

«Сейфуллин оқулары – 18: « Жастар және ғылым – болашаққа көзқарас» халықаралық ғылыми -практикалық конференция материалдары = Материалы международной научно-практической конференции «Сейфуллинские чтения – 18: « Молодежь и наука – взгляд в будущее» - 2022.- Т.І, Ч.V. - С. 184-188

## **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

*Сазыкин А.В., магистрант.*

*Казахский агротехнический университет им. С.Сейфуллина , г. Нур-Султан*

Инвестиционные и эксплуатационные расходы на насосные станции в сетях распределения питьевой воды являются одними из самых высоких государственных расходов в городских секторах. Как правило, эти системы разрабатываются с учетом экстремальных сценариев. Однако в периоды нормальной работы вырабатывается дополнительная энергия, что приводит к избыточным затратам. Чтобы избежать этой проблемы, в данной работе представлена новая методология проектирования насосных станций. Предлагаемая методика основана на использовании кривой уставки для одновременной оптимизации эксплуатационных и инвестиционных затрат станции. В соответствии с этой целью, разработана новая математическая модель оптимизации. Решение, полученное с помощью модели, включает в себя выбор насосов, размеры трубопроводов и оптимальное распределение потока между всеми источниками воды для данной сети. Чтобы продемонстрировать преимущества использования этого метода, представлена сеть тематических исследований. Для решения оптимизационной модели реализован псевдогенетический алгоритм. Наконец, полученные результаты показывают, что можно определить полную конструкцию и условия эксплуатации, необходимые для достижения наименьших затрат в сети с несколькими насосными станциями.

Проблемы оптимизации, связанные с проектированием и эксплуатацией сетей водоснабжения являются очень сложными и важными проблемами, которые влияют на качество жизни всех людей во всем мире. Спрос на воду быстро растет с ростом населения мира. Кроме того, изменение климата привело к увеличению дефицита воды. Электроэнергия является одной из основных затрат, которые несут водоканалы, поэтому сокращение потребления энергии и сохранение имеющихся природных ресурсов (таких как вода) являются одними из задач общества. Проектирование экономически эффективной системы водоснабжения - непростая задача, и эксплуатационные характеристики проектируемой сети влияют на бюджет любого города. В связи с этим насосные станции являются

дорогостоящей инфраструктурой.

Эксплуатационные расходы насоса являются ключевым аспектом, когда сеть питается непосредственно от грунтовой воды или не имеет достаточно большой высоты для установки резервуаров. В этих случаях выбор насосов, которые наилучшим образом адаптируются к кривой напора системы, является важным шагом, поскольку это снижает избыточное давление воды. Следовательно, эффективное проектирование и эксплуатация насосных станций могут значительно снизить общие затраты сети.

Цели исследования: проведение теоретических исследований зависимостей переходных процессов в насосных станциях водоснабжения от возмущающих на них воздействий; оптимизация математических моделей насосных станций водоснабжения; разработка методик комплексной оценки параметров насосных станций; - Совершенствование автоматизированных средств нормализации параметров работы насосных станций водоснабжения.

Результаты исследования. Проектирование насосных станций включает в себя выбор насосов, аксессуаров и систем управления. Традиционно процесс отбора осуществляется с помощью каталога, содержащего технические характеристики из доступных насосов. Определены насосы, обеспечивающие требуемый максимальный пьезометрический напор, и выбор основан, среди прочих критериев, на энергоэффективности. Наконец, рассчитывается количество насосов, входящих в состав станции. Затем работа насосная станция определяется состоянием включения / выключения каждого насоса на каждом временном шаге и, в случае насосов с переменной скоростью, путем изменения частоты вращения на основе показаний, полученных от измерительных устройств.

