплекс позволяет формировать технико-коммерческое предложение на поставляемое оборудование. Особое внимание уделено подбору параметров насосной станции согласно данным о напоре и расходе в рабочей точке. Это является важной задачей в условиях отсутствия полноты данных, предоставляемых производителями оборудования.

Ключевые слова: насосная станция, технико-коммерческое предложение, программный комплекс, строительство, подбор насосных станций.

Цитирование: Титарев Д.В., Трунников М. В., Володин П. Ю. Проектирование и разработка программного комплекса для автоматического подбора насосных станций водоснабжения и формирования технико-коммерческих предложений//Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 2 (22). С. 105 - 114. DOI:10.38028/ESI.2021.22.2.011

Введение. В связи с ростом объемов и ужесточением правил строительства, к поставщикам и производителям эксплуатируемого в жилых зданиях оборудования предъявляются все более жесткие требования как по техническим характеристикам, так и по стоимости оборудования. За последние 5 лет на рынке оборудования, предназначенного для пожаротушения и водоснабжения, количество компаний-производителей выросло в несколько раз.

Как правило, для определения поставщиков оборудования компании-застройщики проводят открытые тендеры, зачастую используя общедоступные торговые площадки. Это привело к значительному росту конкуренции между поставщиками.

Для более эффективного участия в проводимом тендере необходимо своевременно сделать наилучшее предложение с учетом всех параметров. Решение данной задачи в ручном режиме в основном приводит к срывам сроков предоставления технико-коммерческого предложения или неоптимальному варианту оборудования с точки зрения предъявляемых к нему требований, что в свою очередь, ведет к проигрышу в проводимом тендере.

Для того, чтобы выиграть в тендере, поставщикам и производителям оборудования необходимо программное обеспечение, позволяющее с учетом стоимости и различных физико-технических параметров оперативно формировать технико-коммерческие предложения (далее – ТКП).

Программное обеспечение, ориентированное на решение задачи подбора оборудования для водоснабжения и пожаротушения, доступно лишь на электронных ресурсах производителей [1], причем каждый из них предоставляет возможность рассчитать лишь свое оборудование, не указывая при этом сам алгоритм расчета. Также данное программное обеспечение не позволяет произвести расчет дополнительного оборудования, входящего в системы водо-

снабжения и пожаротушения. Это приводит к ручному или полуавтоматическому формированию ТКП.

Основная часть научных работ посвящена или оптимизации параметров насосного оборудования для водоснабжения [8], или экономическому обоснованию выбора систем водоснабжения [9], или расчету их характеристик [10], не решая при этом комплексную задачу от определения параметров оборудования до формирования ТКП.

Все выше описанное делает актуальной задачу разработки программного комплекса расчета и подбора оборудования водоснабжения и пожаротушения для объектов строительства, а также автоматического формирования технико-коммерческого предложения, содержащего краткое техническое описание предлагаемого оборудования с указанием его стоимости.

1. Терминология. Рассмотрим более подробно основные термины, используемые при подборе насосного оборудования.

Насосная станция – комплексная система для перекачки жидкостей из одного места в другое. Включает в себя следующее оборудование: насосные агрегаты – насосная группа в количестве не менее 2 насосов, в числе которых есть рабочие и резервные, элементы трубопровода, служащие для объединения насосов группы в единую гидросистему, трубопроводную арматуру и систему управления.

Гидравлическая характеристика насоса – зависимость напора, создаваемого насосом, от расхода перекачиваемой жидкости при определенной частоте вращения вала насоса и фиксированных параметрах перекачиваемой среды.

Гидравлическая характеристика насосной станции – зависимость напора, создаваемого рабочими насосами станции, от расхода перекачиваемой жидкости при определенной частоте вращения вала насоса и фиксированных параметрах перекачиваемой среды.

Рабочая точка – определенная на основе проектного расчета потребность системы в расходе жидкости и необходимый при данном расходе напор жидкости, служащие для функционирования системы.

Подбор – это совокупность технического задания к насосной станции и предлагаемого по данному заданию технического решения. Задание на подбор выражается в виде рабочей точки, требований к схеме работы, системе управления, материалу коллектора и прочим параметрам, выбираемым на странице создания подбора. Техническим решением по данному заданию на подбор является сформированное ТКП.

