

Информационное агентство
Энергопресс

ISSN 2312-055X

5'2018

Новое в российской электроэнергетике



НОВОЕ В РОССИЙСКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ
Ежемесячный научно-технический электронный журнал
№ 5 май 2018 г.

Издается с января 1997 года

Редколлегия

Главный редактор

Н.Д. Рогалев,

доктор технических наук, профессор. Ректор НИУ “МЭИ”

Первый заместитель главного редактора

В.Д. Буров,

кандидат технических наук, профессор НИУ “МЭИ”

Ответственный секретарь

Е.Ф. Галтеева,

кандидат технических наук, заместитель директора
ООО Информационное агентство “Энерго-пресс”

Члены редколлегии:

Э.К. Аракелян, доктор техн. наук, профессор
НИУ “МЭИ”

А.В. Богловский, канд. техн. наук, ст.н.с. НИУ “МЭИ”

И.П. Верещагин, доктор техн. наук, профессор
НИУ “МЭИ”

В.А. Гашенко, доктор техн. наук. Зам. директора
ОАО “ЭНИЦ”

В.Г. Грибин, доктор техн. наук, профессор
НИУ “МЭИ”

С.В. Грибков, канд. техн. наук. Генеральный директор
НИЦ ВИНДЭК, ведущий научный сотрудник ЦАГИ,
академик РИА

С.А. Грузков, канд. техн. наук, профессор НИУ “МЭИ”

А.А. Дудолин, канд. техн. наук, доцент НИУ “МЭИ”

В.В. Жуков, доктор техн. наук, профессор НИУ “МЭИ”

Ю.И. Жуков, канд. техн. наук. ОАО “Россети”

В.М. Зорин, доктор техн. наук, профессор НИУ “МЭИ”

А.Т. Комов, доктор техн. наук, профессор НИУ “МЭИ”

А.Я. Копсов, доктор техн. наук, профессор.
Президент ООО “ИЦ-ГТ”

В.М. Лавыгин, канд. техн. наук, профессор
НИУ “МЭИ”

С.Н. Ленов, заместитель управляющего директора –
главный инженер ПАО «Мосэнерго»

Е.Н. Олейникова, канд. техн. наук, шеф-редактор
ООО Информационное агентство “Энерго-пресс”

Т.И. Петрова, доктор техн. наук, профессор
НИУ “МЭИ”

А.П. Пильщиков, канд. техн. наук, доцент.
ООО Информационное агентство “Энерго-пресс”

П.В. Росляков, доктор техн. наук, профессор
НИУ “МЭИ”

Б.А. Рыбаков, канд. техн. наук. Директор
по стратегическому развитию ООО
“ГлобалТехЭкспорт”

А.А. Сухих, доктор техн. наук, профессор
НИУ “МЭИ”

Г.В. Томаров, доктор техн. наук, профессор.
Генеральный директор ЗАО “Геотерм-ЭМ”

М.Г. Тягунов, доктор техн. наук, профессор
НИУ “МЭИ”

Р.М. Хазиахметов, АО Техническая инспекция
ЕЭС, советник генерального директора

Н.Ш. Чемборисова, доктор техн. наук, профессор
НИУ “МЭИ”

Журнал включен 29 декабря 2015 г. в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (перечень ВАК)

Редактор *А.П. Пильщиков*

Корректурa *Г.Н. Грошева*

Верстка *Л.В. Софeyчук*

Подписано к выпуску 25.05.18 Объем 5.7 уч.-изд. л.

Адрес редакции: 111250, Россия, Москва, Красноказарменная ул., д. 14. Телефон/факс (495) 362-7589

E-mail: avs@energo-press.ru <http://www.energo-press.info>

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 5, 2018

О подписке на электронный журнал "НОВОЕ В РОССИЙСКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ" 4

Электротехнические комплексы и системы

Моделирование наведенных напряжений на воздушной линии электропередачи при использовании заземлителей и компенсаторов
В.Ю. Селезнев, С.А. Сбитнев, В.Е. Шмелев 6

Электрические станции и электроэнергетические системы

Оценка технического состояния трансформаторов с высокотемпературной сверхпроводящей обмоткой по методу анализа иерархий
В.З. Манусов, Д.В. Орлов 17

Влияние пиковой генерации на долю базовой генерации в Единой энергетической системе Российской Федерации
С.С. Белобородов, А.А. Дудолин 31

Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты

Программа-советчик аппаратчику предочистки водоподготовки со стоками в исходной воде
В.Ф. Очков, Р.В. Акулич, К.А. Орлов, В.П. Коваленко, Н.И. Разгуляев, А.В. Горбунов 40

Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты

ПРОГРАММА-СОВЕТЧИК АППАРАТЧИКУ ПРЕДОЧИСТКИ ВОДОПОДГОТОВКИ СО СТОКАМИ В ИСХОДНОЙ ВОДЕ

© 2018 г. Очков В.Ф.¹, Акулич Р.В.², Орлов К.А.¹, Коваленко В.П.¹,
Разгуляев Н.И.,¹ Горбунов А.В.¹

Национальный исследовательский университет
“Московский энергетический институт”¹ – Рязанская ГРЭС²

e-mail: OchkovVF@mpei.ru

Представлено описание программы-советчика для персонала, эксплуатирующего установки предочистки (коагуляция и известкование в осветлителях) водоподготовительной установки (ВПУ) при добавлении в исходную воду стоков самой ВПУ (регенерационные воды) и электростанции (“грязный” конденсат и др.). Показана возможность (с учетом расчетов на компьютере) оптимизации работы осветлителей – выдерживать качество осветленной воды и снижать расход реагентов при непостоянном составе сырой воды с архивацией параметров работы осветлителей.

Ключевые слова: водоподготовка, предочистка, известкование, коагуляция, осветлитель, табличный процессор Excel, инженерный калькулятор Mathcad.

В условиях все возрастающего спроса на электроэнергию и отставания ввода в эксплуатацию новых современных электростанций крайне важной остается задача надежной работы энергоблоков, введенных в эксплуатацию в 70-х и 80-х годах прошлого века. В первую очередь она решается за счет внедрения систем автоматического контроля и управления работой основного и вспомогательного оборудования ТЭС. В то же время высокая стоимость таких систем и устаревшее оборудование зачастую тормозят их внедрение. Существенно менее затратным в этих условиях является создание математических моделей технологических процессов для их совершенствования средствами ЭВМ. С другой стороны, ужесточение условий сброса сточных вод в водоемы заставляет персонал электростанций использовать некоторые стоки в качестве исходной воды водоподготовительных установок. Примером такого подхода может служить разработка программы-советчика для аппаратчика предочистки в химическом цехе филиала ПАО ОГК-2 “Рязанская ГРЭС”.

На ВПУ ГРЭС предварительная очистка исходной воды осуществляется по схеме известкования с коагуляцией в осветлителях ВТИ-350И, ВТИ-400И с последующей доочисткой на механических фильтрах. Схема предочистки приведена на рис. 1.

¹ 111250, Россия, Москва, Красноказарменная ул., д. 14. НИУ “МЭИ”.

² 391160, Россия, Рязанская область, Пронский р-н, г. Новомичуринск, Промышленная ул., д. 1. Рязанская ГРЭС.