Эта система управления отвечает за регулировку количества перекачиваемой воды в соответствии с потребностями населения в каждый момент времени. Были исследованы различные подходы к повышению производительности насосных станций в системах водоснабжения. Одной из важных проблем, рассматриваемых в литературе, является оптимизация планирования насосов. Эта проблема широко изучена. Начиная с завершения проекта насосная станция, планирование насоса может быть задано переключателями включения / выключения насоса в течение заранее определенных равных интервалов времени. Традиционно целью такой задачи является минимизация затрат на потребление энергии на основе затрат на эксплуатацию и/или техническое обслуживание насосов. Эти подходы не допускают каких-либо структурных изменений. Следовательно, получаемая экономия энергии ограничена предыдущей конструкцией насосной станции, и может быть создана недостаточная или неработающая мощность. Следовательно, инвестиционные и эксплуатационные расходы насосных станций должны быть сведены к минимуму для достижения полного решения задачи оптимизации.

В последние годы были разработаны математические модели для оптимизации обеих вышеупомянутых общих целей с различных точек зрения. Различия между этими моделями заключаются в переменных

решения, используемых для сборки их объектных функций и ограничений. В связи с этим некоторые предыдущие исследователи сосредоточили свои усилия на оптимизации расположения каждой насосной станции, максимизации производства энергии, минимизации потерь путем установки турбин для рекуперации энергии или использования положения и настройки насосных станций в дополнение к рабочим статусам насосной станции в качестве решения переменные. Другие исследователи сосредоточились на анализе пропускной способности насосных станций для оптимизации затрат на проектирование и эксплуатацию станций; авторы представили модель с двоичными переменными для каждого варианта проектирования и эксплуатации, доступного в условиях небольшого числа сценариев спроса. Авторы предложили новую процедуру проектирования, которая учитывает переменный спрос, эквивалентный поток и эквивалентный объем, чтобы приблизить годовые затраты на данную систему. Авторы рассчитали стоимость проектирования всей сети, используя надежную модель, основанную на изменчивости затрат по нескольким сценариям.

Основная проблема заключается в том, что методы, предложенные в литературе, напрямую не связывают оптимизацию внутреннего проектирования насосных станций с оптимизацией общей работы последних. Кроме того, конструкция разработана с учетом экстремальных условий эксплуатации. Чтобы приблизить эти модели к реальности, при проектировании насосная станция следует оценить его влияние на всю сеть, включая другие насосная станция, и рассмотреть операционные последствия в будущем. Чтобы избежать этих проблем, есть два важных этапа, которые необходимо оптимизировать вместе. Первый этап заключается в определении оптимального расхода и напора насосной станции. Следовательно, насосная станция должна удовлетворять всем требованиям к расходу и давлению. Второй этап заключается в определении наилучшей комбинации внутренних элементов в насосные станции для достижения этих значений.

В этом контексте авторы минимизировали потребление энергии сетью после определения того, что вода должна предоставляться каждой насосной станции в соответствии с кривой спроса сети, используя новую оптимизационную модель, основанную на кривой уставки. Напоры и потоки, которые должны подаваться от каждой насосной станции, определены, но сама конструкция насосных станций не рассматривается. С этой точки зрения, учитывая результаты предыдущей работы, авторы сосредоточили свои исследования только на внутренней конфигурации насосных станций. Авторы предложили альтернативный метод, в котором процесс выбора насосной группы включает оценку эксплуатационных затрат системы на основе изучения различных систем управления и схем работы насосов перед выбором оборудования. Для достижения этой цели учитываются инвестиции (насосное оборудование, гидравлические установки, электрическое и управляющее оборудование) и эксплуатационные расходы.

В этом разделе предложена и подробно описана математически новая оптимизационная модель для проектирования насосных станций с учетом

оптимальных условий эксплуатации. В частности, эта модель определяет конфигурацию каждой насосной станции, включая количество насосов с фиксированной скоростью, а также модель насоса в соответствии с доступной базой данных. Оптимизационная модель настраивает конструкцию насосной станции в соответствии с оптимальным распределением потоков, которое рассчитывается в течение каждого периода в рамках процесса оптимизации.