2. Подбор насосных станций. Подбор насосных станций производится по двум основным параметрам: расход Q , измеряемый в м³/час, и напор H , измеряемый в метрах водяного столба. Данная комбинация называется рабочей точкой, которая должна входить в рабочее поле насоса, т.е. быть ниже графика гидравлической характеристики насоса и не выходить за ее пределы.

Гидравлическая характеристика насосной станции строится на основе характеристик входящих в нее насосов [2, 4]. Для нескольких насосов в составе насосной станции, соединенных параллельно, гидравлическая характеристика каждого последующего насоса получается динамически, сложением расходов предыдущего и первого насосов (рис. 1).

В случаях, когда в насосной станции предусмотрены резервные насосы, рабочая точка должна подбираться по последнему основному насосу. На рис. 1 представлен график гидравлической характеристики насосной станции, состоящей из одного основного и одного резервного насосов, подобранной под рабочую точку 10 м³/час на 30 м водяного столба. Две черные линии представляют собой гидравлическую характеристику станции (1 – основного насоса, 2 – резервного), красная линия – гидравлическая характеристика трубопроводной сети, расчет которой производится по формуле (1):

$$H(Q) = \left(\frac{H_{\text{раб}}}{Q_{\text{раб}}^2} \right) Q^2, \quad (1)$$

где $H_{\text{раб}}$ – напор в рабочей точке, $Q_{\text{раб}}$ – расход в рабочей точке.

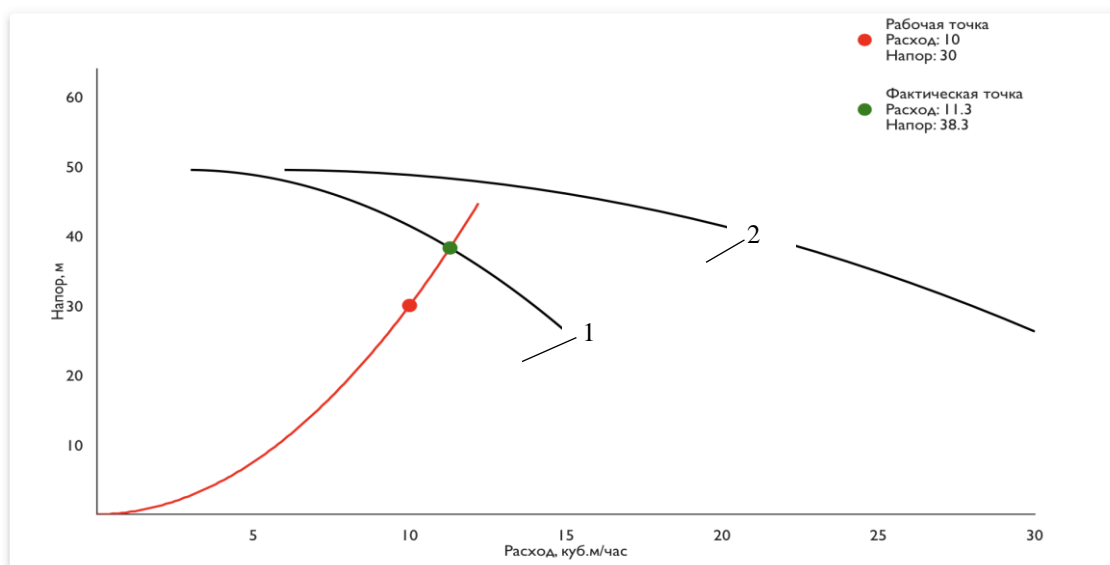


Рис. 1. Двухнасосная станция, включающая один основной насос (1), один резервный насос (2), рабочая точка $10 \text{ м}^3/\text{час}$ на 10 м

Как правило, производители насосного оборудования в документации к выпускаемым ими насосам предоставляют гидравлические характеристики визуально, в виде графика, не указывая при этом параметризованные данные или расчетную формулу. Это создает проблему точного определения пригодности насоса согласно рабочей точке, а также построению гидравлической характеристики станции.