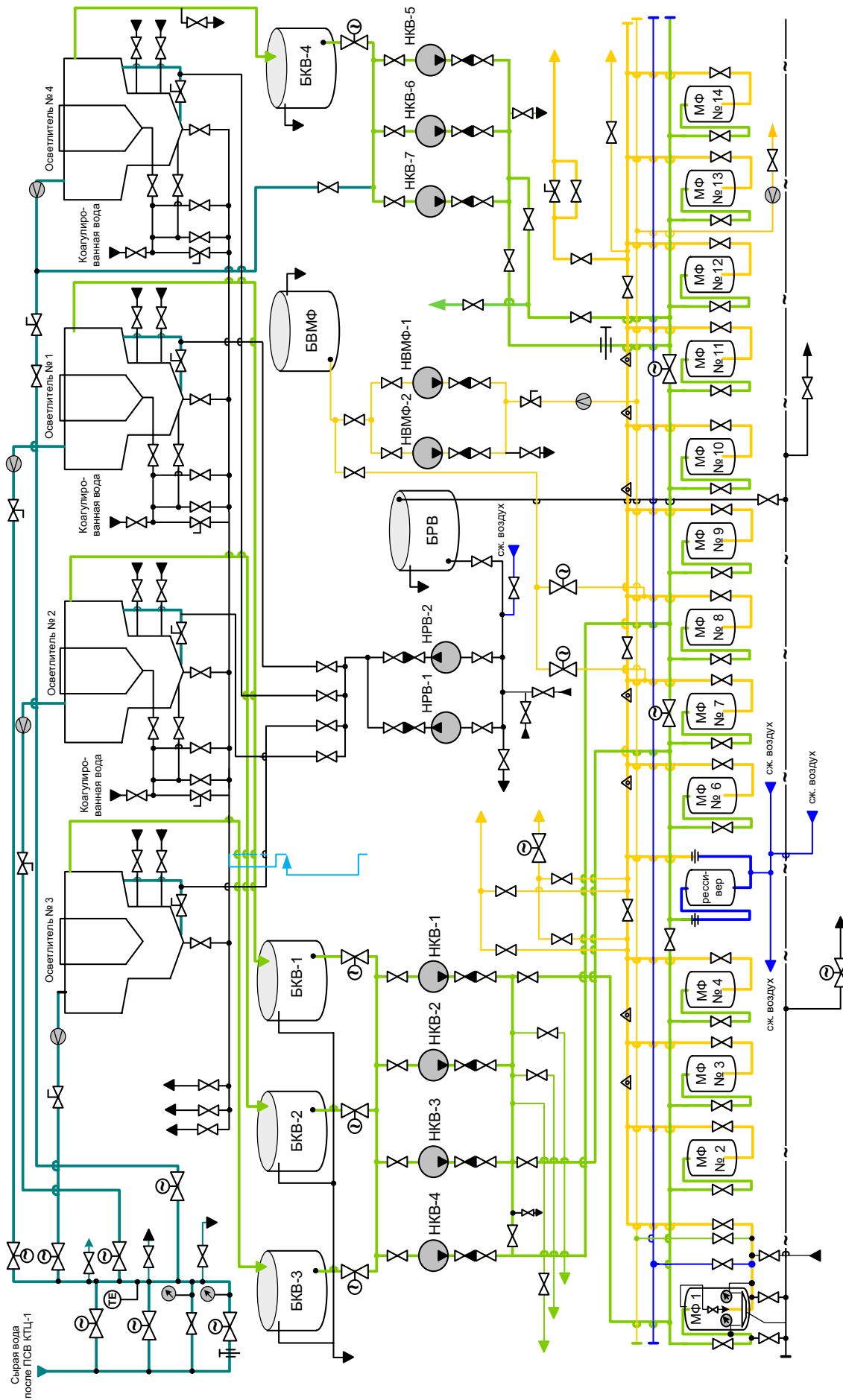


Рис. 1. Схема предварительной очистки воды

Максимальная проектная производительность предочистки составляет 1100 м³/ч; фактическая – 750 м³/ч. Исходной водой служит вода водохранилища реки Проня, усредненные показатели качества которой приведены в таблице.

Качество исходной воды

Показатель	Зима	Паводок	Лето
Жесткость, мг-экв/дм ³	7.8	2.0	4.5
Щелочность, мг-экв/дм ³	4.8	1.8	3.2
Концентрация, мг/дм ³ :			
хлориды	13	6	10
сульфаты	110	70	95
кремнекислота	12	4	5
железо	0.6	0.8	0.4
натрий	12	5	8
Окисляемость, мг О/дм ³	4	25	5
Солесодержание, мг/дм ³	500	280	380

Сырая вода прокачивается через подогреватели сырой воды (ПСВ) (8 подогревателей), в которых происходит ее подогрев до температуры 28–40°C. Подогрев в ПСВ-1–5 осуществляется паром от коллектора 1.3 МПа, в ПСВ-6–8 – сетевой водой. Регулирование температуры автоматическое. ПСВ-1–5 расположены в турбинном отделении КТЦ-1 в ячейке конденсатных насосов энергоблока № 1 и блочной обессоливающей установки БОУ-I, ПСВ-6–8 – в котельном отделении КТЦ-1. В трубопровод сырой воды (после ПСВ) откачивается грязный конденсат из баков грязного конденсата БГК-I и БГК-II (врезка до датчика температуры). При необходимости в трубопровод сырой воды можно подать воду из пожарного трубопровода.

Подогретая сырая вода поступает в осветлители для известкования и коагуляции. Кроме того, из бака регенерационных вод в осветлители откачивается вода после взрыхления механических и ионитных фильтров.