Важно подчеркнуть, что предлагаемая методология требует некоторых доступных данных: (а) модель системы водоснабжения, откалиброванная для различных условий спроса, (б) модульная конструкция насосной станции, (с) знание структуры спроса и (d) существующая база данных для выбора правильной модели насоса. База данных должна включать модель, цену, а также кривые напора и эффективности для каждого насоса.

Далее общая схема решаемой задачи представлена на рис. 1. В частности, на рис. 1а показан общий случай насосной станции с тремя насосами. В течение каждого периода  $PS_i$  распределяет количество воды  $Q_i$  из общего потока. Эти потоки изменяются с течением времени в зависимости от структуры спроса на системы водоснабжения. На рисунке 1б показаны детали базовой модульной конструкции насосной станции, используемой в этой оптимизационной модели. Насосная станция состоит из нескольких параллельных линий с одним насосом, установленным в каждой. Каждый насос имеет два запорных клапана и обратный клапан.

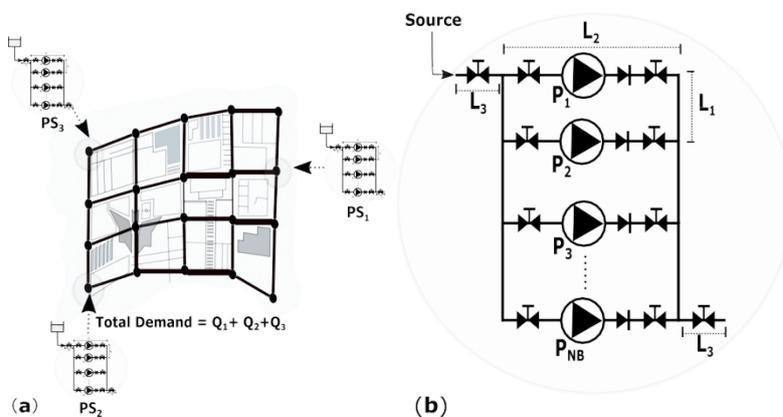


Рисунок 1. (а) Общая схема и (б) модульная конструкция насосной станции.

На концах (входном и выходном) Насосная с танция также имеет два запорных клапана. Длины  $L_1$ ,  $L_2$  и  $L_3$  на рисунке 1б параметризованы как линейные комбинации диаметров труб:

$$L_p = \lambda_p \cdot ND_p \quad \forall p \in \{1, 2, 3\} \quad (1)$$

где  $\lambda_p$  - параметр, определенный в каждом конкретном случае, а  $ND_p$  - номинальный диаметр (ND) соответствующей трубы  $p$ , который используется для определения диаметров таких элементов, как запорные

клапаны или обратные клапаны.

Эта методология вычисляет оптимальные скорости потока, обеспечиваемые каждой насосной станцией. Затем в соответствии с моделью определяется необходимое количество насосов. Затем, учитывая расчетную скорость  $V_d$ , выбираются длины труб, определенные с использованием уравнения (1). То есть использование базовой модульной конструкции с рисунка 1b после определения модели и количества насосов автоматически приводит к конкретной конструкции насосной станции.

Задача оптимизации направлена на минимизацию капитальных затрат и операционных расходов общей схемы, представленной на рисунке 1, с учетом оптимального распределения потоков. Во-первых, представлены переменные решения и математические обозначения предлагаемой модели. Далее подробно объясняется расчет операционных и капитальных затрат на основе переменных решения. Тематическое исследование иллюстрирует реализацию модели в сети насосной станции с тремя насосами и базой данных моделей насосов. Наконец, кратко представлен метод оптимизации, используемый в этой работе.

Вышеупомянутая задача может быть поставлена в виде математической оптимизационной модели, где переменные решения связаны с распределением потоков между различными источниками и конфигурацией каждого PS. С одной стороны,  $x_{ij}$  определяет процент потока, подаваемого из насосной станции на каждом временном шаге  $j$ . Параметры  $N_t$  и  $N_{ps}$  представляют общее количество временных шагов и общее количество насосных станций соответственно;  $m_i$  указывает количество FSP; а  $b_i$  соответствует идентификатору модели насоса, которая будет установлена в  $PS_i$ .