В ручном режиме подбор насосной станции производится следующим образом:

1. График гидравлической характеристики насоса в составе подбираемой станции переводится в массив точек.
2. Умножением расхода на количество основных насосов рассчитывается массив точек гидравлической характеристики для последнего основного насоса в составе подбираемой станции.
3. Из данной последовательности точек находится i -я точка, для которой выполняется условие: $Q_i \leq Q_{\text{раб}} \leq Q_{i+1}$. Это позволяет определить участок гидравлической характеристики насоса, в пределах которого находится рабочая точка.
4. Вычисляется приблизительное значение напора, создаваемого насосом в рабочей точке, путем линейной интерполяции: $H_{\text{насоса}} = \left(\frac{H_{i+1} - H_i}{Q_{i+1} - Q_i} \right) Q_{\text{раб}} + \left(H_i - \left(\frac{H_{i+1} - H_i}{Q_{i+1} - Q_i} \right) Q_i \right)$.
5. $H_{\text{насоса}}$ сравнивается с $H_{\text{раб}}$. Если $(H_{\text{насоса}} * 1,02) \geq H_{\text{раб}}$, то станция подходит под рабочую точку.

Данный алгоритм реализуется для каждого варианта подбираемой насосной станции, в результате чего время на подбор оптимального варианта может занимать до одной недели.

Наиболее быстрым вариантом по сравнению с ручным расчетом является перевод графика гидравлической характеристики насоса в массив точек [3, 5] и дальнейший расчет функции аппроксимации с помощью метода наименьших квадратов. Это позволяет получить готовую формулу гидравлической характеристики насоса, что дает возможность быстрее и точнее определять напор рассматриваемого насоса при расходе, заданном рабочей точкой. В качестве аппроксимирующей функции была выбрана полиномиальная функция второго по-

рядка, как наиболее подходящая. На рис. 2 представлен график гидравлической характеристики насоса Grundfos CM-A 3-6, построенный при помощи аппроксимации.

Красным цветом на рис. 2 выделены значения гидравлической характеристики насоса Grundfos CM-A 3-6, измеренные представителями ООО «БПЕ», синим цветом – данные, полученные с помощью аппроксимации.

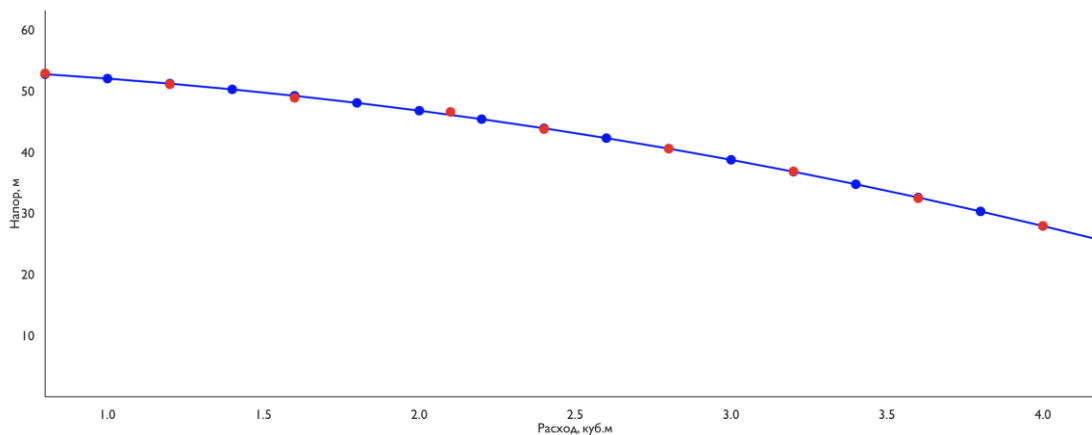


Рис. 2. Гидравлическая характеристика насоса Grundfos CM-A 3-6, построенная при помощи аппроксимации

3. Техничко-коммерческое предложение. Техническим решением подбора насосной станции является ТКП. В ТКП помимо описания предлагаемого оборудования необходимо указывать его стоимость и габаритные размеры.

Стоимость подобранной насосной станции складывается из:

- цен насосов в составе станции;
- цены системы управления станцией;
- цен входного и выходного коллекторов;
- цены трубопроводной арматуры;
- цены рамы для установки станции в здании;
- цены работы по сборке станции;
- наценки поставщика.

Расчеты габаритных размеров станции различаются в зависимости от ориентации насоса, типа системы управления и набора трубопроводной арматуры в ее составе.