После осветлителей вода сливается в баки коагулированной воды, из которых подается в механические фильтры, загруженные антрацитом, для удаления взвешенных частиц и окончательного осветления.

Схема известкового хозяйства стандартная и включает ячейку мокрого хранения извести, две ячейки приготовления известкового молока и четыре мешалки. Подача извести в каждый осветлитель осуществляется двумя насосами-дозаторами НД 2500/10. Схема приготовления и дозирования коагулянта включает восемь ячеек хранения и четыре мешалки-мерники коагу-

лянта. Подача коагулянта в каждый осветлитель также осуществляется двумя насосами-дозаторами, пять из которых НД 600/10, два – НД 1000/10 и один – НД 400/16. Концентрация рабочего раствора коагулянта поддерживается в пределах 110–150 мг-экв/дм³, концентрация известкового молока 220–250 мг-экв/дм³.

На электростанции реализована импульсная система автоматического управления насосами-дозаторами извести и коагулянта по расходу воды с учетом ее качества. Такая система управления требует постоянного вмешательства аппаратчика в целях расчета необходимой дозы извести при изменении качества исходной воды и выбора оптимального режима работы насосов-дозаторов с последующей коррекцией по результатам анализа качества осветленной воды. Задача управления дополнительно усложняется вследствие большой инерционности осветлителей и неустойчивой работы насосов-дозаторов, обусловленной несоответствием подачи шкале задатчика. Последнее обстоятельство требует периодической калибровки насосов-дозаторов. Отмеченные сложности не позволяют поддерживать оптимальный режим работы осветлителей, что существенно сказывается на эффективности работы всей ВПУ.

Для повышения эффективности управления работой осветлителя на базе физико-химического моделирования процесса на ЭВМ была разработана программа, предназначенная для расчета показателей качества воды после известкования и коагуляции, которая дает рекомендации по оптимизации режима работы насосов-дозаторов реагентов [1, 2]. Программа выполнена в средах Mathcad 15 и Excel [3]. В среде Excel программа имеет возможность сохранения полученных показателей в архиве и автоматического заполнения суточной ведомости химического контроля.

Условно алгоритм можно разделить на две части: “химическую” и “насосную”. Первая осуществляет расчет показателей качества воды на выходе из осветлителя в зависимости от концентраций ионов примесей в исходной воде, температуры воды на входе, расхода сырой воды и дозы коагулянта. Наиболее важным показателем, рассчитываемым на базе этих данных, является доза известкового молока, поскольку именно дозы реагентов, их концентрации в мешалках и расход воды на вход осветлителя являются “ключом” ко второй части – “насосной”. На основе этих показателей производится вычисление оптимального расхода реагентов, подаваемых насосами-дозаторами. Затем рассчитывается скважность насосов (отношение времени работы к общему времени цикла “работа–простой”), на основании которой, а также на основании производительности насосов-дозаторов даются рекомендации по заданию режима их работы.

Чтобы не усложнять принципиальную схему, алгоритм, по которому осуществляется выдача рекомендаций по заданию режима работы насосов, представляется отдельной блок-схемой. Каждый из четырех насосов-дозаторов, подающих реагенты в осветлитель (два – на известь, два – на коагулянт), может работать в двух режимах: автоматическом, когда производительность настраивается с помощью тумблера, выставяемого на соответствующее значение, и на режиме “дистанции”, когда насос может быть включен на полную производительность. Так как по каждому реагенту установлены два насоса, то комбинаций, в которых они

могут работать – шесть, две из которых, когда один или оба насоса работают на максимальной производительности, не требуют дальнейших расчетов. Для автоматических режимов алгоритм выполняет расчет скважности, времени работы, времени простоя и значение шкалы тумблера, на которое его необходимо выставить для получения необходимого расхода реагентов. При этом, учитывая изношенность насосов, при определении скважности использовали эмпирические таблицы соответствия подачи значениям шкалы тумблера, которые задаются в “насосной” части алгоритма.

На рис. 2 представлена принципиальная блок-схема расчетного алгоритма, осуществляемого программой: от ввода исходных данных, полученных при анализе качества воды на входе в осветлитель, до вывода параметров на выходе из осветлителя и рекомендаций по задаче режимов работы насосов. Чтобы персонал электростанции случайно не внес изменений в алгоритм, вся “начинка” была скрыта в области.