Как только эти значения известны, можно рассчитать максимальный расход для каждой насосной, общее количество насосов ( $N_{B,i}$ ), количество VSP ( $n_i$ ) и размеры каждого трубопровода  $L_p$ . Короче говоря, можно полностью определить дизайн насосной станции.

Оптимизационная модель. Задача оптимизации направлена на минимизацию как капитальных, так и операционных затрат системы. Очевидно, что оптимизационная модель ограничена уравнениями непрерывности и импульса, а также минимальными требованиями к напору в узлах спроса. Кроме того, модель ограничена уравнениями (4) и (5). Эти уравнения гарантируют, что общий расход, подаваемый PS, равен расходу, требуемому в течение каждого периода.  $x_{i,j} \geq 0 \forall i, j$  (4)  $\sum_{j=1}^n x_{i,j} = 1$  (5).  $i=1$

Оптимизационная модель вычисляет капитальные затраты и операционные затраты на основе значений переменных решения на каждой итерации алгоритма. На рисунке 2 показана блок-схема полной модели.

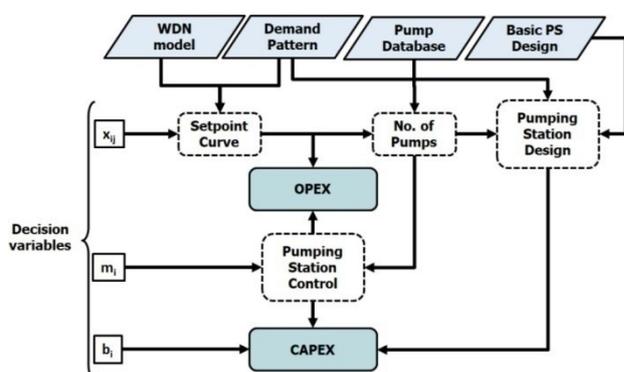


Рисунок 2. Расчет операционных и КАПИТАЛЬНЫХ затрат.

Выводы: с помощью предложенной методологии были оптимизированы конструкции и операции насосных станций в тематическом исследовании Проведение теоретических исследований зависимостей переходных процессов в насосных станция водоснабжения от возмущающих на них воздействий. Оптимизирована математическая модель насосных станций водоснабжения. Разработана методика комплексной оценки параметров насосных станций. Усовершенствованы автоматизированные средства нормализации параметров работы насосных станций водоснабжения.

#### Список использованной литературы

1 Втюрин В.А. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Основы АСУ ТП. - уч. пособие / В.А. Втюрин. - СПб.: Изд-во СПбГЛА, 2006. – 152 с., ил.

2 Мала-Джетмарова Х.; Султанова Н.; Савич Д. Методика по оптимизации систем водоснабжения. Обзор литературы по системному проектированию. Вода 2018, 10, 307

3 Teye F. Comparative assessment of four methods for estimating ammonia emissions at microclimatic locations in a dairy building / Teye F., Hautala M.// Int. J. Biometeorol.– 2010. – № 54(1). – P. 63-74. doi: 10.1007/s00484-009-0255-y

4

Blinco, L.J.; Simpson, A.R.; Lambert, M.F.; Marchi, A. Comparison of Pumping Regimes for Water Distribution Systems to Minimize Cost and Greenhouse Gases. *J. Water Resour. Plan. Manag.* 2016, 142, 04016010.

5 Море-Мелиа, Д.; Мартинес-Солано, Ф.Дж.; Иглесиас-Ру, П.Л.; Гутьеррес-Багамондес, Дж.Х. Влияние численности населения на эффективность эволюционных алгоритмов проектирования сетей водоснабжения. 2008. – № 54(1). – P. 98-43. doi: 19.1067/s00674-009-03465-y

6 Онлайн-журнал "Толковый электрик" [Электронный ресурс] - URL: <http://electric-tolk.ru/sistemy-zazemleniya-tn-s-tn-c-s-tn-s-tt-it/> (дата обращения: 18.10.2018).