4. Программный комплекс. Задача разработки программного комплекса расчета и подбора оборудования водоснабжения, а также автоматического формирования ТКП была решена для компании ООО «БПЕ», являющейся отечественным производителем автоматических комплектных установок повышения и поддержания давления, установок пожаротушения, блочно-модульных насосных станций и шкафов управления насосным оборудованием на основе насосов Grundfos, Wilo, DAB и EBARA. [6, 7]

Актуальность разработки связана с тем, что каждый производитель насосного оборудования предоставляет программное обеспечение, позволяющее работать только с его насосами, и не придерживается какого-либо универсального шаблона технико-коммерческих предложений, вследствие чего сформированные файлы ТКП зачастую содержат слишком много лишней технической информации о предлагаемом оборудовании. Также в данных программах невозможно учесть остальные составляющие компонентов насосных станций, таких, как рама, арматура, коллекторы и т.д.

Для ООО «БПЕ» был спроектирован и разработан программный комплекс, предоставляющий следующие возможности:

- учетная система работы с проектами;
- учетная система работы с контрагентами;
- учетная система работы с подборками в рамках проекта;
- учетная система работы со всеми составляющими насосных станций (насосы, системы управления, коллекторы, трубопроводная арматура, рамы, работы по сборке станций);
- автоматический подбор насосных станций водоснабжения под рабочую точку с выбором систем управления, серий насосов, коллекторов, а также количества основных и резервных насосов (рис. 3);
- построение графиков гидравлических характеристик подобранных насосных станций;
- автоматический расчет себестоимости и габаритных размеров подобранных насосных станций;
- автоматическое формирование ТКП в формате pdf.

Фрагмент сформированного файла ТКП представлен на рис. 4.

На рис. 5 представлена архитектура разработанного программного комплекса, которую можно представить, как взаимодействие следующих элементов:

1. Сервер СУБД:

- 1.1. База данных. Реализация осуществляется с использованием СУБД MySQL. Взаимодействие с другими компонентами системы происходит через API по протоколу ODBC (Open Database Connectivity).
- 1.2. API. Реализован на JavaScript. Служит для обеспечения взаимодействия между СУБД и серверной частью через шину обмена данными по протоколу HTTPS.

2. Сервер. Реализован на языке JavaScript, на платформе NodeJS с использованием фреймворка Express, являющимися в настоящее время наиболее распространенными средствами разработки серверной части, наряду с Java и PHP. Этот компонент отвечает за основную логику подбора насосных станций. Подразделяется на два функциональных модуля:

- 2.1. Модуль подбора насосных станций. На основе требований заказчика выполняет следующие функции:
 - 2.1.1. Расчет полиномиальной аппроксимации гидравлической характеристики насоса;
 - 2.1.2. Расчет себестоимости насосной станции;
 - 2.1.3. Расчет габаритных размеров насосной станции;
 - 2.1.4. Расчет состава арматуры для выбранной насосной станции.
- 2.2. Модуль импортирования составляющих компонентов из файла позволяет обновлять насосы, системы управления, коллекторы и т.д. из файла формата xlsx.

3. Веб-сервисы. Реализуются с использованием JavaScript и фреймворка React – один из самых востребованных фреймворков для создания веб-сервисов, наряду с Angular и Vue, так как позволяет сократить время разработки, за счет использования компонентного подхода. Включают в себя рабочие места администратора, менеджера БПЕ, менеджера компании-партнера, менеджера проектного института, а также ряд модулей, выполняющих следующие функции:

- 3.1. Построение графика аппроксимации гидравлической характеристики насосной станции.
- 3.2. Авторизация.

4. Формирование ТКП в формате pdf.