В блоке 1 “Сырая вода” вводятся исходные данные: расход, температура, показатели качества исходной воды, концентрации реагентов в мешалках извести и коагулянта и доза коагулянта.

Расчетный блок начинается с определения по данным анализа исходной воды необходимой дозы извести и термодинамического расчета равновесных концентраций карбоната кальция и гидроксида магния. Расчет проводится методом последовательных приближений с уточнением на каждом шаге ионной силы воды, коэффициентов активности и концентраций. Необходимые для вычислений термодинамические константы и параметры уравнений расчета коэффициентов активности введены в программу в виде температурных зависимостей. Результаты расчета равновесных концентраций корректируются на кинетику процесса кристаллизации с учетом нагрузки осветлителя и выводятся на экран компьютера в блоке 2 “Результаты расчета”.

Следующая часть программы связана непосредственно с работой насосов-дозаторов. Для этого в программу вводят производительности насосов-дозаторов выбранного осветлителя и определяют насос (насосы), который будет работать на “автомате”. Выбор производят из выпадающего списка в блоке 3 “Выбор режима работы насоса” (см. рис. 2). Далее рассчитывают скважность работы насоса при данном режиме работы осветлителя для трех случаев: один насос работает на автомате, два насоса работают на автомате, один насос работает на автомате и один на полную производительность. Окончательно выбор режима работы насосов производит аппаратчик, программа лишь дает подсказки в зависимости от расхода реагентов, производительности насосов и рассчитанной скважности.

Для ВПУ Рязанской ГРЭС был выбран метод расчета режима работы насосов в зависимости от показателей скважности. Результаты расчетов при отладке сравнивали с эксплуатационными данными. Для этого в программу была внесена таблица скважностей работы реальных насосов в зависимости от значений шкалы тумблера и нагрузки на осветлитель. Блок расчета скважности и выбора времени работы насоса-дозатора извести иллюстрирует рис. 3.