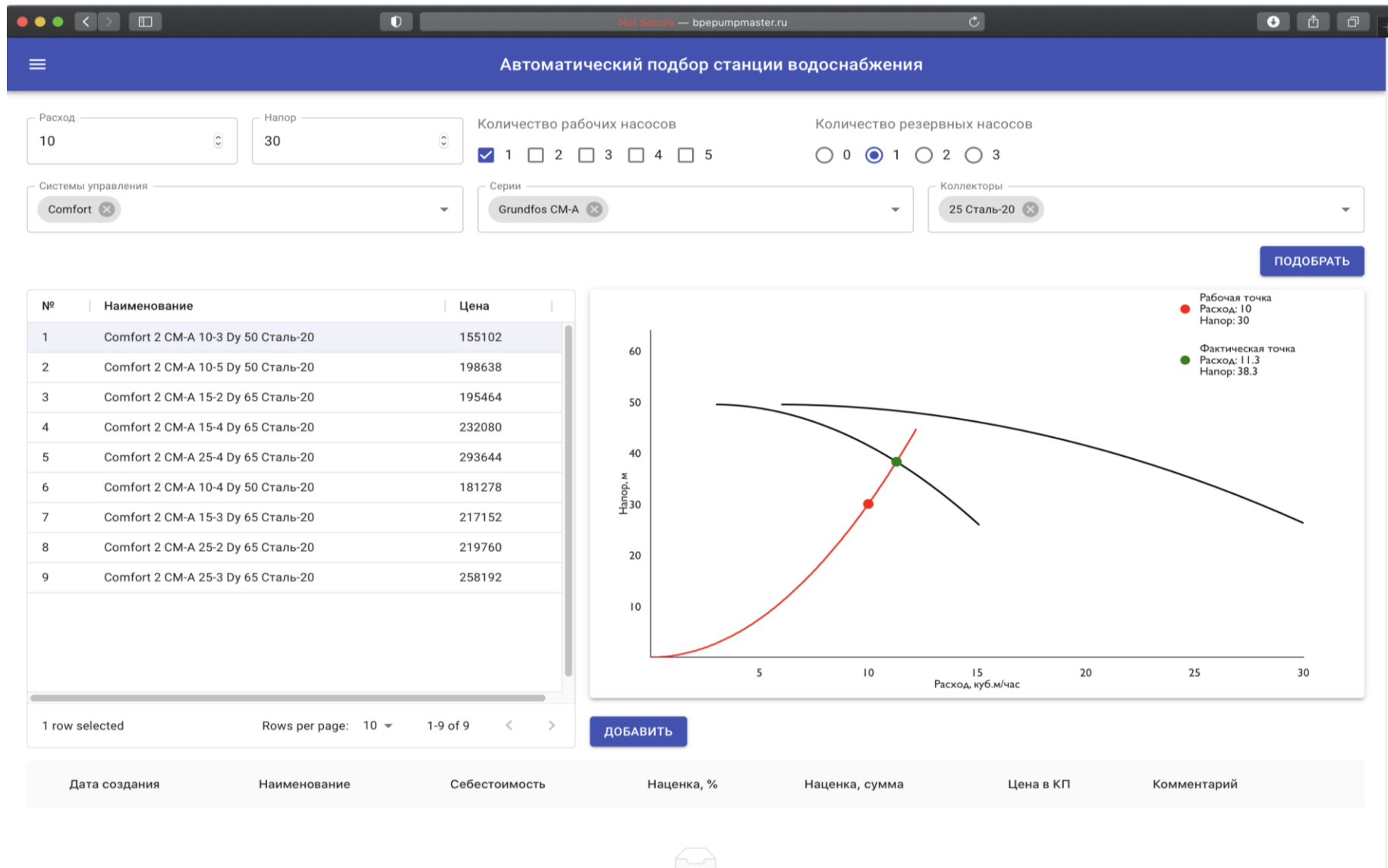
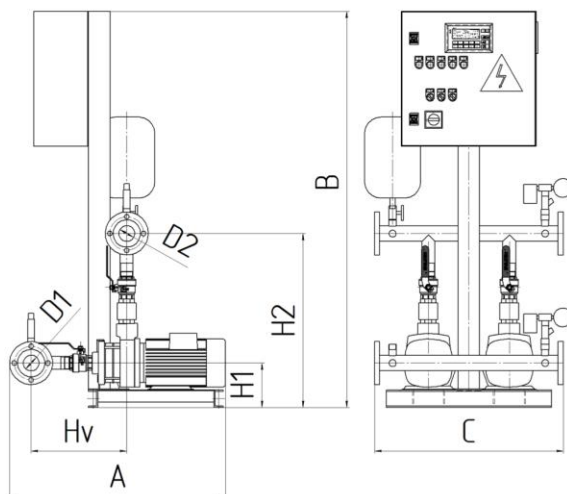


Рис. 3. Окно автоматического подбора станций водоснабжения

Состав установки установки "BPE PumpMaster WS Comfort 2 CM-A 10-3 Dy 50"

1	Насос Grundfos CM-A 10-3	1+1	шт.
2	Система управления Comfort	1	шт.
3	Мембранный бак 8 л	1	шт.
4	Комплект контроля давления с запорным краном, сетчатым фильтром и манометром с возможностью слива и прочистки	1	шт.
5	Комплект контроля сухого хода с запорным краном, сетчатым фильтром и манометром с возможностью слива и прочистки	1	шт.
6	Кран шаровый	4	шт.
7	Обратный клапан	2	шт.
8	Коллектор из стали 20 с порошковой окраской Ду 50	2	шт.
9	Усиленная рама с порошковой окраской	1	шт.

Габаритные размеры установки "BPE PumpMaster WS Comfort 2 CM-A 10-3 Dy 50"



A, мм	B, мм	C, мм	H1, мм	H2, мм	Hv, мм	D1	D2
841	1265	700	165	706	447	Ду 50	Ду 50

Масса станции: 126.9 кг

Потребляемая мощность: 4.4 кВт

Потребляемый ток: 9.6 А

Насосные станции BPE PumpMaster

Насосные станции имеют следующие обозначения:

BPE Pump Master	WS	Multi-E	3	CR 20-5	/ABP
WS					
AF					
WS-AF					
Серия шкафов по типу управления: «Comfort» – частотное регулирование (один частотный привод); «Multi» - мультичастотное регулирование (на каждый двигатель один частотный привод, встроенный в шкаф); «Multi-E» - мультичастотное регулирование (на каждый двигатель один частотный привод, установленный на насос); «Multi-EL» - мультичастотное регулирование без панели управления (на каждый двигатель один частотный привод, установленный в шкаф); SS – используется устройства плавного пуска на каждый насос. SD – для запуска насосов используется способ запуска звезда-треугольник. DD – используется прямой пуск насосов. Количество насосов в составе станции Тип и марка насосов Дополнительные опции: /ABP – встроенный автоматический ввод резервного питания; /GPRS – GPRS-модем для дистанционного мониторинга и управления; /Э31 – управление одной задвижкой;					

Принцип работы станций с различным типом регулирования на примере 3-х насосной станции

Comfort - частотное регулирование	Multi - мультичастотное регулирование
<p>В работе 1 насос</p>	<p>В работе 1</p>
<p>В работе 3 насоса</p>	<p>В работе 3 насоса</p>
<ul style="list-style-type: none"> Станция Comfort поддерживает постоянное давление путем регулирования частоты вращения одного насоса; Первым всегда запускается насос, подключенный к частотному преобразователю, если этот насос не может поддержать заданное давление, подключаются ещё один или два без частотного преобразователя; Смена насосов осуществляется автоматически в зависимости от нагрузки, наработки и технических неисправностей. 	<ul style="list-style-type: none"> Станция Multi поддерживает постоянное давление путем регулирования частоты вращения всех насосов; Производительность установки меняется по необходимости путём включения/выключения требуемого числа насосов и параллельной регулировки насосов, находящихся в эксплуатации; Все включенные насосы работают с равной частотой вращения; Смена насосов осуществляется автоматически в зависимости от нагрузки, наработки и технических неисправностей.

Рис. 4. Фрагмент сформированного файла ТКП в формате pdf

Мобильные приложения. Выполняют те же функции, что и веб-сервисы (без рабочих мест администратора, менеджера компании-партнера и менеджера проектного института, а также без возможности импортировать составляющие компоненты насосных станций), но в удобном мобильном виде. Реализуются с использованием фреймворка React Native.