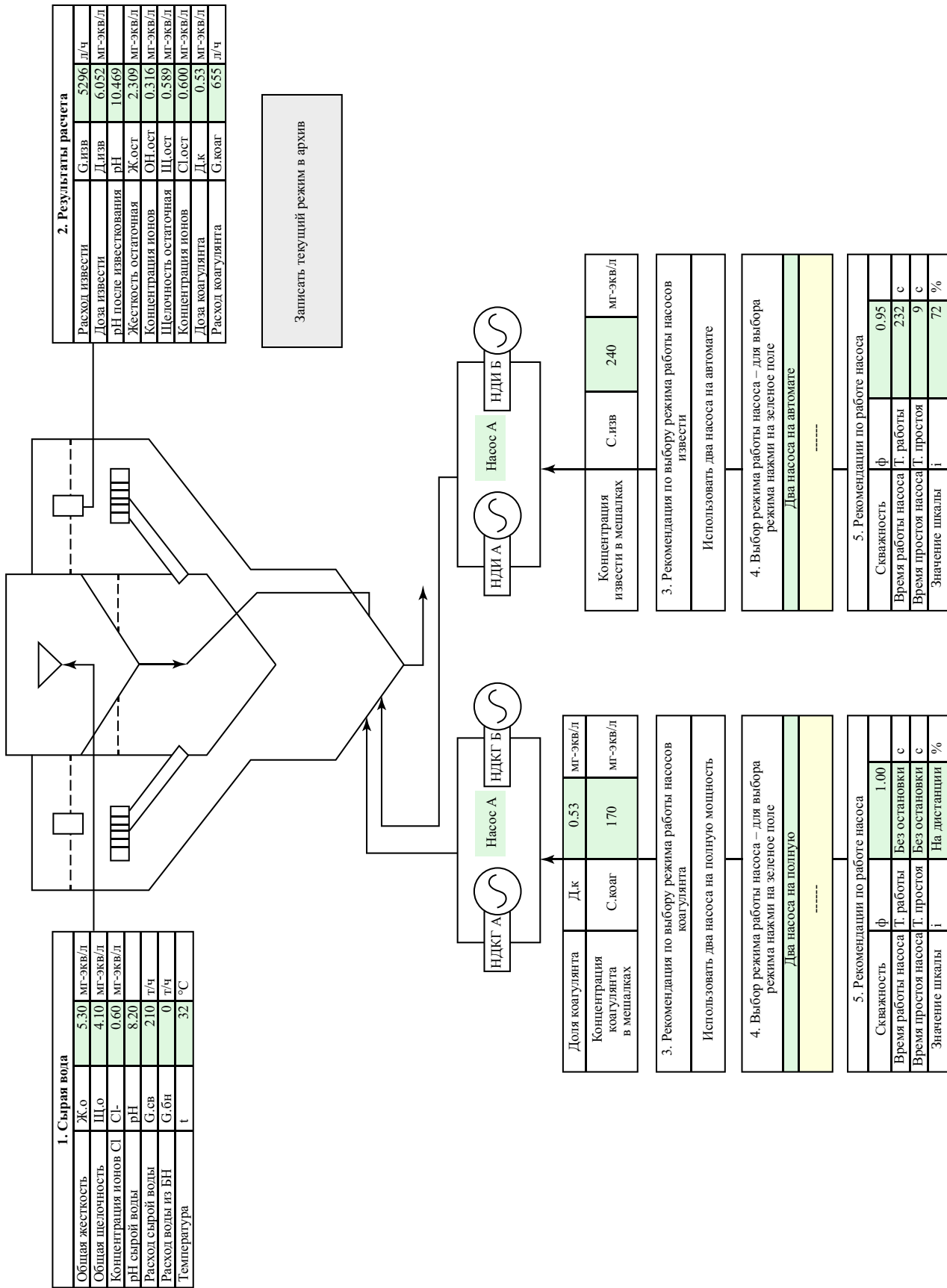


Рис. 2. Интерфейс программы, выполненной в программе Excel

Программа позволяет сравнивать расчетное значение скважности ($\phi_{и\text{ расч}}$) с минимальными значениями в таблице (первый столбец), и, если они больше, чем рассчитанное $\phi_{и\text{ расч}}$, выбираются табличные значения ($\phi_{и}$ для 100 т/ч, $\phi_{и}$ для 175 т/ч, $\phi_{и}$ для 250 т/ч). В противном случае дальнейший расчет проводят с $\phi_{и\text{ расч}}$. Далее выбирают необходимую величину из таблицы в соответствии с нагрузкой на осветлитель и выводят результат. Если рассчитанное значение $\phi_{и\text{ расч}}$ больше, чем максимальное в таблице (т.е. больше максимальной фактической производительности насоса), программа выдает предупреждение о необходимости перехода на более производительный режим (ячейки, помеченные желтым цветом). Для расчета времени работы насосов также вводится таблица полученных на практике данных зависимости времени работы от нагрузки на осветлитель и шкалы тумблера. После этого для каждой строчки таблицы производят интерполяцию времени работы T_p на значение определенной ранее скважности $\phi_{и}$. Полученные значения T_p интерполируют в зависимости от нагрузки на осветлитель, и результат выводится на экран.

Аналогично происходит выбор и расчет времени простоя, а также выбор значения шкалы тумблера i для задания режима работы насосов. Кроме того, программой предусмотрена фиксация различного рода нарушений с выдачей рекомендаций по их устранению. Все результаты расчета выносятся в “шапку” программы на экран монитора в блоке 4 “Рекомендации по работе насоса” (см. рис. 2). С учетом того, что значительное время у персонала химического цеха занимает заполнение различных ведомостей и отчетов, в программу были введены дополнительные функции.

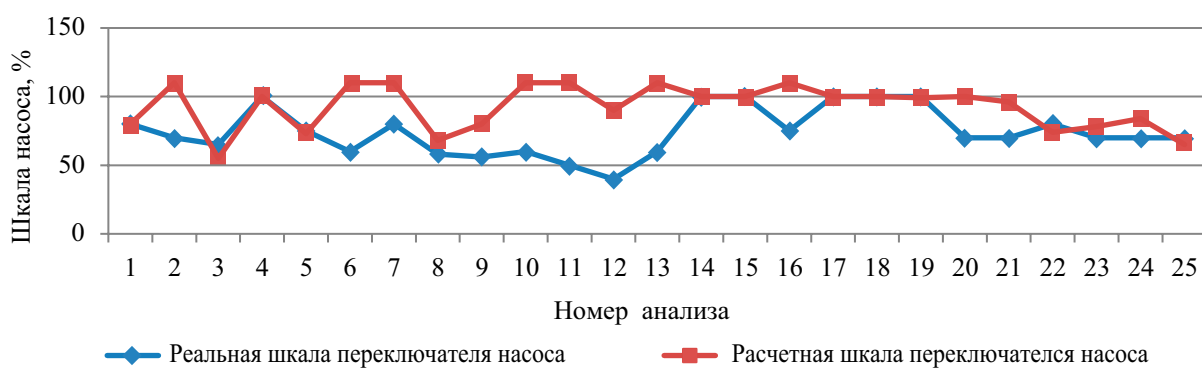
Во-первых, программа позволяет сохранять исходные данные, результаты расчета, выбранные оператором режимы работы насосов и рекомендации по работе насосов в архиве. Также сохраняются время и дата. При следующем нажатии кнопки данные сохраняются уже в следующей строчке, что позволяет формировать наглядный архив, с помощью которого можно отслеживать изменения в работе осветлителя, показатели качества исходной воды, расход реагентов и так далее. Кроме того, в программу введена функция заполнения ведомостей, для чего на листе “Архив” у каждого осветлителя предусмотрена кнопка управления – “Заполнить ведомость”. Это значительно ускоряет процесс выполнения “бумажной работы”, уменьшая нагрузку персонала. Ведение электронного архива позволяет за несколько секунд создать ведомость за любой период, который есть в архиве. Ведомость находится в электронном виде, ее легко можно распечатать, изменить, отправить по электронной почте – все то, что при работе с бумажной ведомостью требует гораздо больше времени.

Сопоставление результатов расчетов по разработанной программе с эксплуатационными данными работы осветлителя № 1 предочистки Рязанской ГРЭС иллюстрируют рис. 4, 5.

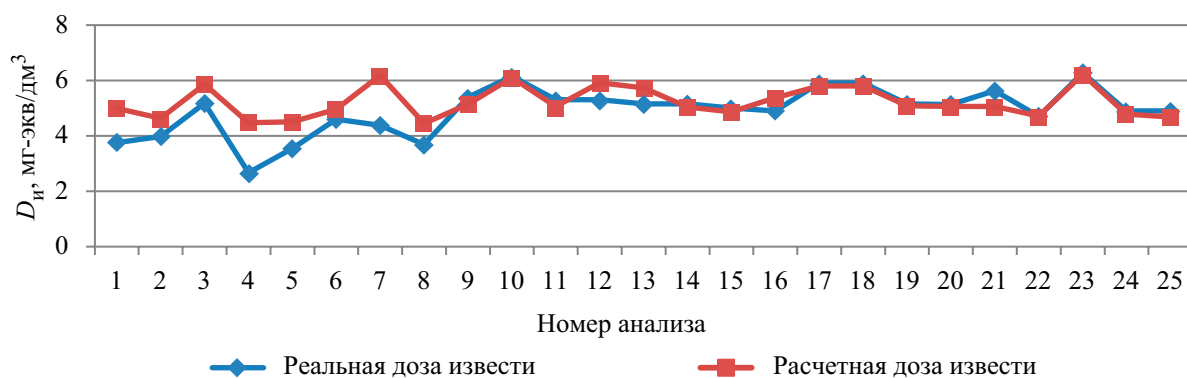
Как следует из приведенных графиков, наблюдается вполне удовлетворительная сходимость результатов расчетов с эксплуатационными данными как по требуемой дозе извести, так и по качеству известкованной воды. При этом расчетные значения характеризуются большей стабильностью. Следует отметить, что программа позволяет заранее вводить коррективы в подачу реагентов при колебаниях расхода и качества воды, не дожидаясь результатов анализа осветленной воды, т.е. практически исключает погрешности, обусловленные инерционностью



а)



б)



в)

Рис. 4. Шкала переключателя насосов-дозаторов извести (а) и коагулянта (б), доза извести (в)

осветлителя. Это особенно важно на электростанциях, где наряду с исходной водой источников водоснабжения периодически используют подмеси других вод (возвратных конденсатов, регенерационных вод и др.).

В настоящее время программа успешно используется на Рязанской ГРЭС. С учетом того, что рассмотренные проблемы эксплуатации осветлителей присущи многим электростанциям России, разработанная программа после необходимой “привязки” к конкретным условиям может применяться и на других электростанциях.