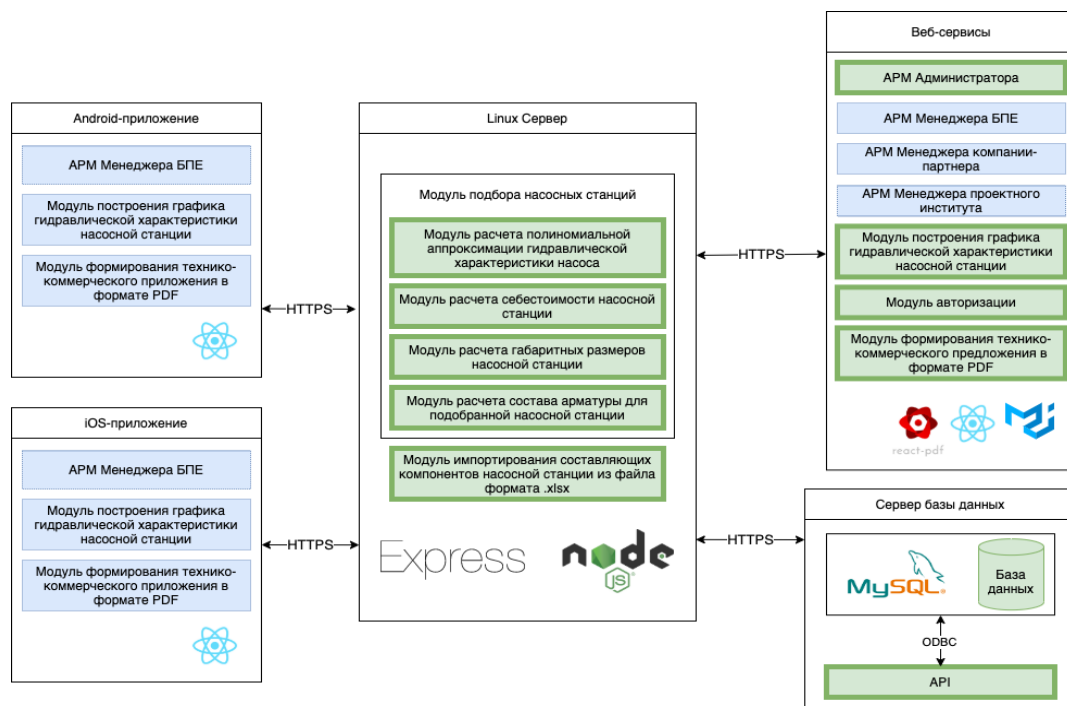


Рис. 5. Архитектура программного комплекса

Заключение. В ходе выполнения работы был спроектирован и разработан программный комплекс для автоматического расчета оборудования для водоснабжения и формирования на его основе ТКП. Внедрение программного комплекса на примере ООО «БПЕ» показало его высокую эффективность и позволило достичь следующих результатов:

1. Решена проблема автоматического подбора насосных станций водоснабжения и формирования технико-коммерческих предложений.
2. Значительно сокращено время, затрачиваемое на подбор насосных станций водоснабжения, а также на формирование технико-коммерческих предложений. Среднее время расчета оборудования для водоснабжения и формирования ТКП для участия в тендере составляло не менее рабочей недели. В результате ТКП формируется в автоматическом режиме в течение 1-2 часов с учетом ввода тендерной информации для начала процесса расчета.
3. Сокращено число ошибок при подборе насосных станций водоснабжения. Опытно-промышленная эксплуатация программного комплекса в течение 1 месяца показала отсутствие технических ошибок в подготовке ТКП.

Также разработанный программный комплекс потенциально позволит увеличить число тендеров на поставку систем водоснабжения и пожаротушения, выигранных компанией ООО «БПЕ», за счет своевременного предоставления ТКП и формирования наилучшего предложения, как результат автоматического расчета технических и стоимостных параметров оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Morten Gylling Computer aided product selection tool aids German municipality in pump search // *World Pumps*. 2005. Vol. 2005. Pp. 30-32.
2. Xiaohui Lei Correction of pumping station parameters in a one-dimensional hydrodynamic model using the Ensemble Kalman filter // *Journal of Hydrology*. 2019. Vol. 568. Pp. 108-118.
3. Pawel Olszewski Parametric analysis of pumping station with parallel-configured centrifugal pumps towards self-learning applications // *Applied Energy*. 2018. Vol. 231. Pp. 1146-1158.
4. Peiyuan Mi Integrated optimization study of hot water supply system with multi-heat-source for the public bath based on PVT heat pump and water source heat pump // *Applied Thermal Engineering*. 2020. Vol. 176. A. 115146.
5. Lijian Shi. Numerical simulation and experimental study on the comparison of the hydraulic characteristics of an axial-flow pump and a full tubular pump // *Renewable Energy*. 2020. Vol. 153. Pp. 1455-1464.
6. AGWilo. Intelligent pumps for building automation systems // *World Pumps*. 2007. Vol. 2007. Pp. 26-32.
7. Lisa Blakemore Taking pumping to a higher level // *World Pumps*. 2016. Vol. 2016. Pp. 32-33.
8. Кабанова И.А. Оптимизация процесса проектирования систем водоснабжения с применением базы данных основного оборудования // *Энергосбережение и водоподготовка*. 2020. № 2 (124). С. 60-66.
9. Бутко Д.А., Мельников И.С. Сравнительный анализ технико-экономических показателей, влияющих на выбор схемы системы водоснабжения высотного здания // *Научное обозрение*. 2014. № 7-2.
10. Бубнов В.Б., Дмитриев И.В., Панфилов А.А. Разработка методики расчета напорно-расходных характеристик насосов в системах противопожарного водоснабжения // *Пожарная и аварийная безопасность*. 2019. № 1(12). С. 12-18.