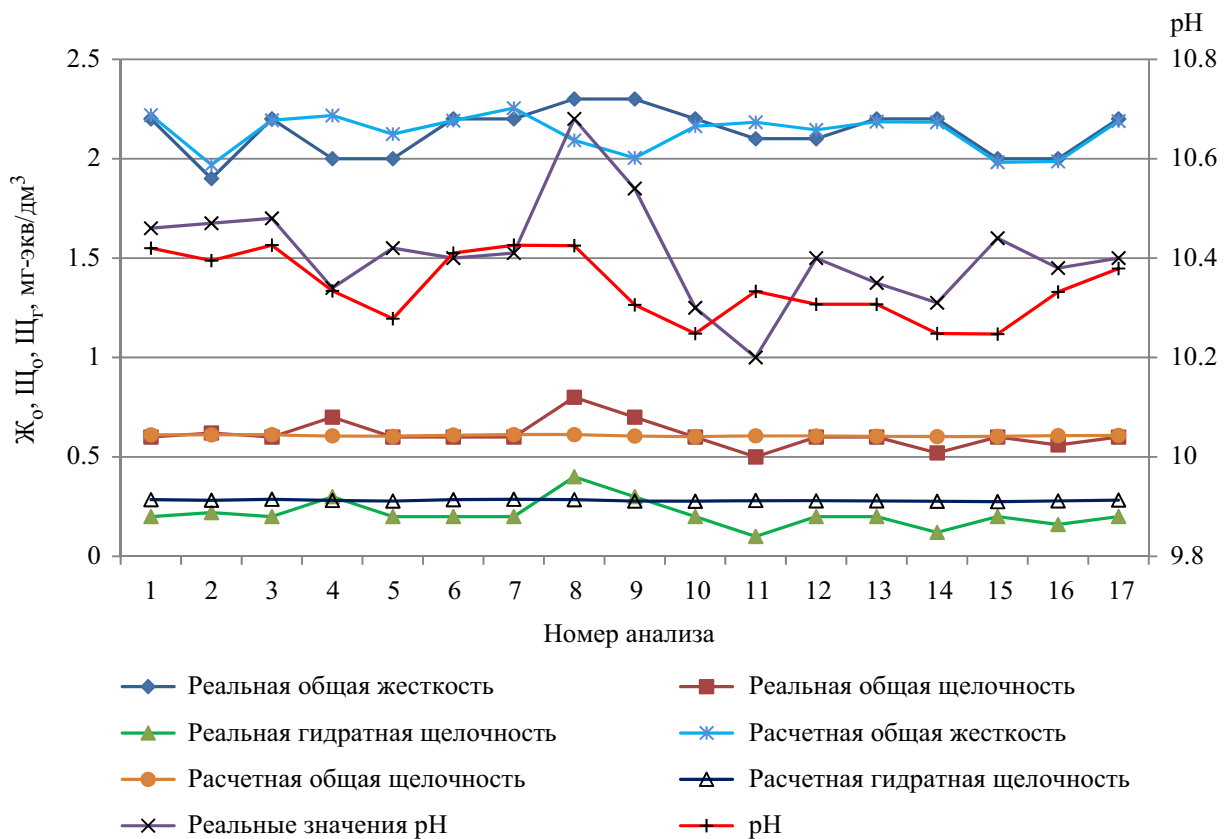


Рис. 5. Сопоставление расчетного качества осветленной воды с эксплуатационными данными.

Ж₀ – общая жесткость; Щ₀ – щелочность общая; Щ_ᵣ – щелочность гидратная

Список литературы

1. Копылов А.С., Очков В.Ф., Чудова Ю.В. Процессы и аппараты передовых технологий водоподготовки и их программированные расчеты. М.: Издательский дом МЭИ, 2009.
2. Предварительная очистка воды в схемах водоподготовки / А.В. Богловский, А.С. Копылов, В.Ф. Очков, Ю.В. Чудова, А.П. Пильщиков. М.: Издательство МЭИ, 2002.
3. Программированный расчет предочистки воды на электростанциях / В.Ф. Очков, Ю.А. Морыганова, К.А. Орлов, В.П. Коваленко // Новое в российской электроэнергетике. 2017. № 5. С. 28–41.