UDK 004.89

DESIGN AND DEVELOPMENT OF THE SOFTWARE COMPLEX FOR AUTOMATIC SELECTION OF PUMPING STATIONS OF WATER SUPPLY AND FORMATION OF TECHNICAL AND COMMERCIAL PROPOSALS

Dmitry Titarev

Associate Professor, Ph.D., e-mail: titaryovdv@mail.ru,

Maxim Trunnikov

student, e-mail: m.trunnikov@mail.ru,

Bryansk state technical university,

241035 Bryansk, boulevard 50 years of October, 7.

Pavel Volodin

General Director of BPE LLC, volodin-pavel@ya.ru,

BPE LLC,

241012 Bryansk, st. Liteinaya, 2B, office 6

Annotation. The work is devoted to the design and development of a software package for automatic calculation of parameters and further selection of water supply stations. Based on the calculations performed, the software package allows you to form a technical and commercial proposal for the equipment supplied. Particular attention is paid to the selection of the parameters of the pumping station according to

the data on the head and flow rate at the operating point. This is an important task in the absence of completeness of data provided by equipment manufacturers.

Keywords: pumping station, technical and commercial proposal, software package, construction, selection of pumping stations.

REFERENCES

1. Morten Gylling Computer aided product selection tool aids German municipality in pump search // *World Pumps*. 2005. Vol. 2005. Pp. 30-32.
2. Xiaohui Lei Correction of pumping station parameters in a one-dimensional hydrodynamic model using the Ensemble Kalman filter // *Journal of Hydrology*. 2019. Vol. 568. Pp. 108-118.
3. Pawel Olszewski Parametric analysis of pumping station with parallel-configured centrifugal pumps towards self-learning applications // *Applied Energy*. 2018. Vol. 231. Pp. 1146-1158.
4. Peiyuan Mi. Integrated optimization study of hot water supply system with multi-heat-source for the public bath based on PVT heat pump and water source heat pump // *Applied Thermal Engineering*. 2020. Vol. 176. A. 115146.
5. Lijian Shi. Numerical simulation and experimental study on the comparison of the hydraulic characteristics of an axial-flow pump and a full tubular pump // *Renewable Energy*. 2020. Vol. 153. Pp. 1455-1464.
6. AGWilo. Intelligent pumps for building automation systems // *World Pumps*. 2007. Vol. 2007. Pp. 26-32.
7. Lisa Blakemore Taking pumping to a higher level // *World Pumps*. 2016. Vol. 2016. Pp. 32-33.
8. Kabanova I.A. Optimizatsiya protsessa proyektirovaniya sistem vodosnabzheniya s primeneniym bazy dannykh osnovnogo oborudovaniya [Optimization of the design process of water supply systems using the database of the main equipment] // *Energoberezhnie i vodopodgotovka*. 2020. № 2 (124). Pp. 60-66.
9. Butko D.A., Melnikov I.S. Sravnitel'nyy analiz tekhniko-ekonomicheskikh pokazateley, vliyayushchikh na vybor skhemy sistemy vodosnabzheniya vysotnogo zdaniya [Comparative analysis of technical and economic indicators affecting the choice of the water supply system of a high-rise building] // *Nauchnoye obozreniye = Scientific Review*. 2014. № 7-2.
10. Bubnov V.B., Dmitriev I.V., Panfilov A.A. Razrabotka metodiki rascheta naporno-raskhodnykh kharakteristik nasosov v sistemakh protivopozharnogo vodosnabzheniya [Development of a methodology for calculating the pressure-flow characteristics of pumps in fire-fighting water supply systems] // *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost' = Fire and emergency safety*. 2019. № 1 (12). Pp. 12-18.